

**ΑΡΤΑ  
2014**



ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η εξέλιξη των δικτύων πρόσβασης και εξυπηρέτησης στο  
WiMAX**

ΔΑΝΑΗ-ΕΥΓΕΝΙΑ ΚΙΖΑ

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΔΙΑΜΑΝΤΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Copyright © ΔΑΝΑΗ–ΕΥΓΕΝΙΑ ΚΙΖΑ, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Copyright © Χριστίνα Διαμαντή, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Ηπείρου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή πραγματεύεται την εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών που έχει δημιουργήσει στους ανθρώπους την ανάγκη να εφεύρουν συνεχώς όλο και πιο καινούργια και πιο εξελιγμένα δίκτυα πρόσβασης, έτσι ώστε να προσφέρουν στον κάθε χρήστη μία πιο ευέλικτη σύνδεση στο διαδίκτυο με μεγαλύτερους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Συγκεκριμένα αυτά τα δίκτυα πρόσβασης είναι τα ασύρματα δίκτυα όπου συνεχώς εξελίσσονται και δημιουργούνται καινούργια ώστε να μπορούν να εξυπηρετούν περισσότερους χρήστες και σε μεγαλύτερη εμβέλεια. Ένα τέτοιο ασύρματο δίκτυο είναι και το WiMAX το οποίο έχει σχεδιαστεί για να ικανοποιεί σταθερές και κινητές εφαρμογές μαζί. Γι αυτή την καινούρια τεχνολογία θα μιλήσουμε στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

Το WiMAX λοιπόν θα δούμε ότι είναι ένα ασύρματο μητροπολιτικό δίκτυο που μπορεί να προσφέρει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο σε πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια από μια άλλη τεχνολογία όπως παραδείγματος χάρι το Wi-Fi. Επίσης χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.16 και εποπτεύεται από την IEEE. Συγκεκριμένα σε αυτήν την εργασία θα αναφερθούμε σε όλα τα υποπρότυπα στα οποία αποτελείται και θα μιλήσουμε για το WiMAX Forum όπου είναι μια μη κερδοσκοπική ομάδα και είναι υπεύθυνη για την πιστοποίηση των προϊόντων του WiMAX.

Μια ακόμα λεπτομέρεια που θα τονίσουμε για αυτή την νέα τεχνολογία είναι ότι στις νεότερες εκδόσεις της (802.16-2004 και 802.16-2005) μας παρέχει την δυνατότητα να έχουμε πρόσβαση στο Internet ακόμα και όταν οι σταθμοί βάσης δεν έχουν οπτική επαφή μεταξύ τους. Στην τελευταία έκδοση οι χρήστες μπορούν να κινούνται και μεταξύ των σταθμών. Επίσης το WiMAX χρησιμοποιεί την τεχνική πολύπλεξης OFDM και υποστηρίζει Point to Multipoint εφαρμογές.

Επιπλέον μια σημαντική ανάλυση που γίνεται σε αυτή την εργασία είναι η δομή και η αρχιτεκτονική ενός WiMAX δικτύου, τα προϊόντα που υποστηρίζει, η εξέλιξη του στο εξωτερικό και στην Ελλάδα καθώς και οι πολλαπλές εφαρμογές που έχει και την κάνουν να υπερτερεί τόσο πολύ από τις υπόλοιπες τεχνολογίες.

Ύστερα γίνεται μια σύγκριση της WiMAX τεχνολογίας με κάποιες άλλες που υπάρχουν στην αγορά. Και τέλος κάνουμε μια μικρή αναφορά σε κάποιες νέες εμφανιζόμενες τεχνολογίες όπως το LTE όπου στην ουσία είναι η εξέλιξη του WiMAX με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες και στην τεχνολογία 5G όπου είναι μια τεχνολογία που θα μας απασχολήσει τα επόμενα χρόνια.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Δίκτυο Πρόσβασης, WiMAX, WiMAX Forum, OFDM, Αρχιτεκτονική, Προϊόντα, Εξωτερικό, Ελλάδα, Εφαρμογές, LTE, 5G

## ABSTRACT

The evolution of telecommunications has created the need to constantly invent newer and newer as well as advanced access networks so that they can offer to every user an even more flexible internet connection with higher transmission rates. Particularly, these are the wireless nets that are able to serve more users in bigger range. That kind of net is WiMAX which is designed to satisfy both landline and mobile applications at the same time. Exactly that kind of technology will be our theme topic in this paper.

WiMAX is a wireless metropolitan network that can offer wireless wide access on the internet in much bigger range than any other technology such as Wi-Fi. In addition, it uses the 802.16 model and it is supervised by IEEE. In this project we will make specific reference to all these sub-models and WiMAX Forum, which is a non-profit group responsible for the WiMAX product verification, will also be discussed.

Another detail that will be stressed about this new technology is that in its newer editions (802.16-2004 and 802.16-2005) we are given the opportunity to access the internet even when the base stations don't have visual contact with each other. In the last edition the users can move among the stations. What is more, WiMAX uses the multiplexing technique OFDM and can support Point to Multiple applications.

Furthermore, a significant analysis is made in this project of the structure and the architecture of WiMAX network, its supporting products, its evolution both in Greece and abroad as well as its multiple applications that allow it to greatly outmatch other technologies.

Moreover, WiMAX technology is compared to other existing technologies. Finally, there is a small reference to some new upcoming technologies, such as LTE which is actually the evolution of WiMAX with much faster speed as well as to 5G technology which will be of issue in the years to come.

**Key Words:** access networks, WiMAX, WiMAX Forum, OFDM, architecture, products, abroad, Greece, applications, LTE, 5G

## Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής υλοποιήθηκε με την υποστήριξη ενός αριθμού ανθρώπων στους οποίους θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμότερες ευχαριστίες μας.

Πρώτα από όλους θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κύριο Δημόπουλο που ανέλαβε και στήριξε την πρωτοβουλία μας για την ενασχόληση μας με το συγκεκριμένο θέμα. Μας συμβούλεψε και μας ενθάρρυνε καθ' όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας.

Έπειτα ευχαριστούμε πολύ τον Δημήτρη Τζουβάρα για την πολύτιμη και ουσιαστική βοήθειά του με το να μας δανείσει 2 από τα βιβλία του.

Και τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην φίλη μας Γιώτα Κορκοβέλου που μας μετέφερε τις γνώσεις της στην αγγλική φιλολογία και μας βοήθησε με την μετάφραση της περίληψης καθώς και κάποιων βιβλίων.

Δανάη – Ευγενία Κίζα

Χριστίνα Διαμαντή

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	11
1.1 Εισαγωγική ανάλυση του WiMAX.....	11
1.2 Ιστορική αναδρομή ασύρματων δικτύων .....	12
1.3 Ορισμός ασύρματων δικτύων.....	13
1.4 Εξοπλισμός ασύρματων δικτύων .....	13
WiMAX.....	14
2.1 Ιστορική αναδρομή του WiMAX.....	14
2.2 Τι είναι το WiMAX.....	15
2.3 Υπό-πρότυπα του 802.16 .....	15
2.3.1 IEEE 802.16-2001 .....	16
2.3.2 IEEE 802.16c .....	16
2.3.3 IEEE 802.16a .....	16
2.3.4 IEEE 802.16d.....	16
2.3.5 IEEE 802.16-2004.....	16
2.3.6 IEEE 802.16e ή 802.16-2005 .....	17
2.4 Επιλογές φάσματος για την ασύρματη ευρυζωνικότητα.....	17
2.4.1 Ζώνη με άδεια 2,5 GHz.....	18
2.4.2 Ζώνη με άδεια 2,3 GHz.....	18
2.4.3 Ζώνη με άδεια 3,5 GHz.....	18
2.4.4 Ελεύθερη ζώνη 5 GHz .....	18
2.4.5 Άλλες ζώνες .....	19
WiMAX Forum.....	19
3.1 Σύσταση WiMAX Forum.....	19
3.2 Απώτερος σκοπός του WiMAX Forum .....	20
3.3 Προγράμματα πιστοποίησης .....	20
3.4 Διαδικασία πιστοποίησης.....	21
3.5 Επιλογή WiMAX Forum.....	21
3.6 Κοστολόγηση πιστοποίησης .....	22
3.7 Ομάδες εργασίας.....	22
3.7.1 Application Working Group (AWG) .....	22
3.7.2 Certification Working Group (CWG) .....	22

3.7.3 Global Roaming Working Group (GRWG) .....	22
3.7.4 Marketing Working Group (MWG) .....	22
3.7.5 Network Working Group (NWG) .....	22
3.7.6 Regulatory Working Group (RWG).....	22
3.7.7 Service Provider Working Group (SPWG).....	23
3.7.8 Technical Working Group (TWG).....	23
Τεχνικό υπόβαθρο WiMAX.....	23
4.1 Εισαγωγή.....	23
4.2 Διαμόρφωση OFDM και το φαινόμενο ISI.....	23
4.2.1 Πλεονεκτήματα OFDM διαμόρφωσης.....	24
4.2.2 Παράμετροι OFDM διαμόρφωσης WIMAX .....	24
4.3 Προσαρμοστική διαμόρφωση στο WiMAX .....	25
4.4 Τρόποι ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.....	26
4.5 Ασφάλεια.....	28
4.6 Ποιότητα υπηρεσιών QoS στο WiMAX.....	28
4.7 Αρχιτεκτονική ενός δικτύου WIMAX .....	28
4.7.1 Επίπεδα WiMAX .....	31
4.7.2 Φυσικό επίπεδο του WiMAX.....	31
4.7.3 MAC επίπεδο .....	32
4.7.4 Υποεπίπεδα MAC του WiMAX.....	32
Εφαρμογές και χρήσεις της τεχνολογίας WiMAX.....	33
5.1 Εισαγωγή.....	33
5.2 Σύνδεση στο Internet.....	33
5.3 Σταθερή και κινητή WiMAX πρόσβαση σε μεγάλες πόλεις.....	33
5.4 Κυβελοειδής μετάδοση Backhaul.....	33
5.5 Χρήση του δικτύου WiMAX στις αγροτικές περιοχές .....	34
5.6 Ιδιωτικά δίκτυα .....	34
5.6.1 Τηλεϊατρική.....	34
5.6.2 WiMAX δίκτυα στις Τράπεζες και στα σχολεία.....	35
5.6.3 Άλλες υπηρεσίες που μπορούν να χρησιμοποιούν το WIMAX δίκτυο .....	35
5.7 Επιπλέον εφαρμογές.....	35
5.8 Πλεονεκτήματα του WIMAX .....	36
5.9 WiMAX Προϊόντα .....	37
Το WiMAX στον παγκόσμιο χώρο .....	39

6.1 Εισαγωγή.....	39
6.2 Το WiMAX στην Ασία .....	40
6.2.1 Νότια Κορέα .....	40
6.2.2 Κίνα.....	41
6.2.3 Πακιστάν .....	41
6.3 Το WiMAX στην Αφρική .....	41
6.3.1 Αγκόλα .....	42
6.3.2 Κένυα .....	42
6.3.3 Νιγηρία.....	42
6.4 Το WiMAX στην Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής .....	42
6.4.1 Λατινική και Νότια Αμερική .....	42
6.4.2 Βόρεια Αμερική .....	43
6.5 Το WiMAX στην Ευρώπη .....	43
6.5.1 Αυστρία.....	43
6.5.2 Γερμανία.....	44
6.5.3 Ηνωμένο Βασίλειο .....	44
6.6 Το WiMAX στην Αυστραλία.....	44
Το WiMAX στην Ελλάδα.....	45
7.1 Εφαρμογές.....	45
7.1.1 Άγιο Όρος.....	45
7.1.2 Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών .....	46
7.1.3 PASIPHAE.....	47
7.1.4 Δωρεάν Ασύρματο Δίκτυο Τρικάλων .....	47
7.1.5 Εταιρίες /φορείς που χρησιμοποιούν WiMAX .....	47
7.2 Τάσεις αγοράς του WIMAX .....	48
Τεχνολογία WiMAX vs άλλων τεχνολογιών .....	49
8.1 Εισαγωγή.....	49
8.2 WiMAX vs 3G (UMTS) .....	50
8.3 WiMAX vs Wi-Fi .....	51
8.4 WiMAX vs ADSL.....	51
8.5 WiMAX vs LMDS .....	52
8.6 WiMAX vs IEEE 802.20 (MBWA).....	52
8.7 WiMAX vs IEEE 802.22 .....	52
8.8 WiMAX vs LTE.....	52

8.9 Πίνακας συγκρίσεων τεχνολογιών.....	54
Μελλοντικές εξελίξεις.....	55
9.1 Εισαγωγή στην νεότερη τεχνολογία LTE.....	55
9.1.2 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας LTE .....	55
9.1.3 Εφαρμογή της LTE στην ΕΛΛΑΔΑ .....	56
9.2 Εισαγωγή στην μελλοντική τεχνολογία 5G .....	56
9.2.1 Δημιουργία δικτύων 5G .....	56
9.2.2 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας 5G.....	56
Συμπέρασμα .....	57
Βιβλιογραφία.....	59
Ιστοσελίδες.....	59
Glossary.....	63

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1 Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο του WiMAX.....	12
Εικόνα 2 Σύνδεση ενός ασύρματου δικτύου .....	13
Εικόνα 3 Αρχική δημιουργία δικτύου .....	15
Εικόνα 4 Λογότυπο του WiMAX Forum .....	20
Εικόνα 5 Σήμα πιστοποίησης .....	21
Εικόνα 6 Προσαρμοστική διαμόρφωση.....	26
Εικόνα 7 Time Division Duplex (TDD) Downlink και uplink υπο-πλαίσια που μεταδίδονται σε διαφορετικές χρονοθυρίδες σε ένα κανάλι .....	26
Εικόνα 8 Frequency Division Duplex (FDD)- full duplex mode Downlink and uplink υπο-πλαίσια μεταδίδονται ταυτόχρονα σε δύο γειτονικά κανάλια .....	27
Εικόνα 9 Είδη Duplexer στο WiMAX .....	27
Εικόνα 10 Δομή δικτύου WiMAX .....	29
Εικόνα 11 Τρόποι λειτουργίας WiMAX.....	30
Εικόνα 12 Αρχιτεκτονική πολυγωνικής δικτύωσης.....	31
Εικόνα 13 Φυσικό και MAC επίπεδο.....	32
Εικόνα 14 Δίκτυο WiMAX στην τηλεϊατρική .....	34
Εικόνα 15 N810 Internet Tablet WiMAX Edition.....	37
Εικόνα 16 Intel Mini Express WiMAX.....	37
Εικόνα 17 OmniMAX 4G WiMAX κεραία .....	38
Εικόνα 18 3.5GHz 16 dBi Backfire Antenna .....	38
Εικόνα 19 HUAWEI HWD13 Wireless Router .....	38
Εικόνα 20 Cisco connected Grid Router.....	39
Εικόνα 21 Χάρτης WiMAX σε όλο τον κόσμο.....	40
Εικόνα 22 Εμπορικά σήμα της Korea Telecoms και της intel .....	40
Εικόνα 23 Χάρτης WiMAX στην Αφρική.....	41
Εικόνα 24 Σταθμοί βάσης WiMAX στο Άγιο Όρος .....	46
Εικόνα 25 Σήμα PASIPHAE.....	47
Εικόνα 26 Τάσεις αγοράς WiMAX.....	48
Εικόνα 27 Σχήμα σύγκρισης ασύρματων τεχνολογιών.....	49
Εικόνα 28 WiMAX vs 3G.....	50
Εικόνα 29 Wi-Fi vs WiMAX .....	51
Εικόνα 30 LTE vs WiMAX.....	53
Εικόνα 31 Πίνακας συγκρίσεων ασύρματων τεχνολογιών .....	54
Εικόνα 32 Εμπορικό σήμα LTE .....	55
Εικόνα 33 Προσωρινό σήμα τεχνολογίας 5G.....	56
Εικόνα 34 Υλοποίηση συνδέσεων WiMAX από όλους τους χώρους.....	57

# 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Εισαγωγική ανάλυση του WiMAX

Ένα σοβαρό πρόβλημα που αντιμετώπιζαν πάρα πολλοί χρήστες είναι ότι έπρεπε να δουλεύουν στον υπολογιστή τους μόνο από ένα σημείο πρόσβασης και να μην μετακινούνται σε άλλα διότι η σύνδεση γινότανε μόνο με ενσύρματο τρόπο. Έτσι γι αυτό τον λόγο έγινε η ανακάλυψη των ασύρματων τεχνολογιών που από τότε που έχουν εισέρθει στην ζωή μας εξελίσσονται διαρκώς με απώτερο σκοπό να μας βοηθήσουν να επικοινωνούμε μεταξύ μας με ασφαλή και γρήγορο τρόπο, ασχέτως πόσο μεγάλη είναι η απόσταση που υπάρχει ανάμεσά μας.

Μία τέτοια τεχνολογία είναι και το WiMAX ή αλλιώς Worldwide Interoperability for Microwave Access που στηρίζεται στο πρότυπο 802.11 του IEEE και που από την ονομασία του και μόνο καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται να αποτελέσει το παγκόσμιο standard για την ασύρματη επικοινωνία.

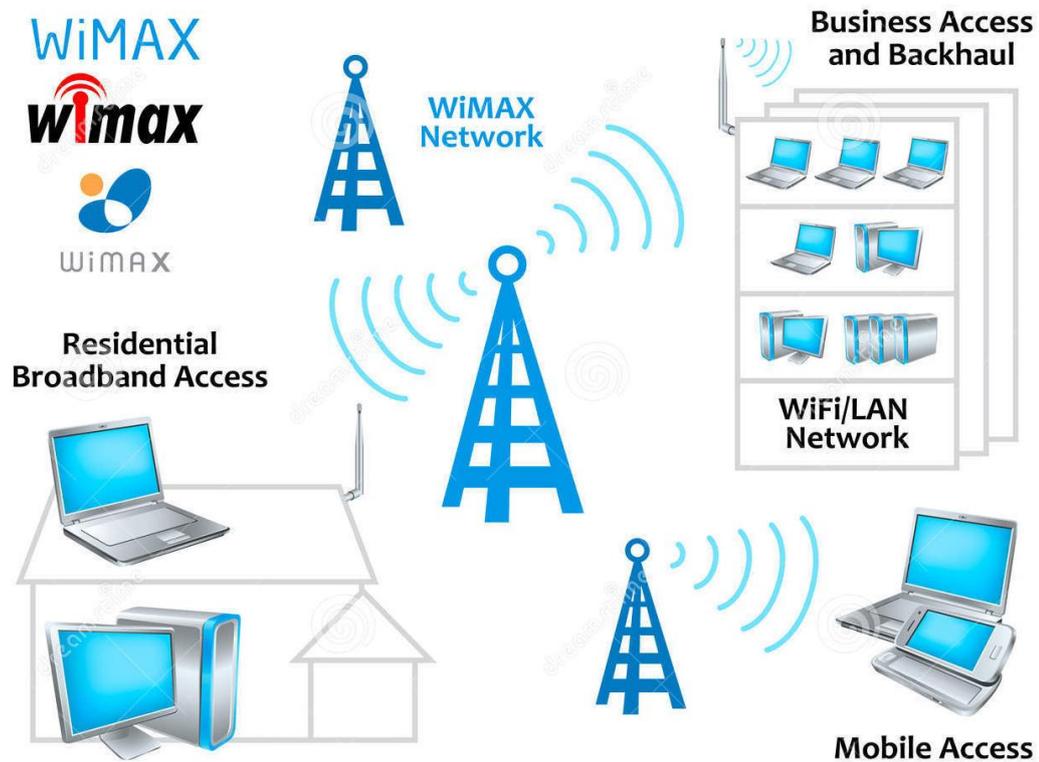
Για να εξηγήσουμε με απλά λόγια τι ακριβώς είναι το WiMAX ένας απλός τρόπος είναι να το παρομοιάσουμε με το Wi-Fi. Όμως κάτι τέτοιο απλοποιεί αρκετά την λειτουργία του WiMAX διότι είναι πολύ διαφορετική από το Wi-Fi αφού εστιάζεται στην καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη κάλυψη, παρόλα αυτά μας βοηθάει αρκετά να καταλάβουμε την νέα τεχνολογία. Σκεφτείτε λοιπόν το WiMAX σαν ένα τεράστιο Wi-Fi. Ενώ το Wi-Fi μπορεί να εκπέμψει σε εμβέλεια περίπου 100 μέτρων και γύρω από τα σημεία πρόσβασης (hotspots) δηλαδή σε αεροδρόμια, χώρους που γίνονται συνεδριάσεις, ξενοδοχεία κ.α., η νέα τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας WiMAX εκπέμπει σε εμβέλεια χιλιομέτρων (έως 48 χλμ.) και μπορούν να φτάσουν τέτοιες ταχύτητες όπως όταν χρησιμοποιούμε μια καλωδιακή σύνδεση (δηλαδή έως 70Mbps). Επίσης οι συχνότητες που χρησιμοποιεί κυμαίνονται από 2-11GHz και από 10-66 GHz.

Με βάση τα παραπάνω νούμερα καταλαβαίνουμε ότι το WiMAX μπορεί να καλύψει ασύρματα, μόνο με λίγες κεραιές, μια ολόκληρη πόλη, όπου οι κάτοικοι της θα μπορούν να είναι συνδεδεμένοι στο Internet, να έχουν την δυνατότητα video κλήσεων καθώς και ομιλίας μέσω VoIP. Αυτό το προτέρημα θα μπορούν να το έχουν οπουδήποτε και αν βρίσκονται ακόμα και εάν εκείνη την στιγμή κινούνται. Έτσι με αυτόν τον τρόπο θα μπορούμε να πηγαίνουμε οπουδήποτε και δεν θα μας ανησυχεί το πρόβλημα με τα καλώδια ή τους τηλεφωνικούς αριθμούς διότι έτσι όπως χρησιμοποιούμε το κινητό μας τηλέφωνο έτσι θα είναι και με το WiMAX γιατί η σύνδεση θα γίνεται ασύρματα.

Όπως συμβαίνει και σήμερα, όλοι οι φορητοί υπολογιστές έχουν κάρτα ασύρματης σύνδεσης Wi-Fi, έτσι σύντομα στο μέλλον (αν και κάποιες εταιρείες έχουν κάνει εδώ και καιρό τα πρώτα τους πειράματα) οι εν λόγω κάρτες θα υποστηρίζουν και WiMAX, έτσι ώστε να έχουμε την δυνατότητα να είμαστε πάντοτε συνδεδεμένοι. Αυτές οι κάρτες δικτύωσης θα εγκαθίστανται στον υπολογιστή με τον ίδιο εύκολο τρόπο όπως οι κάρτες δικτύωσης του Wi-Fi.

Μπορεί το WiMAX να φαίνεται ότι έχει την δυνατότητα να αντικαταστήσει τα κινητά τηλέφωνα, είναι όμως φανερό ότι δύσκολα θα διαδοθεί. Τα υπάρχοντα συστήματα WiMAX (WiMAX και Mobile WiMAX) βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.16e όπως τροποποιήθηκε τον Δεκέμβριο του 2005, όπου

εγγυάται πολλές βελτιώσεις σε θέματα κάλυψης και ασφάλειας τα οποία και θα αναλύσουμε παρακάτω. [1] [2] [3] [4] [5]



Εικόνα 1 Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο του WiMAX

## 1.2 Ιστορική αναδρομή ασύρματων δικτύων

Το WIMAX όπως προαναφερθήκαμε είναι ένα ασύρματο δίκτυο γι αυτό τον λόγο στην συνέχεια θα κάνουμε μια μικρή ιστορική αναδρομή για τα ασύρματα δίκτυα για να θυμηθούμε από πού ξεκίνησαν όλα.

Τα ασύρματα συστήματα επικοινωνίας έχουν μπει στην ζωή μας εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Συγκεκριμένα από τότε που ο Nikola Tesla εφεύρε το πρώτο ασύρματο σύστημα επικοινωνίας το 1893. Έπειτα ο Guglielmo Marconi εφεύρε τον ασύρματο τηλεγράφο το 1896 ενώ το 1901 κατάφερε να στείλει το πρώτο ασύρματο σήμα πάνω από τον Ατλαντικό. Η περίοδος μεταξύ 1900 έως 1940 υπήρξαν αρκετές εφευρέσεις όπως το 1906 ο Reginald Fessenden πραγματοποίησε την πρώτη ραδιοφωνική εκπομπή με μουσικό περιεχόμενο, γύρω στο 1930 κατασκευάστηκε η πρώτη τηλεόραση, μετά το 1920 είχαμε την πλοήγηση των αεροσκαφών με την χρήση ράδιο βοθημάτων και το 1935 την Διαμόρφωση FM. Ύστερα από εκείνα τα χρόνια είχαμε και άλλες σημαντικές ανακαλύψεις όπου εξελίσσονται συνεχώς μέχρι σήμερα και μερικές από τις τελευταίες είναι η τηλεφωνία, τα συστήματα τηλειδιοποίησης, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα, το Ιντερνέτ και πολλές άλλες ενδιαφέρουσες καινοτομίες. [5]

### 1.3 Ορισμός ασύρματων δικτύων

Ως ασύρματο δίκτυο μπορεί να χαρακτηριστεί ένα τηλεφωνικό δίκτυο ή ένα δίκτυο υπολογιστών το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας. Σε αυτό το είδος των δικτύων η πληροφορία που στέλνεται μεταφέρεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με συχνότητα που εξαρτάται κάθε φορά από το ρυθμό μετάδοσης που πρέπει να έχει το δίκτυο. (Πανέτσος, 2007).

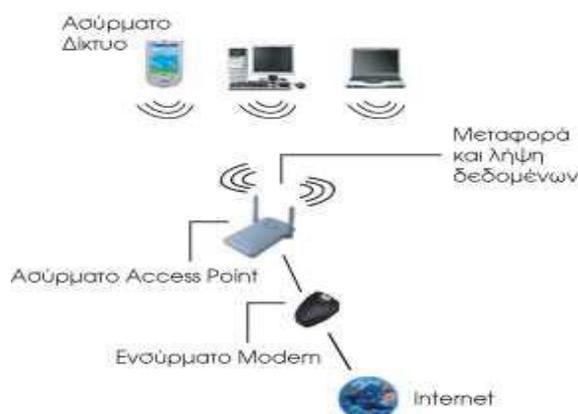
Τα ασύρματα δίκτυα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα που είναι τα παρακάτω. Πρώτα από όλα δεν είναι αναγκασμένα να περιορίζονται σε μια σταθερή και αμετάβλητη εγκατάσταση, δεύτερον μπορούν να δώσουν λύση σε περιοχές όπου δεν είναι εφικτό ή είναι αρκετά δύσκολο να τοποθετηθούν καλώδια, τρίτον μας επιτρέπουν να επικοινωνούμε με άλλους ανθρώπους που βρίσκονται σε διαφορετικό τόπο όποια χρονική στιγμή θέλουμε και τέλος είναι πολύ εύκολο να επεκταθεί ή και ακόμα να εγκατασταθεί σε άλλη τοποθεσία.

Τα ασύρματα δίκτυα μπορούμε να τα κατηγοριοποιήσουμε στις εξής κατηγορίες:

- δίκτυα κινητής τηλεφωνίας,
- ασύρματα δίκτυα PANs
- ασύρματα τοπικά δίκτυα LANs(WLANs)
- δίκτυα ευρείας περιοχής WAN
- ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα WMAN όπου σε αυτό ανήκει και το WiMAX όπως θα αναλύσουμε εκτενέστερα στην συνέχεια.

### 1.4 Εξοπλισμός ασύρματων δικτύων

Η εγκατάσταση ενός ασύρματου δικτύου είναι γρήγορη και εύκολη ενώ το κόστος λειτουργίας του είναι πολύ χαμηλότερο από άλλες τεχνολογίες πρόσβασης. Ο κατάλληλος εξοπλισμός που χρειάζεται για να γίνει η σύνδεση σε ένα ασύρματο δίκτυο είναι μια κεραία για να μπορεί να γίνεται η εκπομπή και λήψη σημάτων, μια κάρτα δικτύου NIC που τοποθετείται στον υπολογιστή έτσι ώστε να γίνει η σύνδεση του υπολογιστή με το δίκτυο, ένα καλώδιο RF, συνδέσμους (connectors), UTP και rigtail καλώδιο, μια γέφυρα που είναι η συσκευή που επιτρέπει την σύνδεση πολλών τμημάτων μεταξύ τους(συνήθως γέφυρα είναι ένα switch) και τέλος έναν δρομολογητή που είναι η συσκευή που ελέγχει εάν το δίκτυο λειτουργεί σωστά και δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα. [5]



Εικόνα 2 Σύνδεση ενός ασύρματου δικτύου

# 2

## WiMAX

### 2.1 Ιστορική αναδρομή του WiMAX

Από το 1999 μια ομάδα εργασίας της IEEE ξεκίνησε την προσπάθεια για την ανάπτυξη ενός νέου προτύπου του IEEE 802.16 που σαν στόχος είχε την δημιουργία μιας πρωτότυπης τεχνολογίας η οποία θα επέτρεπε ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση με σταθερούς ρυθμούς, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο νέες, ευέλικτες, ταχύτατες και ανταγωνιστικές υπηρεσίες και προϊόντα από τις ήδη υπάρχουσες ενσύρματες τεχνολογίες, με σκοπό την αντικατάσταση των ψηφιακών γραμμών (DSL) και των καλωδιακών (Cable).

Έτσι το Δεκέμβριο του 2001 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 (IEEE WirelessMAN air interface) κοινώς WiMAX, για ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (Wireless Metropolitan Area Networks- WMANs). Με βάση αυτό το πρότυπο, το Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο, παρέχει σε σπίτια ή ακόμα και σε επιχειρήσεις δυνατότητα πρόσβασης στο δίκτυο όπου γίνεται μέσω κεραιών οι οποίες επικοινωνούν με κεντρικούς σταθμούς βάσης. Μέσα στα κτίρια οι υπολογιστές είναι συνδεδεμένοι στο Internet με δίκτυο Ethernet 802.2 ή ασύρματο δίκτυο Wi-Fi 802.11.

Το 802.16 δημιουργήθηκε μέσω μιας ανοιχτής διαδικασίας όπου πήραν μέρος εκατοντάδες από τους καλύτερους κατασκευαστές παγκοσμίως για να το κατασκευάσουν. Επίσης αυτό το πρότυπο είναι ένα παγκόσμιο πρότυπο αφού το υποστηρίζει η IEEE καθώς και ο οργανισμός ETSI (Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων).

Η ομάδα του IEEE 802.16 δημιούργησε τρεις εργασιακές ομάδες ώστε να μπορέσουν να υλοποιήσουν την ανάπτυξη του προτύπου. Η πρώτη ομάδα που λεγόταν Task Group 1(TG1) δούλεψε στο φυσικό επίπεδο με στόχο να μπορέσουν να υποστηρίξουν συχνότητες από 10-66GHz. Η δεύτερη ομάδα Task Group 2(TG2) ήταν υπεύθυνη να αναπτύξει συστήματα που είχαν δημιουργηθεί με βάση το πρότυπο του TG1 μεταξύ των συχνοτήτων 23.5-43.5GHz. Επίσης είχαν να κάνουν με την ταυτόχρονη ύπαρξη σταθερών και ασύρματων δικτύων. Και τέλος στην τρίτη ομάδα Task Group 3(TG3) η εργασία που τους είχε ανατεθεί ήταν και αυτή στο φυσικό επίπεδο όμως για συχνότητες από 2 έως 11GHz όπου απαιτούν άδεια. Η ομάδα αυτή επίσης δημιούργησε και ένα νέο υποπρότυπο του 802.16 το 802.16a.

Η ανακάλυψη του WiMAX, βοήθησε αρκετά τους τεχνικούς δίνοντας τους μια άλλη εφεδρική λύση για να συνδέονται στο δίκτυο. Λόγω ότι οι ασύρματες τεχνολογίες έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια κάλυψης, χωρίς όμως να κοστίζει η τοποθέτησή τους, είναι φανερό ότι θα προκαλέσουν το ενδιαφέρον περισσότερων ανθρώπων με αποτέλεσμα να υπάρξει μεγάλη εξάπλωση του Διαδικτύου.

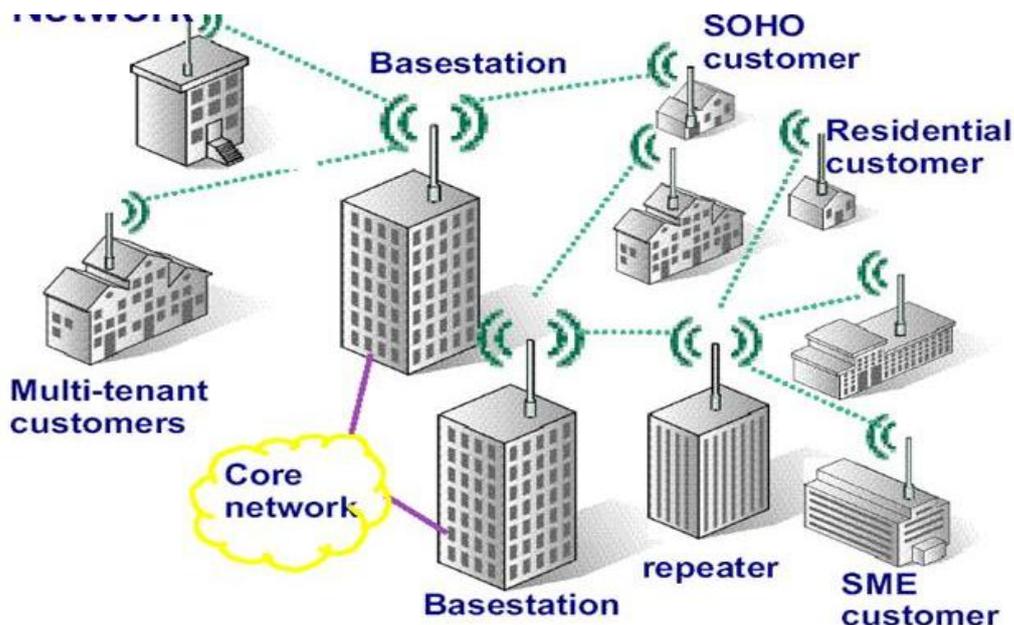
[5]

## 2.2 Τι είναι το WiMAX

Το WiMAX όπως προαναφέραμε είναι η εμπορική ονομασία του προτύπου 802.16. Είναι μια αμφίδρομη τεχνολογία (δηλαδή οι χρήστες έχουν ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη) που καλύπτει και την σταθερή και την κινητή ασύρματη σύνδεση με Point to Point και Point to Multipoint συνδεσιμότητα, δίχως να χρειάζεται μια άμεση γραμμική σύνδεσης με κάποιον σταθμό βάσης. Μπορεί να προσφέρει πρόσβαση σε σημεία που οι σταθμοί βάσης δεν έχουν απευθείας οπτική επαφή μεταξύ τους (NLOS επικοινωνία) με απόσταση κάλυψης έως 8χλμ, και 50χλμ όταν βρίσκεται σε LOS επικοινωνία με συχνότητες από 10-66GHz. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε κοινόχρηστους χώρους όσο και σε κατοικίες καθώς παρουσιάζει σημαντικά προτερήματα στην εγκατάσταση, την λειτουργία και στην χρήση του. Γενικά είναι μια διαφορετική και πρωτότυπη τεχνολογία εν συγκρίσει με όλες τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες.

Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών μηχανικών το 2003 αποδέχτηκε με μεγάλη προθυμία την χρήση του προτύπου αυτού για την εξάπλωση του ασύρματου δικτύου. Επίσης το ινστιτούτο αυτό είναι υπεύθυνο για την πιστοποίηση των WiMAX προϊόντων.

Η πρώτη φιλοδοξία των θαυμαστών και λατρών του WiMAX ήταν η τοποθέτηση πομποδεκτών σε ψιλά κτίρια ή σκεπές με απώτερο σκοπό να λειτουργήσουν σαν σταθμοί βάσης, οι οποίοι θα επικοινωνούσαν άμεσα με το Internet. Οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούσαν WiMAX τεχνολογία για την αμφίδρομη μεταφορά δεδομένων προς τις κεραιές των χρηστών, δημιουργώντας κατά αυτόν τον τρόπο ένα ασύρματο δίκτυο.



Εικόνα 3 Αρχική δημιουργία δικτύου

Στόχος της τεχνολογίας WiMAX είναι να καταφέρει να γίνει σε όλο τον κόσμο γνωστή και εύχρηστη. Άλλωστε είναι αναγνωρισμένη από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI), από το πρότυπο HiperMAN το οποίο παρέχει ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση στο Internet αλλά και την ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία WiBro. [5] [8] [12]

## 2.3 Υπό-πρότυπα του 802.16

Έτσι όπως συμβαίνει και με όλα τα πρότυπα του 802 έτσι και το 802.16 αποτελείται και από άλλα υπό πρότυπα που το καθένα είναι υπεύθυνο για συγκεκριμένες ρυθμίσεις. Τα βασικά οφέλη αυτού του

προτύπου είναι ότι μπορεί να παρέχει υπηρεσίες πάρα πολύ γρήγορα ακόμα και σε απομακρυσμένες και δύσβατες περιοχές, δεν έχει πολύ μεγάλο κόστος εγκατάστασης και προσφέρει ασφαλή μεταφορά δεδομένων. Τα πρώτα πρότυπα που δημιουργήθηκαν, σχεδιάστηκαν με κοινές προδιαγραφές όσον αφορά το MAC επίπεδο, αλλά και με προδιαγραφές για το Φυσικό Επίπεδο (PHY). Έτσι παρακάτω θα αναλύσουμε μερικά από αυτά.

### **2.3.1 IEEE 802.16-2001**

Αυτό το πρότυπο εκδόθηκε το 2002 και εγκρίθηκε ως WirelessMAN-SC IEEE 802.16-2001. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούσε κυμαίνονταν από 10 έως 66 GHz και η επικοινωνία των σταθμών ήτανε εφικτή μόνο όταν οι σταθμοί μπορούσαν να είχαν οπτική επαφή μεταξύ τους. Το εύρος των καναλιών κυμαίνεται στα 25 και 28MHz και ο ρυθμός φτάνει μέχρι τα 120 Mbps όταν το κανάλι είναι 25MHz. Όπως θα δούμε παρακάτω είναι από τα ξεπερασμένα πρότυπα και έχει αντικατασταθεί από άλλα.

### **2.3.2 IEEE 802.16c**

Το πρότυπο αυτό επικυρώθηκε τον Δεκέμβρη του 2002 αλλά δημοσιεύθηκε τον Ιανουάριο του 2003 και στην ουσία είχε κάποιες ενημερώσεις και διευκρινίσεις του αρχικού προτύπου. Οι συχνότητες του κυμαίνονταν και αυτές μεταξύ 10 και 66 GHz και απευθυνότανε σε ασύρματα δίκτυα που είχαν αδειοδοτημένες ζώνες.

### **2.3.3 IEEE 802.16a**

Αυτό το πρότυπο εκδόθηκε τον Απρίλιο του 2003 και έγινε λόγω της μεγάλης ανάγκης για επικοινωνία μεταξύ σταθμών που δεν βρίσκονταν σε οπτική επαφή μεταξύ τους Non-LOS (δηλαδή ο πομπός και ο δέκτης δεν είχαν οπτική επικοινωνία) και με ακτίνα κάλυψης από 4.8-8 χλμ. Έτσι κατάφεραν να αναπτύξουν ένα νέο πρότυπο, το 802.16a και οι συχνότητες που χρησιμοποιούσε ήτανε από 2-11 GHz και περιείχε και τις συχνότητες με ή χωρίς αδειοδότησης χρήσης τους. Τα πρώτα προϊόντα WiMAX που κυκλοφόρησαν στην αγορά στηρίζονταν κατά κύριο λόγο σε αυτό το πρότυπο.

### **2.3.4 IEEE 802.16d**

Λόγω σοβαρών προβλημάτων που αντιμετώπιζαν με τις ολοένα αυξημένες εφαρμογές που διαδίδονταν πάνω σε ένα ασύρματο δίκτυο, δημιουργήθηκε η ανάγκη για καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Έτσι αναπτύχθηκε αυτό το υποπρότυπο για συχνότητες από 2-11 GHz.

### **2.3.5 IEEE 802.16-2004**

Αυτό το πρότυπο είναι η βασική έκδοση ενσωματωμένη μαζί με τις παραπάνω εκδόσεις. Ανακοινώθηκε από την IEEE τον Ιούνιο του 2004 και αναφέρεται για σταθερές συνδέσεις με συχνότητες από 2 έως 66 GHz. Επίσης όταν ο χρήστης κινηθεί σε μια περιοχή που είναι εκτός περιοχής κάλυψης του σταθμού βάσης η σύνδεση χάνεται.

Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτού του προτύπου είναι τα εξής: Υποστηρίζει LOS και NLOS επικοινωνία, ο μέγιστος αριθμός μετάδοσης του είναι έως και 26,2 Mbit/s, η εμβέλεια πρόσβασης του είναι έως και 30χλμ, χρησιμοποιεί την τεχνική πολύπλεξη OFDM καθώς και την αμφίδρομη τεχνική

μετάδοσης TDD και FDD όπου στην πρώτη γίνεται διαχωρισμός του χρόνου και στην δεύτερη διαχωρισμός της συχνότητας και τέλος υποστηρίζει διαμόρφωση BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM.

### **2.3.6 IEEE 802.16e ή 802.16-2005**

Αυτό είναι το πιο καινούργιο πρότυπο και εκδόθηκε τον Δεκέμβριο του 2005. Χρησιμοποιείται για συχνότητες 2-6 GHz και είναι κατάλληλο για κινητή και σταθερή σύνδεση δηλαδή επιτρέπει στους χρήστες να κινούνται από τον έναν σταθμό βάσης σε άλλον (mobile WiMAX). Επειδή σε αυτό το πρότυπο χρησιμοποιήθηκαν πιο εξελιγμένα συστήματα και εξοπλισμοί (όπως πιο εξελιγμένες κεραιές) βοήθησε αρκετά στο να βελτιωθεί η εμβέλεια πρόσβασης που φτάνει από 8-16χλμ. Επίσης και αυτό το πρότυπο υποστηρίζει LOS και NLOS επικοινωνία και χρησιμοποιεί την τεχνική αμφίδρομης μετάδοσης TDD καθώς και την τεχνική πολύπλεξης OFDM, SOFDMA. Η αρχική διάθεση του προτύπου στο κοινό αφορά συγκεκριμένα εύρη καναλιών τα οποία είναι 5, 7, 8.75, 10 που έχουν παρακάτω τις αδειοδοτημένες συχνότητες 2.3, 2.5, 3.5. Τέλος ο ρυθμός downlink μπορεί να φτάσει μέχρι 63 Mbps καθώς και ο ρυθμός uplink μπορεί να φτάσει μέχρι 28Mbps σε κανάλι που έχει εύρος 10 MHz.[5] [8] [9] [10] [12]

## **2.4 Επιλογές φάσματος για την ασύρματη ευρυζωνικότητα**

Η διαθεσιμότητα του φάσματος συχνοτήτων είναι σημαντική για την παροχή ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών. Όταν σχεδιάζεται ένα ασύρματο δίκτυο WiMAX υπάρχει η δυνατότητα να επιλέξουν σε ποια ζώνη συχνοτήτων θα εκπέμπει, δηλαδή εάν θα είναι σε αδειοδοτημένη ή μη αδειοδοτημένη. Υπάρχουν αρκετές ζώνες συχνοτήτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση του WiMAX. Κάθε ζώνη έχει μοναδικά χαρακτηριστικά που παίζουν σημαντικό ρόλο στις επιδόσεις του συστήματος. Η λειτουργική ζώνη συχνοτήτων συχνά υπαγορεύει θεμελιώδεις περιορισμούς στους επιτεύξιμους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και στην έκταση της κάλυψης. Αν σκεφτούμε τις συνθήκες σε όλο τον κόσμο, οι ζώνες 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,5GHz και 5,7 GHz είναι πιο κοντά στις υλοποιήσεις του WiMAX. Το WiMAX Forum προσδιόρισε αυτές τις ζώνες για τα αρχικά πιστοποιητικά διαλειτουργικότητας.

Η αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων χρησιμοποιεί συχνότητες των 2.5 GHz και των 3.5 GHz. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της ζώνης είναι ότι προστατεύεται από παρεμβολές που θα μπορούσαν να προκαλέσουν άλλοι ασύρματοι πάροχοι. Όμως για να γίνει αυτό εφικτό πρέπει να ακολουθήσει μια διαδικασία χορήγησης άδειας όπου μπορεί να διαρκέσει αρκετά και να είναι εξαιρετικά ακριβή. Επίσης αυτή η ζώνη συχνοτήτων παρέχει καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) και είναι ιδανική για point-to-multipoint εφαρμογές καθώς και ευρείας κάλυψης.

Η μη αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων χρησιμοποιεί συχνότητες των 5.8 GHz. Παρόλο που σε αυτό το είδος ζώνης οι παρεμβολές από άλλους παρόχους είναι πολύ συχνές, αρκετοί την προτιμούν διότι δεν έχει μεγάλο κόστος και οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να την θέσουν σε χρήση άμεσα. Οι μη αδειοδοτημένες συχνότητες παρέχονται κυρίως σε περιοχές που είναι αραιοκατοικημένες διότι δεν υπάρχει μεγάλος αριθμός παρόχων, σχεδιάζοντας όμως κατάλληλα το δίκτυο. Έτσι κάνοντας και συντονισμό της συχνότητας των χειριστών, καταφέρνουν να μειώνουν τις παρεμβολές αρκετά. Τέλος αυτές οι ζώνες είναι κατάλληλες για point-to-point εφαρμογές που έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους ή και point-to-multipoint εφαρμογές σε αγροτικές περιοχές ή ακόμα και σε πόλεις και γενικά οπουδήποτε μπορούν να ελέγξουν την παρεμβολή. Παρακάτω τις αναλύουμε εκτενέστερα.

### **2.4.1 Ζώνη με άδεια 2,5 GHz**

Οι ζώνες μεταξύ 2,5 GHz και 2,7 GHz έχουν κατανεμηθεί στις Η.Π.Α, στον Καναδά, στο Μεξικό, στην Βραζιλία και σε μερικές χώρες της νοτιοανατολικής Ασίας. Σε αρκετές χώρες, αυτή η ζώνη περιορίζεται σε σταθερές εφαρμογές, ενώ σε κάποιες άλλες δεν επιτρέπεται η αμφίδρομη επικοινωνία. Η FCC επέτρεψε τις αμφίδρομες εκπομπές σε αυτή την ζώνη το 1998 και το 2004 οργάνωσε ξανά το πλάνο των καναλιών. Αυτή η ζώνη αλλιώς ονομάζεται και ζώνη ευρυζωνικών υπηρεσιών ραδιοσήματος (BRS) παλιότερα ονομαζόταν και MMDS. Η ζώνη BRS έχει πλέον 19 MHz, συμπεριλαμβανομένων ζωνών ασφαλείας και καναλιών MDS (υπηρεσίες διανομής πολλαπλών σημείων) τα οποία διατίθενται στις Η.Π.Α στο διάστημα από 2.495 GHz έως 2.690 GHz. Οι κανονισμοί επιτρέπουν διάφορες υπηρεσίες, όπως σταθερές, κινητές και φορητές. Επιτρέπονται και οι δυο λειτουργίες FDD και TDD. Οι άδειες εκδίδονται για οκτώ τμήματα των 22.5 MHz ενώ ένα κομμάτι 16,5 MHz συνδυάζεται με ένα κομμάτι 6 MHz με το κενό διάστημα μεταξύ των δύο μπλοκ να ποικίλει από 10 MHz μέχρι 55 MHz.

### **2.4.2 Ζώνη με άδεια 2,3 GHz**

Αυτή η ζώνη στις Η.Π.Α ονομάζεται και WCS και διατίθεται και σε κάποιες άλλες χώρες όπως για παράδειγμα η Αυστραλία, η Νότια Κορέα και η Νέα Ζηλανδία. Στις Η.Π.Α αυτή η ζώνη περιλαμβάνει δυο συνδυασμένες ζώνες 5 MHz και δυο μη συνδυασμένες ζώνες 5 MHz στο διάστημα μεταξύ 2,305 GHz και 2,320 GHz και μεταξύ 2,345 GHz και 2,360 GHz. Ένας σημαντικός περιορισμός σε αυτό το φάσμα είναι οι αυστηρές απαιτήσεις εκπομπής εκτός ζώνης που επιβάλλονται από την FCC προκειμένου να προστατεύσει την γειτονική ζώνη DARS (υπηρεσίες ψηφιακού ήχου και ραδιοφώνου) στο διάστημα 2,320 GHz μέχρι 2,345 GHz.

### **2.4.3 Ζώνη με άδεια 3,5 GHz**

Αυτή είναι η κύρια ζώνη που δεσμεύεται για σταθερή ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε αρκετές χώρες σε όλο τον κόσμο με την σημαντική εξαίρεση των Η.Π.Α. Στις Η.Π.Α η πρόσφατα διένειμε 50 MHz φάσματος στη ζώνη από 3,65 GHz μέχρι 3,70 GHz. Διεθνώς η δεσμευμένη ζώνη βρίσκεται στην περιοχή 3,4 GHz μέχρι 3,6 GHz με κάποια νεότερη διανομή από 3,3 GHz μέχρι 3,4 GHz και από 3,6 GHz μέχρι 3,8 GHz. Το διαθέσιμο εύρος ζώνης αλλάζει από χώρα σε χώρα αλλά γενικά κυμαίνεται περίπου στα 200 MHz. Η διαθέσιμη ζώνη συνήθως χωρίζεται σε πολλές ξεχωριστές άδειες από 2\*5 MHz μέχρι και 2\*56 MHz.

### **2.4.4 Ελεύθερη ζώνη 5 GHz**

Η ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων από 5,25 GHz μέχρι 5,85 GHz παρουσιάζει ενδιαφέρον για το WiMAX. Αυτή η ζώνη είναι διαθέσιμη παγκοσμίως. Στις Η.Π.Α αποτελεί μέρος της ζώνης ελεύθερης εθνικής υποδομής πληροφοριών (U-NII) και διατίθενται 200 MHz φάσματος για εξωτερική χρήση. Επιπλέον 255 MHz φάσματος σε αυτή την ζώνη έχουν αναγνωριστεί από την FCC για μελλοντική ελεύθερη χρήση. Καθώς θα είναι ελεύθερη για όλους, αυτή η ζώνη προσφέρει για την αρχή υλοποιήσεων WiMAX, ειδικά σε μη προνομιούχες, αραιοκατοικημένες αγροτικές και απομακρυσμένες αγορές. Το μεγάλο εύρος ζώνης που διατίθεται μπορεί να δώσει στις εταιρίες τη δυνατότητα να συντονίζουν τις συχνότητες και να μετριάσουν τις παρεμβολές που προκαλούν ανησυχία για τη χρήση των ελεύθερων ζωνών, ιδιαίτερα στις προνομιούχες αγορές. Η σχετικά υψηλή συχνότητα σε συνδυασμό με τους περιορισμούς ισχύος σε αυτή τη ζώνη είναι ένα γεγονός που δυσκολεύει αρκετά την παροχή υπηρεσιών. Μέσα σε αυτή τη ζώνη, το ανώτερο τμήμα 5,725 GHz μέχρι 5,850 GHz είναι πιο ελκυστικό στο WiMAX

## 2.4.5 Άλλες ζώνες

Αν και οι ζώνες 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,5 GHz και 5,7 GHz είναι πιο ελκυστικές για το WiMAX υπάρχουν και κάποιες άλλες ζώνες θα μπορούσαν να δεχτούν μελλοντικές υλοποιήσεις του WiMAX. Παράδειγμα αυτών είναι οι ζώνες UHF (υπερύψηλη συχνότητα) και AWS.

### a) ΖΩΝΕΣ UHF

Σε όλο τον κόσμο, καθώς οι τηλεοπτικοί σταθμοί μεταφέρονται από το αναλογικό στο ψηφιακό σήμα, θα διατεθεί ένα μεγάλο κομμάτι του φάσματος κάτω τον 800 MHz. Για παράδειγμα στις Η.Π.Α, η FCC προσδιόρισε τη ζώνη συχνοτήτων 698 MHz μέχρι 746 MHz ότι θα είναι αυτή που θα εκκενωθεί από τα κανάλια αφού αυτά προτιμούν την ψηφιακή τηλεόραση. Από αυτές τις ζώνες 18 MHz του φάσματος έχουν ήδη δημοπρατηθεί. Η FCC έχει ήδη αρχίσει να μελετά την πιθανότητα να μοιράσει το μεγαλύτερο μέρος του φάσματος στις ζώνες που βρίσκονται κάτω των 700 MHz. Το φάσμα της ζώνης UHF έχει άριστα χαρακτηριστικά μετάδοσης σε σχέση με κάποιες άλλες ζώνες και αυτό είναι αρκετά θετικό τόσο για τις φορητές όσο και για τις κινητές υπηρεσίες.

### b) ΖΩΝΕΣ AWS

Τον Αύγουστο του 2006 η FCC δημοπράτησε την ζώνη 1,710 GHz μέχρι 1,755 GHz σε συνδυασμό με τη ζώνη 2,110 GHz μέχρι 2,155 GHz ως φάσμα για τις ασύρματες υπηρεσίες στις Η.Π.Α. Αυτή η ζώνη προσφέρει 90 MHz φάσματος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από το WiMAX μελλοντικά. [8]

# 3

## WiMAX Forum

### 3.1 Σύσταση WiMAX Forum

Το WiMAX ή Worldwide Interoperability for Microwave Access forum ιδρύθηκε το 2003 από διάφορες κατασκευαστικές εταιρείες και από εταιρίες που προσφέρουν τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Ιδρυτικά μέλη του Forum αυτού είναι μερικές από τις σημαντικότερες και γνωστότερες εταιρίες που προσφέρουν υπηρεσίες που αφορούν τις τηλεπικοινωνίες και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Η Intel η Motorola και η Samsung είναι μερικές από αυτές τις εταιρίες. Συγκεκριμένα η Intel και η Motorola τον Οκτώβριο του 2005 ανακοίνωσε την υιοθέτηση του κινητού WiMAX που στηρίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16e για υπηρεσίες τόσο σταθερές όσο και ασύρματες. Επίσης αρκετά σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι το Forum αυτό είναι μια μη κερδοσκοπική οργάνωση παρόλο που κατευθύνεται από την βιομηχανία.



Το WiMAX Forum έχει περισσότερα από 500 μέλη που συμπεριλαμβάνουν την πλειοψηφία των εταιριών πελατών, παροχής υπηρεσιών- δικτύου, κατασκευαστές ημιαγωγών και ηλεκτρονικών υπομονάδων. Παραδείγματα αυτών αποτελούν οι κάτωθι εταιρίες: Motorola, Nokia, British Telecom, Sony, Panasonic, Vodafone, Ericsson, Cisco, Alcatel, AT & T, Fujitsu, Intel, Nortel, SBC κτλ, καθώς και τεχνολογικά ιδρύματα όπως το Τ.Ε.Ι Αθηνών και άλλα. Στα μέλη επίσης παρέχεται ένα ευρύ φάσμα από υπηρεσίες και διάφορες παροχές έτσι ώστε να έχουν ερεθίσματα για να δραστηριοποιηθούν και να πουλήσουν περισσότερες υπηρεσίες και εξοπλισμό στους πελάτες.[1] [11]

### **3.2 Απώτερος σκοπός του WiMAX Forum**

Σκοπός του είναι να υποστηρίξει, να πιστοποιήσει και να προωθήσει σε όλο τον κόσμο τις WiMAX τεχνολογίες, λειτουργώντας με τον τρόπο που καθορίζουν τα πρότυπα IEEE 802.16 και HiperMAN του ETSI για τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα. Αυτές οι τεχνολογίες προωθούνται στην αγορά για να υποστηρίξουν υπηρεσίες φορητών, σταθερών και κινητών εφαρμογών.

Ο κύριος όμως σκοπός του WiMAX Forum είναι να δημιουργήσει τα standard πιστοποίησης αυτών των εφαρμογών με την προϋπόθεση να ικανοποιούν τις ανάγκες των πελατών και να συμφωνούν με τους νόμους. Φυσικά στον παραπάνω στόχο έρχεται να προστεθεί η βελτιστοποίηση της ταχύτητας και του κόστους παραγωγής των προϊόντων WiMAX. Για αυτό το λόγο το WiMAX Forum συμπεριλαμβάνει στις δραστηριότητες του την παρακολούθηση αλλά και την προώθηση των WiMAX προϊόντων. [5] [12]

### **3.3 Προγράμματα πιστοποίησης**

Το πρόγραμμα πιστοποίησης ή αλλιώς WiMAX Forum Certified <sup>TM</sup> όπως είναι ευρέα διαδεδομένο λειτούργησε για πρώτη φορά το 2005 και πετυχαίνει τη σύνδεση και στην σωστή λειτουργία μεταξύ όλων των προϊόντων που χρησιμοποιούν την τεχνολογία WiMAX. Τα πρώτα προϊόντα που έκαναν την εμφάνιση τους τον Ιανουάριο του 2006, είχαν πιστοποιηθεί με βάση το πρότυπο IEEE 802.16-2004 και αφορούσαν σταθερά συστήματα. Ενώ τα προϊόντα που είχαν πιστοποιηθεί και αφορούσαν κινητά συστήματα έκαναν την εμφάνιση τους ένα χρόνο αργότερα δηλαδή το 2007.

Ένα προϊόν WiMAX πληροί όλες τις προϋποθέσεις ώστε να προωθηθεί έξω στην αγορά, όταν έχει ελεγχθεί ο εξοπλισμός του σύμφωνα με τα προφίλ του συστήματος που είναι οι διάφορες εκδόσεις των προτύπων IEEE 802.16 και του ETSI HiperMAN και τα προφίλ πιστοποίησης.

### 3.4 Διαδικασία πιστοποίησης

Το μέλος Ανωτέρου Επιπέδου καταθέτει μέσω Internet μια αίτηση, διαλέγει όποιο πιστοποιημένο εργαστήριο επιθυμεί, διαφορετικά εάν θέλει διαλέγει κάποιον φορέα που παρέχει πιστοποιήσεις και πληρώνει μια εγγύηση για την κράτηση. Εάν χρειαστεί η επαναπιστοποίηση ή χρήση κάποιας παλιάς πιστοποιημένης μονάδας, ο φορέα αποφασίζει εάν θα επανεξετάσει την αίτηση.

Υπάρχει και το Συμβούλιο Πιστοποίησης το οποίο απαρτίζεται από ιδιώτες που διερευνούν και πιστοποιούν όλα τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ελέγχων και αποφαίνονται για την πιστοποίηση σύμφωνα με τις πραγματικές βεβαιώσεις που τους δίνονται.

Επιπλέον, η διαδικασία αυτή απαρτίζεται από τρεις τύπους ελέγχου για:

- τη συμμόρφωση το οποίο αφορά μόνο το στρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC layer)
- τη συμμόρφωση του ασύρματου καναλιού στις προδιαγραφές του συστήματος το οποίο αφορά μόνο το φυσικό στρώμα (PHY layer)
- την διαλειτουργικότητα των συσκευών τόσο του τελικού χρήστη όσο και των παρόχων



Εικόνα 5 Σήμα πιστοποίησης

### 3.5 Επιλογή WiMAX Forum

Ένας πάροχος δικτύου ή ένας κατασκευαστής έχει πάρα πολλούς λόγους για να επιλέξει ένα πιστοποιημένο προϊόν από το WiMAX Forum. Συγκεκριμένα ένας πάροχος δικτύου έχει την δυνατότητα να επιλέξει εξοπλισμό από διάφορους κατασκευαστές έτσι λόγω ανταγωνισμού υπάρχει μείωση τιμών και επίσης όταν γίνεται χρήση πιστοποιημένων προϊόντων τους δίνεται η δυνατότητα να εγκαθιστούν καινούργιο εξοπλισμό χωρίς να χρειάζεται να κάνουν κατάργηση του παλιού.

Επιπλέον τα οφέλη που έχει ένας κατασκευαστής είναι ότι από την στιγμή που το προϊόν περνάει από έλεγχο διαλειτουργικότητας θα είναι πιο εύκολο να επιλυθεί ένα πρόβλημα εάν υπάρξει. Και τέλος θα μπορεί να έχει πρόσβαση σε ευρύτερη αγορά λόγω των χαμηλών τιμών, του αυξημένου ανταγωνισμού και των πολλών παροχών που προσφέρει στους παρόχους δικτύων του.

### **3.6 Κοστολόγηση πιστοποίησης**

Η κοστολόγηση της πιστοποίησης είναι το συνολικό άθροισμα της τιμής που έχει αποφασίσει το εργαστήριο και της τιμής που έχει δώσει ο φορέας πιστοποίησης και της τιμής της άδειας του WiMAX Forum.

### **3.7 Ομάδες εργασίας**

Για να πετύχει όμως όλους τους υψηλούς στόχους που έχει θέσει από μόνο του το WiMAX Forum αλλά και για να μπορέσει να εφοδιάζει την αγορά με πιστοποιημένα προϊόντα, έχει δημιουργήσει ένα σύνολο από ομάδες (Group) όπου θα τις αναλύσουμε στην συνέχεια.

#### **3.7.1 Application Working Group (AWG)**

Η Ομάδα Εργασίας Εφαρμογών καταπιάνεται με την έρευνα για την διάθεση εφαρμογών που πρόσκεινται φιλικά στον χρήστη. Επιτυγχάνει τον ανταγωνισμό μεταξύ των εφαρμογών μιας και έχουν φτιαχτεί με την τελευταία λέξη της τεχνολογίας.

#### **3.7.2 Certification Working Group (CWG)**

Η ομάδα πιστοποίησης εργασίας ασχολείται με την επίβλεψη και επιλογή των αρτιότερων εργαστηρίων πιστοποίησης καθώς και των πρακτικών που εφαρμόζονται σε αυτά. Στόχος του είναι να διασφαλίσει ότι τα προϊόντα πιστοποιούνται με τις υψηλότερες προδιαγραφές.

#### **3.7.3 Global Roaming Working Group (GRWG)**

Η Παγκόσμια Ομάδα Εργασίας για την περιαγωγή επιβεβαιώνει την παροχή υπηρεσιών περιαγωγής WiMAX παγκοσμίως με κύριο στόχο να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις της αγοράς.

#### **3.7.4 Marketing Working Group (MWG)**

Η ομάδα Εργασίας Marketing καθοδηγεί παγκοσμίως την αναγνώριση των δικτύων και των προϊόντων WiMAX ανεξαρτήτου χρόνου και χώρου.

#### **3.7.5 Network Working Group (NWG)**

Η ομάδα εργασίας για το δίκτυο θεωρείται ως ο τεχνικός τομέας του WiMAX forum. Στόχος του η διασφάλιση διασυνδεσιμότητας και συμβατότητας WiMAX συστημάτων. Με βάση το standard 802.16 της IEEE προσπαθεί να επεκτείνει τις δυνατότητες των WiMAX συστημάτων αλλά και να εναρμονίσει τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά με τις απαιτήσεις που θέτει το Service Provider Working Group (SPWG) καθώς και των υπολοίπων εμπλεκόμενων οργανισμών.

#### **3.7.6 Regulatory Working Group (RWG)**

Η ομάδα εργασίας για τις ρυθμίσεις προωθεί σε όλο τον κόσμο την πρόσβαση ανάλογα με την απαίτηση της εφαρμογής στο τηλεπικοινωνιακό φάσμα. Αυτό γίνεται πάντα σε αντιστοιχία με τις οικονομικές υπαγορεύσεις της αγοράς φάσματος. Προσπαθεί να δημιουργήσει γενικά πρότυπα βασισμένα σε πρωταρχικές τεχνολογικές αρχές. Έτσι ο πάροχος υπηρεσιών θα μπορεί να

προσαρμόσει το προϊόν στις ανάγκες της αγοράς στην οποία και απευθύνεται. Για τον λόγο αυτό το RWG αποτελεί την κεντρική αρχή διαχείρισης φάσματος και κανονισμών του WiMAX .

### **3.7.7 Service Provider Working Group (SPWG)**

Η ομάδα εργασίας για την παροχή υπηρεσιών Διαχειρίζεται πληροφορία που προέρχεται από τους παρόχους υπηρεσιών WiMAX και την διοχετεύει στα υπόλοιπα working group. Όλα τα μέλη του WiMAX forum μπορούν να συμμετέχουν σε αυτό το working group. Αποτελεί κύρια πηγή άντλησης δεδομένων από τους παρόχους υπηρεσιών για την βελτιστοποίηση της τυποποίησης των προϊόντων WiMAX

### **3.7.8 Technical Working Group (TWG)**

Η τεχνική ομάδα εργασίας δημιουργεί τις τεχνικές προδιαγραφές των προϊόντων. Περάνει τα προϊόντα από δοκιμές που αφορούν την πιστοποίηση τους. Οι δοκιμές αυτές βασίζονται στη διαμόρφωση OFDMA το οποίο είναι ενσωματωμένο στο πρότυπο IEEE.802.16 και έχει ως σκοπό την σωστή λειτουργία και την πιστοποίηση όλων των σταθμών είτε κινητών, είτε συνδρομητικών είτε βάσης που ταιριάζουν στο πρότυπο αυτό. [10] [11]

# 4

## **Τεχνικό υπόβαθρο WiMAX**

### **4.1 Εισαγωγή**

Η ευρέα χρήση της τεχνολογίας WiMAX και η ταχύτατη μετάδοσή της οφείλονται κυρίως στο μεγάλο πλεονέκτημά της το οποίο είναι η παροχή σύνδεση στο διαδίκτυο σε πολύ υψηλές ταχύτητες δεδομένων ανεξαρτήτου απόστασης. Αυτή η ικανότητα των δικτύων WiMAX βασίζεται σε μια ομάδα καινοτόμων τεχνικών χαρακτηριστικών. Έτσι λοιπόν σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία καθιστούν την συγκεκριμένη τεχνολογία μοναδική.

### **4.2 Διαμόρφωση OFDM και το φαινόμενο ISI**

Το φυσικό επίπεδο του WiMAX βασίζεται στην τεχνική πολύπλεξης OFDM. Η OFDM χωρίζει το διαθέσιμο φάσμα του καναλιού σε περισσότερα υποκανάλια και μπορεί και στέλνει ταυτόχρονα πολλά διαμορφωμένα ραδιοσήματα στις διπλανές συχνότητες.(Αλεξόπουλος, Α., Λαγογιάννης , Γ., 2010). Αυτή η διαδικασία αναπτύχθηκε για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα που υπήρχε στις ασύρματες επικοινωνίες δηλαδή την παραμόρφωση της επικοινωνίας σε περιβάλλον NLOS. Συγκεκριμένα αυτό το πρόβλημα δημιουργείται όταν το σήμα που στέλνει ο πομπός φθάνει στον δέκτη με πολλαπλότητα(και περνάει από διαφορετικές διαδρομές άρα φτάνει καθυστερημένο από το

άμεσο σήμα) από τις αντανακλάσεις που γίνονται σε κτίρια και άλλα εμπόδια. Έτσι η OFDM καταφέρνει να συνυπάρχει πολλούς φορείς ραδιοσυχνοτήτων στριμωγμένους μεταξύ τους σε ορθογώνια διάταξη, έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται το φάσμα καλύτερα και να μπορεί να αντιμετωπίσει τις παρεμβολές. Επίσης μπορούμε να την χαρακτηρίσουμε ως ένα τρόπο όπου μεταδίδονται δεδομένα, βίντεο, multimedia εφαρμογές με υψηλό ρυθμό μετάδοσης. Η συγκεκριμένη διαμόρφωση ανήκει σε μια ομάδα διαμορφώσεων μετάδοσης, οι οποίες είναι γνωστές ως διαμορφώσεις πολλαπλών φερόντων (multicarrier modulation), και βασίζονται στην ιδέα ότι ένα υψηλού ρυθμού μετάδοσης bit διαιρείται σε δύο χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης οι οποίοι ονομάζονται υποφορείς. [12]

Η διαμόρφωση αυτή μειώνει αισθητά την ύπαρξη του φαινομένου ISI και αυτό πραγματοποιείται διότι απαιτεί να υπάρχει συγχρονισμός ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη. Εάν δεν υπάρχει συγχρονισμός τότε δεν υπάρχουν και ορθογώνιες συχνότητες και αυτό εμφανίζει το πρόβλημα των διασυμβολικών παρεμβολών γνωστό και ως ISI. Η μη ύπαρξη συγχρονισμού μπορεί να προέλθει από την μετακίνηση του πομπού ή του δέκτη λόγω του φαινομένου Doppler. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι τα συστήματα που έχουν αρκετά υψηλό ρυθμό μετάδοσης με μικρή διάρκεια συμβόλων, η ροή των δεδομένων διαιρείται σε πολλές παράλληλες ροές μεγαλώνοντας κατά αυτών των τρόπο την διάρκεια κάθε ροής έτσι ώστε η καθυστέρηση διάδοσης να είναι μόνο ένα μικρό μέρος της διάρκειας των συμβόλων.

Η OFDM κάνει πολύ καλή χρήση του φάσματος και αυτό πραγματοποιείται διότι όλα τα υποκανάλια είναι αυστηρά ορθογωνικά κατά την διάρκεια των συμβόλων και έτσι δεν επικαλύπτει το ένα το άλλο με αποτέλεσμα να μην υπάρξει το φαινόμενο ISI στο οποίο έχουμε προαναφερθεί. Αλλά ακόμα και αν υπάρξει πρόβλημα και κάποιος υποφορέας πέσει πάνω σε κάποιο άλλο, ο δέκτης μπορεί να τα ξεχωρίσει από την ορθογωνικότητα που υπάρχει μεταξύ τους. Αυτό υλοποιείται με την χρήση του μετασχηματισμού Fourier καθώς και με τον αντίστροφο του Inverse Fast Fourier Transform. Οι μετασχηματισμοί αυτοί αντιστοιχίζουν τα δεδομένα στα υποκανάλια τα οποία είναι ορθογωνικά.

Η χρήση του μετασχηματισμού Fourier θα πρέπει να γίνεται με μέτρο, διότι επιβάλλεται η εξισορρόπηση μεταξύ της ασφάλειας και του φαινομένου ISI, της μετατόπισης Doppler, του κόστους σχεδιασμού καθώς και της πολυπλοκότητας του. [8]

#### **4.2.1 Πλεονεκτήματα OFDM διαμόρφωσης**

Έχει αρκετά πλεονεκτήματα εν συγκρίσει με άλλες λύσεις για μετάδοση σε υψηλές ταχύτητες. Μπορεί να υλοποιηθεί εύκολα χρησιμοποιώντας FFT ή IFFT. Αυτό την βοηθάει στην χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν σύστημα πολλαπλής πρόσβασης, στο κινητό WiMAX. Είναι ανθεκτική στις παρεμβολές σε συγκεκριμένο εύρος ζώνης και είναι εύκολο να γίνει εκτίμηση καναλιού στο σύστημα αυτό μιας και υπάρχει ένα πιλοτικό σύστημα. Επιπλέον η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος υποβαθμίζεται σταδιακά όταν η εξάπλωση της καθυστέρησης ξεπερνάει την τιμή για την οποία έχει σχεδιαστεί.

#### **4.2.2 Παράμετροι OFDM διαμόρφωσης WIMAX**

Για το σταθερό WiMAX το μέγεθος FFT είναι σταθερό στα 256 από τα οποία οι 192 υποφορείς χρησιμοποιούνται για την μεταφορά δεδομένων και τα υπόλοιπα 8 είναι υποφορείς -πιλότοι για εκτίμηση καναλιού και συγχρονισμό ενώ τα υπόλοιπα εναπομείναντα χρησιμοποιούνται σαν υποφορείς για τη φύλαξη ζώνης. Το μέγεθος των FFT είναι σταθερό οπότε η απόσταση ανάμεσα στους υποφορείς είναι διαφορετική και σχετίζεται με το εύρος ζώνης του καναλιού.

Στο κινητό WiMAX το μέγεθος FFT αυξάνεται σταδιακά από 128 μέχρι 2.048. Όταν το διαθέσιμο εύρος ζώνης αυξάνεται τότε και το μέγεθος FFT, διότι πρέπει η απόσταση ανάμεσα στους υποφορείς να είναι πάντοτε 10,94 kHz . Κατά αυτόν τον τρόπο η διάρκεια του OFDM που είναι η βασική μονάδα πόρου, διατηρείται σταθερή και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει χαμηλό κόστος.

### 4.2.3 Διαχωρισμός σε κανάλια

Οι υποφορείς μπορούν να χωριστούν σε πολλές ομάδες υποφορέων επωνομαζόμενων ως υποκανάλια. Όσο αναφορά το σταθερό WiMAX στο φυσικό επίπεδο ο διαχωρισμός αυτός πραγματοποιείται μόνο στην ανοδική ζεύξη uplink δηλαδή στην αποστολή δεδομένων. Υπάρχουν 16 υποκανάλια εκ των οποίων όλα ή ένα μέρος αυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον συνδρομητή σταθμό και μόνο για ανοδική ζεύξη. Η παραπάνω διαδικασία παρέχει την δυνατότητα στους σταθμούς συνδρομητών να κάνουν μετάδοση χρησιμοποιώντας μόνο το 1/16 του εύρους ζώνης που οριστεί σε αυτούς από τον σταθμό βάσης.

Αντίθετα το κινητό WiMAX ο διαχωρισμός των καναλιών πραγματοποιείται και στην ανοδική αλλά και στην καθοδική ζεύξη. Άρα λοιπόν καταλαβαίνουμε ότι διαφορετικά υποκανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διαφορετικούς χρήστες και έτσι να δημιουργηθεί ένας μηχανισμός πολλαπλής πρόσβασης.

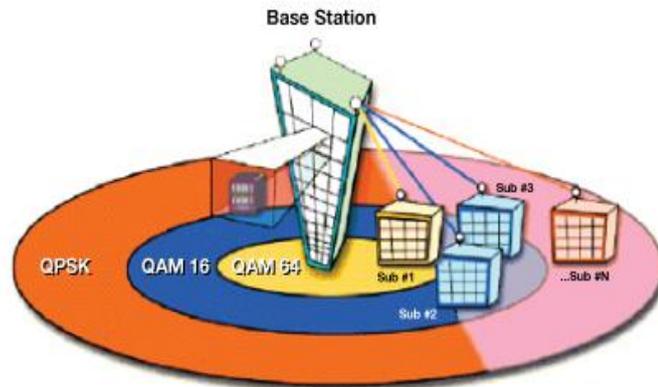
## 4.3 Προσαρμοστική διαμόρφωση στο WiMAX

Το WiMAX χρησιμοποιεί αρκετά συστήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίηση που επιτρέπει σε κάθε σύστημα να αλλάξει, ανάλογα με τις συνθήκες των καναλιών. Συγκεκριμένα οι διαμορφώσεις που χρησιμοποιεί το WiMAX είναι BPSK, QPSK και QAM των 16 ή 64 ή 256 σημείων και μπορεί να συνδυάζει 52 συνδυασμούς συστημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Σε κάθε διαμόρφωση στο κάθε σύμβολο κωδικοποιείται διαφορετικός αριθμός από bits. Όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός των bits ανά σύμβολο τόσο πιο υψηλή είναι και η ρυθμοαπόδοση αλλά και η απόδοση φάσματος που πετυχαίνεται στο κανάλι. Ωστόσο αν υπάρχουν πολλές και κατά συνέπεια και διαφορετικές εμφανίσεις του φέροντος, ο δέκτης δυσκολεύεται να αποφασίσει για ποια συγκεκριμένη εμφάνιση πρόκειται. Αυτό γίνεται διότι η διαφορά ανάμεσα στις εμφανίσεις είναι αμελητέα λόγω των παρεμβολών και των μη ιδανικών συνθηκών διάδοσης. Όμως εάν οι συνθήκες διάδοσης του καναλιού κατά προσέγγιση φτάσουν τις ιδανικές που είναι η αύξηση του σηματοθορυβικού λόγου (SNR) στο δέκτη το ενδεχόμενο της λάθους λήψης μπορεί να μειωθεί αισθητά. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται η κατάλληλη διαμόρφωση ανάλογα με τον σηματοθορυβικού λόγο στο δέκτη. Αυτό ακριβώς το γεγονός ονομάζεται προσαρμοστική διαμόρφωση.

Με αυτές τις διαμορφώσεις το WiMAX καταφέρνει να αξιοποιεί πολύ καλά το φάσμα του καναλιού και έτσι προσφέρει καλύτερη φασματική απόδοση. Συγκεκριμένα μπορεί να μεταφέρει μέχρι και 100Mbps ανά κανάλι των 20MHz σε αντίθεση με το WiFi που μπορεί μόνο 56MHz.

Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του 802.16e είναι ότι μπορεί να επιλέγει αυτόματα την διαμόρφωση που χρειάζεται ανάλογα με την ποιότητα και πόσος θόρυβος υπάρχει, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτική μετάδοση. Συγκεκριμένα όταν ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι μικρός προτιμούνται οι απλές διαμορφώσεις λόγω μεγάλης αντοχής στον υψηλό θόρυβο, ενώ όταν ο λόγος

σήματος προς θόρυβο είναι μεγάλος προτιμούνται οι περίπλοκες διαμορφώσεις.



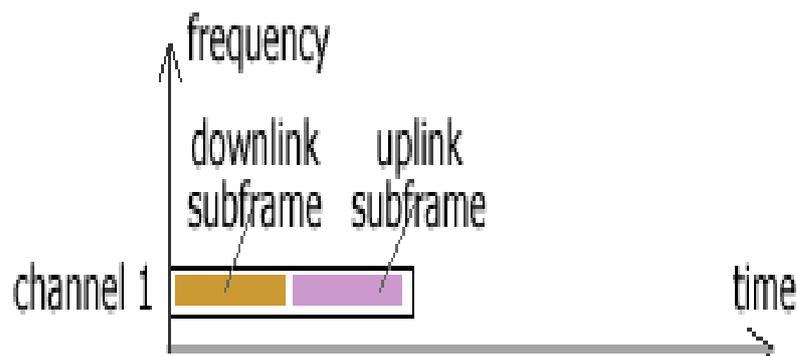
Εικόνα 6 Προσαρμοστική διαμόρφωση

#### 4.4 Τρόποι ρυθμού μετάδοσης δεδομένων

Το σύστημα WiMAX είναι ένα σύστημα Full-Duplex (δηλαδή διπλής όψης) που σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να στέλνουν και να λαμβάνουν ταυτόχρονα ώστε να εκμεταλλεύονται αμφίδρομη επικοινωνία. Αυτό το σύστημα μπορεί να προσφέρει δύο τρόπους μετάδοσης δεδομένων για uplink και downlink, τον TDD και τον FDD.

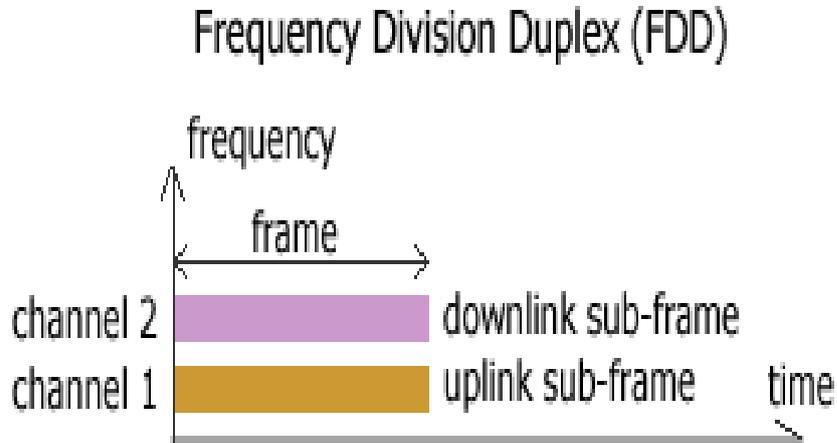
Το σύστημα TDD πετυχαίνεται με διάσπαση του χρόνου σε μικρές αλληπάλληλες χρονοθυρίδες όπου εφαρμόζονται εναλλακτικά όταν εκπέμπει ή λαμβάνει πάνω στην ίδια συχνότητα. Επίσης η TDD μετάδοση χρειάζεται ένα και μόνο κανάλι για να μεταδώσει uplink και downlink. Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιήσει πολύ εύκολα όχι μόνο την συμμετρική αλλά και την ασύμμετρη ευρυζωνική κυκλοφορία.

#### Time Division Duplex (TDD)



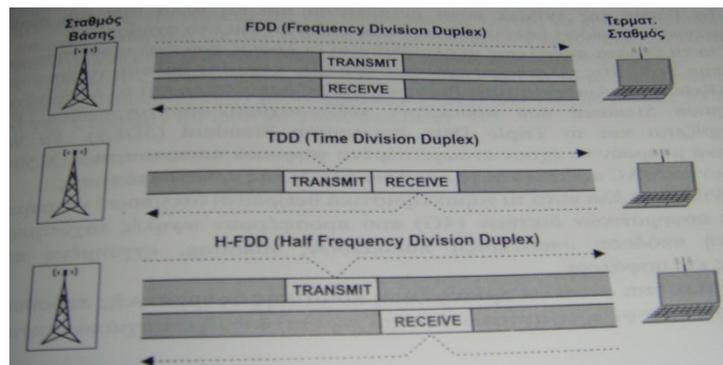
Εικόνα 7 Time Division Duplex (TDD) Downlink και uplink υπο-πλασίων που μεταδίδονται σε διαφορετικές χρονοθυρίδες σε ένα κανάλι

Στο σύστημα FDD η εκπομπή γίνεται σε μια συχνότητα και ταυτόχρονα η λήψη γίνεται σε μια άλλη συχνότητα. Δηλαδή χρειάζεται δύο διαφορετικά κυκλώματα για να μεταδώσει uplink και downlink στην ίδια χρονοθυρίδα. Και αυτό είναι το μειονέκτημα της γιατί χρησιμοποιεί δυο συχνότητες. Επίσης ενδείκνυται για αμφίδρομες φωνητικές υπηρεσίες διότι καλύπτει μια συμμετρική ζεύξη ζεύγους καναλιού άνω ζεύξης.



**Εικόνα 8 Frequency Division Duplex (FDD)- full duplex mode Downlink and uplink υπο-πλαίσια μεταδίδονται ταυτόχρονα σε δύο γειτονικά κανάλια**

Το WiMAX χρησιμοποιεί και full-duplex FDD και half-duplex FDD (**HFDD** ή **HD-FDD**). Στο μεν πρώτο ο χρήστης μπορεί να στείλει και να λάβει συγχρόνως ενώ στο δεύτερο ο χρήστης μπορεί να στείλει ή να λάβει σε κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Συγκεκριμένα αυτή η μετάδοση είναι ένας συνδυασμός της TDD και FDD μετάδοσης όπου χρησιμοποιεί δυο συχνότητες, η μια για να στέλνει και η άλλη για να λαμβάνει, αλλά παρόλα αυτά δεν παύει να διαχωρίζει τον χρόνο μεταξύ εκπομπής και λήψης. Το FDD δεν μπορεί να ανταπεξέλθει στις ασύμμετρες υπηρεσίες δεδομένων, διότι μπορούν να καλύπτουν ένα συγκεκριμένο χώρο μίας ζώνης για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια.



**Εικόνα 9 Είδη Duplexer στο WiMAX**

Τέλος η πλειοψηφία των εφαρμογών WiMAX επιλέγει την χρήση συστημάτων TDD διότι χρησιμοποιούν το μισό φάσμα των FDD και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να κερδίζει περισσότερο εύρος ζώνης. Ακόμα η δομή του συστήματος TDD είναι αρκετά απλή και κατά συνέπεια αυτό το κάνει πιο φθινό εν συγκρίσει με το FDD. Καλό θα ήταν επίσης να αναφέρουμε ότι το σταθερό WiMAX χρησιμοποιεί και τα δύο συστήματα ενώ το Mobile WiMAX χρησιμοποιεί μόνο το σύστημα TDD.[8] [12]

## 4.5 Ασφάλεια

Τα συστήματα WiMAX από την αρχή της σχεδίασης τους είχαν δώσει μεγάλη βαρύτητα στο θέμα της ασφάλειας. Γι αυτό τον λόγο υπάρχει ένα υποεπίπεδο το οποίο ασχολείται αποκλειστικά και μόνο με την ασφάλεια.

Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα ασφάλειας που υποστηρίζει είναι η ιδιωτικότητα των χρηστών. Αυτό γίνεται γιατί η τεχνολογία WiMAX υποστηρίζει δυο αλγορίθμους κρυπτογράφησης, τον AES και τον 3DES που η πρώτη είναι προχωρημένη κρυπτογράφηση και η δεύτερη πρότυπο κρυπτογράφησης δεδομένων. Όλα τα στοιχεία των χρηστών κρυπτογραφούνται με αυτές τις μεθόδους.

Επιπλέον το WiMAX είναι μέσο για την αυθεντικοποίηση των σταθμών και των χρηστών που έχει ως σκοπό την προστασία τους. Η αυθεντικοποίηση βασίζεται στις προδιαγραφές EAP και υποστηρίζει κάποια διαπιστευτήρια όπως το όνομα χρήστη και τον κωδικό που είναι μοναδικά.

Επίσης το πρωτόκολλο δικτυοκτικότητας και διαχείρισης κλειδιού της δεύτερης έκδοσης (PKMv2) χρησιμοποιείται για την ασφαλή μεταφορά κλειδιών από τον σταθμό βάσης στον κινητό σταθμό με συχνή ανανέωση των κλειδιών.

Ακόμα υπάρχει και η προστασία μηνυμάτων ελέγχου. Όλα τα μηνύματα ελέγχου μεταδίδονται ασύρματα με διάφορα συστήματα σύνοψης μηνυμάτων. Τέλος υπάρχει και η υποστήριξη γρήγορης μεταπομπής. Το WiMAX επιτρέπει στον σταθμό βάσης να χρησιμοποιεί μια λειτουργία εισαγωγικής αυθεντικοποίησης με συγκεκριμένο BS ώστε να γίνει πιο εύκολα και γρήγορα η επανεισαγωγή. [8] [15] [16]

## 4.6 Ποιότητα υπηρεσιών QoS στο WiMAX

Ένα από τα βασικότερα μέρη της σχεδίασης του MAC επιπέδου είναι η υπηρεσία ποιότητας. Η σωστή λειτουργία του QoS πραγματοποιείται όταν ο εξυπηρετητής του σταθμού βάσης ελέγχει όλες τις συνδέσεις που αφορούν την ανοδική και την καθοδική ζεύξη.

Για να είναι ευρέα αποδεκτή η ποιότητα υπηρεσιών, έχουν δημιουργηθεί κάποιες παράμετροι στις οποίες βασίζεται η αξιολόγηση των ροών των πακέτων. Αυτές οι παράμετροι παραθέτονται στην συνέχεια.

Βασική παράμετρος είναι η καθυστέρηση ή αλλιώς latency. Συγκεκριμένα είναι το χρονικό διάστημα το οποίο θέλουν τα δεδομένα για να φτάσουν μέσω του διαδικτύου στον τελικό προορισμό τους δηλαδή στον παραλήπτη.

Επίσης η διακύμανση καθυστέρησης ή αλλιώς jitter. Είναι γνωστό ότι τα δεδομένα των στοιχείων μεταβάλλονται διαρκώς και έτσι χρειάζεται μεταβλητό χρονικό διάστημα ούτως ώστε ένα πακέτο να φτάσει στον τελικό προορισμό του. Οπότε η διακύμανση καθυστέρησης των πακέτων ουσιαστικά είναι η απόκλιση της μέσης χρονικής απόστασης ανάμεσα σε δύο διαδοχικά πακέτα τα οποία βρίσκονται σε κάποια συγκεκριμένη ροή.

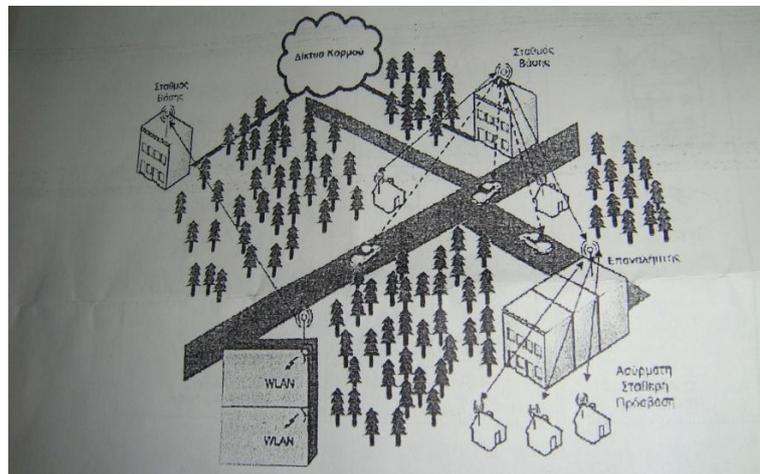
Τέλος υπάρχει και η απώλεια πακέτων ή αλλιώς loss. Αναφέρεται στην απώλεια πακέτων δεδομένων κατά την διάρκεια μετάδοσής τους. Η απώλεια μπορεί να προκληθεί από αρκετές αιτίες. Μια εξ' αυτών είναι και ο δρομολογητής ο οποίος δεν μπορεί να επεξεργαστεί όλα ή κάποια από τα δεδομένα που έχει λάβει.[17]

## 4.7 Αρχιτεκτονική ενός δικτύου WIMAX

Με απλά λόγια μπορούμε να πούμε ότι το WiMAX λειτουργεί με παρεμφερή τρόπο όπως το πρότυπο 802.11, αλλά με την διαφορά ότι προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, καλύπτει

μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή και εξυπηρετεί περισσότερους χρήστες. Κατ' αυτό τον τρόπο καταλαβαίνουμε ότι το WiMAX είναι ικανό να προσφέρει σε όλες τις αστικές και προαστιακές περιοχές Internet και να εξαφανίσει αυτές που δεν έχουν, λόγω ότι οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών δεν έχουν τον απαραίτητο εξοπλισμό σε καλώδια.

Η βασική δομή ενός δικτύου WiMAX έχει ως εξής: Αποτελείται από έναν σταθμό βάσης, από τον σταθμό του συνδρομητή και χρησιμοποιεί σύνδεση Point to Multipoint. Ο σταθμός βάσης συνήθως τοποθετείται σε κάποιο υψηλό οίκημα έτσι ώστε να μπορεί να επικοινωνεί (με τρόπο μετάδοσης Σημείο προς πολλαπλά σημεία) με κεραιές που είναι τοποθετημένες σε πιο χαμηλά οικήματα και έχουν πιο ασθενή ισχύ και εμβέλεια. Αυτές οι κεραιές μπορούν να καλύψουν απόσταση μέχρι 50χλμ αλλά όταν είναι μέσα σε κατοικημένες περιοχές δεν ξεπερνούν τα 30χλμ. Ο κάθε σταθμός βάσης είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο του χρήστη ενώ ταυτόχρονα προσφέρει ασύρματη επικοινωνία την οποία απολαμβάνουν πολλοί συνδρομητές. Επίσης για την καλύτερη αύξηση του σήματος όταν υπάρχουν αντίξοες συνθήκες μετάδοσης μπορεί να τοποθετηθούν μεταξύ των σταθμών βάσεων ή και μεταξύ των σταθμών συνδρομητών και σταθμών βάσεων επαναλήπτες. Πάντως όταν είναι μέσα στην ακτίνα εμβέλειας και δεν υπάρχει οπτική επαφή των σταθμών η απόδοση του σήματος παρόλα αυτά είναι πάρα πολύ καλή.



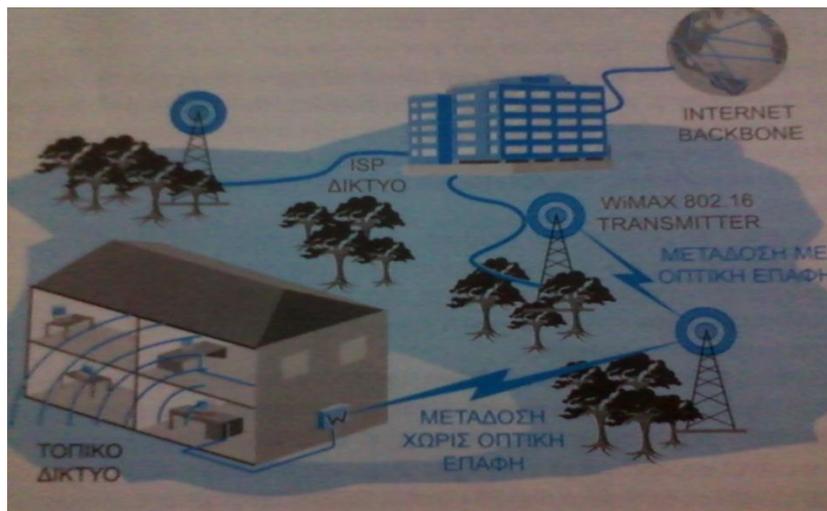
Εικόνα 10 Δομή δικτύου WiMAX

Ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται ένα δίκτυο WiMAX ώστε να μπορεί να προσφέρει διάφορες υπηρεσίες στους χρήστες του είναι αρκετά απλός. Ο πάροχος τοποθετεί σταθμούς βάσης δηλαδή κεραιές, οι οποίες σαν κύριο στόχο έχουν να μοιράζουν το σήμα σε μια εκτεταμένη περιοχή (αυτός δηλαδή είναι ο πομπός του WiMAX). Ύστερα από την μεριά του συνδρομητή γίνεται εγκατάσταση, στον χώρο του, κάποιου αναγκαίου εξοπλισμού (αυτός είναι ο δέκτης). Αυτός ο εξοπλισμός μπορεί να είναι κάποιος υπολογιστής που υποστηρίζει WiMAX ή κάποιον WiMAX router εάν πρόκειται να μπαίνουν στο δίκτυο ένας ή περισσότεροι υπολογιστές οι οποίοι βρίσκονται στον ίδιο χώρο ή μπορεί να είναι κάποιος εξοπλισμός ενσωματωμένος σε ένα φορητό υπολογιστή όπως γίνεται και η πρόσβαση στο διαδίκτυο στο Wi-Fi.

Η σύνδεση των σταθμών βάσεων με το δίκτυο πραγματοποιείται είτε με σύνδεση DSL, είτε με οπτικές ίνες ή με ασύρματο τρόπο. Επίσης χρησιμοποιεί Point to Multipoint σύνδεση για να στείλει τα δεδομένα από τον σταθμό βάσης στον δέκτη. Όμως δεν θεωρείται αδύνατο να χρησιμοποιεί και μια Point to Point ή ευρείας κάλυψης σύνδεσης. Αυτό συμβαίνει (χρήση point to point σύνδεσης) όταν υπάρχει μόνο ένας σταθμός υπηρεσίας και έτσι ο σταθμός βάσης του WiMAX επικοινωνεί με τον σταθμό υπηρεσίας με μια τέτοια σύνδεση.

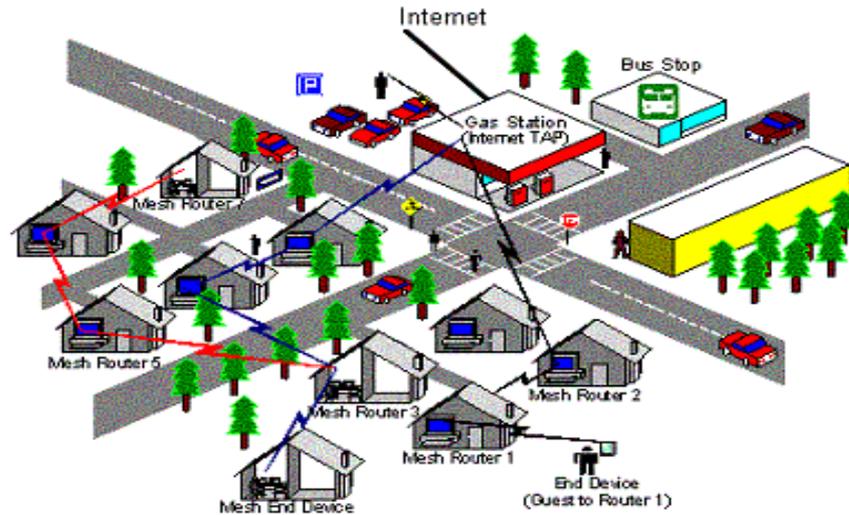
Όπως μπορούμε να δούμε και στο παρακάτω σχήμα ένα δίκτυο WiMAX μπορεί να προσφέρει δυο τρόπους ασύρματης υπηρεσίας:

- Μη οπτικής επαφής (NLOS), όπου τοποθετείται μια μικρή κεραία στον υπολογιστή και αυτή συνδέεται με τον πομπό δηλαδή τον σταθμό βάσης. Σε αυτό το είδος το WiMAX χρησιμοποιεί χαμηλότερες συχνότητες που κυμαίνονται από 2-11GHz.
- Οπτικής επαφής (LOS), όπου μια σταθερή κεραία κοιτάζει απευθείας τον πομπό του WiMAX. Αυτή η σύνδεση είναι πιο ισχυρή και πιο σταθερή γι αυτόν τον λόγο στέλνονται περισσότερα δεδομένα με λιγότερα λάθη. Επίσης χρησιμοποιεί υψηλότερες συχνότητες που μπορούν να αγγίζουν τα 66GHz.



Εικόνα 11 Τρόποι λειτουργίας WiMAX

Επιπλέον οι πιο καινούργιες εκδόσεις αυτού του προτύπου υποστηρίζουν αρχιτεκτονική πολυγωνικής δικτύωσης (mesh networking). Στην συγκεκριμένη αρχιτεκτονική οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να λειτουργούν και ως σταθμοί βάσης και ως σταθμοί συνδρομητών συγχρόνως και αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα όπου μας δείχνει πως πρέπει να είναι τοποθετημένοι οι base station και οι συνδρομητές ώστε να υλοποιούμε αυτό το είδος αρχιτεκτονικής. [7] [13]



Εικόνα 12 Αρχιτεκτονική πολυγωνικής δικτύωσης

#### 4.7.1 Επίπεδα WiMAX

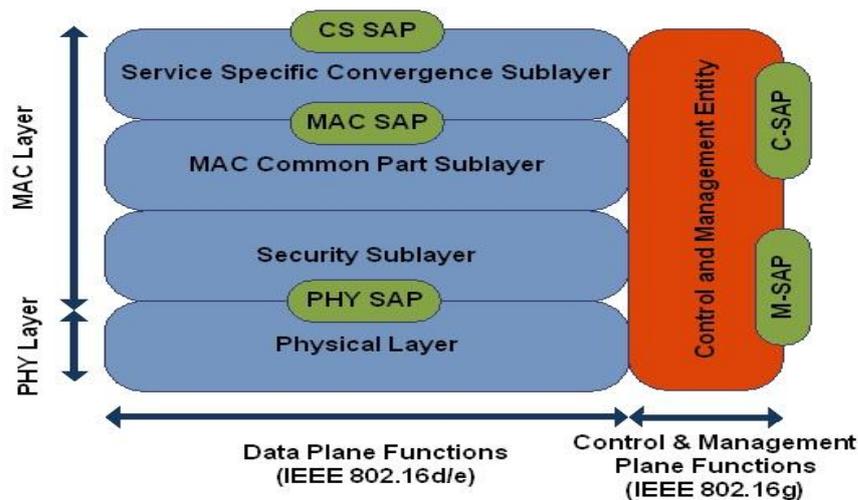
Όλα τα προαναφερθέντα τεχνικά χαρακτηριστικά ανήκουν στα επίπεδα του WiMAX. Στο φυσικό επίπεδο ανήκουν η Ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας και η Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση. Ενώ στο επίπεδο MAC συμπεριλαμβάνεται η ασφάλεια και η ποιότητα υπηρεσιών QoS. Στην συνέχεια του κεφαλαίου αναλύουμε με λίγα λόγια τι ακριβώς είναι το φυσικό και τι το MAC επίπεδο.

#### 4.7.2 Φυσικό επίπεδο του WiMAX

Το φυσικό επίπεδο του WiMAX βασίζεται στα πρότυπα IEE 802.16-2004 και IEE 802.16e-2005. Στηρίζεται στην ορθογώνια πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας, μια τεχνική που προσφέρει ανθεκτικότητα στις πολλές και διάφορες διαδρομές και είναι κατάλληλη για πρόσβαση χωρίς οπτική επαφή (LOS) με αρκετά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

Το πακέτο των προαναφερθέντων προτύπων οροθετεί εντός των ορίων της εμβέλειας του τέσσερα φυσικά επίπεδα (PHY) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν με το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσω (MAC) για την δημιουργία κάποιου ασύρματου ευρυζωνικού συστήματος. Τα επίπεδα αυτά είναι :

- Wireless MAN-SC, είναι φυσικό επίπεδο κάποιου φορέα που έχει ως στόχο τις συχνότητες που υπάρχουν μετά τα 11 GHz και απαιτούν συνθήκες LOS
- Wireless MAN-SCa, είναι φυσικό επίπεδο κάποιου φορέα που αφορά τις συχνότητες μεταξύ 2 GHz και 11 GHz για λειτουργίες τύπου ενός σημείου προς πολλαπλά.
- Wireless MAN-OFDM, φυσικό επίπεδο OFDM που στηρίζεται στο FTT256 σημείων για λειτουργίες τύπου ενός σημείου προς πολλαπλά, σε συνθήκες δίχως οπτική επαφή σε συχνότητες μεταξύ 2 GHz και 11 GHz. Αυτό το φυσικό επίπεδο αλλιώς ονομάζεται και σταθερό WiMAX διότι χρησιμοποιείται από το WiMAX για σταθερές λειτουργίες.
- Wireless MAN-OFDMA, αυτό το φυσικό επίπεδο OFDM βασίζεται στο FTT 2048 σημείων για λειτουργίες τύπου ενός σημείου προς πολλαπλά σε συνθήκες NLOS και σε συχνότητες που κυμαίνονται μεταξύ 2 GHz και 11 GHz



Εικόνα 13 Φυσικό και MAC επίπεδο

### 4.7.3 MAC επίπεδο

Το επίπεδο MAC λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος ανάμεσα στα υψηλότερα επίπεδα μεταφοράς και στο φυσικό επίπεδο. Λαμβάνει τα πακέτα από τις μονάδες δεδομένων υπηρεσιών (MSDUs) δηλαδή από υψηλότερα επίπεδα και τα ταξινομεί σε μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλων που αφορούν την ασύρματη μετάδοση. Το MAC επίπεδο το οποίο βασίζεται στα πρότυπα IEEE 802.16-2004 και IEEE 802.16e-2005 περιέχουν άλλο ένα υποεπίπεδο το οποίο ονομάζεται υποεπίπεδο σύγκλισης. Αυτό είναι σε θέση να συνεργάζεται άρτια με άλλα πρωτόκολλα όπως για παράδειγμα το ATM και το Ethernet τα οποία ανήκουν στο υψηλότερο επίπεδο.

### 4.7.4 Υποεπίπεδα MAC του WiMAX

Χωρίζεται σε τρία υποεπίπεδα,

- Το υποεπίπεδο σύγκλισης συγκεκριμένης υπηρεσίας (CS) είναι η σύνδεση ανάμεσα στο επίπεδο MAC και στο 3 επίπεδο του δικτύου και λαμβάνει πακέτα δεδομένων από το υψηλότερο επίπεδο. Το CS είναι ένα επίπεδο προσαρμογής που προστατεύει το πρωτόκολλο του υψηλότερου επιπέδου αλλά και τις απαιτήσεις των υπόλοιπων επιπέδων MAC και PHY ενός WiMAX δικτύου.
- Το υποεπίπεδο κοινού τμήματος του επιπέδου MAC εκτελεί όλες τις ενέργειες πακέτων που δεν έχουν σχέση με τα υψηλότερα επίπεδα, όπως για παράδειγμα ο κατακερματισμός
- Το υποεπίπεδο ασφάλειας είναι υπεύθυνο για την κρυπτογράφηση, την εξουσιοδότηση αλλά και την σωστή ανταλλαγή κλειδιών κρυπτογράφησης μεταξύ BS και MS. [8] [12] [13]

# 5

## Εφαρμογές και χρήσεις της τεχνολογίας WiMAX

### 5.1 Εισαγωγή

Στις μέρες μας διανύουμε μια εποχή όπου συνεχώς εφευρίσκονται καινούργιες εφαρμογές και τεχνολογίες. Μια τέτοια τεχνολογία είναι και το δίκτυο WiMAX το οποίο προσφέρει διάφορες υπηρεσίες που καλύπτουν ακόμα και τον πιο απαιτητικό χρήστη των εφαρμογών αυτών.

Το εύρος ζώνης του δικτύου WiMAX είναι τέτοιο το οποίο πληροί όλες τις προδιαγραφές για να χρησιμοποιείται από εφαρμογές που αφορούν την κινητή σύνδεση σε πόλεις και χώρες, την ενσύρματη σύνδεση για την μεταφορά δεδομένων και φωνής και την σύνδεση στο Internet. Στη συνέχεια αναφέρονται μερικές από τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία WiMAX.

### 5.2 Σύνδεση στο Internet

Μέσω των δικτύων WiMAX μπορούμε να συνδεθούμε ασύρματα στο Internet ακόμα και στις πιο δύσκολες και δύσβατες περιοχές. Γι αυτό το λόγο υπάρχει μεγάλος ανταγωνισμός με τα ενσύρματα δίκτυα. Επιπρόσθετα τα WiMAX δίκτυα επειδή δεν χρησιμοποιούν καλωδιακές τεχνολογίες είναι πιο ευέλικτα, έχουν πολύ χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερο εύρος ζώνης εν συγκρίσει με τις υπόλοιπες τεχνολογίες που υπάρχουν στην αγορά.

### 5.3 Σταθερή και κινητή WiMAX πρόσβαση σε μεγάλες πόλεις

Λόγω ότι στις μεγάλες πόλεις υπάρχει μεγάλος αριθμός χρηστών, οι κατασκευαστές παρόλα αυτά φρόντισαν να παρέχουν στους χρήστες τους πολύ μεγάλες ταχύτητες έτσι ώστε να ικανοποιούν και τον πιο δύσκολο πελάτη. Επιπλέον παρέχουν κάλυψη και στις καινούριες εφαρμογές, με την χρήση WiMAX συσκευών.

### 5.4 Κυψελοειδής μετάδοση Backhaul

Η εξέλιξη των τεχνολογιών GSM και CDMA για τα κινητά τηλέφωνα είναι η τεχνολογία WiMAX. Όπως και τα σταθερά δίκτυα WiMAX είναι η εξέλιξη της ασύρματης τεχνολογίας κυψελοειδούς μετάδοσης που αφορούν τα δίκτυα 2G, 3G και 4G. Αυτό ισχύει και στις αναπτυσσόμενες χώρες αλλά και στις αναπτυσσόμενες. Η διαδικασία είναι απλή και περιγράφεται παρακάτω.

Οι ιθύνοντες της ραχοκοκαλιάς (backbone) του Internet προσλαμβάνουν κάποιες άλλες εταιρίες οι οποίες παρέχουν υπηρεσίες που σχετίζονται με τις γραμμές του δικτύου έναντι κάποιας αμοιβής. Όλη αυτή η διαδικασία συμβάλει στη μείωση της δαπάνης εξάπλωσης και εφαρμογής του Internet. Το πρότυπο WiMAX είναι η καλύτερη λύση για το πρόβλημα που προείπαμε με τις εταιρίες εκμίσθωσης ενσύρματων γραμμών, διότι με την εφαρμογή ασύρματων κυψελών προσφέρουν στους χρήστες σύνδεση σε πολύ χαμηλότερη τιμή.

## 5.5 Χρήση του δικτύου WiMAX στις αγροτικές περιοχές

Στις αγροτικές περιοχές πλέον οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν υπηρεσίες Internet χάρη στα δίκτυα WiMAX. Τα ασύρματα αυτά δίκτυα συμφέρουν περισσότερο οικονομικά σε σχέση με τα ενσύρματα σε πόλεις ή χωριά με περιορισμένο αριθμό χρηστών. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σημεία όπου η εγκατάσταση ή συντήρηση χαλκού ή οπτικών ινών δεν είναι εφικτή. Τέλος ο σταθμός βάσης δίνει το δικαίωμα στις εταιρείες παροχής υπηρεσιών να εξοπλίσουν σε αρκετά μικρό χρονικό διάστημα τις αγροτικές περιοχές.

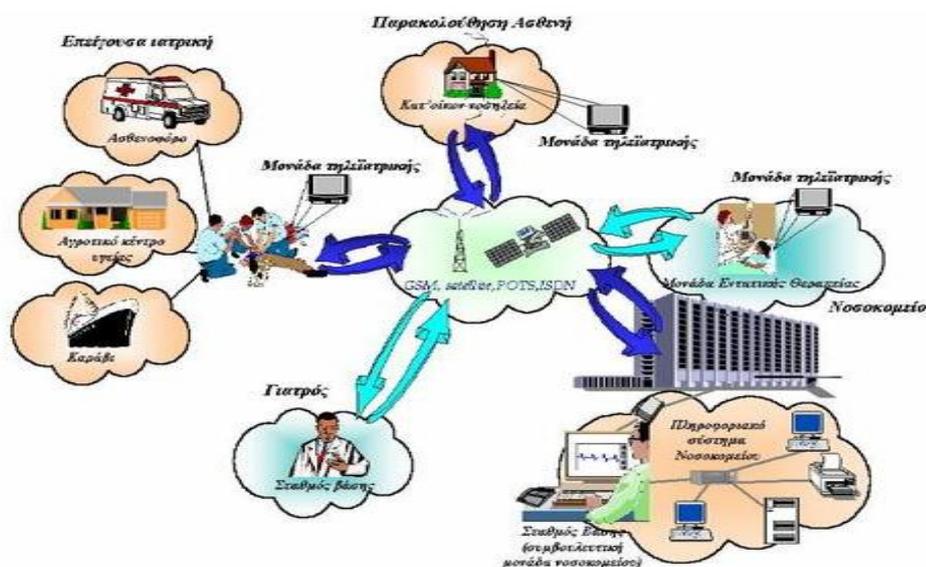
## 5.6 Ιδιωτικά δίκτυα

Στα δίκτυα WiMAX στηρίζονται οι πάροχοι οι οποίοι έχουν σαν στόχο να προσφέρουν εταιρικές υπηρεσίες σε μεγάλα επιχειρησιακά ιδρύματα με το μόνο αίτημα για προστασία VPNs πάνω από το Ethernet ή τα IP δίκτυα καθώς επίσης και να διασφαλίζεται η φερέγγυα μεταφορά των δεδομένων. Μερικές εφαρμογές που το χρησιμοποιούν αναφέρονται εκτενέστερα στην συνέχεια.

### 5.6.1 Τηλεϊατρική

Λόγω των υψηλών ρυθμών μετάδοσης που προσφέρει το WiMAX πολύ σημαντικό είναι και η χρήση του στον τομέα της τηλεϊατρικής. Έτσι με αυτόν τον τρόπο οι γιατροί θα μπορούν να παρακολουθούν έναν ασθενή από μακριά ή ακόμα θα μπορούν να ανταλλάσσουν γνώμες με άλλους γιατρούς που βρίσκονται μακριά ακόμα και στο εξωτερικό και γενικότερα να κάνουν ανταλλαγή γνώσεων όταν συμβεί κάποιο έκτακτο περιστατικό.

Όμως σκόπελος στη ευρέα διάδοση της τηλεϊατρικής είναι ο φόβος σχετικά με το πόσο αξιόπιστα γίνεται η μεταφορά γνώσεων, γνώμών και διάφορων προσωπικών δεδομένων ταυτόχρονα μεταξύ δυο η και περισσότερων χρηστών οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται ακόμα και σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες σταθερές ή μη.



Εικόνα 14 Δίκτυο WiMAX στην τηλεϊατρική

### **5.6.2 WiMAX δίκτυα στις Τράπεζες και στα σχολεία**

Με την χρήση του δικτύου WiMAX το οποίο είναι ικανό να μεταφέρει δεδομένα καθώς video και φωνή, οι μεγάλες τράπεζες έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν επικοινωνία μεταξύ υποκαταστημάτων και ATM με τα κτίρια της κεντρικής διοίκησης της τράπεζας. Τα συγκεκριμένα υποκαταστήματα μπορούν να απέχουν μεταξύ τους σε μεγάλη απόσταση. Αν και το WiMAX χρησιμοποιεί άριστη κρυπτογράφηση δεδομένων, οι τράπεζες ίσως τους είναι πιο χρήσιμο να διαθέτουν και end to end ασφάλεια για να μπορούν να αποφύγουν κάποια μη ευπρόσδεκτη εισβολή στα τραπεζικά τους αρχεία. Πάντως από οικονομική άποψη οι τράπεζες είναι καλύτερο να έχουν ιδιωτικό δίκτυο γιατί με αυτόν τον τρόπο δεν έχουν τα έξοδα που τους φορτώνουν οι εταιρείες τηλεφωνίας και μπορούν επίσης να διαμορφώνουν εκ νέου το δίκτυο σε περίπτωση που ένα υποκατάστημα κλείσει ή μεταφερθεί αλλού.

Με τον ίδιο τρόπο ένα δίκτυο WiMAX μπορεί να προσφέρει επικοινωνία μεταξύ των κτιρίων της κεντρικής διοίκησης της εκπαίδευσης με τα σχολεία ή ακόμα καλύτερα επιτρέπει την επικοινωνία των σχολείων μεταξύ τους έτσι ώστε να μεταφέρονται υπηρεσίες όπως δεδομένα, εκπαιδευτικές εφαρμογές, online βιβλία και σημειώσεις και άλλα πολλά. Έτσι με αυτό τον τρόπο μπορούν να γίνονται και μαθήματα από απόσταση αφού ένα σχολείο μπορεί να στέλνει την διδασκαλία των μαθημάτων του σε πραγματικό χρόνο και σε άλλα απομακρυσμένα σχολεία ταυτόχρονα. Αυτό το δίκτυο ευνοεί ιδιαίτερα τα σχολεία που βρίσκονται στην επαρχία πρώτον γιατί μειώνει την ανάγκη για επιπλέον εκπαιδευτικούς και δεύτερον γιατί λόγω ότι διαθέτουν λίγο ή και καθόλου επικοινωνιακό εξοπλισμό με αυτόν τον τρόπο θα μπορούν να ενημερώνονται πιο εύκολα για τις αλλαγές που γίνονται στις διάφορες εφαρμογές που έχουν.

### **5.6.3 Άλλες υπηρεσίες που μπορούν να χρησιμοποιούν το WiMAX δίκτυο**

Άλλες υπηρεσίες που μπορούν να χρησιμοποιήσουν το WiMAX είναι οι παρακάτω και δουλεύουν με παρόμοιο τρόπο όπως οι τράπεζες και τα σχολεία:

- Αστυνομία, πυροσβεστική και γενικά υπηρεσίες διάσωσης
- Παραγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου
- Πανεπιστήμια
- Εταιρείες κατασκευών
- Θεματικά πάρκα

## **5.7 Επιπλέον εφαρμογές**

Λόγω των υψηλών ταχυτήτων και της μεγάλης εμβέλειας, ένα δίκτυο WiMAX μπορεί να υποστηρίξει διαδραστικά παιχνίδια καθώς και τηλεφωνία VoIP σε πραγματικό χρόνο, (κάτι που με το Wi-Fi δεν είναι εφικτό όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες) δηλαδή μας δίνει την δυνατότητα να διεξάγουμε τηλεφωνικές κλήσεις μέσω Internet. Έτσι με αυτόν τον τρόπο θα μπορούμε να μετακινούμαστε μέσα στην πόλη και να πραγματοποιούμε τηλεφωνική συνομιλία με κάποιον άλλον που βρίσκεται χιλιάδες μίλια μακριά και η χρέωση να είναι πολύ χαμηλή έως και μηδενική. Επιπλέον εξαιτίας των μεγάλων ταχυτήτων θα μπορούμε να κάνουμε και video-τηλεφωνία καθώς κινούμαστε, χρησιμοποιώντας laptop.

Τέλος ένα δίκτυο WiMAX μπορεί να μας προσφέρει την παρακολούθηση διάφορων τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών προγραμμάτων τα οποία μεταδίδονται online και την αποστολή με ηλεκτρονικό ταχυδρομείο μεγάλων συνημμένων αρχείων με χρεώσεις πολύ μικρότερες από τις υπόλοιπες τεχνολογίες. Όλα τα παραπάνω ο κάθε χρήστης θα μπορεί να τα κάνει και ενώ βρίσκεται σε κίνηση

κάτι που με την ενσύρματη τεχνολογία ADSL δεν γίνεται. Επίσης είναι σημαντικό να προσθέσουμε ότι η εγκατάσταση αυτού του δικτύου μπορεί να γίνει σε πολύ λιγότερο χρόνο (είναι δυνατόν μέσα σε λίγες μέρες) από τα ενσύρματα δίκτυα που για να εγκατασταθούν χρειάζονται μήνες ή ακόμα και χρόνια.

## 5.8 Πλεονεκτήματα του WiMAX

Μια τεχνολογία WiMAX έχει πολλά πλεονεκτήματα ώστε να την κάνει να υπερτερεί από τις άλλες τεχνολογίες και αυτά είναι τα παρακάτω.

- **Ευέλικτη αρχιτεκτονική:** Η τεχνολογία WiMAX υποστηρίζει Point to Point, Point to Multipoint και ευρείας κάλυψης αρχιτεκτονικές συστημάτων.
- **Υψηλή ασφάλεια:** Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου 802.16 είναι η κρυπτογράφηση και η ιδιωτικότητα που παρέχει στους χρήστες του ώστε να μπορούν να μεταφέρουν τις πληροφορίες τους και τις υπηρεσίες τους ασφαλή χωρίς να πέσουν θύματα υποκλοπής.
- **Παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών QoS:** Το WiMAX χρησιμοποιεί αρκετά βασικά χαρακτηριστικά της υπηρεσίας QoS ώστε να μπορεί να υιοθετηθεί και να εξαπλωθεί παντού. Ένα από αυτά είναι ότι παρέχει μεταφορά φωνής και πολυμέσων. Συγκεκριμένα υποστηρίζει τέσσερις τύπου υπηρεσίας: 1)Υπηρεσίες άμεσης μεταβίβασης που είναι για εφαρμογές όπως IP τηλεφωνία, 2)Υπηρεσίες εκλογής πραγματικού χρόνου που είναι για μετάδοση πολυμέσων, 3)Υπηρεσίες εκλογής μη πραγματικού χρόνου που είναι για μεταφορά μεγάλων αρχείων, και 4)Υπηρεσίες καλύτερης προσπάθειας που χρησιμοποιείται για να μπορούν οι χρήστες να πλοηγηθούν στο Internet.
- **Διαλειτουργικότητα:** Το WiMAX στηρίζεται σε πρότυπα και πρωτόκολλα μέσω των οποίων οι χρήστες μπορούν να μετακινούνται και να χρησιμοποιούν τους σταθμούς υπηρεσίας τους σε διαφορετικά μέρη. Επίσης με την διαλειτουργικότητα ένας χρήστης μπορεί να επιλέξει τον εξοπλισμό του και από κάποια άλλη εταιρεία.
- **Επεκτασιμότητα (scalability):** Το πρότυπο 802.16 για να μπορεί να προσφέρει εύκολο σχεδιασμό κυψελών επικοινωνίας σε επιτρεπόμενες και μη ζώνες συχνοτήτων, υποστηρίζει κανάλια επικοινωνίας.
- **Εμβέλεια (coverage):** Το WiMAX υλοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να δέχεται τεχνολογίες οι οποίες να μπορούν να αυξάνουν την απόσταση του σήματος. Αυτές οι τεχνολογίες είναι τοπολογίες βρόχου δηλαδή τοπολογίες δικτύου όπου κάθε κόμβος μπορεί να συνδέεται απευθείας με οποιοδήποτε άλλο κόμβο του δικτύου και έξυπνες κεραιές όπου είναι κατευθυντικές κεραιές και προσφέρουν μεγαλύτερη κάλυψη περιοχών. Έτσι λοιπόν όσο οι νέες τεχνολογίες βελτιώνονται και οι τιμές τους μειώνονται, υπάρχει δυνατότητα αύξησης της εμβέλειας και αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση πολλαπλών κεραιών.
- **Λειτουργία μη οπτικής επαφής(NLOS):** Το WiMAX χρησιμοποιεί διαμόρφωση OFDM όπου του προσφέρει την δυνατότητα να χειρίζεται περιβάλλοντα όπου οι σταθμοί επικοινωνίας δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή μεταξύ τους.
- **Μεγάλη χωρητικότητα:** Λόγω ότι η τεχνολογία WiMAX χρησιμοποιεί υψηλή διαμόρφωση 64-QAM μπορούν να προσφέρουν στους χρήστες σημαντικό εύρος ζώνης.
- **Κόστος:** Το κόστος που χρειάζεται για να υλοποιηθεί ένα δίκτυο WiMAX είναι πολύ μικρότερο από τις άλλες τεχνολογίες.
- **Κεραιές MIMO:** Το WiMAX χρησιμοποιεί έξυπνες και πολλαπλές κεραιές MIMO που καταφέρνουν και του βελτιώνουν αισθητά όχι μόνο τις επιδόσεις του αλλά και την σωστή

κάλυψη του αφού του παρέχεται καλύτερη NLOS επικοινωνία. Αυτές οι κεραιές χρησιμοποιούνται τόσο από τον πομπό όσο και από τον δέκτη. Το βασικό πλεονέκτημα αυτών των κεραιών είναι ότι θεωρούνται μια από τις πιο φερέγγυες λύσεις καθώς καλύτερεύουν την ποιότητα μετάδοσης του συστήματος ενώ συγχρόνως φροντίζουν η ταχύτητα μετάδοσης να βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα. Αυτό το καταφέρνουν με το να αυξάνουν τον ρυθμό μετάδοσης και να ελαττώνουν τον αριθμό σφαλμάτων. Τέλος αρκετές φορές το OFDM χρησιμοποιεί τις κεραιές MIMO δημιουργώντας ένα κανάλι το οποίο ονομάζεται MIMO-OFDMA. Ο δέκτης λοιπόν πρέπει οπωσδήποτε να γνωρίζει τις πληροφορίες του καναλιού, ώστε να βρει πιο ακριβώς είναι το σήμα το οποίο πρέπει να λάβει. [1] [2] [5] [16]

## 5.9 WiMAX Προϊόντα

Η HTC είναι από τις πρώτες εταιρείες που κυκλοφόρησαν κινητό που υποστηρίζει GSM και WiMAX το οποίο ονομάζεται HTC MAX 4G και μπορεί να προσφέρει στους χρήστες του διάφορες υπηρεσίες όπως VoIP.

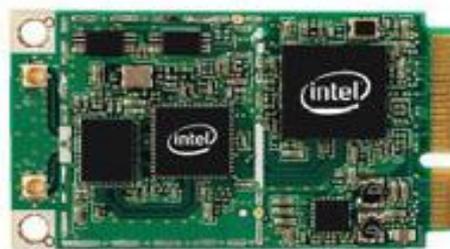
Η Nokia από την άλλη πλευρά της παρουσίασε το 2008 το ανανεωμένο N810 Internet Tablet WiMAX Edition το οποίο έχει ενσωματωμένες δυνατότητες WiMAX. Το συγκεκριμένο προϊόν είναι ικανό να προσφέρει στους χρήστες του πρόσβαση στο Internet όπου υπάρχει βέβαια WiMAX συνδεσιμότητα.



Εικόνα 15 N810 Internet Tablet WiMAX Edition

Επίσης η Acer ήταν η πρώτη εταιρεία που διάδωσε την κυκλοφορία δύο laptop οι οποίοι υποστήριζαν την WiMAX τεχνολογία. Συγκεκριμένα αυτά τα δύο μοντέλα ήταν το Acer Aspire 6930-6771 και το Acer Aspire 4930-6862 με τα εξής χαρακτηριστικά: επεξεργαστής Intel Centrino 2 Duo στα 2GHz, 3GB μνήμη RAM, 320GB σκληρό δίσκο και υποστήριζαν και WiMAX και Wi-Fi τεχνολογία.

Μια πρόσφατη τεχνολογία που έχει δημιουργήσει η κορυφαία εταιρεία Intel είναι η παρακάτω κάρτα δικτύωσης που υποστηρίζει και την Wi-Fi τεχνολογία και την WiMAX. Αυτή η κάρτα προσφέρει σύνδεση χωρίς καλώδια και τοποθετείται σε φορητούς υπολογιστές.



Εικόνα 16 Intel Mini Express WiMAX

Επιπλέον έχουν κατασκευαστεί διάφορες κεραίες για WiMAX. Μια από αυτές είναι η OmniMAX 4G WiMAX που είναι μια εξωτερική παγκατευθυντική κεραία όπου μπορεί και αυξάνει το σήμα, προσφέροντας κέρδος σήματος μέχρι και 18dBi.



**Εικόνα 17 OmniMAX 4G WiMAX κεραία**

Επίσης η κεραία που φαίνεται παρακάτω είναι ιδανική για τις εξής εφαρμογές:

- Point to point και Point to Multipoint εφαρμογές
- IEEE 802.16e εφαρμογές
- Mobile WiMAX



**Εικόνα 18 3.5GHz 16 dBi Backfire Antenna**

Τέλος παρακάτω βλέπουμε το HUAWEI HWD13 Wireless Router που είναι ένα ασύρματο router για WiMAX δίκτυα, όπου υποστηρίζει το WiMAX πρότυπο 802.16e-2005. Η πιστοποίηση του προϊόντος έγινε από το WiMAX forum στις 4-02-2013.



**Εικόνα 19 HUAWEI HWD13 Wireless Router**

Και το ενισχυμένο router που υποστηρίζει πολλαπλές επιλογές WAN όπως 3G, WiMAX και Ethernet. Και η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι πιστοποιημένη από το WiMAX forum στις 25-01-2014.[18] [19] [20] [21] [22] [23]



Εικόνα 20 Cisco connected Grid Router

# 6

## Το WiMAX στον παγκόσμιο χώρο

### 6.1 Εισαγωγή

Το WiMAX είχε ξεκινήσει να γίνεται γνώριμο σε όλον τον κόσμο από το 2004 όπου και πολλοί φορείς παροχής υπηρεσιών άρχισαν να χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο δίκτυο για να συνδεθούν στο internet ή σε διάφορα wi-fi mesh δίκτυα τα οποία βρίσκονταν σε μεγάλες αποστάσεις.

Εξάλλου μερικά χρόνια μετά (συγκεκριμένα τον Οκτώβριο του 2008) το WiMax Forum γνωστοποίησε ότι είχαν δημιουργηθεί πάνω από 592 δίκτυα σε περισσότερες από 148 χώρες που κάλυπταν πάνω από 621 εκατομμύρια συνδρομητές. Ο αριθμός των συνδρομητών συνεχώς αυξανόταν και το Φεβρουάριο του 2011 είχε φτάσει τα 823 εκατομμύρια ενώ μέχρι το τέλος του 2011 οι συνδρομητές ήταν πάνω από 1 δισεκατομμύριο.



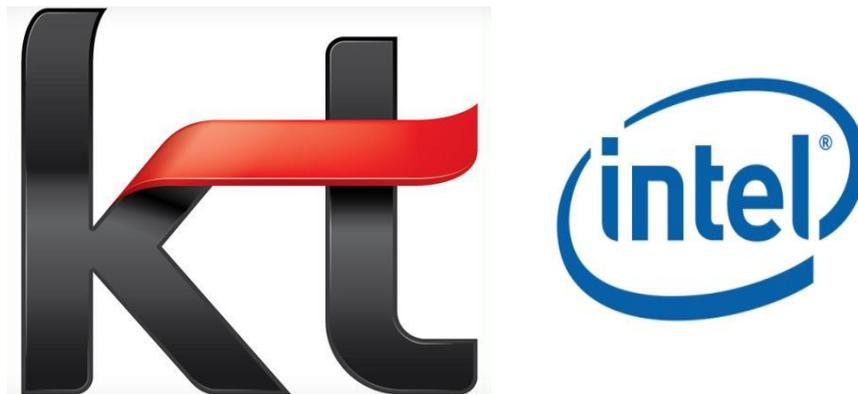
Εικόνα 21 Χάρτης WiMAX σε όλο τον κόσμο

## 6.2 Το WiMAX στην Ασία

Η Ασία έχει τις μεγαλύτερες και καλύτερες προοπτικές για την ανάπτυξη του δικτύου WiMAX στην βιομηχανία. Ήδη από το 2006 εξυπηρετούσε 80.000 πελάτες και ο αριθμός των συνδρομητών είχε αυξηθεί σημαντικά κατά την διάρκεια του 2009.

### 6.2.1 Νότια Κορέα

Κατά την διάρκεια του δευτέρου τριμήνου του 2006 δημιουργήθηκε στην Νότια Κορέα για πρώτη φορά σε ολόκληρο τον κόσμο δίκτυο WiMax για εμπορικούς σκοπούς το οποίο είχε σαν σχέδιο να καλύψει ολόκληρη την χώρα. Για να επιτευχθεί αυτή η παγκόσμια πρωτοτυπία συνεργάστηκαν δύο μεγάλες εταιρίες η Intel και η Korea Telecoms.



Εικόνα 22 Εμπορικά σήμα της Korea Telecoms και της intel

Για την γρηγορότερη ανάπτυξη του WiMax δημιουργήθηκαν καινούριοι φορητοί και netbook υπολογιστές ήτανε φτιαγμένοι από την Intel για να χρησιμοποιούν μόνο τεχνολογία WiMAX.

Εν έτη 2014 η κυβέρνηση της Κορέας σχεδιάζει να αλλάξει την κινητή Ευρυζωνική Ασύρματη Πρόσβαση WiMax με σταθερό τρόπο σε LTE-TDD.

## 6.2.2 Κίνα

Από το 2006 η China Netcom παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση στην επαρχία Guangdong της Κίνας και μέχρι το 2009 κάλυπτε περίπου 3,8 εκατομμύρια χρήστες.

Το 2008 ιδρύθηκε η China Tel η οποία σε συνεργασία με την CECT-Chinacomm Communications Co. Ltd. προσπάθησαν για την δημιουργία και την ανάπτυξη δικτύου WiMAX το οποίο εξέπεμπε στην φασματική ζώνη των 3,5 GHz και θα περιλάμβανε 29 αγορές.

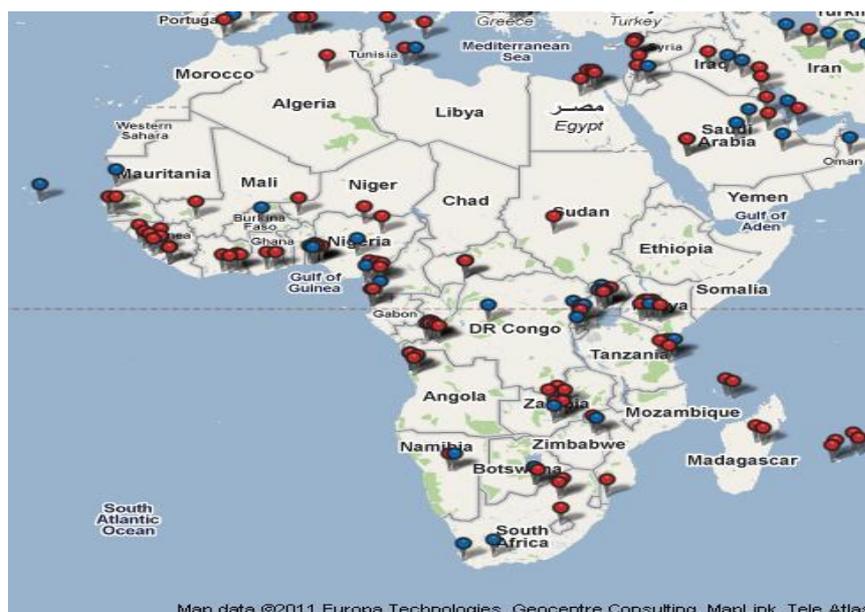
Η Κινέζικη κυβέρνηση είχε δώσει εντολή να αναπτυχθούν 12 αγορές μέχρι τον Ιούνιο του 2011 ενώ οι 17 υπόλοιπες αναμένεται να ξεκινήσουν μετά το 2014.

## 6.2.3 Πακιστάν

Το 2012 το συνέδριο του WiMAX Forum πραγματοποιήθηκε στο Πακιστάν διότι το αναπτύσσει με ταχύτερους ρυθμούς την τεχνολογία του δικτύου αυτού. Στο συνέδριο αυτό έγινε γνωστό ότι στην χώρα εδρεύουν τέσσερις μεγάλοι φορείς WiMAX και πως το 29% των ευρυζωνικών συνδέσεων καλύπτεται από το WiMAX.

## 6.3 Το WiMAX στην Αφρική

Τα τελευταία χρόνια η Αφρική κάνει άλματα προόδου στην τεχνολογία WiMAX και γι' αυτό το λόγο θεωρείται μία από τους καλύτερους προμηθευτές. Έχουν εγκατασταθεί στην χώρα δίκτυα σε διάφορες πόλεις. Η Ανεξάρτητη Αρχή Επικοινωνιών της Νότιας Αφρική (ICASA), είναι υπεύθυνη για την έκδοση των αδειών που αφορούν εμπορικές υπηρεσίες WiMAX όπου αυτές οι άδειες δόθηκαν στους παρόχους iBurst, Sentech, Neotel και Telkom. Όλες εκπέμπουν στην φασματική ζώνη των 3,5 GHz.



Εικόνα 23 Χάρτης WiMAX στην Αφρική

### **6.3.1 Αγκόλα**

Η MLS Telcom η οποία είναι θυγατρική εταιρία της Net One έχει αναπτύξει ένα εθνικό δίκτυο WiMAX το οποίο εκπέμπει στα 2,5 GHz. Το δίκτυο αυτό καλύπτει τις περιοχές της Malanje, Lobito και Lubango και σχεδόν το 60% της πρωτεύουσας Luanda.

Η Startel σε συνεργασία με την Namibia Telecom επίσης παρέχουν WiMAX στην περιοχή της Αγκόλα. Όλες οι προαναφερθείσες εταιρίες προσφέρουν υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων και φωνής μέσω IP διευθύνσεων.

### **6.3.2 Κένυα**

Η Access Kenya είναι από τα μεγαλύτερα δίκτυα που υπάρχουν στη Αφρική. Έχει χρησιμοποιήσει την τεχνολογία WiMAX για την ευρυζωνική της υπηρεσία Access@Home. Τροφοδοτεί τις πόλεις του Ναϊρόμπι και της Μομπάσα με ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση για οικιακή χρήση.

Επίσης η Kenya Data Networks χρησιμοποιεί την τεχνολογία WiMAX στα σχολεία καθώς και σε απομακρυσμένες περιοχές.

### **6.3.3 Νιγηρία**

Η Galaxy Wireless Communications Limited δημιούργησε το πρώτο κινητό της χώρας το οποίο βασίζεται στο πρότυπο IEEE802.16e και αφορά ευρυζωνικές υπηρεσίες. Η προώθηση του προϊόντος πραγματοποιήθηκε στην πρωτεύουσα Αμπούγια και το Port Harcourt.

Επίσης η XS Broadband είναι μια από τις σημαντικότερες εταιρίες διότι κατέχει τις άδειες WiMAX για 24 από τα 36 νιγηριανά κρατίδια. Τα δίκτυα υπάρχουν κυρίως στις μεγαλύτερες πόλεις για να διευκολύνουν τις επιχειρήσεις, τις τράπεζες αλλά και κάποιες ακόμα εφαρμογές.

## **6.4 Το WiMAX στην Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής**

Η κυβέρνηση της Αμερικής αδειοδότησε συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων για την εκπομπή του WiMAX. Κάποιες εταιρίες παροχής υπηρεσιών WiMAX είχα αρχίσει από πολύ νωρίς να δοκιμάζουν πιλοτικά ορισμένες υπηρεσίες χαμηλού κόστους για επαγγελματίες χρήστες.

### **6.4.1 Λατινική και Νότια Αμερική**

Η εταιρία Telmex έχει δημιουργήσει κινητό δίκτυο WiMAX περιφερειακά της Βραζιλίας και της Νοεβίας και ένα σταθερό δίκτυο στην πόλη του Σάο Πάολο. Έχει επίσης δημιουργήσει δίκτυα και σε άλλες περιοχές όπως για παράδειγμα το Εκουαδόρ, το Περού, η Αργεντινή η Χιλή και η Κολομβία η οποία από τον Ιούλιο του 2006 χρησιμοποιεί το WiMAX χάρη στον Πάροχο Υπηρεσιών Διαδικτύου Orbitel.

Στην Κολομβία υπάρχουν και άλλες δυο εταιρίες εκτός από την Orbitel αδειοδοτημένες για την παροχή υπηρεσιών WiMAX οι οποίες είναι η Avantel και η Telecom. Στην Παραγουάη η εταιρία που είναι αδειοδοτημένη για να προσφέρει υπηρεσίες WiMAX σε διάφορες πόλεις είναι η Tigo Banda Ancha ενώ στη Βενεζουέλα και συγκεκριμένα στο Καράκας δημιουργήθηκε ένα εμπορικό δίκτυο από την Movilmax.

## 6.4.2 Βόρεια Αμερική

Το 2007 η DigitalBridge Communications ήταν η πρώτη εταιρία που προώθησε το WiMAX για εμπορικούς σκοπούς. Η εταιρία τώρα πια συνεργάζεται με την ISP και έχει μετονομαστεί σε BridgeMAXX. Μέσα από αυτή τους την συνεργασία έχουν εγκαταστήσει δίκτυα στο Αϊντάχο, στην Ιντιάνα, στη Μοντάνα, στη Βιρτζίνια, στη Νότια Ντακότα, και το Ουαϊόμινγκ.

Η Sprint Nextel συνεργάστηκε με Intel, την Motorola και την Samsung για να δημιουργήσουν ένα δίκτυο κινητής τεχνολογίας WiMAX όπου και το 2007 πραγματοποιήθηκε μια δοκιμαστική εφαρμογή της τεχνολογίας.

Η Clearwire δημιουργήθηκε μετά από την συγχώνευση κάποιων εταιριών παροχής WiMAX τεχνολογιών. Παρέχει ευρυζωνική κάλυψη σε 29 αγορές και σε περισσότερες από 200 πόλεις και κομοπόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών.

Τον Δεκέμβριο του 2005 εμφανίστηκε για πρώτη φορά το WiMAX στο Μεξικό και συγκεκριμένα στην πόλη Μοντρέι όταν εταιρία σταθερής τηλεφωνίας Axtel άρχισε να παρέχει αρκετά γρήγορη ταχύτητα στο Internet. Η Intel ήταν η εταιρία που παρείχε το δίκτυο WiMAX.

Η Ultranet2go είναι τμήμα της Zoma Telecom του Μεξικού και είναι και αυτή πάροχος WiMAX. Οι πολιτείες που χρησιμοποιούν pro-mobile WiMAX ασύρματες επικοινωνίες είναι η Veracruz, η Puebla, η Tamaulipas, και η Aguascalientes.

Το πανεπιστήμιο της Γκουανταλαχάρα σε συνεργασία με την κυβέρνηση του Jalisco δημιούργησαν ένα ελεύθερο δίκτυο WiMAX που ονομάστηκε eJalisco και εξέπεμπε στη συχνότητα των 3,3 GHz. Το δίκτυο αυτό παρείχε σύνδεση στο Internet σε χιλιάδες μαθητές, στις βιβλιοθήκες, στα κολέγια αλλά και στα κυβερνητικά γραφεία.

Στον Καναδά η Metro Bridge Networks παρέχει ευρυζωνική πρόσβαση σε επιχειρήσεις σε περισσότερα από 7500 km<sup>2</sup> της πολιτείας. Η Primus Canada σε συνεργασία με την Mirps Inc. δοκιμάζουν Mobile WiMAX IEEE 802.16e-2005 που κρατούν την ζώνη των 3,5 GHz στις περιοχές του Χάμιλτον και του Οντάριο. Η Rogers Communications και η Bell Canada δημιούργησαν μια κοινή επιχείρηση για να σχηματίσουν την Inukshuk Wireless. Η MDS Wireless η οποία κατέχει ένα από τα μεγαλύτερα δίκτυα WiMAX παρέχει υπηρεσίες για οικιακούς χρήστες στο νότιο Οντάριο. Τέλος και η Digicel έχει αναπτύξει την τεχνολογία που βασίζεται στο πρότυπο 802.16d & 802.16e για την ευρυζωνική λύση της.

## 6.5 Το WiMAX στην Ευρώπη

Σε αρκετές χώρες της Ευρώπης η υπηρεσία που αφορά το σταθερό WiMAX αναπτύχθηκε αρκετά γρήγορα και πραγματοποίησε τον στόχο που είχε τεθεί εξ' αρχής για την δημιουργία ενός πανευρωπαϊκού και συνάμα παγκόσμιου δικτύου συνδεσιμότητας. Εν αντιθέσει με την ανάπτυξη της κινητής τεχνολογίας WiMAX που ήταν λίγο διαφορετική, διότι το μεγαλύτερο ποσοστό των εταιριών της κινητής τεχνολογίας προτιμούν την 3G τεχνολογία διότι έχουν διαθέσει αρκετά υπέρογκα ποσά για να αποκτήσουν τις άδειες. Επιπλέον η τεχνολογία 3G τους επιφέρει πολύ υψηλά κέρδη και ακριβώς γι αυτόν τον λόγο επιλέγουν να εξελίξουν ή να βελτιώσουν την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία παρά να αγοράσουν μια καινούρια. Γι αυτούς ακριβώς τους λόγους αναπτύσσεται κυρίως το σταθερό δίκτυο WiMAX σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης μερικές εκ των οποίων παρατίθενται αναλυτικά στη συνέχεια.

### 6.5.1 Αυστρία

Η εταιρία WiMAX Telecom GmbH ήταν η πρώτη η οποία υιοθέτησε το Σεπτέμβριο του 2005 το ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο και κάλυψε την επαρχία Burgenland. Αργότερα πρόσφερε κάλυψη και σε άλλες επαρχίες όπως η Eisenstadt, το Neusiedl, το Oberwart, το Oberpullendorf, και η Güssing. Η

συγκεκριμένη εταιρία σε συνεργασία με την Intel ανέδειξαν την Αυστρία ως μια από τις πρώτες χώρες που εφάρμοσε τις υπηρεσίες WiMAX και ωφελήθηκε από αυτές.

### **6.5.2 Γερμανία**

Η εταιρία Deutsche Breitband Dienste (DBD) ξεκίνησε την λειτουργία του WiMAX το Νοέμβρη του 2005 χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό της Airspan που εξέπεμπε στη φασματική ζώνη των 3.5GHz και αφορούσε τόσο οικιακούς όσο και εταιρικούς χρήστες. Έχει δημιουργήσει παραπάνω από σαράντα δίκτυα και το μεγαλύτερο επίτευγμα της είναι παροχή των ευρυζωνικών υπηρεσιών στο Βερολίνο διότι είναι το μεγαλύτερο δίκτυο το οποίο δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να έχουν ασύρματη πρόσβαση στο Internet σε πολύ καλές τιμές. Το 2007 η εταιρία ανακοίνωσε την νέα εγκατάσταση του δικτύου της εισάγοντας 500 ακόμα σταθμούς.

### **6.5.3 Ηνωμένο Βασίλειο**

Η British Telecom από τις αρχές του 2005 παρείχε την υπηρεσία WiMAX. Η εταιρία είχε κάνει κάποιες δοκιμές οι οποίες είχαν κρατήσει περίπου 8 εβδομάδες. Αφού η δοκιμές ήρθαν ης πέρας χωρίς κάποια επιπλοκή η εταιρία προώθησε την ευρεία λειτουργία της υπηρεσίας. Αρχικά κάλυπτε 120 χρήστες και η ταχύτητα με την οποία συνδέονταν στο Internet βρισκόταν ανάμεσα στα 512 Kbit /s και 1 Mbit /s.

Ταυτόχρονα κάποια άλλη εταιρία με την ονομασία Pipex προγραμματίζε την εξάπλωση της ευρυζωνικής κάλυψης σε περιοχές που δεν καλύπτονταν πλήρως από το δίκτυο και τα επίπεδα πρόσβασης ήταν χαμηλότερα από το μέσο όρο του Ηνωμένου Βασιλείου.

Έτσι το 2008 ενενήντα πέντε χιλιόμετρα βορειοδυτικά του Λονδίνου η πόλη Milton Keynes έγινε η πρώτη πόλη που εξοπλίζεται με το WiMAX.

## **6.6 Το WiMAX στην Αυστραλία**

Η πλειοψηφία των ευρυζωνικών δικτύων της Αυστραλίας υπάρχουν κυρίως στο Νοτιοανατολικό Queensland, στη Νότια Νέα Ουαλία και στη Βικτώρια. Όλοι οι πάροχοι του δικτύου έχουν εξουσιοδοτηθεί και κατέχουν συγκεκριμένες συχνότητες στις οποίες έχουν αναπτύξει τα δίκτυα WiMAX σε όλο το Gold Coast, το Sunshine Coast, το Brisbane και το Σύδνεϋ. Επιπλέον σχεδιάζουν την εγκατάσταση κινητού δικτύου WiMAX σε διάφορες τοποθεσίες αυτό θ είναι εφικτό όταν θα διατεθεί το πιστοποιημένο υλικό από το WiMAX Forum.

Η πόλη της Αδελαΐδα έγινε η πρώτη πόλη στην Αυστραλία που χρησιμοποίησε την ευρυζωνική τεχνολογία WiMAX. Σύνδεε περισσότερους από 8.000 οικιακούς και εταιρικούς χρήστες.

# 7

## Το WiMAX στην Ελλάδα

### 7.1 Εφαρμογές

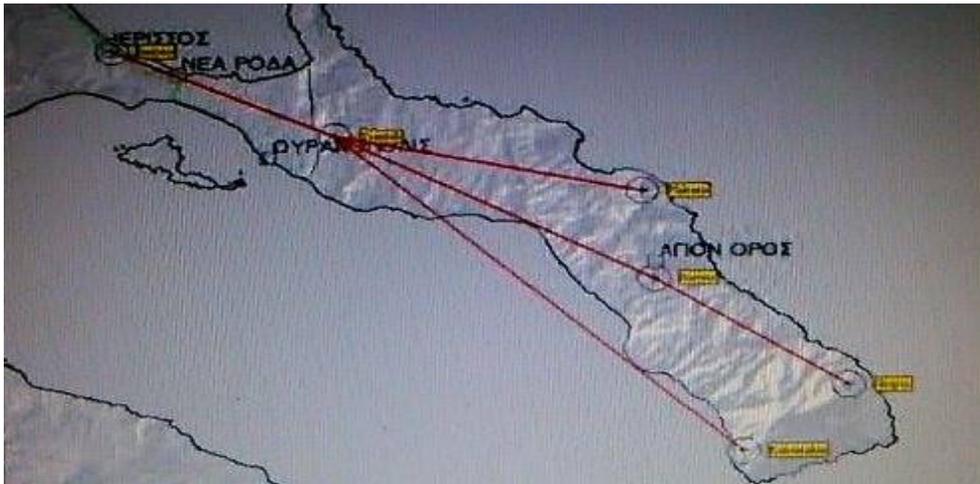
Μία τεχνολογία με τόσα πολλά πλεονεκτήματα όπως η συγκεκριμένη η οποία είναι ευρέως διαδεδομένη σε όλο τον κόσμο όπως αναφερθήκαμε στο παραπάνω κεφάλαιο έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία και στην Ελλάδα. Η συγκεκριμένη τεχνολογία έκανε τα πρώτα της πειράματα πάνω σε περιοχές όπου υπήρχε πολύ ζήτηση και δεν ήτανε εφικτό να καλυφθούν μέσω χαλκού ή οπτικής ίνας. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του WiMAX είναι ότι οι σταθμοί που εγκαθίστανται μπορούν να λειτουργούν με NLOS επικοινωνία δηλαδή να μην έχουν οπτική επαφή μεταξύ τους. Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζονται αναλυτικά οι εφαρμογές του WiMAX στην χώρα μας.

#### 7.1.1 Άγιο Όρος

Τον 2008 ολοκληρώθηκε με επιτυχία μια από της σημαντικότερες εφαρμογές του WiMAX, η οποία ήταν η εγκατάσταση του δικτύου στο Άγιο Όρος από τον ΟΤΕ. Οι χρήστες μπορούσαν να συνδεθούν, χρησιμοποιώντας το ασύρματο δίκτυο WiMAX για ευρυζωνική πρόσβαση. Το πιλοτικό αυτό δίκτυο έδινε στους χρήστες την δυνατότητα να χρησιμοποιούν υπηρεσίες ασύρματης ευρυζωνικότητας (δηλαδή χωρίς να χρειάζονται ενσύρματα καλώδια) και IP τηλεφωνίας (VoIP).

Η υλοποίηση της χορήγησης αυτών των υπηρεσιών διεξήχθη σε μια αρκετά δύσβατη περιοχή, με ανύπαρκτες υποδομές, με έλλειψη εγκατεστημένου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και με σεβασμό προς την ιερότητα του χώρου.

Σε όλη την περιοχή τοποθετήθηκαν έξι σταθμοί βάσης που η εμβέλεια τους έφτανε στα 50km καλύπτοντας έτσι το μεγαλύτερο μέρος των Μονών και των Σκητών, σε σχεδόν όλη την χερσόνησο του Άθω. Το δίκτυο αυτό έχει την δυνατότητα μετάδοσης έως και 60Mbps αμφίδρομα. Παρακάτω στην εικόνα βλέπουμε που τοποθετήθηκαν οι έξι σταθμοί.



Εικόνα 24 Σταθμοί βάσης WiMAX στο Άγιο Όρος

Οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν στην φασματική ζώνη των 3,5 GHz που έχει παραχωρηθεί στον Οργανισμό Τηλεπικοινωνιών Ελλάδας από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ). Τα συστήματα που τοποθετήθηκαν καλύπτουν τα στάνταρ του προτύπου IEEE 802.16-2004 και όλος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι πιστοποιημένος από το WiMAX Forum.

Οι πρώτοι χρήστες οι οποίοι είχαν συνδεθεί ήταν από το Άγιο Όρος, τη Νήσο Αμμουλιανή και την Ιερισσό με ασύρματο τρόπο. Ενώ και χρήστες από της Καρυές χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες ADSL με την βοήθεια των DSLAM που είναι ειδικός εξοπλισμός για σύνδεση ασύρματων δικτύων.

Η λειτουργία του δικτύου αυτού στον συγκεκριμένο τόπο επιτυγχάνεται με την βοήθεια της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας δηλαδή με την χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών, που εγκαταστάθηκαν στους σταθμούς βάσης του δικτύου παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία του δικτύου, δίχως να επιβαρύνουν το περιβάλλον.

### 7.1.2 Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών

Το 2006 για πρώτη φορά στον παγκόσμιο αεροπορικό χώρο ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών χρησιμοποίησε σύνθετες υπηρεσίες Triple Play (ενιαίο δίκτυο δεδομένων φωνής και τηλεοπτικού σήματος) με την βοήθεια του WiMAX.

Η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) έχει αδειοδοτήσει τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών για την χρήση του WiMAX στη περιοχή Σπάτα-Κορωπί. Ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών δημιούργησε εφαρμογές σε τρεις τεχνολογικές συχνότητες ανάλογα με την χρήση τους, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του WiMAX. Οι εφαρμογές είναι οι εξής:

- Ιδιωτικής χρήσης όπου γίνεται ταυτόχρονη μεταφορά τηλεοπτικού σήματος υψηλής ευκρίνειας, φωνής και δεδομένων, με ευκολία διαχείρισης και σύνδεσης και εξαιρετική ταχύτητα μετάδοσης (14Mbps),
- Εταιρικής χρήσης όπου γίνεται προσφορά σε εταιρίες υπηρεσίες βάσεων δεδομένων (Data Centre Services), τηλεδιασκέψεων (Video-Conference) και παροχή εφαρμογών εξ αποστάσεως (ASP), και
- Κομβικής υποδομής - WiMAX Hub όπου προσφέρεται παροχή κομβικής υποδομής σε άλλους παρόχους WiMAX ή WLAN, ώστε να εξυπηρετούνται οι συνδρομητές τους σωστά.

- Η εφαρμογή στον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών είναι πολύ σπουδαία εξαιτίας των πολλών απαιτήσεων για την καλή ποιότητα των υπηρεσιών και των εκατοντάδων χρηστών ιδιωτικών και εταιρικών σε περιορισμένο χώρο.

### 7.1.3 PASIPHAE

Τον Οκτώβριο του 2008 το εργαστήριο Έρευνας και Ανάπτυξης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων PASIPHAE του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης διεκπεραίωσε επιτυχώς μια δοκιμαστική εκπομπή του WiMAX δικτύου πάνω σε ερευνητικές και εκπαιδευτικές δραστηριότητες. Μόνο η πόλη του Ηρακλείου της Κρήτης ανήκε στην περιοχή κάλυψης αυτής της δραστηριότητας.



Εικόνα 25 Σήμα PASIPHAE

### 7.1.4 Δωρεάν Ασύρματο Δίκτυο Τρικάλων

Τον Οκτώβριο του 2005 ο δήμος Τρικαίων σε συνεργασία με το ερευνητικό προσωπικό της e-trikla Α.Ε και επηρεασμένοι από τις εξελίξεις στον τομέα των επικοινωνιών δημιούργησαν ένα συνδυαστικό δίκτυο για την καλύτερη εξυπηρέτηση των συμπολιτών τους. Κατασκεύασαν δεκαπέντε κόμβους από τους οποίους οι πέντε τροφοδοτούνταν από την οπτική ίνα ενώ οι τέσσερις ήταν συνδεδεμένοι με εξοπλισμό WiMAX .

### 7.1.5 Εταιρίες /φορείς που χρησιμοποιούν WiMAX

Η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) το 2006 χορήγησε άδειες σε δεκαεννέα εταιρείες-φορείς (από τους 29 που είχαν υποβάλει αίτηση) για την εγκατάσταση δοκιμαστικών σταθμών WiMAX σε συγκεκριμένες περιοχές. Λόγω ότι στην Αθήνα και στην Θεσσαλονίκη είχαν υποβάλει αίτηση πάρα πολλοί, οι άδειες δόθηκαν με σειρά χρονικής προτεραιότητας. Επιγραμματικά παρακάτω αναφέρουμε τις δεκαοκτώ εταιρείες-φορείς (διότι τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών των έχουμε αναφέρει αναλυτικά στο προηγούμενο υποκεφάλαιο) και τις περιοχές που αντιστοιχούν σε κάθε μια:

**3Net** Δήμος Αθηναίων  
**Altec** Καλλιθέα  
**Arx.Net** Θεσσαλονίκη  
**Cosmoline** Γλυφάδα  
**Cosmote** Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο  
**Forthnet** Καλλιθέα  
**Hellas On Line** Μαρούσι  
**Intrastet** Λάρισα  
**Lannet** Περιστερί, Καβάλα, Κομοτηνή

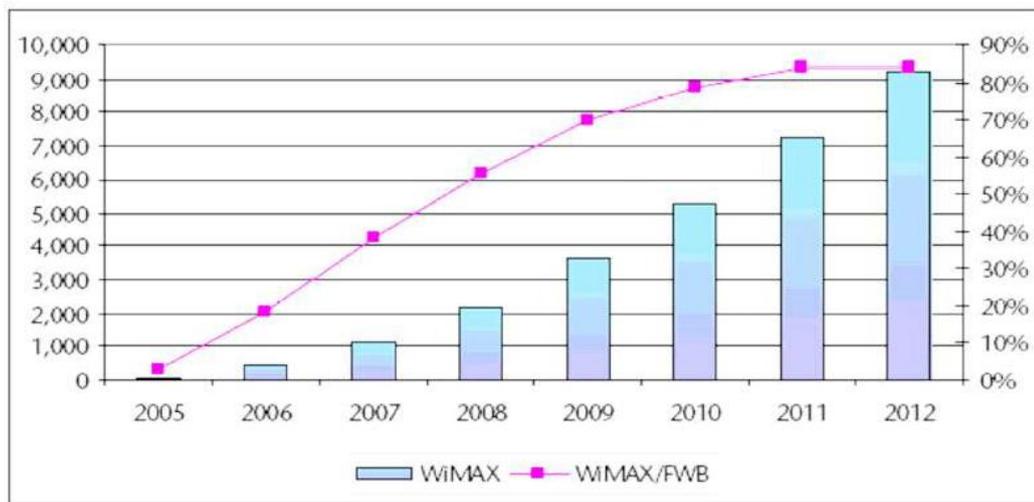
**Metanet** Βόλος  
**Sparknet** Θεσσαλονίκη  
**Syned** Κάντζα  
**Telepassport** Θεσσαλονίκη  
**Vodafone** Παιανία  
**Tellas** Μαρούσι  
**Vivodi** Χαλάνδρι  
**Teledata** Θεσσαλονίκη  
**MAPAK** Πέραμα

## 7.2 Τάσεις αγοράς του WiMAX

Παρακάτω βλέπουμε έναν πίνακα με τις τάσεις αγοράς του WiMAX τα τελευταία χρόνια. Όπως παρατηρούμε το 2005 η ζήτηση αυτού του δικτύου ήταν ελάχιστη (μόνο λίγοι εκατοντάδες συνδρομητές το είχαν αγοράσει) και αυτό γιατί δεν ήταν πολύ διαδεδομένη τεχνολογία. Όμως όσο περνούσαν τα χρόνια γινόταν όλο και πιο γνωστό σε σημείο το 2012 να έχουν αυξηθεί οι συνδρομητές του κατά 80% από το 2005.

Y-Axis: WiMAX Subscribers (000s)

Z-Axis: WiMAX Subscribers as a % of FWB Subscribers



Εικόνα 26 Τάσεις αγοράς WiMAX

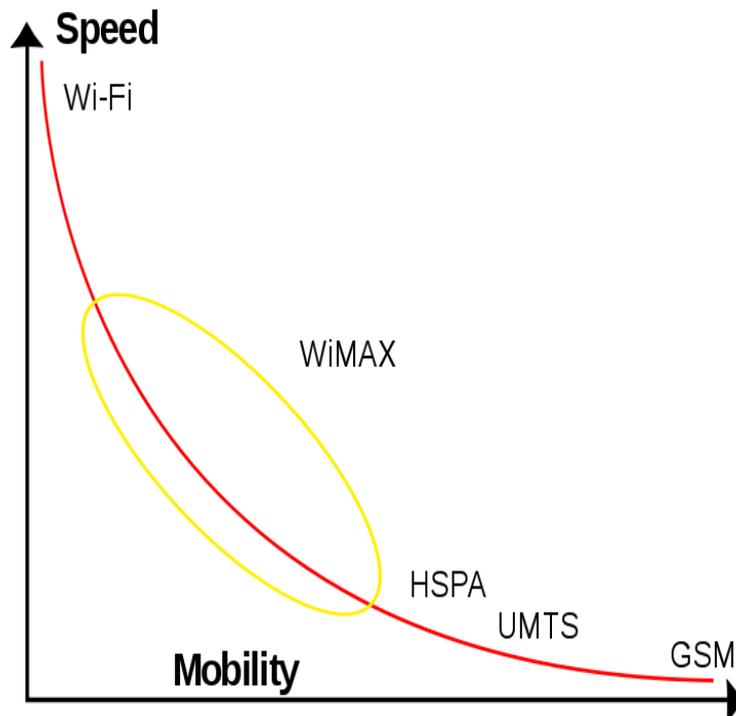
# 8

## Τεχνολογία WiMAX vs άλλων τεχνολογιών

### 8.1 Εισαγωγή

Υπηρεσίες ευρυζωνικής πρόσβασης πλέον είναι σε θέση να παρέχουν και κάποιες άλλες τεχνολογίες εκτός από την WiMAX. Αυτό το γεγονός από μόνο του αυξάνει τον ανταγωνισμό μεταξύ των τεχνολογιών. Πάντως κάθε τεχνολογία είναι σημαντική για διαφορετικούς λόγους και σκοπός τους είναι να προσφέρουν την καλύτερη δυνατή σύνδεση στον χρήστη. Έτσι η επιλογή είναι αρκετά δύσκολη διότι ο αρμόδιος μηχανικός επιβάλλεται να είναι γνώστης όλων των ικανοτήτων και των διαφορών που υπάρχουν μεταξύ όλων αυτών των τεχνολογιών. Ως εκ τούτου λοιπόν σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την περεταίρω ανάλυση, σύγκριση και σαφώς κατανόηση όλων αυτών των διαφορετικών τεχνολογιών.

Παρακάτω μπορούμε να δούμε και ένα σχήμα που δείχνει μια γενική εικόνα μερικών από των τεχνολογιών που θα αναλύσουμε. Όπως βλέπουμε όσο η απόσταση μεγαλώνει η ταχύτητα μικραίνει.



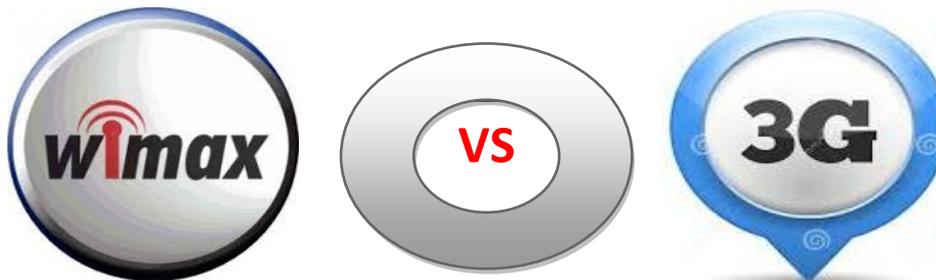
Εικόνα 27 Σχήμα σύγκρισης ασύρματων τεχνολογιών

## 8.2 WiMAX vs 3G (UMTS)

Τα συστήματα WiMAX εξαρτώνται από το εύρος ζώνης του καναλιού που χρησιμοποιούν, διότι ορίζουν ένα επιλεγμένο εύρος ζώνης καναλιού το οποίο βρίσκεται μεταξύ 1,25 MHz και 20 MHz, αυτό τους δίνει την δυνατότητα να αναπτυχθούν αρκετά γρήγορα, εν αντιθέσει με τα συστήματα 3G τα οποία έχουν σταθερό εύρος ζώνης καναλιού.

Η διαμόρφωση OFDM που υπάρχει στην τεχνολογία του WiMAX υποστηρίζει αρκετά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, σε αντίθεση με το CDMA που υπάρχει στην τεχνολογία 3G. Η ανάγκη για εξάπλωση κάνει τους πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης ανέφικτους για τα συστήματα CDMA.

Τα συστήματα WiMAX πετυχαίνουν μεγαλύτερη φασματική αποδοτικότητα σε σχέση με τα συστήματα 3G. Αυτό επιτυγχάνεται διότι από την αρχή μέσα στις προδιαγραφές του WiMAX ήταν και η τεχνολογία πολλαπλών κεραιών. Ενώ στα συστήματα 3G η τεχνολογία πολλαπλών κεραιών προστέθηκε αργότερα με την μορφή αναθεωρήσεων.



Εικόνα 28 WiMAX vs 3G

Επίσης το φυσικό επίπεδο OFDM που χρησιμοποιείται από το WiMAX μπορεί να ποιο εύκολα να φτιάξει MIMO σε σχέση με το CDMA, σε ότι αφορά την απαιτούμενη πολυπλοκότητα για συγκρινόμενο εύρος. Οπότε καταλαβαίνουμε ότι το WiMAX παρέχει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, μεγαλύτερη ευελιξία και υψηλότερη μέση απόδοση και χωρητικότητα συστήματος.

Επιπλέον το WiMAX υποστηρίζει την ευέλικτη και δυναμική ρύθμιση της αναλογίας ρυθμού μετάδοσης δεδομένων όταν λαμβάνει ή στέλνει δεδομένα. Αντιθέτως τα 3G διαθέτουν σταθερή, μη συμμετρική αναλογία ρυθμού μετάδοσης δεδομένων για λήψη και αποστολή δεδομένων.

Για εφαρμογές IP όπως για παράδειγμα φωνή ή video το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης με την βοήθεια του MAC του WiMAX δημιουργείται από την αρχή, ούτως ώστε να μπορέσει να υποστηρίξει σταθερό ρυθμό μετάδοσης σε πραγματικό ή μη πραγματικό χρόνο, κυκλοφορία του μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης με βάση την προτεραιότητα και την καλύτερη προσπάθεια. Στο 3G υπάρχουν τέτοια συστήματα όπως για παράδειγμα το HSDPA το οποίο δημιουργήθηκε για διάφορα επίπεδα ποιότητας και εξυπηρέτησης.

Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα όμως του WiMAX έναντι του 3G είναι ότι υπάρχει μικρότερο κόστος και η μεγαλύτερη ευκολία για την υλοποίησή του. Το πρώτο οφείλεται στην αρχιτεκτονική του IP με την οποία απλοποιείται το βασικό δίκτυο ενώ το 3G έχει πολύπλοκο και ξεχωριστό βασικό δίκτυο για φωνή και δεδομένα.

Τέλος το WiMAX σχεδιάστηκε σαν σταθερό σύστημα, με επιπλέον χαρακτηριστικό την δυνατότητα κινητικότητας, ενώ στο 3Gη κινητικότητα ήταν πρωταρχικό μέρος της σχεδίασης. [8]

### 8.3 WiMAX vs Wi-Fi

Το WiMAX είναι μια παρόμοια τεχνολογία με το Wi-Fi όπως έχει ειπωθεί από την Intel. Αρχικά να αναφέρουμε ότι και οι δύο τεχνολογίες βασίζονται στο πρότυπο IEEE. Η μεν Wi-Fi βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.11 η δε WiMAX βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16. Παρόλα αυτά έχουν όμως σοβαρές διαφορές που θα αναλυθούν παρακάτω.

Όσο αναφορά το εύρος η τεχνολογία Wi-Fi μπορεί να παρέχει τοπική πρόσβαση σε διάστημα που αφορά μόνο μερικά μέτρα και η ταχύτητα του μπορεί να φτάσει μέχρι τα 54 Mbps. Αντίθετα η τεχνολογία WiMAX μπορεί να παρέχει πρόσβαση ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές με εμβέλεια έως και 50 χλμ και η ταχύτητα της φτάνει τα 70 Mbps και αρκετές φορές τα ξεπερνάει.

Επιπλέον η τεχνολογία Wi-Fi δημιουργήθηκε για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ιδιωτικά ενσύρματα LAN, αντίθετα η WiMAX δημιουργήθηκε για να παρέχει BWA υπηρεσίες, δηλαδή ασύρματη πρόσβαση στο internet.

Επίσης όσο αναφορά τον ρυθμό των bit το Wi-Fi λειτουργεί σε 2,7bps/Hz και μπορεί να φτάσει έως τα 54Mbps σε κανάλι των 20MHz ενώ το WiMAX λειτουργεί σε 5bps/Hz και μπορεί να φτάσει έως και 100Mbps σε ένα κανάλι των 20MHz.



Εικόνα 29 Wi-Fi vs WiMAX

Επιπρόσθετα το Wi-Fi έχει δημιουργηθεί έτσι ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει μόνο σε μερικές δεκάδες χρήστες. Αντίθετα το WiMAX μπορεί να εξυπηρετήσει εκατοντάδες χρήστες διότι έχει την δυνατότητα παροχής υπηρεσιών QoS.

Εκτός από τις φανερές διαφορές που έχουν οι δύο τεχνολογίες, το Wi-Fi υστερεί από το WiMAX διότι η πρώτη τεχνολογία χρησιμοποιεί μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων που σημαίνει ότι όταν παρέχει δημόσιες υπηρεσίες οι χρήστες είναι εκτεθειμένοι σε παρεμβολές. Αντίθετα το WiMAX χρησιμοποιεί και αδειοδοτημένες ζώνες και μη.

Τέλος το WiMax είναι πιο ανθεκτικότερο στην πολυοδική εξασθένιση γιατί χρησιμοποιεί 256 FFT ή 2048 σημεία FFT, ενώ το Wi-Fi χρησιμοποιεί μόλις 64 FFT. [38]

### 8.4 WiMAX vs ADSL

Η τεχνολογία WiMAX αλλιώς ονομάζεται και Wireless ADSL. Οι δύο τεχνολογίες η WiMAX και η ADSL έχουν αρκετά κοινά που αφορούν το χαμηλό κόστος, το πόσο εύκολο είναι να εγκατασταθούν και τέλος ότι ο ρυθμός μετάδοσης είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης που έχει από το κέντρο.

Αρχικά η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι η τεχνολογία ADSL είναι ενσύρματη ενώ η τεχνολογία WiMAX είναι ασύρματη. Από αυτή και μόνο την διαφορά καταλαβαίνουμε ότι η τεχνολογία ADSL μπορεί να αναπτυχθεί εύκολα και γρήγορα μόνο όπου υπάρχουν οι σωστές προδιαγραφές και ο εξοπλισμός της δηλαδή η χρήση των χάλκινων καλωδίων ανά 5 Km. Αντίθετα είναι ασύμφορη όπου δεν υπάρχει η κατάλληλη υποδομή. Από τη άλλη πλευρά ένας σταθμός βάσης WiMAX μπορεί να καλύψει μια περιοχή των 7850 km<sup>2</sup> σε διάστημα 2 με 3 ημερών.

Τέλος επειδή το WiMAX κάνει χρήση κοινού καναλιού, έχει περιορισμένη χωρητικότητα, αυτό έχει ως συνέπεια να μπορεί να εξυπηρετήσει συγκεκριμένο αριθμό χρηστών. [39]

## 8.5 WiMAX vs LMDS

Τα δίκτυα WiMAX σε σχέση με τα LMDS έχουν αρκετά μικρότερο κόστος. Καλύπτουν περιοχές σε ακτίνα 15 Km σε αντίθεση με τα LMDS που η ακτίνα κάλυψής τους φτάνει ως τα 10 Km σε φάσμα 3.5GHz και με ακτίνα κάλυψης 3.5km σε φάσμα 26GHz.

Το WiMAX δίκτυο είναι άριστο για την μεταφορά δεδομένων που αφορούν την φωνή και τις συνδιαλέξεις που πραγματοποιούνται με VoIP, και παρέχει μικρή χωρητικότητα στον τελικό χρήστη. Αντίθετα τα δίκτυα LMDS παρέχουν μεγάλη χωρητικότητα στον τελικό χρήστη.

Επιπλέον υπάρχει αδυναμία στην παροχή διασύνδεσης σε τεχνολογίες 2G και 3G διότι δεν υπάρχει επαρκές φάσμα στα 3.5GHz. Εν αντιθέσει τα LMDS έχουν ως κύρια εφαρμογή την παροχή διασύνδεσης σε τεχνολογίες 2G και 3G για φάσμα 26GHz.

Τέλος τα δίκτυα WiMAX λειτουργούν σε LOS και σε NLOS περιβάλλον ενώ τα δίκτυα LMDS λειτουργούν αποκλειστικά και μόνο σε LOS περιβάλλον. [40]

## 8.6 WiMAX vs IEEE 802.20 (MBWA)

Το συγκεκριμένο πρότυπο δημιουργήθηκε πριν λίγα χρόνια και εξελίσσεται σταδιακά. Υποστηρίζει ευρυζωνικά δίκτυα τα οποία κινούνται με ταχύτητα που φτάνει τα 250 Km ανά ώρα. Το πιο πιθανό είναι να αφορά λειτουργίες που βρίσκονται κάτω από τα 3,5 GHz, ούτως ώστε να προσφέρει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στο διάστημα 4 Mbps για την λήψη και 1,2 Mbps για την αποστολή. [8]

## 8.7 WiMAX vs IEEE 802.22

Το πρότυπο αυτό αφορά την ευρυζωνική χρήση κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, με την βοήθεια της χρήσης ασύρματων περιφερειακών δικτύων (WRAN). Η βασική του επιδίωξη είναι να καθορίσει ένα ραδιοφωνικό σήμα, που θα χρησιμοποιεί προς όφελος του τα τηλεοπτικά κανάλια τα οποία υπάρχουν σε αυτές τις περιοχές και δεν χρησιμοποιούνται πλέον. Η λειτουργία θα πραγματοποιείται σε συχνότητες VHF και UHF διότι προσφέρουν πολύ καλές συνθήκες διάδοσης και κατά συνέπεια προσφέρουν και πιο μεγάλο εύρος.

Αυτό το πρότυπο αναπτύσσεται τώρα τα τελευταία χρόνια με μεγάλους ρυθμούς. Η FCC σχεδιάζει να προωθήσει την χρήση του φάσματος αυτού χωρίς άδειες. Για να πραγματοποιηθεί αυτό πρέπει να δημιουργηθεί κάποιο ραδιοφωνικό σήμα το οποίο θα λειτουργεί σε κάποια τμήματα φάσματος τα οποία δεν χρησιμοποιούνται από κάπου αλλού. Τέλος το IEEE 802.22 πρόκειται να παρέχει ευρυζωνικές σταθερές εφαρμογές σε πιο μεγάλες περιοχές που έχουν όμως λίγους χρήστες. [8]

## 8.8 WiMAX vs LTE

Αρχικά πρέπει να αναφέρουμε ότι και οι δύο αυτές τεχνολογίες ονομάζονται 4G δηλαδή τεχνολογίες 4<sup>ης</sup> γενιάς. Μεταξύ τους υπάρχουν αρκετές ομοιότητες αλλά και αρκετές διαφορές.

Η τεχνολογία LTE δημιουργήθηκε από τον οργανισμό 3GPP και είναι η ουσιαστική εξέλιξη των δικτύων GSM. Οι ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων της φτάνει μέχρι τα 100 Mb ανά δευτερόλεπτο στην καθοδική ζεύξη ενώ για ανοδική ζεύξη η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων αγγίζει τα 50 Mb ανά δευτερόλεπτο.

Η τεχνολογία WiMAX είναι δημιούργημα του WiMAX Forum και είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας Wi-Fi στην οποία έχουμε προαναφερθεί. Όσο αναφορά την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων το σταθερό WiMAX φτάνει μέχρι και τα 75 Mb ανά δευτερόλεπτο ενώ το Mobile WiMAX αγγίζει ταχύτητες μέχρι και 30 Mb ανά δευτερόλεπτο.

Η LTE έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να είναι συμβατή με τις προηγούμενες τεχνολογίες στις οποίες βασίστηκε GSM και HSPA. Εάν για παράδειγμα μια ασύρματη συσκευή ξεπεράσει το εύρος του LTE δικτύου, θα γυρίσει στις προηγούμενες τεχνολογίες εφόσον καλύπτει όλες τις προδιαγραφές.

Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και με την τεχνολογία WiMAX. Το πρότυπο 802.16e γνωστό και ως Mobile WiMAX ταιριάζει απόλυτα με το προηγούμενο πρότυπο 802.16d γνωστό και ως Σταθερό WiMAX.

## Wimax vs. LTE



Εικόνα 30 LTE vs WiMAX

Για την λειτουργία της LTE απαραίτητη προϋπόθεση είναι η χρήση κάρτας SIM. Αυτό είναι ιδανικό για τις συσκευές που χρησιμοποιούν την κάρτα όμως είναι αρνητικό για όλες τις συσκευές οι οποίες δεν χρησιμοποιούν κάρτα SIM όπως για παράδειγμα οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

Από την άλλη το WiMAX δεν κάνει χρήση τέτοιων καρτών ούτε κάποιων άλλων ειδικευμένων εργαλείων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εύκολη και άμεση σύνδεση όλων των συσκευών. Κάθε συσκευή WiMAX μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να χρησιμοποιεί αρκετά δίκτυα σε διάφορες περιοχές αλλά και πολλοί χρήστες να μπορούν να κάνουν χρήση του ίδιου δικτύου.

Τέλος και οι δύο αυτές τεχνολογίες είναι τεχνολογίες IP. Καλύπτουν τις εφαρμογές φωνής μέσω των πρωτοκόλλων VoIP Υποστηρίζουν την χρήση πολλαπλών κεραίων MIMO. Χρησιμοποιούν παρεμφερή τεχνολογία διαμόρφωσης. Η LTE κάνει χρήση FDD ( για καθολική αμφίδρομη μετάδοση σε δύο κανάλια των 5 MHz. Η WiMAX κάνει χρήση TDD για half duplex σε κανάλι των 10 MHz.

[41]

## 8.9 Πίνακας συγκρίσεων τεχνολογιών

Παρακάτω παραθέτουμε έναν συγκεντρωτικό πίνακα, ο οποίος περιέχει μερικά από τα βασικότερα χαρακτηριστικά που κατέχουν οι τεχνολογίες στις οποίες προαναφερθήκαμε.

Τεχνολογία	Πρότυπο	Διαμόρφωση	Ταχύτητα	Ακτίνα κάλυψης	Συχνότητα
<b>3G(UMTS)</b>	3GPP(R99-R7)	CDMA	14Mbps	3km	1920 ή 1980 ή 2110 ή 2170MHz
<b>Wi-Fi</b>	802.11	OFDM	Έως 54 Mbps	Έως 1χλμ	2.4 ή 5GHz
<b>ADSL</b>	ITU-G.992.1	FDM	24Mbps	Έως 5χλμ από τηλεφωνικό κέντρο	Περίπου 25-1104KHz
<b>LMDS</b>	-	QPSK,16Q/64QAM	40Mbps	Έως 10χλμ αλλά τυπικά μέχρι 3-5χλμ	>25GHz, ανάλογα με την χώρα
<b>LTE</b>	3GPP LTE	OFDMA, SC-FDMA	Μέχρι 100Mbps	350km/h	1.4 ή 3 ή 5 ή 10 ή 15 ή 20MHz
<b>WiMAX</b>	802.16	OFDM, OFDMA. 16/64QAM,Q/BPSK	75Mbps (για σταθερό)  30Mbps (για κινητό)	50χλμ	2-11GHz

Εικόνα 31 Πίνακας συγκρίσεων ασύρματων τεχνολογιών

# 9

## Μελλοντικές εξελίξεις

### 9.1 Εισαγωγή στην νεότερη τεχνολογία LTE

Η LTE είναι μια ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία, η οποία έχει δημιουργηθεί για να προσφέρει την πρόσβαση στο διαδίκτυο σε υψηλές ταχύτητες μέσω της χρήσης κινητών τηλεφώνων. Εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 2010, όμως τώρα ξεκινάει η ουσιαστική της ανάπτυξη και η καθιέρωση της. Όπως έχουμε προαναφέρει και σε προηγούμενο κεφάλαιο και συγκεκριμένα στο κεφάλαιο με τις συγκρίσεις η τεχνολογία αυτή μαζί με την WiMAX αναφέρονται και ως 4G.



Εικόνα 32 Εμπορικό σήμα LTE

#### 9.1.2 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας LTE

Ένα από τα πιο σημαντικά ωφέλη τις συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η πολύ γρήγορη ταχύτητά της. Οι χρήστες που είναι συνδεδεμένοι σε κάποιο δίκτυο LTE καταλαβαίνουν πως υπάρχει μία ταχύτερη μεταφορά δεδομένων, διότι η συσκευή που χρησιμοποιούν συνδέεται με το διαδίκτυο και όλες τις online υπηρεσίες, όχι μόνο γρηγορότερα αλλά και αποτελεσματικότερα.

Συνεχώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών που ανεβάζουν ψηφιακά αρχεία στο διαδίκτυο. Η τεχνολογία LTE μπορεί να ανταπεξέλθει καλύτερα από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία στις ανάγκες των χρηστών αυτών, για την εκπομπή μουσικής σε υψηλή ποιότητα ή HD video, ακόμα και αν κάποιος από τους χρήστες βρίσκεται εν κινήσει.

Τέλος η LTE μπορεί να προσφέρει την τέλεια ποιότητα και την σωστότερη ταχύτητα στις βιντεοδιασκέψεις, οι οποίες πραγματοποιούνται εν κινήσει.[42]

### 9.1.3 Εφαρμογή της LTE στην Ελλάδα

Η Cosmote ήταν η πρώτη εταιρία η οποία έφερε την τεχνολογία LTE στην Ελλάδα. Εφάρμοσε ένα πιλοτικό πρόγραμμα στις περιοχές του Αμαρουσίου και Χαλανδρίου. Επιλέχθηκαν αυτές οι περιοχές διότι εκεί βρίσκονταν οι τεχνικές υπηρεσίες της εταιρείας.

Τέλος οι χρήστες θα έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν προηγμένες εφαρμογές και να ευχαριστούνται από τις υψηλές ταχύτητες που τους προσφέρονται.[43]

## 9.2 Εισαγωγή στην μελλοντική τεχνολογία 5G

Η τεχνολογία 5G είναι η τεχνολογία που θα μας απασχολήσει τα επόμενα χρόνια. Αν και δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα όλοι την γνωρίζουν ήδη και περιμένουν με μεγάλη ανυπομονησία να κυκλοφορήσει στην αγορά. Η ιδέα για την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής της βασίζεται πάνω στη τεχνολογία 4G και κατά συνέπεια στις προγενέστερες τεχνολογίες WiMAX και LTE.

Ο IMT είναι ένας από τους σημαντικότερους οργανισμούς ανάπτυξης κινητών ευρυζωνικών προτύπων τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ο οργανισμός αυτός δημιούργησε το πρότυπο IMT Advanced το οποίο θα βασιστεί η τεχνολογία 5G.[44]



Εικόνα 33 Προσωρινό σήμα τεχνολογίας 5G

### 9.2.1 Δημιουργία δικτύων 5G

Μια από τις πιο γνωστές εταιρίες στον κόσμο η Samsung η οποία εδρεύει στην Νότια Κορέα, έχει αρχίσει ήδη να δημιουργεί 5G δίκτυα τα οποία όμως θα ολοκληρωθούν έως το 2017. Μετά την ολοκλήρωσή τους θα χρειαστεί να δοκιμαστούν για περίπου τρία χρόνια και έπειτα εφόσον είναι έτοιμα για ευρεία χρήση το 2020 θα διατεθούν στο εμπόριο. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο η κυβέρνηση την χώρας αποφάσισε να διαθέσει 1,2 δισεκατομμύρια ευρώ για την δημιουργία των δικτύων αυτών.[45]

Στην εμπορική έκθεση CeBIT η οποία πραγματοποιήθηκε στη Γερμανία και συγκεκριμένα στο Ανόβερο επικυρώθηκε η συμφωνία μεταξύ Γερμανίας και Μεγάλης Βρετανίας για την μελέτη και την δημιουργία 5G δικτύου. Ο David Cameron, ανακοίνωσε την χρηματοδότηση της έρευνας με 73 εκατομμυρίων στερλινών. Για την έρευνα και την υλοποίηση του δικτύου συνεργάζονται το πανεπιστήμιο της Δρέσδης, το πανεπιστήμιο King's College του Λονδίνου και το πανεπιστήμιο του Surrey.[46]

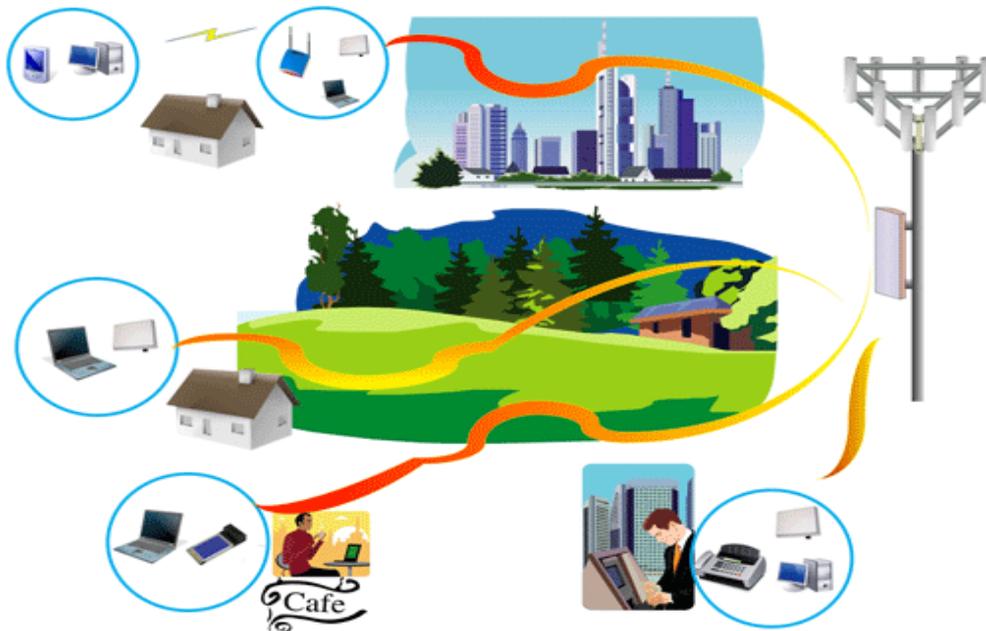
### 9.2.2 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας 5G

Αρχικά επιβάλλεται να αναφερθούμε στις πολύ υψηλές ταχύτητες σύνδεσης τις οποίες θα είναι σε θέση να προσφέρει. Αφού η ταχύτητα που θα παρέχει θα είναι μεγαλύτερη από 1 Gbit / sec. Επίσης θα καταλαμβάνουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Τέλος το κόστος της θα είναι προσιτό και έτσι θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλο το καταναλωτικό κοινό.[47]

# 10

## Συμπέρασμα

Το WiMAX δίκτυο είναι μια τεχνολογία που έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια και προσπαθεί σταδιακά να εξελίσσεται συνεχώς. Υπερτερεί αρκετά από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες (όπως αναλύσαμε στα παραπάνω κεφάλαια) επειδή έχει πολλές παραπάνω εφαρμογές και χρήσεις. Όμως το βασικό του πρόβλημα είναι ο ανταγωνισμός με τις υπόλοιπες τεχνολογίες που βρίσκονται χρόνια στην αγορά και έχουν ήδη εγκατεστημένα δίκτυα με αποτέλεσμα να τις προτιμάνε ο κόσμος. Παρόλα αυτά όμως η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς με απώτερο σκοπό να προσφέρει ευρυζωνικότητα παντού δηλαδή οι πάροχοι του θα μπορούν να συνδέονται όταν είναι στο σπίτι ή στο δρόμο ή στο γραφείο. Αυτό μας δείχνει και η εικόνα παρακάτω.



Εικόνα 34 Υλοποίηση συνδέσεων WiMAX από όλους τους χώρους

Επίσης η τεχνολογία του WiMAX είναι αρκετά αξιόπιστη και ικανή. Προσφέρει ευρυζωνική πρόσβαση τόσο σταθερή όσο και κινητή με μεγάλη ασφάλεια και απόδοση. Όσο αναφορά τα mobile WiMAX στηρίζονται σε καινούριες τεχνολογίες όπως για παράδειγμα η OFDM (την οποία και έχουμε αναλύσει σε προηγούμενο κεφάλαιο), οι οποίες εγγυούνται πιο γρήγορες, πιο αποτελεσματικές και πιο φθηνές εφαρμογές για τα ευρυζωνικά κινητά ασύρματα συστήματα.

Το WiMAX εμφανίστηκε διότι ήταν επιτακτική ανάγκη να μειωθεί το κόστος των ασύρματων τεχνολογιών που εφαρμόζονταν. Η διαλειτουργικότητα του κάνει τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται

από τους χρήστες να πραγματοποιούν μεγάλη χωρητικότητα σε ευρυζωνικές υπηρεσίες με πολύ μικρό έως και μηδαμινό κόστος. . Οι συγκεκριμένες υπηρεσίες καλύπτουν μεγάλες περιοχές σε περιπτώσεις οπτικής επαφής αλλά και σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει καμία οπτική επαφή ανάμεσα στον χρήστη και στον σταθμό βάσης. Αυτό επιτυγχάνεται διότι υπάρχει μια πολύ ισχυρή βιομηχανική υποστήριξη η οποία προσφέρεται από τον επίσημο οργανισμό προώθησης του WiMAX, το WiMAX Forum και ο οποίος έχει περισσότερα από 500 μέλη.

Το WiMAX λοιπόν είναι το σπουδαιότερο από όλα τα υπόλοιπα ασύρματα πρότυπα που έχουν πιστοποιηθεί και από την IEEE αλλά και από τους 3G οργανισμούς. Η ταχύτατη απήχηση του βασίζεται κατά πολύ στο προγενέστερο του δίκτυο, το Wi-Fi, το οποίο είχε ήδη γνωστοποιηθεί και χρησιμοποιηθεί από το ευρύ κοινό και είχε ήδη προσελκύσει το ενδιαφέρον των χρηστών για την αποδοχή των ασύρματων επικοινωνιών.

Επίσης εταιρείες παγκόσμιου βεληνεκούς όπως για παράδειγμα είναι η Intel έπαιξαν σπουδαίο ρόλο στην εξάπλωση του WiMAX διότι παρήγαγαν και συνεχίζουν να παράγουν προϊόντα που έχουν ως βάση την χρήση της τεχνολογίας WiMAX .

Επιπλέον με την πάροδο των χρόνων το WiMAX πρόκειται να είναι η επικρατέστερη τεχνολογία όσο αναφορά την ασύρματη δικτύωση. Θα μπορεί να χρησιμοποιείται ως κινητό δίκτυο αλλά και να προσφέρει σταθερή ευρυζωνική πρόσβαση με πολύ μικρό κόστος. Έτσι, θα έχουν διασύνδεση στο διαδίκτυο όλες απομακρυσμένες και οι δύσβατες περιοχές.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το WiMAX είναι η πρώτη τεχνολογία που μπορεί να εγκαταστήσει δίκτυο ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης σε οποιαδήποτε περιοχή, από τις μεγαλουπόλεις και τα χωριά έως και τις πιο δύσβατες και απομακρυσμένες περιοχές

Τέλος αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία να ειπωθεί είναι το εξής: αν δοθεί περισσότερο ελεύθερο φάσμα για χρήση, θα πραγματοποιηθεί μια σύμπραξη ανάμεσα σε δύο διακεκριμένους τομείς επικοινωνίας, της παραδοσιακής ασύρματης και της επαναστατικής κινητής επικοινωνίας.

## Βιβλιογραφία

- [5]. Πανέτσος, Σ. (2007). *Επικοινωνίες & Δίκτυα Υπολογιστών*. Αθήνα: ΤΖΙΟΛΑ
- [7]. Στεργίου, Ε. (2002-2003), *Ασύρματες Επικοινωνίες-Δίκτυα*. Άρτα: ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ
- [8]. Jeffrey, A. & Arunabha, G. & Rias, M. (2010), *Βασικές αρχές του WiMAX Ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα*.
- [9]. Syed, A. & Mohammad I. (2008), *WiMAX Standards and Security*. CRC Press (Taylor and Francis group)
- [10]. Loutfi, N. (2007), *WiMAX Technology for Broadband Wireless Access*. France: John Wiley & Sons Ltd
- [12]. Αλεξόπουλος, Α. & Λαγογιάννης, Γ. (2010). *Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών*. Αθήνα: εκδ. συγγρ.
- [13]. Βενιέρης, Ι.(2007), *Δίκτυα Ευρείας Ζώνης*, Θεσσαλονίκη: ΤΖΙΟΛΑ

## Ιστοσελίδες

- [1]. ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ, (2013), *WiMAX*, Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX> , τελευταία πρόσβαση στις 13/01/2014
- [2]. News4tech.com, (2007-2013), *WiMAX*, Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: [http://www.news4tech.com/product\\_info.php?products\\_id=68](http://www.news4tech.com/product_info.php?products_id=68) , τελευταία πρόσβαση στις 13/01/2014
- [3]. Multirama,( 2008), *Τεχνολογίες*. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.multirama.com.gr/articles/library/wimax.htm> , τελευταία πρόσβαση στις 14/01/2014
- [4]. Techteam, (2002-2014), *WiMAX*, Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://techteam.gr/wiki/WiMAX> , τελευταία πρόσβαση στις 14/01/2014
- [6]. Μακρής, Ι. & Λογοθέτης, Χ. *Ασύρματα δίκτυα*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [isa.teipir.gr/files/projects/wireless\\_nets.ppt](http://isa.teipir.gr/files/projects/wireless_nets.ppt) , τελευταία πρόσβαση στις 15/01/2014
- [11]. WiMAX Forum, Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.wimaxforum.org/> , τελευταία πρόσβαση στις 22/01/2014

- [14]. Conniq.com, (2005-2012), *Duplexing Scheme in WiMAX: TDD or FDD*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.conniq.com/WiMAX/tdd-fdd.htm> ,τελευταία πρόσβαση στις 27/01/2014
- [15]. Πρέβες, Ν. (2008), *Ασύρματα Δίκτυα Υπολογιστών*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://books.google.gr/books?id=0KiO\\_W\\_3w24C&pg=PA489&lpg=PA489&dq](http://books.google.gr/books?id=0KiO_W_3w24C&pg=PA489&lpg=PA489&dq)
- [16]. Ευρυζωνικότητα, *WiMAX*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wimax.php> ,τελευταία πρόσβαση στις 14/02/2014
- [17]. Radio-Electronics.com, *WiMAX QoS Quality of Service*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax/qos-quality-of-service.php> , τελευταία πρόσβαση στις 15/02/2014
- [18]. WIKIPEDIA, *HTC Max 4G*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://en.wikipedia.org/wiki/HTC\\_Max\\_4G](http://en.wikipedia.org/wiki/HTC_Max_4G) , τελευταία πρόσβαση στις 16/02/2014
- [19]. Pestaola.gr, *Wimax-Τελευταία νέα και ειδήσεις*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.pestola.gr/tag/wimax/page/2> , τελευταία πρόσβαση στις 16/02/2014
- [20]. *Η Acer παρουσιάζει τους πρώτους φορητούς υπολογιστές με υποστήριξη WiMAX*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.adslgr.com/forum/archive/index.php/t-238002.html> ,τελευταία πρόσβαση στις 17/02/2014
- [21]. PLAY 247.gr , Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.play247.gr/index.php?referrer=true&main\\_page=product\\_info&products\\_id=20072](http://www.play247.gr/index.php?referrer=true&main_page=product_info&products_id=20072) , τελευταία πρόσβαση στις 17/02/2014
- [22]. L-com Global Connectivity, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.l-com.com/wireless-antenna-35-ghz-16-dbi-backfire-antenna> , τελευταία πρόσβαση στις 17/02/2014
- [23]. Wimax Forum, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://registry.wimaxforum.org/certification/426> , τελευταία πρόσβαση στις 17/02/2014
- [24]. C|net, *South Korea to be first with nationwide WiMAX*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.cnet.com/news/south-korea-to-be-first-with-nationwide-wimax> ,τελευταία πρόσβαση στις 18/02/2014
- [25]. RCR WIRELESS, *China Tel set to bring WiMAX to China*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.rcrwireless.com/article/20100813/software/chinatel-set-to-bring-wimax-to-china> , τελευταία ενημέρωση στις 18/02/2014
- [26]. Quantum WiMAX, *Δίκτυα Wimax σε όλο τον κόσμο*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://quantumwimax.com/index.php?page=Wimax-Networks-around-the-world> , τελευταία πρόσβαση στις 18/02/2014

- [27]. WIKIPEDIA, *List of deployed WiMAX networks*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_deployed\\_WiMAX\\_networks](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_deployed_WiMAX_networks) , τελευταία πρόσβαση στις 19/02/2014
- [28]. Wi-MAX/Wi-MAX8, *Υπάρχοντα Wimax δίκτυα*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://radar.ee.auth.gr/Applied\\_Telecom\\_Systems/Wi-Max/Wi-MAX8](http://radar.ee.auth.gr/Applied_Telecom_Systems/Wi-Max/Wi-MAX8) , τελευταία πρόσβαση στις 19/02/2014
- [29]. LightReading, *Austria Gets WiMAX Network*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.lightreading.com/austria-gets-wimax-network/d/d-id/618268> ,τελευταία πρόσβαση στις 20/02/2014
- [30]. Airspan, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.airspan.com/2007/05/02/dbd-deutsche-broadband-dienste-expands-network-with-airspans-wimax-products-in-germany> , τελευταία πρόσβαση στις 20/02/2014
- [31]. Working Party on Telecommunication and Information Services Policies, *The implications of WiMAX for competition and regulation*, (2006), Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.oecd.org/internet/broadband/36218739.pdf> , τελευταία πρόσβαση στις 20/02/2014
- [32]. GoodGearGuide, *WiMAX switched on in South Australia*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.goodgearguide.com.au/article/325864/wimax\\_switched\\_south\\_australia](http://www.goodgearguide.com.au/article/325864/wimax_switched_south_australia) , τελευταία πρόσβαση στις 22/02/2014
- [33]. X BLOG.gr, *Άγιο Όρος: Πιλοτική λειτουργία δικτύου WiMAX*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.xblog.gr>, τελευταία πρόσβαση στις 22/02/2014
- [34]. Δελτία Τύπου, *Ο ΔΑΑ παρέχει -για πρώτη φορά στο διεθνή αεροδρομιακό χώρο- υπηρεσίες Triple Play μέσω τεχνολογίας WiMax*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.aia.gr/el/company-and-business/press-and-Media/press-office/press-releases/athens-international-airport-is-the-first-airport-internationally-to-provide-triple-play-services-through-wimax> ,τελευταία πρόσβαση στις 22/02/2014
- [35]. E-Trikala, *WiMAX*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.e-trikala.gr/taxonomy/term/1> ,τελευταία πρόσβαση στις 23/02/2014
- [36]. Research & Development of Telecommunication Systems Lab., *PASIPHAΕ*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.pasiphae.teiher.gr> , τελευταία πρόσβαση στις 23/02/2014
- [37]. ΕΕΤΤ:19 πιλοτικές άδειες WiMAX, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.myphone.gr/forum/showthread.php?t=98901>, τελευταία πρόσβαση στις 23/02/2014
- [38]. Tutorialspoint, *WiMAX and WiFi Comparison*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax\\_wifi\\_comparison.htm](http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_wifi_comparison.htm) , τελευταία πρόσβαση στις 25/02/2014
- [39]. Rajvir, G. & Tanjila, F. & Ljiljana, T. (2011), *Comparison of WiMAX and ADSL Performance when Streaming Audio and Video Content*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο:

[file:///C:/Users/ann/Downloads/OPNETWORK2011\\_presentation\\_farah\\_gill\\_final.pdf](file:///C:/Users/ann/Downloads/OPNETWORK2011_presentation_farah_gill_final.pdf) , τελευταία πρόσβαση στις 25/02/2014

[40]. Ζούρα, Μ. (χ.χ) ,*Δίκτυα σταθερής ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://library.tee.gr/digital/m2101/m2101\\_zoura.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2101/m2101_zoura.pdf) , τελευταία πρόσβαση στις 27/02/2014

[41]. goingWimax.com, *What is the Difference Between WiMax and LTE*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο : <http://www.goingwimax.com/what-is-the-difference-between-wimax-and-lte-4155> ,τελευταία πρόσβαση στις 30/02/2014

[42]. netweekonline,*Η εποχή του LTE*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.netweek.gr/default.asp?pid=9&la=1&cid=3&arID=23651> , τελευταία πρόσβαση στις 3/3/2014

[43]. Cosmote, *Πιλοτικό δίκτυο ευρυζωνικών υπηρεσιών νέας γενιάς (LTE) ετοιμάζει η COSMOTE*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.cosmote.gr/cosmoportal/page/T37/xml/Company\\_articleadvanced\\_articleadvanced\\_210710/section/News\\_Network](http://www.cosmote.gr/cosmoportal/page/T37/xml/Company_articleadvanced_articleadvanced_210710/section/News_Network) , τελευταία πρόσβαση στις 5/03/2014

[44]. *What comes after 4G*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://gizmodo.com/5877997/what-comes-after-4g> , τελευταία πρόσβαση στις 10/3/2014

[45]. Λαΐνας, Θ. Ολοι τρέχουν για τα δίκτυα 5G, *Το Βήμα*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.tovima.gr/science/technology-planet/article/?aid=561234> , τελευταία πρόσβαση στις 14/03/2014

[46]. GOV.UK, *CeBIT 2014: David Cameron's speech*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.gov.uk/government/speeches/cebit-2014-david-camersons-speech> , τελευταία πρόσβαση στις 15/03/2014

[47]. Web Design & Technology, *5G technology the future of wireless telephone technology*, Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://webtechdesigner.weebly.com/1/post/2012/11/5g-technology-the-future-of-wireless-telephone-technology.html> , τελευταία πρόσβαση στις 20/03/2014

## Glossary

Wi-Fi	Wireless Fidelity
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
VoIP	Voice over Internet Protocol
IP	Internet Protocol address
FM	Frequency Modulation
PANs	Personal area networks
LANs	Local Area Networks
WLANs	Wireless Local Area Networks
WAN	Wide Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Networks
NIC	Network Interface Controller
RF	Radio Frequency
UTP	Unshielded Twisted Pair
DSL	Digital Subscriber Line
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
Non-LOS	Non Line of Sight
LOS	Line of Sight
SOFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
HiperMAN	High-Performance Metropolitan Area Network
MAC	Medium Access Control
PHY	Physical Layer
QoS	Quality of Service
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
TDD	Time Division Duplex
FDD	Frequency Division Duplex
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QAM	Quadrature amplitude modulation
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
FCC	Federal Communications Commission
BRS	Broadband Radio Services
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service
WCS	Wireless Communication Services
DARS	Digital Audio Radio Services
UHF	Ultrahigh Frequency

## Glossary

AWS	Advance Wireless Service
T.E.I	Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
ISI	Intersymbol Interference
FTT	Fast Fourier Transform
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
SNR	Signal to Noise Ratio
HFDD	Half Frequency Division Duplex
HD-FDD	Half-Duplex Frequency Division Duplexing
AES	Advanced Encryption Standard
3DES	Triple Data Encryptions Standard
EAP	Extensible Authentication Protocol
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
FEC	Forward Error Correction
BS	Base Station
DSL	Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CS	Convergence Sublayer
MS	Mobile Station
GSM	Global System for Mobile communication
CDMA	Code Division Multiple Access
ATM	Automated teller machine
2G	Second Generations
3G	Third Generations
4G	Forth Generation
VPNs	Virtual Private Network
ADSL	Asymmetric digital subscriber loop
MIMO	Multiple Input and Multiple Output
LTE-TDD	Long-Term Evolution Time-Division Duplex
ICASA	Independent Communications Authority of South Africa

## Glossary

EETT	Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων
OTE	Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
ASP	Application Service Provider
UMTS	Universal Mobile Telephone System
ISP	Internet service provider
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
MBWA	Mobile Broadband Wireless Access
LMDS	Local Multipoint Distribution Service
MBWA	Mobile Broadband Wireless Access
VHF	Very High Frequency
UHF	Ultrahigh Frequency
FCC	Federal Communication Commission
3GPP	3rd Generation Partnership Project
LTE	Long Term Evolution
HSPA	High-Speed Packet Access
WRAN	Wireless Regional Area Networks
SIM	Subscriber Identity Module
HD	High-definition
5G	Fifth Generation
IMT	Information Management and Technology

