

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

University of Macedonia

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

Master Information Systems

Δίκτυα Υπολογιστών

Computer Networks

Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Professor: A.A Economides

**Broadband and Wireless Communication with**

**WiMAX, LTE, and WiFi technology.**

Ευρυζωνική και ασύρματη επικοινωνία με

WiMAX, LTE και τεχνολογία WiFi.



Wimax vs. LTE



Φωτιάδης Δημήτριος M13/12

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2013



## Περίληψη

Πρόσφατα οι τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης έχουν εξελιχθεί σε σημαντικό τομέα έρευνας τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο. Ως κύριος παράγοντας είναι η ύπαρξη διαφόρων ασύρματων τύπων δικτύων, αφού έχουμε δίκτυα που καλύπτουν έκταση μερικών εκατοστών (WBAN – Wireless Body Area Network), μέχρι περιφερειακά ασύρματα δίκτυα εκατοντάδων χιλιομέτρων (WRAN – Wireless Regional Area Network).

Όλα αυτά τα διαφορετικά δίκτυα έχουν αναπτυχθεί το καθένα ξεχωριστά, με αποτέλεσμα η διασυνεργασία μεταξύ τους να είναι μια δύσκολη και προκλητική εργασία. Οι κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι ασύρματες επικοινωνίες βρίσκονται στη σύνδεση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας με άλλα ασύρματα δίκτυα, καθώς και σε θέματα που αφορούν την ασφάλεια του δικτύου, την ποιότητα των υπηρεσιών (QOS – Quality Of Service) κ.α.

Τα πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), LTE (Long Term Evolution) και WiFi (Wireless Fidelity) μας επιτρέπουν τη χρήση ραδιοκυμάτων αντί για καλώδια μεταξύ των σταθμών επικοινωνίας. Στην εποχή μας η ανάπτυξη και η συντήρηση ασύρματων τύπων δικτύων έχει γίνει μια απλή διαδικασία με αποτέλεσμα οι τεχνολογίες αυτές να προσφέρουν μια ευέλικτη και χαμηλού κόστους δικτύωση για εταιρίες και ομάδες εργασίας.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιάσει συνοπτικά το κάθε ένα από τα τρία (3) αυτά πρότυπα και να επισημάνει πόσο βοήθησαν στην βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων.

## Abstract

Recently wireless network technologies have become an important area of research in academia and industry. As a principal factor is the diversity of wireless network types, which range from networks that covering areas up to a few centimeters (WBAN – Wireless Body Area Network) to Wireless Regional Area Networks covering up to several miles (WRAN).

All these types of networks have been developed separately, which make interworking between them a difficult and challenging task. The main challenges facing the wireless communication are the connection of the cellular network with the other wireless networks, security, the quality of service (QOS) and more.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), LTE (Long Term Evolution) and WiFi (Wireless Fidelity) are wireless communication standards that use radio wave technology instead of cables between stations. In our time, the development and maintenance of wireless network types has become a simple procedure, as a result wireless technologies can provide a flexible and low cost interworking for companies and work groups.

In this paper I briefly present each one of those three (3) standards and the contribution to a better communication between people.

## Εισαγωγή

Η βιομηχανία των ασύρματων επικοινωνιών παρουσίασε πρόσφατα δυο (2) πρότυπα ασύρματης διαδικτύωσης με πολύ μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, IP-based αρχιτεκτονικές δικτύου με χαμηλό κόστος τόσο για διαχειριστές όσο και για τελικούς χρήστες (Bhandare, 2008).

Το WiMAX, το οποίο στηρίζεται στο IEEE 802.16, και το 3GPP LTE ηγούνται της κατηγορίας των δικτύων επόμενης γενιάς. Πιο συγκεκριμένα, η WiMAX τεχνολογία επεκτείνει την ασύρματη πρόσβαση από ένα μικρό τοπικό δίκτυο (συνήθως χρησιμοποιείται τεχνολογία WiFi της οικογένειας 802.11) σε μητροπολιτικά (MAN) δίκτυα και σε δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN). Αυτό το πετυχαίνουμε με την χρήση της τεχνολογίας OFDMA (θα την αναλύσουμε στη συνέχεια) στο φυσικό επίπεδο τόσο για κατερχόμενη όσο και για ανερχόμενη ζεύξη. Η τελευταία έκδοση το 802.16m επόμενης γενιάς στηρίζεται στη διαλειτουργικότητα της WiMAX τεχνολογίας με άλλα ασύρματα δίκτυα, όπως WiFi, Bluetooth ακόμα και 3G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων είναι της τάξης των 100Mbps για κινητούς σταθμούς και 1Gbps για σταθερούς σταθμούς (Bhandare, 2008).

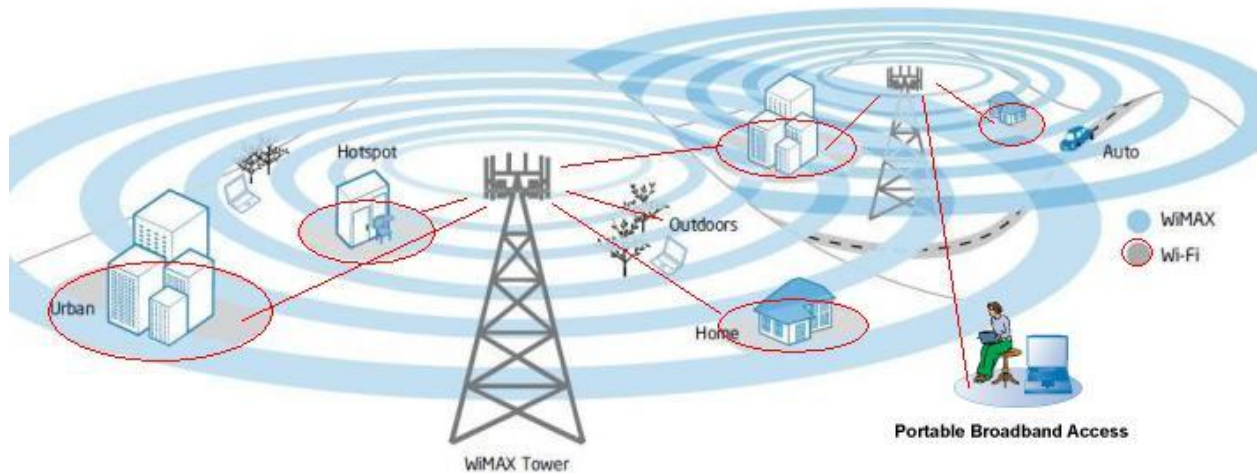
Από την άλλη πλευρά, το LTE είναι εξέλιξη της 3G τεχνολογίας δικτύου και στηρίζεται στο πρότυπο WCDMA (wideband code division multiple access). Το φυσικό επίπεδο (PHY layer) του LTE χρησιμοποιεί OFDMA τεχνολογία (παρόμοια με το WiMAX) για το κατέβασμα δεδομένων και SCFDMA για το ανέβασμα. Οι ρυθμοί μετάδοσης όμως είναι πιο μικροί από του WiMAX, αφού κυμαίνονται από 100 μέχρι 326,4Mbps για κατερχόμενη ζεύξη και 50-86,4Mbps για ανερχόμενη (Bhandare, 2008).

## 1. Ασύρματη Τεχνολογία WiMAX



### 1.1 Γενικές πληροφορίες και πλεονεκτήματα

Η WiMAX τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης επιτρέπει την πρόσβαση στο internet σε εμβέλεια που φτάνει μέχρι τα 35 χιλιόμετρα ή και παραπάνω, καλύπτοντας ακόμα και μια ολόκληρη πόλη. Όπως φαίνεται καθαρά και στο σχήμα 1, ένας WiMAX Tower καλύπτει μια πολύ μεγάλη έκταση, σε αντίθεση με το Wi-Fi που καλύπτει τοπικά.



Σχήμα 1.

**Πλεονεκτήματα** της συγκεκριμένης τεχνολογίας υπάρχουν στην ευκολία σύνδεσης ενός συνδρομητή με το internet, αφού μπορεί να χρησιμοποιεί τη σύνδεση του εν κινήσει μέσα στην πόλη χωρίς να έχει περιορισμένη εμβέλεια. Όσον αφορά τις ιδιωτικές εταιρείες παροχής internet (ISP), έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν δίκτυα τηλεπικοινωνιών και υπηρεσιών internet με πολύ μεγάλη ευκολία χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση καλωδίων, αυξάνοντας έτσι τον ανταγωνισμό μεταξύ τους.

Επιπλέον, η εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου που καλύπτει μια ολόκληρη πόλη χρειάζεται μερικές μέρες, σε αντίθεση με ενσύρματα δίκτυα που χρειάζονται πολλούς μήνες έως και χρόνια. Τέλος, σε περίπτωση που ο συνδρομητής μετακομίσει σε άλλη πόλη το μόνο που χρειάζεται να κάνει είναι να συνδεθεί ασύρματα με τον αντίστοιχο WiMAX πάροχο της περιοχής του (Fazel, Kaiser, 2008).

## 1.2 Πρωτόκολλα

Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται βασίζονται στο IEEE 802.16e-2005 που καθιερώθηκε το Δεκέμβριο του 2005 και ήταν μια τροποποίηση του IEEE 802.16-2004 που απευθυνόταν σε σταθερά συστήματα. Οι βελτιώσεις αφορούν κυρίως την καλύτερη κάλυψη με συνδυασμούς από εξελιγμένες κεραιές και την αποτελεσματικότερη διείσδυση σε εσωτερικούς χώρους. Επιπροσθέτως, παρατηρείται βελτίωση στην ποιότητα της επικοινωνίας (QOS – Quality Of Service), που το καθιστά κατάλληλο για VoIP και real-time εφαρμογές (Ergen, 2009).

Το συγκεκριμένο πρότυπο καλύπτει συχνότητες από 2 GHz έως 66 GHz, ενώ οι ταχύτητες μετάδοσης μπορεί να φτάσουν στον αέρα μέχρι και τα 72 Mbps. Η σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11, είναι ότι το πρώτο χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που οι σταθμοί επικοινωνίας δεν έχουν οπτική επαφή, βεβαίως οι ταχύτητες μετάδοσης σε αυτήν την περίπτωση είναι αρκετά πιο χαμηλές.

Η ανάγκη αυτή οδήγησε τη δημιουργία του συγκεκριμένου υποπροτύπου (802.16a) τον Ιανουάριο του 2003, το οποίο λειτουργούσε σε πολύ χαμηλές συχνότητες για την εποχή (2 – 11 GHz). Η τεχνολογία όμως προχωράει με ταχύτατους ρυθμούς και έτσι γεννήθηκε η ανάγκη για υψηλή ποιότητα υπηρεσιών σε real-time εφαρμογές (VoIP).

Το νέο τότε υποπρότυπο 802.16d κάλυπτε αυτήν την ανάγκη για επικοινωνία. Το 2004 δημιουργήθηκε το πρότυπο IEEE 802.16-2004, το οποίο συνδύαζε τα παραπάνω υποπρότυπα (a , c , d) και λειτουργούσε σε συχνότητες από 2 GHz μέχρι 66 GHz. Το μεγάλο μειονέκτημα όμως του παραπάνω προτύπου παρατηρείται στην κινητικότητα των χρηστών. Όταν κάποιος χρήστης μετακινηθεί από το κελί που καλύπτει ένας συγκεκριμένος σταθμός βάσης, τότε χάνεται η σύνδεση. Το τελευταίο πρωτόκολλο IEEE 802.16e-2005 επιτρέπει στον χρήστη να μετακινείται από ένα σταθμό βάσης σε άλλον.

Για την ασφαλή μετάδοση δεδομένων με τεχνολογία WiMAX χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard – Πρότυπο Κωδικοποίησης Δεδομένων). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αναπτύχθηκε το 1970 από το Αμερικανικό Εθνικό Γραφείο Προτύπων και κάνει χρήση κλειδιών μήκους 56bit. Ο αλγόριθμος DES όμως θεωρείται ξεπερασμένος, αφού μπορεί να παραβιαστεί σχετικά εύκολα. Γι' αυτό και χρησιμοποιείται μια νέα μέθοδος, η triple – DES, στην οποία το μήνυμα κωδικοποιείται 3 φορές με τρία διαφορετικά κλειδιά (Στεφάνου, 2006).

### 1.3 Τεχνικές πληροφορίες και περιορισμοί

Σε αυτήν την ενότητα θα εξετάσουμε το WiMAX σε δυο (2) επίπεδα , στο φυσικό και στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων. Αρχικά το πρωτόκολλο 802.16a αναπτύχθηκε με σκοπό να εξυπηρετεί WMAN συστήματα, παρέχοντας πολλαπλές υπηρεσίες σε ένα ασύρματο μητροπολιτικό δίκτυο. Το φυσικό επίπεδο (PHY) του εν λόγω πρωτοκόλλου έχει συγκεκριμένη διαμόρφωση βασισμένη στο OFDM. Όπως αναφέρει ο Στεφάνου Κ. (2006) “η διαμόρφωση OFDM εκπέμπει δεδομένα ταυτόχρονα πάνω από πολλαπλές, παράλληλες υποομάδες συχνότητας και προσφέρει ικανοποιητική επίδοση κάτω από

άσχημες συνθήκες ραδιοδιαύλου”. Οι προδιαγραφές του IEEE 802.16d για το φυσικό επίπεδο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

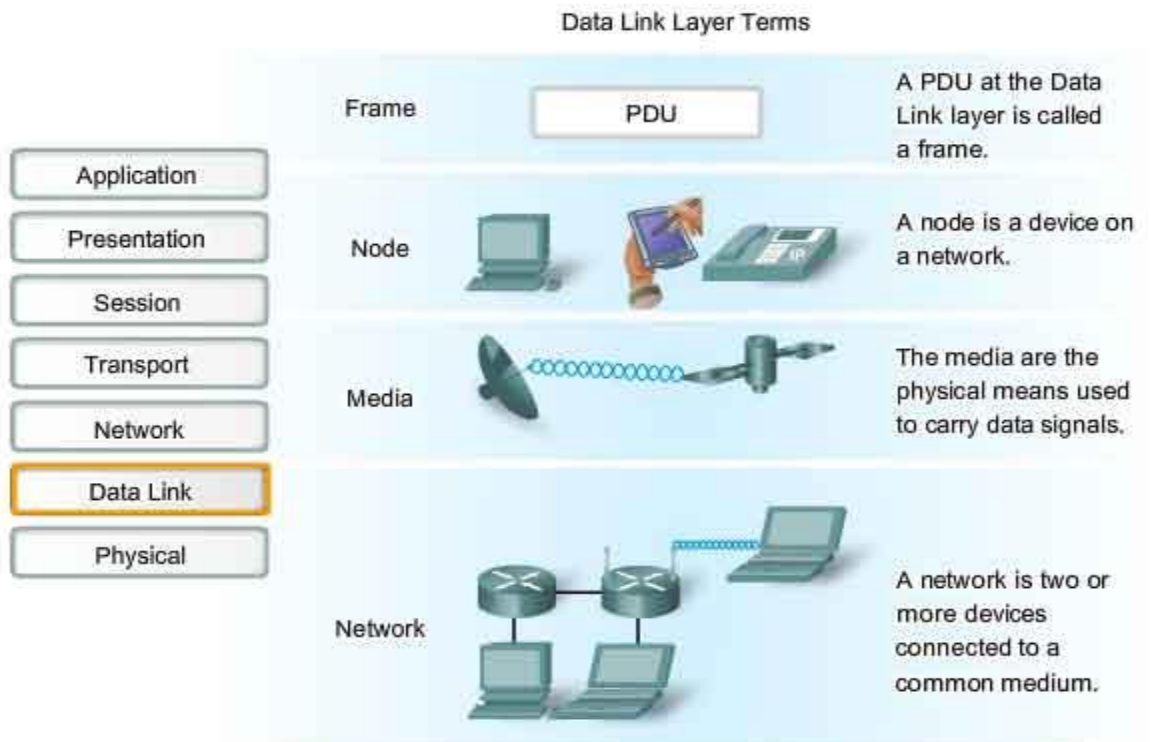
<b><u>Προδιαγραφές Φυσικού Στρώματος OFDM</u></b>	
<b>Προδιαγραφή</b>	Ρυθμίσεις
<b>Ρυθμός Δεδομένων Πληροφορίας</b>	4-70 Mbps
<b>Σχήμα Διαμόρφωσης</b>	QPSK OFDM, 16-QAM OFDM και 64-QAM OFDM
<b>Κώδικας Διόρθωσης Λαθών</b>	Reed-Solomon plus Convolutional Code
<b>Ολικός Αριθμός Κωδικοποίησης</b>	1 / 2 , 3 / 4 , 2 / 3
<b>Βασικό Μέγεθος FFT</b>	256
<b>Αριθμός Subcarriers</b>	200 , DC nulled
<b>Αριθμός Πιλοτικών Τόνων</b>	8
<b>Κυκλικό Πρόθεμα (ή διάστημα φύλαξης)</b>	1 / 32 , 1 / 16 , 1 / 8 και 1 / 4 της περιόδου συμβόλου

*Σχήμα 2.*

Στα τέλη του 2005 το πρωτόκολλο (802.16d) αναβαθμίστηκε στο 802.16e, το οποίο χρησιμοποιεί τύπο συχνότητας scalable orthogonal frequency-division multiple access (SOFDMA). Η εξελιγμένη αυτή μορφή χρησιμοποιεί Multiple Antenna και από τον πομπό και από τον δέκτη και έχει τη δυνατότητα να καλύπτει αποτελεσματικά ακόμα και σε περίπτωση κίνησης του χρήστη. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω και τα δυο (2) αυτά πρωτόκολλα χρησιμοποιούν χαμηλές συχνότητες με βελτιωμένο εύρος και ικανότητα διαπερατότητας κτιρίων, χωρίς όμως να παρατηρείται σημαντική εξασθένηση του σήματος (Lin, & Wei, 2010).



Στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (MAC Layer / Data Link layer) το πρωτόκολλο 802.11 (WiFi) χρησιμοποιεί ανταγωνιστική πρόσβαση. Αυτό σημαίνει πως ενδέχεται ορισμένοι απομακρυσμένοι ασύρματοι χρήστες που θέλουν να μεταφέρουν δεδομένα, να μην μπορέσουν να αποκτήσουν πρόσβαση στο μέσο ή να διακόπτεται διαρκώς η σύνδεση εξαιτίας άλλων χρηστών που βρίσκονται πιο κοντά στο σημείο πρόσβασης.



Σχήμα 3.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3., συγκεκριμένες εφαρμογές όπως τηλεδιασκέψεις ή Voice Over IP (VoIP) που χρειάζονται ποιότητα στη σύνδεση (επιτυχής και συνεχής μεταφορά δεδομένων) δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν με επιτυχία.

Γι' αυτόν το λόγο το WiMAX 802.16 χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο, ο οποίος επιτρέπει στον χρήστη να ανταγωνίζεται στην πρόσβαση μια (1) μόνο φορά (κατά την αρχική του είσοδο του στο σύστημα). Ο τρόπος σύνδεσης καθορίζεται από το base

station, το οποίο μοιράζει το χρόνο σύνδεσης αποτελεσματικά. Ο αλγόριθμος επιτρέπει στο base station να ελέγχει την ποιότητα των υπηρεσιών (Quality Of Service) και να κατανέμει τον χρόνο ανάλογα με τις εφαρμογές των χρηστών ακόμα και σε περιπτώσεις που το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο από πλήθος συνδρομητών.

Ένας σημαντικός περιορισμός που αφορά την ταχύτητα της σύνδεσης έγκειται στην οπτική επαφή στις κεραιές μετάδοσης. Στα αστικά κέντρα, που οι περισσότερες κεραιές μετάδοσης δεν έχουν οπτική επαφή, οι ταχύτητες αγγίζουν τα 10 Mbps σε απόσταση 2 χιλιομέτρων. Επίσης ανάλογα με την απασχόληση του δικτύου, οι χρήστες πρόκειται να μοιράζονται το bandwidth, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 2 με 10 Mbit/s ώστε να διαμοιράζεται το φάσμα των συχνοτήτων.

#### 1.4 Μελλοντικές εξελίξεις

Ο μελλοντικός στόχος του WiMAX καθώς και του LTE (για το LTE θα μιλήσουμε στις επόμενες ενότητες), είναι να μπορέσουν να επιτύχουν 1 Gbit/s bandwidth σε σταθερό χρήστη και 100 Mbit/s εν κινήσει. Το νέο 4G πρότυπο που δημιουργήθηκε είναι το 802.16m, το οποίο αποτελεί μετεξέλιξη του 802.16e και είναι συμβατό σε όλες τις WiMAX συσκευές με μια απλή αναβάθμιση στο λογισμικό τους. Το νέο αυτό πρότυπο υποστηρίζει ταχύτητες των 120Mbps για κατέβασμα δεδομένων και 60Mbps για ανέβασμα σε αστικές περιοχές. Επίσης, χρησιμοποιεί 4X2 MIMO κεραιές και ατομικό κανάλι εύρους 20MHz (Li, Li, Lee, Lee, Mazzaresse, Clerkx, & Li, 2010).

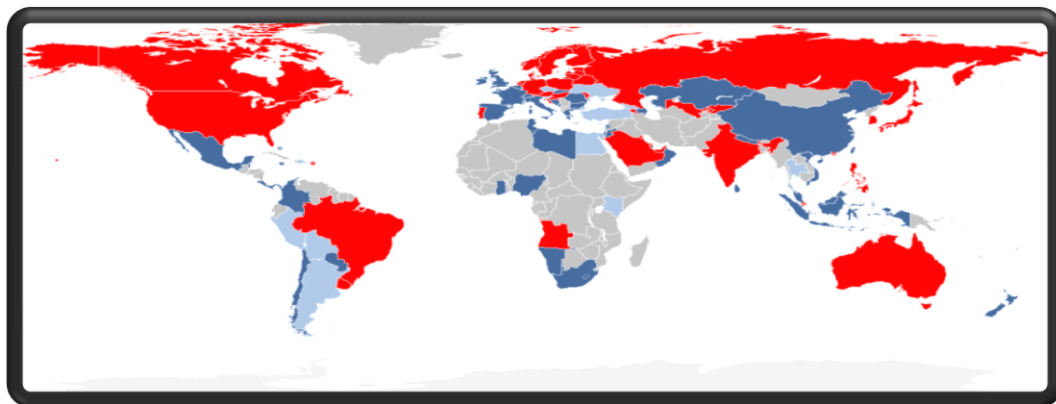


## 2. LTE τεχνολογίας αιχμής

### 2.1 Γενική επισκόπηση

Ο οργανισμός 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) δημιούργησε το πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας για κινητές συσκευές, που ονομάζεται **LTE** (Long Term Evolution). Το νέο αυτό πρότυπο χρησιμοποιεί ειδικές τεχνικές διαμόρφωσης, βελτιώνοντας την χωρητικότητα και την ταχύτητα του ήδη υπάρχοντος δικτύου.

Η αρχή έγινε στις 14 Δεκεμβρίου 2009 στο Όσλο (Oslo) και στη Στοκχόλμη (Stockholm) από την εταιρεία TeliaSonera. Οι δημιουργοί του συγκεκριμένου δικτύου που εγκαταστάθηκε στις δυο (2) αυτές πρωτεύουσες, της Νορβηγίας και της Σουηδίας αντίστοιχα, είχαν την φιλοδοξία να δημιουργήσουν ένα παγκόσμιο πρότυπο κινητής τηλεφωνίας. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε έναν **LTE worldwide map** που κατασκευάστηκε στις 8 Μαΐου 2012.



Σχήμα 4.

- Χώρες με εμπορικές υπηρεσίες LTE.
- Χώρες που αναπτύσσονται ή σχεδιάζονται εμπορικά δίκτυα LTE.
- Χώρες που δοκιμάζονται LTE υπηρεσίες.

Το συγκεκριμένο πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας αποτελεί εξέλιξη του GSM/UMTS, χρησιμοποιεί όμως διαφορετικό εύρος ζώνης συχνοτήτων από τα δίκτυα 2G και 3G με αποτέλεσμα να μην είναι συμβατό με αυτά. Οι ταχύτητες των δεδομένων μεταφοράς φτάνουν τα 300Mbps για κατέβασμα (downloading) και τα 75Mbps για το ανέβασμα (uploading).

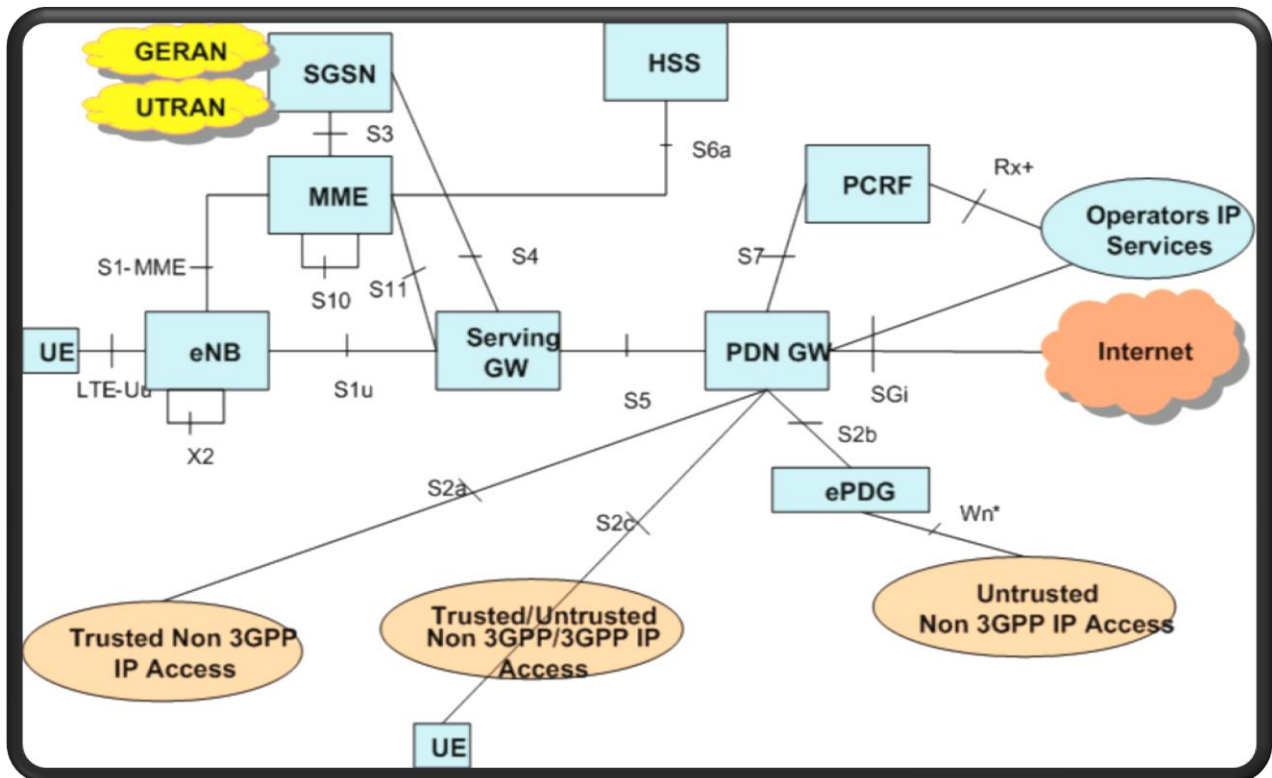
Από την άλλη πλευρά, το εύρος ζώνης του σήματος κυμαίνεται από τα 1.4 έως τα 20MHz. Χρησιμοποιείται η Evolved Packet Core (EPC), μια αρχιτεκτονική μορφής IP, η οποία είναι συμβατή με παλαιότερης τεχνολογίας δίκτυα και υποστηρίζει την απρόσκοπτη μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και φωνής (Sesia , Toufik, Baker, 2011).

Το LTE έχει στόχο να παρέχει υψηλές ταχύτητες στη μεταφορά δεδομένων χρησιμοποιώντας τεχνολογία παράλληλης και πολλαπλής ροής μετάδοσης δεδομένων προς έναν μόνο δέκτη με τη χρήση πολλαπλών εισόδων-εξόδων (MIMO – multiple inputs, multiple outputs). Το μεγάλο εύρος ζώνης μετάδοσης (1.4 – 20MHz), η ευέλικτη κατανομή του ραδιοφάσματος ( διπλεξία διαίρεσης συχνότητας FDD), καθώς και η διπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDD) είναι τρεις (3) σημαντικοί παράγοντες για να αποφασίσουμε ποια τεχνολογία πρόσβασης να χρησιμοποιήσουμε σε κάθε περίπτωση (Dahlman, Ekström, Furuskär, Jading, Karlsson, Lundevall, & Parkvall, 2006).

Ο βασικός όμως σκοπός της LTE τεχνολογίας είναι να γεφυρώσει το χάσμα στην ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ενός σταθερού τοπικού ασύρματου δικτύου υψηλών ταχυτήτων (LAN), με ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με πολύ υψηλή κινητικότητα (cellular network).

## 2.2 Αρχιτεκτονική και χαρακτηριστικά

Όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 5., η αρχιτεκτονική του 3GPP LTE είναι απλούστερη και πιο ολοκληρωμένη σε σχέση με άλλες αρχιτεκτονικές IP.



Σχήμα 5.

Συγκεκριμένα, η LTE χρησιμοποιεί μια ενοποιημένη αρχιτεκτονική κόμβου eNB (δηλαδή E-UTRAN κόμβου B), η οποία επικοινωνεί με την SGW (Service Gateway) με μια διεπαφή S1u (user-επίπεδο χρήστη). Το SGW είναι το σημείο αναφοράς της κινητικότητας στο επίπεδο του χρήστη κατά τη διάρκεια της eNB μετάβασης, καθώς και της κινητικότητας από LTE σε άλλη 3GPP τεχνολογία δικτύου. Τέλος διαχειρίζεται και αποθηκεύει της πληροφορίες της UE (User Equipment) (Zhang ,2010)

Όσον αφορά την σχέση της eNB με το φορέα της διαχείρισης της κινητικότητας (Mobility Management Entity), χρησιμοποιείται διεπαφή τύπου S1c (control-επίπεδο

ελέγχου). Ο φορέας MME είναι το κλειδί στον έλεγχο της πρόσβασης σε ένα LTE δίκτυο. Στην πράξη, το επίπεδο MME (διαχείρισης κινητικότητας) επιλέγει το SGW (σημείο αναφοράς) ενός UE (εξοπλισμός χρήστη) κατά την αρχική σύνδεση αλλά και κατά τη διάρκεια της παραμονής στο LTE δίκτυο. Όταν γίνει η εξακρίβωση του εισερχόμενου χρήστη, το MME επικοινωνεί με το HSS επίπεδο (Home Subscriber Server), το οποίο είναι μια βάση δεδομένων με πληροφορίες για το συνδρομητή.

Το PDN GW (Packet Data Network Gateway) έχει διπλό ρόλο, αφού λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για την κινητικότητα μεταξύ ενός δικτύου 3GPP τεχνολογίας και ενός όχι. Επίσης, υποστηρίζει τη συνδεσιμότητα ενός UE με εξωτερικά δίκτυα πακέτων δεδομένων, μέσω της εισόδου και εξόδου του συγκεκριμένου εξοπλισμού (Zhang , 2010).

Γενικά, η αρχιτεκτονική LTE υποστηρίζει το Multicast/Broadcast, δηλαδή τη μετάδοση ενός κοινού σήματος από πολλές κυψέλες με κατάλληλο συγχρονισμό του χρόνου. Ο κόμβος eNB είναι η μοναδική E-UTRAN οντότητα που υποστηρίζει όλες τις λειτουργίες (όπως έλεγχος εισόδου, διαχείριση κινητικότητας κ.τ.λ.) σε ένα τυπικό ασύρματο δίκτυο (Etsi, 2008).

Για να επιτευχθεί ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων, καθώς και η βελτιωμένη φασματική απόδοση το φυσικό στρώμα του LTE (Physical Layer) χρησιμοποιεί OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) διαμόρφωση τόσο για την ανοδική, όσο και για την καθοδική ζεύξη (Rumney, 2008).

### 2.3 Συχνότητες λειτουργίας και απόδοση

Το LTE λειτουργεί σε διαφορετικές συχνότητες σε κάθε ήπειρο που εκπέμπει. Στην Ευρώπη για παράδειγμα χρησιμοποιούνται οι συχνότητες των 800MHz, 900MHz, 1.8GHz και των 2.6GHz, ενώ στην Β. Αμερική οι συχνότητες των 700/800MHz και 1.7/1.9GHz. Από την άλλη πλευρά, στην Ασία το LTE χρησιμοποιεί συχνότητες των 1.8GHz και των 2.6GHz ενώ τέλος στην Αυστραλία μόνο των 1.8GHz. Για να μπορέσει ένας χρήστης να έχει παγκόσμια κάλυψη θα πρέπει να έχει μια συσκευή, η οποία θα συντονίζει τις πολλαπλές αυτές μπάντες συχνοτήτων και θα του παρέχει κάλυψη σε κάθε γωνία της γης (Song, Shen, 2011)

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, το LTE παρέχει υψηλό ρυθμό μετάδοσης bit εξαιτίας του μεγάλου εύρους ζώνης (bandwidth) που φτάνει μέχρι και 20MHz, της πολλαπλής ροής μετάδοσης δεδομένων MIMO (multi-stream), καθώς και της υψηλής τάξης διαμόρφωσης της κωδικοποίησης 64QAM. Βλέπουμε και τα παρακάτω σχήματα (6 & 7) που αφορούν τους ρυθμούς μετάδοσης των bit για κατερχόμενη και ανερχόμενη ζεύξη σε κατάσταση κορύφωσης αντίστοιχα.

#### Κατάσταση κορύφωσης για κατερχόμενη ζεύξη

Modulation coding		Peak bit rate per sub-carrier/bandwidth				
		72/1.4 MHz	180/3.0 MHz	300/5.0 MHz	600/10 MHz	1200/20 MHz
QPSK 1/2	Single stream	0.9	2.2	3.6	7.2	14.4

16QAM 1/2	Single stream	1.7	4.3	7.2	14.4	28.8
16QAM 3/4	Single stream	2.6	6.5	10.8	21.6	43.2
64QAM 3/4	Single stream	3.9	9.7	16.2	32.4	64.8
64QAM 4/4	Single stream	5.2	13.0	21.6	43.2	86.4
64QAM 3/4	Single stream	7.8	19.4	32.4	64.8	129.6
64QAM 4/4	Single stream	10.4	25.9	43.2	86.4	172.8

Σχήμα 6.

**Κατάσταση κορύφωσης για ανεργόμενη ζεύξη**

Modulation coding		Peak bit rate per sub-carrier/bandwidth				
		72/1.4 MHz	180/3.0 MHz	300/5.0 MHz	600/10 MHz	1200/20 MHz
QPSK 1/2	Single stream	0.9	2.2	3.6	7.2	14.4



16QAM 1/2	Single stream	1.7	4.3	7.2	14.4	28.8
16QAM 3/4	Single stream	2.6	6.5	10.8	21.6	43.2
16QAM 4/4	Single stream	3.5	8.6	14.4	28.8	57.6
64QAM 3/4	Single stream	3.9	9.7	16.2	32.4	64.8
64QAM 4/4	Single stream	5.2	13.0	21.6	43.2	86.4

Σχήμα 7.

Ο υπολογισμός των παραπάνω αποτελεσμάτων μπορεί να βρεθεί με την εξής εξίσωση:

**Peak bit rate (Mbps) = (bits/Hz) × Number of sub-carriers × (Number of symbols per sub-frame/1ms).** (Zhang , 2010).

Όπως παρατηρούμε από τα σχήματα 6 & 7 ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε κατάσταση κορύφωσης για την κατερχόμενη ζεύξη είναι μεγαλύτερος από αυτόν της ανερχόμενης. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό το φαινόμενο είναι ότι ο κάθε μεμονωμένος χρήστης MIMO (Multiple Input-Multiple Output) δεν προσδιορίζεται κατά την ανερχόμενη ζεύξη, αφού η αρχιτεκτονική MIMO στη συγκεκριμένη ζεύξη αυξάνει μόνο τα ποσοστά δεδομένων στην κυψέλη (Song, Shen, 2011).

Τέλος, όσον αφορά το θέμα του χρόνου αδράνειας (latency), το LTE αντιδρά ακαριαία σε κάθε αίτημα για πλοήγηση, online gaming κ.τ.λ. όπως θα έκανε κάθε

ευρυζωνική σύνδεση. Για παράδειγμα, η καθυστέρηση αναμένεται να φτάσει τα 50ms για τη δημιουργία της πρώτης σύνδεσης και 5ms στη συνέχεια με άλλα 3.5G δίκτυα (Zhang , 2010).

### 3. WiFi 802.11



#### 3.1 Γενικές πληροφορίες

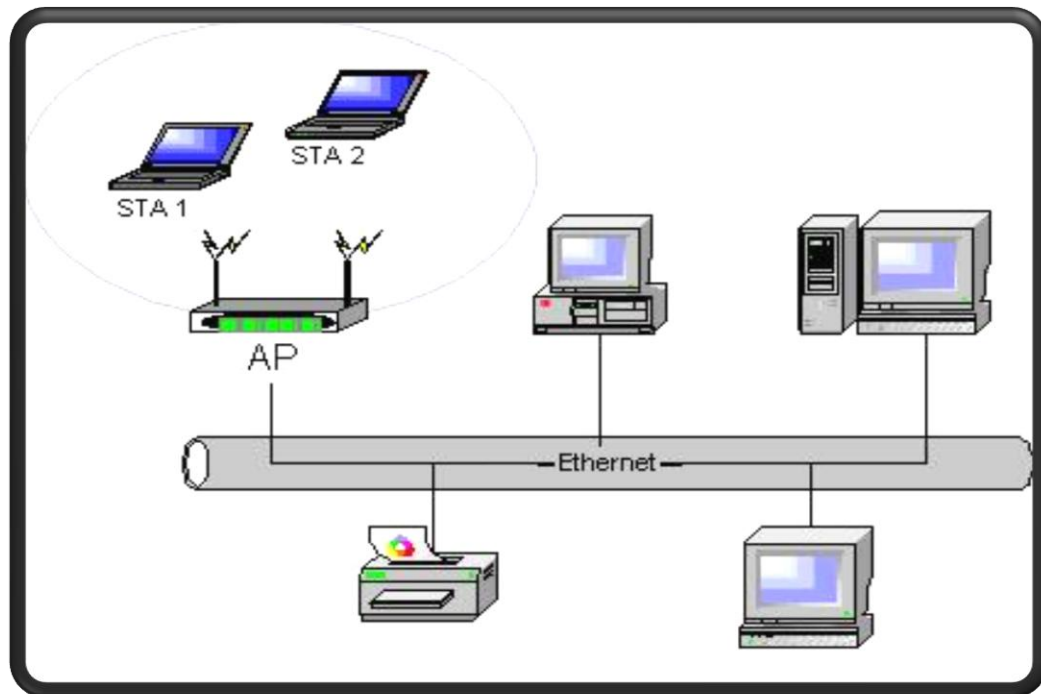
Η δημοφιλής τεχνολογία WiFi ανήκει στην οικογένεια των προτύπων 802.11 της IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers') που αφορούν την ασύρματη ανταλλαγή δεδομένων σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων. Ο όρος WiFi (Wireless Fidelity – Ασύρματη πιστότητα) έχει πάρει το όνομα του από τον ανεξάρτητο οργανισμό της IEEE WiFi alliance, ο οποίος παρέχει πιστοποίηση σε συσκευές που ακολουθούν τις προδιαγραφές του προτύπου 802.11 (Viehböck, 2011).

Μια τέτοια συσκευή μπορεί να συνδεθεί ασύρματα σ' ένα ήδη υπάρχον δίκτυο υψηλής ταχύτητας από ένα σταθερό συνήθως σημείο πρόσβασης (hotspot). Η εμβέλεια ενός hotspot φτάνει τα 20 περίπου μέτρα σε εσωτερικό χώρο, ενώ σε εξωτερικούς χώρους πολύ περισσότερο. Επιπλέον, μπορεί να επιτευχθεί κάλυψη μιας τεράστιας έκτασης με τη χρήση πολλών σημείων πρόσβασης που επικαλύπτουν το ένα το άλλο.

Ένα σύστημα wifi μπορεί να λειτουργήσει σε δυο (2) διαφορετικές καταστάσεις, η πρώτη που ονομάζεται **κατάσταση υποδομής** έχουμε ασύρματη επικοινωνία μιας συσκευής μ' ένα ενσύρματο τοπικό δίκτυο μέσω σημείου πρόσβασης. Τα σημεία πρόσβασης, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι συσκευές που αποτελούνται από κεραίες και από έναν ραδιοπομποδέκτη. Η δεύτερη κατάσταση ονομάζεται **ειδικού**

*σκοπού ή ομότιμη κατάσταση* και έχουμε απευθείας ασύρματη επικοινωνία χωρίς κάποιο σημείο πρόσβασης.

Όπως βλέπουμε και στο *σχήμα 8*, ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο 802.11 λειτουργεί σε κατάσταση υποδομής και συνδέει έναν μικρό αριθμό κινητών συσκευών μ' ένα μεγαλύτερο ενσύρματο τοπικό δίκτυο.



Σχήμα 8.

Το σημείο πρόσβασης (AP) λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ των ασύρματων συσκευών και του ενσύρματου τοπικού δικτύου. Οι κινητές συσκευές (STA 1 & 2) πρέπει να έχουν μια ασύρματη κάρτα διασύνδεσης δικτύου (wireless NIC) που διαθέτει ενσωματωμένο δέκτη και κεραία για να μπορούν να επικοινωνούν με το σημείο πρόσβασης (Laudon, & Laudon, 2005).

### 3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Wi-Fi, καθώς και άλλων ασύρματων τεχνολογιών (WiMAX, LTE) είναι πολυποίκιλα. Το σημαντικότερο όφελος αφορά τις επιχειρήσεις που θέλουν να αναπτύξουν γρήγορα και με ασφάλεια ένα τοπικό δίκτυο που καλύπτει τις ανάγκες τους οικονομικά. Επίσης, υπάρχουν περιπτώσεις που δεν μπορούμε να αναπτύξουμε ενσύρματα δίκτυα (π.χ. ιστορικά κτίρια και μουσεία), οπότε σε αυτήν την περίπτωση το Wi-Fi είναι η καλύτερη λύση.

Το Wi-Fi μπορεί να αναπτυχθεί σε δίκτυα που στηρίζονται σε προϋπάρχουσα υποδομή (infrastructure mode) αλλά και σε περιβάλλον ad-hoc (αυτοδιοικούμενοι χρήστες χωρίς κάποιον administrator). Η συγκεκριμένη τεχνολογία εκμεταλλεύεται την ευελιξία του “multihopping” (Sarkar, Mukherjee, 2007), από την άλλη πλευρά όμως προσφέρει για μικρή εμβέλεια (περίπου 100 μέτρα) χαμηλές ταχύτητες στη μεταφορά δεδομένων (54Mb/s).

Επιπροσθέτως, ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η εύκολη και γρήγορη επεκτασιμότητα, καθώς ένα Wi-Fi δίκτυο μπορεί να αντιμετωπίσει ξαφνική αύξηση του αριθμού των πελατών του χωρίς να είναι απαραίτητη κάποια βελτίωση στον εξοπλισμό, σε αντίθεση με ενσύρματα δίκτυα που απαιτείται επιπλέον καλωδίωση.

Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματα αφορούν κυρίως θέματα ασφαλείας, ταχύτητας, εύρους και αξιοπιστίας. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν εύκολα να δεχτούν επίθεση από κακόβουλους χρήστες, αφού οι ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες κρυπτογράφησης είναι ευάλωτες. Το εύρος του δικτύου κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (περίπου 100 μέτρα για επιφάνεια χωρίς εμπόδια) το οποίο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες ενός οικιακού δικτύου, άλλα για δίκτυα με μεγαλύτερες ανάγκες χρειάζεται επέκταση κάτι το οποίο θα αυξήσει το κόστος. Επίσης, τα ασύρματα δίκτυα υπόκεινται

σε πλήθος παρεμβολών υποβιβάζοντας έτσι την αξιοπιστία τους. Τέλος, όσον αφορά την ταχύτητα των Wi-Fi δικτύων μπορούμε να πούμε ότι είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με άλλα ασύρματα δίκτυα (όπως WiMAX) αφού φτάνει έως τα 54Mbps (Saeed, Chaudhari, Mokhtar, 2012).

### 3.3 Εκδόσεις και ασφάλεια

Τα πρωτόκολλα Wi-Fi που έχουν αναπτυχθεί ως τώρα δίνονται στο παρακάτω σχήμα.

Έκδοση	Ημερ/νια	Ζώνη Συχνοτήτων	Ρυθμός Μετάδοσης	Μέθοδοι Μετάδοσης	Εμβέλεια σε εσωτερικό χώρο
<b>802.11</b>	1997	2.4GHz	2 Mbit/s	IR / FHSS / DSSS	20m
<b>802.11b</b>	1999	2.4GHz	11 Mbit/s	DSSS	38m
<b>802.11a</b>	1999	5GHz	54 Mbit/s	OFDM	35m
<b>802.11g</b>	2003	2.4GHz	54 Mbit/s	OFDM	38m

Σχήμα 9.

Μετάπειτα αναπτύχθηκαν και άλλες εκδόσεις που όμως δεν έχουν υλοποιηθεί εμπορικά. Συγκεκριμένα, έχουμε την **802.11f** (IAPP - Internet Access Point Protocol) που επιτρέπει και εξασφαλίζει την επικοινωνία διαφορετικών access point ώστε να μειωθεί κατά τη μεταγωγή η απώλεια των πακέτων.

Η γέφυρα μεταξύ των δύο (2) αυτών ap (access point) ενεργοποιείται μ' ένα αίτημα-trigger από τον ένα σταθμό στον άλλον (O'Hara, Petrick, 2005).

Στη συνέχεια αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο 802.11e (QOS – Quality Of Service), το οποίο στοχεύει στη βελτίωση των υπηρεσιών για real time εφαρμογές σε WLAN δίκτυα. Το εν λόγω πρωτόκολλο, επεμβαίνει με τους μηχανισμούς ECDF (Enhanced Distributed Coordination Function) και HCF (Hybrid Coordination Function) δίνοντας προτεραιότητα σε πακέτα δεδομένων με βάση το χρόνο παράδοσης τους αλλά και περιορίζοντας το χρόνο που δεσμεύει ένας χρήστης το κανάλι επικοινωνίας (Mangold, Choi, May, Klein, Hiertz & Stibor, 2011).

Τέλος, το 2009 αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο 802.11n που υποστηρίζει κανάλια των 20 και 40MHz με ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους των 100Mbps. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση πολλαπλών κεραιών (με τη μέθοδο που αναφέραμε και παραπάνω MIMO Multiple Input, Multiple Output). Μετεξέλιξη του συγκεκριμένου προτύπου είναι το 802.11ac η έγκριση του οποίου θα γίνει στις αρχές του 2013. Οι ρυθμοί μετάδοσης αυτής της προδιαγραφής φτάνει το 1Gbps έχοντας πιο διευρυμένο εύρος ζώνης (20, 40, 80, 160MHz) και ακόμα περισσότερα MIMO (Watson, 2012).

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στα Wi-Fi δίκτυα είναι το θέμα της ασφάλειας, γι' αυτό και έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μηχανισμοί κρυπτογράφησης δεδομένων. Ένας τέτοιος μηχανισμός είναι ο WEP (Wired Equivalent Privacy) ο οποίος χρησιμοποιεί τον RC4 αλγόριθμο κρυπτογράφησης (Trimintzios, Georgiou, 2010).

Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να πούμε ότι το WEP πρότυπο ασφαλείας δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό. Παρ' όλο που είναι ενσωματωμένο σε όλα τα 802.11 προϊόντα η χρήση του είναι προαιρετική και πρέπει να ενεργοποιείται από τον χρήστη.

Σύμφωνα με τους Laudon, & Laudon, (2005), οι βασικές προδιαγραφές του WEP προβλέπουν ότι “ένα σημείο πρόσβασης και όλοι οι χρήστες του μοιράζονται τον ίδιο κρυπτογραφημένο κωδικό πρόσβασης των 40 bit, που εύκολα μπορεί να αποκρυπτογραφεί από χάκερ με μια μικρή ποσότητα πληροφορίας”.

Για να πετύχουμε μεγαλύτερη ασφάλεια στη μεταφορά δεδομένων, η εμπορική ένωση Wi-Fi Alliance εξέδωσε μια καινούργια προδιαγραφή, την WPA (Wi-Fi Protected Access). Πιο συγκεκριμένα, έχουμε αντικατάσταση του κλειδιού κρυπτογράφησης από ένα μεγαλύτερο κλειδί των 128bit, το οποίο αλλάζει σε τακτά χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα να κάνει ακόμα πιο δύσκολη την αποκρυπτογράφηση του. Η WPA προδιαγραφή επίσης ελέγχει τα πακέτα δεδομένων ώστε να μπορεί να εξακριβώσει ότι ένα πακέτο είναι τμήμα μιας συγκεκριμένης ροής δεδομένων και όχι κάποια επανάληψη από έναν κακόβουλο χρήστη (Laudon, & Laudon, 2005).

### Συμπεράσματα

- ✓ Η τεχνολογία WiMAX στηρίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16 και διαθέτει ευέλικτη αρχιτεκτονική για κάθε IP-based δίκτυο.
- ✓ Το MAC επίπεδο (Media Access Control) του WiMAX υποστηρίζει τη μεταφορά ήχου, εικόνας, βίντεο και πολυμέσων εξαιρετικής ποιότητας (QOS).
- ✓ Το LTE αναβαθμίστηκε σε LTE Advanced ώστε να πληροί τις προϋποθέσεις των 4G συστημάτων.
- ✓ Η τεχνολογία LTE αξιοποιεί μια πληθώρα τεχνολογιών όπως MIMO (τεχνικές πολλαπλών εισόδων-εξόδων), OFDM (πολυπλεξία ορθογώνιας διαίρεσης χρόνου), SC-FDMA (τεχνική πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου μονού φέροντος) και τεχνικές διαμόρφωσης 16QAM, 64QAM.
- ✓ Το WiFi βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.11 και χρησιμοποιείται για μικρά ασύρματα τοπικά δίκτυα με μέγιστη εμβέλεια τα 20 μέτρα.

### Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

- ✓ Τα προϊόντα του IEEE 802.16 είναι στα τελικά στάδια της εμπορικής τους ανάπτυξης, παρ' όλα αυτά η επιτακτική ανάγκη για διαλειτουργικότητα των ασύρματων δικτύων εξακολουθεί να υπάρχει. Είναι σαφές ότι στον ίδιο χώρο συνυπάρχουν περισσότερα του ενός δίκτυα, για να μπορέσουμε να αξιοποιήσουμε τις δυνατότητες όλων αυτών των διαφορετικών δικτύων πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος για κοινή συνεργασία τόσο σε ερευνητικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο εφαρμογής.
- ✓ Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα αφορά την αποδοτική αξιοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας των ασύρματων δικτύων. Η κατανάλωση ενέργειας των ασύρματων δικτύων



δεν επηρεάζει μόνο τη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών αλλά και τη βιωσιμότητα του πλανήτη.

- ✓ Τέλος, οι διεθνείς οργανισμοί προτυποποίησης προτείνουν τη χρήση αναμεταδοτών σήματος, οπότε και η μελλοντική έρευνα καλό θα ήταν να στραφεί σε αυτήν την κατεύθυνση.

## Αναφορές

- [1] Bhandare T. (2008). *Lte and WiMAX Comparison*. Santa Clara University, California.
- [2] Fazel K. & Kaiser S. (2008). *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems*. United Kingdom: John Wiley & Sons Publication.
- [3] Laudon K. C. & Laudon P.L. (2005). *Essentials of management information systems: managing the digital firm*. New Jersey: Pearson International Edition.
- [4] Ergen M. (2009). *Mobile Broadband Including WiMAX and LTE*. California: Springer.
- [5] Στεφάνου Κ. (2006). *Σχεδίαση και Προσομοίωση Συστήματος WiMAX*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [6] Lin K. P., & Wei H. Y. (2010). Paging and Location Management in IEEE 802.16j Multihop Relay Network. *Journal of Computer Systems, Networks, and Communications*. Volume 2010 Article ID 916569, pp. 1-3.
- [7] Li Q., Li G., Lee W., Lee M., Mazzaresse D., & Clerckx D., Li Z. (2010). MIMO Techniques in WiMAX and LTE: A Feature Overview. *IEEE Communications Magazine*. May 2010, pp. 86-90.
- [8] Sesia S., Toufik I., Baker M., (2011). *LTE - The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice*. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- [9] Dahlman E., Ekstrom H., Furuskar A., Jading Y., Karlsson J., Lundevall M., Parkvall, S. (2006). The 3G Long-Term Evolution. Radio Interface Concepts and Performance Evaluation. Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd, 7-10 May 2006, pp. 137-141.

- [10] Zhang L. (2010). *A Survey of Long Term Evolution*. Washington University, St Louis.
- [11] Etsi (2008). *European Telecommunications Standards Institute* [Media Kit]. Retrieved from [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136300\\_136399/136300/08.04.00\\_60/ts\\_136300v080400p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/08.04.00_60/ts_136300v080400p.pdf)
- [12] Rumney M. (2008). 3GPP LTE: Introducing Single-Carrier FDMA. *Agilent Measurement Journal*.
- [13] Song L., Shen J. (2011). *Evolved Cellular Network Planning and Optimization for UMTS and LTE*. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- [14] Viehböck S. (2011). *Brute Forcing Wi-Fi Protected Setup, When poor design meets poor implementation*. Retrieved from [http://sviehb.files.wordpress.com/2011/12/viehboeck\\_wps.pdf](http://sviehb.files.wordpress.com/2011/12/viehboeck_wps.pdf)
- [15] Sarkar S., Mukherjee B. (2007). Hybrid Wireless-Optical Broadband-Access Network (WOBAN): A Review of Relevant Challenges. *Journal of Lightwave Technology*, vol.25, no 11, November 2007, pp. 3329-3340.
- [16] Saeed R., Chaudhari B., Mokhtar R. (2012). *Femtocell Communications and Technologies*. Hersey PA: Information Science Reference.
- [17] O'Hara B., Petrick A. (2005). *The IEEE 802.11 handbook : a designer's companion*. New York, Standards Information Network IEEE Press.
- [18] Mangold S., Choi S., May P., Klein O., Hiertz G. & Stibor L. (2011). *IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service*. Aachen University of Technology. Aachen.

[19] Watson R. (2012). *Understanding the IEEE 802.11ac Wi-Fi Standard How to prepare the enterprise WLAN* [White paper]. Retrieved from

<http://www.merunetworks.com/collateral/white-papers/2012-wp-ieee-802-11ac-understanding-enterprise-wlan-challenges.pdf>

[20] Trimintzios P., Georgiou G. (2010). WiFi and WiMAX Secure Deployments.

*Journal of Computer Systems, Networks, and Communications*. Volume 2010, Article ID 423281, pp. 1-28.

### Σχήματα

Σχήμα 1. <http://thefutureofthings.com/articles/6361/the-future-of-wimax.html>

Σχήμα 2. Στεφάνου Κ. (2006). *Σχεδίαση και Προσομοίωση Συστήματος WiMAX*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Σχήμα 3. [http://www.highteck.net/EN/DataLink/Data\\_Link\\_Layer.html](http://www.highteck.net/EN/DataLink/Data_Link_Layer.html)

Σχήμα 4.

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:3GPP\\_Long\\_Term\\_Evolution\\_Country\\_Map.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:3GPP_Long_Term_Evolution_Country_Map.svg)

Σχήμα 5. <http://lte-epc.blogspot.gr/2009/10/lte-architecture.html>

Σχήμα 6. [http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-10/ftp/lte/index.html#WiKi\\_HSS](http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-10/ftp/lte/index.html#WiKi_HSS)

Σχήμα 7. [http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-10/ftp/lte/index.html#WiKi\\_HSS](http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-10/ftp/lte/index.html#WiKi_HSS)

Σχήμα 8. <http://support.dell.com/support/edocs/network/P179944/gk/intro.htm>

Σχήμα 9. <http://el.wikipedia.org/wiki/WiFi>

Σχήμα 10. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/Repeater-schema.svg>

Σχήμα 11. <http://www.alabazar.com/en/wifi-repeater-802-11n-network-range-expander.html>

Σχήμα 12. [http://www.chinaeshops.com/good-wirelessn-wifi-repeater\\_p6641.html](http://www.chinaeshops.com/good-wirelessn-wifi-repeater_p6641.html)

## Εξώφυλλο

*Εικόνα 1.* <http://www.mywistore.com/index.html>

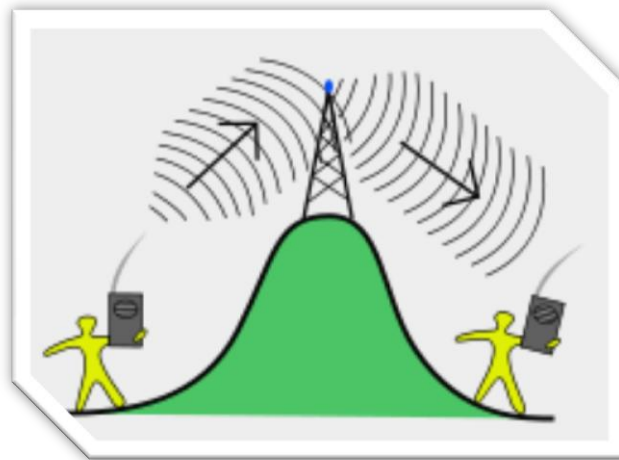
*Εικόνα 2.* <http://www.goingwimax.com/the-deciding-factor-between-wimax-and-lte-data-plans-12165/>

*Εικόνα 3.* <http://www.gizmag.com/wifi-standard-2012-revision-published/22494/>

## Παράρτημα

### Αναμεταδότες σήματος, πώς είναι και σε τι χρησιμεύουν

Όπως αναφέραμε και παραπάνω στις προτάσεις για μελλοντική έρευνα, οι διεθνείς οργανισμοί προτυποποίησης προτείνουν τη χρήση αναμεταδοτών σήματος. Πιο συγκεκριμένα, αναμεταδότης είναι μια συσκευή η οποία δέχεται ένα σήμα και το αναμεταδίδει σε υψηλότερο επίπεδο ή με μεγαλύτερη ισχύ. Η χρήση του είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις ανωμαλίας εδάφους (βουνά, χαράδρες κ.τ.λ.) αφού μας δίνει τη δυνατότητα να καλύψουμε περιοχές ξεπερνώντας κυριολεκτικά τα φυσικά εμπόδια (σχήμα 10).

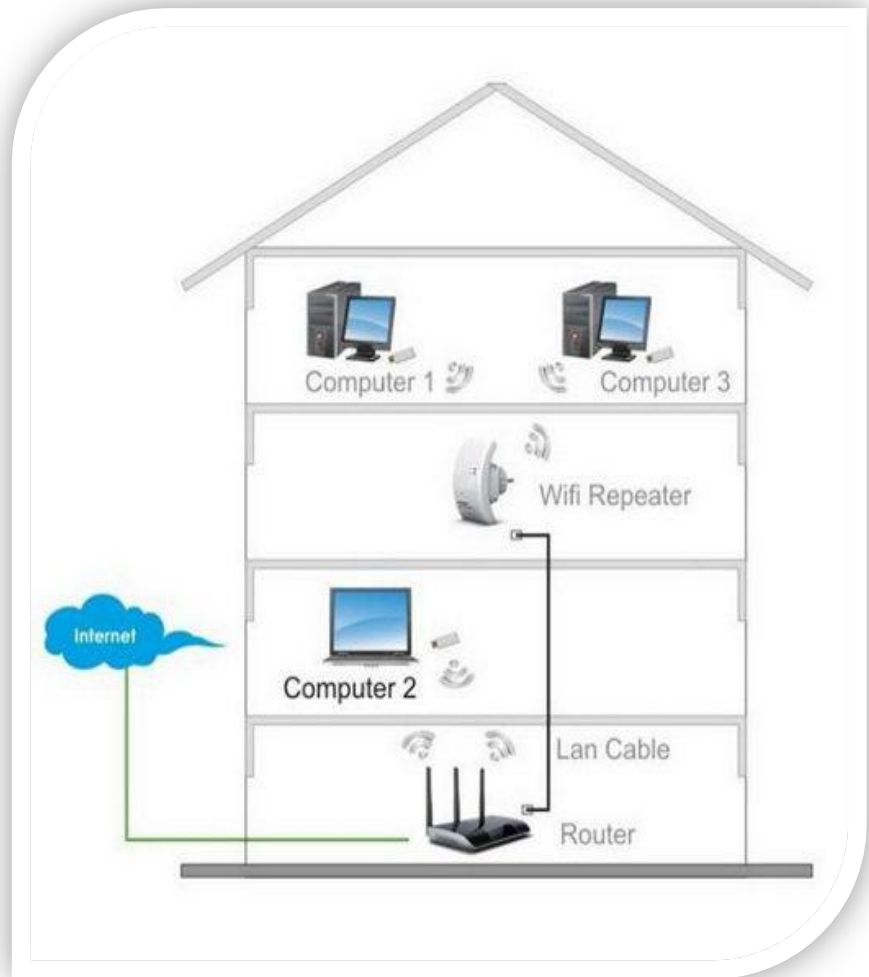


Σχήμα 10.

Εκτός από τους σταθερούς αναμεταδότες υπάρχουν και φορητοί αναμεταδότες που χρησιμοποιούνται για κάλυψη σήματος σε εσωτερικούς χώρους (σπίτια, καταστήματα, σχολεία). Όπως βλέπουμε και στα παρακάτω σχήματα (11 & 12) τοποθετούνται εύκολα σε κάθε πρίζα και μπορούν να αναμεταδώσουν το σήμα για μερικά ακόμα μέτρα.



Σχήμα 11.



Σχήμα 12.

Οι αναμεταδότες σήματος είναι προτιμότεροι σε περιοχές που δεν υπάρχουν hot spots αλλά ακόμα και σε περιοχές με πολλές εξωτερικές παρεμβολές (μικροκύματα, παρεμβολές από άλλους υπολογιστές, Hubs κ.τ.λ.).

Ο αναμεταδότης είναι συμβατός με κάθε συσκευή που χρησιμοποιεί πρωτόκολλα της οικογένειας 802.11, αλλά κυρίως με το πιο πρόσφατο τρίτης γενιάς πρωτόκολλο το 802.11n το οποίο ειδικεύεται στην ασύρματη δικτύωση στο σπίτι. Επίσης, η τεχνολογία και το επίπεδο ασφαλείας (security encryption) του πομπού του αρχικού σήματος πρέπει να συμβαδίζει με αυτή του αναμεταδότη για να μπορεί το σήμα να επεκταθεί.

Η τιμή του κυμαίνεται περίπου στα 17ευρώ (\$ 22) και μπορεί ο καθένας να τον προμηθευτεί.