



**Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής**  
**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**  
**«Πληροφορική»**

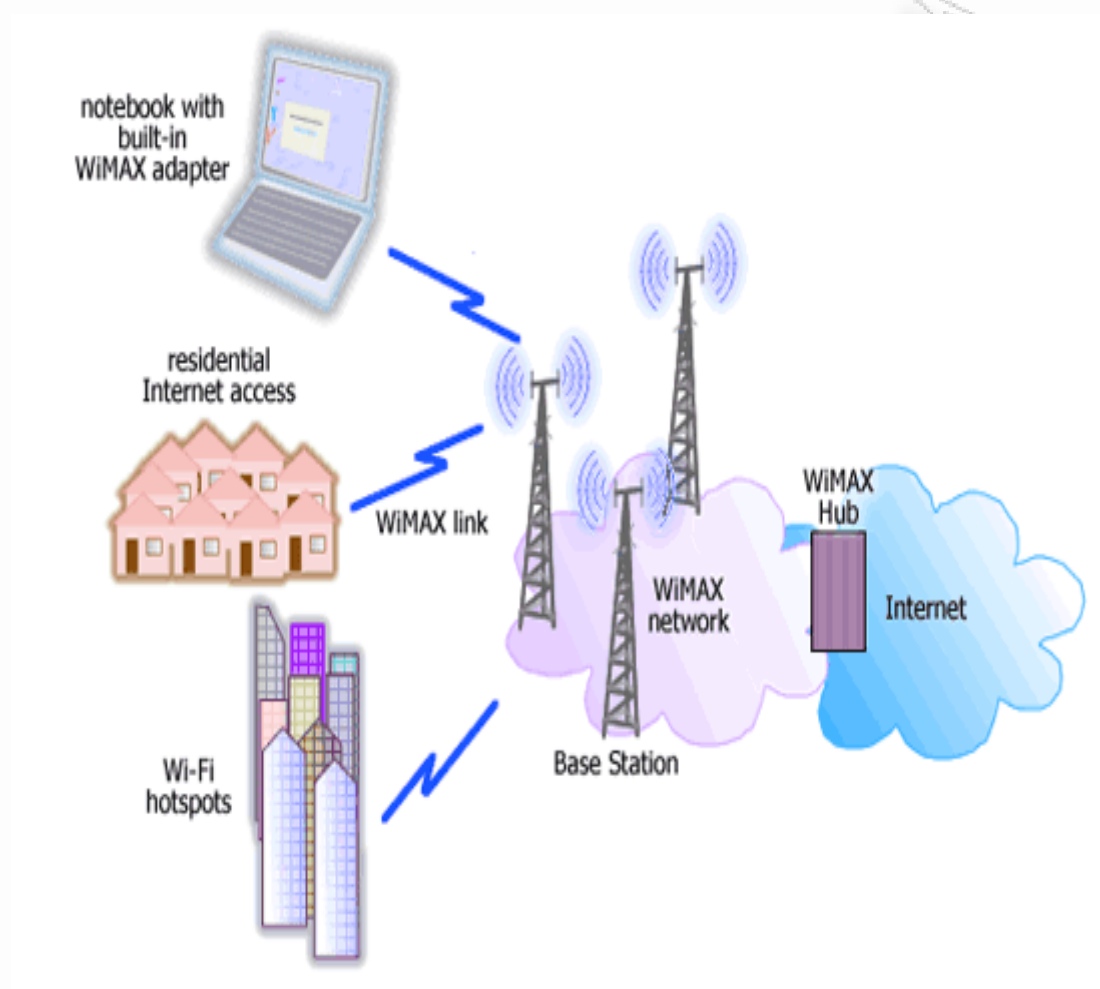
**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

Τίτλος Διατριβής	Ασύρματα Δίκτυα WiMAX
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Ολυμπία Παπαδοπούλου
Πατρώνυμο	Γεώργιος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΠΛ/08005
Επιβλέπων	Δημήτριος Βέργαδος



[1]

**ΜΑΡΤΙΟΣ 2011**



[2]

### Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Δ. ΒΕΡΓΑΔΟΣ  
Επίκουρος Καθηγητής

Χ. ΔΟΥΛΗΓΕΡΗΣ  
Καθηγητής

Π. ΚΟΤΖΑΝΙΚΟΛΑΟΥ  
Λέκτορας

## Περίληψη

Το Wi-MAX αποτελεί μία από τις πιο πολυσυζητημένες τεχνολογίες που έχουν προταθεί και υλοποιηθεί τα τελευταία χρόνια στα πλαίσια των ασύρματων επικοινωνιών. Ακολουθώντας τις ραγδαίες εξελίξεις της τεχνολογίας σε όλους τους τομείς της κοινωνίας μας, οι ερευνητές στον χώρο των τηλεπικοινωνιών εξελίσσουν συνεχώς τα υπάρχοντα πρωτόκολλα και τις διαθέσιμες τεχνολογίες, με σκοπό την όσο το δυνατόν πληρέστερη κάλυψη των διαρκώς αυξανόμενων αναγκών του καταναλωτή.

Σε αυτό το πλαίσιο, στόχος της παρούσης εργασίας είναι να περιγράψει με τον πληρέστερο δυνατό τρόπο το σύνολο των χαρακτηριστικών της νέας αυτής τεχνολογίας που είναι γνωστή με τον όρο Wi-MAX. Θα παρουσιαστούν τα βασικά χαρακτηριστικά της δομής και της αρχιτεκτονικής του, οι κυριότερες λειτουργίες του φυσικού στρώματος και του στρώματος διασύνδεσης δεδομένων και οι εφαρμογές του.

Σε κάθε περίπτωση, το Wi-MAX αποτελεί, όπως θα φανεί και στη συνέχεια, ένα πρωτόκολλο που συνδυάζει πλήθος ιδιαιτεροτήτων και χαρακτηριστικών, με σκοπό να καλύψει τις ανάγκες του σύγχρονου ανθρώπου για διαρκή επικοινωνία σε όλα τα επίπεδα.

## **Abstract**

Wi-MAX is one of the most famous technologies that have been proposed and implemented during the last few years in the field of wireless communications. Following the rapid technology development in all the fields of our societies, researchers in the field of communications constantly develop the existing protocols and technologies in order to satisfy, as much as possible, the growing needs of the consumers.

In that framework, the main purpose of this thesis is to describe as detailed as possible the whole set of characteristics of this new technology that is known as Wi-MAX. The most important characteristics of its structure and architecture will be presented, along with the basic functions of the physical layer and the data link layer and some applications.

Wi-MAX is, as it will be shown in the following, a protocol that combines a set of special characteristics in order to satisfy the needs of the modern man for constant communication in all levels.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Κατάλογος Εικόνων .....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	9
1. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ .....	10
1.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ .....	11
1.2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ .....	12
1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	15
1.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ .....	17
2. Η ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑ .....	17
2.1 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	17
2.2 ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ .....	18
2.3 ΗΙΕΕΕ(Institute of Electrical and Electronics Engineers) .....	18
2.4 ΤΑΑΣΥΡΜΑΤΑΤΟΠΙΚΑΔΙΚΤΥΑ WLAN (Wireless Local Area Networks ) ....	19
2.5 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11 .....	20
2.6 ΟΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΤΟΥ 802.11 .....	22
2.7 ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ( PHY, PhysicalLayer ) ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.11 .....	23
2.8 ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (MAC, MediumAccess) ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.11 .....	24
2.9 ΟΙ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.11 .....	24
3. ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11bWi-Fi.....	24
3.1 Η ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΕΝΟΣ Wi-Fi ΔΙΚΤΥΟΥ .....	26
3.2 Η ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ Wi-Fi.....	26
3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ Wi-Fi .....	26
4. ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.16 Wi-MAX .....	27
4.1 ΤΑ ΥΠΟΠΡΟΤΥΠΑ ΤΟΥ 802.16 .....	28
4.2 Η ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Wi-MAX .....	29
4.3 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Wi-MAX .....	30
4.4 ΟΙ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.16 Wi-MAX .....	33
4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΥ Wi-MAX .....	34

4.6 Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ Wi-MAX .....	37
4.7 ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ Wi-MAX .....	38
4.8ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.16 Wi-MAX .....	39
4.9 Η ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΟΥ Wi-MAX .....	42
4.10 ΠΙΘΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ Wi-MAX .....	42
4.11 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ Wi-MAX .....	49
4.12 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ Wi-MAX .....	51
4.13 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ Wi-MAX ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ .....	52
4.14 MobileWi-MAX .....	56
4.15 ΣΥΓΚΡΙΣΗ Wi-Fi ΚΑΙ Wi-MAX .....	57
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	59
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ NS (Network Simulator – Προσομοιωτή Δικτύου).....	59
5.2 ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ Wi-MAX ΜΕ NS-2 .....	60
5.3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	66
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	81
ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ .....	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	88

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1:Απλό μοντέλο επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο σημεία .....	9
Εικόνα 2:Εικόνα ασύρματου δικτύου .....	11
Εικόνα 3: Ανεξάρτητη τοπολογία ασύρματου δικτύου .....	13
Εικόνα 4: Δομημένη τοπολογία ασύρματου δικτύου .....	13
Εικόνα 5:InfrastructureBasicServiceSetασύρματουδικτύου .....	14
Εικόνα 6:ExtendedServiceSetασύρματουδικτύου.....	14
Εικόνα 7:Η τοπολογία ενός ασύρματου ευζωνικού δικτύου.....	18
Εικόνα 8:Δυο Δίκτυα LAN συνδεδεμένα μεταξύ τους .....	20
Εικόνα 9: : ΤεχνικήΔιαμόρφωσηςFHSS (FrequencyHoppingSpreadSpectrum) .....	21
Εικόνα 10:ΤεχνικήΔιαμόρφωσης DSSS ( DirectSequenceSpreadSpectrum ) .....	21
Εικόνα 11: : Wi-Fitrademark.....	24
Εικόνα 12:Αρχιτεκτονική Ασύρματου δικτύου Wi-Fi .....	25
Εικόνα 13:Η τεχνολογία Wi-Fi χρησιμοποιείται σε κάθε σπίτι .....	26
Εικόνα 14:Μια τυπική σύνδεση Wi-MAX .....	28
Εικόνα 15:Η δομή ενός δικτύου Wi-MAX .....	30
Εικόνα 16:Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου Wi-MAX βασισμένο σε IP.....	31
Εικόνα 17:Αρχιτεκτονική ενός δικτύου Wi-MAX με τα λειτουργικά τμήματα και τα σημεία Διασύνδεσης .....	32
Εικόνα 18:Συστατικά ενός δικτύου Wi-MAX.....	32
Εικόνα 19:Μια τυπική αρχιτεκτονική Wi-MAX .....	33
Εικόνα 20:Μια mesh αρχιτεκτονική Wi-MAX .....	33
Εικόνα 21:Η στοίβα των πρωτοκόλλων του Wi-MAX .....	34
Εικόνα 22:ΔιαδικασίαστρώματοςMAC .....	35
Εικόνα 23:OFDM διαχωρισμός υπό-καναλιών (sub-channels).....	37
Εικόνα 24:OFDMA διαχωρισμός υπό-καναλιών (sub-channels) .....	37
Εικόνα 25:Χρήσεις του Wi-MAX.....	39
Εικόνα 26:Χρήσεις του Wi-MAX.....	40
Εικόνα 27:Επικοινωνία με Οπτική Επαφή.....	40
Εικόνα 28:Επικοινωνία χωρίς οπτική Επαφή.....	41
Εικόνα 29:Οι τύποι διαμόρφωσης .....	42
Εικόνα 30:Εφαρμογές που η τεχνολογία Wi-MAX μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά .....	44

Εικόνα 31: Κυψελωτή υποστήριξη Wi-MAX .....	44
Εικόνα 32:Υποστήριξη BackhaulWiMAX .....	45
Εικόνα 33: Δίκτυα Τραπεζών .....	45
Εικόνα 34: Εκπαιδευτικά Δίκτυα.....	46
Εικόνα 35:Δίκτυα Δημόσιας Ασφάλειας.....	46
Εικόνα 36:Δίκτυα Offshore.....	47
Εικόνα 37:Δίκτυα Πανεπιστημίων .....	47
Εικόνα 38:Δίκτυα Προσωρινών Κατασκευών.....	48
Εικόνα 39:Δίκτυα Θεματικών Πάρκων.....	48
Εικόνα 40:Δίκτυα πρόσβασης Παρόχου Ασύρματης Υπηρεσίας.....	49
Εικόνα 41:Συνδεσιμότητα σε Αγροτικές Περιοχές .....	49
Εικόνα 42:Βασικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα του Wi-MAX .....	51
Εικόνα 43:Οι εφαρμογές του Wi-MAX.....	52
Εικόνα 44:Εφαρμογές στην Ιορδανία.....	54
Εικόνα 45:Wi-MAX σε πραγματικό χρόνο κινητή μετάδοση δεδομένων .....	55
Εικόνα46:Wi-MAX σε πραγματικό χρόνο κινητή μετάδοση δεδομένων .....	55
Εικόνα47:Wi-MAX subscribers forecast .....	56
Εικόνα 48: Η εξέλιξη τουWi-MAX ανά τον κόσμο .....	57
Εικόνα 49:Multimedia over Mobile Wi-MAX.....	57
Εικόνα50:ΣυνδυασμόςWiFικαιWiMAX.....	59
Εικόνα51:Η Τοπολογία των πειραμάτων .....	62



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αδιαμφισβήτητος πρωταγωνιστής στην κινηματογραφική ταινία που ξετυλίγει το νήμα της ανθρώπινης ύπαρξης, ο όρος «επικοινωνία», στην αρχική του έκφραση συνιστά τη μεταφορά και την ανταλλαγή μηνυμάτων ή πληροφορίας ανάμεσα σε δύο ή και περισσότερες οντότητες, σύμφωνα με τον Πετρόφσκι (1990) « επικοινωνία είναι η πολύπλευρη διαδικασία ανάπτυξης των επαφών μεταξύ των ανθρώπων, η οποία υπαγορεύεται από τις ανάγκες της κοινής δραστηριότητας », διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη του ανθρωπίνου γένους.

Μια πρώτη μορφή επικοινωνίας ήταν οι ζωγραφικές αναπαραστάσεις στις Παλαιολιθικές σπηλιές και τα αρχαία Αιγυπτιακά Ιερογλυφικά. Ένας άλλος συνηθισμένος τρόπος στον αρχαίο κόσμο ήταν και η μετάδοση φωτεινών σημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας με φωτιές (φρυκτωρίες). Τρόπος επικοινωνίας ήταν και η αλληλογραφία, που χρησιμοποίησε πλήθος διαφορετικών υλικών ανάλογα με την εποχή ( πηλό, πάπυρο, όστρακα, χαρτί, κ.α ). Ο τρόπος διακίνησης των επιστολών ήταν επίσης μορφή επικοινωνίας και ήταν διαφορετικός κάθε εποχή ( στους αρχαίους χρόνους είχαμε τους αγγελιοφόρους και σήμερα έχουμε τα ταχυδρομεία και τα ηλεκτρονικά μέσα).

Οι άνθρωποι λοιπόν επικοινωνούσαν μεταξύ τους με τις κινήσεις τους, το λόγο τους, την εικόνα και τη γραφή. Κάθε στιγμή επικοινωνούσαν ανταλλάσσοντας πληροφορίες μεταξύ τους. Από τα σπήλαια έως τους δορυφόρους Echo της NASA.

Όλες οι μορφές επικοινωνίας περιλαμβάνουν έναν πομπό, ένα δέκτη και το μήνυμα που μεταφέρεται. Είναι απαραίτητος βέβαια και ο κώδικας επικοινωνίας και το μέσον της μετάδοσης της πληροφορίας. Εάν για παράδειγμα συζητούν δυο άνθρωποι μεταξύ τους, ο ένας είναι ο πομπός και ο άλλος ο δέκτης και βέβαια κατά τη διάρκεια της συζήτησης αλλάζουν συνεχώς οι ρόλοι. Το θέμα της συζήτησης είναι ουσιαστικά το μήνυμα που μεταφέρεται μέσω του αέρα και η γλώσσα που χρησιμοποιούν είναι ο κώδικας επικοινωνίας.

Μια επικοινωνιακή κατάσταση λοιπόν συνοπτικά περιλαμβάνει, τον άνθρωπο που στέλνει ένα μήνυμα ( **τον πομπό ή τον αποστολέα δηλαδή** ) ο οποίος κωδικοποιεί το μήνυμα αυτό και το στέλνει σε έναν άλλο άνθρωπο ( **τον δέκτη ή τον παραλήπτη** ) που το λαμβάνει , **το μήνυμα** ( τον κώδικα με τον οποίο είναι διατυπωμένο το μήνυμα ) , **το μέσο** ( το δίκτυο επικοινωνίας ) που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά αυτού του μηνύματος και το **επικοινωνιακό πλαίσιο** που ουσιαστικά είναι η οργάνωση και οι συνθήκες όλων των παραπάνω σε ένα συγκεκριμένο χώρο και χρόνο.



Εικόνα 1: Απλό μοντέλο επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο σημεία[3]

Όμως ο τρόπος επικοινωνίας δυσκολεύει, όταν οι αποστάσεις μεγαλώνουν και αυξάνεται ο αριθμός των ανθρώπων και τότε η εξέλιξη της επικοινωνίας ( ασύρματος, τηλέφωνο, κ.λ.π.) έρχεται για να δώσει λύση σ' αυτό το πρόβλημα. Από τη δεκαετία του 1960 έχουμε ήδη τη ραγδαία ανάπτυξη των επικοινωνιών, οι οποίες μολονότι είναι πολυδιάστατες, έχουν διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη του ανθρώπου. Ο κόσμος αρχίζει να «μικραίνει» και η γη φαντάζει σαν ένα «παγκόσμιο χωριό». Τα υπερατλαντικά τηλεφωνήματα γίνονται πραγματικότητα και η τηλεόραση συναγωνίζεται τον τύπο και το ραδιόφωνο. Με την

έλευση λοιπόν των τηλεπικοινωνιών, η διαδρομή μεταφοράς της πληροφορίας άλλαξε ριζικά και απομακρύνθηκε ουσιαστικά από την αρχική, φυσική διαδρομή μεταφοράς (δηλ. μεταξύ των τόπων με εμπορική δραστηριότητα), για να καταλήξουμε στις μέρες της τηλεπικοινωνιακής επανάστασης που διανύουμε, όπου η επικοινωνία έχει μπει στην καθημερινή μας ζωή με τόσους πολλούς διαφορετικούς τρόπους, που είναι εύκολο να παραβλέψουμε τις πολλές διαφορετικές μορφές της. Κάποιες από αυτές τις μορφές εμπλέκουν και τον ανθρώπινο παράγοντα άμεσα (εφημερίδες), ενώ κάποιες άλλες όχι (δίκτυα υπολογιστών).

Η εξάπλωση των δικτύων των υπολογιστών γίνεται πλέον με ιλιγγιώδη ταχύτητα και θεωρείται αναπόσπαστο πλέον κομμάτι της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Και φυσικά το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα είναι το Internet, το οποίο ίσως και δικαιολογημένα χαρακτηρίστηκε « η μεγαλύτερη επανάσταση στο χώρο της επικοινωνίας από την εποχή του Γουτεμβέργιου».

Μάλιστα στα πλαίσια της γενικής παγκοσμιοποίησης σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, παρατηρούνται ριζικές αλλαγές κυρίως στις ασύρματες επικοινωνίες, δηλαδή εκείνες στις οποίες το μέσο μεταφοράς της πληροφορίας από τον πομπό στο δέκτη δεν περιλαμβάνει κάποιο σύρμα.

Έτσι, οι ασύρματες επικοινωνίες βρίσκονται στην κορυφή της πυραμίδας του ερευνητικού ενδιαφέροντος και παρουσιάζουν μια αλματώδη εξέλιξη, που χαρακτηρίζεται από την ενοποίηση διαφόρων ξένων μεταξύ τους τεχνολογιών, με στόχο τη δημιουργία ενός παγκόσμιου τηλεπικοινωνιακού συστήματος, που θα είναι εύκολο στη χρήση, αποτελεσματικό, αλλά και με τη δυνατότητα συνεχούς βελτίωσης.[4]

## 1. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

Όταν αναφερόμαστε στα ασύρματα δίκτυα, μιλάμε για τις περιπτώσεις εκείνες που η μεταφορά των πληροφοριών ( δεδομένων, φωνής, ήχου, κ.λ.π. ) μεταξύ των υπολογιστών ή άλλων συσκευών που συνδέονται μεταξύ τους, γίνεται με τη χρησιμοποίηση ραδιοσυχνοτήτων ως φυσικού μέσου μετάδοσης. Τα δεδομένα σε αυτή την περίπτωση, μεταφέρονται από τον πομπό στο δέκτη κωδικοποιημένα σε ένα κύμα – που ονομάζεται φέρον κύμα – μέσω της διαδικασίας της διαμόρφωσης. Επομένως αντίθετα με τις ενσύρματες επικοινωνίες που χρησιμοποιούν ως μέσο μετάδοσης τα καλώδια, η ασύρματη επικοινωνία έχει ως μέσο μετάδοσης την ατμόσφαιρα ή ακόμα και το διάστημα. Όταν έχουμε επικοινωνία από έναν σταθμό προς πολλούς, τότε αναφερόμαστε στις broadcast ασύρματες επικοινωνίες. Όμως υπάρχουν και τύποι ασύρματων δικτύων που η επικοινωνία είναι αμφίδρομη σημείου προς σημείο ( point to point ) και βρίσκει εφαρμογή σε συνδέσεις πόλεων ή κτιρίων και σημείου προς πολλά σημεία ( point to multipoint ) που βρίσκει εφαρμογή στα κυψελοειδή δίκτυα της κινητής τηλεφωνίας και σε τοπικά ασύρματα δίκτυα. Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν ένα σύνολο διαφορετικών τεχνολογιών, για να μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες των χρηστών και του εκάστοτε περιβάλλοντος. Μπορούν επίσης να συνδεθούν με υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα τα οποία ουσιαστικά και συμπληρώνουν. Συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι είναι τέτοια η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων, που βρίσκουν εφαρμογή σε πάρα πολλούς χώρους όπως σε Αεροδρόμια, σε Δημόσιους χώρους, σε Πανεπιστήμια, σε Συνεδριακούς χώρους, σε Εταιρείες, σε Νοσοκομεία κ.λ.π. και ουσιαστικά δίνουν λύσεις εκεί που τα ενσύρματα δίκτυα αδυνατούν να αντεπεξέλθουν.

Τα ασύρματα δίκτυα ανάλογα με τη γεωγραφική τους κάλυψη διακρίνονται σε Τοπικά (LAN και WLAN), σε Μητροπολιτικά (MAN και WMAN), Ευρείας κάλυψης (WAN και WWAN) και Προσωπικά (PAN και WPAN).

**Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (LAN και WLAN - Wireless Local Area Networks).** Ένα ασύρματο δίκτυο WLAN παρέχει σύνδεση μεταξύ δυο ή περισσότερων συσκευών χωρίς καλώδια μέσω ασύρματων δικτύων πρόσβασης ( π.χ. συνδέει υπολογιστές σε γραφεία, σε σπίτια και σε δημόσιους χώρους, σε απόσταση συνήθως που δεν ξεπερνά τα 30 μέτρα), τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ραδιοκυμάτων, είναι συμπληρωματικό ή και επέκταση ενός ενσύρματου δικτύου, καλύπτει μια μικρή γεωγραφική περιοχή και ακολουθεί το πρότυπο

IEEE 802.11. Έχουμε τη χρήση τεχνολογίας διευρυμένου φάσματος ή της διαμόρφωσης OFDM- OrthogonalFrequencyDivisionMultiplexing( ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας ) στα 2.4 έως 2.4835 GHzκαι 5.725 ως 5.85 GHz, όπου δεν απαιτείται άδεια λειτουργίας. Το 802.11b - WiFiείναι ένας τύπος τοπικού ασύρματου δικτύου.

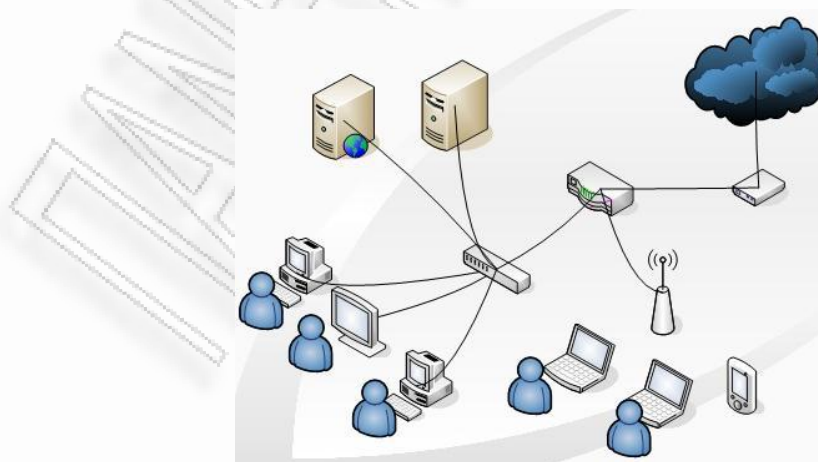
**ΑσύρματαΜητροπολιτικάΔίκτυα (MANκαιWMAN - WirelessMetropolitanAreaNetworks).** Τα ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα είναι ουσιαστικά ένας τύπος από ασύρματα δίκτυα που συνδέουν διάφορα άλλα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Μιλάμε για ασύρματη σύνδεση σημείων, τα οποία απέχουν πάρα πολύ μεταξύ τους. Η διαφορά τους με τα τοπικά ασύρματα δίκτυα είναι ότι χρησιμοποιούν διαφορετικό υλικό για τη σύνδεση και καλύπτουν μεγαλύτερες αποστάσεις.ΤαWMAN δίκτυα είναι γνωστά και ως δίκτυα ευρείας ζώνης ασύρματης πρόσβασης ( broadbandwirelessaccessnetworks). Κάνουν χρήση της τεχνολογίας OFDM- OrthogonalFrequencyDivisionMultiplexing( ορθογώνια διαίρεση συχνότητας ) και λειτουργούν σε συχνότητες από 2 GHz έως 66 GHz. Το WiMax είναι ένας τύπος ασύρματου μητροπολιτικού δικτύου και περιγράφεται από το πρότυπο 802.16 της IEEE.

**ΑσύρματαΕυρείαςκάλυψηςΔίκτυα (WANκαιWWANWirelessWideAreaNetworks).** Είναι ασύρματα δίκτυα που καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Ουσιαστικά συνδέουν συσκευές σε μεγάλες αποστάσεις. ΤαWWAN δίκτυα συνδέουν πολλές φορές δυο ή και περισσότερα τοπικά ασύρματα δίκτυα ή ομάδες τοπικών ασύρματων δικτύων. Μπορούν να συνδέσουν διαφορετικές πόλεις ή ακόμη και μια Ήπειρο. Πολλές Πολυεθνικές που έχουν την έδρα τους σε μια χώρα της Ευρώπης αλλά παράλληλα δραστηριοποιούνται σε πολλές άλλες χώρες της Ευρώπης χρησιμοποιούν τέτοια ασύρματα δίκτυα. Τα περισσότερα δίκτυα ευρείας κάλυψης χρησιμοποιούν τηλεφωνικά δίκτυα ή τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους. Η διαφορά τους με τα ασύρματα τοπικά δίκτυα είναι ότι χρησιμοποιούν διαφορετικό υλικό διασύνδεσης και χρησιμοποιούν και μια κατευθυντική κεραία υψηλής ισχύος, όταν πρόκειται για διασυνδέσεις απομακρυσμένων σημείων, ώστε να διατηρείται το σήμα χωρίς εξασθένιση.

**ΑσύρματαΠροσωπικάΔίκτυα ( PANκαιWPAN - Wireless Personal Area Networks).** Τα ασύρματα αυτά δίκτυαπροσωπικής περιοχής, διασυνδέουνδιαφορετικές μεταξύ τους συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές, laptopκ.α., που είναι τοποθετημένες σε μια μικρή σχετικά απόσταση μεταξύ τους ( π.χ. σε ένα δωμάτιο ) και οι οποίες επικοινωνούν και ανταλλάσσουν εφαρμογές, αρχεία, κ.λ.π.[5]

## 1.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα ασύρματα δίκτυα αποτελούνται από τα παρακάτω βασικά στοιχεία όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 2 : Εικόνα ασύρματου δικτύου [6]

**1. Τα σημεία Πρόσβασης AP ( AccessPoints ) :** Τα σημεία πρόσβασης ουσιαστικά επιτρέπουν την ανταλλαγή των δεδομένων και των πληροφοριών ανάμεσα σε ένα ενσύρματο και σε ένα ασύρματο δίκτυο. Ουσιαστικά τα AP έχουν παρόμοια λειτουργία με τους σταθμούς βάσης, συγκεντρώνουν δηλαδή όλα τα δεδομένα από όλους τους ασύρματους σταθμούς και η βασική μεριμνά τους είναι να μεταδώσουν τα δεδομένα αυτά στον εκάστοτε ασύρματο σταθμό μέσα στην κυψέλη. Επιπλέον είναι ευθύνη τους η πρόσβαση ενός καινούργιου σταθμού στο δίκτυο. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι λειτουργούν παρόμοια με μια γέφυρα.

**2. Οι Κόμβοι διανομής :** Σε ένα δίκτυο μπορεί να υπάρχουν πολλά AP ( AccessPoints), επομένως η δουλειά των κόμβων διανομής είναι να ενώνουν αυτά τα AP ( AccessPoints) μεταξύ τους και κατ' επέκταση με το εκάστοτε ασύρματο και ενσύρματο δίκτυο.

**3. Οι Κόμβοι Κορμού :** Δουλειά τους είναι η σύνδεση όλων των κόμβων διανομής. Επειδή υπάρχουν πολλά AP ( AccessPoints) που συνδέονται με τους κόμβους διανομής, έχουν τη δυνατότητα να καλύπτουν πάρα πολλούς χρήστες του δικτύου. Επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας πολλές συνδέσεις πράγμα που μειώνει τον κίνδυνο της απώλειας της επαφής.

**3. Το ασύρματο μέσο μετάδοσης ( WirwlessMedium ) :** Η μετάδοση των πλαισίων και των δεδομένων μεταξύ των σταθμών ( stations ) σε ένα ασύρματο δίκτυο γίνεται είτε με ραδιοσυχνότητες είτε με υπέρυθρες ακτίνες.

**4. Οι ασύρματοι σταθμοί ( Stations ) :** Ο κάθε ασύρματος σταθμός, ασχολείται με τη ραδιοεπικοινωνία με το κάθε AP ( AccessPoint ) της κυψέλης που βρίσκεται. Σε ένα ασύρματο δίκτυο είναι συνήθως φορητές συσκευές.

**5. Οι Γέφυρες :** Δουλειά τους είναι να παρέχουν ασύρματη σύνδεση μεταξύ δύο τοπικών ασύρματων δικτύων.

**6. Οι Προσαρμογείς :** Αποτελούν τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στο κάθε AP (AccessPoint) του δικτύου και τον τελικό εξοπλισμό του χρήστη.

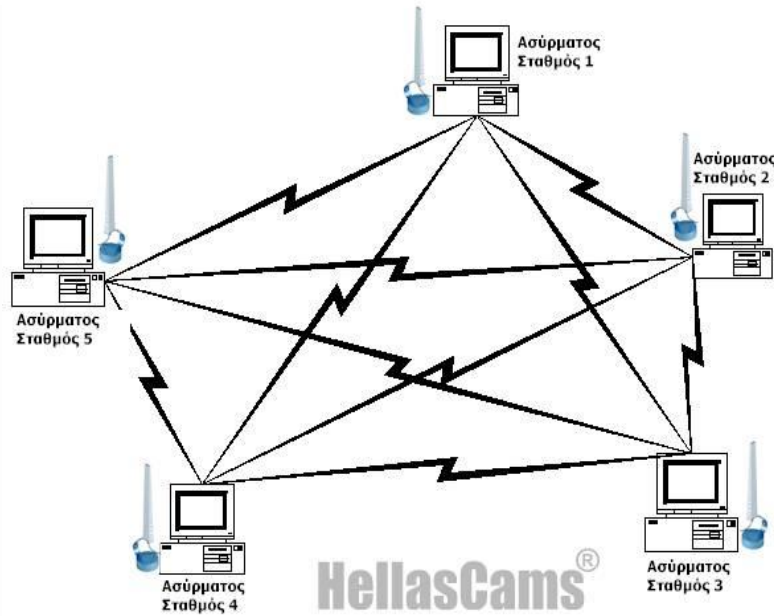
**7. Οι κεραίες :** Οι κεραίες ουσιαστικά χρησιμεύουν για να μετατρέπουν τα σήματα και ο σχεδιασμός τους είναι ανάλογος με το φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται.

## 1.2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Στα ασύρματα δίκτυα οι τοπολογίες μπορούν είναι να είναι από πολύ απλές έως και πολύ πολύπλοκες και έχουν διαφορετικό τρόπο λειτουργίας και τεχνική που χρησιμοποιούν για τη μετάδοση των δεδομένων. Έτσι λοιπόν μπορούμε να διακρίνουμε σε αυτά δυο τοπολογίες :

### 1. Την Ανεξάρτητη Τοπολογία ή Τυχαία ( IBSS, Independent Basic Service Set ή Peer-to-Peer ή Ad-Hoc ).

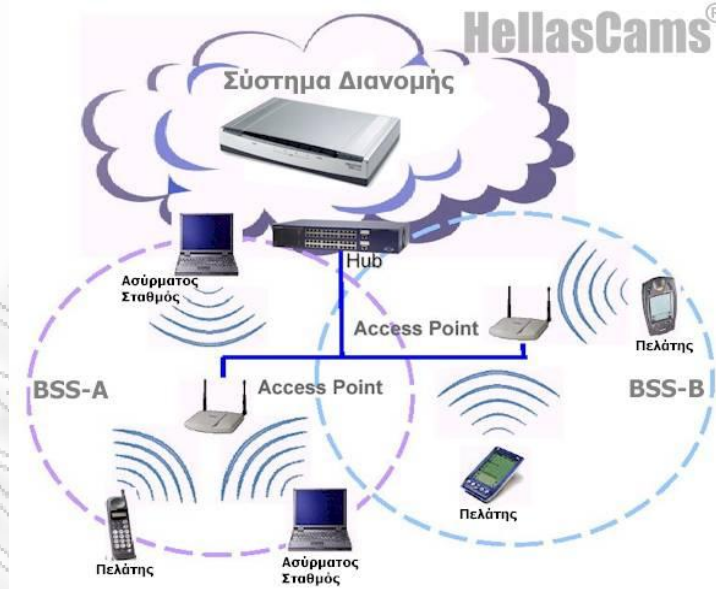
Είναι η πιο βασική αλλά συνάμα και η πιο απλή τοπολογία ασύρματης δικτύωσης. Το βασικό συστατικό σε αυτήν την τοπολογία είναι η κυψέλη, η οποία ονομάζεται BSS ( Basic Service Set ) και περιέχει έναν ή και περισσότερους ασύρματους σταθμούς. Ο χώρος που καταλαμβάνει ορίζεται από την περιοχή ραδιοκάλυψης, η οποία ονομάζεται Basic Service Area ( BSA ). Όλοι οι ασύρματοι σταθμοί, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε σταθεροί είτε κινητοί, μπορούν να επικοινωνούν είτε απευθείας μεταξύ τους είτε ένας προς έναν (peer to peer), χωρίς να είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας κεντρικός σταθμός AP ( AccessPoint ). Όλοι οι σταθμοί λοιπόν σε αυτή την περίπτωση είναι ισότιμοι μεταξύ τους.



Εικόνα 3 : Ανεξάρτητη τοπολογία ασύρματου δικτύου [7]

**2. Την Δομημένη Τοπολογία ( Infrastructure Mode )**

Είναι μια πιο σύνθετη τοπολογία ασύρματης δικτύωσης. Σε αυτήν, το ασύρματο δίκτυο έχει μια κυψελοειδή μορφή και αποτελείται από έναν αριθμό από κυψέλες. Σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένα σημείο πρόσβασης (AP - Access Point) και επίσης ένας αριθμός από ασύρματους σταθμούς, οι οποίοι εξυπηρετούνται από το AP - Access Point και γι' αυτό ονομάζονται και πελάτες ( clients ). Η κυψέλη σ' αυτή την περίπτωση ονομάζεται σύμφωνα με την ορολογία του προτύπου BSS - Basic Service Set. Το BSS είναι το βασικό δομικό στοιχείο ενός ασύρματου δικτύου.



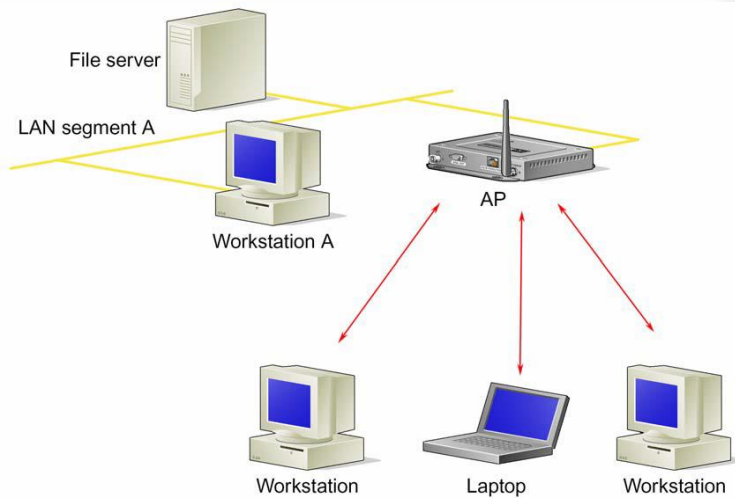
Εικόνα 4 : Δομημένη τοπολογία ασύρματου δικτύου [8]

Ανάλογα τώρα με τον αριθμό των AP και κατά συνέπεια των κυψελών διακρίνουμε άλλες δυο τοπολογίες :

**2.1 Την Infrastructure Basic Service Set**

Σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο αποτελείται από πολλές κυψέλες που εξυπηρετούνται από ένα σημείο πρόσβασης AP. Όλοι λοιπόν οι ασύρματοι σταθμοί που

βρίσκονται μέσα σε κάθε κυψέλη επικοινωνούν μόνο με το σημείο πρόσβασης (AP - Access Point). Έτσι όταν ένας σταθμός θέλει να επικοινωνήσει με έναν άλλον σταθμό τότε στέλνει τα πακέτα προς το AP - Access Point και αυτό με τη σειρά του, τα εκπέμπει ξανά προς τον τελικό προορισμό τους.

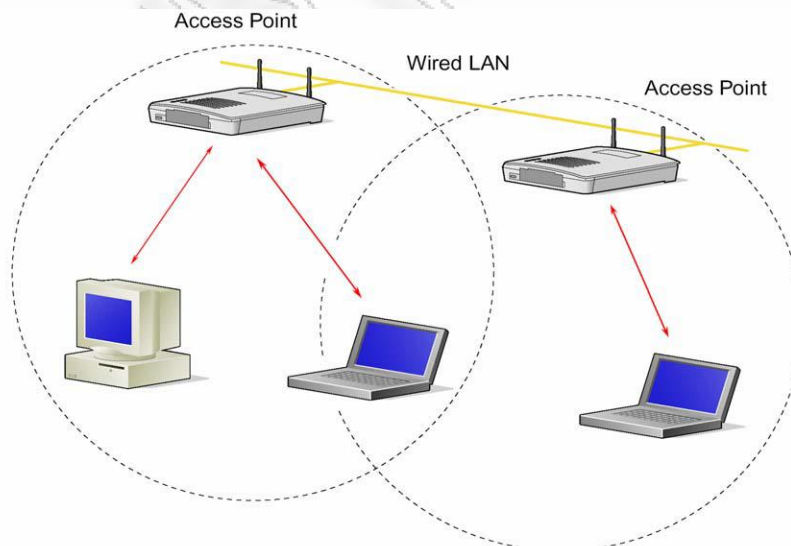


**Εικόνα5 : Infrastructure Basic Service Set ασύρματου δικτύου [9]**

Σε αυτήν την περίπτωση το AP - Access Point συνδέεται σε ένα σύστημα διανομής (Distribution System), το οποίο με τη σειρά του παρέχει σύνδεση ανάμεσα στο AP και σε άλλα διαφορετικά δίκτυα. Σε αυτήν την περίπτωση το AP επιτελεί τις λειτουργίες γέφυρας (bridge).

**2.2 Την ESS, Extended Service Set**

Η τοπολογία αυτή αποτελείται από έναν αριθμό κυψελών. Η κάθε κυψέλη μπορεί να εξυπηρετείται από ένα σημείο πρόσβασης (AP), και όλα τα AP μπορούν να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με μία δομή δικτύου μετάδοσης.



**Εικόνα6 : Extended Service Set ασύρματου δικτύου [10]**

Με αυτή την τοπολογία ουσιαστικά μεγαλώνει και η εμβέλεια της ασύρματης κάλυψης. Όταν ένα μόνο AP δεν μπορεί να καλύψει μια ολόκληρη περιοχή ή μπορεί να την καλύψει αλλά όχι επαρκώς, τότε εγκαθιστούμε έναν αριθμό από AP σε διάφορα σημεία, για

να μπορέσουμε να καλύψουμε ικανοποιητικά όλους τους χώρους και στη συνέχεια συνδέουμε και τα AP μεταξύ τους.

Σε αυτή την κυψελοειδή δομή του δικτύου, ο κάθε ασύρματος σταθμός μπορεί να μετακινείται από τη μία κυψέλη στην άλλη, χωρίς όμως να χάνει τη σύνδεση του και με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η περιαγωγή.

Συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι η διαφορά των δύο τοπολογιών είναι ότι στην μία περίπτωση χρησιμοποιούμε ασύρματο σημείο (access point) ενώ στην άλλη όχι για να συνδεθούμε με το υπόλοιπο δίκτυο.[9][10]

### **1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων είναι τα παρακάτω :

**1) Η ευκολία χρήσης:** Το πρώτο σημαντικό πλεονέκτημα των ασύρματων δικτύων, είναι το γεγονός ότι έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν πρόσβαση με ασφάλεια στα διάφορα δεδομένα από οποιοδήποτε σημείο, αρκεί ο χρήστης να βρίσκεται εντός της περιοχής που καλύπτει το εν λόγω δίκτυο. Σήμερα, όλοι οι φορητοί υπολογιστές και πολλά κινητά τηλέφωνα είναι εξοπλισμένα με τεχνολογία WiFi για να μπορούν να έχουν απευθείας σύνδεση μέσω ασυρμάτων Hotspots σε ένα ασύρματο δίκτυο LAN σε δημόσιους χώρους και χώρους αναμονής.

**2) Η φορητότητα:** Οι εργαζόμενοι σε μια επιχείρηση μπορούν να παραμένουν συνδεδεμένοι στο δίκτυο, ακόμα και όταν δεν βρίσκονται στο περιβάλλον του γραφείου τους ή της εμβέλειας του δικτύου, μέσω του φορητού υπολογιστή τους ή του κινητού τους τηλεφώνου σε συνθήκες πραγματικού χρόνου. Αυτοί που συμμετέχουν σε συσκέψεις μπορούν να έχουν πρόσβαση σε διάφορα έγγραφα και εφαρμογές.

**3) Η Παραγωγικότητα:** Η πρόσβαση στις πληροφορίες και στις βασικές εφαρμογές μιας επιχείρησης αυξάνει κατά συνέπεια και την παραγωγικότητα των εργαζομένων όσον αφορά τη διεκπεραίωση των εργασιών γιατί, αποβάλλει τη γραφική δουλειά, μειώνει τα ενδεχόμενα λάθη και τις δαπάνες, ενθαρρύνει τη συνεργασία και κατά συνέπεια βελτιώνει και αυξάνει την αποδοτικότητα. Οι επισκέπτες μιας επιχείρησης (όπως πελάτες, συνεργάτες ή προμηθευτές) μπορούν να έχουν άμεση πρόσβαση υψηλής ασφαλείας στο Internet και στα επιχειρηματικά δεδομένα τους.

**4) Η Εύκολη ρύθμιση:** Εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι τα ασύρματα δίκτυα επιτρέπουν τη χρήση του δικτύου σε ειδικούς χώρους, στους οποίους δεν επιτρέπεται η εγκατάσταση καλωδίων. Εφόσον λοιπόν δεν απαιτείται η τοποθέτηση καλωδίων σε ένα χώρο, η εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου μπορεί γίνει ιδιαίτερα γρήγορα και οικονομικά. Τα ασύρματα δίκτυα LAN διευκολύνουν επίσης τη συνδεσιμότητα του δικτύου σε δυσπρόσιτους χώρους, όπως οι αποθήκες ή οι εγκαταστάσεις μιας εργοστασιακής παραγωγής και συνδέσεις κτιρίων χωρίς το κόστος των καλωδίων.

**5) Η Δυνατότητα επέκτασης:** Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν κατά κανόνα να επεκταθούν σε έναν υπάρχοντα εξοπλισμό, ενώ ένα ενσύρματο δίκτυο ενδέχεται να απαιτεί επιπλέον καλωδίωση. Η μετακίνηση γραφείων και η προσθήκη νέων εργαζομένων, η είσοδος νέων χρηστών αλλά και κόμβων, είναι εύκολη υπόθεση χωρίς την αναστάτωση και το κόστος που απαιτείται για την τοποθέτηση καλωδίων.

**6) Η Ασφάλεια:** Οι εξελιγμένες δυνατότητες της τεχνολογίας WiFi προσφέρουν ισχυρή προστασία, ώστε τα δεδομένα να είναι εύκολα προσβάσιμα μόνο από τους χρήστες στους οποίους επιτρέπεται η πρόσβαση.

**7) Το κόστος:** Μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους είναι το κόστος. Αναφορικά με τη χρήση τους, το κόστος των ασύρματων δικτύων μπορούμε να πούμε ότι συγκαταλέγεται στα

πλεονεκτήματά τους, καθώς είναι σημαντικά μικρότερο από ένα αντίστοιχο ενσύρματο δίκτυο. Βέβαια αυτό δεν ισχύει για το κόστος των υλικών και της εγκατάστασης αλλά σε κάθε περίπτωση μπορεί να αποδειχθεί μακροπρόθεσμα οικονομικότερη η λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου LAN, το οποίο εξαλείφει ή μειώνει πάρα πολύ το κόστος καλωδίωσης .

**8) Η διαχείριση και η ανίχνευση βλαβών :** Σε ένα ασύρματο δίκτυο που δεν υπάρχουν τα καλώδια, τα οποία μπορούν να κοπούν ή να βραχυκυκλώσουν είναι πολύ πιο εύκολος ο εντοπισμός των βλαβών και αποκατάστασης αυτών.

**9) Η ταχύτητα :** Τα ασύρματα δίκτυα χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες μετάδοσης, οι οποίες βελτιώνονται ακόμα περισσότερο με την ανάπτυξη της τεχνολογίας.

**10) Η παροχή νέων υπηρεσιών και περιαγωγής.** Χρησιμοποιώντας κάποιος ασύρματο δίκτυο μπορεί να έχει παροχή υπηρεσιών οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή, π.χ. σε τρένα, σε αεροπλάνα, σε λεοφωρεία, κ.λ.π. Επίσης τα ασύρματα δίκτυα προσφέρουν και νέες έξυπνες υπηρεσίες όπως τα SMS και τα MMS.[52]

Παρόλο που υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα με το ασύρματο δίκτυο υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα. Αυτά διαιρούνται σε πέντε κατηγορίες: την ταχύτητα, το κόστος, το εύρος ζώνης, το ρυθμό δυαδικού ψηφίου και την ασφάλεια.

Αναφορικά με την **ταχύτητα**, αξίζει να σημειωθεί ότι σε ένα ασύρματο δίκτυο εξαρτάται από το πρωτόκολλο που έχει επιλεγεί αλλά συνήθως είναι πιο ασταθής από ότι στα συμβατικά ενσύρματα δίκτυα και επηρεάζεται από διάφορες παρεμβολές και εξασθενίσεις που έχουν να κάνουν με την ασύρματη μετάδοση.

Σχετικά με το **κόστος**. Το κόστος εγκατάστασης είναι σαφώς μεγαλύτερο, παρότι μακροπρόθεσμα μπορεί να επέλθει απόσβεση, από την εγκατάσταση ενός ενσύρματου δικτύου.

Το **Εύρος Ζώνης**. Ένα ασύρματο δίκτυο έχει χαμηλότερο εύρος ζώνης από ένα ενσύρματο δίκτυο.

Ο **ρυθμός σφάλματος δυαδικού ψηφίου**. Παρότι ο ρυθμός μετάδοσης στα ασύρματα δίκτυα είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από τα αντίστοιχα ενσύρματα, έχουμε δυστυχώς και μεγαλύτερο ρυθμό σφάλματος δυαδικού ψηφίου, γιατί έχουμε μεγάλες παρεμβολές και θορύβους από το περιβάλλον.

Και το σημαντικότερο είναι βέβαια η **ασφάλεια**. Τα ασύρματα δίκτυα είναι αρκετά ευάλωτα σε επιθέσεις και παρεμβολές. Εάν ένας ισχυρός αναμεταδότης, που λειτουργεί στην ίδια ραδιοσυχνότητα με ένα ασύρματο δίκτυο, βρίσκεται κοντά στο δίκτυο τότε το δίκτυο μπορεί να καταστεί άχρηστο. Το βασικότερο μειονέκτημά τους είναι ότι αν τα δεδομένα που μεταφέρονται δεν είναι κατάλληλα κρυπτογραφημένα μπορεί κάποιος να παρέμβει και να τα υποκλέψει. Έτσι πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα, ώστε να αποφεύγονται οι κακόβουλες πράξεις. Το πρωτόκολλο WPA έχει μειώσει σημαντικά αυτούς τους κινδύνους.

Σε κάθε περίπτωση, είναι γεγονός πως τουλάχιστον τον πρώτο καιρό, τα ασύρματα δίκτυα που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν δεν είχαν μεγάλη συμβατότητα μεταξύ τους. Επιπλέον, δεν ήταν ιδιαίτερα εξελίξιμα ή επεκτάσιμα, με αποτέλεσμα τελικά να μην είναι και τόσο εύχρηστα.

Με το πέρασμα όμως των χρόνων η τεχνολογία αναπτύχθηκε και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να γίνουν κάποιες συντονισμένες προσπάθειες, που είχαν στόχο την σωστή και ολοκληρωμένη ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων, και της πλήρους εκμετάλλευσης των πολλών πλεονεκτημάτων τους.

Βασική παράμετρος για το σημαντικό αυτό βήμα ήταν και η χρήση συγκεκριμένων προτύπων, τα οποία θεσπίζονται κατά καιρούς από την IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE) και συνέβαλαν στο να υπάρχει πλήρη συμβατότητα αλλά και επεκτασιμότητα σε όλα τα ασύρματα δίκτυα.



Σε αυτό το πλαίσιο, έχουν προταθεί και σχεδιαστεί πάρα πολλά πρότυπα. Ένα εκ των σημαντικότερων αυτών προτύπων είναι και αυτό που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, το Wi-MAX, και θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στη συνέχεια.

## 1.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα ασύρματα δίκτυα επειδή ακριβώς έχουν πολλά πλεονεκτήματα έχουν και πολλές χρήσεις. Οι βασικότερες είναι :

1. Δίνουν τη δυνατότητα για την ανταλλαγή άμεσων μηνυμάτων.
2. Επιτρέπουν την πρόσβαση σε e-mail, σε websites και σε διάφορες κοινόχρηστες εφαρμογές με τη βοήθεια κατάλληλων προγραμμάτων.
3. Υποστηρίζουν εφαρμογές που δεν απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης.
4. Σε διάφορες επιχειρήσεις ή οργανισμούς δίνουν μεγάλες δυνατότητες, αφού ουσιαστικά αποτελούν επέκταση του υπάρχοντος ενσύρματου δικτύου. Μερικές από αυτές είναι : η μείωση των τηλεπικοινωνιακών εξόδων αφού μια σύνδεση στο διαδίκτυο μοιράζεται σε όλα τα υποκαταστήματα, η φωνητική επικοινωνία μεταξύ των υποκαταστημάτων χωρίς κόστος, η επισκόπηση των εξωτερικών χώρων με ασύρματες κάμερες, κ.λ.π.

## 2. Η ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑ

Επειδή η εποχή που ζούμε χαρακτηρίζεται και εποχή της ψηφιακής επανάστασης από τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και του Διαδικτύου, εξαιτίας της ενεργής συμμετοχής μας πια σε αυτό το διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, η έννοια «Broadband» που έχει επικρατήσει ανά τον κόσμο και που η ελληνική της μετάφραση είναι «ευρυζωνικότητα», έχει ξεπεράσει πια τα όρια της τεχνολογίας και αγγίζει όλους τους τομείς της ζωής μας. Τόσο οι ευρυζωνικές υπηρεσίες που μας παρέχονται, όσο και οι ευρυζωνικές υποδομές που υπάρχουν, αποτελούν πια αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητάς μας, που επιδρά στην κοινωνική, οικονομική και πολιτική πτυχή της ζωής μας. Στην πραγματικότητα αποτελεί ένα συνδυασμό υποδομής σε δίκτυα επικοινωνιών που αποσκοπούν στη γρήγορη μετάδοση των δεδομένων με χαμηλό κόστος και ψηφιακών υπηρεσιών που προσφέρουν ηλεκτρονικές συναλλαγές με Δημόσιες υπηρεσίες, ηλεκτρονικές οικονομικές συναλλαγές, ηλεκτρονικές υπηρεσίες υγείας, μεθόδους τηλε- εκπαίδευσης και τηλε- εργασίας, ενημέρωση και ψυχαγωγία.

Η ανάπτυξη των ευρυζωνικών υπηρεσιών στην παιδεία, την υγεία και τη δημόσια διοίκηση βελτιώνουν την ποιότητα της ζωής μας, ενώ παράλληλα δίνει δυνατότητες στις τοπικές κοινωνίες να εξελιχθούν και στον ιδιωτικό τομέα να διευρύνει την οικονομία σε συνδυασμό φυσικά με τη μείωση του κόστους και την αύξηση της ποιότητας και της παραγωγικότητας.

Εν κατακλείδι η ευρυζωνικότητα δεν είναι μόνο ένα σύνολο τεχνολογιών αλλά αποτελεί δικαίωμα και κοινωνικό αγαθό για όλους μας.

### 2.1 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑΣ

Τα πλεονεκτήματα της ευρυζωνικότητας είναι πάρα πολλά. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφερθούμε σε μερικά από αυτά:

- **Η Δημιουργικότητα και η ευελιξία της εργασίας.** Η χρήση της ευρυζωνικότητας στον τομέα των επιχειρήσεων τις κάνει πιο ανταγωνιστικές, αποτελεσματικότερες και βοηθά στην επέκτασή τους. Το προσωπικό της επιχείρησης όταν επικοινωνεί περισσότερο μέσω e-mail, μειώνεται το κόστος ταχυδρομικών και τηλεφωνικών τελών. Δίνεται επίσης η δυνατότητα για μεγαλύτερη συνεργασία και τηλεδιάσκεψη, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στην μείωση του κόστους της μεταφοράς και της μετακίνησης.

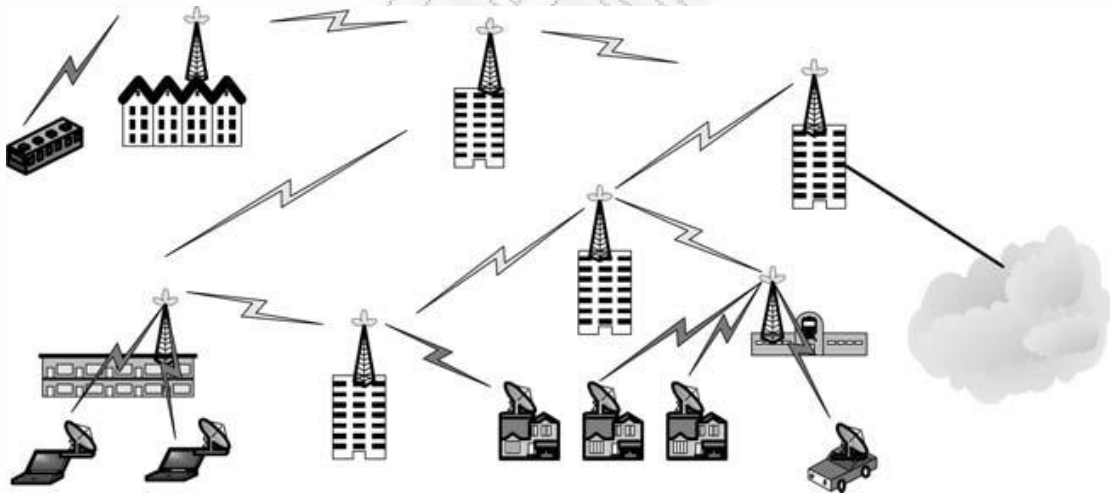
- **Η Βελτίωση του Εκπαιδευτικού Συστήματος.**Οι καθηγητές και οι δάσκαλοι μπορούν μέσω των ευρυζωνικών δικτύων να βελτιώσουν την εκπαίδευση των μαθητών.
- **Η προσφορά της Ευρυζωνικότητας στον τομέα της Υγείας.**Η ευρυζωνικότητα βοηθά στην ανάπτυξη της έρευνας σε ένα ευρύ φάσμα επιστημών. Οι γιατροί που δουλεύουν σε απομακρυσμένες περιοχές μπορούν να παίρνουν μια δεύτερη γνώμη από καταξιωμένους γιατρούς ανά τον κόσμο. Εκτός από την πρόσβαση σε ιατρικές και φαρμακευτικές πληροφορίες,τομείς όπως η ρομποτική χειρουργική και η διάγνωση από απόσταση λύνουν πραγματικά τα χέρια των γιατρών και βελτιώνουν κατά πολύ τις ζωές των ασθενών.
- **Η ελευθερία, οι νέες ευκαιρίες και οι ελπίδες για ένα καλύτερο αύριο.**Το Internet προσφέρει νέες ευκαιρίες και νέες δυνατότητες σε αυτούς που αντιμετωπίζουν παραδοσιακούς περιορισμούς. Όσον αφορά τα άτομα της τρίτης ηλικίας, η ευρυζωνικότητα μπορεί να διευκολύνει την επικοινωνία τους με την οικογένεια και τους φίλους τους και όσον αφορά τα άτομα άλλων ηλικιών μπορεί να διευρύνει τη δυνατότητά τους για διά βίου μάθηση. Επιπλέον μπορεί να βελτιώσει την παροχή υπηρεσιών υγείας, να στηρίξει τη μοναχική διαβίωση και να δημιουργήσει νέες προοπτικές για διασκέδαση και επικοινωνία. [11]

## 2.2ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Υπάρχουν δυο είδη ευρυζωνικών τεχνολογιών οι ενσύρματες και οι ασύρματες που και αυτές με τη σειρά τους χωρίζονται σε επιμέρους. Έτσι έχουμε :

Τις ενσύρματες τεχνολογίες που περιλαμβάνουν τα δίκτυα των οπτικών ινών και τις τεχνολογίες xDSL ( DigitalSubscriberLine )και τις ασύρματες που περιλαμβάνουν το WiFi, το WiMAX, το 3G/UMTS και τις Δορυφορικές Τεχνολογίες ( HellasSat ).

Εμείς θα ασχοληθούμε στην εργασία με τις τεχνολογίες Wi-Fi και Wi-MAX.



Εικόνα 7 :Η τοπολογία ενός ασύρματου ευζωνικού δικτύου[12]

## 2.3ΗΙΕΕΕ(Institute of Electrical and Electronics Engineers)

Παλαιότερα δεν υπήρχαν πρωτόκολλα επικοινωνίας για τα ασύρματα δίκτυα γιατί η αγορά ήταν μικρή και κυριαρχούσαν ως επί το πλείστον τεχνολογίες που παρείχαν διάφορες μικρές εταιρείες. Όμως επειδή υπήρξε μεγάλη ανάπτυξη των ασύρματων τεχνολογιών, έπρεπε να δημιουργηθούν και πρωτόκολλα επικοινωνίας που θα επέτρεπαν σε διάφορους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, να μπορούν να επιλέγουν ανάμεσα σε ένα

πλήθος εξοπλισμών που παρείχαν διαφορετικές εταιρείες και προμηθευτές. Η αύξηση των αγορών λοιπόν απαιτούσε, εκτός από τα πρωτόκολλα και την ύπαρξη ενός αρκετά μεγάλου εύρους ζώνης συχνοτήτων. Αυτό είχε σαν συνέπεια βέβαια τη μείωση του κόστους, την ανάπτυξη της ανταγωνιστικότητας και της επιχειρηματικότητας και επιπλέον εξασφάλισε και τη συνύπαρξη, τη συνεργασία καθώς και τη συμβατότητα των διαφορετικών εξοπλισμών από διαφορετικές εταιρείες μεταξύ των δικτύων.

Έτσι δημιουργήθηκαν διάφοροι οργανισμοί, που ανέπτυσαν κατά καιρούς διάφορα πρωτόκολλα και που στόχος τους ουσιαστικά ήταν η ωφέλεια του ευρύτερου κοινωνικού συνόλου.

Ένας τέτοιος λοιπόν οργανισμός είναι και η IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Είναι μια μη κερδοσκοπική επαγγελματική οργάνωση, ένα Ινστιτούτο, που ιδρύθηκε το 1884 στις ΗΠΑ από μια ομάδα μηχανικών και που ο σκοπός της ήταν να εξασφαλίσει, ότι οι διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές που κατασκευάζονται από διαφορετικές εταιρείες θα μπορούσαν να επικοινωνούν το ίδιο καλά σε όλα τα συστήματα. Η IEEE ανέπτυξε την οικογένεια των 802 προτύπων που ισχύουν τόσο στα ενσύρματα όσο και στα ασύρματα δίκτυα των υπολογιστών. Τα πρωτόκολλα αυτά σχετίζονται με το φυσικό στρώμα και το στρώμα διασύνδεσης δεδομένων. Μερικά από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα της IEEE 802 είναι το 802.3 Ethernet, το 802.5 Token Ring, το 802.11 Wi-Fi και το 802.16 WiMAX.

Το ότι εμφανίζεται ένα πρωτόκολλο στην αγορά δεν σημαίνει απαραίτητα ότι είναι δεδομένη και η επιτυχία του. Αυτό εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες, που σχετίζονται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, το πλήθος των εταιρειών και το υφιστάμενο πολιτικό καθεστώς.

Τα πρότυπα που έχουν κατά καιρούς θεσπιστεί επιτελούν διαφορετικούς σκοπούς και αποσκοπούν σε διαφορετικούς τρόπους επικοινωνίας. Επομένως μπορούμε να πούμε ότι ουσιαστικά αλληλοσυμπληρώνονται και δεν λειτουργούν κατά ανάγκη ανταγωνιστικά.

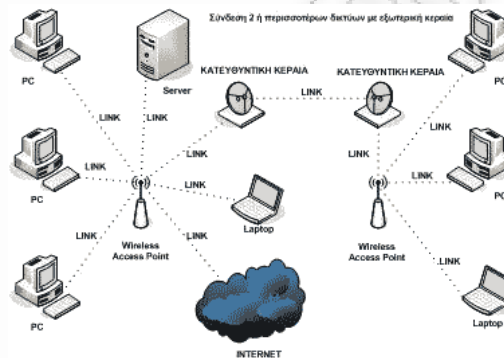
Εμείς θα ασχοληθούμε στην εργασία με τα πρότυπα 802.11 Wi-Fi και τα 802.16 WiMAX. Θα αναφερθούμε αναλυτικά στα διάφορα χαρακτηριστικά του προτύπου WiMAX, την εξέλιξή του, τις δυνατότητές του και τη σχέση του με τα άλλα πρότυπα και συγκεκριμένα με το Wi-Fi.

## **2.4 ΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ WLAN ( Wireless Local Area Networks )**

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο WLAN επιτρέπει την ανταλλαγή των δεδομένων χωρίς την ύπαρξη καλωδίων μεταξύ υπολογιστών, τηλεφώνων, εκτυπωτών και διαφόρων άλλων περιφερειακών συσκευών. Περιλαμβάνει διάφορα πρότυπα, τα οποία όμως και διαθέτουν διαφορετικές μεθόδους κρυπτογράφησης, διαφορετική εμβέλεια και υποστηρίζουν και διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης. Χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ασύρματη σύνδεση στο Διαδίκτυο σε διάφορους χώρους ( π.χ. αεροδρόμια, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, κ.λ.π. ). Η εμβέλειά τους εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες, με σημαντικότερο το περιβάλλον. Σε ανοιχτούς χώρους έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες από ότι σε εσωτερικούς χώρους που παρεμβάλλονται τείχη και άλλα εμπόδια. Όσον αφορά την πρόσβαση σε ένα WLAN, θα πρέπει να λαμβάνονται πολύ καλά μέτρα προστασίας, ώστε να μπορούν να αποκλείονται κάθε φορά, οι ανεπιθύμητοι χρήστες. Στη Γερμανία, για παράδειγμα, είναι υποχρεωτικό από το Μάιο του 2010 να προστατεύονται όλα τα ιδιωτικά δίκτυα WLAN με ασφαλή κωδικό προστασίας. Όσον αφορά την κρυπτογράφηση των δεδομένων, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι κρυπτογράφησης και η WEP είναι και η πιο απλή αλλά ταυτόχρονα και η λιγότερο ασφαλής από όλες. Οι WPA και WPA2 είναι κατά πολύ ασφαλέστερες. Η ρύθμιση τώρα της ασφαλείας δεν εξυπηρετεί μόνο την πρόσβαση στο δίκτυο, αλλά και ταυτόχρονα διασφαλίζει και την κρυπτογράφηση των δεδομένων που μεταφέρονται μέσω του δικτύου. Τα δίκτυα WLAN που εφαρμόζουν το πρότυπο 802.11 χρησιμοποιούν και την τεχνολογία MIMO (από την αγγλική φράση «Multiple Input Multiple Output» που σημαίνει Πολλαπλή Είσοδος-Πολλαπλή Έξοδος). Αυτή η τεχνολογία ραδιοεπικοινωνίας, χρησιμοποιεί ουσιαστικά τα είδωλα των ανεπιθύμητων

εμποδίων, όπως είναι οι τοίχοι και τα έπιπλα, για να μπορέσει να βελτιστοποιήσει και την ταχύτητα της μετάδοσης. Οι συσκευές MIMO διαθέτουν δύο τουλάχιστον κεραίες, οι οποίες εκπέμπουν σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Ο δέκτης ξαναενώνει τα σήματα που εκπέμπονται σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Έτσι αποφεύγονται σε μεγάλο βαθμό οι «νεκρές ζώνες» και αυξάνεται ταυτόχρονα και η ταχύτητα της διεκπεραίωσης δεδομένων. Συγχρόνως βέβαια βελτιώνεται και η εμβέλεια αφού οι κεραίες WLAN που εφαρμόζουν το πρότυπο 802.11 διαθέτουν εμβέλεια μέχρι 20 μέτρα σε κλειστό χώρο και το πρότυπο 802.11n σε συνδυασμό με την τεχνολογία MIMO προσφέρει σε ιδανικές συνθήκες εμβέλεια που φτάνει μέχρι και τα 70 μέτρα.

Συνολικά, ανάμεσα στα πλεονεκτήματα της WLAN τεχνολογίας ξεχωρίζουμε την ευκολία της υλοποίησης και το μικρό κόστος και για τον σταθμό βάσης καθώς και για τον χρήστη. Επίσης, προσφέρει ασφάλεια όσον αφορά την πρόσβαση και τη μετάδοση (ταυτοποίηση χρήστη, κρυπτογραφημένη μετάδοση) αλλά και υπηρεσίες περιαγωγής (roaming), όπου ένας συνδρομητής ενός τοπικού δικτύου μπορεί να συνδεθεί σε ένα άλλο WLAN (π.χ. η περίπτωση των W-LAN που έχουν υλοποιηθεί σε αεροδρόμια).



Εικόνα 8 : Δυο Δίκτυα LAN συνδεδεμένα μεταξύ τους [13]

## 2.5ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11

Το πιο διαδεδομένο πρότυπο είναι το 802.11 και έχει σχεδιαστεί για την υλοποίηση μεγάλων ασύρματων τοπικών δικτύων. Ο πρωταρχικός του στόχος ήταν η ανυπαρξία των καλωδίων. Όλα τα πρότυπα που περιλαμβάνει χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο Ethernet και τη μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων, το CSMA/Α (CarrierSenseMultipleAccesswithcollisionavoidance). Αυτό σημαίνει, ότι κάθε φορά που ένας κόμβος θέλει να μεταδώσει, ξεκινάει πάντα με την ανίχνευση του καναλιού. Όταν διαπιστώσει ότι υπάρχει μετάδοση στο κανάλι, τότε αναβάλλει τη δική του μετάδοση και συνεχίζει την ανίχνευσή του. Στη συνέχεια εάν διαπιστώσει ότι το κανάλι είναι ελεύθερο τότε αρχίζει τη μετάδοσή του. Σε νεότερες προδιαγραφές χρησιμοποιούνται και άλλες μορφές ψηφιακής διαμόρφωσης όπως η CCK ( complementarycodekeying ), που παρέχει και μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

Δημοσιεύθηκε το 1997, και αποτελεί ουσιαστικά το πρώτο πρότυπο ασύρματων τοπικών δικτύων WLAN. Το πρότυπο αυτό περιγράφει, τόσο τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα τοπικά δίκτυα όσο και την τοπική δικτύωση, όπου οι συνδεδεμένες συσκευές επικοινωνούν μέσω του αέρα με άλλες συσκευές που βρίσκονται κοντά ή μια στην άλλη. Σ' αυτό περιγράφονται τα δυο πρώτα επίπεδα του μοντέλου OSI, δηλαδή το φυσικό επίπεδο ( PHY, PhysicalLayer ) και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων ( MAC, MediumAccess ). Στο φυσικό επίπεδο έχουμε τρία διαφορετικά στρώματα, εκ των οποίων τα δυο χρησιμοποιούν σαν μέσο μετάδοσης τις ραδιοσυχνότητες και το τρίτο χρησιμοποιεί υπέρυθη ακτινοβολία. Στο υπόστρωμα του MAC έχουμε δυο τρόπους λειτουργίας, μια κατακεντρωμένη ( distributed ) και μια συντονισμένη ( coordinated ). Αυτό συμβαίνει, για να μπορεί να υπάρχει συμβατότητα με τα άλλα ασύρματα δίκτυα που χρησιμοποιούν τις πιο πάνω τεχνικές. Σε αυτό το πρότυπο έχουμε ρυθμούς μετάδοσης 1 έως 2 Mbps σε ζώνες συχνοτήτων 915 MHz, 2.4GHz και 5.2GHz με τη χρήση διαμόρφωσης

FHSS(Frequency Spread Spectrum) ή ρυθμούς μετάδοσης 1-2 Mbps με τη χρήση διαμόρφωσης DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum). Το πρότυπο 802.11 υποστηρίζει την προτεραιότητα στην κίνηση και τις εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο ενώ παράλληλα διαχειρίζεται μεγάλο όγκο δεδομένων.

### ΗΤεχνική FHSS ( Frequency Hopping Spread Spectrum )

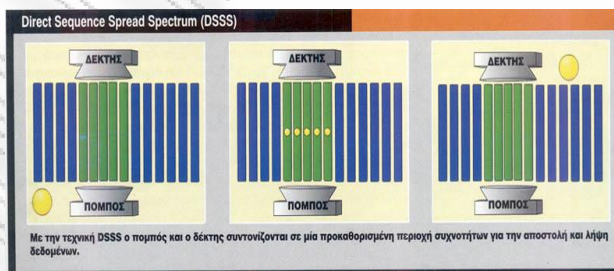
Η τεχνική FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum)εξάπλωσης του φάσματος με τη συνεχή αλλαγή της συχνότητας, βασίζεται στη μεταπήδηση των συχνοτήτων σε τακτά χρονικά διαστήματα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι χρήστες που δεν εξουσιοδοτημένοι, να μην είναι σε θέση να γνωρίζουν τις συχνότητες στις οποίες θα πρέπει να συντονιστούν και να αποκόπτονται από την επικοινωνία. Με τη συγκεκριμένη λοιπόν τεχνική, το φάσμα που είναι διαθέσιμο χωρίζεται σε ξεχωριστά κανάλια, 79 τον αριθμό, που στα ασύρματα δίκτυα είναι της τάξεως των 2.4GHz. Όταν ξεκινά μια επικοινωνία, ο πομπός και ο δέκτης συντονίζονται μεταξύ τους, με έναν αλγόριθμο που είναι αρμόδιος για τη μεταπήδηση των συχνοτήτων και έτσι συγχρονίζονται στη σωστή συχνότητα. Την τεχνική αυτή τη χρησιμοποίησε για πρώτη φορά ο στρατός στην Αμερική, για να μπορέσει να προστατεύσει τις ραδιοφωνικές του εκπομπές από τις υποκλοπές.[14]



Εικόνα 9 : Τεχνική Δαμόρφωσης FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) [14]

### ΗΤεχνική DSSS ( Direct Sequence Spread Spectrum )

Η τεχνική DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)εξάπλωσης του φάσματος με άμεση ακολουθία, δημιουργήθηκε για να μπορέσει να εξυπηρετήσει ουσιαστικά την ψηφιακή τεχνολογία. Βασίζεται στη μεταπήδηση του σήματος από τη μια συχνότητα στην άλλη, με τη διαφορά ότι μοιράζεται συγχρόνως σε όλο το διαθέσιμο φάσμα. Με τη συγκεκριμένη τεχνική το φάσμα χωρίζεται σε 14 κανάλια που επικαλύπτονται στα 22MHz. Με αυτήν την τεχνική δεν χρειάζεται συγχρονισμός του πομπού και του δέκτη. [14]



Εικόνα 10 : Τεχνική Δαμόρφωσης DSSS ( Direct Sequence Spread Spectrum ) [15]

Συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι και οι δυο τεχνικές είναι πολύ ανθεκτικές στις παρεμβολές. Όμως σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα γιατί θα δημιουργήσουν προβλήματα στο δίκτυο.[14]

## 2.6 ΟΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΤΟΥ 802.11

### Η τροποποίηση IEEE 802.11a

Δημιουργήθηκε το 1999 και ουσιαστικά αποτελεί επέκταση του 802.11. Η επέκταση αυτή έγινε για να καλύψει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Το 802.11a εκπέμπει στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz και παρέχει ταχύτητες μέχρι 54Mbps. Χρησιμοποιεί ορθογώνια διαίρεση συχνότητας ( OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing ), η οποία στοχεύει ουσιαστικά, στο να διαιρεί έναν ρυθμό συχνότητας σε μικρότερους ρυθμούς για την ταυτόχρονη αποστολή δεδομένων. Έτσι τα αργά κανάλια μετατρέπονται σε ένα γρήγορο και έτσι λύνεται το πρόβλημα της σπατάλης του εύρους ζώνης. Το 802.11a δεν είναι συμβατό με τις ασύρματες κάρτες δικτύου οι οποίες υποστηρίζουν το πρότυπο 802.11b και επιπλέον σε μεταδόσεις που το 802.11b μπορεί να τα καταφέρει, αντίθετα το 802.11a αδυνατεί λόγω το ότι δεν μπορεί να διαπεράσει σταθερά αντικείμενα όπως π.χ. τοίχους, κ.λ.π. Επίσης δεν είναι συμβατό γιατί οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούν τα δυο πρότυπα είναι διαφορετικές. Επιλέχθηκε λοιπόν για να μπορέσει να καλύψει μια υψηλότερη ζώνη συχνοτήτων, αφενός για υποστηριχθούν μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης και αφετέρου για να μην υπάρχουν παρεμβολές από τις συσκευές.

### Η τροποποίηση IEEE 802.11b

Αναπτύχθηκε το 1999 και εκπέμπει στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως και 11 Mbps. Σε σχέση με το 802.11 διαφοροποιείται μόνο ως προς τον τρόπο μετάδοσης. Οι άλλοι τρόποι λειτουργίας παραμένουν οι ίδιοι και για αυτό το λόγο είναι συμβατές οι συσκευές μεταξύ τους. Επομένως αν προστεθούν καινούργιες συσκευές μπορούν να συνεργασθούν με τις προηγούμενες, πιθανόν παλαιότερες χωρίς πρόβλημα. Αρχικά σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί σε εσωτερικούς χώρους αλλά αποδείχθηκε ότι μπορεί να λειτουργήσει εξίσου καλά και σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Η εμβέλειά του μειώνεται σε μεγάλες αποστάσεις όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή και αυτό γιατί παρεμβάλλονται αντικείμενα. Σε αυτό το πρότυπο καθορίζονται δυο τρόποι κωδικοποίησης FHSS (Frequency Spread Spectrum) στην οποία έχουμε ταχύτητες μεταφοράς έως και 2mbit και DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) στην οποία έχουμε ταχύτητες μεταφοράς έως και 11mbit. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του είναι ότι, χρησιμοποιεί την κωδικοποίηση FHSS (Frequency Spread Spectrum) για μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων με τη χρήση διαμόρφωσης CCK και για να υπάρχει και συμβατότητα με το 802.11. Η απόσταση μεταξύ των συσκευών κυμαίνεται από 30 μέτρα για εσωτερικό χώρο και έως 120 μέτρα για εξωτερικό χώρο. Οι αποστάσεις μπορούν να είναι μεγαλύτερες εάν τοποθετηθούν και κεραιές οι οποίες θα ενισχύουν το σήμα.

### Η τροποποίηση IEEE 802.11c

Η βασικότερη λειτουργία του είναι να διασφαλίζει τη σωστή λειτουργία γεφύρωσης των πλαισίων και κατά συνέπεια έτσι να εξασφαλίζει και τη σωστή λειτουργία του δικτύου με διάφορες συσκευές άλλων κατασκευαστών.

### Η τροποποίηση IEEE 802.11d

Εδώ έχουμε επέκταση στο πρότυπο ώστε, να μπορεί να λειτουργεί σε ρυθμιστικά πλαίσια, δηλαδή σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τα νομικά πλαίσια που ισχύουν σε διάφορες χώρες για τη χρησιμοποίηση των ραδιοσυχνοτήτων. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η λειτουργικότητα σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές.

### Η τροποποίηση IEEE 802.11e

Επειδή στο αρχικό πρότυπο 802.11 δεν υπήρχε καλή ποιότητα υπηρεσίας ως προς τη φωνή και την υποστήριξη των πολυμέσων, ουσιαστικά κάλυψε αυτό το μειονέκτημα για τη βελτίωση της φωνής και του video. Το πρότυπο αυτό θεωρείται μεγάλης σημασίας για τις εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση, όπως π.χ. είναι η Voice over Wireless IP και η ροή πολυμέσων.

### Η τροποποίηση IEEE 802.11f

Ουσιαστικά μπορούμε να πούμε ότι λύνει το πρόβλημα στην επικοινωνία μεταξύ των σημείων πρόσβασης, που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές και επιτυγχάνει έτσι τη σωστή λειτουργία του συστήματος και υποστηρίζει και λειτουργίες περιαγωγής.

### Η τροποποίηση IEEE 802.11g

Αυτό το πρότυπο αποτελεί επέκταση του 802.11b για να υποστηρίζει μεγαλύτερους ρυθμούς μέχρι 54Mbps και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση OFDM της ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας. Είναι το πιο διαδεδομένο πρότυπο φυσικού επιπέδου. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα συνδυασμό του 802.11a και του 802.11b, που επιτυγχάνει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και επιπλέον διατηρεί και τη συμβατότητα με τις προηγούμενες τροποποιήσεις. Επίσης οι κεραίες που χρησιμοποιεί το 802.11b μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από το 802.11g, μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος αναβάθμισης ενός δικτύου.

### Η τροποποίηση IEEE 802.11h

Η σημαντικότερη λειτουργία του είναι, να ενισχύει τα επίπεδα MAC ΤΟΥ 802.11 και PHY του 802.11a, ώστε να μπορεί να παρέχει επεκτάσεις στη διαχείριση και τον έλεγχο των δικτύων, ως προς τη διαχείριση του φάσματος και της ισχύος μετάδοσης στη ζώνη των 5 GHz. Επίσης επιλέγει αυτόματα σε ποια συχνότητα θα λειτουργήσει, ανάλογα με τη χρήση της κάθε συχνότητας στον περιβάλλοντα χώρο.

### Η τροποποίηση IEEE 802.11i

Ενισχύει τους μηχανισμούς ασφάλειας και πιστοποίησης ταυτότητας του προτύπου 802.11 σε επίπεδο MAC. Έτσι με τη χρήση κλειδιών και νέων μεθόδων κρυπτογράφησης έχουμε μεγαλύτερη ασφάλεια.

### Η τροποποίηση IEEE 802.11n

Το πρότυπο IEEE 802.11n, αποτελεί τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.11. Το πρότυπο αυτό καθορίζει τη χρήση πολλαπλών δεκτών και πομπών, για την επίτευξη της αυξημένης απόδοσης (throughput) στα ασύρματα δίκτυα.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι τα πρότυπα αυτά λειτουργούν συμπληρωματικά και όχι ανταγωνιστικά καλύπτοντας το ένα τις αδυναμίες του άλλου.

## 2.7ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ( PHY, Physical Layer ) ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.11

Στο πρότυπο IEEE 802.11 έχουμε πέντε διαφορετικούς τύπους φυσικού στρώματος και κατά συνέπεια πέντε διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης, ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται και την ταχύτητα που επιτυγχάνεται. Το πλεονέκτημα των διαφορετικών τύπων φυσικού στρώματος, είναι ότι μπορούν οι χρήστες σε ένα δίκτυο να εκμεταλλευθούν ανάλογα με τις ανάγκες τους τον κάθε τύπο, αλλά το μειονέκτημα είναι ότι, όταν υπάρχουν πολλοί χρήστες σε ένα δίκτυο και ο καθένας χρησιμοποιεί διαφορετικό τύπο φυσικού στρώματος, για να μπορούν να επικοινωνούν με άλλους χρήστες του δικτύου, θα πρέπει εξ αρχής να έχουν οριοθετήσει και τον τύπο που χρησιμοποιούν και το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων. Η οριοθέτηση του χρησιμοποιούμενου τύπου γίνεται με την προσθήκη μιας επικεφαλίδας από το πρωτόκολλο MAC. Οι τεχνικές μετάδοσης που χρησιμοποιούνται είναι πέντε : α) η τεχνική εξάπλωσης του φάσματος με τη συνεχή αλλαγή της συχνότητας FHSS, β) η τεχνική εξάπλωσης του φάσματος με άμεση ακολουθία DSSS, γ) η τεχνική εξάπλωσης του φάσματος με την ακολουθία υψηλού ρυθμού μετάδοσης HP-DSSS, δ) η τεχνική ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας OFDM και τέλος ε) οι υπέρυθρες ακτίνες.

## 2.8 ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ( MAC, MediumAccess ) ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.11

Στο MAC layer υπάρχουν δύο καταστάσεις λειτουργίας: α) Η κατάσταση του ανταγωνισμού (contentionperiod - CP) και η κατάσταση χωρίς ανταγωνισμό (contention-freeperiod- CFP). Στην κατάσταση ανταγωνισμού (CP) όλοι οι σταθμοί «ανταγωνίζονται» μεταξύ τους, για να αποκτήσουν πρόσβαση στο κανάλι και να μεταδώσουν τα δεδομένα τους. Στην contention-free period (CFP) η πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης ελέγχεται από το access point και οι σταθμοί οι οποίοι θα μεταδώσουν επιλέγονται από αυτό. Το IEEE 802.11 παρέχει δύο MAC πρωτόκολλα πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης : Α) Την κατανεμημένη λειτουργία συντονισμού ( DCF ), που βασίζεται στον «ανταγωνισμό» των σταθμών και είναι γνωστή σαν τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων (CSMA/CA). Έχει εφαρμογή σε πολλά δίκτυα, στα οποία ο κάθε σταθμός θα πρέπει πρώτα να βεβαιωθεί ότι το κανάλι είναι ελεύθερο πριν αρχίσει τη μετάδοσή του. Β) Την σημειακή λειτουργία συντονισμού (PCF ), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα ad-hoc δίκτυα και συνυπάρχει με το PCF στα δίκτυα υποδομής(infrastructure).

## 2.9 ΟΙ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.11

Οι βασικές τοπολογίες που υποστηρίζει είναι δύο: α) τα δίκτυα υποδομής ( infrastucturenetworks ) και β) τα ανεξάρτητα δίκτυα ( independentnetworks ).

## 3. ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11b Wi-Fi



Εικόνα 11 : WiFitrademark [16]

Μετά την ανάπτυξη των προτύπων από την IEEE, έκαναν την εμφάνισή τους πολλοί κατασκευαστές διαφορετικών συσκευών. Έπρεπε λοιπόν αυτές οι συσκευές να είναι συμβατές μεταξύ τους. Γιαυτότολγοιδρύθηκετο 1999 ηWECA (WirelessEthernetCompatibiltyAlliance), ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός, που ο σκοπός της ήταν η πιστοποίηση των διαφόρων ασύρματων συσκευών. Σε αυτόν τον οργανισμό συμμετέχουν κατασκευαστές υπολογιστών, λογισμικού, κυκλωμάτων καθώς και πάροχοι υπηρεσιών WLAN. Μερικές από τις εταιρίες που μετέχουν είναι οι 3Com, Apple, Cabletron, Compaq, Dell, Aironet, Breezecom, Fujitsu, IBM, Samsung, Nokia, SymbolTechnologies, κ.λ.π. Η ένωση αυτή λοιπόν, δοκίμασε τη λειτουργικότητα αυτών των συσκευών με διάφορες μεθόδους και όσες συσκευές περνούσαν τις δοκιμές αυτές αποκτούσαν το λογότυπο Wi-Fi, που αποτελούσε την εγγύηση αυτής της συσκευής που θα μπορούσε να λειτουργήσει σε συνεργασία με οποιαδήποτε άλλη που θα έφερε το ίδιο λογότυπο.

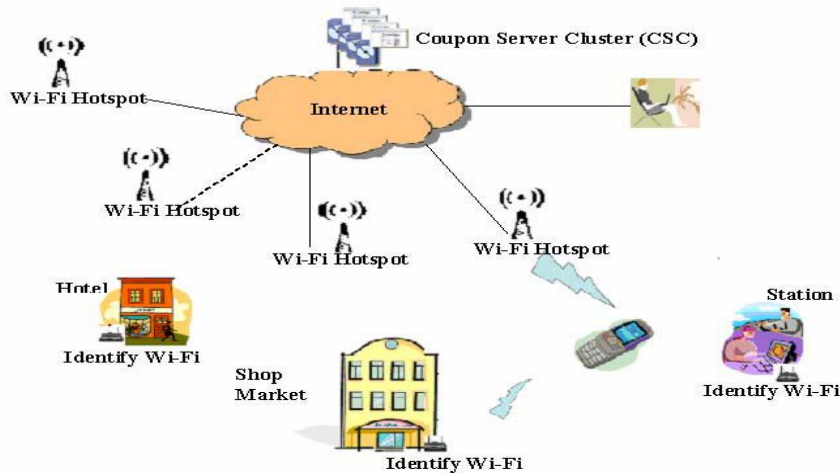
Το Πρότυπο IEEE 802.11b είναι γνωστό και ως Wi-Fi ( WirelessFidelity ) Alliance ή WLAN (WirelessLocalAreaNetwork ) και είναι το πρώτο, που χρησιμοποιήθηκε στα τοπικά ασύρματα δίκτυα. Το Wi-Fi προέρχεται από τα αρχικά ( WirelessFidelity ) που σημαίνει Ψηφιακή Πιστότητα. Το Πρότυπο IEEE 802.11b είναι μια σειρά τεχνολογικών προδιαγραφών, δηλαδή ουσιαστικά είναι ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίαςτων υπολογιστών ενός δικτύου που δίνει τη δυνατότητα της σύνδεσης στο Internet.

Είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί την μπάντα ISM - Industrial, Scientific and Medical στα 2.4-2.483Ghz για επικοινωνία και διαχωρίζει το εύρος των συχνοτήτων σε τρεις μη αλληλοκαλυπτόμενες περιοχές. Παρέχει ταχύτητες 11mbps σε half-duplex, οι οποίες μοιράζονται μεταξύ όλων των σταθμών που συνδέονται στο ίδιο σημείο πρόσβασης ( Access



Point ). Η τυπική απόσταση μεταξύ συσκευών είναι γύρω στα 30 μέτρα όταν πρόκειται για εσωτερικό χώρο και πάνω από 120 μέτρα όταν πρόκειται για εξωτερικό χώρο. Αυτές οι αποστάσεις αυξάνονται με την τοποθέτηση κεραιών οι οποίες ενισχύουν το σήμα.[15]

Ο όρος Wi-Fi χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1999, αντί του επίσημου όρου « IEEE 802.11b Direct Sequence ». Τα περισσότερα Wi-Fi Spots, εκπέμπουν σε απόσταση 32 μέτρων σε εσωτερικό χώρο και 95 μέτρων σε εξωτερικό χώρο. Ωστόσο, υπάρχει και το "Long-range Wi-Fi", μια νέα τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, που εκπέμπει σε απόσταση εκατοντάδων χιλιομέτρων. Η μεγαλύτερη γνωστή απόσταση μεταφοράς δεδομένων μέσω του "Long-range WiFi" είναι 304 χ.μ. και έγινε το 2007 στην Ιταλία.



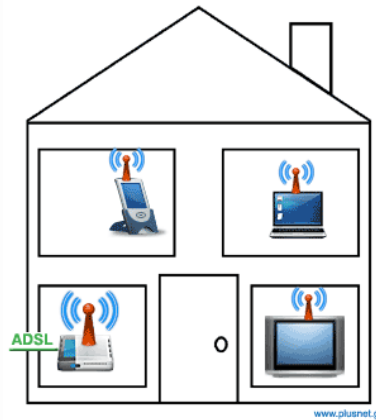
**Εικόνα 12 : Αρχιτεκτονική Ασύρματου δικτύου Wi-Fi [17]**

Ο τρόπος λειτουργίας του Wi-Fi είναι πολύ απλός. Οποιοσδήποτε υπολογιστής μπορεί να συνδεθεί στο Internet, αρκεί να βρίσκεται μέσα στην ακτίνα ενός υπάρχοντος ασύρματου δικτύου που είναι βέβαια συνδεδεμένο με το Internet. Αυτός ο υπολογιστής ονομάζεται σημείο πρόσβασης (Access Point). Όταν σε μια περιοχή υπάρχουν περισσότερα από ένα σημεία πρόσβασης και είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, τότε αυτή περιοχή ονομάζεται hotspot.

Το hotspot μπορεί να είναι ένα δωμάτιο ή μια έκταση εκατοντάδων μέτρων. Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με ραδιοκύματα. Η δομή του αποτελείται από ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης. Οι κόμβοι που βρίσκονται εντός της εμβέλειας αυτού του σημείου πρόσβασης μπορούν να έχουν ασύρματη σύνδεση. Κάθε υπολογιστής ή ακόμα και ένα τηλέφωνο που διαθέτουν κάρτα δικτύου για ασύρματη επικοινωνία μπορεί να είναι ένας κόμβος. Τώρα η ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων αλλά και η εμβέλεια του σημείου πρόσβασης, εξαρτάται τόσο από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται όσο και από μορφολογία της εκάστοτε περιοχής.

Το WiFi χρησιμοποιεί ένα router καθώς και άλλα modem που συνήθως είναι ενσωματωμένα στις συσκευές που το υποστηρίζουν. Το router λοιπόν, αφού λάβει το σήμα από μια μακρινή πηγή, το δρομολογεί στα modem που βρίσκονται κοντά του. Το ασύρματο δίκτυο θεωρητικά έχει εμβέλεια γύρω στα 200-300 μέτρα. Επειδή όμως στο περιβάλλον υπάρχουν αρκετές παρεμβολές, πολλές φορές δεν ξεπερνάει τα 30-50 μέτρα. Αυτό οφείλεται κυρίως στα εμπόδια που συναντάει το σήμα.

Η τεχνολογία Wifi εφαρμόζεται πλέον σε κάθε σπίτι



Εικόνα 13 : Η τεχνολογία Wi-Fi χρησιμοποιείται σε κάθε σπίτι [18]

### 3.1 Η ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΕΝΟΣ Wi-Fi ΔΙΚΤΥΟΥ

Το πρότυπο του wifi ορίζει τρεις τρόπους επικοινωνίας μεταξύ κόμβων ενός δικτύου, τον IBSS (Independent Basic Service Set) ή ad hoc, τον BSS (Basic Service Set) ή infrastructure και τον ESS (Extended Service Set). Με τον πρώτο τρόπο, δυο ή περισσότερες συσκευές μπορούν να επικοινωνούν άμεσα η μία με την άλλη. Κάθε κόμβος σε αυτή την περίπτωση θεωρείται ομότιμος (peer) και έτσι το δίκτυο απαρτίζεται από μονοπάτια. Συνήθως αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται για μικρά δίκτυα. Στην δεύτερη τοπολογία, το δίκτυο αποτελεί ένα κυψελωτό δίκτυο, παρόμοιο των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Η κυψέλη ονομάζεται Basic Service Set (BSS). Όλα τα μέλη της κυψέλης μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, μέσω ενός κεντρικού διανομέα που ονομάζεται Base Station ή Access Point, κατά το μοντέλο client – server. Σε αυτή την περίπτωση δεν χρειάζεται η άμεση οπτική επαφή ανάμεσα σε όλους τους κόμβους. Αρκεί όλοι να μπορούν να επικοινωνήσουν με το Access Point. Κάθε Access Point, έχει λοιπόν ένα όνομα, που το αναγνωρίζει ανάμεσα σε άλλα που ίσως να βρίσκονται στον ίδιο χώρο, το SSID. Το SSID είναι πολλές φορές και αυτό που πρέπει να ξέρουμε, για να συνδεθούμε σε κάποιο ελεύθερο Access Point. Επίσης, κάθε Access Point εκπέμπει σε ένα από τα 14 κανάλια (λιγότερα ίσως σε κάποιες χώρες) εκπομπής που ορίζει το πρωτόκολλο.

Ένα Access Point χρησιμοποιεί πολυκατευθυντική κεραία (Omnidirectional), καθώς πρόκειται για κεραίες που εκπέμπουν κυκλικά το σήμα τους, πράγμα που είναι και το ζητούμενο όταν θέλουμε να έχουμε την μέγιστη κάλυψη του περιβάλλοντος χώρου.

### 3.2 Η ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ Wi-Fi

Επειδή ούτως ή άλλως τα ασύρματα δίκτυα έχουν μικρότερη ασφάλεια από τα ενσύρματα, επειδή το μέσο μεταφοράς των δεδομένων είναι τα ραδιοκύματα αντί των καλωδίων, είναι πολύ εύκολο να υπάρχουν υποκλοπές και εισβολές στο δίκτυο. Το πρότυπο Wi-Fi, προσφέρει γι' αυτό το λόγο, μία υπηρεσία κρυπτογράφησης των δεδομένων. Ο στόχος της είναι να παρέχει προστασία των δεδομένων. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση, ονομάζεται WEP (Wired Equivalent Privacy). Το WEP είναι ένας αλγόριθμος για την εξασφάλιση ασφαλούς μετάδοσης σε ασύρματα δίκτυα, που όμως μπορεί να παραβιαστεί με κατάλληλες τεχνικές. Γι' αυτό το λόγο αντικαταστάθηκε από το πρωτόκολλο από το WPA, που προσφέρει καλύτερη προστασία.

### 3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ Wi-Fi

Το Wi-Fi έχει πολλά πλεονεκτήματα τόσο για τους χρήστες όσο και για τους παρόχους και τις επιχειρήσεις της εν λόγω τεχνολογίας. Τα πλεονεκτήματα για τους χρήστες είναι ότι,

μπορούν να έχουν πρόσβαση στο Internet και στο email τους, είτε χρησιμοποιώντας το τηλέφωνό τους είτε το laptop τους, όταν βρίσκονται στο σπίτι τους από οποιοδήποτε σημείο του σπιτιού και αντίστοιχα όταν βρίσκονται στο περιβάλλον της εργασίας τους, από οποιοδήποτε σημείο της εταιρείας που εργάζονται. Και φυσικά το σημαντικότερο είναι ότι το δίκτυα είναι ασύρματο πράγμα που σημαίνει απεριόστη ελευθερία κινήσεων. Τα πλεονεκτήματα για τους παρόχους και τις επιχειρήσεις είναι ότι, η ευκολία της εγκατάστασης ενός τέτοιου δικτύου, η δυνατότητα της επέκτασής του και το μικρότερο κόστος που απαιτείται σε μια αναδιάρθρωση ενός δυναμικού χώρου.[19]

#### 4. ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.16 Wi-MAX

Τα τελευταία χρόνια, είναι τέτοια η εξέλιξη των κυψελωτών δικτύων, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να στέλνουν μεγάλο όγκο δεδομένων με χαμηλές ταχύτητες και φάνηκε ότι μπορούσαν να λύσουν το πρόβλημα του «τελευταίου μιλίου». Έτσι η δημιουργία των Wi-Fi δικτύων, έδειχνε ότι μπορούσε να αντεπεξέλθει σε αυτή την πρόκληση. Όμως με τη μεγάλη ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων σε συνδυασμό με την ανάπτυξη νέων πρωτοκόλλων, τεχνικών που μειώνουν την εξασθένιση του σήματος και τη δημιουργία νέων αλγορίθμων κωδικοποίησης, δημιουργήθηκαν ασύρματα δίκτυα τέτοια, που μπορούσαν να στείλουν μεγάλο όγκο δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις και με πολύ υψηλές ταχύτητες, τα οποία συγκριτικά με τα κυψελωτά δίκτυα υπερτερούσαν, αν όχι και τα επισκίαζαν. Έτσι δημιουργήθηκε το Wi-MAX, τα αρχικά του οποίου προκύπτουν από τις λέξεις (World Interoperability for Microwave Access), που βασίζεται στο πρότυπο 802.16, το οποίο είναι και συνώνυμο της ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης και ουσιαστικά πρόκειται για ασύρματη σύνδεση σε Μητροπολιτικά δίκτυα. Θεσμοθετήθηκε από την IEEE το 2003 και ουσιαστικά πρόκειται για μια τεχνολογία τηλεπικοινωνιών που είναι σε θέση να παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε μεγάλες αποστάσεις για τη μετάδοση των δεδομένων, χρησιμοποιώντας όμως και μια μεγάλη ποικιλία από τρόπους μετάδοσης, παρέχοντας ευρυζωνικές υπηρεσίες τόσο σε επιχειρήσεις, όσο και σε απλούς χρήστες όσον αφορά την πρόσβαση στο Διαδίκτυο που είναι παρόμοια με τη DSL με αρκετά μεγαλύτερη όμως ακτίνα κάλυψης.

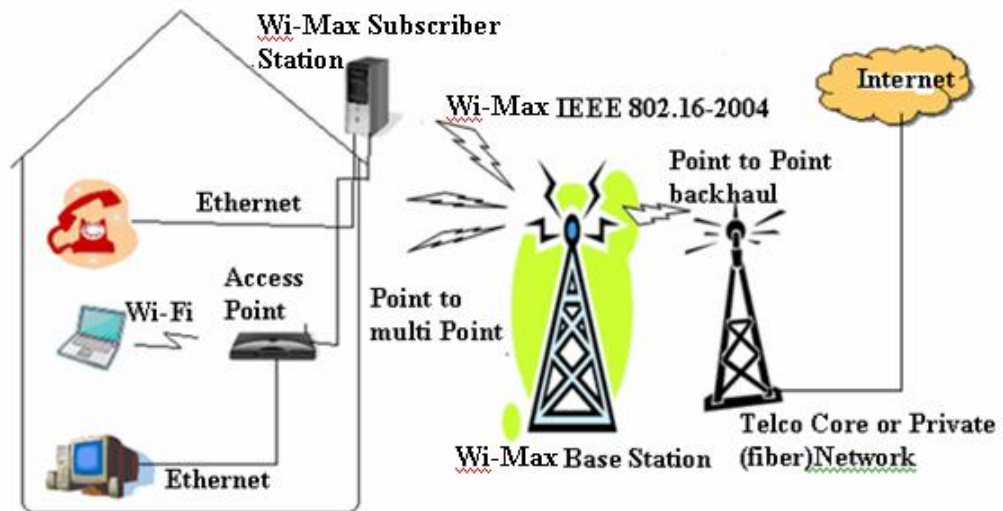
Με άλλα λόγια, παρέχει μια πολύ γρήγορη ασύρματη εναλλακτική λύση σε σχέση με τη ενσύρματη σύνδεση με πολύ μεγάλες ταχύτητες μέχρι και 10 Mbps και για πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις. Το Wi-MAX μπορεί να παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση μεγαλύτερη των 30 μιλίων (ή 50 χιλιομέτρων) για σταθερούς σταθμούς και μεγαλύτερη των 30 έως 10 μιλίων (5 έως 15 χιλιόμετρα) για κινητούς σταθμούς, σε αντίθεση με το Wi-Fi που ακολουθεί το πρότυπο 802.11 για ασύρματα τοπικά δίκτυα και περιορίζεται στις περισσότερες των περιπτώσεων στα 100 έως 300 πόδια (30 έως 100 μέτρα). Λειτουργεί σε μια μπάντα συχνοτήτων από 2 έως 66 GHz και υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης έως 72 Mbps. Έχει σχεδιαστεί για την κάλυψη σημείου προς πολλαπλά σημεία (Point to Multipoint – PTM) συνδέσεων χωρίς όμως να αποκλείεται και η χρήση του για συνδέσεις σημείου προς σημείο (Point to Point συνδέσεις - PTP). Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται ονομάζεται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), ορθογώνια διαίρεση συχνότητας.

Το σημαντικό του πλεονέκτημα είναι ότι, μπορεί να παρέχει ασύρματη επικοινωνία χρησιμοποιώντας ένα κοινό πρωτόκολλο MAC, το οποίο είναι ανεξάρτητο από το φυσικό επίπεδο που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Και φυσικά, επειδή υπάρχει και το πρόβλημα της κατανομής του φάσματος παγκόσμια, εξαιτίας του οποίου δημιουργούνται και διάφορα προβλήματα, το Wi-MAX έρχεται για να επιλύσει και αυτά τα προβλήματα.

Ο ρυθμός τώρα μετάδοσης των δεδομένων στο Wi-MAX, υποστηρίζεται με παρόμοιο τρόπο με το Wi-Fi, με λιγότερες όμως παρεμβολές και μεγαλύτερη ασφάλεια. Επίσης λόγω του ότι μπορεί να καλύπτει μεγάλες αποστάσεις και ταυτόχρονα να υποστηρίζει και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες διαδικτύου και σε περιοχές που είναι πολύ δύσκολο να τοποθετηθούν καλώδια. Το πρόβλημα του εδάφους πολλές φορές δημιουργεί μεγάλα προβλήματα στην τοποθέτηση των καλωδίων, όπως για παράδειγμα, στην

πολιτεία της Αριζόνα στην Αμερική, στην Αυστραλία, στην Αφρική, όπου μεσολαβούν μεγάλες εκτάσεις που είναι ερημικές και έτσι η τεχνολογία Wi-MAXέρχεται να λύσει ακριβώς αυτά τα προβλήματα.

Το Wi-MAX ουσιαστικά δεν συγκρούεται με το Wi-Fi αλλά στη πραγματικότητα το συμπληρώνει. Το Wi-MAX είναι μια τεχνολογία ασύρματη ευρυζωνικής πρόσβασης WAN (wide area network),η οποία συνδέει τους σταθμούς βάσης (hot - spots) του Wi-Fi με το Internet και έτσι αποτελεί εντέλει την επέκτασή του.



Εικόνα 14 : Μια τυπική σύνδεση Wi-MAX[20]

#### 4.1 ΤΑ ΥΠΟΠΡΟΤΥΠΑ ΤΟΥ 802.16

##### Το υπό - πρότυπο IEEE 802.16 a

Τον Ιανουάριο του 2003 δημιουργήθηκε το πρώτο υπό - πρότυπο IEEE 802.16a, με βάση το οποίο δεν είναι απαραίτητη πλέον η οπτική επαφή (lineofsight) μεταξύ των σταθμών βάσης. Το υπό - πρότυπο αυτό, δημιουργήθηκε για να μπορεί να λειτουργεί στις συχνότητες από 2 GHz μέχρι 11 GHz, αφού η ελάχιστη συχνότητα μέχρι τη δημιουργία του, για την εκπομπή σημάτων ήταν τα 10 GHz. Έτσι, ενώ οι κεραίες αρχικά έπρεπε να έχουν τοποθετηθεί σε ένα πολύ ψηλό σημείο για να έχουμε σύνδεση με οπτική επαφή, τώρα θα μπορούν να είναι τοποθετημένες και στην οροφή ενός κτιρίου. Αυτό όμως δημιουργεί άλλα προβλήματα και για αυτό το λόγο, δημιουργήθηκαν τρεις διαφορετικές προδιαγραφές: η WirelessMAN – SC, που χρησιμοποιεί τη διαμόρφωση μοναδικού φέροντος, η WirelessMAN – OFDM, που χρησιμοποιεί πολύπλεξη με ορθογώνια διαίρεση φάσματος, και η πρόσβαση γίνεται χρησιμοποιώντας TDMA, ενώ επιπλέον η συγκεκριμένη διαμόρφωση, προορίζεται για αδειοδοτημένες περιοχές φάσματος και η WirelessMAN –OFDMA, που χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας και η πρόσβαση γίνεται με την κατεύθυνση ενός συνόλου από χρήστες σε ξεχωριστούς δέκτες. Έτσι λοιπόν, με το πρότυπο αυτό έχουμε μεγάλες ταχύτητες έως και 75 Mbps και σε πολύ μεγάλες αποστάσεις που

φθάνουν και τα 50 χιλιόμετρα, που όμως εξαρτώνται, από το ύψος που θα τοποθετηθεί η κεραία, την ισχύ που θα έχει η μετάδοση και τις εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες.

#### **Το υπό - πρότυπο IEEE 802.16 b**

Δημιουργήθηκε για να καλύψει τις περιοχές από 5 GHz μέχρι 6 GHz και για να δίνει προτεραιότητα στη μεταβίβαση διαφόρων πληροφοριών ήχου και εικόνας, καλύπτοντας πολλές multimedia εφαρμογές. Μπορούσε λοιπόν να μεταφέρει τα δεδομένα σε πραγματικό (σχεδόν) χρόνο και ουσιαστικά μπορούσε να παρέχει διαφορετικά επίπεδα υπηρεσίας σε διαφορετικούς τύπους μετάδοσης δεδομένων.

#### **Το υπό - πρότυπο IEEE 802.16 c**

Αυτό το υπό-πρότυπο είναι υπεύθυνο για την λειτουργία του προτύπου του WiMAX, στη ζώνη συχνοτήτων από 10 GHz έως και 66 GHz. Οι συχνότητες που είναι άνω των 66 GHz, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο, εάν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ των δυο σταθμών βάσης που επικοινωνούν.

#### **Το υπό - πρότυπο IEEE 802.16 d**

Δημιουργήθηκε για να μπορέσει να βελτιώσει τα προβλήματα που αφορούσαν την ασφάλεια και την ποιότητα των επικοινωνιών μεταξύ των σταθμών βάσης. Με την ύπαρξη λοιπόν πληθώρας εφαρμογών, αλλά παράλληλα και με την αύξηση των απαιτήσεων τους, έπρεπε να δημιουργηθεί ένα υπό – πρότυπο, για την μεταφορά σε πραγματικό χρόνο του Video on Demand - VoD (μετάδοση σε πραγματικό χρόνο video και εικόνας) αλλά και του Voice over IP - VoIP (διεξαγωγή συνομιλίας μέσω Internet).

#### **Το υπό - πρότυπο IEEE 802.16 e**

Ο σκοπός αυτού του προτύπου ήταν η παροχή ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης σε κινητά συστήματα. Εκδόθηκε το 2005 και έχει air interface OFDMA για βελτιωμένη απόδοση σε περιβάλλοντα χωρίς οπτική επαφή (NLOS). Χρησιμοποιεί ακόμη διαμόρφωση OFDMA (Scalable OFDMA-SOFDMA) για να υποστηρίξει διάφορα μεγέθη εύρους ζώνης καναλιών από 1.25 έως 20MHz . Καλύπτει εύρος ζώνης 5, 7, 8.75 και 10MHz για τις αδειοδοτημένες συχνότητες 2.3, 2.5 και 3.5GHz ενώ προβλέπει ρυθμούς downlink έως 63Mbps και uplink έως 28Mbps σε κανάλι εύρους ζώνης 10MHz.

Είναι το πρότυπο εκείνο το οποίο συνένωσε όλα τα πλεονεκτήματα που προσέφεραν τα προηγούμενα υποπρότυπα και βελτίωσε τόσο την ποιότητα της μετάδοσης των δεδομένων όσο και των εφαρμογών που υπήρχαν σε τέτοιου είδους συνδέσεις.

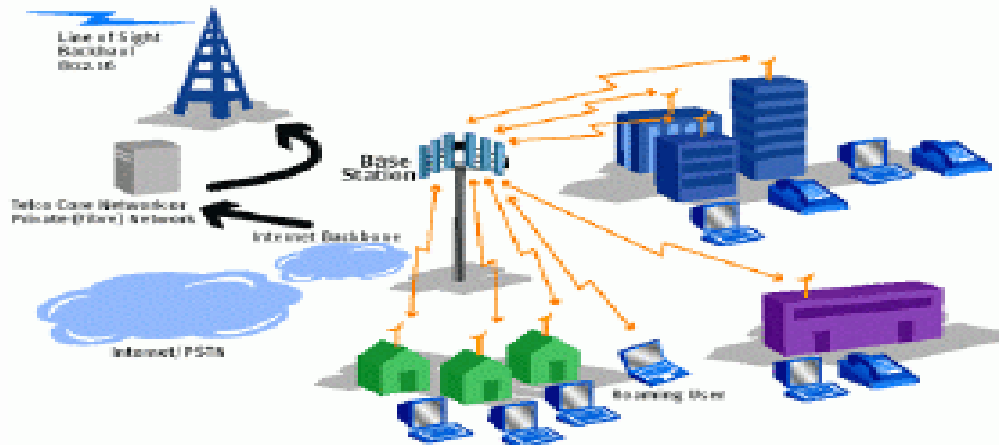
### **4.2 Η ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ WiMAX**

Πρακτικά ο τρόπος λειτουργίας ενός δικτύου WiMAX είναι παρόμοιος με τον τρόπο λειτουργίας του WiFi, αλλά υποστηρίζει μεγαλύτερες ταχύτητες, σε μεγαλύτερες αποστάσεις, με μικρότερο κόστος και υποστηρίζει μεγαλύτερο αριθμό χρηστών. Αποτελείται από δυο βασικά μέρη.

α) Το πρώτο μέρος είναι ένας σταθμός βάσης WiMAX που λειτουργεί παρόμοια με έναν πύργο κινητής τηλεφωνίας, που μπορεί όμως να παρέχει κάλυψη σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, ενώ ο πύργος κινητής τηλεφωνίας δεν μπορεί. Στην πραγματικότητα η κάλυψη ενός πύργου WiMAX μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 3000 τετραγωνικά μίλια. Με τη βοήθεια ενός σταθμού σταθμού βάσης WiMAX και μιας ασύρματης σύνδεσης, ο σταθμός βάσης WiMAX είναι σε θέση να προσφέρει άμεση και εύκολη σύνδεση με το διαδίκτυο. Εάν οι

χρήστες επιθυμούν να υποβληθούν στη διαδικασία του backhaul (δηλ. τη διαδικασία της δημιουργίας μιας σύνδεσης με έναν άλλο σταθμό βάσης WiMAX), μπορούν να έχουν σύνδεση με οπτική επαφή (line-of-sight).

β) το δεύτερο βασικό μέρος του WiMAX είναι ο δέκτης ή η συσκευή του πελάτη (Customer Premises Equipment - CPE), η οποία διαφέρει ανάλογα με την εφαρμογή. Αυτή μπορεί να είναι ένα ασύρματο τηλέφωνο, ένας υπολογιστής ή ένα laptop που να έχει εξοπλισμό συμβατό με το WiMAX. Κάθε δέκτης συνδυάζεται με την κεραία του που μπορεί να βρίσκεται σε ένα μικρόκουτί ή σε ένα laptopόπως ακριβώς και με το WiFi.



Εικόνα 15 :Η δομή ενός δικτύου Wi-MAX[21]

Ο τρόπος υλοποίησης ενός δικτύου WiMAX, για να μπορεί να παρέχει υπηρεσίες διαδικτύου στους συνδρομητές του, είναι πάρα πολύ απλός. Ο πάροχος των υπηρεσιών του Internet εγκαθιστά διάφορους σταθμούς βάσης, οι οποίοι και αναλαμβάνουν να διανείμουν το σήμα σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή. Στη συνέχεια ο κάθε συνδρομητής, εγκαθιστά στο χώρο του τον απαραίτητο εξοπλισμό που χρειάζεται, που μπορεί να είναι είτε ένας απλός υπολογιστής με υποστήριξη WiMAX είτε ένας WiMAX router, αν πρόκειται για σύνδεση που πρόκειται να μοιραστεί σε περισσότερους από έναν υπολογιστές στον ίδιο χώρο.

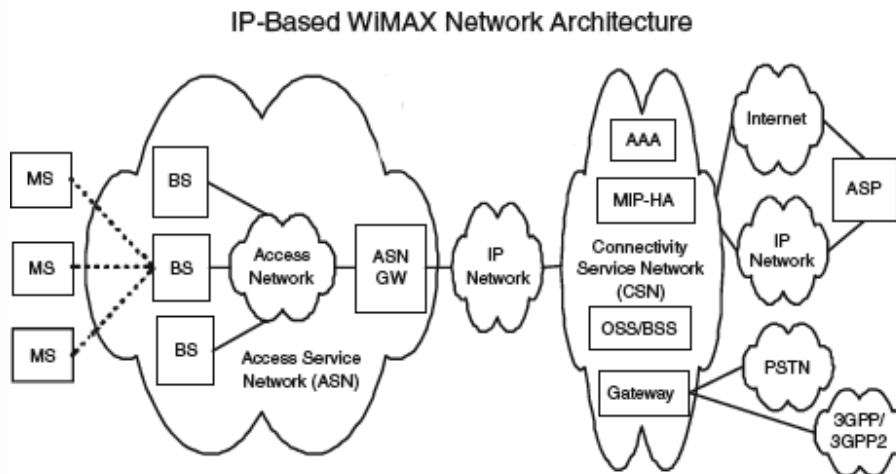
Η ύπαρξη και η λειτουργία του WiMAX είναι πράγματι μια πολύ σημαντική ανακάλυψη στον τομέα της τεχνολογίας. Με την ύπαρξή του, οι άνθρωποι επωφελούνται από μια πολύ πιο γρήγορη σύνδεση στο Internet. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο, ιδίως στον τομέα των επιχειρήσεων όπου οι ιδιοκτήτες μιας επιχείρησης μπορούν να επικοινωνούν με εκατομμύρια ανθρώπους και με αυτό τον τρόπο να αυξάνουν την κερδοφορία τους. Ωστόσο, δεν είναι μόνο οι ιδιοκτήτες των επιχειρήσεων που ωφελήθηκαν σημαντικά από την ύπαρξη του WiMAX, αλλά και όλοι οι άνθρωποι σε όλα τα μέρη του κόσμου, που η παρουσία του WiMAX στο διαδίκτυο άλλαξε τον τρόπο της ζωής τους.

### 4.3 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Wi-MAX

Ένα λοιπόν από τα πιο αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του WiMAX, είναι η αρχιτεκτονική του και ο τρόπος λειτουργίας του. Το μοντέλο αναφοράς του WiMAX Network Reference Model (NRM), παρουσιάζει μια ενοποιημένη αρχιτεκτονική του δικτύου για την υποστήριξη, σταθερής, νομαδικής και κινητής πρόσβασης και είναι βασισμένο σε ένα μοντέλο παροχής υπηρεσιών Internet/IP. Το δίκτυο χωρίζεται σε τρία μέρη :

- 1) Τους κινητούς σταθμούς ( SM –StationMobile ), που χρησιμοποιούνται από τον τελικό χρήστη για την πρόσβαση στο δίκτυο.
- 2) Την υπηρεσία πρόσβασης στο δίκτυο ( ASN–AccessServiceNetwork), η οποία αποτελείται από έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης και μία ή περισσότερες πύλες (ASN - AccessServiceNetwork), που αποτελούν την πρόσβαση στο δίκτυο.
- 3) Την υπηρεσία συνδεσιμότητας του δικτύου ( CSN–ConnectivityServiceNetwork), η οποία παρέχει IPσυνδεσιμότητα στον πυρήνα του δικτύου.

Το μοντέλο αναφοράς αναπτύχθηκε από το Wi-MAXForum και καθορίζει έναν αριθμό από λειτουργικές οντότητες και διασυνδέσεις μεταξύ αυτών των οντοτήτων. Παρακάτω στην εικόνα φαίνονται μερικές από τις σπουδαιότερες λειτουργικές οντότητες.

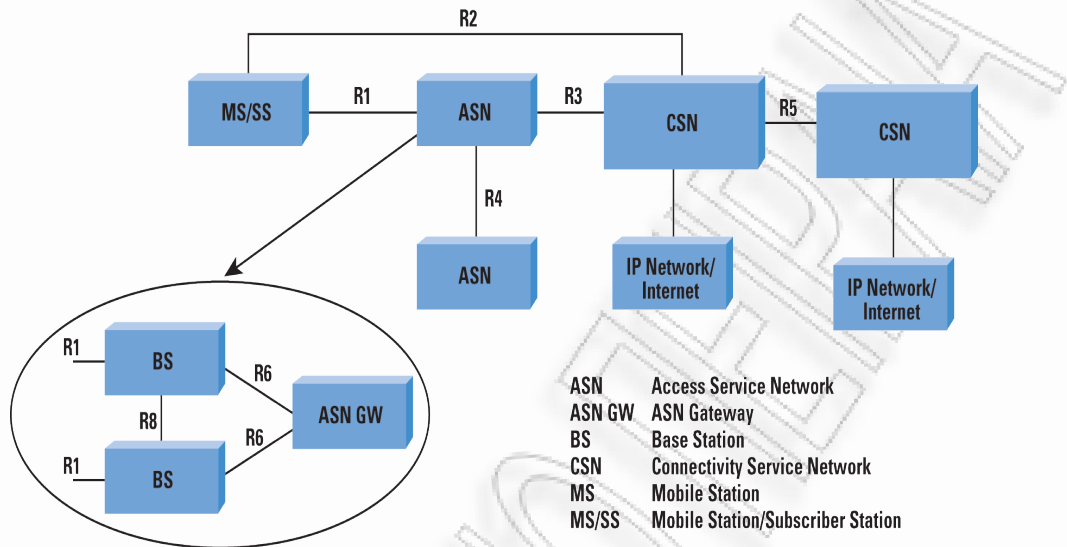


**Εικόνα 16 : Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου Wi-MAXβασισμένο σε IP[71]**

- ❖ Ο σταθμός βάσης (BS – BaseStation): Ο σταθμός βάσης είναι υπεύθυνος για την παροχή διεπαφής στους κινητούς σταθμούς ( MS-MobileStations).Οι βασικές λειτουργίες του είναι η δημιουργία της σύνδεσης, η διαχείριση της ραδιοσυχνότητας, η εφαρμογή της ποιότητας υπηρεσίας, η ταξινόμηση της κυκλοφορίας, το πρωτόκολλο ελέγχου, η διαχείριση του κλειδιού και ουσιαστικά η διαχείριση της εκπομπής.
- ❖ Η υπηρεσία πρόσβασης στο δίκτυο ( ASN - GW): Η υπηρεσία πρόσβασης στο δίκτυο ενεργεί συνήθως σαν ένα δεύτερο στρώμα που συγκεντρώνει την κυκλοφορία.Πρόσθετες λειτουργίες της μπορεί να είναι η διαχείριση των πόρων και ο έλεγχος εισόδου, η αποθήκευση του προφίλ των συνδρομητών, τα κλειδιά της κρυπτογράφησης, η διαλειτουργικότητα του πελάτηκαι η εγκατάσταση και διαχείριση της κινητικότητας με τους σταθμούς βάσης, η επιβολή ποιότητας υπηρεσίας και η δρομολόγηση σε επιλεγμένη υπηρεσία συνδεσιμότητας CSN.
- ❖ Η υπηρεσία συνδεσιμότητας του δικτύου ( CSN -ConnectivityServiceNetwork ): Η υπηρεσία συνδεσιμότητας του δικτύου, παρέχει σύνδεση στο Internet και σε άλλα δημόσια ή εταιρικά δίκτυα. Περιλαμβάνει τους serverπου υποστηρίζουν τον έλεγχο ταυτότητας για τις συσκευές, τους χρήστες,καθώς και άλλες συγκεκριμένες υπηρεσίες.Παρέχει επίσης την διαχείριση της ποιότητας υπηρεσίας για κάθε χρήστη και είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση των IPδιευθύνσεων, την υποστήριξη περιαγωγής μεταξύ των σταθμών, τη τοπική διαχείριση μεταξύ των υπηρεσιών πρόσβασης στο δίκτυο και την περιαγωγή και την κινητικότητα μεταξύ τους.

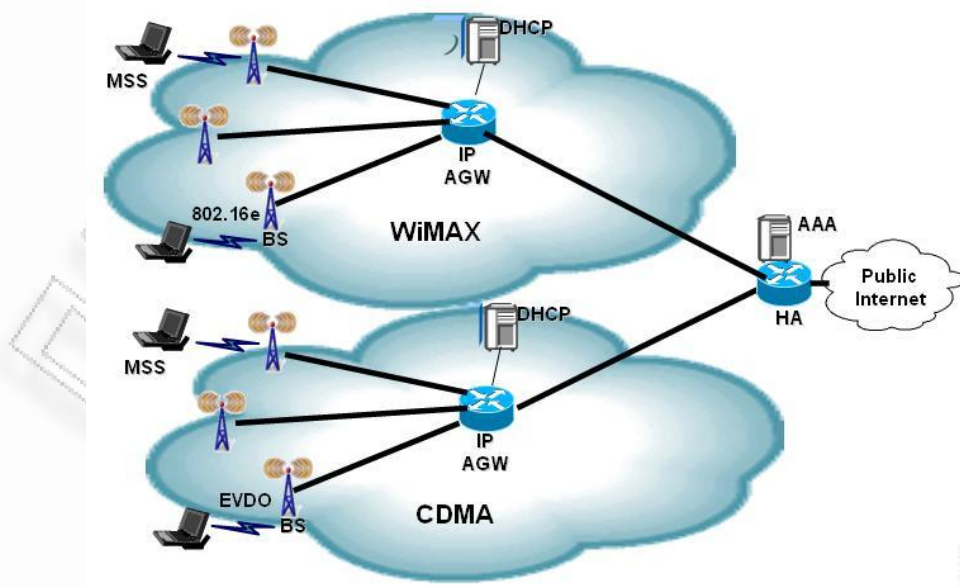
Το πλαίσιο της αρχιτεκτονικής του Wi-MAX επιτρέπει τον ευέλικτο συνδυασμό των λειτουργικών οντοτήτων. Για παράδειγμα, η υπηρεσία πρόσβασης στο δίκτυο μπορεί να αναλυθεί στους σταθμούς βάσης που λαμβάνουν (BST), στους ελεγκτές των σταθμών βάσης (BSC) και στην υπηρεσία πρόσβασης στο δίκτυο.[71]

Η αρχιτεκτονική του συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 17 : Αρχιτεκτονική ενός δικτύου WiMAX με τα λειτουργικά τμήματα και τα σημεία διασύνδεσης [68]

Συνοπτικά λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι ένα δίκτυο WiMAX περιλαμβάνει όπως είπαμε το σταθμό βάσης, ο οποίος και είναι εγκατεστημένος σε ένα πολύ ψηλό σημείο ή σε κάποιο πολύ ψηλό κτίριο, για να μπορεί να παρέχει σύνδεση PointtoMultipoint. Επίσης έχουμε και τις κεραιές, που τοποθετούνται σε χαμηλότερα σημεία ή σε χαμηλότερα κτίρια. Βεβαίως υπάρχουν και οι περιπτώσεις που μπορούν οι κεραιές να τοποθετηθούν και σε πιο ψηλά σημεία και η εμβέλειά τους μεγαλώνει πολύ περισσότερο. Όταν οι σταθμοί βάσης βρίσκονται εντός της ακτίνας εμβέλειας της κεραιάς τότε οι επιδόσεις του σήματος είναι πολύ καλές, οι ταχύτητες μετάδοσης φθάνουν τα 75 Mbps, πράγμα που σημαίνει ότι σε αυτή την περίπτωση οι σταθμοί βάσης μπορούν να καλύψουν εκατοντάδες επιχειρήσεις ή σπίτια.



Εικόνα18 : Συστατικά ενός δικτύου WiMAX[67]

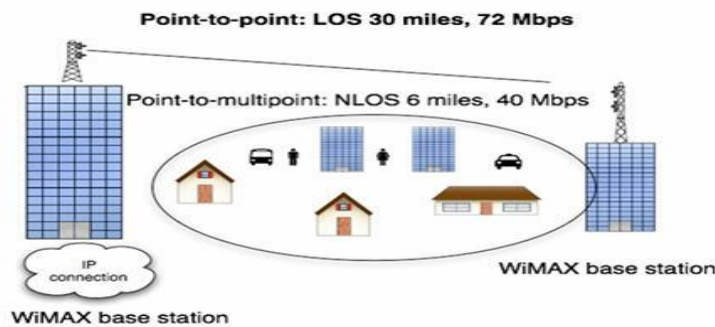


#### 4.4 ΟΙ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.16 Wi-MAX

Ο σταθμός βάσης του WiMAX μπορεί να συνδέεται είτε απευθείας στο Internet χρησιμοποιώντας ένα ενσύρματο δίκτυο είτε μπορεί να συνδέεται χωρίς καλώδια με έναν άλλο σταθμό WiMAX, πραγματοποιώντας σύνδεση με οπτική επαφή. Έτσι στο πρότυπο WiMAX έχουμε τρεις τοπολογίες :

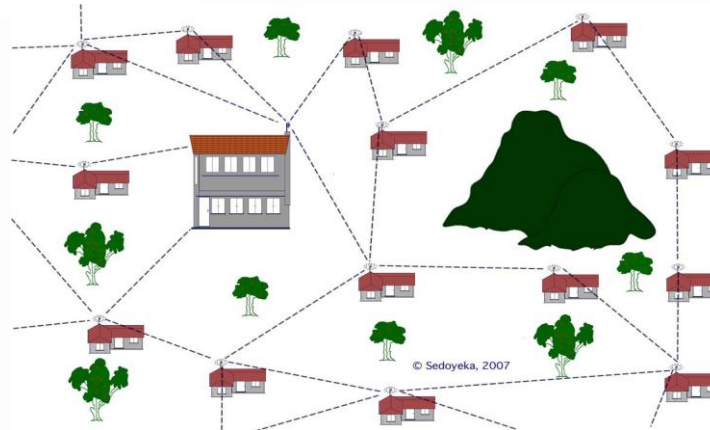
α) την τοπολογία **σημείο προς σημείο** (Point – to – Point), όταν το WiMAX χρησιμοποιείται ως «Δίκτυο Κορμού» και ονομάζεται και σύνδεση «backhaul» γιατί με αυτή τη διαδικασία της δημιουργείται μια σύνδεση με έναν άλλο σταθμό βάσης WiMAX. Σε αυτή την τοπολογία χρησιμοποιούνται κεραίες υψηλού κέρδους και σε περιπτώσεις που θέλουμε να συνδέσουμε σταθμούς βάσης μεταξύ τους με ασύρματο τρόπο.

β) την τοπολογία **σημείου προς πολλαπλά σημεία** (Point to Multipoint), όταν το WiMAX χρησιμοποιείται ως «Δίκτυο Πρόσβασης», και ονομάζεται και σύνδεση «last – mile». Σκοπός της είναι να συνδέει διάφορες επιχειρήσεις ή οικιακούς χρήστες με το σταθμό βάσης, και



Εικόνα 19 : Η παραπάνω εικόνα παρουσιάζει μια τυπική αρχιτεκτονική Wi-MAX[22]

γ) την **τοπολογία πλέγματος** (mesh). Σε αυτήν τοπολογία, οι κόμβοι μπορούν να λειτουργούν και σαν σταθμοί βάσης αλλά παράλληλα να είναι και σταθμοί συνδρομητών. Έτσι ο κάθε χρήστης μπορεί να μεταδίδει δεδομένα στους γείτονές του, δηλαδή να λειτουργεί σαν ένα ξεχωριστό σημείο πρόσβασης. Με την τοπολογία πλέγματος το δίκτυο μπορεί να επεκτείνεται. Η mesh τοπολογία διαιρείται σε δυο κατηγορίες. Την **switchedmesh** (τοπολογία πλέγματος προκαθορισμένης διαδρομής), που εδώ η δρομολόγηση γίνεται για μια προκαθορισμένη διαδρομή και την **rotemesh** (τοπολογία πλέγματος με επιλεγμένες διαδρομές) που εδώ η δρομολόγηση γίνεται για διαφορετικές διαδρομές. Η τοπολογία **switchedmesh** είναι και η καλύτερη.



Εικόνα 20 : Η παραπάνω εικόνα παρουσιάζει μια mesh αρχιτεκτονική Wi-MAX [23]

### 4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΥ Wi-MAX

#### Το στρώμα διασύνδεσης δεδομένων – MAC

Η στοίβα των πρωτοκόλλων του WiMAX παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Το ServiceAccessPoint (SAP) είναι ο σύνδεσμος του ενός υπό - επιπέδου με το άλλο και έχει παρόμοια λειτουργία με το port στα πρωτόκολλα TCP/IP.

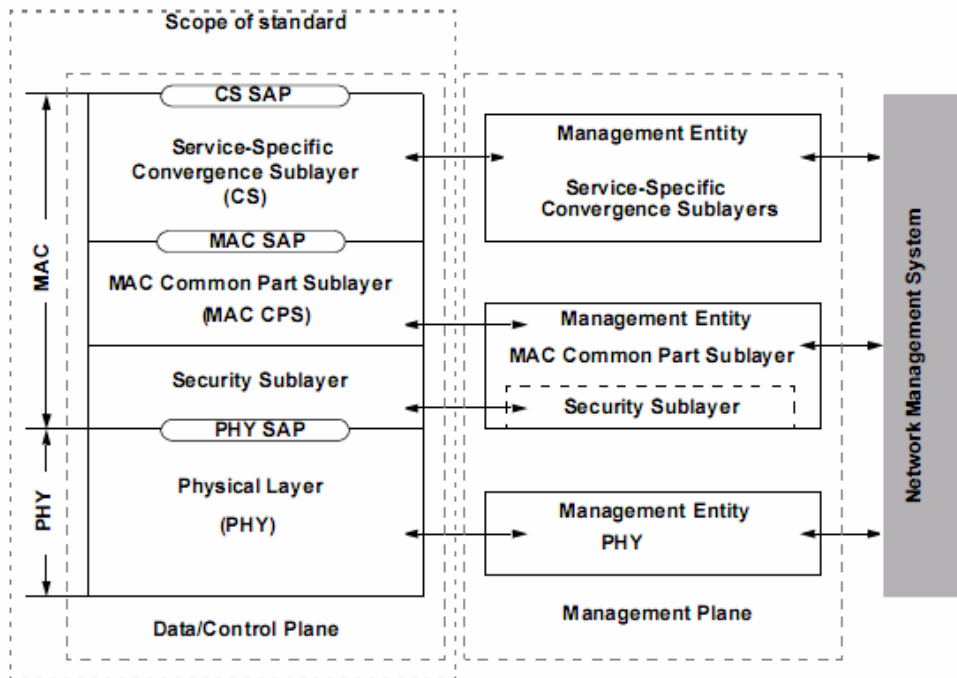


Figure 1—IEEE Std 802.16 protocol layering, showing SAPs

Εικόνα 21 : Η στοίβα των πρωτοκόλλων του WiMAX [24]

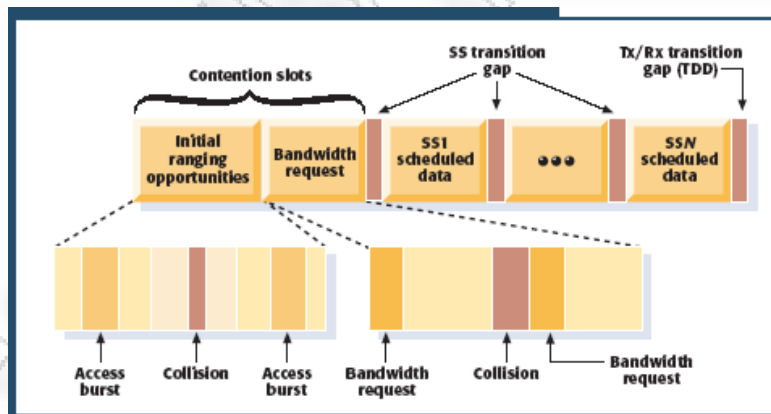
Εξετάζοντας λοιπόν την παραπάνω εικόνα βλέπουμε ότι, το Medium Access Control (MAC) επίπεδο, αποτελείται από τρία υπό - επίπεδα. Το πρώτο στη σειρά είναι το Service Specific Convergence Sublayer (CS). Το υπό - επίπεδο αυτό ονομάζεται και υπό - επίπεδο σύγκλισης υπηρεσιών και χρησιμεύει για τη διασύνδεση με πολλά πρωτόκολλα υψηλότερων στρωμάτων όπως το ATM, το TDM, το Ethernet, το IP αλλά

και για την προετοιμασία των δεδομένων που έρχονται από το ψηλότερο επίπεδο, τα οποία μεταβιβάζει στο CommonPartSublayer (CPS). Το δεύτερο υπό - επίπεδο είναι το MACCommonPartSublayer (MACCPS), που ονομάζεται και κοινού τμήματος ή κοινού μέρους. Σε αυτό το υπό - επίπεδο υπάρχουν όλα τα βασικά πρωτόκολλα, όπως είναι και η διαχείριση των καναλιών. Είναι υπεύθυνο για την πρόσβαση στο σύστημα, τη δέσμευση εύρους ζώνης, τη δημιουργία των συνδέσεων για την αποστολή των δεδομένων και ουσιαστικά ελέγχει και διατηρεί τη σύνδεση. Μπορούμε να πούμε λοιπόν ότι, ουσιαστικά ο σταθμός βάσης ελέγχει το σύστημα, και έχει τη δυνατότητα να προγραμματίσει τα κατερχόμενα κανάλια (τα κανάλια δηλαδή από τη βάση προς τον συνδρομητή), ενώ παίζει σημαντικότατο ρόλο και στη διαχείριση των ανερχόμενων καναλιών (δηλαδή των καναλιών από το συνδρομητή προς τη βάση). Το τρίτο υπό - επίπεδο είναι το PrivacySublayer ή υπό - επίπεδο μυστικότητας. Η δουλειά αυτού του υπό - επιπέδου είναι η κρυπτογράφηση, η αυθεντικοποίηση και η ανταλλαγή των κλειδιών ασφαλείας και ουσιαστικά είναι υπεύθυνο για την ασφάλεια και την προστασία του απορρήτου των δεδομένων.

Το WiMAX, έχει σχεδιαστεί όπως έχουμε αναφέρει, για να μπορεί να προσφέρει ασύρματη πρόσβαση με πολύ ψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και παράλληλα πάρα πολλές υπηρεσίες ταυτόχρονα. Μπορεί δηλαδή να εξυπηρετεί ανά κανάλι εκατοντάδες τερματικά και εκατοντάδες χρήστες ανά τερματικό κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί ο κάθε χρήστης να έχει τις υπηρεσίες που επιθυμεί.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι, το Medium Access Control (MAC) επίπεδο, έχει σχεδιαστεί για συνδέσεις σημείου προς πολλαπλά σημεία (pointtomultipoint), δηλαδή για εφαρμογές ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης και λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με το κλασικό MAC επίπεδο, που το κυριότερο μέλημά του είναι, να μπορεί να ελέγχει την πρόσβαση στο μέσο. Εδώ όμως, το μέσο είναι ασύρματο και έτσι θα πρέπει να μπορεί να διαχειρίζεται αποδοτικά και τους πόρους του συστήματος. Η ύπαρξή του λοιπόν είναι πολύ σημαντική γιατί, ουσιαστικά αποτελεί τη διεπαφή μεταξύ του φυσικού στρώματος και των ανωτέρων επιπέδων.

Το στρώμα MAC όταν λαμβάνει τα πακέτα από το ανώτερο στρώμα, τα πακέτα αυτά είναι τα λεγόμενα πακέτα υπηρεσιών δεδομένων του MAC Πρωτοκόλλου (MSDU), τα οποία τα μετατρέπει σε πακέτα δεδομένων του MAC Πρωτοκόλλου (MPDU), για να μπορέσει να τα μεταδώσει μέσω του αέρα. Όταν έχει εισερχόμενες μεταδώσεις πακέτων εκτελεί ακριβώς την αντίστροφη διαδικασία.



**Εικόνα22: Διαδικασία στρώματος MAC [25]**

Το στρώμα MAC έχει διάφορα χαρακτηριστικά για να μπορεί να ανταπεξέλθει σε πάρα πολλές εφαρμογές όπως:

- Τη Διαχείριση Μυστικών Κλειδιών « PrivacyKeyManagement – PKM ), που αφορά την ασφάλεια του στρώματος MAC.
- Την υποστήριξη για broadcast και multicast μεταδόσεις.
- Τη Διαχείριση πιστοποιητικών.
- Την υψηλή ταχύτητα handover.

- Τα τρία επίπεδα διαχείρισης όπως η ενέργεια, η κανονική λειτουργία, της νάρκης και της ηρεμίας.
- Την συμπίεση των κεφαλίδων, το πακετάρισμα και τον κατακερματισμό, ούτως ώστε να υπάρχει αποδοτική χρήση του φάσματος.[63]

Μετά βρίσκεται το PhysicalLayer ( PHY), το φυσικό επίπεδο που ασχολείται με την προσαρμογή του σήματος στο φυσικό μέσο, δηλαδή την ατμόσφαιρα και με τη μετάδοση.

### **Το Φυσικό Επίπεδο ( PhysicalLayer – PHY )**

Το Φυσικό Επίπεδο στο Wi-MAX βασίζεται στα πρότυπα 802.16-2004 και 802.16e-2005. Έχει σχεδιαστεί κατά παρόμοιο τρόπο με το πρότυπο 802.11a του Wi-Fi. Έχουμε εξηγήσει παραπάνω ότι οι δύο τεχνολογίες Wi-MAX και Wi-Fi είναι αρκετά όμοιες αλλά και ταυτόχρονα τόσο διαφορετικές. Χρησιμοποιούν όμως και οι δύο τεχνολογίες την διαμόρφωση OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing ) ορθογώνια διαίρεση συχνότητας, η οποία θεωρείται και η πιο κατάλληλη για συνδέσεις χωρίς οπτική επαφή.

Στο Wi-MAX έχουμε τέσσερα υπό – επίπεδα στο Φυσικό Επίπεδο PHY(PhysicalLayer) :

**1) Το WirelessSC**, το οποίο έχει σχεδιαστεί για συνθήκες επικοινωνίας με οπτική επαφή, χρησιμοποιείται σε ζώνες συχνοτήτων άνω των 11 GHz και χρησιμοποιεί διαμόρφωση μοναδικού φέροντος. Έχει πολύ μεγάλη ευελιξία και γι' αυτό το λόγο, οι διάφοροι πάροχοι τηλεπικοινωνιών, μπορούν να αναβαθμίζουν το εκάστοτε σύστημα, χωρίς να χρειάζεται να διαφοροποιήσουν τις υπηρεσίες, τη χωρητικότητα, το κόστος και τις ραδιοσυχνότητες. Μπορεί να υποστηρίξει δύο τεχνικές αμφίδρομης επικοινωνίας: την TDD ( TimeDivisionDuplex ) αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση χρόνου και την FDD ( FrequencyDivisionDuplex).

**TDD ( TimeDivisionDuplex ) Αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση χρόνου:** Είναι η τεχνική που καθορίζει χρονοθυρίδες εκπομπής και χρονοθυρίδες λήψης. Αυτό σημαίνει ότι ένα σύστημα μπορεί να εκπέμπει και να λαμβάνει μέσα σε μία συγκεκριμένη συχνότητα αλλά διαχωρίζονται στο πεδίο του χρόνου και επιπλέον θα πρέπει κατά την επικοινωνία, να εναλλάσσονται η λήψη και η εκπομπή, κατά περιόδους. Είναι μια τεχνική αρκετά αποδοτική όσον αφορά τη χρήση και την αξιοποίηση του φάσματος των συχνοτήτων.

**FDD ( FrequencyDivisionDuplex) Αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση συχνότητας :** Σε αυτή την τεχνική χρησιμοποιούνται διαφορετικές συχνότητες για τη λήψη και την εκπομπή σε ένα σύστημα και αυτό γίνεται για να μην υπάρχουν παρεμβολές. Είναι μια καλή τεχνική, όμως έχει το μειονέκτημα, ότι δεσμεύει μεγάλο εύρος συχνοτήτων και έτσι κατά συνέπεια μειώνεται και ο όγκος των δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν. Έχει όμως το πλεονέκτημα ότι, επειδή ακριβώς χρησιμοποιούνται πολλές συχνότητες, μπορεί ένας σταθμός να στέλνει και να λαμβάνει ταυτόχρονα δεδομένα.

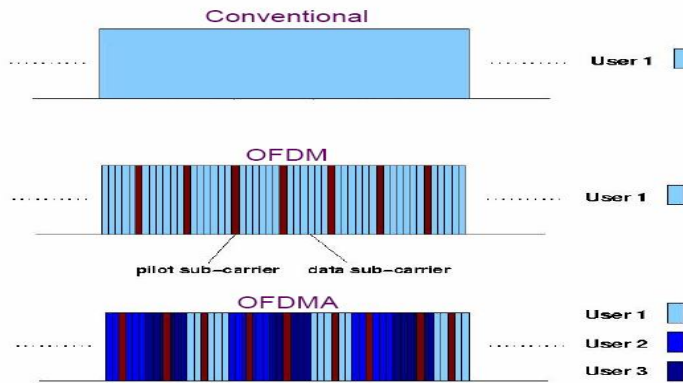
**2) Το WirelessSCA**, το οποίο έχει σχεδιαστεί για συνδέσεις χωρίς οπτική επαφή, σημείου προς πολλαπλά σημεία ( point – to – multipoint ), και χρησιμοποιείται σε ζώνες συχνοτήτων από 2 GHz έως 11 GHz. Έχει δομές πλαισίων τέτοιες, που συμβάλουν στην απόδοση του καναλιού επικοινωνίας και μπορεί να υποστηρίξει ή την TDD ( TimeDivisionDuplex ) τεχνική αμφίδρομης επικοινωνίας ή την FDD ( FrequencyDivisionDuplex).

**3) Το Wireless- MANOFDM**, το οποίο έχει σχεδιαστεί για συνδέσεις σημείου προς πολλαπλά σημεία ( point – to – multipoint ) χωρίς οπτική επαφή και χρησιμοποιείται σε ζώνες συχνοτήτων από 2 GHz έως 11 GHz. Επιπλέον χρησιμοποιεί πολύπλεξη με OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ορθογώνια διαίρεση φάσματος με 256 σημεία. Συναντάται ως επί το πλείστον όταν έχουμε να κάνουμε με σταθερή ασύρματη πρόσβαση και μπορεί να υποστηρίξει την τεχνική TDMA ( TimeDivisionMultipleAccess ). Επειδή τα ασύρματα δίκτυα είναι ευάλωτα σε παρεμβολές και θορύβους, με την τεχνική της OFDM, ένα κανάλι που έχει εξασθενημένη συχνότητα, μπορεί να μετατραπεί σε πολλά κανάλια

εξασθενημένης συχνότητας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να έχουμε την ίδια στιγμή μετάδοση σε πολλούς χρήστες, σε μικρό διάστημα συχνότητας χωρίς να παρεμβάλλονται μεταξύ τους.

**OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing).**

Η τεχνική αυτή χωρίζει το αρχικό σήμα σε ανεξάρτητα κανάλια, διαμορφώνει τα υπο-φέροντα και έτσι δημιουργείται το φέρον της OFDM. Όταν θέλουν πολλοί χρήστες να επικοινωνήσουν με έναν σταθμό βάσης, τότε ο χρόνος διαιρείται σε χρονοσχισμές, που εκχωρούνται σε κάθε ένα χρήστη. Το ποσοστό των χρονοσχισμών, όμως είναι ανάλογο με την ποιότητα της υπηρεσίας που παρέχεται από την εταιρεία του εκάστοτε παρόχου.

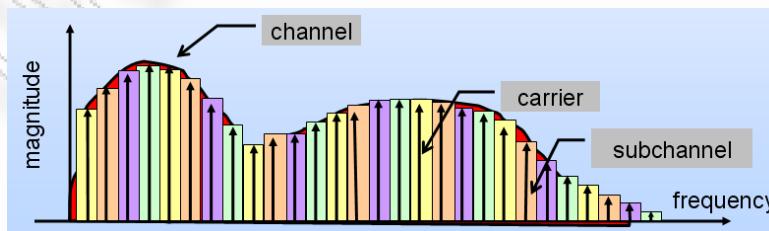


Εικόνα 23 : OFDM διαχωρισμός υπο-καναλιών (sub-channels) [26]

4) **ToWireless-MANOFDMA,** το οποίο έχει σχεδιαστεί για συνδέσεις σημείου προς πολλαπλά σημεία ( point – to – multipoint ) χωρικό πηκτική επαφή και χρησιμοποιείται σε ζώνες συχνότητας από 2 GHz έως 11 GHz. Χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για κινητή και φορητή ασύρματη πρόσβαση. Μπορεί να υποστηρίξει την τεχνική TDMA ( Time Division Multiple Access ) και την OFDMA. Επίσης μπορεί να υποστηρίξει πολλαπλή πρόσβαση γιατί μπορεί να κατευθύνει πολλούς χρήστες σε διαφορετικούς δέκτες.

**OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access).**

Η τεχνική αυτή μοιάζει με την τεχνική OFDM. Θεωρείται μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης και σε αυτήν γίνεται διαχωρισμός των καναλιών σε υπο-κανάλια (subchannelization) τόσο στην uplink όσο και στην downlink μετάδοση. Η τεχνική υποστηρίζει πέντε διαφορετικά σχήματα διαχωρισμού των καναλιών.



Εικόνα 24 : OFDMA διαχωρισμός υπο-καναλιών (sub-channels) [27]

#### 4.6 Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ Wi-MAX

Το Wi-MAX παρέχει ποιότητα υπηρεσίας και στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο MAC. Το σημαντικό είναι ότι δίνει δυνατότητες για μεταφορά δεδομένων φωνής σε πραγματικό χρόνο. Η ποιότητα υπηρεσίας στο Wi-MAX παρέχεται χρησιμοποιώντας τις παρακάτω τεχνικές:

A) Στο Φυσικό επίπεδο Physical Layer – PHY:

- ❖ Την τεχνική διαμόρφωσης FDD ( Frequency Division Duplex).
- ❖ Την τεχνική διαμόρφωσης TDD ( Time Division Duplex ).
- ❖ Την τεχνική FEC ( Forward Error Correction ).
- ❖ Την τεχνική OFDM ( Orthogonal Frequency Division Multiplexing).
- ❖ Την τεχνική OFDMA ( Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access).

B) Ο σχεδιασμός του στρώματος MAC αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο για την ύπαρξη ποιότητας υπηρεσίας στο Wi-MAX. Έτσι το πρότυπο Wi-MAX δανείζεται κάποια στοιχεία από το πρότυπο του ενσύρματου μόντεμ DOCSIS και προσφέρει τις παρακάτω υπηρεσίες:

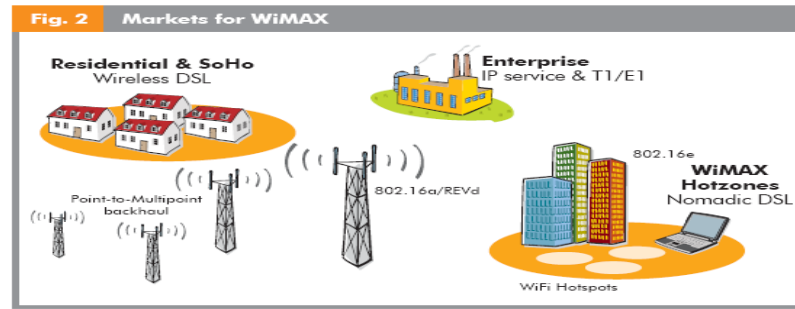
- ❖ **Unsolicited Grant Service (UGS):** Αυτή η υπηρεσία είναι αντίστοιχη της μετάδοσης T1. Πρόκειται για πακέτα σταθερού μήκους, που μεταδίδονται σε περιοδικά διαστήματα, σε πραγματικό χρόνο.
- ❖ **Extended Real Time Polling Service (ERTPS):** Πρόκειται για δεδομένα που μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο και συνήθως είναι εφαρμογές μετάδοσης φωνής πάνω από IP δίκτυα (VoIP).
- ❖ **Real Time Polling Service (RTPS):** Πρόκειται για πακέτα μεταβλητού μήκους, που μεταδίδονται σε περιοδικά διαστήματα, σε πραγματικό χρόνο και συνήθως είναι εφαρμογές video.
- ❖ **Non Real Time Polling Service (RTPS):** Πρόκειται για μετάδοση δεδομένων μεταβλητού μήκους και για εφαρμογές FTP.
- ❖ **Best Effort (BE):** Πρόκειται για μετάδοση δεδομένων μεταβλητού μήκους και για εφαρμογές HTTP. [55]

Όλα τα πιο πάνω χαρακτηριστικά κάνουν το Wi-MAX κατάλληλο για μετάδοση δεδομένων με υψηλές ταχύτητες και εφαρμογές πολυμέσων. Αυτό επιτυγχάνεται επειδή όλες οι συνδέσεις, downlink και uplink, ελέγχονται από το σταθμό βάσης και η ποιότητα υπηρεσίας είναι συνάρτηση της υπηρεσίας ροής. Τέτοια υπηρεσία είναι αυτή που ασχολείται με τη μονόδρομη ροή των πακέτων και προσδιορίζεται από ένα δείκτη υπηρεσίας ροής (SFID). Οι παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα που προσφέρει το δίκτυο στη μεταφορά των εφαρμογών είναι:

- **Το εύρος ζώνης (bandwidth) :** Αφορά το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων.
- **Η καθυστέρηση (delay) :** Πρόκειται για το χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο για να φτάσει μέσω του δικτύου από τον αποστολέα στον παραλήπτη του.
- **Η διακύμανση καθυστέρησης (jitter) :** είναι η διακύμανση της μέσης χρονικής απόστασης μεταξύ διαδοχικών πακέτων σε μια συγκεκριμένη ροή.
- **Οι απώλειες πακέτων (loss) :** είναι το ποσοστό απώλειας πακέτων.

#### 4.7 ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ Wi-MAX

Εξαιτίας του μεγάλου εύρους ζώνης και των υψηλών ταχυτήτων που υποστηρίζει σε μεγάλες αποστάσεις, το Wi-MAX χρησιμοποιεί συνδέσεις σημείου προς πολλαπλά σημεία (Point-to - Multipoint), χωρίς να αποκλείονται όμως και οι συνδέσεις σημείου προς σημείο (Point - to - Point) και διαχωρίζεται στο σταθερό Wi-MAX ( fixed Wi-MAX), που παρέχει ευρυζωνική πρόσβαση σε επιχειρήσεις και σπίτια και έχει αναπτυχθεί με βάση το πρότυπο IEEE 802.16-2004 και στο κινητό Wi-MAX ( mobile Wi-MAX ) που παρέχει κινητικότητα σε κυψελοειδή συστήματα δικτύων με μεγάλες ταχύτητες σε περιβάλλον χωρίς οπτική επαφή (NLOS) και βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16e. [28]



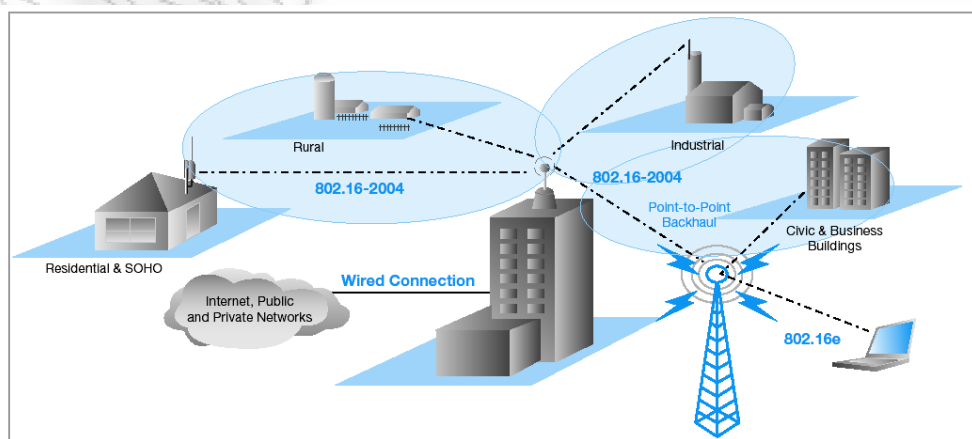
Εικόνα25: Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζονται οι χρήσεις του Wi-MAX [29]

Οι βασικότερες χρήσεις του Wi-MAX βρίσκουν εφαρμογή :

1) **Στα κυψελωτά δίκτυα της κινητής τηλεφωνίας.** Τώρα πια τα κινητά τηλέφωνα δεν χρησιμοποιούνται μόνο για την πραγματοποίηση κλήσεων και την αποστολή μηνυμάτων, αλλά και για την περιήγηση στο διαδίκτυο και την αποστολή και τη λήψη email. Στην Αμερική οι πάροχοι του backbone του Internet μισθώνουν γραμμές από άλλους παρόχους υπηρεσιών (ISP's), για να μπορούν να προσφέρουν φθινό Internet στους πελάτες τους. Με αυτό τον τρόπο όμως πολλές κυψέλες που εξυπηρετούν την ασύρματη επικοινωνία να μην χρησιμοποιούνται. Στην Ευρώπη αντίθετα όμως, οι πάροχοι της τηλεφωνίας, χρησιμοποιούν ασύρματες κυψέλες για να μπορούν να παρέχουν φθινό internet στους χρήστες.

2) **Ευρυζωνική πρόσβαση σε οικιακούς χρήστες και SOHO ( Small Office Home Office ) κατά απαίτηση.** Το Wi-MAX μπορεί να λειτουργεί συμπληρωματικά και να αξιοποιεί πολύ καλύτερα τις δυνατότητες του Wi-Fi. Πολλά σπίτια ή επιχειρήσεις έχουν μικρά τοπικά δίκτυα που υποστηρίζουν Wi-Fi. Το Wi-MAX μπορεί αυτά τα δίκτυα να τα χρησιμοποιήσει σαν σταθμούς βάσης και να τους παρέχει σε διαφορετικές εφαρμογές πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και σε πολύ μεγάλες αποστάσεις και μάλιστα σε συνθήκες πραγματικού χρόνου. Και τέλος το βασικό πλεονέκτημα του Wi-MAX είναι ότι σε περιοχές που η εγκατάσταση καλωδίων είναι εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή, μπορεί να προσφέρει σύνδεση χωρίς επιπλέον κόστος.

3) **Κάλυψη ευρύτερων περιοχών.** Παρέχει πιο αξιόπιστες εφαρμογές και ουσιαστικά λειτουργεί συμπληρωματικά σε ένα ενσύρματο δίκτυο όμως παράλληλα, παρέχει και μεγαλύτερες ταχύτητες σε διάφορες περιοχές που είναι αδύνατον να τοποθετηθούν καλώδια από χαλκό ή οπτική ίνα. Ένα άλλο πρόβλημα επίσης που υπάρχει είναι ότι, πολλά παλιά ενσύρματα δίκτυα δεν είναι εξοπλισμένα με κανάλι επιστροφής και έτσι ο εκσυγχρονισμός τους είναι ιδιαίτερα ακριβός, αντίθετα από την εγκατάσταση του Wi-MAX. Επίσης η επέκταση ενός ενσύρματου δικτύου σε περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει μεγάλη «πυκνότητα» χρηστών το κόστος είναι πολύ μεγάλο. [30]

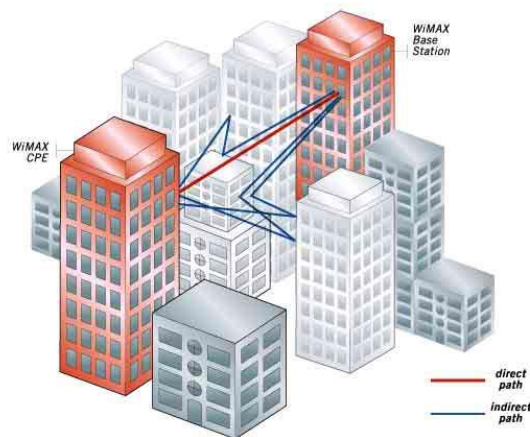


Εικόνα26: Χρήσεις τουWiMAX [31]

#### 4.8ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.16 Wi-MAX

Το Wi-MAX είναι μια τεχνολογία αμφίδρομης ασύρματης επικοινωνίας για Μητροπολιτικά Δίκτυακαι μπορεί να προσφέρει δύο τρόπους ασύρματης επικοινωνίας:

**1) Την Επικοινωνία με Οπτική Επαφή ( Line-of-sight )** :Σε αυτή τη λειτουργία, βασική προϋπόθεση είναι να μην υπάρχουν εμπόδια ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη, για να μπορεί το σήμα να μην παρεμποδίζεται και να χρησιμοποιείται μεγαλύτερο μέρος της ζώνης του Fresnel. Η σύνδεση με οπτική επαφή είναι ισχυρότερη και πολύ πιο σταθερή, κατά συνέπεια είναι και σε θέση να στείλει πάρα πολλά δεδομένα με λιγότερα λάθη. Οι μεταδόσεις με οπτική επαφή χρησιμοποιούν υψηλότερες συχνότητες με ρυθμούς που φθάνουν τα 66GHz.



Εικόνα 27: Επικοινωνία με Οπτική Επαφή[32]

**2) Την Επικοινωνία χωρίς οπτική Επαφή ( Non-line-of-sight )** :Είναι μια υπηρεσία παρεμφερής με την υπηρεσία που προσφέρει το Wi-Fi. Σε αυτή τη λειτουργία, ακριβώς επειδή δεν υπάρχει οπτική επαφή του δέκτη με τον πομπό, το σήμα φθάνει από τον πομπό στον δέκτη μέσω αντανάκλασεων. Εδώ το σήμα ακριβώς επειδή παρεμβάλλονται εμπόδια στη διαδρομή του, φθάνει με καθυστέρηση. Σε αυτή την επικοινωνία είναι τοποθετημένη μια σταθερή κεραία σε αρκετά μεγάλο ύψος, που συνδέεται απευθείας με τον πύργο του Wi-MAX. Το βασικό εδώ είναι ότι, το Wi-MAX χρησιμοποιεί ένα χαμηλότερο εύρος συχνοτήτων από 2 GHz έως 11 GHz (παρόμοιο με το Wi-Fi), αλλά με λιγότερα λάθη στη μετάδοση. Πλεονεκτεί σε σχέση με την LOSγιατί, ενώ στη σύνδεση με οπτική επαφή χρειάζονται μεγάλες κεραίες, στη NLOSχρειάζονται μικρές κεραίες.





**Εικόνα 28 : Επικοινωνία χωρίς οπτική Επαφή [33]**

Αρχικά το Wi-MAX είχε σχεδιαστεί, για να μπορεί να υποστηρίζει εφαρμογές, μόνο σε περιβάλλον οπτικής επαφής LOS και σε μια περιοχή συχνοτήτων από 10 έως και 66 GHz, πράγμα το οποίο σήμαινε ότι είχε μια ζώνη κάλυψης πολύ περιορισμένη. Γι' αυτό το λόγο η IEEE το 2004 επικύρωσε το πρότυπο 802.16 – 2004 που είχε τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

**Διεκπαιρευτική ικανότητα.** Εξαιτίας του ότι έχει πολύ μεγάλο φάσμα εκπομπής το οποίο είναι ανθεκτικό στις αντανάκλασεις του σήματος, μπορεί και επιτυγχάνει μεγάλη διεκπαιρευτική ικανότητα σε μεγάλες αποστάσεις.

**Πολυπλεξία.** Για το πρότυπο αυτό έχουν προβλεφθεί δυο τύποι πολυπλεξίας. Ο 256-OFDM και ο 2048 - OFDM ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας. Αυτοί οι τύποι πολυπλεξίας χρησιμοποιούν πολλαπλά σήματα σε μια ορθογώνια μεταξύ τους περιοχή συχνοτήτων. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε καλύτερη ανάκτηση σήματος όταν δεν έχουμε οπτική επαφή. Το σημαντικό είναι ότι σε αυτή την περίπτωση πολυπλεξίας έχουμε πολύ χαμηλό κόστος.

**Τρόπος μετάδοσης.** Έχουμε δύο τρόπους μετάδοσης. Ο ένας είναι ο FDD ( Frequency Division Duplexing ) και ο άλλος ο TDD ( Time Division Duplexing ). Στον πρώτο τρόπο έχουμε μια ζώνη συχνοτήτων για την κατεύθυνση του κεντρικού πομπού περιφερειακά ( Downlink ) με ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 63 Mbps και μια άλλη για την αντίστροφη κατεύθυνση ( Uplink ) με ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 28 Mbps. Στη δεύτερη περίπτωση και οι δυο κατευθύνσεις ( Downlink ) και ( Uplink ) χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι επικοινωνίας σε διαφορετικές όμως χρονικές στιγμές.

**Προσαρμοζόμενη διαμόρφωση ( AM – Adaptive Modulation ).** Οι ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων στο Wi-MAX, εξαρτώνται κάθε φορά από την εκάστοτε ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Οι διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η 64 QAM, η οποία έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίζει και μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, η 16 QAM και η QPSK η οποία έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίζει μεγαλύτερη κάλυψη του συστήματος.



**Εικόνα 29 : Εδώ παρουσιάζονται οι τύποι διαμόρφωσης [34]**

**Μεγάλη εμβέλεια.** Υποστηρίζει διάφορες τεχνολογίες που μπορούν να αυξάνουν το σήμα. Έχει υπολογισθεί ότι η απόσταση μεταξύ του σταθμού βάσης και του συνδρομητή φθάνει τα 50 χιλιόμετρα, πράγμα που σημαίνει ότι αυτή η τεχνολογία είναι ιδανική για αγροτικές και αστικές περιοχές. Για να μπορέσει να αντισταθμίσει τη χαμηλή ισχύ της εκπομπής ενός τερματικού σταθμού και του κέρδους της κεραίας, το πρότυπο Wi-MAX χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές και έτσι επιτυγχάνει μεγαλύτερη εμβέλεια του σήματος.

**Υψηλή ασφάλεια.** Το Wi-MAX χρησιμοποιεί για τη μετάδοση των δεδομένων, τον αλγόριθμο κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard - Πρότυπο Κωδικοποίησης Δεδομένων). Ο DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγορίθμων και χρησιμοποιεί κλειδιά που έχουν μήκος 56 bit. Έτσι διασφαλίζει την ασφάλεια των δεδομένων.

**Επεκτασιμότητα.** Είναι εύκολη η επέκτασή του στο σχεδιασμό των κυψελών, στις διάφορες συχνότητες γιατί υποστηρίζει διάφορα κανάλια τα οποία είναι ευέλικτα. Έτσι για παράδειγμα εάν έχουμε ένα φάσμα συχνοτήτων 50 MHz και ανατεθεί σε κάποιον χειριστή αυτό το φάσμα, τότε αυτός μπορεί να το χωρίσει σε πέντε κομμάτια των 10 MHz ή και σε δέκα κομμάτια των 5 MHz. Με αυτόν τον τρόπο συγκεντρώνεται όλη η ενέργεια σε ένα μικρό φάσμα συχνοτήτων και μπορεί να αυξηθεί και ο αριθμός των συνδρομητών.

**Διαλειτουργικότητα.** Το Wi-MAX είναι ένα διεθνές πρότυπο και γι' αυτό το λόγο υπάρχει το Wi-MAXForum, που είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός, ο οποίος αποτελείται από πολλές εταιρείες από το χώρο της πληροφορικής, των τηλεπικοινωνιών και της παροχής υπηρεσιών ( Intel, Motorola, Siemens, Nokia, Alcatel, Microsoft, Telecom, κ.λ.π. ) και ασχολείται με την πιστοποίηση των διάφορων συσκευών από διαφορετικές εταιρείες. Αυτό έχει σαν στόχο τη λειτουργία και τη συμβατότητα των συσκευών μεταξύ τους από διαφορετικούς κατασκευαστές.

**Υψηλή Ποιότητα υπηρεσιών.** Από την πλευρά της ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας, υλοποιεί κάποιες τεχνικές που είναι αντίστοιχες του Internetόπως είναι ο Diff, Serv και τα MPLS προκειμένου να μπορούν να εξυπηρετούνται διάφορες εφαρμογές όπως η μετάδοση φωνής πάνω από IP δίκτυα (VoIP).

**Διακριτές Υπηρεσίες.** Το πρότυπο Wi-MAX, προβλέπει τέσσερις τύπους υπηρεσιών. α) το σταθερό ρυθμό μετάδοσης, β) το μεταβαλλόμενο ρυθμό της ψηλής διαθεσιμότητας, γ) το μεταβαλλόμενο ρυθμό της χαμηλής διαθεσιμότητας και δ) το διαθέσιμο εύρος. Έτσι δίνει τη δυνατότητα στους διάφορους παρόχους, να μπορούν να διαφοροποιούν τα τιμολογία τους ανάλογα με τις υπηρεσίες που προσφέρουν και να στοχεύουν κάθε φορά σε διαφορετικούς πελάτες που μπορεί να είναι σπίτια και μικρές ή μεγάλες επιχειρήσεις. Με αυτόν τον τρόπο προσφέρει διάφορα επίπεδα υπηρεσιών ανάλογα με τις εφαρμογές.

**Η ευκολία εγκατάστασης.** Η εγκατάσταση είναι απλή είτε με χρήση εσωτερικής κεραίας, είτε με χρήση εξωτερικής μικρής κεραίας και το μέγεθος και το κόστος του τερματικού είναι συγκριτικά ανάλογα με αυτά των συσκευών ADSL. Επιπλέον με αυτό τον τρόπο είναι και προσιτή η τιμή για την αγορά του εξοπλισμού, όταν πρόκειται για μεγάλες κατηγορίες πληθυσμού.

**Το επίπεδο MAC του Wi-MAX.** Είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, που να μπορεί να παρέχει στους χρήστες του εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και ποιότητα υπηρεσίας υψηλού επιπέδου. Επίσης όταν οι χρήστες καλύπτονται από τον ίδιο σταθμό βάσης ( basestation ), είναι εφικτό να έχουν υψηλότερες ταχύτητες και υψηλότερη ποιότητα στην ταυτόχρονη μετάδοση των δεδομένων, κάτι το οποίο ήταν αδύνατον στο Wi-Fi.[34]

## 4.9 Η ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΟΥ Wi-MAX

Όλες οι τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης και ιδιαίτερα το Wi-MAX, που μπορεί να παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, πρέπει να διαθέτει και ισχυρά πρωτόκολλα ασφαλείας, τα οποία θα παρέχουν στους χρήστες του δικτύου, την απαραίτητη ασφάλεια στην διακίνηση των δεδομένων τους. Επιπρόσθετα θα πρέπει να υπάρχουν και διάφοροι μηχανισμοί που να αποτρέπουν τις υποκλοπές και τις διάφορες άλλες κακόβουλες πράξεις. Αυτό απασχόλησε το την IEEE όσο και το Wi-MAXForum που προχώρησαν στη δημιουργία ενός σταθερού περιβάλλοντος ασφαλείας. Τη μετάδοση των δεδομένων με ασφάλεια στο Wi-MAX, την αναλαμβάνει ένας αλγόριθμος κρυπτογράφησης ο DES (Data Encryption Standard), ο οποίος είναι ένας συμμετρικός αλγόριθμος που κάνει χρήση κλειδιών με μήκος 56 bits. Τα δεδομένα λοιπόν κρυπτογραφούνται, χρησιμοποιώντας 56 bits τουλάχιστον στην μέθοδο DES, ενώ τα κλειδιά ανταλλάσσονται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο 3-DES, στην οποία το μήνυμα ουσιαστικά κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά κλειδιά. Ο 3-DES ουσιαστικά είναι μια παραλλαγή του DES (Data Encryption Standard).

## 4.10 ΠΙΘΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ Wi-MAX

Το Wi-MAX βασισμένο στα τεχνικά του χαρακτηριστικά και τις κλάσεις υπηρεσίας του, μπορεί να υποστηρίξει ένα μεγάλο αριθμό σεναρίων χρήσης. Η τεχνολογία του θα αλλάξει τον τρόπο που επικοινωνούμε. Θα παρέχει ολοκληρωτική ελευθερία στους ανθρώπους που κινούνται πολύ, επιτρέποντάς τους να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες δεδομένων, φωνής και video. Πολλά πιθανά σενάρια χρήσης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του, φαίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:[35]

Table 3 WiMAX Usage Scenarios												
	Flexible Architecture	High Security	WiMAX QoS	Quick Deployment	Multi-Level Service	Interoperability	Portability	Mobility	Cost-Effective	Wider Coverage	NLOS	High Capacity
Cellular Backhaul				x					x			x
WSP Backhaul				x					x			x
Banking Networks	x	x	x						x		x	
Education Networks	x		x						x	x		
Public Safety	x	x	x	x			x	x			x	
Offshore Communications	x		x				x	x		x	x	
Campus Connectivity	x	x	x									x
Temporary Construction			x	x			x				x	
Theme Parks	x		x				x	x			x	
WSP Access Network		x	x		x	x			x		x	x
Rural Connectivity			x			x			x	x		
Military Battlefield	x	x		x			x	x				

Εικόνα 30: Ενδεικτικά δίνονται στον παραπάνω πίνακα εφαρμογές στις οποίες τεχνολογία WiMAX μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά.[36]

Τα σενάρια αυτά βρίσκουν χρήση τόσο σε Ιδιωτικά όσο και σε Δημόσια Δίκτυα.

Στα Ιδιωτικά Δίκτυα μπορούμε να έχουμε :

- ✚ την κυψελωτή υποστήριξη,
- ✚ την Backhaul σύνδεση που παρέχεται από τον πάροχο της ασύρματης υπηρεσίας,
- ✚ τα δίκτυα των τραπεζών,
- ✚ τα εκπαιδευτικά δίκτυα,
- ✚ τα δίκτυα που έχουν σχέση με τη δημόσια ασφάλεια,
- ✚ τα δίκτυα που αφορούν επικοινωνίες Offshore
- ✚ τα δίκτυα που συνδέουν πανεπιστήμια,
- ✚ τα δίκτυα που κατασκευάζονται για να υπάρχει επικοινωνία σε προσωρινές κατασκευές
- ✚ τα δίκτυα που ασχολούνται με θεματικά πάρκα

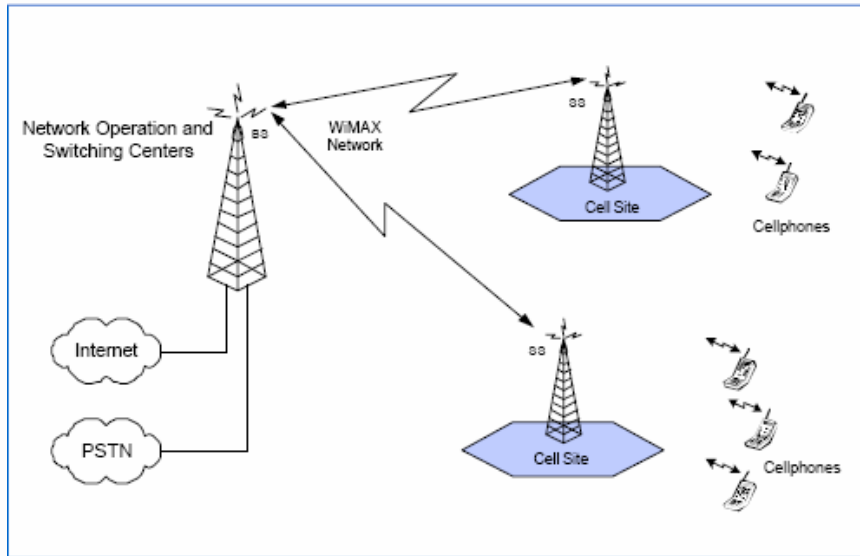
Στα Δημόσια Δίκτυα μπορούμε να έχουμε :

- ✚ τα δίκτυα πρόσβασης του παρόχου της ασύρματης υπηρεσίας και
- ✚ τα δίκτυα που συνδέουν διάφορες αγροτικές περιοχές.

Τα ιδιωτικά δίκτυα, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από έναν συγκεκριμένο οργανισμό, ίδρυμα ή επιχείρηση για να προσφέρουν επικοινωνιακές ζεύξεις για ασφαλή και αξιόπιστη μεταφορά της φωνής, των δεδομένων και του βίντεο.[34]

#### 4.10.1 Η Κυψελωτή υποστήριξη (Cellular Backhaul)

Το Wi-MAX παρέχει ζεύξεις point-to-point μέχρι και 50 χιλιόμετρα με πολύ υψηλό ρυθμό δεδομένων. Παρακάτω φαίνεται στο σχήμα μια εφαρμογή κυβελωτών δικτύων :

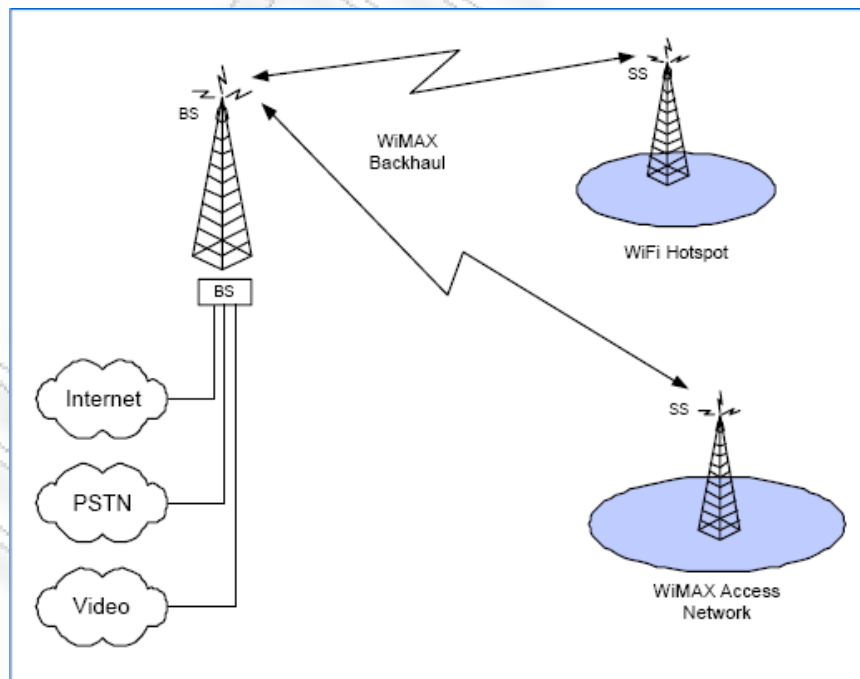


Εικόνα31 : Κυβελωτή υποστήριξη WiMAX[37]

Ανάλογα με το διαθέσιμο φάσμα, το οποίο είναι διαφορετικό σε κάθε χώρα, μπορούμε να έχουμε κυβελωτά δίκτυα Wi-MAX.[34]

**4.10.2 H Backhaul Πάροχου Ασύρματης Υπηρεσίας (Wireless Service Provider)**

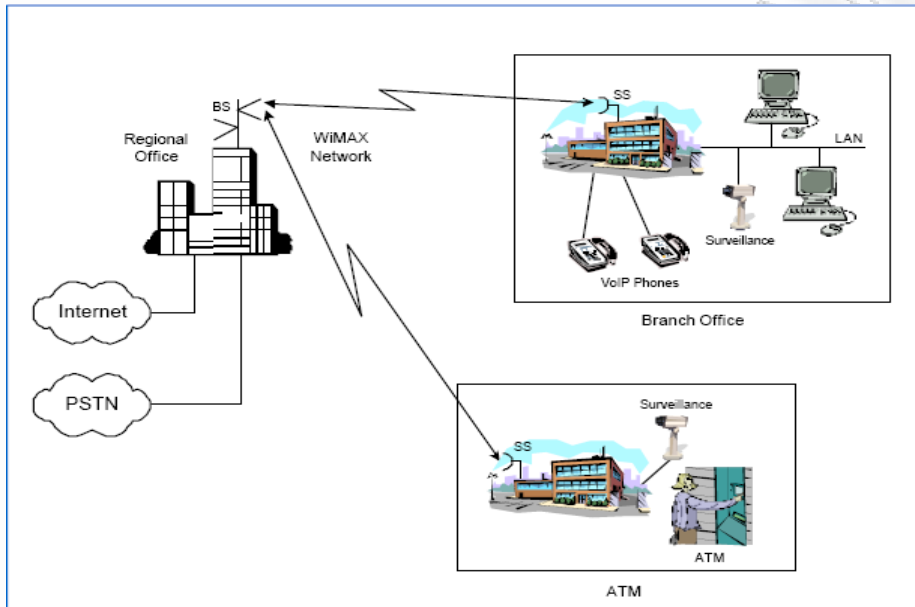
Οι πάροχοι ασύρματης Υπηρεσίας χρησιμοποιούν εξοπλισμό Wi-MAX, για να μπορούν να μεταφέρουν την κυκλοφορία από τους σταθμούς βάσης στα δικά τους δίκτυα πρόσβασης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :[34]



Εικόνα32 : Υποστήριξη Backhaul WiMAX[38]

**4.10.3 Τα δίκτυα των τραπεζών ( BankingNetworks )**

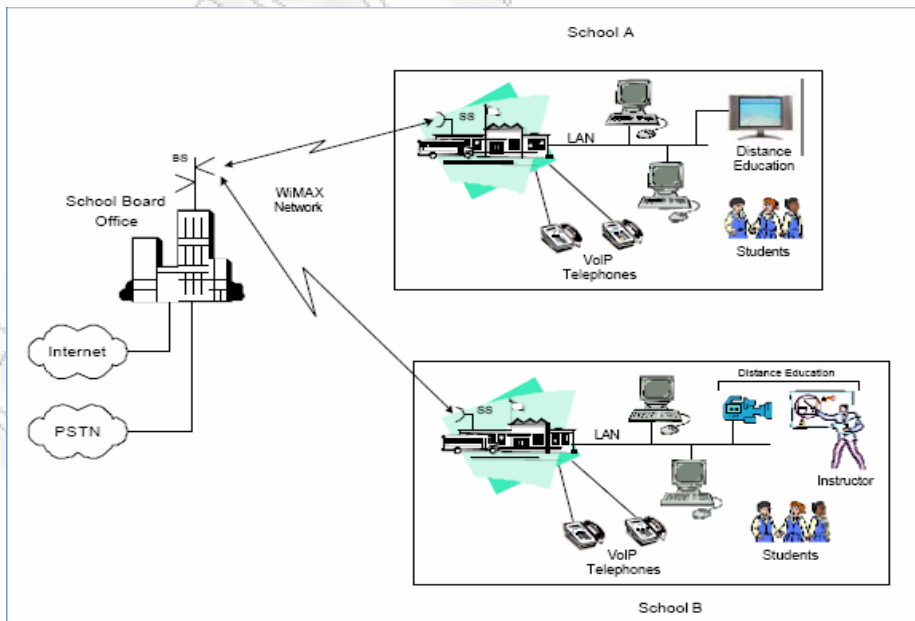
Πολλές μεγάλες τράπεζες, συνδέουν τα υποκαταστήματά τους με τα κεντρικά γραφεία τους, με ένα ιδιωτικό δίκτυο Wi-MAX, για να μεταφέρουν φωνή,δεδομένα και video, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :[34]



Εικόνα 33 :ΔίκτυαΤραπεζών[39]

**4.10.4 Τα εκπαιδευτικάδίκτυα ( EducationNetworks)**

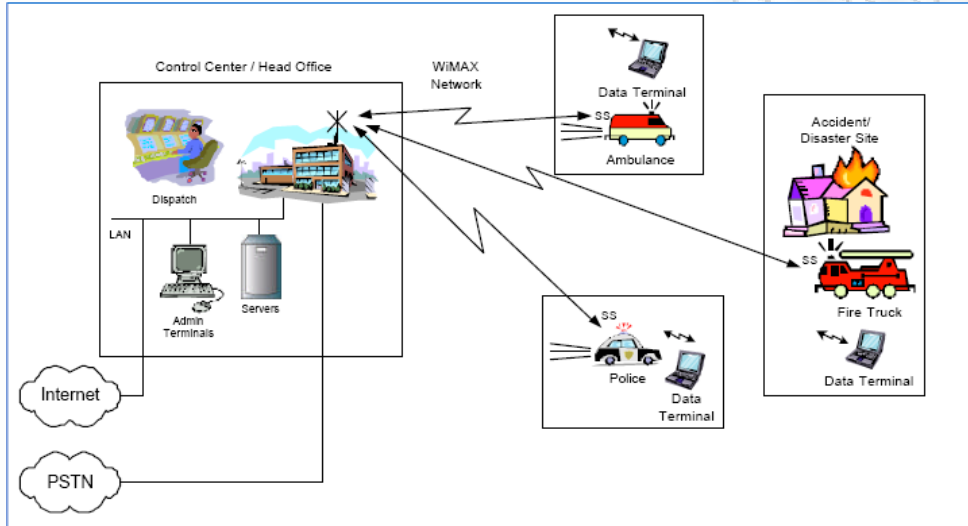
Τα Υπουργεία που ασχολούνται με την Εκπαίδευση μπορούν να χρησιμοποιούν δίκτυα Wi-MAX για να συνδέουν τα σχολεία με τα υπουργεία, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 34 :ΕκπαιδευτικάΔίκτυα[40]

**4.10.5 Τα δίκτυα δημόσιας ασφάλειας (Public Safety)**

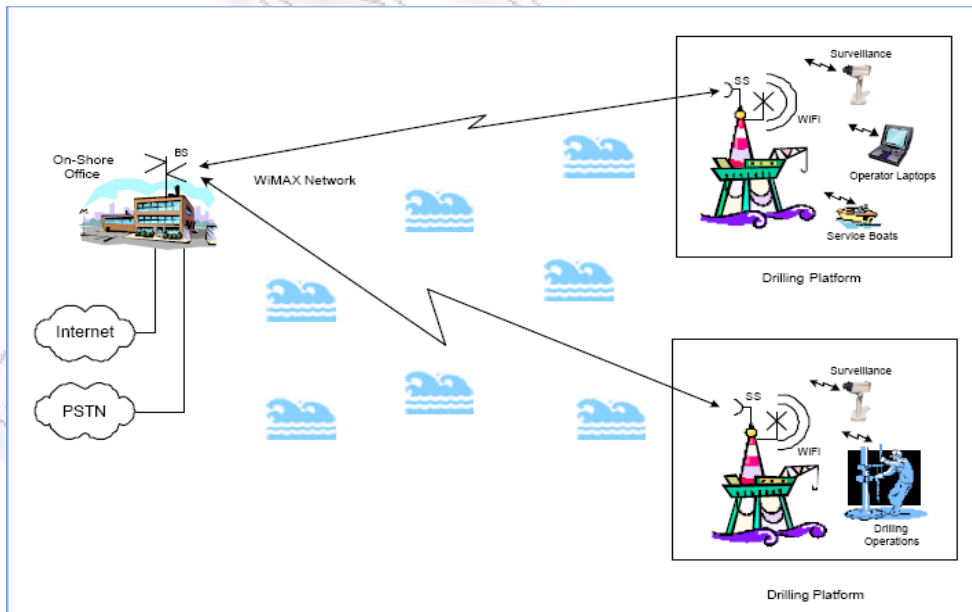
Οι υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας των κυβερνήσεων, όπως η αστυνομία, η πυροσβεστική και η υπηρεσία διάσωσης χρησιμοποιούν δίκτυα Wi-MAX για να υποστηρίξουν διάφορες επείγουσες καταστάσεις όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :[34]



**Εικόνα 35 : Δίκτυα Δημόσιας Ασφάλειας [41]**

**4.10.6 Τα δίκτυα που αφορούν επικοινωνίες Offshore**

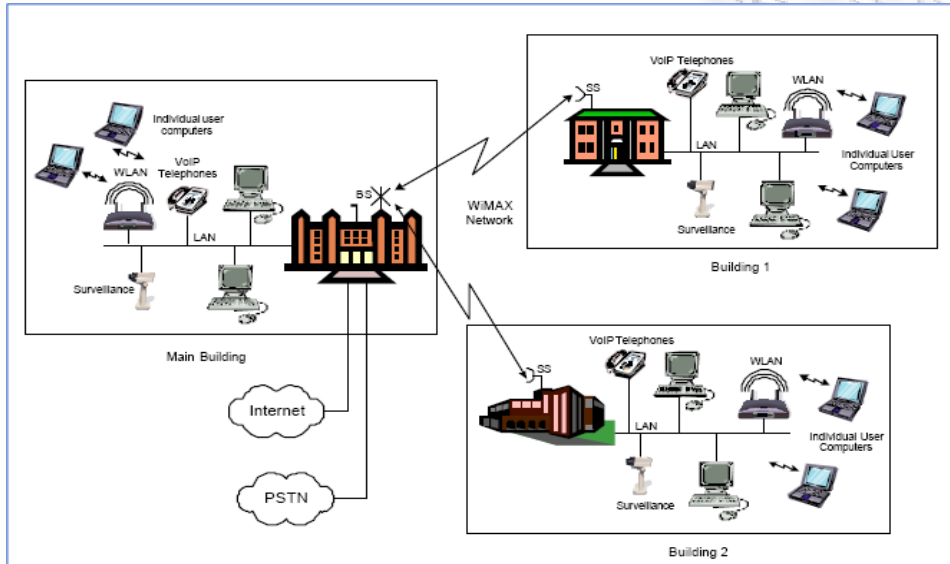
Οι παραγωγοί πετρελαίου και αερίου μπορούν να χρησιμοποιήσουν εξοπλισμό WiMAX για το δίκτυό τους, για να μπορούν να έχουν επικοινωνία με τις εγκαταστάσεις τους στην ξηρά με τις πετρελαιοπηγές και τις πλατφόρμες τους που βρίσκονται στη θάλασσα, όπως φαίνεται παρακάτω σχήμα :[34]



**Εικόνα 36 : Δίκτυα Offshore [42]**

**4.10.7 Τα δίκτυα που συνδέουν πανεπιστήμια(Campus Connectivity)**

Διάφορες κυβερνητικές υπηρεσίες, μεγάλες επιχειρήσεις, βιομηχανικές περιοχές, μεταφορικά μέσα, πανεπιστήμια και κολέγια μπορούν να χρησιμοποιούν δίκτυα WiMAX για να συνδέουν πολλαπλές τοποθεσίες και γραφεία μέσα στην περιοχή δράσης τους, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:[34]

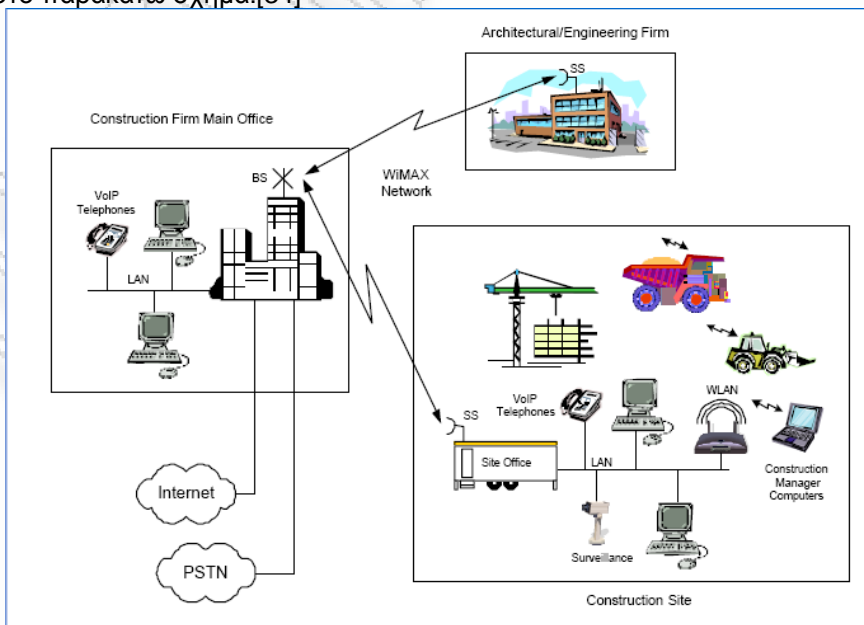


Εικόνα 37 :Δίκτυα Πανεπιστημίων [43]

**4.10.8**

**Τα δίκτυα για προσωρινές κατασκευές (Temporary Construction Communications)**

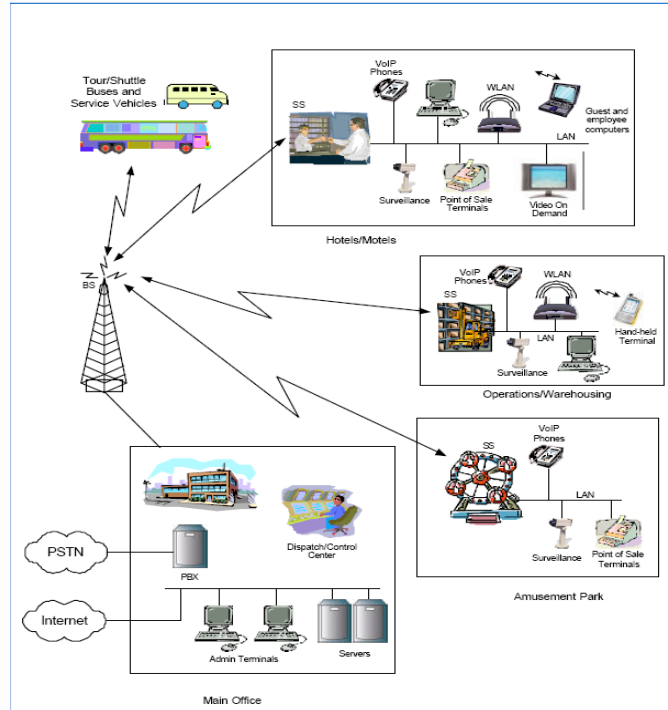
Διάφορες εταιρείες κατασκευών μπορούν να εγκαταστήσουν δίκτυα WiMAX, για να επικοινωνούν τα κεντρικά γραφεία της εταιρείας τους με το μέρος της κατασκευής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:[34]



Εικόνα 38 :Δίκτυα Προσωρινών Κατασκευών [44]

**4.10.9 Τα δίκτυα θεματικών πάρκων (Theme Parks)**

Οι υπεύθυνοι των θεματικών πάρκων μπορούν να χρησιμοποιήσουν WiMAX δίκτυα ώστε να μπορούν να επικοινωνού με τα πάρκα της ψυχαγωγίας τους, τις εκθέσεις, τα κέντρα φιλοξενίας και τα κέντρα ελέγχου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:[34]

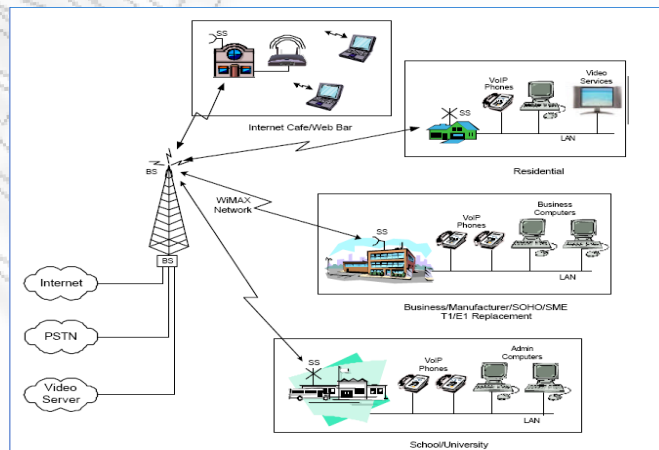


Εικόνα 39 :Δίκτυα Θεματικών Πάρκων [45]

Στα δημόσια δίκτυα έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες διαφορετικοί χρήστες, είτε αυτοί είναι επιχειρηματίες είτε είναι απλοί πελάτες. Οι κύριες εφαρμογές των δημοσίων δικτύων είναι επικοινωνίες φωνής και δεδομένων.[34]

**4.10.10 Δίκτυα πρόσβασης Παρόχου Ασύρματης Υπηρεσίας (Wireless Service Provider Access Network)**

Οι πάροχοι Ασύρματης Υπηρεσίας χρησιμοποιούν τα δίκτυα Wi-MAX, για να παρέχουν συνδεσιμότητα στους πελάτες τους, που περιλαμβάνουν φωνή, δεδομένα και βίντεο στους ιδιώτες και φωνή και internet στους επιχειρηματίες, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :[34]

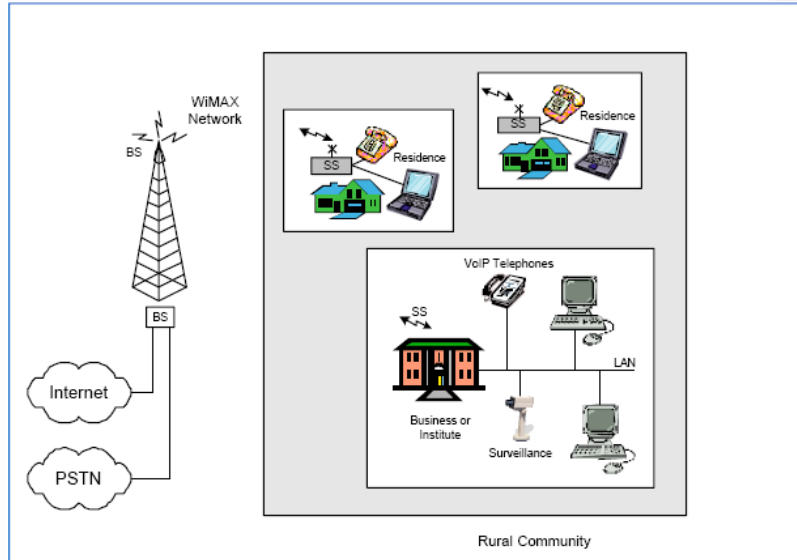




Εικόνα40 :ΔίκτυαπρόσβασηςΠαρόχουΑσύρματηςΥπηρεσίας[46]

#### 4.10.11 Τα δίκτυα που συνδέουν Αγροτικές Περιοχές (RuralConnectivity)

Οι πάροχοι χρησιμοποιούν δίκτυα Wi-MAX, για να προσφέρουν υπηρεσίες σε αγροτικές περιοχές ή απομακρυσμένες, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:[34]



Εικόνα41 :ΣυνδεσιμότητασεΑγροτικέςΠεριοχές[47]

#### 4.11 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ Wi-MAX

Τα πλεονεκτήματα του Wi-MAX περιλαμβάνουν τη χρήση τυποποιημένης τεχνολογίας, την γρήγορη υλοποίηση, την καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος συχνοτήτων, την διεισδυτική ραδιοκάλυψη, την επεκτασιμότητα, τη μεγάλη ασφάλεια, τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, την ποιότητα των υπηρεσιών, και την διαχείριση του κόστους αποτελεσματικά. Η Wi-MAX είναι μια τυποποιημένη τεχνολογία, που επιτρέπει σε πολλούς κατασκευαστές να παράγουν συμβατό εξοπλισμό, που συνήθως οδηγεί σε χαμηλότερο κόστος εξοπλισμού.

Τα Wi-MAX συστήματα μπορούν να αναπτυχθούν γρήγορα. Επειδή κάθε πομπός Wi-MAX μπορεί να εξυπηρετήσει εκατοντάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα μιας περιοχής είναι δυνατόν να αναπτύξει μεγάλη ταχύτητα υπηρεσιών επικοινωνίας σε μία πόλη ή σε μια σχετικά μεγάλη γεωγραφική περιοχή.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν τα δίκτυα WiMAX, εκμεταλεύονται αποδοτικά το φάσμα συχνοτήτων. Και τούτο επιτυγχάνεται γιατί χρησιμοποιούν συγκεκριμένη διαμόρφωση και μέθοδο κωδικοποίησης, που περιγράφει πόσες πληροφορίες μπορούν να μεταφερθούν σε ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Αυτό δίνεται συνήθως σε bits ανά δευτερόλεπτο ανά Hertz. Το σύστημα Wi-MAX χρησιμοποιεί πολύ αποτελεσματική διαμόρφωση και μέθοδο κωδικοποίησης για να επιτύχει μεγάλη φασματική απόδοση που είναι μεγαλύτερη από ένα κινητό τηλέφωνο ή άλλα είδη ασύρματων συστημάτων.

Το Wi-MAX μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα μεγάλο πλήθος τεχνολογιών πρόσβασης που του δίνει τη δυνατότητα να παρέχει ραδιοκάλυψη σε ένα ευρύ φάσμα γεωγραφικών περιοχών, χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα από την ύπαρξη δένδρων ή κτιρίων.

Τα συστήματα Wi-MAX είναι επεκτάσιμα. Έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν τον αριθμό των χρηστών ή την ποσότητα των υπηρεσιών που μπορούν να προσφέρουν χωρίς σημαντικές αλλαγές στον εξοπλισμό του υλικού ή την τεχνολογία που

χρησιμοποιούν. Επιπλέον τα συστήματα «έξυπνων κεραιών» που χρησιμοποιεί, του δίνουν σχεδόν απεριόριστη επεκτασιμότητα.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία προδιαγραφών ασφαλείας που είναι διαθέσιμα για τα συστήματα Wi-MAX. Η ασφάλεια είναι ικανότητα ενός συστήματος ή μιας υπηρεσίας που επιθυμεί να λειτουργεί χωρίς ζημιές από εξωτερικούς παράγοντες. Τα συστήματα Wi-MAX έχουν έναν πολύ ισχυρό μηχανισμό ασφαλείας που επιτρέπει να προστατεύονται τα δεδομένα του χρήστη και του συστήματος.

Τα συστήματα Wi-MAX έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. Η διεκπεραίωση των δεδομένων, είναι ο όγκος των δεδομένων που μπορούν να μεταφερθούν μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας ή να μεταφερθούν από ένα σημείο σε ένα σύστημα επικοινωνίας. Το Wi-MAX σύστημα έχει την ικανότητα να χρησιμοποιεί μεγάλο εύρος ζώνης καναλιού και η κατάτμηση των δεδομένων που χρησιμοποιεί του παρέχει ένα πολύ υψηλό ρυθμό διεκπεραίωσης. Η ποιότητα υπηρεσίας είναι μία από τις μεγαλύτερες προτεραιότητές τους.

Το κόστος της παροχής υπηρεσιών στο Wi-MAX (σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας) μπορεί να είναι χαμηλότερη από τα άλλα είδη των ασύρματων συστημάτων. Η άκρως αποτελεσματική διαμόρφωση και κωδικοποίηση των χαρακτηριστικών WiMAX συστημάτων τους επιτρέπει την παροχή υπηρεσιών σε περισσότερους πελάτες ανά κανάλι από εναλλακτικούς τύπους συστημάτων. Αυτό σημαίνει ότι ένα δίκτυο WiMAX μπορεί να έχει χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου και λειτουργικού κόστους ανά πελάτη.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά και τα οφέλη της τεχνολογίας Wi-MAX. Σε αυτά περιλαμβάνονται η αποτελεσματική παροχή υπηρεσιών, η υψηλή ικανότητα μετάδοσης δεδομένων, η ασφάλεια, η επεκτασιμότητα του συστήματος και η γρήγορη εγκατάσταση. [48]

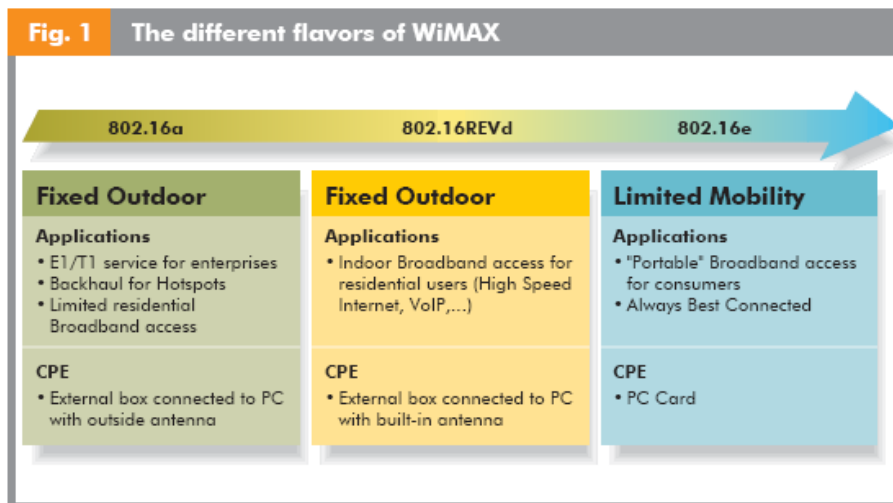
Feature	Benefit
Standard Technology	Lower cost equipment.
Rapid Deployment	Rapid recovery of investment.
Spectral Efficiency	Fewer radio channels required for each user.
Radio Coverage	Good radio coverage through trees and in buildings.
Scalability	Ability to expand as customer demand increases. Pay as you grow.
Security	Revenue assurance, consumer confidence and access to premium content sources.
High Data Throughput	Competitive advantage.
Quality of Service	High reliability and guaranteed services to high value customers.
Cost Effectiveness	Lower capital and operational cost per customer.

**Εικόνα 42 : Βασικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα του Wi-MAX [48]**

Συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι η τεχνολογία Wi-MAX συγκεντρώνει όλα τα πλεονεκτήματα τόσο της ενσύρματης όσο και της ασύρματης δικτύωσης. Και από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι τα βασικότερα πλεονεκτήματα είναι τα παρακάτω:

- 1) Ένας σταθμός βάσης Wi-MAX μπορεί να εξυπηρετήσει εκατοντάδες χρήστες.
- 2) Παρέχει υψηλότερες ταχύτητες και έχει μεγαλύτερη εμβέλεια από ένα ενσύρματο δίκτυο.
- 3) Μπορεί να λειτουργήσει στις περισσότερες συχνότητες χωρίς να απαιτείται οπτική επαφή.

- 4) Η εγκατάστασή του γίνεται γρήγορα και εύκολα ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές που η εγκατάσταση ενός ενσύρματου δικτύου θα ήταν πολύ δύσκολη.
- 5) Η σύνδεση του χρήστη στο διαδίκτυο γίνεται χωρίς συσκευές διασύνδεσης όπως modem, router, κ.λ.π.
- 6) Οι εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν ανεξάρτητα ασύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και υπηρεσιών Internet, εύκολα και γρήγορα, εφόσον δεν χρειάζεται να εγκατασταθούν καλώδια σε κάθε σημείο της χώρας που εδρεύουν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι εταιρείες να έχουν κέρδος χρόνου και κόστους σε περιοχές που δεν είναι εφικτή η διασύνδεση στο internet.
- 7) Η χρήση του internet από τον χρήστη παύει πλέον να συνεπάγεται και την δέσμευση κάποιας τηλεφωνικής γραμμής.
- 8) Ο συνδρομητής μπορεί να χρησιμοποιήσει τη σύνδεσή του από οπουδήποτε ακόμη και εν κινήσει μέσα στην πόλη ή και ολόκληρη τη χώρα. Κάτι που δεν είναι εφικτό με τις σημερινές συνδέσεις ADSL, ούτε και με την τεχνολογία Wi-Fi, λόγω της περιορισμένης της εμβέλειας.
- 9) Μετακομίζοντας σε άλλη περιοχή, ο συνδρομητής δεν θα χρειαστεί να κάνει ενεργοποίηση ευρυζωνικής σύνδεσης στον νέο του χώρο, όπως ισχύει για τις γραμμές ADSL. Αφού θα καλύπτεται από το ασύρματο σήμα του παρόχου υπηρεσιών του WiMAX, μπορεί να αρχίσει άμεσα να χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του.
- 10) Ένα δίκτυο WiMAX που θα καλύπτει μια μεγαλούπολη μπορεί να εγκατασταθεί σε λίγες μέρες, σε αντίθεση με ένα αντίστοιχο ενσύρματο δίκτυο που θα χρειαζόταν πολλούς μήνες ή και χρόνια.
- 11) Λόγω των υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων, το WiMAX επιτρέπει επίσης την πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων ή ακόμη και βιντεοκλήσεων.[48][49][69]



Εικόνα43 :ΣτοσχήμαφαίνονταιοιεφαρμογέςτουWiMAX[50]

#### 4.12 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ Wi-MAX

Το Wi-MAX έχει και μειονεκτήματα όπως :

- 1) Για πολύ μεγάλες αποστάσεις ( 5 έως 30 μίλια ) απαιτείται σύνδεση με οπτική επαφή.
- 2) Οι κακές καιρικές συνθήκες μπορούν να δημιουργήσουν μεγάλα προβλήματα στην απόδοση ενός δικτύου Wi-MAX.

- 3) Εάν υπάρχει ένα άλλο ασύρματο δίκτυο στην περιοχή μπορεί να δημιουργηθούν παρεμβολές και κατά συνέπεια επέρχεται και μείωση του ρυθμού απόδοσης του δικτύου.
- 4) Μπορεί να επηρεάσει την υγεία των ανθρώπων, οι οποίοι βρίσκονται σε καθημερινή έκθεση σε αυτό.
- 5) Έχει αρχικό υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.[70]

#### 4.13 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ Wi-MAX ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Επειδή το Wi-MAX έχει πάρα πολλές εφαρμογές σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως στις επιχειρήσεις κοινωνικής ωφέλειας (παροχή νερού ηλεκτρικού ρεύματος, τηλεπικοινωνιών, κ.λ.π.), στη δημόσια ασφάλεια, στον τουρισμό και την ηλεκτρονική διακυβέρνηση, είναι πολύ μεγάλη η εξάπλωσή του.

Μπορούμε να παραθέσουμε μερικά παραδείγματα που χρησιμοποίησαν την τεχνολογία Wi-MAX, ανά τον κόσμο.

Σε διάφορες φυσικές καταστροφές, όπως στο τσουνάμι στην Ινδονησία το Δεκέμβριο του 2004, που καταστράφηκε όλο το δίκτυο των τηλεπικοινωνιών, κάνοντας αδύνατη την επικοινωνία των επιζώντων με τον έξω κόσμο και το αντίθετο. Έτσι στήθηκε ένα δίκτυο Wi-MAX για να παρέχει ευρυζωνική πρόσβαση, για την αναδόμηση των τηλεπικοινωνιών από και προς την πληγείσα περιοχή.[72]

Άλλο παράδειγμα δικτύου Wi-MAX είχαμε και στη Νέα Ορλεάνη των Ηνωμένων Πολιτειών, όταν μετά τον καταστροφικό τυφώνα τον Αύγουστο του 2005, το ενσύρματο δίκτυο των τηλεπικοινωνιών υπέστη τόσο μεγάλες καταστροφές, οι οποίες ήταν πολύ δύσκολο να αντιμετωπισθούν. Έτσι οι Αρχές δημιούργησαν άμεσα, σε μικρό χρονικό διάστημα, ένα δίκτυο Wi-MAX στην περιοχή, για να μπιρόέσουν να καλύψουν τις βασικές τηλεπικοινωνιακές ανάγκες.[63]

Φυσικά και μετά τον καταστροφικό σεισμό και το τσουνάμι στην Ιαπωνία το Μάρτιο του 2011, το ενσύρματο δίκτυο των τηλεπικοινωνιών υπέστη μεγάλες καταστροφές και η Intel μαζί με την εταιρεία UQ Communications εγκατέστησαν ένα δίκτυο Wi-MAX, για την παροχή βοήθειας στους επιζώντες.[64]

Η εταιρία Intel, έχει προσφέρει κατά καιρούς πολλές λύσεις χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Wi-MAX.

**To WiMAX και το Sundance Film Festival.** Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του WiMAX είναι η ικανότητά του να μεταδίδει δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις (30 μίλια μεταξύ των σημείων πρόσβασης) χωρίς να υποβαθμίζεται το σήμα. Το Φεστιβάλ Κινηματογράφου Sundance γίνεται κάθε Ιανουάριο στο Park City, Utah σε ένα ορεινό θέρετρο 9.000 πόδια πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι διοργανωτές της εκδήλωσης το 2005, ήθελαν να μεταδώσουν μιαταινία High Definition (HD) ασύρματα και ζήτησαν από την Intel με τη βοήθεια της Alvarion την υποστήριξη με WiMAX. Η Intel και η Alvarion έδωσαν την ακόλουθη λύση: Η κωδικοποίηση και η ψηφιοποίηση της ταινίας έγινε στο Βανκούβερ του Καναδά και στη συνέχεια μεταδόθηκε στο Όρεγκον. Από το Όρεγκον η ταινία εστάλη μέσω του διαδικτύου στο Σόλτ Λέικ στη Γιούτα. Από το Σόλτ Λέικ της Γιούτα διαβιβάστηκε μέσω ασύρματων σημείων πρόσβασης Alvarion, χρησιμοποιώντας WiMAX στο ορειβατικό καταφύγιο στο Park City, της Utah. (Intel2, 2005).

**To WiMAX και το Παγκόσμιο Πρωτάθλημα Τρίαθλου το Ironman.** Το Παγκόσμιο Πρωτάθλημα Τρίαθλου το Ironman γίνεται στην Kailua-Kona, στη Χαβάη. Η Χαβάη ήταν πάντα μια πρόκληση για τη μετάδοση βίντεο με ποιότητα από πολλαπλά σημεία κατά μήκος του αγώνα περίπου 140 μίλια, εξαιτίας του ηφαιστειού των βουνοκορφών και των κοιλάδων

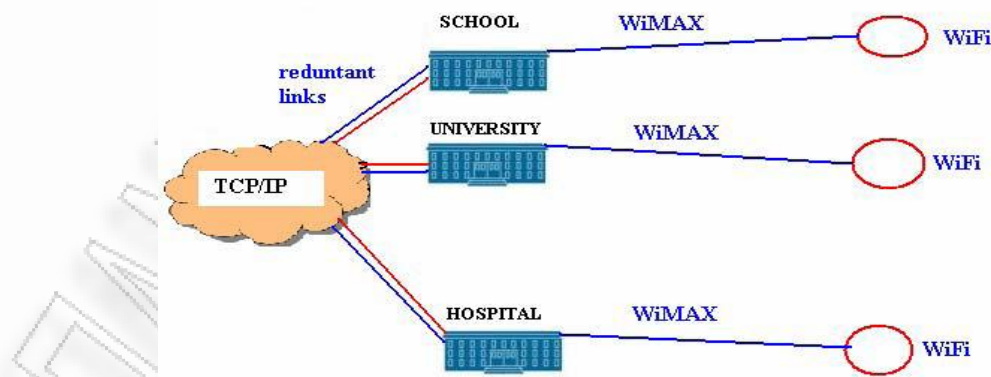
καθώς και την κλίση προς τον ωκεανό. Οι διοργανωτές ζήτησαν από την Intel και την Airspan να δώσουν λύση στην πρόκληση αυτή (Intel1, 2005). Η Intel και η Airspan εφάρμοσαν πολλαπλά σημεία πρόσβασης και φυσικά εκμεταλεύθηκαν το πλεονέκτημα του Wi-MAX στην (NLOS) μετάδοση (Intel1, 2005).

Επειδή η θέση της Νέας Ζηλανδίας έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα σημαντικό εμπόδιο για την ευρυζωνική πρόσβαση στις αγροτικές περιοχές της, το Νοέμβριο του 2003, τοποθετήθηκαν 28 WiMAX δέκτες στη Νέα Ζηλανδία. Η πρωτοβουλία αυτή παρείχε μια λύση για το 50% των νοικοκυριών της Νέας Ζηλανδίας που δεν διέθεταν ευρυζωνική πρόσβαση. Το WiMAX κατέστησε δυνατή την παροχή ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης σε απομακρυσμένες περιοχές της χώρας (Intel4, 2005).

**Στην Ιταλία** Mario Landolfi, Υπουργός Επικοινωνιών στην Ιταλία το 2005, εξέδωσε διάταγμα για την παράταση της διαθεσιμότητας των Wi-Fi για το υπόλοιπο της χώρας. Επιπλέον, το Υπουργείο Συγκοινωνιών έδωσε έγκριση για WiMAX στους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών για την κάλυψη ολόκληρης της χώρας. Ήταν η μεγαλύτερη WiMAX εφαρμογή από οποιαδήποτε άλλη χώρα της Ευρώπης. Σύμφωνα με τον Landolfi, « η Wireless Broadband είναι μια από τις πολιτικές προτεραιότητες της κυβέρνησης» (Harris, 2005).

Χώρες όπως η Ινδία, το Μεξικό, το Πακιστάν και η Κίνα έχουν χρησιμοποιήσει WiMAX ως μια λύση, επειδή το κόστος της καλωδίωσης για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών ήταν ασύμφορο. (Intel2, 2005, CASE STUDY: Wateen Telecom Launches WiMAX to 17 Cities in Pakistan in Nine Months © Motorola, Inc. 2007).

Στην Ιορδανία το Wi-MAX έχει πολλές εφαρμογές στη δημόσια ασφάλεια, σε διάφορες επιχειρήσεις, σε επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας (νερό, ηλεκτρισμός, κ.λ.π.) στην ασφάλεια ( κάμερες ). [Nidhal Kamel El-Omari and Mohamad H. Alzaghal, 2009]. Επίσης πολύ σημαντικό είναι το ότι χρησιμοποίησε Wi-MAX τεχνολογία για δημόσιο δίκτυο ασφαλείας. [“Assessment of wireless broadband for public safety”, <http://www.researchandmarkets.com /reports/1193215/>, last accessed 18 February 2010]. Η Ιορδανία είχε μια πολύ κακή ενσύρματη υποδομή, που στις υπαίθριες περιοχές της ήταν ακόμη χειρότερη, έτσι η λύση του WiMAX ήταν και οικονομικότερη και οι κάτοικοι είχαν ευρυζωνική πρόσβαση από πολλαπλούς παρόχους.



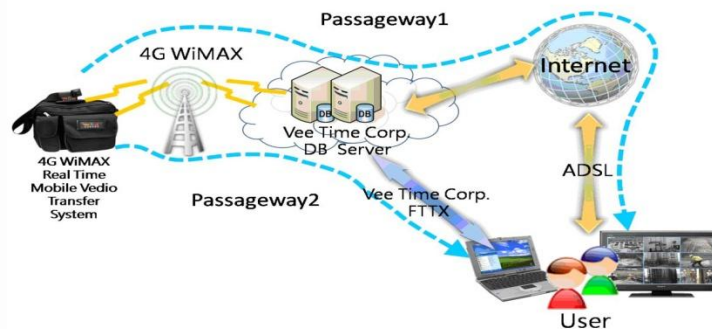
**Εικόνα44: Εφαρμογές στην Ιορδανία[51]**

Η Computex γιόρτασε στα πλαίσια της 30<sup>ης</sup> επετείου της το 2010 , τις ιατρικές υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης με χρήση τεχνολογίας WiMAX που είχαν παρουσιαστεί ως μια από τις ειδικές εκδηλώσεις στην Ταϊπέι. Αυτή η ζωντανή επίδειξη έγινε στο νησί Peng-Hu στην Ταϊβάν και συνδέθηκε με TICC στην Ταϊπέι, σε απόσταση 250 χιλιομέτρων. Στην επίδειξη παρουσιάστηκε η τεχνολογία WiMAX που χρησιμοποιήθηκε σε ιατρικές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, που επιτρέπουν στην Medicare Call Center (στην πλευρά της Ταϊπέι ) να παρακολουθούν τους ασθενείς σε αποστάσεις πάνω από 150 μίλια μέσα από μια φορητή ιατρική συσκευή που μετρά τα ζωτικά σημεία και μπορεί να ενεργοποιήσει αυτόματα την

υπηρεσία 911 μέσω ενσωματωμένης τεχνολογίας WiMAX εάν είναι απαραίτητο. Το Τηλεφωνικό Κέντρο Medicare είναι σε θέση να παρακολουθεί τα ζωτικά στοιχεία του ασθενούς 24 ώρες την ημέρα, όπως τον παλμό, τη θερμοκρασία και την πίεση του αίματος. Σε περίπτωση μιας ανωμαλίας, το σύστημα μπορεί να βρει την ακριβή τοποθεσία του ασθενή μέσα από ολοκληρωμένες λειτουργίες GPS βασισμένο στην τεχνολογία WiMAX και να ενεργοποιήσει την υπηρεσία 911 αυτόματα. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά πρότυπα που απαιτούν την ανθρώπινη παρέμβαση, αυτή η ανακάλυψη μπορεί να σώσει ζωές. Αυτή η απομακρυσμένη πρόσβαση είναι ζωτικής σημασίας για τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης κατά τη λήψη προληπτικών μέτρων. Αυτό περιλαμβάνει τον πιο εξελιγμένο εξοπλισμό που έχουν μέσα στο ασθενοφόρο, για την αναμετάδοση των ζωτικών σημείων πίσω στο ιατρικό προσωπικό του νοσοκομείου. Το κλειδί είναι η τεχνολογία WiMAX που παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και άμεση ειδοποίηση για ένα γεγονός που απειλεί μια ζωή. Υψηλής ποιότητας τηλεδιάσκεψη ER που επιτρέπει στους γιατρούς να συνεργαστούν με παραϊατρικό προσωπικό για την παροχή on-the-spot θεραπείας, ενώ ο ασθενής βρίσκεται στη διαδικασία της μεταφοράς. Τα νοσοκομεία μπορούν να σώσουν περισσότερες ζωές, προετοιμάζοντας τις εγκαταστάσεις, τον εξοπλισμό και την θεραπεία εκ των προτέρων.[54].

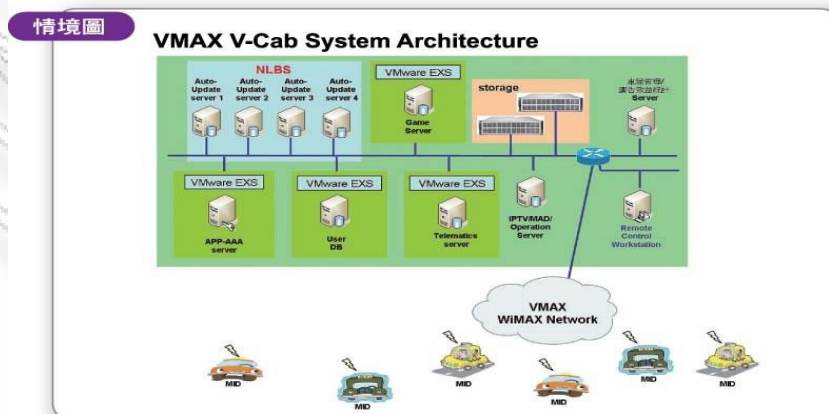
Επίσης στην Ταϊπέι έχουν χρησιμοποιήσει IPκάμερα σε συνδυασμό με τεχνολογία WiMAX, για να λάβουν σε πραγματικό χρόνο διαδραστικά βίντεο στο κέντρο ελέγχου της αστυνομίας. Αυτή η εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την αστυνομία εν κινήσει, από την κινητή επιτήρηση και την κινητή φρουρά σωμάτων. Τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούνιο του 2010.

4G WiMAX Real Time Mobile Vedio Transfer System



Εικόνα 45: Wi-MAX σε πραγματικό χρόνο κινητή μετάδοση δεδομένων[52].

Άλλη εφαρμογή στην Ταϊπέι είναι το TaxiMobileCafé(V-Cab)Service, το οποίο δεν έχει τεθεί ακόμα σε λειτουργία αλλά αναμένεται στο άμεσο μέλλον. Η MID παρέχει έξι μεγάλες κατηγορίες υπηρεσιών : (1) κινητή πρόσβαση στο Διαδίκτυο, (2) πληροφορίες στον τρόπο ζωής (3), διαδικτυακή τηλεόραση, (4) κινητά παιχνίδια, (5) έξυπνη πλοήγηση και (6) γνώμη φόρουμ.



**Εικόνα 46: Wi-MAX σε πραγματικό χρόνο κινητή μετάδοση δεδομένων[53].**

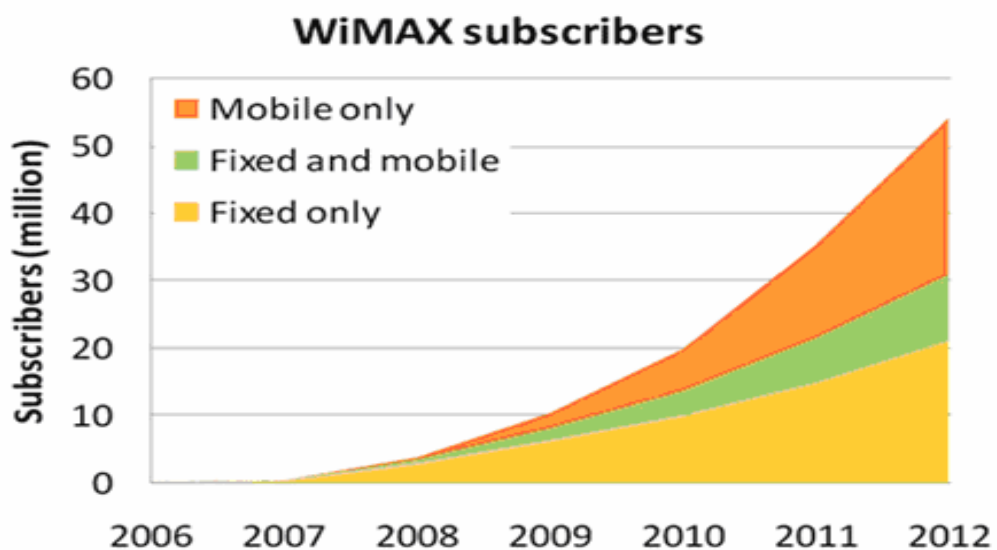
Άλλη εφαρμογή είναι η έξυπνη μέτρηση. Σε συνδυασμό με τις πλατφόρμες υπηρεσιών και τις ολοκληρωμένες εφαρμογές του δικτύου με WiMAX, είναι ένα έξυπνο περιβάλλον για υψηλής ποιότητας κινητές υπηρεσίες. Με την τεχνολογία WiMAX, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τον έξυπνο μετρητή μπορούν να κοινοποιηθούν πίσω στο σύστημα. Αυτό επιτρέπει στους πελάτες να διαχειρίζονται την ενεργειακή τους κατανάλωση, να μειώνουν το κόστος, και τους δίνει και τη δυνατότητα να την παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο. [54].

Άλλη εφαρμογή δικτύου WiMAX backhaul είναι στο μετρό του Dubaίτου που έχει ολοκληρωθεί, στις 22 Φεβρουαρίου του 2010. Επιτρέπει την πρόσβαση στους επιβάτες σε υπηρεσίες στο μετρό του Dubai. Επιτρέπει πρόσβαση στα τρένα και σε άλλες τοποθεσίες του μετρό του Dubai. Είναι ένα εξαιρετικό παράδειγμα της τεχνολογίας WiMAX. [65].

Η ιαπωνική εταιρεία UQ Communications έκανε επίδειξη μεταφοράς δεδομένων μέσω Wi-MAX2 με ταχύτητες 330Mbps. Η επίδειξη αφορούσε στην αναμετάδοση Full-HD 3D video σε τηλεοράσεις Large Format Display, με τη χρήση Wi-MAX2. Η ολοκλήρωση των προδιαγραφών του Wi-MAX2 αναμένεται να γίνει μέχρι το Δεκέμβριο του 2011, ενώ η Samsung προτίθεται να παρουσιάσει τα πρώτα προϊόντα Wi-MAX2 στο τέλος του 2011. Έτσι λοιπόν αναμένεται εκθετική αύξηση των απαιτήσεων από τις ασύρματες ευρυζωνικές συνδέσεις. Ως εκ τούτου θα αναγνωριστεί και η αξία του Mobile Wi-MAX, μίας τεχνολογίας πραγματικού 4G, όχι μόνο στην Ιαπωνία, αλλά και παγκοσμίως. Όσο η απαίτηση για περισσότερο εύρος ζώνης και ταχύτητα αυξάνει εκθετικά, η τεχνολογία πρέπει να δίνει απαντήσεις. Το Mobile Wi-MAX ανοίγει το δρόμο προς την εποχή της κινητής ευρυζωνικότητας και αποτελεί ήδη μέρος πολλών βελτιστοποιημένων λύσεων.

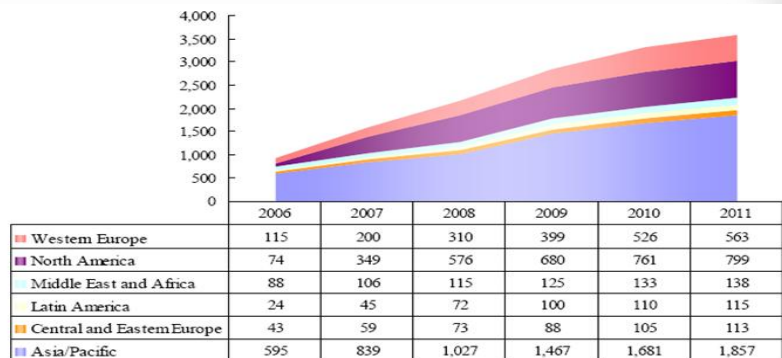
Η Intracom Telecom ανακοίνωσε το Φεβρουάριο του 2011, ότι η Mobile WiMAX λύση της, Omni-MAX, πιστοποιήθηκε από το WiMAX Forum για τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα της. Το OmniMAX είναι μία κορυφαία και καινοτόμος λύση Mobile WiMAX, η οποία δίνει τη δυνατότητα σε κάθε συνδρομητή να απολαμβάνει ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες, λειτουργεί σε συχνότητες 2.3-2.4 GHz, 2.5-2.7 GHz και 3.4-3.8 GHz, και είναι σχεδιασμένο ειδικά για αστικές και αγροτικές περιοχές για να ανταποκρίνεται στις εκάστοτε γεωγραφικές δυσκολίες ενώ συμβάλλει οικολογικά λόγω της μειωμένης κατανάλωσης ισχύος. [53][66].

Παρακάτω μπορούμε να δούμε τους συνδρομητές του Wi-MAX, μέχρι τον Ιανουάριο του 2011.



Εικόνα47:WiMAXsubscribersforecast [55]

Και βεβαίως μπορούμε στο παρακάτω σχήμα να δούμε την εξέλιξη του Wi-MAX ανά τον κόσμο.

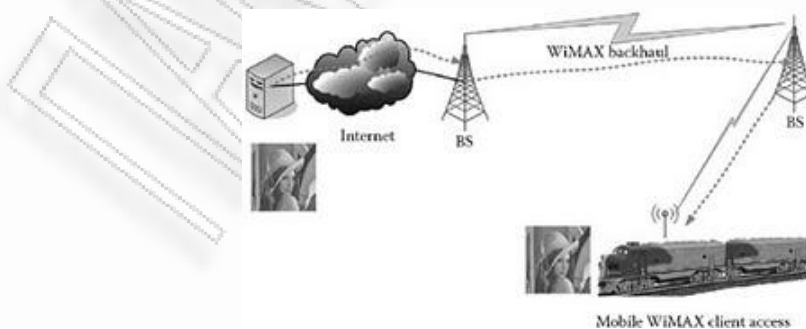


Εικόνα 48 :Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η εξέλιξη τουWi-MAX ανά τον κόσμο [56]

#### 4.14 MobileWi-MAX

Η τεχνολογία Mobile Wi-MAX είναι η τεχνολογία εκείνη που ασχολείται με την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση των κινητών συστημάτων. Χρησιμοποιεί διαμόρφωση OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Τα συστήματα Mobile Wi-MAX προσφέρουν μεγάλη προσαρμοστικότητα τόσο στην τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης όσο και στην αρχιτεκτονική του δικτύου. Έτσι παρέχουν μεγάλη ευελιξία στην ανάπτυξη του δικτύου και στις υπηρεσίες που μπορούν να παρέχονται. Μερικά από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που υποστηρίζει το Mobile WiMAX είναι:

- **Πολύ μεγάλοι ρυθμοί μετάδοσης:** Επειδή χρησιμοποιούν κεραίες MIMO υποστηρίζουν μεγάλους ρυθμούς, 63 Mbps για Downlink και 28Mbps για UpLink.
- **Ποιότητα Υπηρεσίας :** Η αρχιτεκτονική του MAC στο πρότυπο IEEE 802.16 καθορίζει και την ποιότητα της υπηρεσίας.
- **Προσαρμοστικότητα:** Το Mobile WiMAX είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί σε διαφορετικό εύρος ζώνης προκειμένου να είναι πάντα εναρμονισμένο με τις διαφορετικές προδιαγραφές που συναντώνται σε διαφορετικές χώρες του κόσμου.
- **Ασφάλεια:** Η ασφάλεια περιλαμβάνει αυθεντικοποίηση με το πρωτόκολλο EAP και κρυπτογράφηση με τον κώδικα AES-CCM,
- **Κινητικότητα:** Έχει λιγότερες καθυστερήσεις όταν πρόκειται για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time) όπως η μεταφορά της φωνής (VoIP). [58][59][60][75]



Εικόνα 49 : Multimedia over Mobile WiMAX [57]



#### 4.15 ΣΥΓΚΡΙΣΗ Wi-Fi ΚΑΙ Wi-MAX

Γίνεται πολύ συχνά σύγκριση ανάμεσα στο Wi-Fi και το Wi-MAX και αυτό γίνεται, τόσο γιατί και τα δύο αυτά πρότυπα βασίζονται σε πρωτόκολλα της IEEE όσο και γιατί ο βασικός στόχος τους είναι να παρέχουν ασύρματη επικοινωνία και πρόσβαση στο Internet. Παρόλα αυτά όμως τα δύο αυτά πρωτόκολλα βρίσκουν χρήση σε διαφορετικές εφαρμογές.

Η μεγαλύτερη διαφορά τους είναι ως προς την περιοχή κάλυψης. Έτσι το **Wi-Fi** καλύπτει μια περιοχή μέχρι 300 μέτρα σε συνθήκες με οπτική επαφή ενώ το **Wi-MAX** καλύπτει μια ευρύτερη περιοχή έως και 48 χιλιόμετρα, κάτω από συνθήκες και οπτικής επαφής και σε συνθήκες χωρίς οπτική επαφή.

Όταν πρέπει να καλυφθεί μια μεγάλη μητροπολιτική περιοχή, το δίκτυο **Wi-Fi** απαιτεί την ανάπτυξη περισσότερων σταθμών βάσης. Αυτό σημαίνει ότι η χρησιμοποίηση ενός δικτύου **Wi-Fi**, είναι πιο δαπανηρή για να παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε μια μεγάλη περιοχή, αντίθετα με το **Wi-MAX**.

Το **Wi-Fi** είναι σχεδιασμένο για να παρέχει πολύ υψηλές ταχύτητες σε τοπικά ασύρματα δίκτυα, ενώ το **Wi-MAX** είναι σχεδιασμένο για να παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση ( BWA – Broadband Wireless Access ) με πολύ υψηλές ταχύτητες στο διαδίκτυο σε Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα.

Το **Wi-Fi** έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει ψηφιακές υπηρεσίες σε σπίτια και εφαρμογές σε γραφεία. Ενώ το **Wi-MAX**, ειδικά το Mobile **Wi-MAX**, σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει κινητικότητα σε μια μεγάλη περιοχή χρησιμοποιώντας την ορθογώνια διαίρεση συχνότητας.

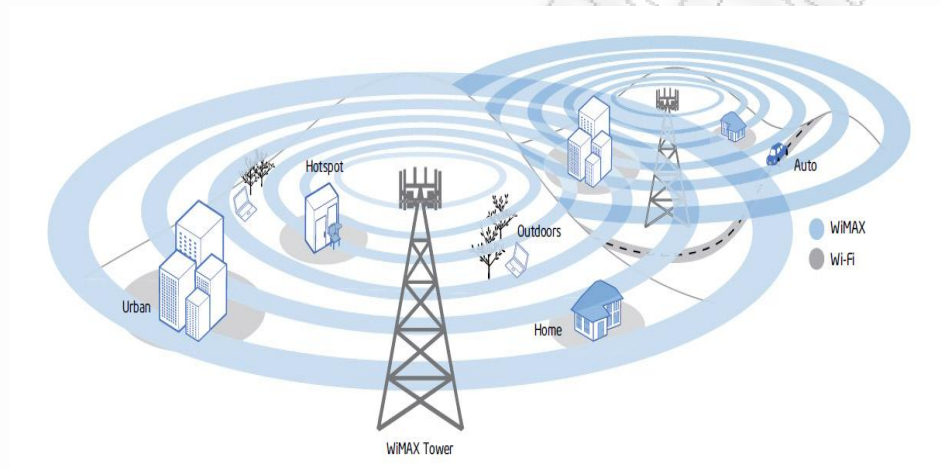
Το **Wi-Fi** έχει ένα σταθερό εύρος ζώνης καναλιού που κυμαίνεται από 20 MHz έως 25 MHz, ενώ στο **Wi-MAX** το εύρος ζώνης του καναλιού είναι σαφώς μεγαλύτερο και ξεκινά από τα 1.25 MHz και φθάνει έως και τα 20 MHz.

Το **Wi-Fi** δεν παρέχει ποιότητα υπηρεσίας υψηλού επιπέδου ενώ αντίθετως το **Wi-MAX** παρέχει ποιότητα υπηρεσίας υψηλού επιπέδου. Και αυτό συμβαίνει, γιατί ο σχεδιασμός του επιπέδου Mac του προτύπου **Wi-Fi** επιτρέπει στους σταθμούς να λειτουργούν ανταγωνιστικά ως προς το σημείο πρόσβασης AP ( Access Point ), κατά συνέπεια οι χρήστες που θέλουν να μεταφέρουν δεδομένα και βρίσκονται μακριά από τα AP ( Access Point ) να μην έχουν εύκολη πρόσβαση και να έχουν και συνεχόμενες διακοπές, σε αντίθεση με αυτούς που βρίσκονται πιο κοντά στα AP ( Access Points ). Επομένως έχουμε μια σύνδεση που δεν χαρακτηρίζεται από υψηλή ποιότητα και κατά συνέπεια και οι εφαρμογές που τρέχουν σε αυτή τη σύνδεση να μην διακρίνονται από ποιότητα και να μην εκτελούνται και σωστά. Ενώ στο **Wi-MAX** ο σχεδιασμός του επιπέδου Mac είναι τέτοιος, που χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο σύμφωνα με τον οποίο ο συνδρομητής **προσπαθεί** μόνο την πρώτη φορά που συνδέεται στο δίκτυο. Στη συνέχεια ο σταθμός βάσης ( basestation ) είναι εκείνος που ουσιαστικά καθορίζει τον τρόπο πρόσβασης. Δηλαδή παρέχει στους χρήστες που βρίσκονται στα όρια κάλυψης του ίδιου σταθμού βάσης ( basestation ) εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης. Επομένως οι χρήστες που βρίσκονται στα όρια κάλυψης του ίδιου σημείου πρόσβασης ( Access Point ) μπορούν να έχουν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας αφού και στην περίπτωση που το δίκτυο είναι φορτωμένο τα δεδομένα μεταφέρονται ικανοποιητικά.

Το **Wi-Fi** χρησιμοποιεί ένα εύρος συχνοτήτων που δεν χρειάζεται παροχή άδειας για την πρόσβαση στο διαδίκτυο. Αντίθετα το **Wi-MAX** χρησιμοποιεί εύρος συχνοτήτων που απαιτείται σχετική άδεια.

Το **Wi-Fi** χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση WEP. Το WEP είναι ένα πρωτόκολλο ασφάλειας του MAC επιπέδου, το οποίο βασίζεται στη χρήση ενός αλγόριθμου κρυπτογράφησης RC4. Το μειονέκτημά του όμως είναι ότι, στην περίπτωση που υπάρχουν πολλοί χρήστες συνδεδεμένοι έχει πρόβλημα από τις παρεμβολές που δημιουργούνται στις περιοχές του. Αντίθετα το **Wi-MAX** διαθέτει μια πολύ ισχυρή κρυπτογράφηση AES (Advanced Encryption Standard). Το πρότυπο κρυπτογράφησης AES, περιγράφει μια διαδικασία κρυπτογράφησης της ηλεκτρονικής πληροφορίας, που είναι βασισμένη στην λογική της κωδικοποίησης ομάδων δεδομένων με κάποιο μυστικό κλειδί. Το πλεονέκτημά του λοιπόν είναι το AES δημιουργεί τυπικά μικρότερες παρεμβολές.

Τέλος αν και τα δύο πρότυπα μοιράζονται κάποια βασικά θεμελιώδη χαρακτηριστικά προσεγγίζουν ουσιαστικά το θέμα της ασύρματης δικτύωσης από δύο πάρα πολύ διαφορετικές οπτικές γωνίες. Επομένως τα δύο πρότυπα έχουν σχεδιαστεί για να επιτελέσουν τελείως διαφορετικούς σκοπούς πράγμα το οποίο σημαίνει ότι τελικά ή σύγκριση μεταξύ τους είναι σχεδόν αδύνατη.[62]



Εικόνα50 :ΣυνδυασμόςWiFικαιWiMAX [61]

## 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΤΟΥΝΣ (Network Simulator – Προσομοιωτή Δικτύου)

Ο NS2 (Network Simulator version 2) είναι ένας προσομοιωτής διακριτών γεγονότων που στοχεύει στην έρευνα της δικτύωσης. Παρέχει ουσιαστική υποστήριξη για την προσομοίωση της δρομολόγησης, των multicast πρωτοκόλλων και πρωτοκόλλων IP, όπως τα UDP, TCP, RTP και SRM πάνω από συνδεδεμένα με καλώδιο αλλά και ασύρματα (τοπικά και δορυφορικά) δίκτυα. Ο NS-2 έχει πολλά πλεονεκτήματα που το κατατάσσουν ως ένα χρήσιμο εργαλείο για την υποστήριξη πολλαπλών πρωτοκόλλων και τη δυνατότητα της απεικόνισης της δικτυακής κίνησης. Επιπλέον υποστηρίζει αρκετούς αλγόριθμους που αφορούν στη δρομολόγηση και στις ουρές αναμονής.

Ο NS2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση ενσύρματων και ασύρματων δικτύων. Υποστηρίζεται από μια μεγάλη κοινότητα χρηστών που αποτελείται από διάφορα εκπαιδευτικά ιδρύματα, και βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη και βελτίωση καθώς όλο και περισσότερες δυνατότητες και χαρακτηριστικά προστίθενται. Βασίζεται στο μοντέλο του ανοιχτού κώδικα, συνεπώς οποιοσδήποτε μπορεί να προσθέσει καινούρια λειτουργικότητα στον NS, για τις ανάγκες της έρευνάς του. Η έκδοση του NS που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία είναι η 2.28.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποθηκεύονται σε «trace files» τα οποία περιέχουν συμβάντα, σχετικά με την αποστολή, τη λήψη και την προώθηση πακέτων ανάμεσα στους διάφορους κόμβους. Ο NS έχει διάφορα format για τα αρχεία αυτά, ανάλογα με το αν πρόκειται για πακέτα που ανταλλάσσονται ανάμεσα σε σταθερούς ή σε ασύρματους κόμβους. Ακολουθεί ένα παράδειγμα από κάθε περίπτωση:

```
+ 2.047812 1 0 udp 908 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 155 187
- 2.047812 1 0 udp 908 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 155 187
r 2.049885 1 0 udp 908 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 155 187
+ 2.088111 1 0 udp 1020 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 156 188
- 2.088111 1 0 udp 1020 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 156 188
+ 2.088111 1 0 udp 1020 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 157 189
+ 2.088111 1 0 udp 572 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 158 190
- 2.088193 1 0 udp 1020 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 157 189
- 2.088274 1 0 udp 572 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 158 190
r 2.090193 1 0 udp 1020 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 156 188
r 2.090274 1 0 udp 1020 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 157 189
r 2.09032 1 0 udp 572 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 158 190
```

#### Μέρος tracefile από επικοινωνία ανάμεσα σε ενσύρματους κόμβους

Το traceformat για ασύρματους κόμβους αποτελείται από περισσότερα πεδία, και είναι πιο πολύπλοκο, καθώς περιέχει πληροφορίες της τοπολογίας του κόμβου και πληροφορίες για το στρώμα 2 και το στρώμα 3.

```
s -t 2.145000000 -Hs 1 -Hd -2 -Ni 1 -Nx 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Ni
MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms ffff0000 -Mt 0 -ls 0.0
-lid 0.0 -lt MAC802_16MAP -ll 58 -lf 0 -li 0 -lv 0
```

```

s -t 2.147600000 -Hs 3 -Hd 4194304 -Ni 3 -Nx 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000
-NI MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 2000000 -Ms 8 -Mt 0 -Is
4194306.0 -ld 0.1 -lt udp -ll 929 -lf 0 -li 192 -lv 32
d -t 2.147785800 -Hs 2 -Hd 4194304 -Ni 2 -Nx 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000
-NI MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 2000000 -Ms 8 -Mt 0 -Is
4194306.0 -ld 0.1 -lt udp -ll 929 -lf 0 -li 192 -lv 32
r -t 2.147785800 -Hs 1 -Hd 4194304 -Ni 1 -Nx 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -
NI MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 2000000 -Ms 8 -Mt 0 -Is
4194306.0 -ld 0.1 -lt udp -ll 900 -lf 0 -li 192 -lv 32
d -t 2.147785800 -Hs 4 -Hd 4194304 -Ni 4 -Nx 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000
-NI MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 2000000 -Ms 8 -Mt 0 -Is
4194306.0 -ld 0.1 -lt udp -ll 929 -lf 0 -li 192 -lv 32
d -t 2.147785800 -Hs 5 -Hd 4194304 -Ni 5 -Nx 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000
-NI MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 2000000 -Ms 8 -Mt 0 -Is
4194306.0 -ld 0.1 -lt udp -ll 929 -lf 0 -li 192 -lv 32
d -t 2.147785800 -Hs 6 -Hd 4194304 -Ni 6 -Nx 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000
-NI MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 2000000 -Ms 8 -Mt 0 -Is
4194306.0 -ld 0.1 -lt udp -ll 929 -lf 0 -li 192 -lv 32

```

#### Μέρος tracefile από επικοινωνία ανάμεσα σε ασύρματους κόμβους

Αναλυτική επεξήγηση για τη σημασία κάθε στοιχείου στο tracefile μπορεί να βρεθεί στο δικτυακό τόπο του NS.[73]

## 5.2 ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ WiMAXMENS-2

Ο προσομοιωτής NS-2 δεν έχει προεγκατεστημένο κάποιο Module για το WiMAX. Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το WiMAX Module.

Η υλοποίηση αυτή εστιάζει στο στρώμα MAC και τους μηχανισμούς του για χορήγηση εύρους ζώνης και υποστήριξη QoS.

Το Module αυτό, υλοποιεί τα πέντε flowtypes του προτύπου 802.16 και τους μηχανισμούς για αίτηση και παροχή εύρους ζώνης. Επίσης, επιτρέπει στους χρήστες να ορίσουν τις απαιτήσεις QoS των εφαρμογών. Οι ροές υπηρεσιών (Service flows) μοντελοποιούνται από finite state machines που ορίζουν πως κάθε τύπος υπηρεσίας αντιδρά σε διαφορετικά συμβάντα.

Τα πειράματα έχουν σκοπό την εξέταση της λειτουργίας του Wimax με διαφορετικές παραμέτρους QoS και τη σύγκριση της απόδοσης του δικτύου με ένα απλό Wifi.

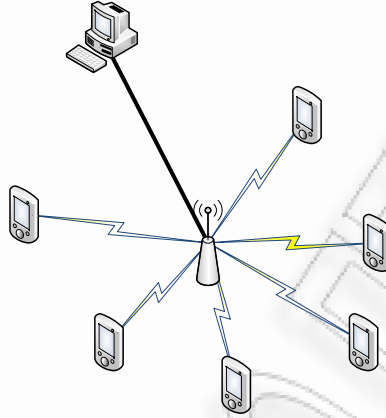
### 5.2.1 Τοπολογία και δικτυακή κίνηση προσομοίωσης

Η τοπολογία και τα στοιχεία της δικτυακής κίνησης που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα βασίζονται στο παράδειγμα λειτουργίας που βρίσκεται στο WimaxModule.

Η τοπολογία του δικτύου προσομοίωσης αποτελείται από ένα σταθμό βάσης (Basestation – BS) ο οποίος συνδέεται με ένα σταθερό κόμβο με ζεύξη 100Mbps με 2 msdelay. Ο Σταθμός βάσης βρίσκεται στο κέντρο μιας περιοχής 250x250 μέτρα, και οι κινητοί σταθμοί SS βρίσκονται κατανεμημένοι ομοιόμορφα γύρω του. Η διάρκεια frame είναι 5 ms και η χωρητικότητα του καναλιού είναι 40 Mbps, θεωρώντας 1:1 διαχωρισμό downlink-to-uplinkTDD. Το module χρησιμοποιεί το ασύρματο κανάλι του Ns-2 το οποίο έχει το σύστημα ασύρματης εκπομπής και λήψης Direct-Sequence Spread-Spectrum (DSSS).

Κάθε SS έχει από μια ροή σε κάθε κατεύθυνση (αποστολή και λήψη) που ορίστηκαν στον ίδιο τύπο υπηρεσίας. Θεωρήθηκαν πέντε διαφορετικοί τύποι κίνησης: φωνή, φωνή με silencesuppression, video, FTP και Web, οι οποίες αντιστοιχούν στα UGS, ertPS, rtPS, nrtPS, και BE services.

Κάθε ασύρματος κόμβος επικοινωνεί με τον σταθερό κόμβο με ένα από τα είδη επικοινωνίας που προαναφέρθηκαν (φωνή, φωνή με silence suppression, video, FTP και Web). Η τοπολογία του δικτύου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



**Εικόνα 51: Η Τοπολογία των πειραμάτων**

Τα χαρακτηριστικά της κίνησης Video προέρχονται από tracefileπουδιατίθεταιμετοWiMAXModule. Στην τοπολογία αυτή, οι 5 ασύρματοι κόμβοι, έχουν τα στοιχεία και τις αρχικές ρυθμίσεις QoS που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Κόμβος	Διεύθυνση	Υπηρεσία	QoS	Στοιχεία QoS
Node 0	1.0.1.0	Φωνή	Ugs	# data grants interval (sec): ugs_grant_interval 0.020;  ugs_grant_size 66
Node 1	1.0.2.0	video	rtPS	#unicast request grant interval (sec) rtps_grant_interval 0.020  # maximum delay request (seconds) rtps_delay 0.100  # aggregate request interval (in number of requests) rtps_aggreq_interval 5;  # minimum bandwidth request (bytes) - baseball video set rtps_minBW 200000 ;
Node 2	1.0.3.0	φωνή με silence suppression	ertPS	# data grants interval (seconds) ertps_grant_interval 0.020;  # initial data grant interval (bytes) ertps_grant_size 200;
Node 3	1.0.4.0	FTP	nrtPS	# unicast request grant interval (seconds) nrtps_grant_interval 0.050;

				<pre># minimum bandwidth request (bytes) nrtps_minBW      200000;  # aggregate request interval (in number of requests) set nrtps_aggreg_interval 10;</pre>
Node 4	1.0.5.0	Web	BE	<pre># unicast request grant interval (seconds) be_grant_interval  2.0;  # aggregate request interval (in number of requests) be_aggreg_interval 10;</pre>

Αρχικά, η ασύρματη ζεύξη ανάμεσα στο σταθμό βάσης και τους ασύρματους κόμβους είναι 40.000.000 bps.

Για την εξαγωγή των αριθμητικών αποτελεσμάτων, δημιουργήθηκε μια σειρά από scripts που βασίζονται στην AWK, μια γλώσσα (data-driven), η οποία έχει σχεδιαστεί για την επεξεργασία δεδομένων text. Τα προγράμματα αυτά, που παρατίθενται στο παράρτημα, σχεδιάστηκαν προκειμένου να μπορούν να εξαχθούν από το tracefile τα παρακάτω μετρικά:

- packet loss
- delay
- jitter

Τα μετρικά αυτά, εξάγονται ανά ροή δεδομένων, δηλαδή έχουμε μία μέτρηση ανά ασύρματο κόμβο και το σταθμό βάσης.

### 5.2.2 Εκτέλεση πειραμάτων και επεξεργασία αποτελεσμάτων

Για την εκτέλεση των πειραμάτων προαπαιτείται εγκατάσταση του ns-allinone-2.28 και στη συνέχεια του wimax Module. Οδηγίες για την εγκατάσταση του Module Μπορούν να βρεθούν online.

Παράλληλα, στα πλαίσια των πειραμάτων, έγινε εγκατάσταση στο NS-2 ενός ακόμα patch για τη λειτουργία του 802.11e. Ο κώδικας και οι οδηγίες χρήσης μπορούν να βρεθούν επίσης online.

Στη συνέχεια τρέχουμε τον NS δίνοντας ως είσοδο το TCL αρχείο και έναν αριθμό ως αρχικό seed. Όταν ο αριθμός είναι ο ίδιος, ο NS δίνει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα.

```

user@ubuntu:~/src$ ns wimax.tcl 3
window_ = 0.050000
INITIALIZE THE LIST xListHead
Start window: 0.050000
warning: no class variable Tracefile::debug_

    see tcl-object.tcl in tclcl for info about this warning.

Starting Simulation...
SORTING LISTS ...DONE!
num_nodes is set 6
channel.cc:sendup - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
nrtps vai enviar u-req em 7.897700
nrtps vai enviar u-req em 90.897550
SendReq: send aggregaNS EXITING...
te req
user@ubuntu:~/src$

```

Για τα πειράματα με WiMAX χρησιμοποιήθηκε το αρχείο wimax.tcl που βρίσκεται στο παράρτημα αλλάζοντας το εύρος του καναλιού για τα διάφορα σενάρια. Για τα πειράματα με WiFi χρησιμοποιήθηκε το αρχείο wifi.tcl που βρίσκεται στο παράρτημα αλλάζοντας το εύρος του καναλιού για τα διάφορα σενάρια.

Το παραπάνω παράδειγμα εκτέλεσης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός tracefile με όνομα wimax\_40000000.3.tr. Στη συνέχεια παρατίθενται μερικές γραμμές από τα περιεχόμενα του:

```

user@ubuntu:~/src/results$ tail -30 wimax_40000000.3.tr
d -t 199.987961400 -HS 4 -Hd -2 -Ni 4 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.0
-Id 0.0 -It udp -Il 2057 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
d -t 199.987961400 -HS 5 -Hd -2 -Ni 5 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.0
-Id 0.0 -It udp -Il 2057 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
d -t 199.987961400 -HS 6 -Hd -2 -Ni 6 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.0
-Id 0.0 -It udp -Il 2057 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
+ 199.987986 1 0 udp 1020 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 34825 43611
- 199.987986 1 0 udp 1020 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 34825 43611
+ 199.987986 1 0 udp 988 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 34826 43612
- 199.988068 1 0 udp 988 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 34826 43612
s -t 199.990000000 -HS 1 -Hd -2 -Ni 1 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms ffff0000 -Mt 0
-Is 0.0 -Id 0.0 -It MAC802_16MAP -Il 74 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
r 199.990068 1 0 udp 1020 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 34825 43611
r 199.990147 1 0 udp 988 ----- 0 1.0.2.0 0.0.0.1 34826 43612
s -t 199.992550000 -HS 4 -Hd -2 -Ni 4 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.0
-Id 0.0 -It exp -Il 221 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
d -t 199.992594200 -HS 3 -Hd -2 -Ni 3 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.0
-Id 0.0 -It exp -Il 221 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
d -t 199.992594200 -HS 2 -Hd -2 -Ni 2 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.0
-Id 0.0 -It exp -Il 221 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
r -t 199.992594200 -HS 1 -Hd 4194304 -Ni 1 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 3000000 -Ms 8 -M
t 0 -Is 4194307.0 -Id 0.2 -It exp -Il 86 -If 0 -Ii 43610 -Iv 32
r -t 199.992594200 -HS 1 -Hd 4194304 -Ni 1 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 3000000 -Ms 8 -M
t 0 -Is 4194307.0 -Id 0.2 -It exp -Il 86 -If 0 -Ii 43613 -Iv 32
d -t 199.992594200 -HS 5 -Hd -2 -Ni 5 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.0
-Id 0.0 -It exp -Il 221 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
d -t 199.992594200 -HS 6 -Hd -2 -Ni 6 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.0
-Id 0.0 -It exp -Il 221 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
+ 199.992619 1 0 exp 86 ----- 0 1.0.3.0 0.0.0.2 4117 43610
- 199.992619 1 0 exp 86 ----- 0 1.0.3.0 0.0.0.2 4117 43610
+ 199.992619 1 0 exp 86 ----- 0 1.0.3.0 0.0.0.2 4118 43613
- 199.992626 1 0 exp 86 ----- 0 1.0.3.0 0.0.0.2 4118 43613
r 199.994626 1 0 exp 86 ----- 0 1.0.3.0 0.0.0.2 4117 43610
r 199.994633 1 0 exp 86 ----- 0 1.0.3.0 0.0.0.2 4118 43613
s -t 199.995000000 -HS 1 -Hd -2 -Ni 1 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms ffff0000 -Mt 0
-Is 0.0 -Id 0.0 -It MAC802_16MAP -Il 58 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
s -t 199.998653992 -HS 4 -Hd -2 -Ni 4 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 419
4307.0 -Id 0.2 -It exp -Il 66 -If 0 -Ii 43614 -Iv 32
s -t 199.999185190 -HS 3 -Hd -2 -Ni 3 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 419
4306.0 -Id 0.1 -It udp -Il 1000 -If 0 -Ii 43615 -Iv 32
s -t 199.999185190 -HS 3 -Hd -2 -Ni 3 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 419
4306.0 -Id 0.1 -It udp -Il 1000 -If 0 -Ii 43616 -Iv 32
s -t 199.999185190 -HS 3 -Hd -2 -Ni 3 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 419
4306.0 -Id 0.1 -It udp -Il 1000 -If 0 -Ii 43617 -Iv 32
s -t 199.999185190 -HS 3 -Hd -2 -Ni 3 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 419
4306.0 -Id 0.1 -It udp -Il 608 -If 0 -Ii 43618 -Iv 32
s -t 200.000000000 -HS 1 -Hd -2 -Ni 1 -NX 0.00 -Ny 0.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms ffff0000 -Mt 0
-Is 0.0 -Id 0.0 -It MAC802_16MAP -Il 58 -If 0 -Ii 0 -Iv 0
user@ubuntu:~/src/results$

```

Το αρχείο αυτό περιέχει γεγονότα, που αφορούν τη γέννηση, τη μετάδοση και την παραλαβή των πακέτων από τους διάφορους ασύρματους και ενσύρματους κόμβους του δικτύου. Για την αριθμητική επεξεργασία των δεδομένων αυτών, χρησιμοποιήθηκαν AWKscripts. Η γλώσσα AWK χρησιμοποιείται για την επεξεργασία γραμμών κειμένου και την εξαγωγή στοιχείων.

Η επεξεργασία γίνεται με τη χρήση ενός κεντρικού shscript (statistics.sh) το οποίο μετρά packetloss, jitter και delay. Τα επιμέρους AWKscript (measure-loss.awk, measure-delay.awk, measure-jitter.awk) τα οποία χρησιμοποιεί, υπάρχουν αναλυτικά στο παράρτημα της εργασίας. Το κεντρικό script παρατίθεται στην συνέχεια:

```
user@ubuntu:~/src/scripts$ cat statistics.sh
#!/bin/sh

#usage example
# ./statistics.sh ../results/tracefile.tr

#measure loss
grep -v 'MAC802_16MAP' $1 | grep ' 1.0.1.0 ' | awk -f measure-loss.awk
grep -v 'MAC802_16MAP' $1 | grep ' 1.0.2.0 ' | awk -f measure-loss.awk
grep -v 'MAC802_16MAP' $1 | grep ' 1.0.3.0 ' | awk -f measure-loss.awk
grep -v 'MAC802_16MAP' $1 | grep ' 1.0.4.0 ' | awk -f measure-loss.awk
grep -v 'MAC802_16MAP' $1 | grep ' 1.0.5.0 ' | awk -f measure-loss.awk

#measure delay
echo
echo "delay:"
grep -v 'MAC802_16MAP' $1 | awk -f measure-delay.awk > $1.delay
echo

#measure jitter
echo
echo "jitter:"
grep -v 'MAC802_16MAP' $1 | awk -f measure-jitter.awk >$1.jitter
user@ubuntu:~/src/scripts$
```

Εκτελώντας το statistics.sh παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

```
user@ubuntu:~/src/scripts$ ./statistics.sh ../results/wimax_40000000.3.tr
Source:1.0.1.0 packets sent:4545 lost:0
Source:1.0.2.0 packets sent:34823 lost:0
Source:1.0.3.0 packets sent:4118 lost:26
Source:1.0.4.0 packets sent:6 lost:0
Source:1.0.5.0 packets sent:6 lost:0
user@ubuntu:~/src/scripts$
```

Οι τιμές για το packetloss τυπώνονται στην οθόνη, ενώ οι τιμές για το jitter και delay αποθηκεύονται σε αρχεία της μορφής wimax\_40000000.3.tr.delay και wimax\_40000000.3.tr.jitter. Στα αρχεία αυτά υπάρχει αποθηκευμένη η πληροφορία για το jitter που παρουσιάζουν τα πακέτα από τους ασύρματους κόμβους προς το basestation, σε διάφορες χρονικές στιγμές.

Ακολουθούν παραδείγματα από τα περιεχόμενα των wimax\_40000000.3.tr.jitter και wimax\_40000000.3.tr.delay αντίστοιχα:



```
user@ubuntu:~/src/results$ tail -30 wimax_40000000.3.tr.jitter
source:1.0.2.0 199.399191 0.000082
source:1.0.2.0 199.399191 0.000082
source:1.0.2.0 199.399191 0.000081
source:1.0.2.0 199.399191 0.000082
source:1.0.2.0 199.399191 0.000081
source:1.0.2.0 199.399191 0.003352
source:1.0.2.0 199.399191 0.000082
source:1.0.2.0 199.399191 0.000082
source:1.0.2.0 199.399191 0.000081
source:1.0.2.0 199.399191 0.000082
source:1.0.2.0 199.399191 0.000081
source:1.0.2.0 199.399191 0.000082
source:1.0.2.0 199.399191 0.013696
source:1.0.3.0 199.418654 0.000001
source:1.0.2.0 199.432524 0.000000
source:1.0.2.0 199.432524 0.000082
source:1.0.2.0 199.432524 0.000043
source:1.0.3.0 199.438654 -0.000001
source:1.0.3.0 199.458654 -0.019993
source:1.0.2.0 199.465857 -0.000000
source:1.0.2.0 199.465857 0.000082
source:1.0.2.0 199.465857 0.000024
source:1.0.3.0 199.478654 0.000000
source:1.0.3.0 199.498654 0.024821
source:1.0.2.0 199.499190 -0.000000
source:1.0.2.0 199.499190 0.000082
source:1.0.2.0 199.499190 0.000082
source:1.0.2.0 199.499190 0.000081
source:1.0.2.0 199.499190 0.000059
source:1.0.3.0 199.51865user@ubuntu:~/src/results$ █
```

```
user@ubuntu:~/src/results$ tail -30 wimax_40000000.3.tr.delay
source:1.0.2.0: 199.299192 0.032066
source:1.0.2.0: 199.299192 0.032148
source:1.0.2.0: 199.299192 0.032230
source:1.0.2.0: 199.299192 0.032271
source:1.0.3.0: 199.318654 0.035972
source:1.0.2.0: 199.332525 0.017833
source:1.0.2.0: 199.332525 0.017915
source:1.0.2.0: 199.332525 0.017996
source:1.0.2.0: 199.332525 0.018005
source:1.0.3.0: 199.338654 0.015979
source:1.0.3.0: 199.358654 0.035972
source:1.0.2.0: 199.365858 0.024348
source:1.0.2.0: 199.365858 0.024429
source:1.0.2.0: 199.365858 0.024480
source:1.0.3.0: 199.378654 0.015979
source:1.0.3.0: 199.398654 0.025972
source:1.0.2.0: 199.399191 0.032755
source:1.0.2.0: 199.399191 0.032837
source:1.0.2.0: 199.399191 0.032919
source:1.0.2.0: 199.399191 0.033000
source:1.0.2.0: 199.399191 0.033082
source:1.0.2.0: 199.399191 0.033163
source:1.0.2.0: 199.399191 0.033245
source:1.0.2.0: 199.399191 0.033327
source:1.0.2.0: 199.399191 0.033408
source:1.0.2.0: 199.399191 0.033490
source:1.0.2.0: 199.399191 0.033571
source:1.0.2.0: 199.399191 0.036923
source:1.0.2.0: 199.399191 0.037005
source:1.0.2.0: 199.399191 0.03708user@ubuntu:~/src/results$ █
```

Από τα αρχεία αυτά, με επιλογή των γραμμών που μας ενδιαφέρουν κάθε φορά, γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων και η παραγωγή των ραβδογραμμάτων. Τα αριθμητικά αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

### 5.3 Αριθμητικά αποτελέσματα

#### 5.3.1.1 Σενάριο 1

Το Σενάριο 1 αφορά, τις αρχικές ρυθμίσεις που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αριθμητικά για αυτό το σενάριο λειτουργίας με χρονικό διάστημα 0 έως 200 sec:

Μέτρηση Packet loss:

Source:1.0.1.0 packets sent:4340 lost:0

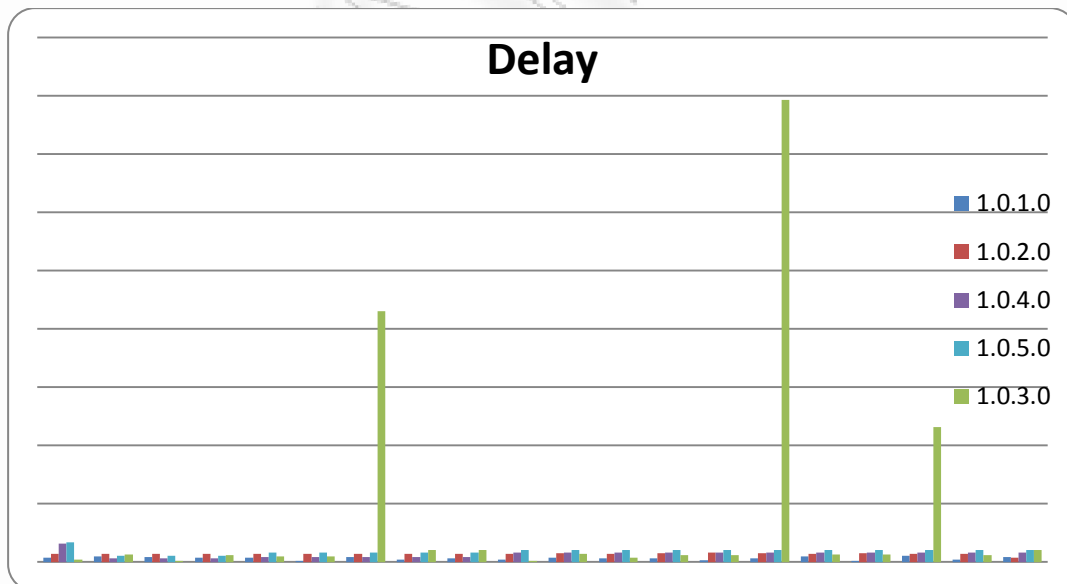
Source:1.0.2.0 packets sent:37960 lost:0

Source:1.0.3.0 packets sent:3610 lost:22

Source:1.0.4.0 packets sent:5 lost:0

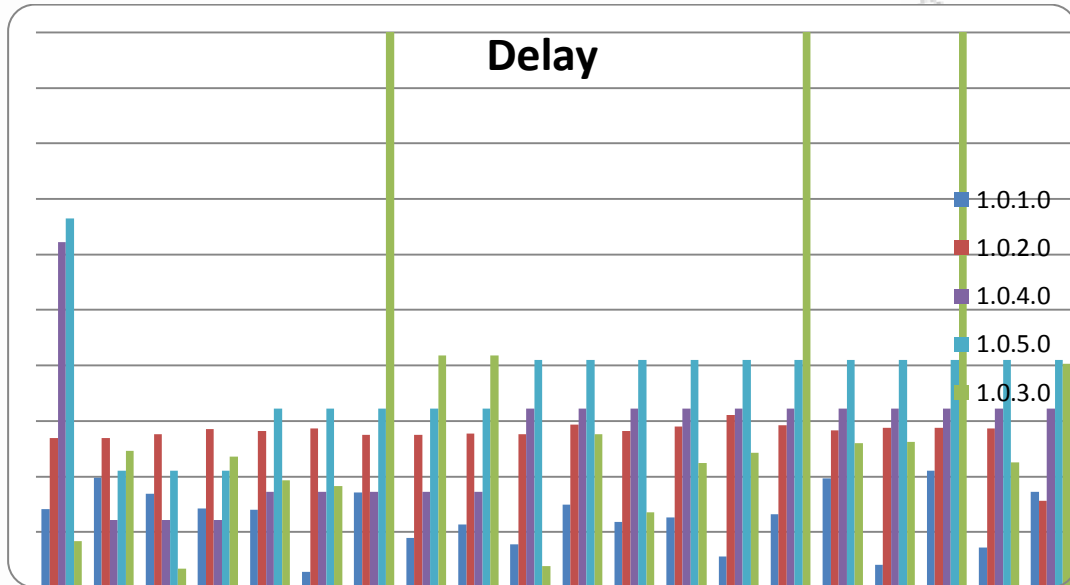
Source:1.0.5.0 packets sent:5 lost:0

Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay. Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι ο δρομολογητής QoS σε επίπεδο MAC του WiMAX φροντίζει ώστε, οι ροές να έχουν delay χαμηλό ανάλογα με την προτεραιότητά τους. Αυτό φαίνεται καλύτερα ιδιαίτερα στο επόμενο σχήμα με την κανονικοποίηση των 3 ακραίων τιμών που παρουσιάζει η ροή που σχετίζεται με το κόμβο 1.0.3.0.

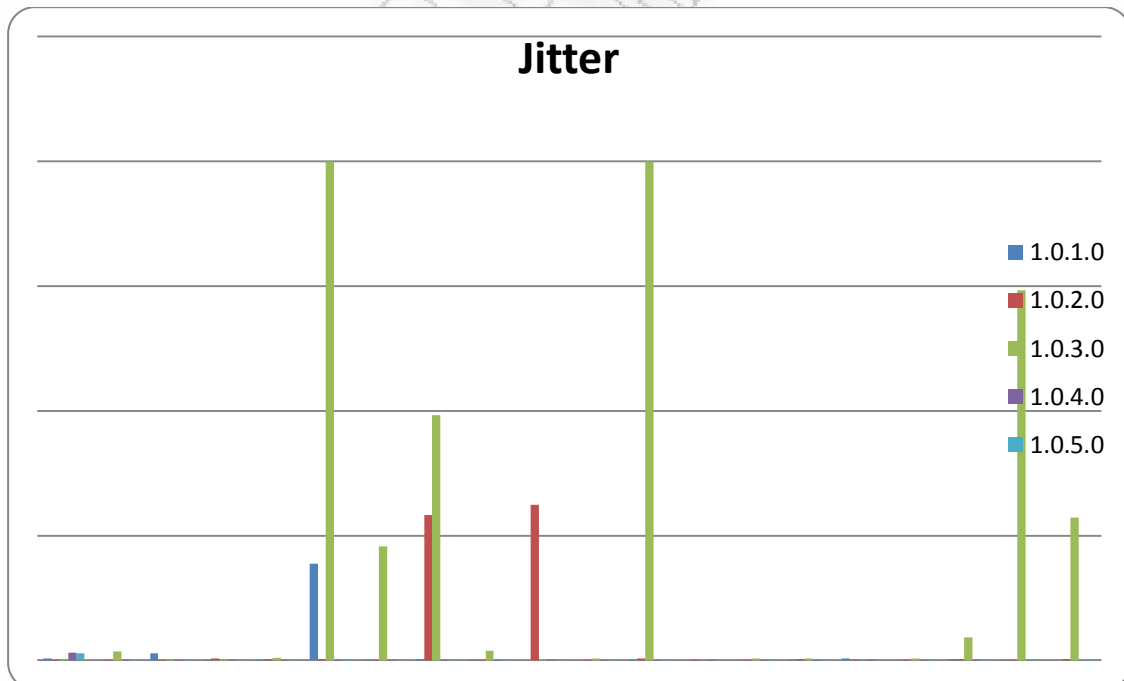


Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay με κανονικοποίηση για τις ακραίες τιμές του 1.0.3.0. Η επιτυχία του QoS φαίνεται στο γεγονός ότι, η ροή που σχετίζεται με το κόμβο 1.0.2.0 και είναι αποστολή βίντεο έχει πολύ χαμηλό delay. Η ροή αυτή έχει τα περισσότερα και μεγαλύτερα πακέτα λόγω της φύσης της (βίντεο), σε σχέση με τις

υπόλοιπες, παρόλα αυτά ο δρομολογητής QoS σε επίπεδο MAC του WiMAX φροντίζει να δίνει περισσότερα time-slots στα πακέτα αυτά και κρατά το delay χαμηλά. Για τον ίδιο λόγο, το delay για την υπηρεσία που έχει Best-Effort QoS είναι η μεγαλύτερη σε γενικές γραμμές.

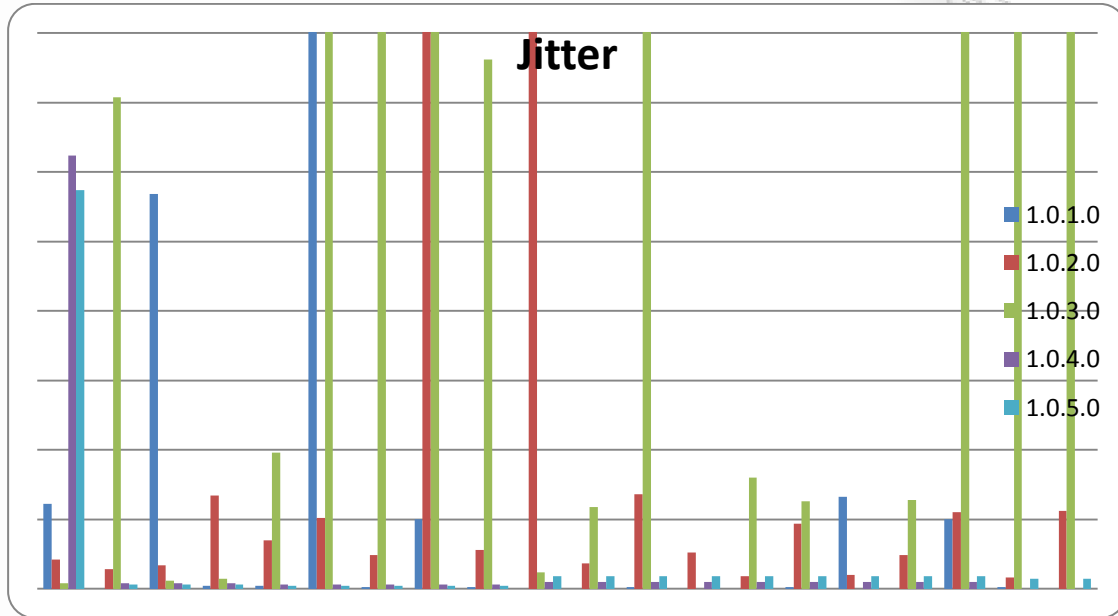


Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter. Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι, ο δρομολογητής QoS σε επίπεδο MAC του WiMAX φροντίζει ώστε οι ροές να έχουν delay χαμηλό ανάλογα με την προτεραιότητά τους. Αυτό φαίνεται καλύτερα ιδιαίτερα στο επόμενο σχήμα με την κανονικοποίηση των 3 ακραίων τιμών που παρουσιάζει ο ροή που σχετίζεται με το κόμβο 1.0.3.0.



Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter με κανονικοποίηση ακραίων τιμών του κόμβου 1.0.3.0. Παρατηρούμε ότι οι εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στο jitter (κυρίως φωνή

και κατά δεύτερο λόγο βίντεο) που σχετίζονται με τους κόμβους 1.0.1.0 και 1.0.2.0 έχουν εκτός εξαιρέσεων πολύ χαμηλό jitter. Παρατηρούμε δηλαδή, ότι ο δρομολογητής QoS σε επίπεδο MAC του WiMAX φροντίζει να έχουν οι υπηρεσίες αυτές καλή ποιότητα υπηρεσίας κρατώντας χαμηλά τα επίπεδα του jitter.



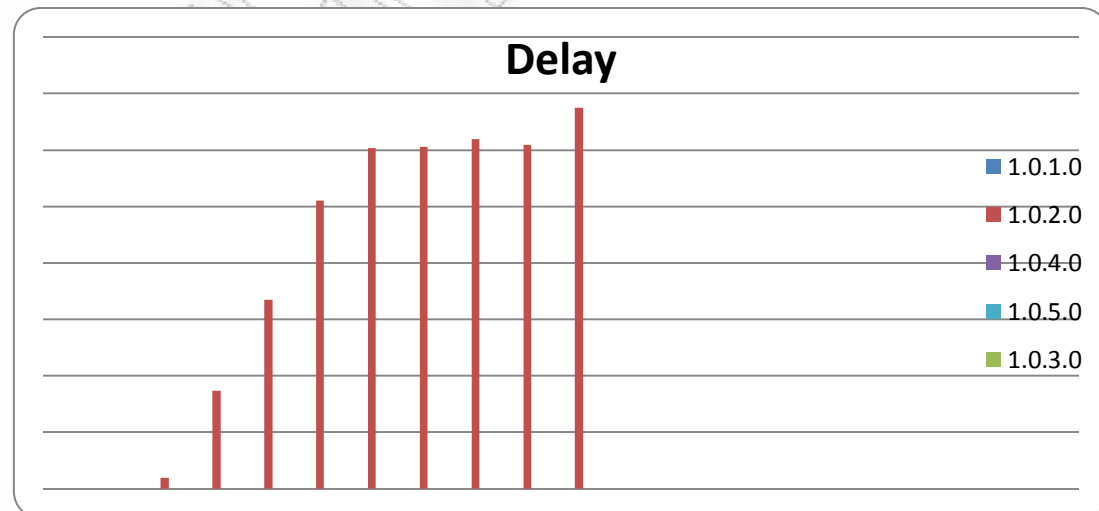
**5.3.1.2 Σενάριο 2**

Στο Σενάριο 2 προχωράμε σε μια νέα σειρά μετρήσεων με υποδεκαπλάσιο εύρος ζώνης με το αρχικό, δηλαδή το εύρος ζώνης είναι 4.000.000 bps. Παρατηρούμε ότι όλες οι ροές εκτός από αυτήν ανάμεσα στο σταθμό βάσης και το 1.0.2.0 (που έχει την περισσότερη κίνηση, μεγαλύτερη προτεραιότητα και αντιστοιχεί σε video) καταστέλλονται. Για χρονικό λοιπόν διάστημα μετρήσεων 0 ως 100 sec έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

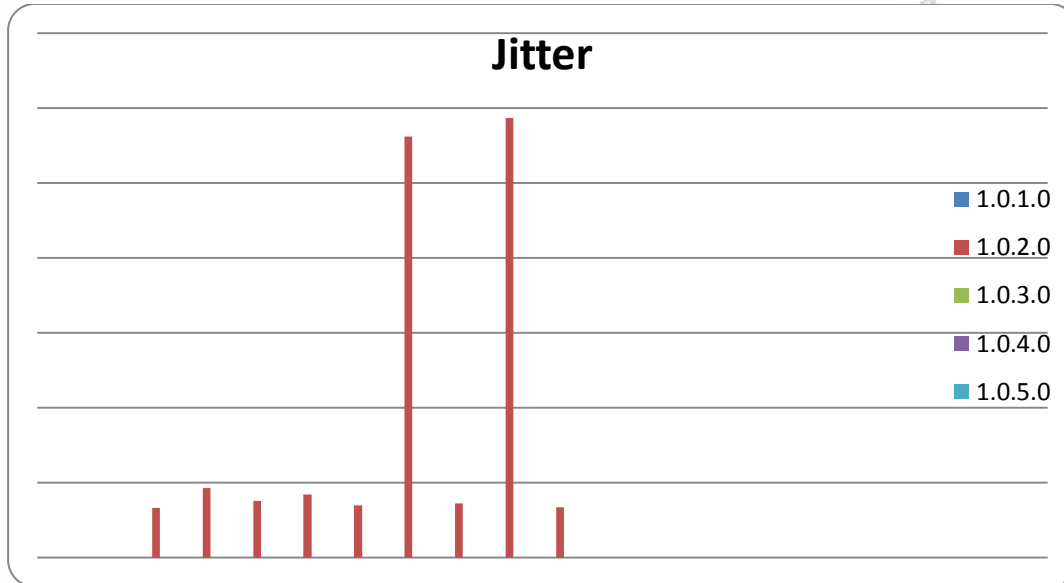
ΜέτρησηPacketloss:

```
Source:1.0.2.0 packetssent:16302 lost:0
```

Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay:



Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter:



Το σενάριο αυτό αποτελεί μια ακραία επίδειξη της χρήσης QoS σε ένα δίκτυο με πολύ μικρό εύρος ζώνης. Από τη στιγμή που δεν είναι δυνατό, λόγω πολύ μειωμένου εύρους ζώνης να εξυπηρετηθούν όλες οι υπηρεσίες, ο δρομολογητής του WiMAX δίνει χρονοσχισμές μονάχα στην υπηρεσία βίντεο, που έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα.

### 5.3.1.3 Σενάριο 3

Στο Σενάριο 3 προχωράμε σε νέα σειρά μετρήσεων με μειωμένο εύρος ζώνης σε σχέση με το αρχικό. Το εύρος ζώνης είναι 8.000.000 bps. Η τιμή έχει επιλεγεί έτσι ώστε να έχουμε αρκετό εύρος ζώνης ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν όλες οι εφαρμογές, αλλά αναγκαστικά με μειωμένη ποιότητα υπηρεσίας σε σχέση με το πρώτο σενάριο.

Μέτρηση Packetloss:

Source:1.0.1.0 packetssent:0 lost:0

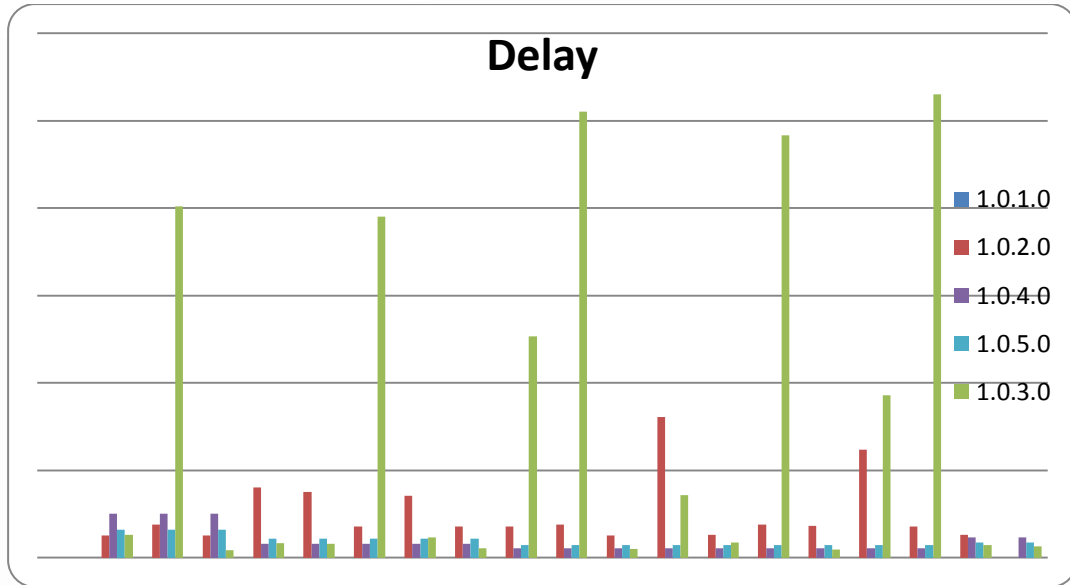
Source:1.0.2.0 packetssent:32768 lost:0

Source:1.0.3.0 packetssent:3989 lost:0

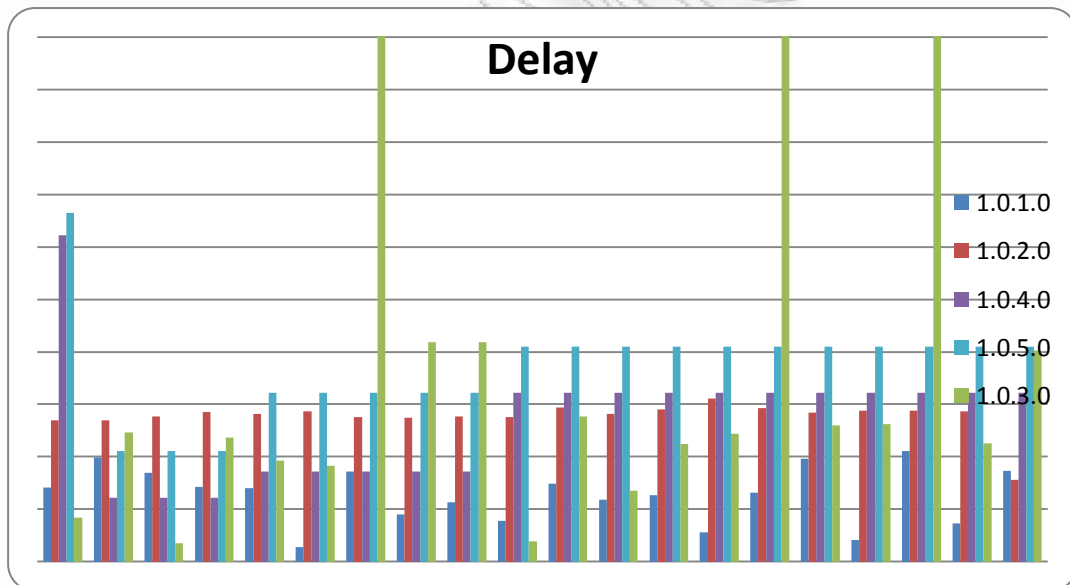
Source:1.0.4.0 packets sent:4 lost:0

Source:1.0.5.0 packetssent:4 lost:0

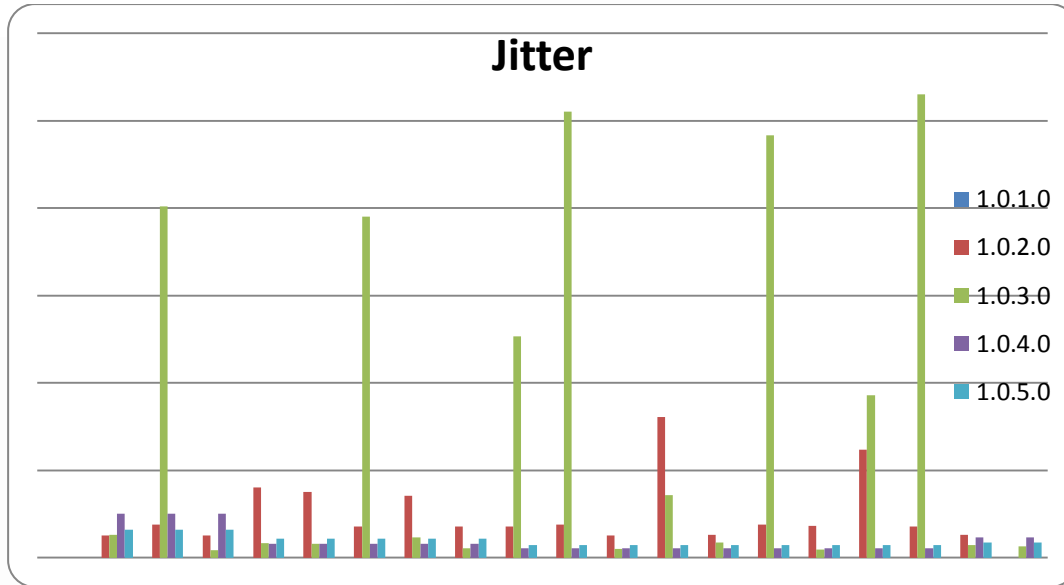
Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay. Φαίνεται ότι από τη μείωση του bandwidth έχει επηρεαστεί αρνητικά η απόδοση του δικτύου, καθώς έχει αυξηθεί η καθυστέρηση(delay) για όλες τις ροές, όχι όμως σε σημαντικό βαθμό.



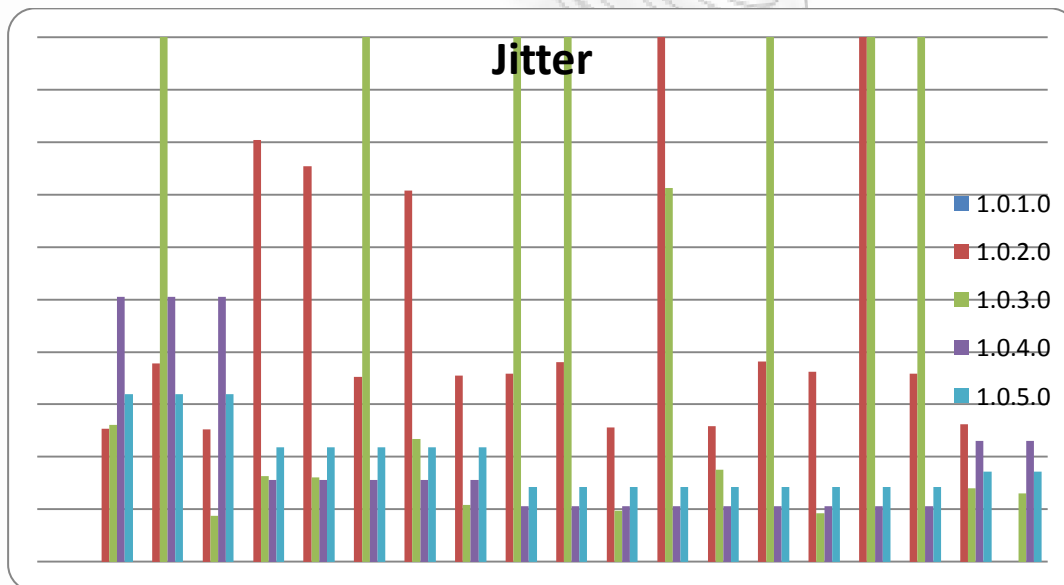
Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay με κανονικοποίηση για τις ακραίες τιμές του 1.0.3.0. Παρατηρούμε ότι η συμπεριφορά του δικτύου είναι ανάλογη με αυτή του σεναρίου 1, αλλά με αναλογικά αυξημένες τιμές.



Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter. Φαίνεται ότι από τη μείωση του bandwidth έχει επηρεαστεί αρνητικά η απόδοση του δικτύου, καθώς έχει αυξηθεί το jitter για όλες τις ροές. Αυτό είναι περισσότερο εμφανές στο επόμενο διάγραμμα, με την κανονικοποίηση των ακραίων τιμών του jitter για τον κόμβο 1.0.3.0.



Παρατηρούμε ότι η συμπεριφορά του δικτύου είναι αρκετά χειρότερη από αυτή του σεναρίου 1. Το jitter έχει αυξηθεί σημαντικά με τη μείωση του εύρους ζώνης, είναι της πολύ χειρότερο από το jitter στο σενάριο 1.Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter με κανονικοποίηση.



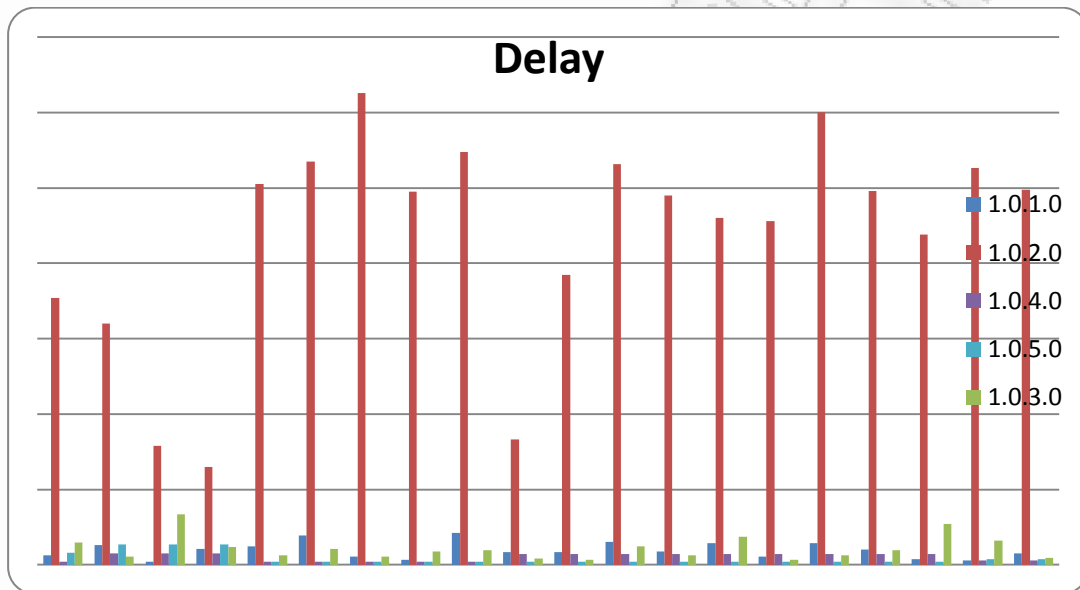
**5.3.1.4 Σενάριο 4**

Στο Σενάριο 4 προχωράμε σε μια νέα σειρά μετρήσεων με εύρος ζώνης ίσο με το αρχικό (40.000.000bps) αλλά με χρήση wifi αντί για wimax. Δεν υπάρχει QoS. Στα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν θα φανεί η διαφορά στη χρήση QoS, ειδικά στη ροή δεδομένων από τον κόμβο 1.0.2.0. Η ροή αυτή που αντιστοιχεί σε video έχει πλέον πολύ περισσότερο delay, καθώς δεν αποκτά προτεραιότητα έναντι των άλλων, όπως στην περίπτωση του WiMAX με QoS.

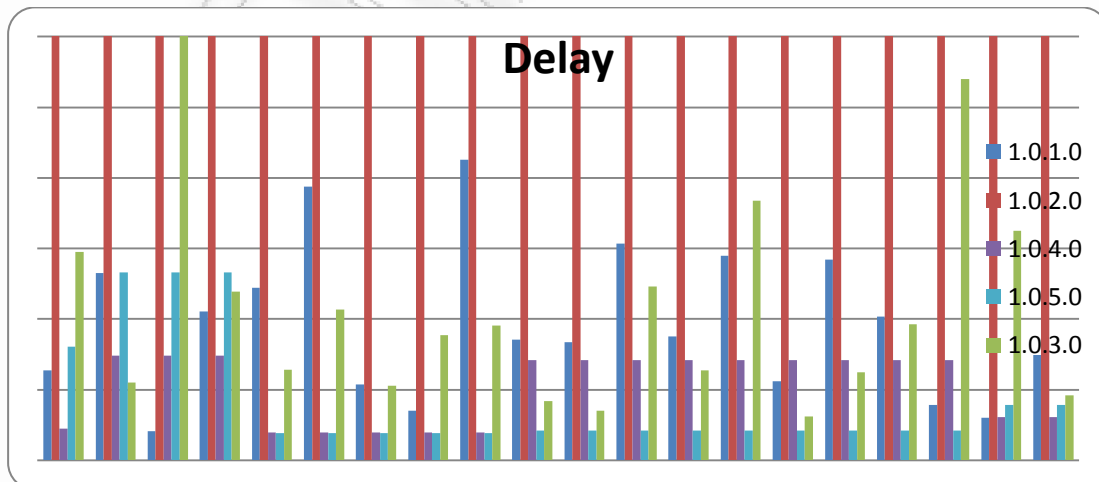
Μέτρηση Packet loss:

Source:1.0.1.0	packets sent:4340	lost:0
Source:1.0.2.0	packets sent:18723	lost:0
Source:1.0.3.0	packets sent:3633	lost:0
Source:1.0.4.0	packets sent:6	lost:0
Source:1.0.5.0	packets sent:6	lost:0

Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay. Χωρίς τη χρήση QoS, όπως ήταν αναμενόμενο, η ροή με τα περισσότερα και μεγαλύτερα πακέτα (βίντεο) έχει το μεγαλύτερο delay.

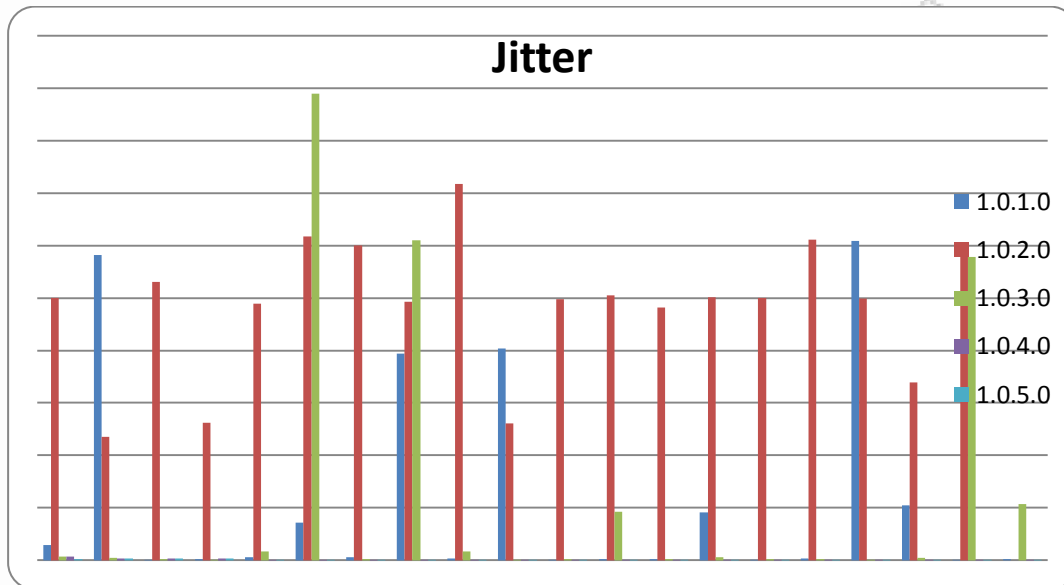


Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay με κανονικοποίηση για τις ακραίες τιμές του 1.0.2.0.





Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter. Αντίστοιχα, χωρίς τη χρήση QoS οι ροές με τα περισσότερα πακέτα, παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο jitter ( ροές βίντεο και φωνής από τους κόμβους 1.0.2.0 και 1.0.1.0).



### 5.3.1.5 Σενάριο 5

Στο Σενάριο 5 προχωράμε σε νέα σειρά μετρήσεων με εύρος ζώνης ίσο με το αρχικό (40.000.000bps) αλλά με χρήση 802.11e αντί για wimax. Υπάρχει QoS αλλά με τα εξής χαρακτηριστικά: Δεν γίνεται ρύθμιση παραμέτρων ανά υπηρεσία, αντίθετα, κάθε UDP ροή παίρνει διαφορετική προτεραιότητα. Άρα, εφαρμόζεται QoS στις τρεις πρώτες ροές που δεν είναι TCP. Στα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν θα φανεί η διαφορά στη χρήση QoS, ανάμεσα σε WiMAX και 802.11e.

Μέτρηση Packet loss:

Source:1.0.1.0 packets sent:4340 lost:0

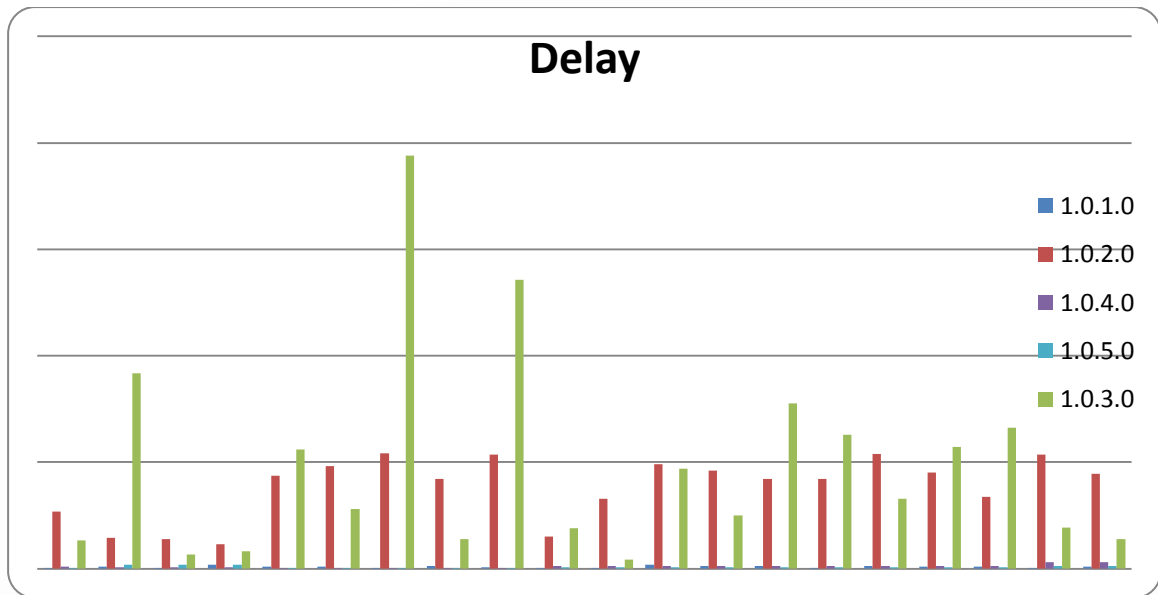
Source:1.0.2.0 packets sent:18723 lost:0

Source:1.0.3.0 packets sent:3633 lost:0

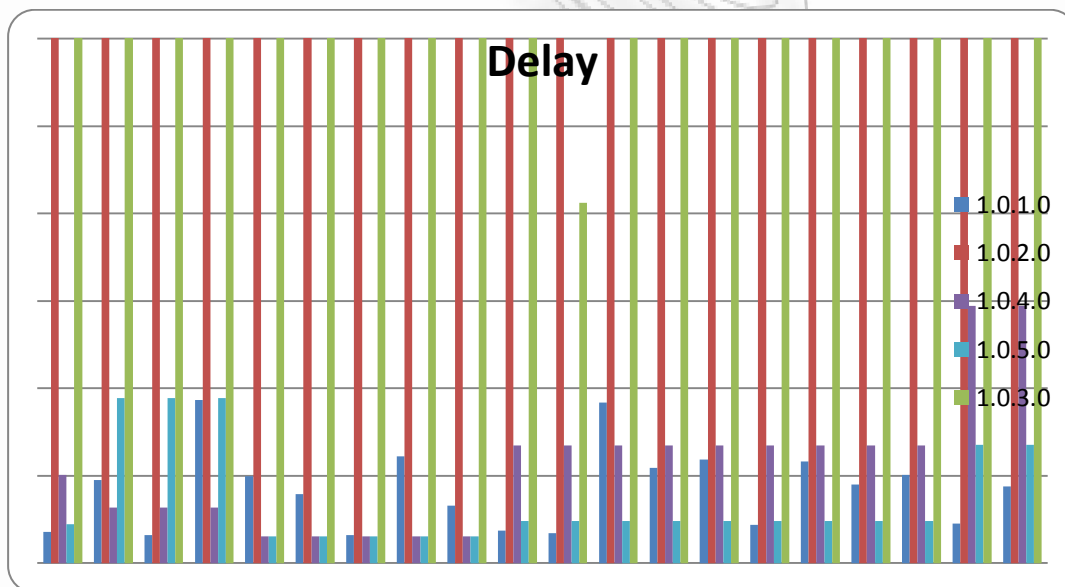
Source:1.0.4.0 packets sent:6 lost:0

Source:1.0.5.0 packets sent:6 lost:0

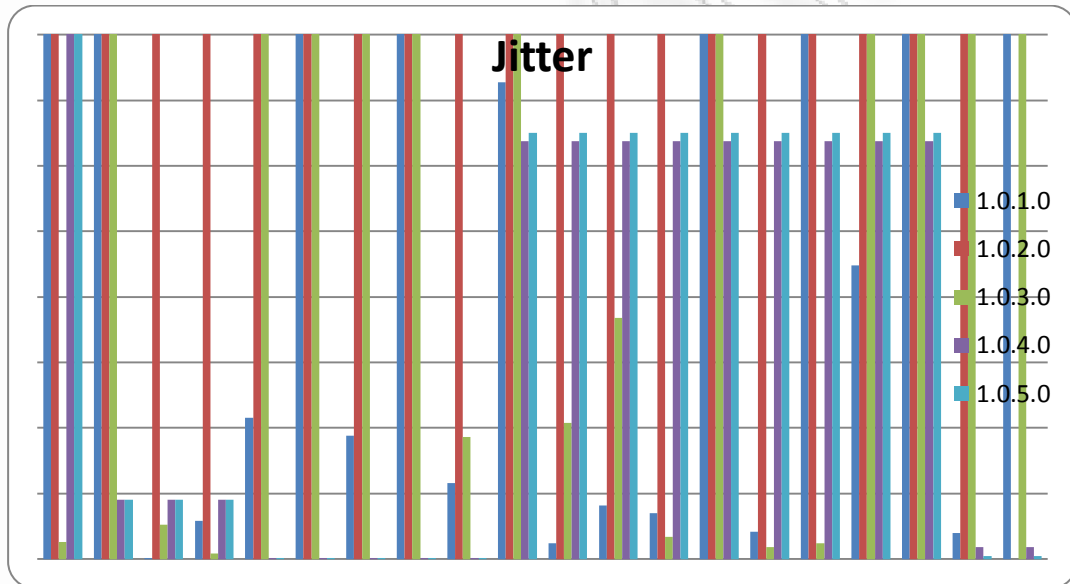
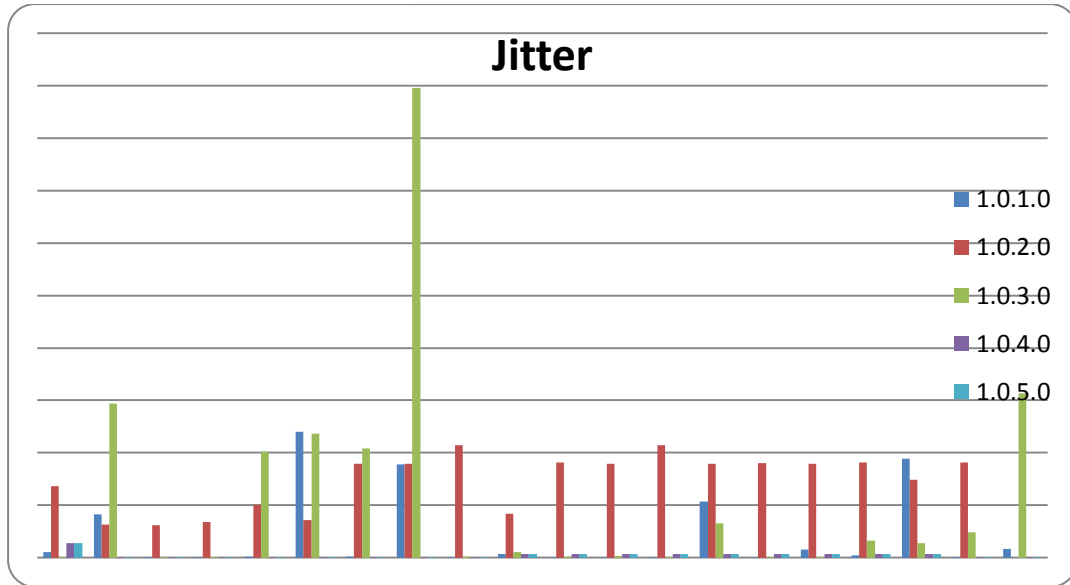
Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay. Ορισμός μεγαλύτερης προτεραιότητας ανάμεσα στις ροές από τα 1.0.2.0 και 1.0.3.0 αντίστοιχα, δίνει λιγότερη καθυστέρηση στην πρώτη που έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα.



Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay με κανονικοποίηση για τις ακραίες τιμές του 1.0.2.0.



Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter. Μικότερο jitter παρουσιάζουν οι ροές με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα (ροή φωνής – πρώτη προτεραιότητα και ροή βίντεο δεύτερη προτεραιότητα - από τους κόμβους 1.0.1.0 και 1.0.2.0 αντίστοιχα).



**5.3.1.6 Σενάριο 6**

Στο Σενάριο 6 προχωράμε σε νέα σειρά μετρήσεων με διαφορετική τοπολογία. Δημιουργείται ένα δίκτυο από 6 ασύρματους κόμβους και δοκιμάζεται η απόδοση των διαφορετικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε Wifi και WiMAX. Στο σενάριο αυτό οι κόμβοι είναι σταθεροί. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται είναι τα παρακάτω:

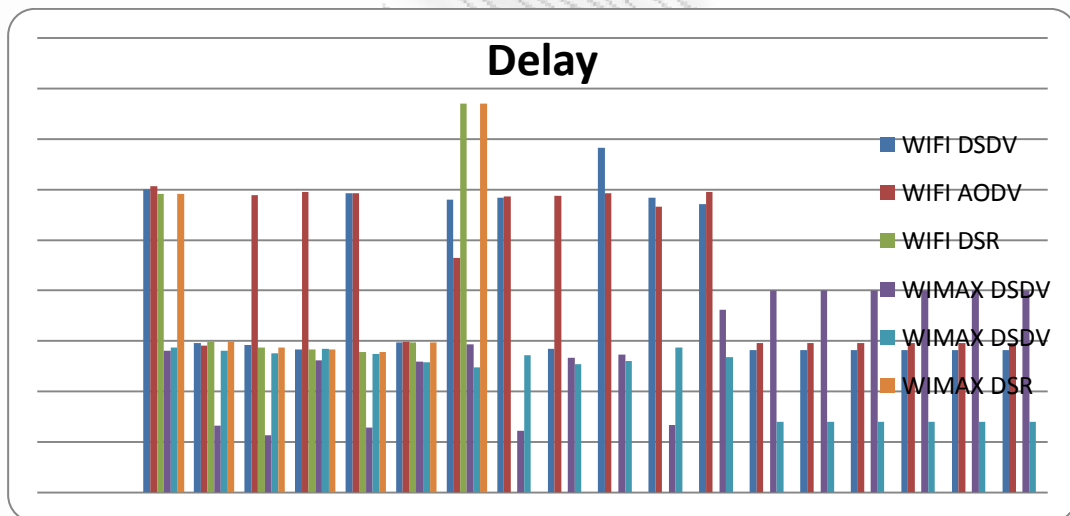
- Το DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector Routing ). Το πρωτόκολλο αυτό δρομολογεί βασιζόμενο σε πίνακες δρομολόγησης.Κάθε κόμβος διαθέτει ένα πίνακα με κόμβους προορισμούς καθώς και τα hops (επόμενα βήματα-κόμβους) που πρέπει να ακολουθήσει για να φτάσει στον καθένα.Επίσης κάθε εγγραφή του πίνακα δρομολόγησης έχει έναν ακολουθιακό αριθμό που την προσδιορίζει μοναδικά. Για την επιλογή της διαδρομής προς τον κόμβο προορισμού, τοDSDV χρησιμοποιεί δύο κριτήρια: τον χρόνο ανακάλυψης της διαδρομής και τομήκος της σε hops.Ο ακολουθιακός αριθμός της κάθε εγγραφής(διαδρομής)διακρίνει τις νεότερες(μεγαλύτερος αριθμός)από τις αρχαιότερες(μικρότερος αριθμός).Στην

περίπτωση που σε έναν κόμβο φθάσουν διαδρομές με τον ίδιο ακολουθιακό αριθμό θα επιλέξει εκείνη με το μικρότερο μήκος.

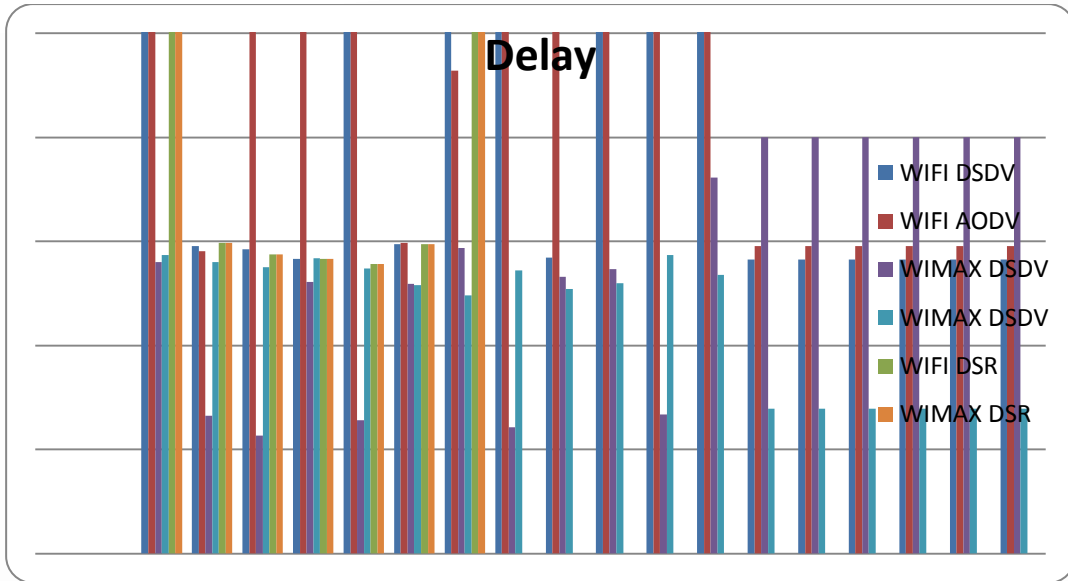
- Ad hoc on Demand Distance Vector (AODV). Το AODV αποτελεί μια βελτίωση του DSDV. Η ιδέα είναι να απαλλαγεί κανείς από την δαπανηρή διαδικασία της συντήρησης των πινάκων δρομολόγησης και οι διαδρομές να ανακαλύπτονται όταν ζητούνται.
- DSR (Dynamic Source Routing). Το DSR βελτιώνει ακόμη περισσότερο την ιδέα που χρησιμοποιείται στο AODV. Η διαφοροποίηση έγκειται στον τρόπο που χρησιμοποιούνται οι πίνακες δρομολόγησης (εμπρός/πίσω δείκτες). Έτσι αντί αυτές οι πληροφορίες να διαγράφονται μετά από κάθε επικοινωνία, διατηρούνται αποθηκευμένες στους ενδιαμέσους κόμβους σε μια προσωρινή μνήμη διαδρομών (route cache), για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Με αυτόν τον τρόπο ο κάθε κόμβος έχει έναν πίνακα δρομολόγησης προς διάφορους προορισμούς τοπικά στην δική του cache, για όσο διάστημα είναι ενεργή η κάθε εγγραφή. Το πλεονέκτημα της cache είναι ότι μπορεί έτσι να συντομεύσει τη διαδικασία αναζήτησης.

Για τις ανάγκες του πειράματος, παράχθηκαν δυο νέα tcscripts, με τυχαία παραγωγή κίνησης τύπου UDP (Constant Bit Rate - CBR) και ακίνητους ασύρματους κόμβους. Η απόδοση των πρωτοκόλλων μετρήθηκε με τη χρήση των μετρικών που χρησιμοποιήθηκαν και στις προηγούμενες ενότητες: packet loss, delay, jitter. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:

Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay

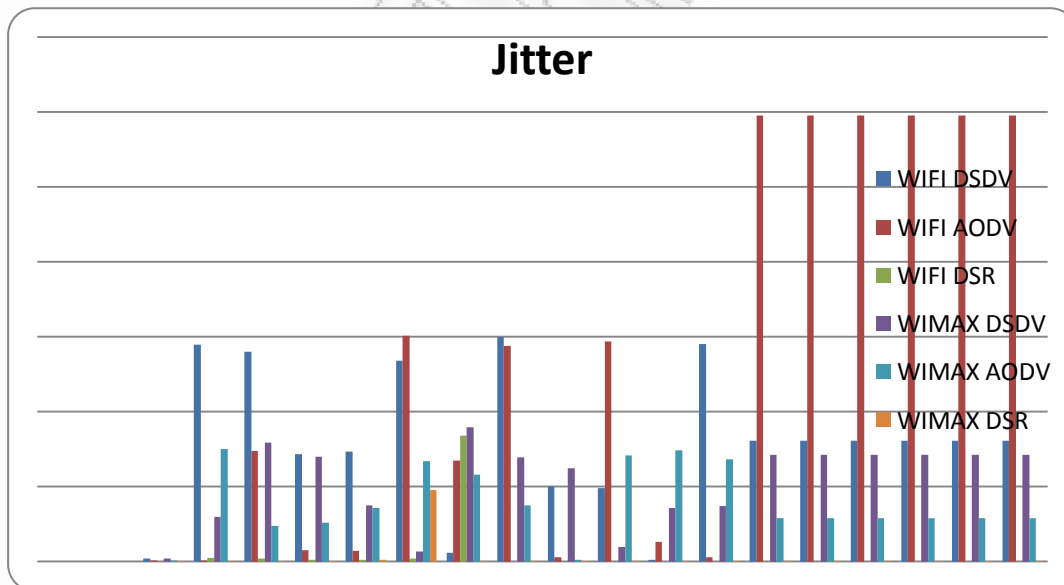


Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay με κανονικοποίηση για τις ακραίες τιμές του.

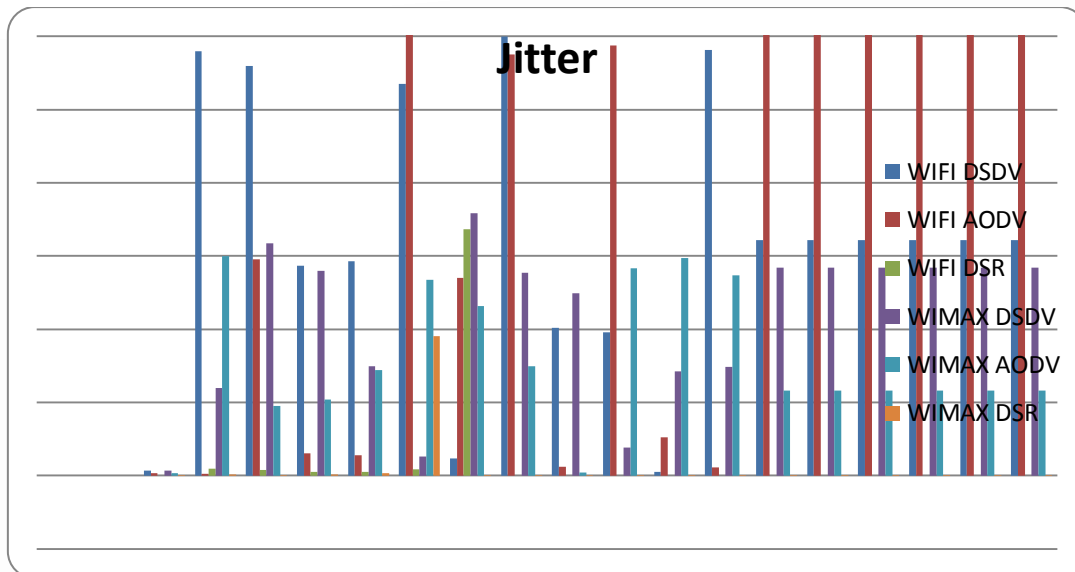


Παρατηρούμε παρόμοια απόδοση και στα τρία πρωτόκολλα, καθώς η έλλειψη κίνησης των κόμβων έχει ως αποτέλεσμα να μη χρειάζονται αλλαγές στην δρομολόγηση ανάμεσα στους κόμβους. Το WiMAX έχει ελαφρώς καλύτερη απόδοση, λόγω του καλύτερου χρονοδρομολογητή που χρησιμοποιεί.

Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter



Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter με κανονικοποίηση για τις ακραίες τιμές του.



Παρατηρούμε παρόμοια απόδοση και στα τρία πρωτόκολλα, καθώς η έλλειψη κίνησης των κόμβων έχει ως αποτέλεσμα να μη χρειάζονται αλλαγές στην δρομολόγηση ανάμεσα στους κόμβους. Το WiMAX έχει ελαφρώς καλύτερη απόδοση, λόγο του καλύτερου χρονοδρομολογητή που χρησιμοποιεί.

#### 5.3.1.7 Σενάριο 7

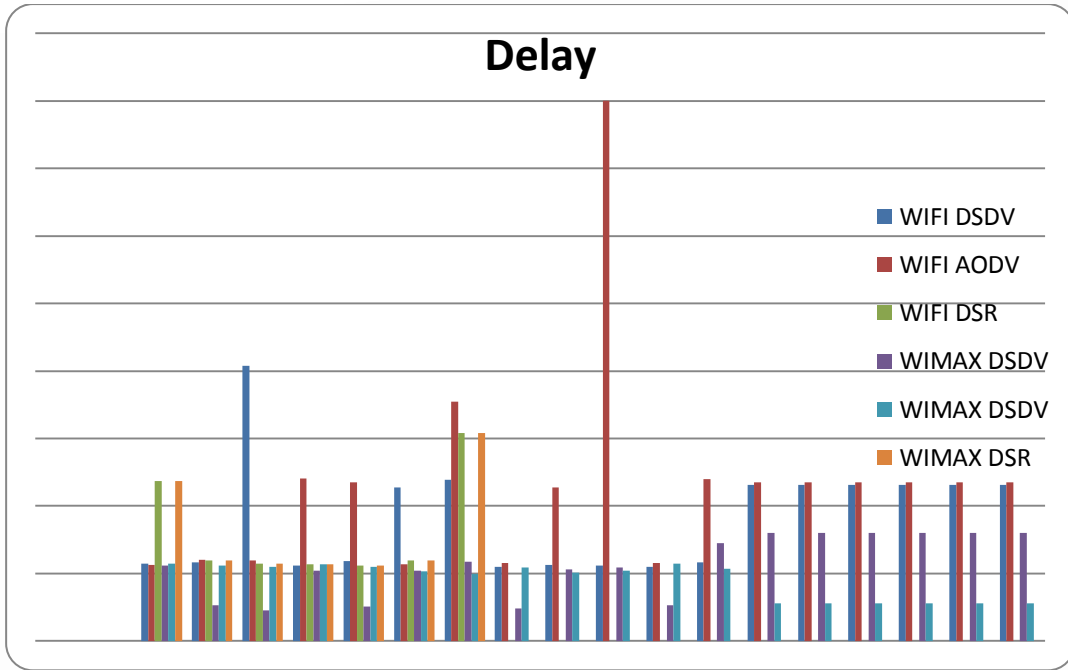
Στο Σενάριο 7 προχωράμε σε νέα σειρά μετρήσεων με κινούμενους κόμβους. Δημιουργείται ένα δίκτυο από 6 ασύρματους κόμβους και δοκιμάζεται η απόδοση των διαφορετικών προτοκόλλων δρομολόγησης σε Wifi και WiMAX.

Για τις ανάγκες του πειράματος, παράχθηκαν δυο νέα tcscripts, με τυχαία παραγωγή κίνησης τύπου UDP (ConstantBitRate- CBR) και κινούμενους ασύρματους κόμβους. Για τη δημιουργία κίνησης χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή του NS-2setdest που βρίσκεται στο inder-utils/cmuscen-gen/setdest. Ακολουθεί ένα παράδειγμα λειτουργίας της:

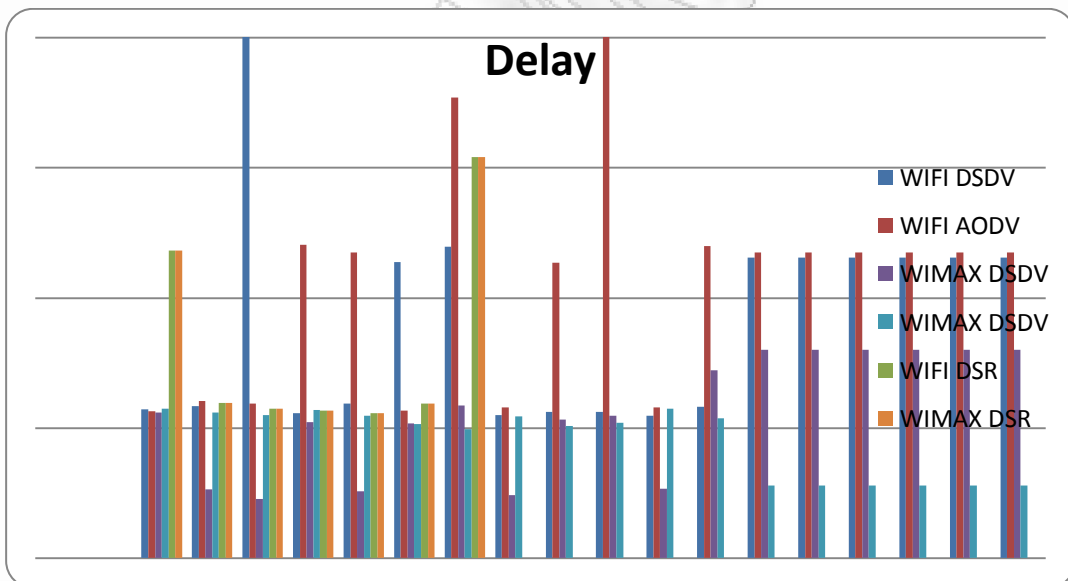
```
setdest [-nnum_of_nodes] [-ppausetime] [-smaxspeed] [-tsimtime] \  
[-x maxx] [-y maxy] > [outdir/movement-file]
```

Η απόδοση των προτοκόλλων μετρήθηκε με τη χρήση των μετρικών που χρησιμοποιήθηκαν και στις προηγούμενες ενότητες: packetloss, delay, jitter. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:

Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay:

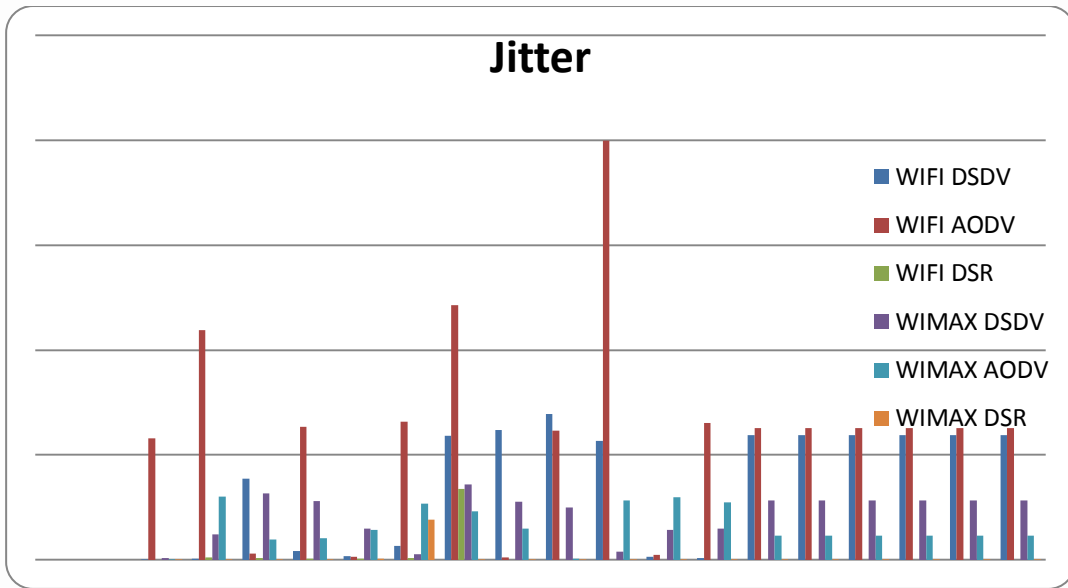


Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Delay με κανονικοποίηση για τις ακραίες τιμές του.

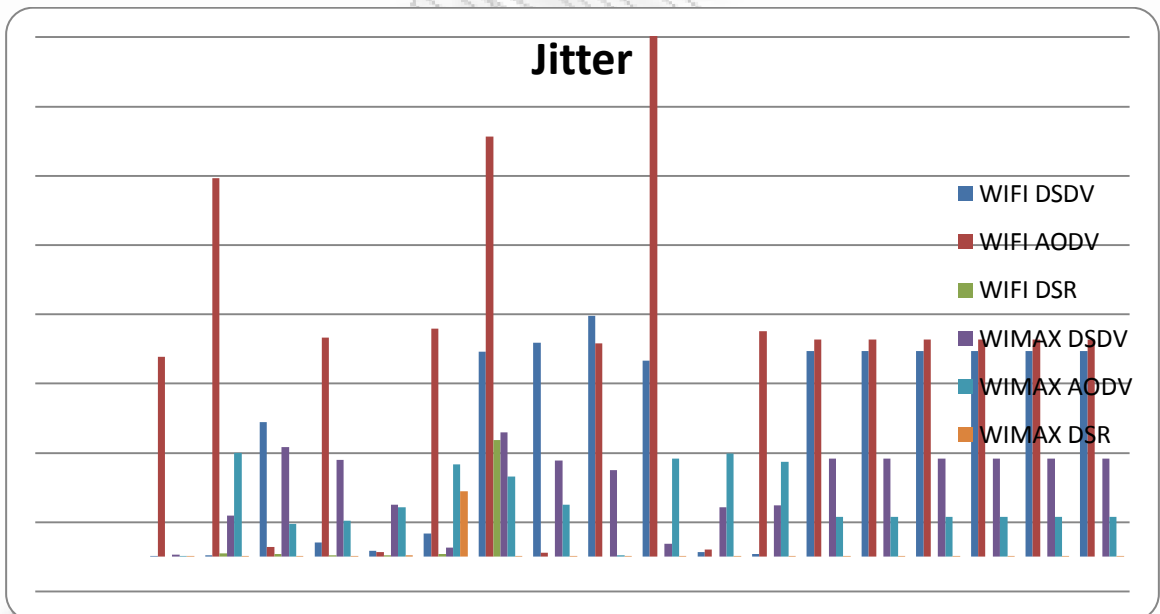


Παρατηρούμε διαφορετική απόδοση και στα τρία πρωτόκολλα, καθώς η κίνηση των κόμβων έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται αλλαγές στην δρομολόγηση ανάμεσα στους κόμβους. Για το λόγο αυτό, όπως περιμέναμε, το DSR έχει τελικά την καλύτερη απόδοση, καθώς πρόκειται για πιο εξελιγμένο πρωτόκολλο. Όσον αφορά τη σύγκριση ανάμεσα σε Wifi και WiMAX, το WiMAX έχει ελαφρώς καλύτερη απόδοση, λόγω του καλύτερου χρονοδρομολογητή που χρησιμοποιεί.

Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter :



Ακολουθεί διάγραμμα για τη μέτρηση του Jitter με κανονικοποίηση για τις ακραίες τιμές του.



Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά για το Delay. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε διαφορετική απόδοση και στα τρία πρωτόκολλα, καθώς η κίνηση των κόμβων έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται αλλαγές στην δρομολόγηση ανάμεσα στους κόμβους. Για το λόγο αυτό, όπως περιμέναμε, το DSR έχει τελικά την καλύτερη απόδοση, καθώς πρόκειται για πιο εξελιγμένο πρωτόκολλο. Όσον αφορά τη σύγκριση ανάμεσα σε Wifika και WiMAX, το WiMAX έχει ελαφρώς καλύτερη απόδοση, λόγω του καλύτερου χρονοδρομολογητή που χρησιμοποιεί.



## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το WiMAX μπορεί να λειτουργήσει είτε ως επέκταση, είτε ως βελτίωση του υπάρχοντος δικτύου, είτε ως ανεξάρτητο δίκτυο χωρίς να υπάρχουν περιορισμοί και ασυμβατότητες με τα άλλα μέσα. Επίσης είναι σχεδιασμένο για να μπορεί να προσφέρει ποιοτικές υπηρεσίες (μεταφορά ήχου, video και δεδομένων) με πολύ υψηλές ταχύτητες και για μεγάλη γεωγραφική και πληθυσμιακή κάλυψη.

Ο τελικός προορισμός του WiMAX είναι να γίνει μία παγκοσμίως διαθέσιμη και ευρέως χρησιμοποιημένη τεχνολογία. Όπως αναφέρει και στο διαφημιστικό της φυλλάδιο η Intel: Welcometoyourinternetfuture. Είναι τεχνολογία που επιτρέπει σε ένα φορητό σταθμό εργασίας να συνδυάζει τις ιδιότητες ενός κινητού τηλεφώνου και ενός ραδιοφωνικού πομπού, ώστε να εξασφαλίζει επικοινωνία με και από κάθε γωνιά του πλανήτη.

Κι αυτό επιτυγχάνεται και επειδή είναι εύκολη η υλοποίησή του (εγκατάσταση – λειτουργία – συντήρηση) και επειδή δεν απαιτεί μεγάλο κόστος και φυσικά εξαιτίας των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει έναντι όλων των υπολοίπων τεχνολογιών.

Η περιοχή της ασφάλειας αποτελεί ένα θέμα προς έρευνα, λόγω των ευπαθειών που παρουσιάζουν άλλωστε όλα τα ασύρματα δίκτυα.

Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα εργασία είχε ως στόχο να παρουσιάσει τα βασικά χαρακτηριστικά του WiMAX, την λειτουργία και την αρχιτεκτονική του.

Πραγματοποιήθηκε μια θεωρητική ανασκόπηση, η οποία καταρχήν παρουσίασε μια εισαγωγή στο WiMAX ξεκινώντας γενικά από τα ασύρματα δίκτυα και τα ευρυζωνικά δίκτυα εν γένει, καταλήγοντας στο πρότυπο 802.16 της IEEE που αποτελεί τη βάση του WiMAX.

Πέραν των ανωτέρω, έγινε και μια σημαντική αναφορά στην αρχιτεκτονική του WiMAX. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των δύο βασικών στρωμάτων του WiMAX, δηλαδή του φυσικού στρώματος και του στρώματος διασύνδεσης δεδομένων. Κάθε ένα από τα 2 αυτά στρώματα χαρακτηρίζεται από επιπλέον υπο – στρώματα, κάθε ένα από τα οποία επιτελεί διαφορετική λειτουργία, και τα οποία περιγράφηκαν.

Μετά το πέρας της θεωρητικής ανασκόπησης, παρουσιάστηκε το πειραματικό μέρος της διατριβής, το οποίο περιέχει καταρχήν μια σύντομη περιγραφή του εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε, δηλαδή του Network Simulator 2 – Προσομοιωτή Δικτύου. Εν συνεχεία, περιγράφεται το πώς έγινε η προσομοίωση ασύρματου δικτύου WiMAX με τη χρήση του εν λόγω πακέτου λογισμικού, καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά της τοπολογίας των δικτύων που προσομοιώθηκαν αλλά και των σεναρίων δικτυακής κίνησης που εξετάστηκαν. Τέλος, παρουσιάστηκαν τα αντίστοιχα αριθμητικά αποτελέσματα.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι πρόκειται για μια τεχνολογία που μπορεί να χαρακτηριστεί σαν η τεχνολογία του άμεσου μέλλοντος. Πρόκειται για μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας με εμβέλεια χιλιομέτρων (θεωρητικά έως 50 χλμ.) αντί λίγων μέτρων και ταχύτητες που συγκρίνονται με αυτές των καλωδιακών συνδέσεων (έως 70 Mbps).

Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι με λίγες κεραιές Wi-MAX, μπορεί να καλυφθεί με ασύρματο τρόπο μία ολόκληρη πόλη, και οι πολίτες της θα έχουν πρόσβαση στο Internet, δυνατότητες video κλήσεων, αλλά και ομιλίας μέσω VoIP (Voice over Internet Protocol) όπου και αν βρίσκονται, ακόμη και εν κινήσει.

Από τη στιγμή μάλιστα που η σύνδεση θα είναι ασύρματη και ανεξάρτητη από το που βρίσκεται ο εκάστοτε χρήστης (ακριβώς όπως αυτήν τη στιγμή μπορεί ο κάθε χρήστης να χρησιμοποιεί για παράδειγμα το κινητό του τηλέφωνο σχεδόν οπουδήποτε), θα μπορεί με το

πρότυπο αυτό να μετακομίζει, παραδείγματος χάριν, χωρίς να τον ανησυχούν καλώδια, τηλεφωνικοί αριθμοί και άλλες τέτοιες λεπτομέρειες.

Όπως ακριβώς σήμερα, όλοι οι φορητοί υπολογιστές διαθέτουν κάρτα ασύρματης σύνδεσης WiFi, έτσι στο (όχι και τόσο μακρινό) μέλλον, οι αντίστοιχες κάρτες θα υποστηρίζουν και WiMAX, με αποτέλεσμα να μπορεί ο κάθε χρήστης να είναι πάντοτε συνδεδεμένος. Για την ακρίβεια, η Intel έχει ήδη υλοποιήσει αυτή τη λύση στην νέα πλατφόρμα Centrino 2. Ο μόνος λόγος που δεν την χρησιμοποιούν ακόμα οι τελικοί χρήστες είναι το ότι δεν υπάρχουν δίκτυα WiMAX ώστε να μπορούν να συνδεθούν για να το εκμεταλλευτούν.

Με δεδομένο ότι υπό προϋποθέσεις το WiMAX θα μπορούσε να αντικαταστήσει την κινητή τηλεφωνία, είναι φανερό ότι η διάδοσή του δεν θα είναι και τόσο εύκολη. Παρ' όλα αυτά, ακόμη και στην Ελλάδα λειτουργούν πιλοτικά δίκτυα WiMAX όπως αυτό του ΟΤΕ στο Άγιο Όρος, αλλά και αυτό του Εργαστηρίου Έρευνας και Ανάπτυξης Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων στην Κρήτη που καλύπτει την πόλη του Ηρακλείου.

Μια άλλη εξίσου σημαντική εφαρμογή στην Ελλάδα ήταν ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών. Η εφαρμογή αυτή είναι αξιοσημείωτη κυρίως λόγω των απαιτήσεων σε ποιότητα των υπηρεσιών και το μεγάλο αριθμό ιδιωτικών και εταιρικών χρηστών σε περιορισμένο χώρο.

Τα υπάρχοντα συστήματα WiMAX (WiMAX και Mobile WiMAX) βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.16e όπως τροποποιήθηκε ήδη από τον Δεκέμβριο του 2005 και προβλέπει μία σειρά από βελτιώσεις σε θέματα κάλυψης, ασφάλειας, υποστήριξης VoIP, μετακίνηση χρηστών κ.α.

Σε κάθε περίπτωση, ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του WiMAX είναι και η παροχή ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε επίπεδο MAC – είναι ίσως το χαρακτηριστικό – κλειδί, που επιτρέπει στο πρότυπο αυτό να συγκεντρώνει την πλειάδα αυτή των χαρακτηριστικών που το κάνουν να αναφέρεται σαν το δίκτυο του μέλλοντος.

Στο πειραματικό μέρος της εργασίας, πραγματοποιήθηκε μελέτη του QoS που προσφέρεται από το WiMAX με τη χρήση του προσομοιωτή δικτύου NS και ενός επιπρόσθετου WiMAXModule. Σε μια τοπολογία με ασύρματους και ενσύρματους κόμβους, δοκιμάστηκε η απόδοση του WiMAX και συγκρίθηκε με χρήση απλού WiFi αλλά και με το πρότυπο 80211e. Παρουσιάστηκαν επτά σενάρια με διαφορετικό διαθέσιμο εύρος ζώνης και χαρακτηριστικά QoS και μετρήθηκε η απόδοση του δικτύου. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι με τη χρήση του WiMAX επιτυγχάνεται υψηλή ποιότητα υπηρεσίας, καθώς ο αλγόριθμος φροντίζει να διαθέσει το εύρος ζώνης με βάση τη προτεραιότητα που έχει κάθε κλάση/εφαρμογή.

Πιο συγκεκριμένα, οι παράγοντες που χαρακτηρίζουν την απόδοση του δικτύου και για τους οποίους έγιναν μετρήσεις με τη χρήση του προσομοιωτή NS είναι οι παρακάτω :

- Η Καθυστέρηση (delay): Πρόκειται για τον χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο για να φτάσει μέσω του δικτύου από τον αποστολέα στον παραλήπτη του.
- Η Διακύμανση καθυστέρησης (jitter): είναι η διακύμανση της μέσης χρονικής απόστασης μεταξύ διαδοχικών πακέτων σε μια συγκεκριμένη ροή.
- Οι Απώλειες πακέτων (loss): είναι το ποσοστό απώλειας πακέτων (loss) που σημειώνεται εξαιτίας της υπερχειλίσης των θέσεων μνήμης στις ουρές αναμονής των δρομολογητών, είτε λόγω αλλοίωσης/συγκρούσεων στο φυσικό μέσο

Τα επτά διαφορετικά σενάρια που εξετάστηκαν ήταν τα παρακάτω:

- Εύρος ζώνης 40.000.000 Mbps στο ασύρματο κανάλι και χρήση QoS με WiMAX
- Εύρος ζώνης 4.00000 Mbps στο ασύρματο κανάλι και χρήση QoS με WiMAX
- Εύρος ζώνης 8.00000 Mbps στο ασύρματο κανάλι και χρήση QoS με WiMAX
- Εύρος ζώνης 40.00000 Mbps στο ασύρματο κανάλι με χρήση WiFi και χωρίς QoS
- Εύρος ζώνης 40.00000 Mbps στο ασύρματο κανάλι με χρήση WiFi και QoS (80211e – EDCA)
- Δημιουργείται ένα δίκτυο από 6 ασύρματους κόμβους και δοκιμάζεται η απόδοση των διαφορετικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε Wifi και WiMAX
- Δημιουργείται ένα δίκτυο από 6 ασύρματους κόμβους και δοκιμάζεται η απόδοση των διαφορετικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε Wifi και WiMAX

Στο Σενάριο 1 που το εύρος ζώνης είναι αρκετό για τις ανάγκες όλων των εφαρμογών, παρατηρήσαμε ότι ο δρομολογητής QoS σε επίπεδο MAC του WiMAX φροντίζει ώστε οι ροές να έχουν delay και jitter χαμηλό, ανάλογα με την προτεραιότητά τους.

Στο σενάριο 2, όπου το εύρος ζώνης είναι εξαιρετικά ανεπαρκές για τις ανάγκες των εφαρμογών, παρατηρήσαμε ότι όλες οι ροές εκτός από αυτήν ανάμεσα στο σταθμό βάσης και το τον κόμβο με την μεγαλύτερη προτεραιότητα (βίντεο) καταστέλλονται από το χρονοδρομολογητή του WiMAX.

Το σενάριο αυτό αποτελεί μια ακραία επίδειξη της χρήσης QoS σε ένα δίκτυο με πολύ μικρό εύρος ζώνης. Από τη στιγμή που δεν είναι δυνατό, λόγω πολύ μειωμένου εύρους ζώνης να εξυπηρετηθούν όλες οι υπηρεσίες, ο δρομολογητής του WiMAX δίνει χρονοσχισμές μονάχα στην υπηρεσία βίντεο, που έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα

Στο Σενάριο 3, παρατηρήσαμε ότι η μείωση του διαθέσιμου εύρους ζώνης έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του δικτύου, καθώς αυξήθηκαν η καθυστέρηση και διακύμανση σε όλες τις ροές, όχι όμως σε σημαντικό βαθμό.

Παράλληλα, παρατηρήσαμε ότι η υπηρεσία φωνής, επιτυγχάνει χαμηλό jitter, ενώ η υπηρεσία βίντεο επιτυγχάνει χαμηλή καθυστέρηση, σύμφωνα με τις κλάσεις QoS στις οποίες ανήκουν. Συνεπώς, στο σενάριο αυτό, φαίνεται και η παραμετροποίηση ανάμεσα στις διαφορετικές κλάσεις, με το WiMAX ανάλογα με τις ανάγκες και την προτεραιότητα κάθε εφαρμογής, να στοχεύει στη μείωση της διακύμανσης είτε/και της καθυστέρησης.

Στο σενάριο 4, η έλλειψη QoS είχε ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της καθυστέρησης στην ροή που αντιστοιχεί σε βίντεο, καθώς δεν είχε πλέον προτεραιότητα έναντι των άλλων, όπως στην περίπτωση του WiMAX με QoS. Με το πείραμα αυτό, φάνηκε πως η χρήση QoS του WiMAX επηρεάζει σημαντικά την κατανομή εύρους ζώνης ανάμεσα σε διαφορετικές εφαρμογές.

Στο σενάριο 5, η χρήση QoS είχε παρόμοια αποτελέσματα με την χρήση QoS στο wimax. Οι ροές που είχαν υψηλή προτεραιότητα, είχαν μικρό delay. Η ποιότητα υπηρεσίας όμως στο 80211e με τη χρήση του EDCA που εξετάστηκε στο πείραμα αυτό, δεν είναι τόσο παραμετροποιήσιμη όπως στο Wimax. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει καλύτερες πιθανότητες αποστολής πακέτων (άρα και μικρότερο delay/jitter) σε ροές με υψηλή προτεραιότητα, αλλά δεν παρέχει υψηλή παραμετροποίηση όπως στο Wimax.

Στο σενάριο 6, προχωράμε σε νέα σειρά μετρήσεων με διαφορετική τοπολογία. Δημιουργείται ένα δίκτυο από 6 ασύρματους κόμβους και δοκιμάζεται η απόδοση των διαφορετικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε Wifi και WiMAX. Παρατηρούμε παρόμοια απόδοση και στα τρία πρωτόκολλα, καθώς η έλλειψη κίνησης των κόμβων έχει ως αποτέλεσμα να μη χρειάζονται αλλαγές στην δρομολόγηση ανάμεσα στους κόμβους. Το WiMAX έχει ελαφρώς καλύτερη απόδοση, λόγω του καλύτερου χρονοδρομολογητή που χρησιμοποιεί.

Στο Σενάριο 7 προχωράμε σε νέα σειρά μετρήσεων με κινούμενους κόμβους. Δημιουργείται ένα δίκτυο από 6 ασύρματους κόμβους και δοκιμάζεται η απόδοση των διαφορετικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε Wifi και WiMAX. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε διαφορετική απόδοση και στα τρία πρωτόκολλα, καθώς η κίνηση των κόμβων έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται αλλαγές στην δρομολόγηση ανάμεσα στους κόμβους. Για το λόγο αυτό, όπως περιμέναμε, το DSR έχει τελικά την καλύτερη απόδοση, καθώς πρόκειται για πιο εξελιγμένο πρωτόκολλο. Όσον αφορά τη σύγκριση ανάμεσα σε Wifi και WiMAX, το WiMAX έχει ελαφρώς καλύτερη απόδοση, λόγω του καλύτερου χρονοδρομολογητή που χρησιμοποιεί.

Συνοψίζοντας το πειραματικό μέρος, θα μπορούσε κανείς να επιβεβαιώσει τη πρακτική αξία που έχει η παροχή ποιότητας υπηρεσίας σε εφαρμογές με ανάγκες σε χαμηλή καθυστέρηση και διακύμανση όπως οι εφαρμογές βίντεο και φωνής, οι οποίες τρέχουν σε πραγματικό χρόνο.

Η ύπαρξη διαφορετικών κλάσεων και η δυνατότητα παραμετροποίησης της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας ανάλογα με τις ανάγκες κάθε εφαρμογής φάνηκε και από τα πειράματα ότι είναι δυνατόν να επιτευχθεί με το WiMAX.

Παράλληλα, θα μπορούσε κανείς να τονίσει την δυνατότητα που δίνει ο προσομοιωτής δικτύων NS-2 για την εκτέλεση πειραμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν τη χρήση και την λειτουργία δικτυακών πρωτοκόλλων.

**ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ**

- [1] <http://www.slideshare.net/madnanmirza/what-is-Wi-max>
- [2] [www.wifinotes.com](http://www.wifinotes.com)
- [3] Μετάδοση Δεδομένων και Δίκτυα Υπολογιστών I & II, Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια- Τομέας Πληροφορικής & Δικτύων Υπολογιστών- Συγγραφείς: Τσιλγκιρίδης Θεόδωρος, Αλεξίου Γιώργος, Μπούρας Χρήστος, Μαμαλούκας Χρήστος, Αγγελόπουλος Παναγιώτης.
- [4] [http://dimitra-makri.blogspot.com/2009/03/blog-post\\_5709.html](http://dimitra-makri.blogspot.com/2009/03/blog-post_5709.html).
- [5] Understanding Wi-Fi and Wi-MAX as Metro-Access Solutions, Intel, 2004.
- [6] <http://www.activesolutions.gr>
- [7] [ 8 ] [9] [10] <http://www.hellascams.gr>
- [11] <http://www.broadband.cti.gr>
- [12] Wi-MAX Standards and Security. Ahson, S. & Ilyas M (2006) New York: Taylor & Francis.
- [13] <http://www.nethellas.gr>
- [14] [15] <http://www.epaggelmaties.com>
- [16] <http://en.wikipedia.org/wiki/Wifi>
- [17] <http://blog.motiwala.com/wp-content/uploads/2007/06/wifi-web.jpg>
- [18] [www.plusnet.gr](http://www.plusnet.gr)
- [19] [http://www.deasy.gr/do-it/277,WiFi\\_Pleonekthmata.html](http://www.deasy.gr/do-it/277,WiFi_Pleonekthmata.html)
- [20] [http://www.pctechguide.com/74MobileComms\\_WiMAX.htm](http://www.pctechguide.com/74MobileComms_WiMAX.htm)
- [21] <http://www.wireless-home-network-made-easy.com>
- [22] Wi-MAX HandBook, Frank Ohrtman, Building 802.16 Wireless Network, 2005
- [23] E. Sedoyeka<sup>1</sup>, Z. Hunaiti<sup>1</sup>, M. Al Nabhan<sup>2</sup> and W. Balachandran<sup>2</sup> <sup>1</sup> Anglia Ruskin University <sup>2</sup> Brunel University
- [24] White Paper, IEEE STD 802.16
- [25] [http://www.cygnuscom.com/pdf/WP\\_PN\\_Article.pdf](http://www.cygnuscom.com/pdf/WP_PN_Article.pdf) MAC CPS UL Sub-Frame Structure
- [26] Fujitsu microelectronics America, INC 2006
- [27] Dr. Jeffrey G Andrews Wireless Networking and Communications Group (WNCG) Dept. of Electrical and Computer Engineering The University of Texas at Austin Wireless Broadband with Wi-MAX: Hype and Reality
- [28] HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Faculty of Electronics, Communications and Automation Department of Communications and Networking Mwesiga W. Barongo Dimensioning Mobile WIMAX in the Access and Core Network: A case Study.

- [29] Understanding Wi-MAX and 3G for Portable/Mobile Broadband Wireless, Technical White Paper, Intel
- [30] Wi-MAX – Broadband Wireless Access Ahmed Younus Technical University of Munich, Germany
- [31] Understanding Wi-MAX and 3G for Portable/Mobile Broadband Wireless, Technical White Paper, Intel
- [32] Wi-max forum white paper
- [33][www.conniq.com](http://www.conniq.com)
- [34][35][36][37][38][39][40][41][42][43][44][45][46][47] Westech Communications Inc. on behalf of the WiMAX Forum, 'Can WiMAX Address Your Applications?', WiMAX Forum, 2005.
- [48]<http://wimax-made-simple.blogspot.com/2009/07/advantages-of-wimax.html>
- [49]<http://www.home-wlan.com/disadvantages-of-wimax.html>
- [50] Wi-MAX, making ubiquitous high-speed data services a reality, White Paper, Alcatel
- [51][http://www.arubanetworks.com/pdf/solutions/CS\\_Beijing-Olympics.pdf](http://www.arubanetworks.com/pdf/solutions/CS_Beijing-Olympics.pdf)
- [52][53][http://wimaxtaipei.applications\\_detail.php](http://wimaxtaipei.applications_detail.php)
- [54] [[http://wimaxtaipei.tw/index\\_2011.php#](http://wimaxtaipei.tw/index_2011.php#)].
- [55] Wi-MAX connections by application by 2014 (Source: Senza Fili Consulting, 2008)
- [56] Wi-MAX connections by application by 2014 (Source: Senza Fili Consulting, 2008)
- [57] <http://Wi-MAX-made--simple.blogspot.com/2011/04/multimedia-over-mobile-Wi-MAX-Wi-MAX.html>.
- [58] Mobile WiMAX-Part 1:Overview and Performance Evaluation, WiMAX Forum, March 2006
- [59] The WiMAX Forum Certified Program for Fixed WiMAX,WiMAX Forum, May 2006
- [60]<http://Wi-MAX-made--simple.blogspot.com/2011/04/multimedia-over-mobile-Wi-MAX-Wi-MAX.html>.
- [61] WiMAX and WiFi Together White Paper: Motorola and Intel
- [62] IEEE 802.16cc-99/13, "Comparison of Propagation Models". <http://www.ieee802.org>
- [63] <http://www.arabianbusiness.com/intel-deploys-wimax-in-katrina-disaster-zone-210716.ht>
- [64]<http://www.goingwimax.com/wimax-in-japan-links-survivors-with-outside-world-12869/>
- [65]<http://www.muniwireless.com>
- [66]Κέρδος online 8/2/2011
- [67][http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12\\_4/12\\_4x/12\\_4\\_15x/asn\\_gw/ASNoverview.html](http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_4/12_4x/12_4_15x/asn_gw/ASNoverview.html)
- [68][http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12\\_4/12\\_4x/12\\_4\\_15x/asn\\_gw/ASNoverview.html](http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_4/12_4x/12_4_15x/asn_gw/ASNoverview.html)
- [69] [http://www.hellascams.gr/grc/wi-fi\\_calculators/knowledge\\_base/WiMAX.html](http://www.hellascams.gr/grc/wi-fi_calculators/knowledge_base/WiMAX.html)

[http://wimaxtaipei.applications\\_detail.php](http://wimaxtaipei.applications_detail.php)

[70] <http://www.home-wlan.com/disadvantages-of-wimax.html>

[71] [http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax\\_network\\_model.htm](http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_network_model.htm)

[72] <http://www.multilingualarchive.com/ma/enwiki/el/WiMAX>

[73] Simulation Modelling Practice and Theory Juliana Freitag Borin, Nelson L.S da Fonseca (2008).

[74] [http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived\\_issues/ipj\\_11-4/114\\_wifi.html](http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_11-4/114_wifi.html)

[75] Stallings, W. (2007). Ασύρματες επικοινωνίες και δίκτυα. Αθήνα: Μ. Γκιούρδας

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1) J. G. Andrews, A. Ghosh and R. Muhamed, Fundamentals of Wi-MAX: Understanding Broadband Wireless Networking (Prentice Hall PTR, 2007).
- 2) COMMUNITY WIRELESS MESH NETWORK DESIGN TRANZEO WIRELESS TECHNOLOGIES CONFIDENTIAL PAGE 2, General Information Version 1.1: 20 June 2007.
- 3) Χρήστος Ι. Μπούρας 2004 «Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεση Δικτύων» - Πανεπιστημιακές Σημειώσεις
- 4) Wi-MAX Standards and Security Edited by SYED AHSON MOHAMMAD ILYAS, 2008.
- 5) Business Case Models for Fixed Broadband Wireless Access based on WiMAX Technology and the 802.16 Standard October 10, 2004 Copyright 2004 WiMAX Forum.
- 6) <http://www.Intel.com/netcomms/technologies/wimax/index.htm>.
- 7) <http://us.fujitsu.com/wimax>.
- 8) <http://thefutureofthings.com/articles/6361/the-future-of-Wi-max.html>.
- 9) <http://www.Wi-max.com/network-planning/Wi-max-a-construction>
- 10) <http://www.howstuffworks.com/Wimax1.htm>.
- 11) <http://www.broadband.gr>.
- 12) <http://www.adslgr.com/forum/showthread.phpt=69739>.
- 13) The Promise of Wi-MAX, Motorola, 2005
- 14) [http://www.webopedia.com/TERM/W/Wi\\_Fi.html](http://www.webopedia.com/TERM/W/Wi_Fi.html).
- 15) <http://www.wimaxforum.org>
- 16) <http://www.openwimax.org>
- 17) <http://www.wimaxreview.com>

White Papers

WiMAX Forum. Telephony's Complete Guide to WiMAX

WiMAX Forum. WiMAX's technology for LOS and NLOS environments

WiMAX Forum. IEEE 802.16a Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access

WiMAX Forum. Business Case Models for Fixed Broadband Wireless Access based on WiMAX Technology and the 802.16 Standard



**Παράρτημα – Κώδικας****Wifi.tcl**

```

#-----#
#       Define Options           #
#-----#

global opt
set opt(chan)    Channel/WirelessChannel; # channel type
set opt(prop)    Propagation/TwoRayGround; # radio-propagation model
set opt(netif)   Phy/WirelessPhy;        # network interface type
set opt(mac)     Mac/802_11;             # MAC type
set opt(ifq)     Queue/DropTail/PriQueue; # Interface queue type
set opt(ll)      LL;                     # Link layer type
set opt(ant)     Antenna/OmniAntenna;    # Antenna type
set opt(x)       250;                    # X dimension of the topography
set opt(y)       250;                    # Y dimension of the topography
set opt(ifqlen)  50;                     # max packet in ifq

set opt(adhocRouting) DSDV;              # non ad hoc routing
set opt(stop)      200;                  # simulation time
set opt(n-bs)      1;                   # number of bs nodes
set opt(n-ugs)     1;                   # number of nodes with ugs connections
set opt(n-rtps)    1;                   # number of nodes with rtps connections
set opt(n-ertps)   1;                   # number of nodes with rtps connections
set opt(n-nrtps)   1;                   # number of nodes with nrtps connections
set opt(n-be)      1;                   # number of nodes with be connections
set opt(n-nodes)   [expr $opt(n-ugs)+$opt(n-rtps)+$opt(n-ertps)+$opt(n-nrtps)+$opt(n-be)];
set bseed          [lindex $argv 0];
set BW             40000000;            #channel bandwidth

global defaultRNG
$defaultRNG seed predef [expr $bseed*2]

Phy/WirelessPhy set bandwidth_ $BW

#QoS parameters
#UGS
set ugs_grant_interval 0.020; # data grants interval (seconds)
set ugs_grant_size     66

```

```

#rtPS
set rtps_grant_interval 0.020; # unicast request grant interval (seconds)
set rtps_delay 0.100; # maximum delay request (seconds)
set rtps_aggreq_interval 5; # aggregate request interval (in number of requests)
set rtps_minBW 200000 ; # minimum bandwidth request (bytes) - baseball video

#ertPS
set ertps_grant_interval 0.020; # data grants interval (seconds)
set ertps_grant_size 200; # initial data grant interval (bytes)

#nrtPS
set nrtps_grant_interval 0.050; # unicast request grant interval (seconds)
set nrtps_minBW 200000; # minimum bandwidth request (bytes)
set nrtps_aggreq_interval 10; # aggregate request interval (in number of requests)

#BE
set be_grant_interval 2.0; # unicast request grant interval (seconds)
set be_aggreq_interval 10; # aggregate request interval (in number of requests)

set ns_ [new Simulator]
# set up for hierarchical routing
$ns_ node-config -addressType hierarchical
AddrParams set domain_num_ 2 ;# number of domains - one for wired and one for wireless
lappend cluster_num 1 1 ;# number of clusters in each domain
AddrParams set cluster_num_ $cluster_num
lappend eilastlevel 1 [expr $opt(n-nodes) + $opt(n-bs)] ;# number of nodes in each cluster
AddrParams set nodes_num_ $eilastlevel

# set trace files
set tracefd [open "results/wifi_ $opt(adhocRouting).$bseed.tr" w]
$ns_ trace-all $tracefd

# create topography object
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)

# create God

```

```

create-god [expr $opt(n-nodes) + $opt(n-bs)]

# create wired node
set W [$ns_ node 0.0.0]

$ns_ node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
  -llType $opt(ll) \
  -macType $opt(mac) \
  -ifqType $opt(ifq) \
  -ifqLen $opt(ifqlen) \
  -antType $opt(ant) \
  -propInstance [new $opt(prop)] \
  -phyType $opt(netif) \
  -channel [new $opt(chan)] \
  -topoInstance $topo \
  -wiredRouting ON \
  -agentTrace ON \
  -routerTrace OFF \
  -macTrace ON

set temp {1.0.0 1.0.1 1.0.2 1.0.3 1.0.4 1.0.5 1.0.6 1.0.7 1.0.8 1.0.9 1.0.10}

#BS is the cmts node
set BS [$ns_ node [lindex $temp 0]]
$BS random-motion 0

#configure-channel "updatarate ticks-per-minislot maxburst upstream-overhead downdatarate
downstream-overhead"
#$BS configure-channel $BW 8 1500 72 $BW 32
#configure-mapparams time-covered map-interval num-contention-slots-permap
#num-management-slots-permap bkoff-start bkoff-end proportion map_lookahead
#$BS configure-mapparams 0.005 0.005 1 1 3 8 0 0
#configure-mgmtparams sync-msg-interval rng-msg-interval ucd-msg-interval
#$BS configure-mgmtparams 2.0 1.0 3.0

#configure for mobilenodes
set opt(mac) Mac/802_11
$ns_ node-config -wiredRouting OFF \
  -macType $opt(mac)

```

```

#channel configuration for subscriber stations
for {set j 0} {$j < $opt(n-nodes)} {incr j} {
  set node_($j) [ $ns_ node [lindex $temp [expr $j+1]] ]
  $node_($j) base-station [AddrParams addr2id [$B$ node-addr]]
  # configure-ss priority rng_msg_interval ss_id debug on/off
  #Note: we will number the SS's from 1 on up ...
  # $node_($j) configure-ss 1 1.0 $j 0
  # configure-channel "updatarate ticks maxburst upstream-overhead downdatarate
  downstream-overhead"
  # $node_($j) configure-channel $BW 8 1500 72 $BW 32
}

#create links between wired and BS nodes
$ns_ duplex-link $W $BS 100Mb 2ms DropTail

#-----#
#          Configure the traffic flows          #
#-----#

set ugs_init 0
set ugs_end $opt(n-ugs)

set rtps_init $ugs_end
set rtps_end [expr $ugs_end+$opt(n-rtps)]

set ertps_init $rtps_end
set ertps_end [expr $rtps_end+$opt(n-ertps)]

set nrtps_init [expr $ertps_end]
set nrtps_end [expr $ertps_end+$opt(n-nrtps)]

set be_init [expr $nrtps_end]
set be_end $opt(n-nodes)

#set up UGS uplink flows
set ugs_ul_sink [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $W $ugs_ul_sink

for {set j $ugs_init} {$j < $ugs_end} {incr j} {

```

```

set udp_ul_($j) [new Agent/UDP]
$udp_ul_($j) set packetSize_ 66
$udp_ul_($j) set class_ 0
$ns_ attach-agent $node_($j) $udp_ul_($j)
$ns_ connect $udp_ul_($j) $ugs_ul_sink
set voice_ul_($j) [new Application/Traffic/Exponential]
$voice_ul_($j) set packetSize_ 66
#rate -> packets 66 bytes in length are generated at fixed intervals of 20ms
$voice_ul_($j) set rate_ 26.4Kb
$voice_ul_($j) set burst_time_ 1.2
$voice_ul_($j) set idle_time_ 1.8
$voice_ul_($j) attach-agent $udp_ul_($j)
set rng_ul_($j) [new RNG]
$rng_ul_($j) seed predef [expr $bseed+$j]
$voice_ul_($j) use-rng $rng_ul_($j)
}

# random number generator
set gna_ugs_ul [new RNG]
$gna_ugs_ul seed predef [expr $bseed + 1]

for {set j $ugs_init} {$j < $ugs_end} {incr j} {
    set stime [expr 0.1 + [$gna_ugs_ul uniform 0 1]]
    $ns_ at $stime "$voice_ul_($j) start"
}

# set up rtPS uplink flows
set rtps_ul_sink [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $W $rtps_ul_sink

set trace_file [new Tracefile]
$trace_file filename nsvideo_baseball.dat

for {set j $rtps_init} {$j < $rtps_end} {incr j} {
    set udp_ul_($j) [new Agent/UDP]
    # $udp_($j) set packetSize_ $packet_size
    $ns_ attach-agent $node_($j) $udp_ul_($j)
    $ns_ connect $udp_ul_($j) $rtps_ul_sink
    set video_ul_($j) [new Application/Traffic/Trace]
}

```

```

$video_ul_($j) attach-tracefile $trace_file
$video_ul_($j) attach-agent $udp_ul_($j)
}

# random number generator
set gna_rtps_ul [new RNG]
$gna_rtps_ul seed predef [expr $bseed + 2]

for {set j $rtps_init} {$j < $rtps_end} {incr j} {
    set stime [expr 0.1 + [$gna_rtps_ul uniform 0 1]]
    $ns_ at $stime "$video_ul_($j) start"
}

#set up ertPS uplink flows
set ertps_ul_sink [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $W $ertps_ul_sink
for {set j $ertps_init} {$j < $ertps_end} {incr j} {
    set udp_ul_($j) [new Agent/UDP]
    $ns_ attach-agent $node_($j) $udp_ul_($j)
    $ns_ connect $udp_ul_($j) $ertps_ul_sink
    set voip_ul_($j) [new Application/Traffic/Exponential]
    $voip_ul_($j) set packetSize_ 66
    #rate -> packets 66 bytes in length are generated at fixed intervals of 20ms
    $voip_ul_($j) set rate_ 26.4Kb
    $voip_ul_($j) set burst_time_ 1.2
    $voip_ul_($j) set idle_time_ 1.8
    $voip_ul_($j) attach-agent $udp_ul_($j)
    set rng_ul_($j) [new RNG]
    $rng_ul_($j) seed predef [expr $bseed+$j]
    $voip_ul_($j) use-rng $rng_ul_($j)
}

# random number generator
set gna_ertps_ul [new RNG]
$gna_ertps_ul seed predef [expr $bseed + 3]

for {set j $ertps_init} {$j < $ertps_end} {incr j} {
    set stime [expr 0.1 + [$gna_ertps_ul uniform 0 1]]

```

```

    $ns_ at $stime "$voip_ul_($j) start"
}

#set up nrtPS uplink flows
set nrtps_ul_sink [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $W $nrtps_ul_sink
for {set j $nrtps_init} {$j < $nrtps_end} {incr j} {
    set tcp_ul_($j) [new Agent/TCP]
    $ns_ attach-agent $node_($j) $tcp_ul_($j)
    $ns_ connect $tcp_ul_($j) $nrtps_ul_sink

    set ftp_ul_($j) [new Application/FTP]
    $ftp_ul_($j) attach-agent $tcp_ul_($j)
}

# random number generator
set gna_nrtps_ul [new RNG]
$gna_nrtps_ul seed predef [expr $bseed + 4]

for {set j $nrtps_init} {$j < $nrtps_end} {incr j} {
    set stime [expr 0.1 + [$gna_nrtps_ul uniform 0 1]]
    $ns_ at $stime "$ftp_ul_($j) start"
}

#set up BE uplink flows
set be_ul_sink [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $W $be_ul_sink
for {set j $be_init} {$j < $be_end} {incr j} {
    set be_tcp_ul_($j) [new Agent/TCP]
    $ns_ attach-agent $node_($j) $be_tcp_ul_($j)
    $ns_ connect $be_tcp_ul_($j) $be_ul_sink

    set be_ftp_ul_($j) [new Application/FTP]
    $be_ftp_ul_($j) attach-agent $be_tcp_ul_($j)
}

# random number generator
set gna_be_ul [new RNG]

```

```

$gna_be_ul seed predef [expr $bseed + 5]

for {set j $be_init} {$j < $be_end} {incr j} {
    set stime [expr 0.1 + [$gna_be_ul uniform 0 1]]
    $ns_ at $stime "$be_ftp_ul_($j) start"
}

for {set i 0} {$i < $opt(n-nodes)} {incr i} {
    $ns_ at $opt(stop).0000010 "$node_($i) reset";
}
$ns_ at $opt(stop).0000010 "$BS reset";

$ns_ at $opt(stop).0000011 "puts \"NS EXITING...\" ; $ns_ halt"

puts "Starting Simulation..."
$ns_ run

```

### Wimax.tcl

```

#-----#
#      Define Options      #
#-----#

global opt
set opt(chan)    Channel/WirelessChannel; # channel type
set opt(prop)    Propagation/TwoRayGround; # radio-propagation model
set opt(netif)   Phy/WirelessPhy;        # network interface type
set opt(mac)     Mac/802_16BS;           # MAC type
set opt(ifq)     Queue/DropTail/PriQueue; # Interface queue type
set opt(ll)      LL;                      # Link layer type
set opt(ant)     Antenna/OmniAntenna;    # Antenna type
set opt(x)       250;                      # X dimension of the topography
set opt(y)       250;                      # Y dimension of the topography
set opt(ifqlen)  50;                      # max packet in ifq
set opt(tr)      out.tr;                  # trace file
set opt(adhocRouting) AODV;              # non ad hoc routing
set opt(stop)    200;                    # simulation time

```



```

set opt(n-bs)      1;          # number of bs nodes
set opt(n-ugs)     1;          # number of nodes with ugs connections
set opt(n-rtps)    1;          # number of nodes with rtps connections
set opt(n-ertps)   1;          # number of nodes with rtps connections
set opt(n-nrtps)   1;          # number of nodes with nrtps connections
set opt(n-be)      1;          # number of nodes with be connections
set opt(n-nodes)   [expr $opt(n-ugs)+$opt(n-rtps)+$opt(n-ertps)+$opt(n-nrtps)+$opt(n-be)];
set bseed          [lindex $argv 0];
set BW             4000000;    #channel bandwidth

#window for the uplink scheduling mechanism
#(see Globecom 2007 paper: Uplink Scheduling with Quality of Service in IEEE 802.16
Networks)
Mac/802_16BS set window_ 0.05

set param(dir)     "."
global defaultRNG
$defaultRNG seed predef [expr $bseed*2]

Phy/WirelessPhy set bandwidth_ $BW

#QoS parameters
#UGS
set ugs_grant_interval 0.020; # data grants interval (seconds)
set ugs_grant_size     66
#rtPS
set rtps_grant_interval 0.020; # unicast request grant interval (seconds)
set rtps_delay          0.100; # maximum delay request (seconds)
set rtps_aggreq_interval 5;    # aggregate request interval (in number of requests)
set rtps_minBW         200000 ; # minimum bandwidth request (bytes) - baseball video

#ertPS
set ertps_grant_interval 0.020; # data grants interval (seconds)
set ertps_grant_size     200; # initial data grant interval (bytes)

#nrtPS
set nrtps_grant_interval 0.050; # unicast request grant interval (seconds)
set nrtps_minBW         200000; # minimum bandwidth request (bytes)
set nrtps_aggreq_interval 10;   # aggregate request interval (in number of requests)

```

```

#BE
set be_grant_interval 2.0; # unicast request grant interval (seconds)
set be_aggreq_interval 10; # aggregate request interval (in number of requests)

set ns_ [new Simulator]
# set up for hierarchical routing
$ns_ node-config -addressType hierarchical
AddrParams set domain_num_ 2 ;# number of domains - one for wired and one for wireless
lappend cluster_num 1 1 ;# number of clusters in each domain
AddrParams set cluster_num_ $cluster_num
lappend eilastlevel 1 [expr $opt(n-nodes) + $opt(n-bs)] ;# number of nodes in each cluster
AddrParams set nodes_num_ $eilastlevel
# set trace files
set tracefd [open "results/wimax_ $opt(adhocRouting).$bseed.tr" w]
$ns_ trace-all $tracefd
# create topography object
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)
# create God
create-god [expr $opt(n-nodes) + $opt(n-bs)]
# create wired node
set W [$ns_ node 0.0.0]

$ns_ node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
  -llType $opt(ll) \
  -macType $opt(mac) \
  -ifqType $opt(ifq) \
  -ifqLen $opt(ifqlen) \
  -antType $opt(ant) \
  -propInstance [new $opt(prop)] \
  -phyType $opt(netif) \
  -channel [new $opt(chan)] \
  -topoInstance $topo \
  -wiredRouting ON \
  -agentTrace ON \
  -routerTrace OFF \
  -macTrace ON

```

```

set temp {1.0.0 1.0.1 1.0.2 1.0.3 1.0.4 1.0.5 1.0.6 1.0.7 1.0.8 1.0.9 1.0.10}

#BS is the cmts node
set BS [$ns_ node [lindex $temp 0]]
$BS random-motion 0

#configure-channel "updatarate ticks-per-minislot maxburst upstream-overhead downdatarate
downstream-overhead"
$BS configure-channel $BW 8 1500 72 $BW 32
#configure-mapparams time-covered map-interval num-contention-slots-permap
#num-management-slots-permap bkoff-start bkoff-end proportion map_lookahead
$BS configure-mapparams 0.005 0.005 1 1 3 8 0 0
#configure-mgmtparams sync-msg-interval rng-msg-interval ucd-msg-interval
$BS configure-mgmtparams 2.0 1.0 3.0

#configure for mobilenodes
set opt(mac) Mac/802_16SS
$ns_ node-config -wiredRouting OFF \
    -macType $opt(mac)

#channel configuration for subscriber stations
for {set j 0} {$j < $opt(n-nodes)} {incr j} {
    set node_($j) [ $ns_ node [lindex $temp [expr $j+1]] ]
    $node_($j) base-station [AddrParams addr2id [$BS node-addr]]
    # configure-ss priority rng_msg_interval ss_id debug on/off
    #Note: we will number the SS's from 1 on up ...
    $node_($j) configure-ss 1 1.0 $j 0
    # configure-channel "updatarate ticks maxburst upstream-overhead downdatarate
downstream-overhead"
    $node_($j) configure-channel $BW 8 1500 72 $BW 32
}
#-----#
#           Configure the connections           #
#-----#

set ugs_init 0
set ugs_end $opt(n-ugs)
#ugs connections configuration
for {set j $ugs_init} {$j < $ugs_end} {incr j} {

```

```

#configure-upflows node "default schedtype dst-node pkt-type phs-type frag-enable concat-
enable concat_thresh piggy
# grant-size grant-interval queue_size latency minimum-bandwidth aggregate-request-
interval debug rate_control rate"
$node_($j) configure-upflows $node_($j) "0 0 $W 29 4 0 0 0 0 $ugs_grant_size
$ugs_grant_interval 10000 0 0 0 0 0"
$node_($j) configure-upflows $node_($j) "1 4 $W 54 4 0 1 1000 1 1500 0 10000 0 0 100 0
0 0"
#configure-downflows node "default sched-type src-node pkt-type phs-type grant-size
grant-interval
#queue_size latency minimum-bandwidth "
$node_($j) configure-downflows $node_($j) "1 4 $BS 54 4 0 0 10000 0 0"
$node_($j) startsim
}
set rtps_init $ugs_end
set rtps_end [expr $ugs_end+$opt(n-rtps)]
#rtPS connections configuration
for {set j $rtps_init} {$j < $rtps_end} {incr j} {
#configure-upflows node "default schedtype dst-node pkt-type phs-type frag-enable concat-
enable concat_thresh piggy
# grant-size grant-interval queue_size latency minimum-bandwidth aggregate-request-
interval debug rate_control rate"
$node_($j) configure-upflows $node_($j) "0 1 $W 1 4 1 1 20000 0 0 $rtps_grant_interval
10000 $rtps_delay $rtps_minBW $rtps_aggreq_interval 0 0 0"
$node_($j) configure-upflows $node_($j) "1 4 $W 54 4 1 1 1000 1 0 0 10000 0 0 100 0 0 0"
#configure-downflows node "default sched-type dst-node pkt-type phs-type grant-size
grant-interval
#queue_size latency minimum-bandwidth "
$node_($j) configure-downflows $node_($j) "1 3 $BS 54 4 0 0 10000 0 0"
$node_($j) startsim
}
set ertps_init $rtps_end
set ertps_end [expr $rtps_end+$opt(n-ertps)]
#ertPS connections configuration
for {set j $ertps_init} {$j < $ertps_end} {incr j} {
#configure-upflows node "default schedtype dst-node pkt-type phs-type frag-enable concat-
enable concat_thresh piggy
# grant-size grant-interval queue_size latency minimum-bandwidth aggregate-request-
interval debug rate_control rate"
$node_($j) configure-upflows $node_($j) "0 2 $W 63 4 0 1 20000 0 $ertps_grant_size
$ertps_grant_interval 10000 0 0 0 0 0"
$node_($j) configure-upflows $node_($j) "1 4 $W 54 4 1 1 1000 1 0 0 10000 0 0 100 0 0 0"

```

```

#configure-downflows node "default sched-type dst-node pkt-type phs-type grant-size
grant-interval
#queue_size latency minimum-bandwidth "
$node_($j) configure-downflows $node_($j) "1 3 $BS 54 4 0 0 10000 0 0"
$node_($j) startsim
}
set nrtps_init [expr $ertps_end]
set nrtps_end [expr $ertps_end+$opt(n-nrtps)]
#nrtps connections configuration
for {set j $nrtps_init} {$j < $nrtps_end} {incr j} {
#configure-upflows node "default schedtype dst-node pkt-type phs-type frag-enable concat-
enable concat_thresh piggy
# grant-size grant-interval queue_size latency minimum-bandwidth aggregate-request-
interval debug rate_control rate"
$node_($j) configure-upflows $node_($j) "0 3 $W 0 4 1 1 20000 1 0 $nrtps_grant_interval
10000 0 $nrtps_minBW $nrtps_aggreq_interval 0 0 0"
$node_($j) configure-upflows $node_($j) "1 4 $BS 54 4 1 1 1000 1 0 0 10000 0 0 100 0 0
0"
#configure-downflows node "default sched-type dst-node pkt-type phs-type grant-size
grant-interval
#queue_size latency minimum-bandwidth "
$node_($j) configure-downflows $node_($j) "1 4 $BS 54 4 0 0 10000 0 0"
$node_($j) startsim
}
set be_init [expr $nrtps_end]
set be_end $opt(n-nodes)
#BE connections configuration
for {set j $be_init} {$j < $be_end} {incr j} {
#configure-upflows node "default schedtype dst-node pkt-type phs-type frag-enable concat-
enable concat_thresh piggy
# grant-size grant-interval queue_size latency minimum-bandwidth aggregate-request-
interval debug rate_control rate"
$node_($j) configure-upflows $node_($j) "0 4 $W 0 4 1 1 20000 1 0 $be_grant_interval
10000 0 0 $be_aggreq_interval 0 0 0"
$node_($j) configure-upflows $node_($j) "1 4 $BS 54 4 1 1 1000 1 0 0 10000 0 0 100 0 0
0"
#configure-downflows node "default sched-type dst-node pkt-type phs-type grant-size
grant-interval
#queue_size latency minimum-bandwidth "
$node_($j) configure-downflows $node_($j) "1 4 $BS 54 4 0 0 10000 0 0"
#configure-mapparams cmts-node time-covered map-interval num-contention-slots permap
#num-sm-slots permap short-grant-limit long-grant-limit bkoff-start bkoff-end
$node_($j) startsim

```

```

}
$BS startsim
#create links between wired and BS nodes
$ns_ duplex-link $W $BS 100Mb 2ms DropTail

#-----#
#          Configure the traffic flows          #
#-----#

#set up UGS uplink flows
set ugs_ul_sink [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $W $ugs_ul_sink

for {set j $ugs_init} {$j < $ugs_end} {incr j} {
    set udp_ul_($j) [new Agent/UDP]
    $udp_ul_($j) set packetSize_ 66
    $udp_ul_($j) set class_ 0
    $ns_ attach-agent $node_($j) $udp_ul_($j)
    $ns_ connect $udp_ul_($j) $ugs_ul_sink
    set voice_ul_($j) [new Application/Traffic/Exponential]
    $voice_ul_($j) set packetSize_ 66
    #rate -> packets 66 bytes in length are generated at fixed intervals of 20ms
    $voice_ul_($j) set rate_ 26.4Kb
    $voice_ul_($j) set burst_time_ 1.2
    $voice_ul_($j) set idle_time_ 1.8
    $voice_ul_($j) attach-agent $udp_ul_($j)
    set rng_ul_($j) [new RNG]
    $rng_ul_($j) seed predef [expr $bseed+$j]
    $voice_ul_($j) use-rng $rng_ul_($j)
}

# random number generator
set gna_ugs_ul [new RNG]
$gna_ugs_ul seed predef [expr $bseed + 1]

for {set j $ugs_init} {$j < $ugs_end} {incr j} {
    set stime [expr 0.1 + [$gna_ugs_ul uniform 0 1]]
    $ns_ at $stime "$voice_ul_($j) start"
}

```

```

# set up rtPS uplink flows
set rtps_ul_sink [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $W $rtps_ul_sink

set trace_file [new Tracefile]
$trace_file filename nsvideo_baseball.dat

for {set j $rtps_init} {$j < $rtps_end} {incr j} {
    set udp_ul_($j) [new Agent/UDP]
    #$udp_ul_($j) set packetSize_ $packet_size
    $ns_ attach-agent $node_($j) $udp_ul_($j)
    $ns_ connect $udp_ul_($j) $rtps_ul_sink
    set video_ul_($j) [new Application/Traffic/Trace]
    $video_ul_($j) attach-tracefile $trace_file
    $video_ul_($j) attach-agent $udp_ul_($j)
}

# random number generator
set gna_rtps_ul [new RNG]
$gna_rtps_ul seed predef [expr $bseed + 2]

for {set j $rtps_init} {$j < $rtps_end} {incr j} {
    set stime [expr 0.1 + [$gna_rtps_ul uniform 0 1]]
    $ns_ at $stime "$video_ul_($j) start"
}

#set up ertPS uplink flows
set ertps_ul_sink [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $W $ertps_ul_sink
for {set j $ertps_init} {$j < $ertps_end} {incr j} {
    set udp_ul_($j) [new Agent/UDP]
    $ns_ attach-agent $node_($j) $udp_ul_($j)
    $ns_ connect $udp_ul_($j) $ertps_ul_sink
    set voip_ul_($j) [new Application/Traffic/Exponential]
    $voip_ul_($j) set packetSize_ 66
    #rate -> packets 66 bytes in length are generated at fixed intervals of 20ms
    $voip_ul_($j) set rate_ 26.4Kb
    $voip_ul_($j) set burst_time_ 1.2
    $voip_ul_($j) set idle_time_ 1.8
}

```

```

$voip_ul_($j) attach-agent $udp_ul_($j)
set rng_ul_($j) [new RNG]
$rng_ul_($j) seed predef [expr $bseed+$j]
$voip_ul_($j) use-rng $rng_ul_($j)
}

# random number generator
set gna_ertps_ul [new RNG]
$gna_ertps_ul seed predef [expr $bseed + 3]

for {set j $ertps_init} {$j < $ertps_end} {incr j} {
    set stime [expr 0.1 + [$gna_ertps_ul uniform 0 1]]
    $ns_at $stime "$voip_ul_($j) start"
}

#set up nrtPS uplink flows
set nrtps_ul_sink [new Agent/LossMonitor]
$ns_attach-agent $W $nrtps_ul_sink
for {set j $nrtps_init} {$j < $nrtps_end} {incr j} {
    set tcp_ul_($j) [new Agent/TCP]
    $ns_attach-agent $node_($j) $tcp_ul_($j)
    $ns_connect $tcp_ul_($j) $nrtps_ul_sink

    set ftp_ul_($j) [new Application/FTP]
    $ftp_ul_($j) attach-agent $tcp_ul_($j)
}

# random number generator
set gna_nrtps_ul [new RNG]
$gna_nrtps_ul seed predef [expr $bseed + 4]

for {set j $nrtps_init} {$j < $nrtps_end} {incr j} {
    set stime [expr 0.1 + [$gna_nrtps_ul uniform 0 1]]
    $ns_at $stime "$ftp_ul_($j) start"
}

#set up BE uplink flows
set be_ul_sink [new Agent/LossMonitor]

```



```

$ns_ attach-agent $W $be_ul_sink
for {set j $be_init} {$j < $be_end} {incr j} {
    set be_tcp_ul_($j) [new Agent/TCP]
    $ns_ attach-agent $node_($j) $be_tcp_ul_($j)
    $ns_ connect $be_tcp_ul_($j) $be_ul_sink

    set be_ftp_ul_($j) [new Application/FTP]
    $be_ftp_ul_($j) attach-agent $be_tcp_ul_($j)
}

# random number generator
set gna_be_ul [new RNG]
$gna_be_ul seed predef [expr $bseed + 5]

for {set j $be_init} {$j < $be_end} {incr j} {
    set stime [expr 0.1 + [$gna_be_ul uniform 0 1]]
    $ns_ at $stime "$be_ftp_ul_($j) start"
}

for {set i 0} {$i < $opt(n-nodes) } {incr i} {
    $ns_ at $opt(stop).0000010 "$node_($i) reset";
}
$ns_ at $opt(stop).0000010 "$BS reset";

$ns_ at $opt(stop).0000011 "puts \"NS EXITING...\" ; $ns_ halt"

puts "Starting Simulation..."
$ns_ run

```

### Statistics script

```

!/bin/sh
#usage example
# ./statistics.sh ./results/wimax_DSDV.2.tr 1.0.1.0

#measure loss
grep -v ' MAC ' $1 | grep " $2 0.0." | awk -f measure-loss.awk

#measure delay

```

```

echo
echo "delay:"
grep -v ' MAC ' $1 | grep " $2 0.0." | awk -f measure-delay.awk | sed -e 's/./,/g'

#measure jitter
echo
echo "jitter:"
grep -v ' MAC ' $1 | grep " $2 0.0." | awk -f measure-jitter.awk | sed -e 's/./,/g'

```

#### Delay measure awk script: measure-delay.awk

```

BEGIN {
    highest_packet_id = 0;
}
{
    action = $1;
    time = $2;
    from = $3;
    to = $4;
    type = $5;
    pktsize = $6;
    flow_id = $8;
    src = $9;
    dst = $10;
    seq_no = $11;
    packet_id = $12;

    if ( packet_id > highest_packet_id )
        highest_packet_id = packet_id;

    if ( start_time[packet_id] == 0 )
        start_time[packet_id] = time;

    if ( action != "d" ) {
        if ( action == "r" ) {
            end_time[packet_id] = time;
        }
    } else {
        end_time[packet_id] = -1;
    }
}

```

```

}
END {
  for ( packet_id = 0; packet_id <= highest_packet_id; packet_id++ ) {
    start = start_time[packet_id];
    end = end_time[packet_id];
    packet_duration = end - start;

    #print only one value per 10 sec...
    if( int(start)%10==0){
      if(printed[int(start)]==1){
        }
      else{
        printed[int(start)]=1;
        if ( start < end )
          printf("%f %f\n", start, packet_duration);
        }
      }
    }
  }
}

```

#### Jitter measure awk script: measure-jitter.awk

```

# jitter =((recvtime(j)-sendtime(j))-(recvtime(i)-sendtime(i)))/(j-i), j > i

BEGIN {
  # Initialization
  highest_packet_id = 0;
}
{
  action = $1;
  time = $2;
  from = $3;
  to = $4;
  type = $5;
  pktsize = $6;
  flow_id = $8;
  src = $9;
  dst = $10;
}

```

```
seq_no = $11;
packet_id = $12;

if ( packet_id > highest_packet_id ) {
    highest_packet_id = packet_id;
}

#Record the transmission time
if ( start_time[packet_id] == 0 ) {
    # Record the sequence number
    pkt_seqno[packet_id] = seq_no;
    start_time[packet_id] = time;
}

#Record the receiving time for CBR (flow_id=2)
if ( action != "d" ) {
    if ( action == "r" ) {
        end_time[packet_id] = time;
    }
    } else {
        end_time[packet_id] = -1;
    }
}
}
END {
    last_seqno = 0;
    last_delay = 0;
    seqno_diff = 0;

    for ( packet_id = 0; packet_id <= highest_packet_id; packet_id++ ) {
        start = start_time[packet_id];
        end = end_time[packet_id];
        packet_duration = end - start;

        if ( start < end ) {
            seqno_diff = pkt_seqno[packet_id] - last_seqno;
            delay_diff = packet_duration - last_delay;
            if ( seqno_diff == 0 ) {
                jitter = 0;
            } else {
```

```

        jitter = delay_diff/seqno_diff;
    }

    #print only one value per 10 sec...
    if( int(start)%10==0){
        if(printed[int(start)]==1){

        }
        else{
            printed[int(start)]=1;
            printf("%f %f\n", start, jitter);
        }
    }
    last_seqno = pkt_seqno[packet_id];
    last_delay = packet_duration;
}
}
}

```

**Packet loss: measure-loss.awk**

```

BEGIN {
# Initialization. Set two variables. fsDrops: packets drop. numFs: packets sent
    fsDrops = 0;
    numFs = 0;
}
{
    action = $1;
    time = $2;
    from = $3;
    to = $4;
    type = $5;
    pktsize = $6;
    flow_id = $8;
    src = $9;
    dst = $10;
    seq_no = $11;
    packet_id = $12;

    if (action == "+")
        numFs++;
    if (action == "d")

```

```
        fsDrops++;  
    }  
    END {  
        printf("Source:%s packets sent:%d lost:%d\n", src, numFs, fsDrops);  
    }
```