



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΠΟΥΔΩΝ :

ΔΙΚΤΥΟΚΕΝΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΕ ΟΡΝΕΤ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ Κ. ΜΙΧΩΤΑ

Επιβλέπων : Παναγιώτης Δεμέστιχας

Αναπληρωτής Καθηγητής Πα. Πει.

Αθήνα, Ιούνιος 2010

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου Π. Δεμέστιχα για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο που με ενδιέφερε και να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία σε έναν ενδιαφέροντα τομέα των δικτύων τέταρτης γενιάς. Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Μ. Λογοθέτη για τη συνεργασία του και την πολύτιμη βοήθεια του τόσο κατά τη διάρκεια υλοποίησης των προσομοιώσεων και διεξαγωγής της μελέτης, όσο και για τις πολύτιμες παρατηρήσεις τους κατά τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξη που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς και τη συμφοιτήτρια και φίλη μου Μαίρη Κόνιαρη για τη διαρκή συμπαράσταση και βοήθεια της για να ολοκληρώσω την παρούσα εργασία.

Μιχώτα Αλεξάνδρα

Ιούνιος 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι αρχικά η καταγραφή και η ποιοτική σύγκριση των τεχνολογιών και μεθοδολογιών πρόσβασης των ευρυζωνικών δικτύων από άκρο σε άκρο καθώς και η μελέτη και προσομοίωση αυτών χρησιμοποιώντας ως εργαλείο προσομοίωσης την πλατφόρμα OPNET Modeler.

Η διπλωματική αυτή εργασία χωρίζεται σε έξι κεφάλαια. Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μία εισαγωγή στο πεδίο των ευρυζωνικών δικτύων και μια ενδεικτική αναφορά στα διάφορα είδη ασύρματων δικτύων που θα περιγράψουμε και θα προσομοιώσουμε παρακάτω. Στα κεφάλαια 2,3,4 γίνεται παρουσίαση και εκτενής ανάλυση των σύγχρονων τεχνολογιών οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιακών συστημάτων όπως είναι τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα , τα Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα και τα Συστήματα Κινητών Τηλεπικοινωνιών στο Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται προσπάθεια να προσομοιωθεί η λειτουργία των προαναφερθέντων συστημάτων, με τον προσομοιωτή OPNET. Χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα, ξεχωριστά για το κάθε δίκτυο αλλά και για την κάθε application, παίρνουμε μέσα από την προσομοίωση μετρήσεις παραμέτρων, όπως η εξασθένιση του σήματος, η καθυστέρηση πακέτων, ο ρυθμός σφαλμάτων και οι χρόνοι απόκρισης των εκτελούμενων υπηρεσιών. Γίνεται σύγκριση για να διαπιστώσουμε σε ποιο από τα τρία subnets που έχουμε δημιουργήσει προσφέρεται καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας για τις applications του web browsing, του telnet, του voice over ip και του video conferencing. Δια μέσου των παραπάνω σεναρίων επιχειρείται η εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων για την απόδοση των συστημάτων.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 συλλέγουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και εξάγουμε τα αποτελέσματα της έρευνας μας. Μετά από διεξοδική ανάλυση καταγράφονται τα συμπεράσματα και προτείνονται πιθανές λύσεις για βελτίωση των

δικτύων ώστε η εκμετάλλευση της χρήσης τους να φθάνει το μέγιστο της απόδοσης για κάλυψη των δικών μας ολοένα αυξανόμενων καθημερινών αναγκών.

Λέξεις – κλειδιά :

Ευρυζωνική πρόσβαση, Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα, 802.11, Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα, 802.16, Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών, Προσομοίωση Δικτύων, OPNET

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
Λέξεις – κλειδιά :	5
Κατάλογος Σχημάτων	10
Κατάλογος Πινάκων.....	12
Κεφάλαιο 1	13
1. Γενικά.....	13
1.1 Εισαγωγή.....	13
Κεφάλαιο 2	16
2. Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN)	16
2.1 Γενική Περιγραφή.....	16
2.2 Πρότυπα IEEE802.11.....	17
2.3 Αρχιτεκτονική του 802.11	20
2.3.1 Δομημένα ασύρματα τοπικά δίκτυα.....	22
2.3.2 Τυχαία ασύρματα τοπικά δίκτυα.....	23
2.4 Διαστρωμάτωση.....	24
2.5 Φυσικό επίπεδο	25
2.5.1 Τεχνολογίες μετάδοσης	25
2.5.2 Ταχύτητα μετάδοσης	26
2.6 Ασφάλεια δεδομένων	27
Κεφάλαιο 3	29
3. Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (WIMAX).....	29
3.1 Γενική Περιγραφή.....	29
3.2 Ομάδες εργασίας.....	30
3.2.1 IEEE 802.16-2004.....	31
3.3 Αρχιτεκτονική – Τοπολογία δικτύου	31
3.4 MAC επίπεδο.....	33
3.5 Φυσικό επίπεδο.....	34
Ζώνη 10-66 GHz.....	34
Ζώνη 2-11 GHz	35
3.5.1 Έξυπνες κεραιές.....	35

3.5.2 Προσαρμοστική διαμόρφωση.....	35
3.5.3 Χρήση μεταβλητού μεγέθους καναλιού.....	36
3.6 Κινητό Wimax IEEE80216r (Mobile Wimax)	37
3.7 Ασφάλεια WIMAX.....	38
3.8 Εφαρμογές Wimax.....	39
Κεφάλαιο 4	40
4 Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (UMTS).....	40
4.1 Γενική Περιγραφή.....	40
4.2 Αρχιτεκτονική δικτύου.....	41
4.2.1 Το δίκτυο κορμού (CN).....	42
4.2.2 Το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Network – RAN).....	44
4.2.2.1 Σύστημα μετάδοσης W-CDMA	45
4.2.2.2 Μετάδοση δεδομένων στο RAN – Τα κανάλια μεταφοράς στο UTRAN	45
4.3 Υπηρεσίες και ασφάλεια	46
4.3.1 Ποιότητα υπηρεσίας (QoS).....	46
4.3.2 Νέες υπηρεσίες UMTS	48
4.3.3 Ασφάλεια στο UMTS	49
Κεφάλαιο 5	52
5. Προσομοίωση δικτύων στο Opnet Modeller	52
5.1 Γενική Περιγραφή.....	52
5.1.1 Μοντέλο δικτύου.....	53
5.1.2 Μοντέλο κόμβων.....	54
5.1.3 Μοντέλο επεξεργασίας.....	55
5.2 Μοντέλα εφαρμογών στο OPNET Modeller.....	56
5.3 Στόχοι προσομοίωσης στο OPNET Modeller	57
5.4 Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν	58
5.4.1 Γενική δομή μοντέλου δικτύου διασύνδεσης ετερογενών τεχνολογιών.....	58
5.4.2 Διαχείριση της κινητικότητας – SIP πρωτόκολλο.....	60
5.4.2.1 Δημιουργία κίνησης στο μέσο	61
5.4.3 Δημιουργία subnets	63
5.4.3.1 Δομή του μοντέλου δικτύου WIFI	63
5.4.3.2 Δομή του μοντέλου δικτύου WIMAX.....	65

5.4.3.3 Δομή του μοντέλου δικτύου UMTS	67
5.5 Διαθέσιμα Στατιστικά Δεδομένα	69
Κεφάλαιο 6	71
6. Αποτελέσματα της προσομοίωσης, παρατηρήσεις και συμπεράσματα.....	71
6.1 Γενική Περιγραφή.....	71
6.2 Ταχύτητα προσομοίωσης	72
6.3 Ρυθμοί απόδοσης και Χωρητικότητα καναλιού	73
6.3.1 Throughput	73
6.3.1.1 Throughput για wlan δίκτυο	74
6.3.1.2 Throughput για wimax δίκτυο	74
6.3.1.3 Throughput για umts δίκτυο	75
6.3.2 Utilization	76
6.3.2.1 Utilization για wlan δίκτυο	77
6.3.2.2 Utilization για wimax δίκτυο	77
6.3.2.3 Utilization για umts δίκτυο	78
6.4 Αποτίμηση επίδοσης υπηρεσιών για κάθε τύπο δικτύου	78
6.4.1 Application HTTP.....	78
6.4.1.1 Γενικά για το HTTP	78
6.4.1.2 Σενάριο 1ο	79
6.4.1.3 Στατιστικά αποτελέσματα.....	79
6.4.1.3.1 Traffic Sent & Traffic Received.....	79
6.4.1.3.2 Object Response Time	82
6.4.1.3.3 Συμπέρασμα	84
6.4.2 Application Voice	84
6.4.2.1 Γενικά για το Voice over IP.....	84
6.4.2.2 Σενάριο 2ο.....	84
6.4.2.3 Στατιστικά αποτελέσματα	84
6.4.2.3.1 Traffic Sent & Traffic Received.....	85
6.4.2.3.2 Packet end-to-end Delay	87
6.4.2.3.3 Jitter	89
6.4.2.3.4 Συμπέρασμα	90
6.4.3 Application Telnet.....	91

6.4.3.1 Γενικά για το Remote Log in	91
6.4.3.2 Σενάριο 3°	92
6.4.3.3 Στατιστικά αποτελέσματα	92
6.4.3.3 .1 Traffic Sent & Traffic Received	92
6.4.3.3 .2 Login Response Time	95
6.4.3.3.3 Συμπέρασμα	97
6.4.4 Application Video	97
6.4.4.1 Γενικά για το video conferencing	97
6.4.4.2 Σενάριο 4°	98
6.4.4.3 Στατιστικά αποτελέσματα	98
6.4.4.3 .1 Traffic Sent & Traffic Received	98
6.4.4.3 .2 Packet end-to-end Delay	101
6.4.4.3.3 Συμπέρασμα	103
6.5 Γενικά Συμπεράσματα	103
6.6 Επίλογος	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ – ΠΗΓΕΣ	106
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	109

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Τοπολογία infrastructure BSS	22
Σχήμα 2.2: Τοπολογία IBSS (adhoc).....	23
Σχήμα 2.3: Η αρχιτεκτονική του υποστρώματος MAC και του φυσικού στρώματος του 802.11	24
Σχήμα 2.4: BPSK και QPSK διαμόρφωση	26
Σχήμα 2.5: Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης με την απόσταση από το σημείο πρόσβασης.....	27
Σχήμα 3.1 : Δίκτυο WiMAX.....	32
Σχήμα 3.2 : Υποεπίπεδα MAC στο 802.16.....	33
Σχήμα 4.1 : Αρχιτεκτονική δικτύου UMTS.....	42
Σχήμα 4.2 : Αρχιτεκτονική δικτύου κορμού (CN).....	43
Σχήμα 4.3: Αρχιτεκτονική RAN	44
Σχήμα 4.4 : Απεικόνιση καναλιών στο UTRAN.....	46
Σχήμα 5.1: Ιεραρχική δομή μοντελοποίησης στο OPNET	53
Σχήμα 5.2: Μοντέλο Δικτύου.....	54
Σχήμα 5.3: Μοντέλο Κόμβων	55
Σχήμα 5.4: Μοντέλο Επεξεργασίας.....	56
Σχήμα 5.5: Μοντέλο δικτύου 4G.....	58
Σχήμα 5.6: Εικονική αναπαράσταση μορφολογίας δικτύου 4G	59
Σχήμα 5.7: Παράθυρο επιλογών του προφίλ κίνησης που εφαρμόστηκε στις προσομοιώσεις.....	62
Σχήμα 5.8: Εικονική αναπαράσταση μορφολογίας δικτύου Wifi.....	64
Σχήμα 5.9: Εικονική παράσταση μορφολογίας δικτύου Wimax	66
Σχήμα 5.10: Εικονική αναπαράσταση μορφολογίας δικτύου Umts.....	68
Σχήμα 6.1: Κονσόλα προσομοίωσης	72
Σχήμα 6.2: Ταχύτητα προσομοίωσης	73
Σχήμα 6.3: Throughput σε Wifi (bits/sec)	74
Σχήμα 6.4: Throughput σε Wimax (bits/sec)	75
Σχήμα 6.5: Throughput σε Umts - downlink & uplink (bits/sec).....	76

Σχήμα 6.6: Utilization ανά RAT	77
Σχήμα 6.7: Client HTTP. Traffic Sent (bytes/sec)	80
Σχήμα 6.8: Client HTTP. Traffic Reiceived (bytes/sec).....	81
Σχήμα 6.9: Client HTTP. Downloaded Objects	83
Σχήμα 6.10: Client Voice. Traffic Sent (bytes/sec).....	85
Σχήμα 6.11: Client Voice. Traffic Reiceived (bytes/sec)	87
Σχήμα 6.12: Client Voice. Packet end-to-end Delay (sec)	88
Σχήμα 6.13: Client Voice. Jitter (sec).....	90
Σχήμα 6.14: Client Remote Login. Traffic Sent (bytes/sec).....	93
Σχήμα 6.15: Client Remote Login. Traffic Reiceived (bytes/sec)	94
Σχήμα 6.16: Client Remote Login. Response Time (sec).....	96
Σχήμα 6.17: Client Video. Traffic Sent (bytes/sec).....	99
Σχήμα 6.18: Client Video. Traffic Reiceived (bytes/sec)	100
Σχήμα 6.19: Client Video. Packet end-to-end Delay.....	102

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Πρότυπα 802.11.....	19
Πίνακας 3.1: Υποπρότυπα 802.16.....	30
Πίνακας 3.2 : Ρυθμοί Μετάδοσης στα δίκτυα Wi-MAX.....	36
Πίνακας 3.3 : Χαρακτηριστικά του επιπέδου PHY του προτύπου IEEE 802.16a.	37
Πίνακας 4.1: Κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας του UMTS.....	47
Πίνακας 5.1: Η αντιστοιχία μεταξύ υπηρεσιών που προσφέρονται από το δίκτυο	63
Πίνακας 5.2: Παράθυρο με wlan παραμέτρους	65
Πίνακας 5.3: Παράθυρο με wimax παραμέτρους	66
Πίνακας 5.4: Παράθυρο με wimaxπαραμέτρους	67
Πίνακας 5.5: Παράθυρο με παραμέτρους admission control (οι παράμετροι αυτές οι οποίες ορίζονται στον RNC Node δεν επηρεάζονται από τον τύπο της υπηρεσίας).....	69
Πίνακας 5.6: Παράθυρο με παραμέτρους που ορίστηκαν στον NODE B.....	69
Πίνακας 6.1 : Http Traffic Sent.....	80
Πίνακας 6.2: Http Traffic Received	81
Πίνακας 6.3: Http Download objects	83
Πίνακας 6.4: VoIP Traffic Sent.....	86
Πίνακας 6.5: VoIP Traffic Received	87
Πίνακας 6.6: VoIP Packet end-to-end Delay	89
Πίνακας 6.7: VoIP Jitter	90
Πίνακας 6.8 : Telnet Traffic Sent.....	93
Πίνακας 6.9: Telnet Traffic Received	94
Πίνακας 6.10: Telnet Login Response Time	96
Πίνακας 6.11: Video Traffic Sent	99
Πίνακας 6.12: Video Traffic Received	101
Πίνακας 6.13: Video Packet end-to-end Delay.....	102

Κεφάλαιο 1

1. Γενικά

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι μια σύντομη αναφορά στις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών οι οποίες εξελίσσονται με ένα συνεχή και ραγδαίο ρυθμό, διευκόλυναν νέα επιχειρηματικά μοντέλα και εισήγαγαν σημαντικές αλλαγές σε εθνικό και παγκόσμιο οικονομικό επίπεδο.

Θα γίνει σύντομη παρουσίαση των δικτύων «ευρυζωνικής πρόσβασης» τα οποία καλούνται να καλύψουν από τεχνολογικής σκοπιάς τις σύγχρονες απαιτήσεις.

1.1 Εισαγωγή

Η επανάσταση στις επικοινωνίες, είναι ένα γεγονός που βιώνουμε καθημερινά. Τα ευρυζωνικά δίκτυα σήμερα προσδιορίζονται από την δυνατότητα της μεγάλης χωρητικότητας και της ταχείας μετάδοσης της πληροφορίας. Οι δυνατότητες που παρέχουν τα ευρυζωνικά δίκτυα επικοινωνίας είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Η χρήση τους ήδη επηρεάζει και θα συνεχίσει να επηρεάζει σημαντικά την καθημερινή ζωή των πολιτών.

Τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless Local Area Networks, WLANs), παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων υψηλού ρυθμού μετάδοσης, σε μια μικρή περιοχή όπου μπορεί να υπάρξει κινητικότητα των χρηστών. Βρίσκουν δε, πολύ ευρεία εφαρμογή σε πανεπιστημιακούς χώρους, επιχειρήσεις, ακόμα και σε κατοικίες.

Ως μια επέκταση των Ασύρματων Τοπικών Δικτύων, τα Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (Wireless Metropolitan Area Networks, WMANs)

χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως η διαδικασία πιστοποίησης και διαλειτουργικότητας WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, Wi-Max) του προτύπου IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.16, προσφέρουν πρόσβαση σε πολύ μεγάλη ακτίνα κάλυψης, και με ρυθμούς μετάδοσης που μπορούν να ικανοποιήσουν και τους πιο απαιτητικούς χρήστες. Αποτελούν την εναλλακτική λύση στον χώρο των καλωδιακών και ψηφιακών συνδρομητικών γραμμών (DSL).

Από την άλλη μεριά ένα κυβελωτό σύστημα τρίτης γενιάς, αντικαταστάτης του μέχρι τώρα πολύ πετυχημένου Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile Communication, GSM) βρίσκεται ήδη σε ευρεία εφαρμογή. Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS), αποτελεί την τελευταία τεχνολογία στο χώρο των τηλεπικοινωνιών και μπορεί να υποστηρίξει τόσο χρήστες κινητής και σταθερής τηλεφωνίας όσο και χρήστες ίντερνετ σε ασύρματο περιβάλλον. Οι αυξημένοι ρυθμοί μετάδοσης, η μεγαλύτερη χωρητικότητα και οι νέες υπηρεσίες που παρέχει, είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά του που το διαχωρίζουν από τα συστήματα της δεύτερης γενιάς.

Η τέταρτη γενιά τηλεπικοινωνιακών συστημάτων αναφέρεται στην ενοποίηση όλων των τύπων δικτύων, παρέχοντας επικοινωνία οποιασδήποτε μορφής, σε κάθε χώρο και χρόνο, με οποιονδήποτε. Θα εξασφαλίζει επίσης καλή απόδοση επικοινωνίας, αναφορικά κυρίως με τις υπηρεσίες πολυμέσων. Στις εφαρμογές, τα τερματικά της τέταρτης γενιάς δε θα παρέχουν μόνο ομιλία ή εικόνα αλλά επιπλέον θα προειδοποιούν και θα ενημερώνουν τους χρήστες για τη παρούσα θέση τους ή για υπηρεσίες που μπορούν να βρουν στην περιοχή που βρίσκονται. Τα τερματικά μπορεί ακόμα να γίνουν μέρος του ανθρώπινου σώματος, ενημερώνοντας για παράδειγμα το χρήστη για την πίεσή του, τη θερμοκρασία του κ.α.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια προσπάθεια για την εις βάθος ανάπτυξη και κατανόηση των πιο πάνω τεχνολογιών και των προβλημάτων που τις διέπουν και κυρίως όσον αφορά την ασύρματη διάδοση. Ένας άλλος πρωταρχικός στόχος ήταν η μοντελοποίηση των δικτύων αυτών (WLAN, WMAN, UMTS) στο περιβάλλον προσομοίωσης OPNET. Μέσα από

την προσομοίωση επιχειρούμε να αποκομίσουμε συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση των παραπάνω συστημάτων στην προσπάθεια να συνυπάρξουν όλα μαζί σε μια ενιαία πλατφόρμα.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

Κεφάλαιο 2

2. Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN)

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η κάλυψη του θεωρητικού τμήματος που σχετίζεται με τα ασύρματα τοπικά δίκτυα υπολογιστικών συστημάτων. Θα περιγραφεί η αρχιτεκτονική και η χρήση τους, βάσει του προτύπου 802.11 και θα γίνει αναφορά στα χαρακτηριστικά του φυσικού στρώματος και στα χαρακτηριστικά και υπηρεσίες του στρώματος πρόσβασης στο μέσο όπου και θα δούμε στη συνέχεια.

2.1 Γενική Περιγραφή

Το Wi-Fi προέρχεται από τα αρχικά των «Wireless Fidelity» (Ασύρματη Πιστότητα) και έχει επικρατήσει σαν όρος για το υψηλής συχνότητας ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN). Βασικά αποτελεί ένα ασύρματο τρόπο διασύνδεσης, ενώ δίνει την δυνατότητα σύνδεσης και με το Internet.

Οι ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν ή να επεκτείνουν ένα κοινό ενσύρματο δίκτυο (Ethernet) και επιτρέπουν στον κινητό χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων.

Το IEEE 802.11 είναι το πρότυπο για τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless Local Area Networks, WLANs) του IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), στις βασικές λειτουργίες του οποίου στηρίζονται τα τρέχοντα πρωτόκολλα του IEEE (802.11a, 802.11b και 802.11g). Ο πρωταρχικός σκοπός του IEEE 802.11 είναι ο καθορισμός ενός απλού και παράλληλα δυνατού Ασύρματου Τοπικού Δικτύου που να προσφέρει τόσο ασύγχρονες, όσο και

υπηρεσίες πραγματικού χρόνου ανάμεσα σε σταθερούς, φορητούς (portable) και κινητούς (moving) σταθμούς, μέσα σε μια τοπική περιοχή.

Το τελικό πρότυπο δημοσιεύθηκε το Νοέμβριο του 1997. Οι λειτουργίες και οι υπηρεσίες που καθορίζονται από το 802.11 αφορούν μόνο το Υποεπίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου (Media Access Control Sublayer, MAC Sublayer) και το Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer, PHY Layer). Το υποεπίπεδο MAC πρέπει να μπορεί να λειτουργεί με πολλαπλά φυσικά επίπεδα, το καθένα από τα οποία χρησιμοποιεί διαφορετικό μέσο μετάδοσης και έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά μετάδοσης.

Κάποια επιπλέον χαρακτηριστικά που προσφέρονται στα WLANs από το IEEE 802.11, είναι η υποστήριξη διαχείρισης ενέργειας (power management) για διαφύλαξη μπαταρίας, ο χειρισμός κρυμμένων κόμβων και δυνατότητα παγκόσμιας λειτουργίας. Η 2.4GHz Βιομηχανική, Επιστημονική και Ιατρική μπάντα συχνοτήτων (Industrial, Scientific and Medical band, ISM band), η οποία είναι διαθέσιμη παγκόσμια, επιλέχθηκε για το πρότυπο.

Η εμβέλεια ενός ασύρματου δικτύου σε περιβάλλον γραφείου μπορεί να είναι μερικές δεκάδες μέτρα. Τα ραδιοκύματα σε εσωτερικό χώρο έχουν τη δυνατότητα να διαπεράσουν τοίχους και οροφές, υφίστανται όμως σημαντική απόσβεση αλλά και μεγάλη ανάκλαση. Σε περιβάλλον όπου υπάρχει κατευθείαν οπτική επαφή, σε εξωτερικό χώρο, η εμβέλεια είναι πολύ μεγαλύτερη, εξαρτάται από την ισχύ εκπομπής, την ευαισθησία του δέκτη, τις κεραιές, την απόσταση, την ευθυγράμμιση των κεραιών, το επίπεδο παρεμβολών και θορύβου. Πάντως αποστάσεις αρκετών χιλιομέτρων είναι δυνατό να επιτευχθούν με πολύ καλή ποιότητα ζεύξης.

2.2 Πρότυπα IEEE802.11

Στον πίνακα παρακάτω υπάρχουν συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των κυριότερων προτύπων με το 802.11 να είναι το παλαιότερο χρονολογικά, το 802.11b και το 802.11a να έπονται και το 802.11g να είναι το πιο πρόσφατο χρησιμοποιούμενο πρότυπο. Το πρότυπο 802.11b, το οποίο είναι και το πιο

δημοφιλές, χρησιμοποιεί τεχνική διαμόρφωσης DSSS. Το πρότυπο 802.11g αποτελεί επέκταση του 802.11b ώστε να επιτευχθούν μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

Πίνακας 2.1: Πρότυπα 802.11

Πρότυπο	Συχνότητα Λειτουργίας	Μέγιστη Ταχύτητα	Συμβατότητα
802.11	2.4 GHz	1-2Mbps	Αυτό το πρότυπο είναι παλαιότερο και τα περισσότερα προϊόντα στην αγορά δεν το υποστηρίζουν.
802.11b (11Mbps)	2.4 GHz	11Mbps	Τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 11 Mbps χρησιμοποιούν αυτό το πρότυπο. Αυτά τα προϊόντα είναι ιδιαίτερα προσιτά και συμβατά με τα προϊόντα 802.11b που κατασκευάζονται από πολλές εταιρείες.
802.11b (22Mbps)	2.4 GHz	22Mbps	Τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 22 Mbps είναι συμβατά με το πρότυπο 802.11b (στα 11 Mbps) και είναι συμβατά με το πρότυπο 802.11g (στα 54/100/125 Mbps). Τα προϊόντα των 22 Mbps είναι συμβατά με τις παλαιότερες και τις νεότερες εκδόσεις αυτών των προτύπων. Όταν χρησιμοποιούνται με τα προϊόντα των 11 Mbps, αυτά τα προϊόντα δίνουν ένα ισχυρότερο σήμα, μεγαλύτερο εύρος και 70% μεγαλύτερο χώρο κάλυψης
802.11g	2.4 GHz	54Mbps	Τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 54 Mbps είναι συμβατά με το πρότυπο 802.11b (στα 11 και τα 22 Mbps) και είναι συμβατά με τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 100/125 Mbps.

802.11g (Wireless Turbo)	2.4 GHz	100/125 Mbps	Τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 100/125 Mbps είναι συμβατά με το πρότυπο 802.11g (στα 100 και τα 54 Mbps) και με το 802.11b (στα 11 και τα 22 Mbps).
802.11g (Wireless MAXg)	2.4 GHz	125Mbps	Τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 125 Mbps είναι συμβατά με το 802.11g (στα 125 και 54 Mbps) και με το 802.11b (στα 11) .

2.3 Αρχιτεκτονική του 802.11

Τα κύρια μέρη που απαρτίζουν μια τοπολογία ασύρματου τοπικού δικτύου είναι τα εξής:

- Σταθμοί (stations): Μπορεί να είναι κινητοί ή σταθεροί υπολογιστές, υπολογιστές χειρός (personal digital assistants, PDAs), κινητά τηλέφωνα με δυνατότητες πλοήγησης στο διαδίκτυο και οποιαδήποτε άλλη συσκευή η οποία διαθέτει τις προδιαγραφές για ασύρματη πρόσβαση σε κάποιο σημείο πρόσβασης.
- Σημείο πρόσβασης (Access Point, AP): Τα σημεία πρόσβασης είναι μονάδες υλικού, οι οποίες εξασφαλίζουν τη διασύνδεση στην τοπολογία του δικτύου. Συνδέουν τους σταθμούς μεταξύ τους αλλά και με το δίκτυο κορμού, δρομολογούν την κίνηση και προσφέρουν υπηρεσίες αποθήκευσης πακέτων, διαχείρισης ενέργειας και συγχρονισμού. Επίσης συνδέουν μεταξύ τους διάφορα Βασικά Σέτ Υπηρεσιών (Basic Service Sets, BSSs).
- BSS (Basic Service Set): Είναι το βασικό στοιχείο ενός ασύρματου τοπικού δικτύου. Αποτελείται από ένα AP και πολλούς σταθμούς. Αν ένας σταθμός μετακινηθεί έξω από το BSS στο οποίο ανήκει δε θα μπορεί πλέον να επικοινωνεί άμεσα με τα άλλα μέρη του συγκεκριμένου BSS.
- ESS (Extended Service Set): Όταν οι ανάγκες της διαδικτύωσης ξεπερνούν τα όρια του BSS, το 802.11 καθορίζει τη δομή ενός πιο σύνθετου τοπικού

δικτύου που ονομάζεται Διευρυμένο Σέτ Υπηρεσιών (Extended Service Set, ESS) και στο οποίο είναι δυνατή η διασύνδεση και η επικοινωνία πολλών BSS μεταξύ τους. Το στοιχείο που χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση των BSS ονομάζεται Σύστημα Διανομής (Distribution System, DS). Η πρόσβαση στο DS γίνεται με τη βοήθεια των APs, τα οποία παρέχουν ουσιαστικά τη διασύνδεση των σταθμών που βρίσκονται σε διάφορα BSS στο DS. Το 802.11 κάνει διαχωρισμό μεταξύ του Ασύρματου Μέσου (Wireless Medium, WM) από το Μέσο του Συστήματος Διανομής (Distribution System Medium, DSM), που είναι η διεπαφή που συνδέει δύο APs.

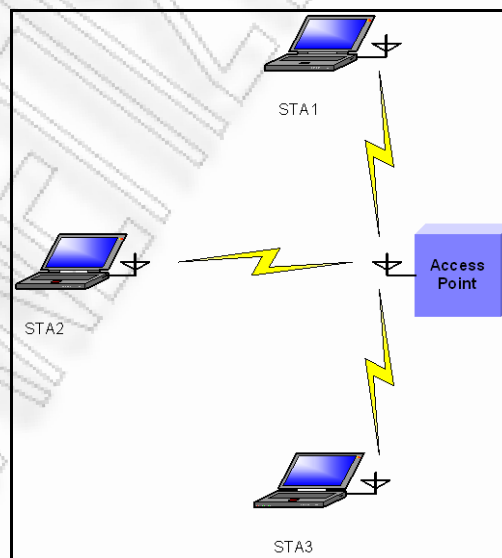
➤ Σύστημα διανομής (Distribution System, DS): Το Σύστημα Διανομής (DS) είναι ο τρόπος με τον οποίο ένα σημείο πρόσβασης επικοινωνεί με ένα άλλο σημείο πρόσβασης στα πλαίσια ανταλλαγής πακέτων από τους σταθμούς στο αντίστοιχο BSSs τους. Προωθεί πλαίσια που ακολουθούν τους κινητούς σταθμούς καθώς κινούνται από ένα BSS προς άλλο, και ανταλλάσσει πακέτα με ένα ενσύρματο δίκτυο. Το σύστημα διανομής, όπως περιγράφεται στο IEEE 802.11, δεν είναι απαραίτητα ένα δίκτυο, ούτε τίθενται οποιοδήποτε περιορισμοί στον τρόπο με τον οποίο το σύστημα εφαρμόζεται, παρά μόνο στις υπηρεσίες που πρέπει να παρέχει. Κατά συνέπεια το σύστημα διανομής μπορεί να είναι ένα ενσύρματο δίκτυο όπως 803.2 ή ένα κιβώτιο ειδικού σκοπού που διασυνδέει τα σημεία πρόσβασης και παρέχει τις απαραίτητες υπηρεσίες διανομής.

➤ Ασύρματο Μέσο (Wireless Medium): Είναι η ασύρματη διεπαφή που συνδέει ένα σταθμό με το AP, μέσα σε ένα BSS. Προσφέρει επικοινωνία διαδίδοντας τα ραδιοκύματα που παράγονται από τους σταθμούς και τα APs και μεταφέρουν την πληροφορία.

Στο IEEE 802.11 προδιαγράφονται δύο διαφορετικές **τοπολογίες** για να “σχηματιστεί” ένα δίκτυο: η **δομημένη (infrastructure)** και η **τυχαία (ad hoc)**.

2.3.1 Δομημένα ασύρματα τοπικά δίκτυα

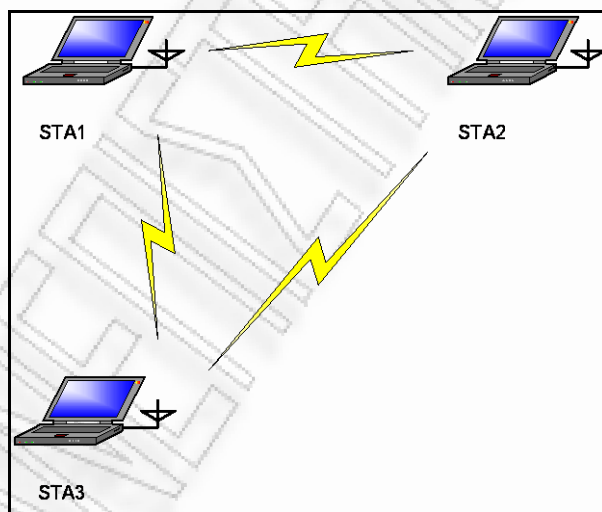
Στα Δομημένα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (infrastructure WLANs), υπάρχουν κάποια σταθερά σημεία πρόσβασης μέσω των οποίων μπορούν οι διάφορες συσκευές να επικοινωνούν. Οι συσκευές έχουν ενσωματωμένους μηχανισμούς πρόσβασης στο ασύρματο μέσο διάδοσης (wireless medium) και επικοινωνούν με τα APs μέσω ραδιοκυμάτων. Τα APs μαζί με τις συσκευές που βρίσκονται στη δική τους κάλυψη, σχηματίζουν ένα βασικό σέτ υπηρεσιών (Basis Service Set, BSS). Η σύνδεση των διάφορων BSSs, γίνεται μέσω των AP με ένα καταναμημένο σύστημα κι έτσι σχηματίζεται ένα δίκτυο ESS. Με το σύστημα διανομής, συνδέονται τα ασύρματα δίκτυα με μια πύλη μέσω των APs, σχηματίζοντας έτσι μια ενδολειτουργική (interworking) μονάδα με άλλα LANs. Οι συσκευές μπορούν να επιλέξουν ένα AP και να συσχετιστούν μαζί του. Τα APs υποστηρίζουν την κινητικότητα των χρηστών και για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών είναι υπεύθυνο το καταναμημένο σύστημα. Ακόμη, τα APs παρέχουν συγχρονισμό μέσα στα BSS, υποστηρίζουν διαχείριση ενέργειας και μπορούν να ελέγχουν το μέσο πρόσβασης για υποστήριξη υπηρεσιών με χρονικούς περιορισμούς. Η διασύνδεση αυτή φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 2.1: Τοπολογία infrastructure BSS

2.3.2 Τυχαία ασύρματα τοπικά δίκτυα

Στα Τυχαία Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (ad hoc WLANs), δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη δομή στο δίκτυο, ούτε και κάποια σταθερά σημεία και συνήθως όλες οι συσκευές μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Έτσι μεταξύ των συσκευών μπορούν να δημιουργηθούν διάφορα ανεξάρτητα BSS (Interpendent BSS, IBSS). Σε αυτή την περίπτωση όμως, ένα BSS αποτελείται από συσκευές που λειτουργούν κι εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Για τη δημιουργία ενός ad hoc δικτύου, αρκεί η παρουσία ασύρματων καρτών δικτύου στις συσκευές. Μιας και υπάρχουν διάφοροι κατασκευαστές ασύρματων καρτών, πολλές φορές κάρτες με τις ίδιες προδιαγραφές λειτουργούν σε διαφορετικές ταχύτητες και όλο το δίκτυο προσαρμόζεται στην χαμηλότερη από αυτές τις ταχύτητες. Διαφορετικά BSS μπορούν να δημιουργηθούν είτε χρησιμοποιώντας την απόσταση μεταξύ τους, ή με χρήση διαφορετικών φερόντων (carrier) συχνοτήτων. Μια τέτοια τοπολογία φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2.2: Τοπολογία IBSS (ad hoc)

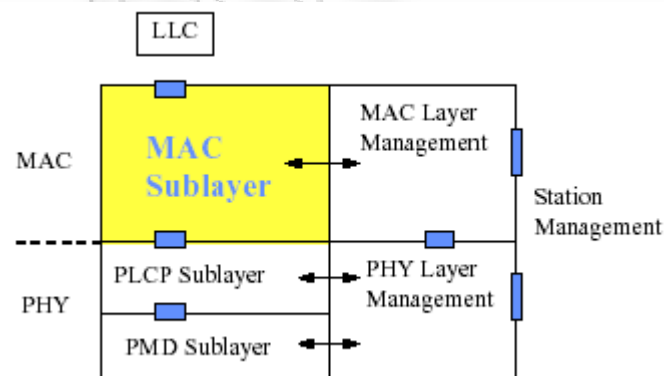
Οι βασικές λειτουργίες οι οποίες προδιαγράφονται από τα πρωτόκολλα 802.11 και υλοποιούνται είτε στους σταθμούς είτε στα σημεία πρόσβασης, είναι :

- η συσχέτιση ενός σταθμού με ένα σταθμό βάσης (association),
- η επανασυσχέτιση του σταθμού σε περίπτωση μετακίνησης (reassociation),

- ο τερματισμός της συσχέτισης (disassociation),
- η διανομή ενός πλαισίου (distribution),
- η παράδοση των πλαισίων MAC (MSDU delivery),
- η διασύνδεση με τα εξωτερικά δίκτυα (integration),
- η πιστοποίηση (authentication),
- ο τερματισμός της πιστοποίησης (deauthentication),
- και η ασφάλεια (privacy)

2.4 Διαστρωμάτωση

Σε κάθε σταθμό του 802.11, εφαρμόζεται μια αρχιτεκτονική, η οποία αποτελείται από ένα υπόστρωμα Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου (Media Access Control Sublayer, MAC Sublayer) και δύο Φυσικά υποστρώματα (Physical Sublayers, PHY Sublayers). Η αρχιτεκτονική αυτή δίνεται στο πιο κάτω σχήμα και το κάθε ένα από τα στρώματα που την αποτελούν αναπτύσσεται εκτενώς στη συνέχεια.



Σχήμα 2.3: Η αρχιτεκτονική του υποστρώματος MAC και του φυσικού στρώματος του 802.11

2.5 Φυσικό επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο αναλαμβάνει την μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων, αναλαμβάνοντας τις λειτουργίες όπως της διαμόρφωσης, λήψης και εκπομπής.

2.5.1 Τεχνολογίες μετάδοσης

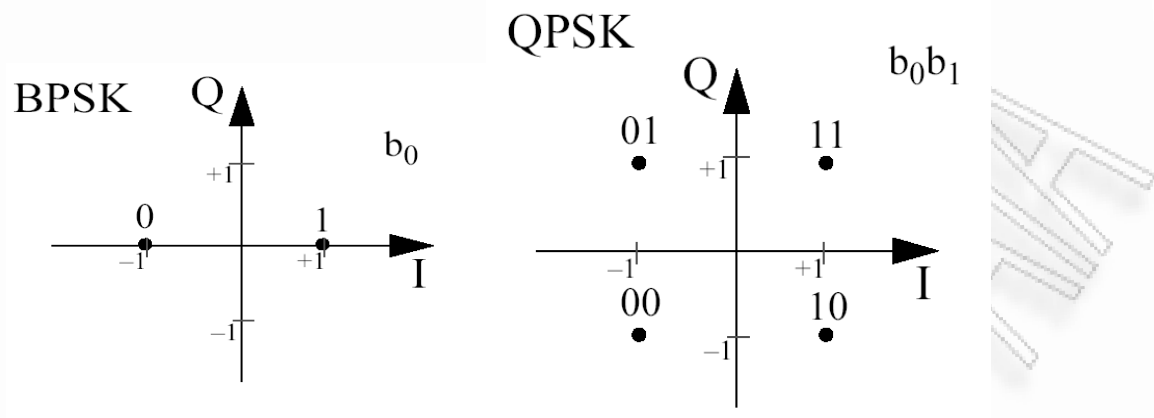
Για το φυσικό επίπεδο προδιαγράφονται τρεις τεχνολογίες:

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- OFDM

Στις δύο πρώτες υποστηρίζονται ρυθμοί μετάδοσης 1 και 2Mbps στην ζώνη συχνοτήτων 2.4 – 2.4835GHz. Η ζώνη αυτή είναι μία μη αδειοδοτημένη ζώνη, για χρήση ISM (Industrial, Scientific and Medical), δηλαδή όχι για εμπορική εκμετάλλευση.

Οι FHSS και DSSS είναι τεχνικές εξάπλωσης φάσματος (spread spectrum). Σε αυτές αφού διαμορφώσουμε με το σήμα πληροφορίας μία φέρουσα, στη συνέχεια εξαπλώνουμε την ισχύ του σήματος σε μία ευρεία περιοχή συχνοτήτων. Έτσι από την μια καταναλώνουμε περισσότερο φάσμα, από την άλλη το σήμα μας αποκτά εξαιρετική ανοσία σε παρεμβολές, θόρυβο και φαινόμενα διάδοσης, όπως ανακλάσεις.

Μετά την εξάπλωση φάσματος, το ψηφιακό σήμα διαμορφώνει κατά BPSK ή QPSK μία φέρουσα και έτσι προκύπτει το ευρυζωνικό σήμα. Στη διαμόρφωση BPSK απεικονίζεται ένα bit σε κάθε σύμβολο και υπάρχουν δύο διαφορετικά σύμβολα, ενώ στην QPSK απεικονίζονται δύο bit σε κάθε σύμβολο και υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά σύμβολα.



Σχήμα 2.4: BPSK και QPSK διαμόρφωση

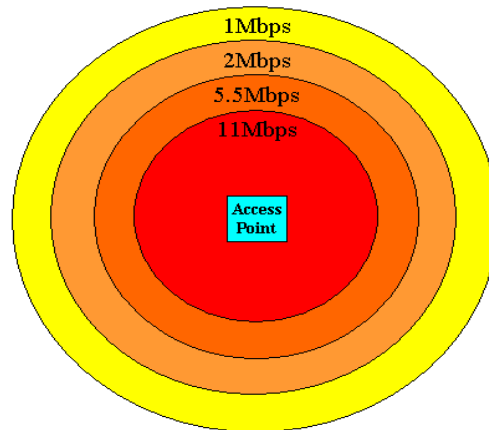
2.5.2 Ταχύτητα μετάδοσης

Το 802.11b υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης 1, 2, 5.5 και 11Mbps. Οι ταχύτητες αυτές είναι ονομαστικές και αναφέρονται στο ρυθμό μετάδοσης στο ραδιοδιάλυο. Η πραγματική ταχύτητα, αυτή που αντιλαμβάνεται ο χρήστης στον υπολογιστή του, είναι αρκετά μικρότερη, ως και το μισό της ονομαστικής. Ο λόγος είναι ότι τα πακέτα που μεταφέρουν την πληροφορία, έχουν σημαντικό ποσοστό πλεονάζουσας πληροφορίας, όπως για παράδειγμα τον αύξοντα αριθμό πακέτου, ή πληροφορία για την ανίχνευση των λαθών. Αφετέρου υπάρχουν νεκρά διαστήματα, όπου δεν γίνεται μετάδοση, όπως και μεγάλος αριθμός μηνυμάτων που δεν περιέχουν χρήσιμη πληροφορία, όπως για παράδειγμα οι επιβεβαιώσεις για τη σωστή λήψη των πακέτων πληροφορίας.

Μπορούμε να πούμε ότι αυτό είναι ένα αντίτιμο, για να έχουμε αξιόπιστη ασύρματη μετάδοση, δηλαδή θυσιάζουμε ένα μέρος του ρυθμού μετάδοσης για να υλοποιήσουμε μηχανισμούς που θα βελτιώσουν τη ποιότητα της μετάδοσης. Επιπλέον σε μετάδοση σε περιβάλλον με άσχημες συνθήκες μετάδοσης (θόρυβος, παρεμβολές), λόγω των επανεκπομπών πακέτων ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης υποβαθμίζεται ακόμα περισσότερο. Αντίστοιχα το 802.11g και 802.11a έχουν ονομαστικούς ρυθμούς μετάδοσης 6, 12, 24, 36, 48, 54 Mbps με το 802.11g να υποστηρίζει για λόγους συμβατότητας με το 802.11b επιπλέον και

τους ρυθμούς 1, 2, 5.5 και 11 Mbps. Οι πραγματικοί ρυθμοί μετάδοσης είναι και εδώ αρκετά μικρότεροι, μικρότεροι από το μισό του ονομαστικού και επηρεάζονται πολύ από τις συνθήκες μετάδοσης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πώς μειώνεται η ταχύτητα μετάδοσης καθώς απομακρυνόμαστε από το σημείο πρόσβασης.



Σχήμα 2.5: Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης με την απόσταση από το σημείο πρόσβασης

2.6 Ασφάλεια δεδομένων

Η πιο σοβαρή αδυναμία της ασύρματης μετάδοσης είναι ότι δεν μπορούμε να εμποδίσουμε εύκολα την φυσική πρόσβαση στο μέσο κάποιου κακόβουλου χρήστη. Έτσι, κάποιος εφοδιασμένος με το κατάλληλο υλικό και λογισμικό μπορεί να συλλέξει ικανό αριθμό πακέτων που μεταδίδονται ανάμεσα στα στοιχεία του ασύρματου δικτύου. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να υποκλέψει την πληροφορία που μεταδίδουμε αν αυτή δεν είναι κρυπτογραφημένη ή είναι κρυπτογραφημένη με κάποιο αδύναμο αλγόριθμο. Μπορεί επίσης, να επιχειρήσει να συνδεθεί ο ίδιος στο ασύρματο δίκτυο με σκοπό την υποκλοπή πληροφορίας ή την κακόβουλη χρήση. Τα τρία πιο γνωστά μέτρα ασφαλείας είναι :

- το ESSID όπου για την σύνδεση ενός ασύρματου σταθμού σε ένα σημείο πρόσβασης πρέπει να ορίσουμε στον πρώτο το ESSID του δεύτερου,
- το WEP, Wired Equivalent Encryption το οποίο αποσκοπεί να δώσει ένα ισοδύναμο βαθμό ασφαλείας με αυτόν ενός ενσύρματου δικτύου. Αποτελεί ένα στοιχειώδες μέτρο ασφαλείας σε ασύρματο δίκτυο. Ο χρήστης εισάγει το κλειδί κρυπτογράφησης που μπορεί να είναι 40-128bit. Το κλειδί αυτό χρησιμοποιείται για την αυθεντικοποίηση ασύρματων σταθμών που επιθυμούν να συνδεθούν και κατόπιν για την κρυπτογράφηση των δεδομένων.
- και τέλος το WPA, Wi-Fi Protected Access το οποίο αποτελεί στην ουσία μια αναβάθμιση του WEP λύνοντας τα προβλήματα ασφαλείας του.

Κεφάλαιο 3

3. Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (WiMAX)

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η κάλυψη του θεωρητικού τμήματος που σχετίζεται με τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα. Θα περιγραφεί η αρχιτεκτονική τους, θα γίνει αναφορά στο φυσικό και στο MAC στρώμα τους για να κατανοήσουμε καλύτερα τον τρόπο μετάδοσης δεδομένων καθώς επίσης θα γίνει και παρουσίαση των υπηρεσιών που μπορούν αυτά τα δίκτυα να προσφέρουν.

3.1 Γενική Περιγραφή

Το 2001 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 γνωστό και σαν WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Σκοπός της ομάδας εργασίας ήταν η προτυποποίηση μιας τεχνολογίας η οποία θα επέτρεπε την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) στο τελευταίο μίλι, αντικαθιστώντας τις Ψηφιακές Γραμμές Συνδρομητή (DSL) και τις Καλωδιακές υλοποιήσεις (Cable). Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για ασύρματα τοπικά δίκτυα, έτσι και το 802.16, που ανήκει στην κατηγορία των Ασύρματων Μητροπολιτικών Δικτύων (Wireless Metropolitan Area Networks - WMAN), καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις.

Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, το Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο, μπορεί να προσφέρει πρόσβαση στο δίκτυο, σε σπίτια και επιχειρήσεις μέσω κεραιών οι οποίες επικοινωνούν με κεντρικούς Σταθμούς Βάσης. Εντός των κτιρίων οι υπολογιστές μπορούν να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο συνδεδεμένοι

σε δίκτυο Ethernet 802.2 ή ασύρματο δίκτυο Wi-Fi 802.11. Παρ' όλα αυτά, το πρότυπο έχει σαφείς προδιαγραφές και για άμεση σύνδεση ενός χρήστη με το δίκτυο κορμού, μέσω κάρτας η οποία θα αρχίσει να ενσωματώνεται και στους καινούργιους φορητούς υπολογιστές.

Η δημιουργία του Wi-MAX, δίνει μια εναλλακτική λύση στον τρόπο σύνδεσης με το δίκτυο. Επειδή τα ασύρματα συστήματα έχουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης κάλυψης χωρίς μεγάλα κόστη τοποθέτησης, υπόσχονται μεγαλύτερη εξάπλωση του Διαδικτύου και πρόσβαση περισσότερων ανθρώπων σε αυτό.

3.2 Ομάδες εργασίας

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα υποπρότυπα που έχουν δημιουργηθεί κατά καιρούς από την IEEE. Παρατίθενται επίσης τα βασικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά, όπως και άλλα στοιχεία σε σχέση με την κάλυψη και τις ταχύτητες πρόσβασης.

Πίνακας 3.1: Υποπρότυπα 802.16

	802.16	802.16a / 802.16 REVd	802.16e
Completion Date	Dec 2001	Jan 2003/Jun2004	Dec2005
Spectrum	10-66GHz	2-11GHz	<6GHz
Type of Spectrum	Unlincenced	Un & lincenced	Lincenced
Bit Rate	32-134Mbps	75Mbps max 20MHz channelization	5Mbps max 5MHz Channelization

Modulation	SC QPSK 16QAM 64QAM	256OFDM QPSK 16QAM 64QAM	Same as 802.16a
Mobility	No Support	No Support	Pedestrian Mobility
Channel Bandwidths	20,25,28MHz	Selectable between 1.25- 20MHz	Same as 802.16a
Coverage	8Km	50Km	5Km

3.2.1 IEEE 802.16-2004

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

Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 ορίζει την επικοινωνία χρηστών οι οποίοι βρίσκονται μέσα σε ένα κελί το οποίο καλύπτεται από ένα σταθμό βάσης. Όταν κάποιος χρήστης κινηθεί σε περιοχή που βρίσκεται εκτός περιοχής κάλυψης του σταθμού βάσης η σύνδεση χάνεται.

3.3 Αρχιτεκτονική – Τοπολογία δικτύου

Στην τοπολογία των δικτύων WiMAX, συναντάμε έννοιες γνωστές και από τη δομή των δικτύων Wi-Fi.

- **Σταθμός Βάσης:**

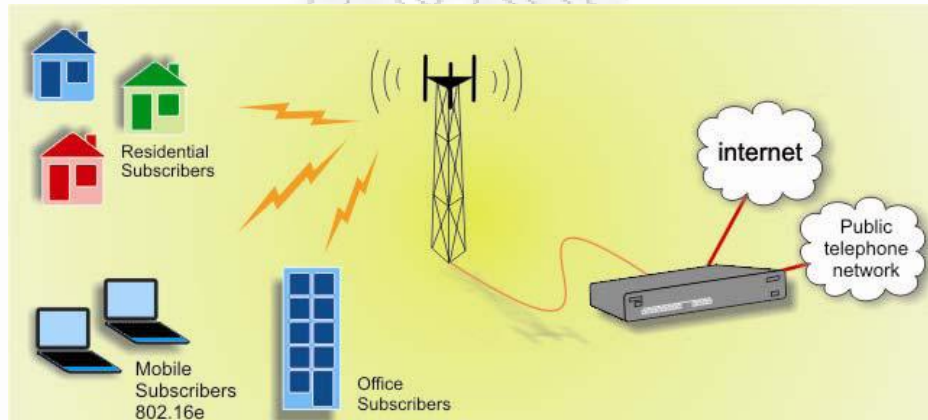
Ο σταθμός βάσης, είναι μια κεραία WiMAX που δρομολογεί την κίνηση από και προς το Διαδίκτυο και μεταφέρει τα δεδομένα με ασύρματο τρόπο στους χρήστες. Δύο σταθμοί βάσης μπορούν να επικοινωνούν με σύνδεση σημείου-προς-σημείο

(point-to-point) μεταξύ τους και πολλοί μαζί να δημιουργήσουν ένα δίκτυο (mesh) για κάλυψη πολύ μεγάλων περιοχών με ασύρματη πρόσβαση. Χαρακτηριστικά, ένας σταθμός βάσης μπορεί να καλύψει ακτίνα μέχρι 50 χλμ σε συνδέσεις σημείου-προς-σημείου. Οποιοσδήποτε ασύρματος κόμβος μέσα στην περιοχή κάλυψης θα είναι σε θέση να έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

- **Δέκτης:**

Κάθε σταθμός βάσης, επικοινωνεί με πολλούς δέκτες WiMAX σε συνδέσεις σημείου-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint) και τους παρέχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Ο δέκτης και η κεραία θα μπορούσαν να είναι ένα αυτόνομο κιβώτιο ή μια κάρτα μνήμης PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) που βρίσκεται στο φορητό ή τον επιτραπέζιο υπολογιστή. Η πρόσβαση στο σταθμό βάσης WiMAX είναι παρόμοια με την πρόσβαση ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης σε ένα δίκτυο WiFi, αλλά η κάλυψη είναι μεγαλύτερη.

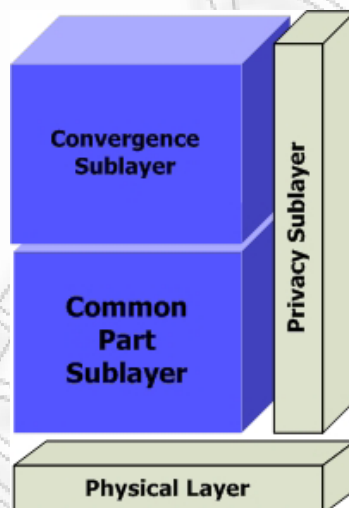
Η τοπολογία αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.1 : Δίκτυο WiMAX

3.4 MAC επίπεδο

Το WiMax είναι ένα πρότυπο που αφορά τα κατώτερα επίπεδα της στοίβας του μοντέλου OSI ή της στοίβας του Internet. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιούνται το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (data link) και το φυσικό επίπεδο. Επειδή, το WiMax έχει προτυποποιηθεί για να μπορέσει να συνδέσει και να εξυπηρετήσει διαφορετικά δίκτυα, όπως για παράδειγμα IP και ATM δίκτυα, έχει δημιουργηθεί επιπλέον επίπεδα στο εσωτερικό του data link. Έτσι το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Media Access Control, MAC) διαιρείται σε τρία υποεπίπεδα.



Σχήμα 3.2 : Υποεπίπεδα MAC στο 802.16

Το υποεπίπεδο σύγκλισης υπηρεσιών (Service Specific Convergence Sublayer, CS) παρέχει οποιοσδήποτε μετασχηματισμό και αντιστοιχία εξωτερικών δεδομένων που λαμβάνονται από το σημείο πρόσβασης του CS

Το CPS παρέχει τη βασική λειτουργικότητα του MAC αναφορικά με την πρόσβαση στο σύστημα, δέσμευση bandwidth, δημιουργία των συνδέσεων για αποστολή δεδομένων και έλεγχο και διατήρηση της σύνδεσης.

Επιπλέον, το τρίτο κατά σειρά επίπεδο εντός του MAC layer είναι το υπόστρωμα ασφαλείας (Privacy Sublayer) το οποίο αναλαμβάνει λειτουργίες αυθεντικοποίησης, κρυπτογράφησης και ανταλλαγή κλειδιών ασφαλείας.

3.5 Φυσικό επίπεδο

Ζώνη 10-66 GHz

- **Αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση χρόνου και διαίρεση συχνότητας (TDD και FDD)**

Η πρώτη έκδοση του προτύπου 802.16 αφορούσε, όπως προαναφέραμε, συνδέσεις οπτικής επαφής στις ζώνες υψηλών συχνοτήτων. Υπό αυτές τις συνθήκες η διαμόρφωση μονού φέροντος ήταν η εύκολη επιλογή για το σχήμα διαμόρφωσης, όμως κάποια σχεδιαστικά προβλήματα παρέμεναν ακόμη. Λόγω της σημείου-προς-πολλαπλά σημεία αρχιτεκτονικής, ο ΣΒ εκπέμπει TDM σήματα, όπου κάθε χρονοθυρίδα αποδίδεται σε ένα χρήστη. Από την άλλη πλευρά ο χρήστης στέλνει στον ΣΒ TDMA σήματα. Για να γίνει αμφίδρομη η μετάδοση σχεδιάστηκε ένα σύστημα που μπορούσε να υποστηρίξει αμφίδρομη μετάδοση με διαίρεση χρόνου (Time Division Duplexing) και αμφίδρομη μετάδοση διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Duplexing). Με την πρώτη μέθοδο η άνω και η κάτω ζεύξη μοιράζονται ένα κανάλι αλλά μεταδίδουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, ενώ με τη δεύτερη μέθοδο, οι δύο ζεύξεις χρησιμοποιούν διαφορετικά κανάλια και μπορούν να μεταδώσουν και ταυτόχρονα.

Αυτός ο σχεδιασμός δίνει τη δυνατότητα στο σχεδιαστή να χρησιμοποιήσει το επιθυμητό σχήμα διαμόρφωσης, ανάλογα με τις συνθήκες διαχείρισης φάσματος της κάθε χώρας.

- **Μέγεθος καναλιού**

Το μέγεθος του καναλιού στο πρώτο πρότυπο, ήταν τα 20 ή 25MHz τυπικά για τις ΗΠΑ και τα 28MHz για την Ευρώπη.

Ζώνη 2-11 GHz

Η κυριότερη διαφορά ανάμεσα στις δύο ζώνες συχνοτήτων, είναι η υποστήριξη στη ζώνη 2-11 GHz, των συνδέσεων μη οπτικής επαφής (NLOS). Για το λόγο αυτό γίναν κάποιες αλλαγές στο Φυσικό Στρώμα του προτύπου 802.16a, που θα επιτρέψουν την αποτελεσματικότερη χρήση του φάσματος και την ανοχή στις απώλειες πολλαπλών δρόμων που επικρατούν σε αυτές τις συνθήκες.

3.5.1 Έξυπνες κεραιές

Λόγω των απαιτήσεων διάδοσης, υποστηρίζεται από το επίπεδο ζεύξης δεδομένων για τη μετάδοση των δεδομένων, η χρήση προηγμένων συστημάτων κεραιών. Αυτές οι κεραιές, που ονομάζονται και «έξυπνες κεραιές», είναι κατευθυντικές και εξασφαλίζουν υψηλό κέρδος ισχύος και μεγαλύτερη κάλυψη περιοχών. Έχουν επίσης τη δυνατότητα να καταστέλουν τις παρεμβολές από γειτονικά συστήματα και γι' αυτούς τους λόγους θεωρείται η πιο αξιόπιστη μελλοντική λύση, η οποία θα επιτρέψει την αναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και θα αυξήσει τις δυνατότητες των Wi-MAX δικτύων.

3.5.2 Προσαρμοστική διαμόρφωση

Προσαρμόζει τη ποιότητα διαβάθμισης της ζεύξης ενώ προσφέρει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (bits/sec) σε κάθε χρήστη. Οι διαμορφώσεις αυτές χρησιμοποιούνται μαζί με την OFDM διαμόρφωση για μεγαλύτερη αποδοτικότητα του διαύλου. Ενδεικτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι ρυθμοί που επιτυγχάνονται, λαμβάνοντας υπόψιν και τα διαφορετικά σχήματα κωδικοποίησης για έλεγχο λαθών που χρησιμοποιούνται.

Πίνακας 3.2 : Ρυθμοί Μετάδοσης στα δίκτυα Wi-MAX

Modulation	FEC Coding Rate	Uncode Burst Rate (Mbps)	End-to-end Ethernet Throughput (Mbps)
BPSK	$\frac{1}{2}$	6	5.7
BPSK	$\frac{3}{4}$	9	8.6
QPSK	$\frac{1}{2}$	12	11.4
QPSK	$\frac{3}{4}$	18	17
16QAM	$\frac{1}{2}$	24	22.4
16QAM	$\frac{3}{4}$	36	33
16QAM	$\frac{2}{3}$	48	43.2
16QAM	$\frac{3}{4}$	54	48.1

Βλέπουμε ότι οι θεωρητικές ταχύτητες που μπορούν να επιτευχθούν είναι περί τα 70 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50 Km σε συνθήκες οπτικής επαφής και μπορούν να φτάσουν μέχρι τα 70 Km. Συνήθεις διαμορφώσεις είναι η 64 QAM η οποία μπορεί να εξασφαλίσει και τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, αλλά σε κοντινές αποστάσεις από τον Σταθμό Βάσης, ενώ η 16 QAM και η QPSK μπορούν να εξασφαλίσουν μεγάλη κάλυψη του συστήματος, σε χαμηλότερες όμως ταχύτητες.

3.5.3 Χρήση μεταβλητού μεγέθους καναλιού

Ενώ όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που απαριθμούνται ανωτέρω είναι απαραίτητες απαιτήσεις για τη βασική υπαίθρια λειτουργία Ευρυζωνικής Ασύρματης Πρόσβασης, τα ευέλικτα μεγέθη των χρησιμοποιούμενων καναλιών

είναι απαραίτητα εάν το πρότυπο θέλει να καθιερωθεί παγκοσμίως. Κι αυτό γιατί οι ρυθμιστικές αρχές της κάθε χώρας μπορεί να ορίζουν διαφορετικό τρόπο χρήσης του φάσματος σε συγκεκριμένες περιοχές, και κατά συνέπεια το μέγεθος των χρησιμοποιούμενων καναλιών, μπορεί να ποικίλει από χώρα σε χώρα. Στην περίπτωση που το φάσμα απαιτεί άδεια χρήσης και ένας χειριστής πρέπει να πληρώσει για κάθε MHz που του χορηγείται, είναι επιτακτικό το σύστημα να λειτουργεί εντός όλου του διατιθέμενου φάσματος και να παρέχει την ευελιξία επιλογής του καναλιού. Κατά συνέπεια εάν σε ένα χειριστή χορηγηθεί και πληρώσει για 14MHz, δεν θα θέλει ένα σύστημα που έχει κανάλια των 6MHz, που σπαταλούν 2MHz του φάσματος. Θα θέλει ένα σύστημα που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανάλια των 7MHz, 3.5MHz ή ακόμα και 1.75MHz για τη μέγιστη προσαρμοστικότητα. Το πρότυπο ορίζει ότι τα κανάλια μπορούν να κυμαίνονται από 1.75MHz έως και 20MHz, ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Πίνακας 3.3 : Χαρακτηριστικά του επιπέδου PHY του προτύπου IEEE 802.16a

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα
Χρήση OFDM με 256 φέρουσες	Επικοινωνία NLOS και LOS
Χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικών διόρθωσης σφαλμάτων	Αποτελεσματικές ζεύξεις με μέγιστο αριθμό bits/sec σε κάθε χρήστη
Υποστήριξη TDD και FDD	Ικανοποιεί τις συνθήκες διαχείρισης φάσματος κάθε χώρας
Μεταβλητό εύρος ζώνης καναλιού (3.5MHz, 5MHz, 10MHz)	Δυνατότητα λειτουργίας σε πολλές ζώνες συχνοτήτων ανάλογα με τον κανονισμό κάθε χώρας
Υποστήριξη έξυπνων κεραιών	Εξασφαλίζεται υψηλό κέρδος ισχύος

3.6 Κινητό Wimax IEEE80216e (Mobile Wimax)

Το κινητό WiMAX είναι μια ευρυζωνική ασύρματη λύση που επιτρέπει τη σύγκλιση των κινητών και των σταθερών ευρυζωνικών δικτύων μέσω μιας κοινής τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης Ευρείας Περιοχής και μιας ευέλικτης δικτυακής αρχιτεκτονικής. Το κινητό WiMAX, υιοθετεί την Ορθογωνική Διαίρεση Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης (OFDMA) για βελτιωμένη απόδοση στην πολυδιόδευση που εμφανίζεται στα περιβάλλοντα μη οπτικής επαφής (NLOS). Η Επεκτάσιμη OFDMA (Scalable OFDMA) εισήχθη τους στο υποπρότυπο IEEE 802.16e, για να υποστηρίξει τα διαφορετικά εύρη ζώνης καναλιών από 1.25 έως 20 MHz.

Αρχικά το κινητό WiMAX θα λειτουργεί στα 2.3, 2.5, 3.3 και 3.4-3.8 GHz. Η υποστήριξη περισσότερων ζωνών θα προστεθεί ανάλογα με τη ζήτηση τους αγοράς. Το WiMAX Forum, υπολογίζει ότι τα πρώτα προϊόντα με την πιστοποίηση του Mobile WiMAX θα κυκλοφορήσουν το δεύτερο εξάμηνο του 2006 και το πρώτο τετράμηνο του 2007.

3.7 Ασφάλεια WIMAX

Την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων στο WiMAX αναλαμβάνει ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κωδικοποίησης Δεδομένων) και συγκεκριμένα μια παραλλαγή του αλγορίθμου ο Triple DES. Το DES αναπτύχθηκε το 1970 από το Αμερικανικό Εθνικό Γραφείο Προτύπων. Η βασική ιδέα ήταν η ανάπτυξη τους αλγόριθμου κρυπτογράφησης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί (και να βελτιωθεί) από διάφορες εταιρείες ή οργανισμούς. Το DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγορίθμων και κάνει χρήση κλειδιών με μήκος 56 bit. Ο «κλασικός» αλγόριθμος DES είναι πλέον ξεπερασμένος, αφού με τη χρήση τους σύγχρονου υπολογιστή μπορεί να παραβιαστεί σχετικά εύκολα. Στο μεταξύ, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές επάνω στο DES, μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την ασφάλειά του. Με τη μέθοδο Triple – DES, για παράδειγμα, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με

τρία διαφορετικά κλειδιά κατά συνέπεια αυτό το πρότυπο αυξάνει την ασφάλεια του DES, καθώς χρησιμοποιεί τρία κλειδιά κρυπτογράφησης.

3.8 Εφαρμογές Wimax

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

- **Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας.** Η εισαγωγή του προτύπου αυτού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με την οπτική ίνα. Εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.
- **Broadband on Demand.** Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας σε μεγάλες αποστάσεις για εφαρμογές πραγματικού χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 δεν ήταν εφικτό.
- **Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας.** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό.

Κεφάλαιο 4

4. Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (UMTS)

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η κάλυψη του θεωρητικού τμήματος που σχετίζεται με τα παγκόσμια συστήματα κινητών επικοινωνιών. Θα περιγραφεί η αρχιτεκτονική και η τοπολογία τους και στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στις υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρουν και την ασφάλεια που διαθέτουν για την μετάδοση πληροφοριών.

4.1 Γενική Περιγραφή

Η ανάγκη του ανθρώπου για κινητικότητα από τη μια, και η ανάγκη για πρόσβαση σε πληροφορία και υπηρεσίες από την άλλη, οδήγησε στη σύγκλιση των δυο παραπάνω «κόσμων» μέσα από τα Κινητά Δίκτυα 3ης Γενιάς και συγκεκριμένα του Παγκόσμιου Συστήματος Κινητών Τηλεπικοινωνιών (UMTS).

Ο όρος UMTS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων "Universal Mobile Telecommunications System" (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών). Πρόκειται για την εξέλιξη των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς σε σχέση με την χωρητικότητα, την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και την ύπαρξη νέων υπηρεσιών. Σήμερα, περισσότερα από εξήντα 3G/UMTS δίκτυα που χρησιμοποιούν την W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) τεχνολογία λειτουργούν σε 25 χώρες. Για την οργάνωση του όλου εγχειρήματος έχει θεσπιστεί ειδικός μη κερδοσκοπικός οργανισμός με την ονομασία Third Generation Partnership Project (3GPP) του οποίου μέλημα είναι η

παρακολούθηση και η καθοδήγηση των εξελίξεων στην συγκεκριμένη τεχνολογική περιοχή.

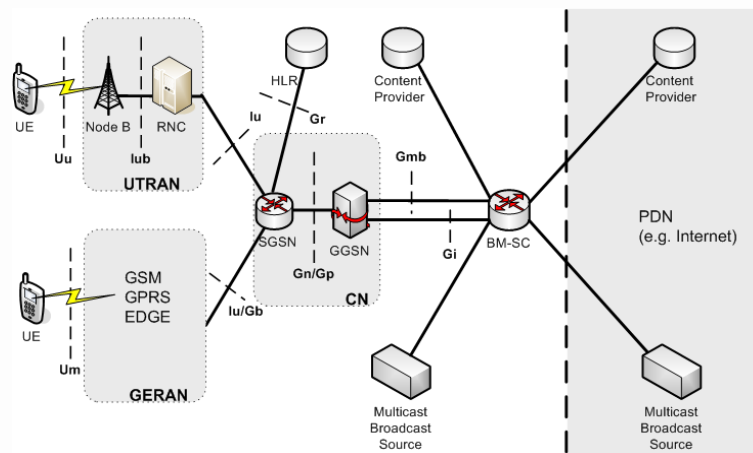
Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των UMTS δικτύων ξεχωρίζουμε τους αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων και την ταυτόχρονη υποστήριξη μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και φωνής. Πιο συγκεκριμένα, το UMTS δίκτυο στην αρχική του φάση, θεωρητικά προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 384 kbps σε περιπτώσεις όπου παρατηρείται αυξημένη κινητικότητα του χρήστη. Αντίθετα, όταν ο χρήστης παραμένει ακίνητος οι ρυθμοί μετάδοσης αυξάνουν φθάνοντας την τιμή των 2 Mbps.

Το UMTS είναι το πιο πολυσυζητημένο και δημοφιλές δίκτυο τρίτης γενιάς το οποίο όπως αναφέραμε και παραπάνω βασίζεται στο σχήμα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα σε ευρεία ζώνη (*Wideband Code Division Multiple Access -W-CDMA*) για το ασύρματο τμήμα του δικτύου και στο πρότυπο *GSM (Global System for Mobile Communications)* και *GPRS (General Packet Radio Service)* για το δίκτυο κορμού.

4.2 Αρχιτεκτονική δικτύου

Ένα δίκτυο UMTS χωρίζεται σε δυο βασικά μέρη, το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (*Radio Access Network -RAN*) και το δίκτυο κορμού (*Core Network -CN*). Το RAN αποτελείται από εκείνα τα δομικά στοιχεία, απαραίτητα για την ραδιοπρόσβαση των χρηστών στο UMTS. Για το RAN υπάρχουν δύο επιλογές: το *GSM EDGE RAN (GERAN)* και το *Universal Terrestrial RAN (UTRAN)* στο οποίο υιοθετείται το σχήμα W-CDMA. Το CN είναι το κύριο τμήμα του δικτύου που υποστηρίζει την παροχή όλων των υπηρεσιών UMTS στους χρήστες. Το CN διαιρείται λογικά στο δίκτυο GSM μεταγωγής κυκλώματος και το δίκτυο *GPRS* μεταγωγής πακέτου. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 4.1, οι παραπάνω διαχωρισμοί που γίνονται σε ένα δίκτυο UMTS επιτρέπουν διαφορετικής τεχνολογίας δομικά στοιχεία RAN και CN να συνυπάρχουν και να συνεργάζονται. Το *User Equipment (UE)* αντιπροσωπεύει τους χρήστες και

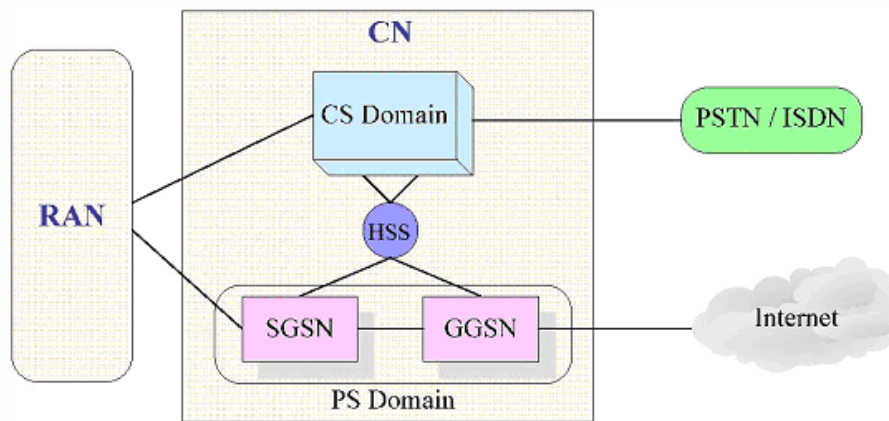
συνδέεται με το δίκτυο μέσω του RAN.



Σχήμα 4.1 : Αρχιτεκτονική δικτύου UMTS

4.2.1 Το δίκτυο κορμού (CN)

Οι κύριες λειτουργίες του CN είναι η διαχείριση των χρηστών στο δίκτυο όπως η αυθεντικοποίηση τους, η διαχείριση τοποθεσίας (location management) και ο έλεγχος της κίνησης δεδομένων. Όπως προαναφέρθηκε αποτελείται από δύο λογικά τμήματα, αυτό της μεταγωγής κυκλώματος (*Circuit Switched – CS*) και εκείνο της μεταγωγής πακέτου (*Packet Switched – PS*). Το CS αποτελεί εξέλιξη του GSM κατάλληλο μόνο για υπηρεσίες φωνής. Δεν θα επεκταθούμε περαιτέρω σε αυτό το τμήμα. Το PS αποτελεί εξέλιξη του GPRS και σε αντίθεση με το CS παρέχει και υπηρεσίες φωνής και δεδομένων. Παρόλο που το GPRS σχεδιάστηκε για την αποτελεσματική μετάδοση πακέτων όλων των τύπων, το UMTS υποστηρίζει μόνο τα πακέτα πρωτοκόλλου IP. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του CS.

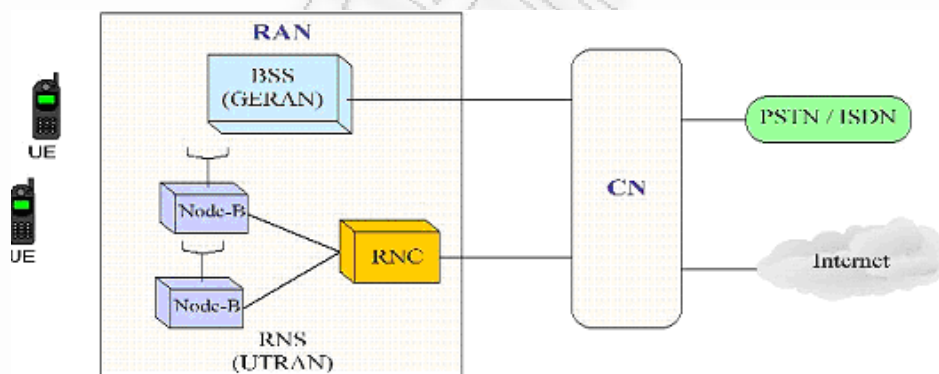


Σχήμα 4.2 : Αρχιτεκτονική δικτύου κορμού (CN)

Στο PS, όλες οι κλήσεις διαχειρίζονται από δυο *GPRS Support Nodes* (GSN): από τον *Gateway GSN* (GGSN) που βρίσκεται στο δίκτυο κατοικίας (home network) του χρήστη και από τον *Serving GSN* (SGSN) που βρίσκεται στο δίκτυο που κάθε φορά επισκέπτεται ο χρήστης. Ο GGSN λειτουργεί ως IP δρομολογητής προς και από το CN, παρέχοντας την απαραίτητη διαλειτουργικότητα με τα εξωτερικά δίκτυα πακέτων δεδομένων. Ο SGSN εκτελεί λειτουργίες ασφάλειας και έλεγχου πρόσβασης και παρακολουθεί της μετακινήσεις του χρήστη μέσα στο δίκτυο. Ο HSS (**H**ome **S**ubscriber **S**erver) παρέχει όλες τις σχετικές πληροφορίες για τους χρήστες όπως τα προνόμια τους και πληροφορίες αυθεντικοποίησης. Λόγω της κυριαρχικής παρουσίας του IP στο UMTS παραθέτουμε συνοπτικά η διαδικασία την δημιουργίας IP συνδεσιμότητας (IP connectivity) για κάθε UE. Αρχικά, μέσω της διαδικασίας *GPRS attach* ο χρήστης αυθεντικοποιείται από το HSS και ο τοπικός SGSN δημιουργεί ένα πλαίσιο διαχείρισης της κινητικότητας του (mobility management context) αποκλειστικό για αυτόν. Κατόπιν, για να μπορεί ο UE να επικοινωνεί και να ανταλλάζει IP πακέτα με το δίκτυο UMTS, δημιουργείται ένα πλαίσιο πρωτοκόλλου πακέτο δεδομένων (*Packet Data Protocol context – PDP context*) στο GGSN του δικτύου κατοικίας του. Το PDP περιέχει την IP διεύθυνση που ανατίθεται στον χρήστη και στοιχεία όπως την ποιότητα υπηρεσίας (*Quality of Service - QoS*), ασφάλειας και άλλες απαιτήσεις και προωθείται στον SGSN και στον UE.

4.2.2 Το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Network – RAN)

Η παροχή διασύνδεσης μεταξύ των χρηστών και του δικτύου κορμού είναι η βασική λειτουργία του RAN. Η πρώτη επιλογή που υποστηρίζει το UMTS για το RAN είναι το GERAN. Πρόκειται για εξέλιξη του GSM ασύρματου δικτύου με ταυτόχρονη υποστήριξη του GPRS. Παρόλο που το GERAN είναι σε θέση να υποστηρίζει πολλές από τις υπηρεσίες των UMTS δικτύων, η συμβατότητα του με το GSM το περιορίζει σημαντικά με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η παρουσία διαφορετικής τεχνολογία για υπηρεσίες με υψηλό ρυθμό μετάδοσης. Τους περιορισμούς του GERAN έρχεται να τους αντιμετωπίσει η δεύτερη επιλογή του UMTS για το RAN, το UTRAN. Ένα ή περισσότερα κελιά εξυπηρετούνται από ένα σταθμό βάσης, τον *Node-B* και ένα ή περισσότερα *Node-Bs* ελέγχονται από έναν ελεγκτή, τον *Radio Network Controller* (RNC). Το σύνολο πολλαπλών RNCs συντελούν ένα υποσύστημα, το *Radio Network Subsystem* (RNS).



Σχήμα 4.3: Αρχιτεκτονική RAN

Ο RNC είναι υπεύθυνος για την διαχείριση των πόρων του ραδιοδιαύλου. Κάποιες ακόμα λειτουργίες του είναι οι παρακάτω :

- Έλεγχος ισχύος (Open-Loop Power Control)
- Έλεγχος έναρξης (Admission Control)
- Έλεγχος Handover (Handover Control)
- Διαχείριση της κίνησης στα κοινά (shared) κανάλια

- Κατάτμηση (segmentation) / Επανασυναρμολόγηση (reassembly)

Ο Node-B είναι ο πομποδέκτης του δικτύου UMTS. Αποτελεί τον παραλήπτη και τον αποστολέα των δεδομένων στο ασύρματο τμήμα του δικτύου και επιπλέον είναι υπεύθυνος για τις παρακάτω λειτουργίες :

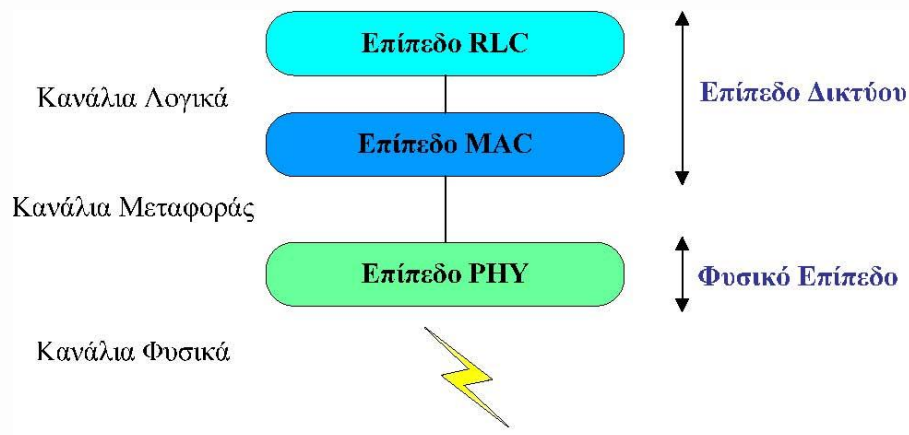
- Κωδικοποίηση W-CDMA
- Έλεγχος ισχύος (Closed-Loop Power Control)
- Διαμόρφωση (Modulation) / Αποδιαμόρφωση (Demodulation)

4.2.2.1 Σύστημα μετάδοσης W-CDMA

Για να διαμοιραστεί το διαθέσιμο εύρος συχνότητα μεταξύ των ταυτόχρονων κλήσεων από το UTRAN επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το σχήμα πρόσβασης WCDMA. Με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου πρόσβασης στο φάσμα συχνοτήτων, όλοι χρήστες μεταδίδουν ταυτόχρονα σε ολόκληρο το φάσμα και η διάκριση του γίνεται λόγω της διαφορετικής κωδικοποίησής τους.

4.2.2.2 Μετάδοση δεδομένων στο RAN – Τα κανάλια μεταφοράς στο UTRAN

Στο UTRAN υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι καναλιών, τα λογικά, της μεταφοράς και τα φυσικά κανάλια. Τα λογικά κανάλια αντιστοιχίζονται στο επίπεδο *MAC (Media Access Control)* στα κανάλια μεταφοράς και τα κανάλια μεταφοράς στο φυσικό επίπεδο αντιστοιχίζονται στα φυσικά κανάλια. Τα κανάλια μεταφοράς είναι εκείνα που μεταφέρουν τα δεδομένα που προέρχονται από τα υψηλότερα επίπεδα και καθορίζουν το πώς και με ποιά χαρακτηριστικά θα μεταδοθούν από το φυσικό επίπεδο στο ασύρματο μέσο.



Σχήμα 4.4 : Απεικόνιση καναλιών στο UTRAN

4.3 Υπηρεσίες και ασφάλεια

4.3.1 Ποιότητα υπηρεσίας (QoS)

Το φορτίο του UMTS δικτύου χωρίζεται σε 4 κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service, QoS). Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την υλοποίηση του RRM. Αρχικά μπορούμε να χωρίσουμε τις υπηρεσίες σε πραγματικού χρόνου (real time, RT) και μη πραγματικού χρόνου (non real time, NRL). Περαιτέρω, λαμβάνοντας υπόψη διάφορα χαρακτηριστικά τους, μπορούμε να τις χωρίσουμε σε 4 κλάσεις. Κάθε πακέτο χαρακτηρίζεται ανάλογα με την κλάση του και τυγχάνει διαφορετικής αντιμετώπισης από το RRM. Οι κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας στο UMTS και μερικά παραδείγματα φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα:

Πίνακας 4.1: Κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας του UMTS

Κλάση	Όνομα κλάσης	Περιγραφή	Παράδειγμα
1	Conversational	-Διατηρεί τον χρόνο ανάμεσα στα πακέτα κατά τη μετάδοση -Σχεδίαση πάνω στην ανθρώπινη αντίληψη -Πραγματικού χρόνου	-Voice over IP -Video Conferencing -Video telephony -Video gaming
2	Streaming	-Διατηρεί τον χρόνο ανάμεσα στα πακέτα κατά τη μετάδοση -Πραγματικού χρόνου	-Video on demand -Multimedia -Webcast
3	Interactive	-Περιορισμένος χρόνος απόκρισης -Διατηρεί με ακρίβεια το περιεχόμενο των πακέτων	-Web browsing -Database access -Network gaming
4	Background	-Διατηρεί με ακρίβεια το περιεχόμενο των πακέτων	-Email -File transfer -SMS -Downloading

Οι πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν τον χρήστη, ο οποίος είναι ο κριτής του προσφερόμενου QoS, είναι :

- η καθυστέρηση : ο χρόνος μεταξύ μιας ενέργειας του χρήστη και του αποτελέσματος αυτού.
- το jitter : περιγράφει τους μεταβλητούς χρόνους άφιξης των πακέτων στον παραλήπτη

- η απώλεια των δεδομένων : το ποσοστό των δεδομένων που δεν παραδίδεται ή που παραδίδεται, έχοντας όμως σφάλματα.

Αυτές οι παράμετροι, μαζί με άλλες όπως είναι ο εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης κτλ, είναι αυτές που διαφοροποιούν τις τάξεις QoS και καθορίζουν τα διαφορετικά προφίλ QoS που προσφέρουν τα δίκτυα.

4.3.2 Νέες υπηρεσίες UMTS

Η τεχνολογία UMTS εξασφαλίζει υψηλές ταχύτητες πρόσβασης και αλλάζει ριζικά τις υπάρχουσες υπηρεσίες που προσφέρουν τα δίκτυα, ενώ ανοίγει το δρόμο για πολλές ακόμα νέες επαναστατικές υπηρεσίες. Αναλυτικά οι καινοτομίες που φέρνει το UMTS είναι:

- 1) Γρήγορη πρόσβαση στο ίντερνετ
- 2) Ταχύτερη αποστολή και λήψη MMS (Multimedia MeSsages): Αν μέχρι τώρα για να ολοκληρωθεί η αποστολή ενός MMS με εικόνες, video και ήχους απαιτούνταν 1-2 λεπτά, με το UMTS όλα αυτά θα γίνονται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Επιπλέον το UMTS θα επιτρέψει την αποστολή μηνυμάτων MMS με συνημμένα αρχεία μεγαλύτερου μεγέθους από ό,τι έχουμε συνηθίσει μέχρι τώρα. Για παράδειγμα η αποστολή ενός συνημμένου αρχείου 200 KB, που σήμερα με την υπάρχουσα τεχνολογία (MMS over GPRS) είναι αδύνατη ή στην καλύτερη περίπτωση χρειάζεται 4-5 λεπτά για να ολοκληρωθεί, με την υπηρεσία MMS μέσω UMTS η αποστολή θα διαρκεί λιγότερο από ένα λεπτό.
- 3) Downloading: Λήψη ήχων, εφαρμογών και βίντεο στο κινητό τηλέφωνο με απευθείας πλοήγηση στο ίντερνετ.
- 4) Audio και video πραγματικού χρόνου (streaming): Πέρα από το download έτοιμων αρχείων ήχου και video, το UMTS επιτρέπει την παρακολούθηση ζωντανών προγραμμάτων μέσω ίντερνετ σε άριστη ποιότητα, χωρίς καθυστερήσεις και διακοπές. Η παρακολούθηση live αθλητικών μεταδόσεων ή η ακρόαση ραδιοφωνικών προγραμμάτων και νέων τραγουδιών μέσω ίντερνετ είναι μόνο μερικά παραδείγματα για αυτά που μπορούμε να δούμε επί της οθόνης.

5) Video-conference: Οι απλές τηλεφωνικές συνομιλίες με ήχο είναι κάτι ακόμα που αλλάζει ριζικά με την έλευση της νέας τεχνολογίας. Οι υψηλές ταχύτητες του UMTS επιτρέπουν όχι μόνο τη συνομιλία με ήχο αλλά τη δυνατότητα να βλέπουμε ταυτόχρονα το συνομιλητή μας σε πραγματικό χρόνο, σε συνδυασμό με τη χρήση της ενσωματωμένης κάμερας που διαθέτουν τα κινητά τηλέφωνα τρίτης γενιάς.

6) Online αγορές και συναλλαγές: Το UMTS θα φέρει πραγματική επανάσταση και στον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιούμε τις αγορές μας. Η κράτηση θέσεων για αεροπορικά δρομολόγια, η αγορά νέων προϊόντων ή η πληρωμή λογαριασμών θα είναι μόνο μερικά παραδείγματα από τις ευκολίες που θα φέρει στη ζωή μας, αφού όλα θα γίνονται μέσω του κινητού μας. Κάποιες από αυτές τις έχουμε ήδη γνωρίσει ήδη με το GPRS, ωστόσο με το UMTS όλα αυτά θα γίνονται ακόμα πιο άμεσα, γρήγορα και με μεγαλύτερη ασφάλεια.

7) Υπηρεσίες κατά τοποθεσία: Το UMTS θα μπορεί να μας ενημερώσει για τα πλησιέστερα σημεία που θα μας εξυπηρετήσουν, ανάλογα με την περιοχή που βρισκόμαστε, είτε ψάχνουμε ένα μέρος για ψυχαγωγία, όπως εστιατόρια και clubs, είτε βρισκόμαστε σε κατάσταση ανάγκης,

4.3.3 Ασφάλεια στο UMTS

Οι λειτουργίες ασφαλείας του UMTS έχουν βασιστεί κυρίως σε αυτές που περιείχε το σύστημα GSM. Κάποιες καινούριες λειτουργίες ασφαλείας έχουν προστεθεί ενώ κάποιες από τις υπάρχουσες δέχτηκαν βελτιώσεις. Ο αλγόριθμος για τη λειτουργία κρυπτογράφησης (encryption) είναι πιο δυνατός και εμφανίζεται στη διεπαφή ανάμεσα στον σταθμό βάσης και τον RNC ενώ ο αλγόριθμος της υπηρεσίας επικύρωσης (authentication), είναι πιο αυστηρός και το απόρρητο του χρήστη πιο ασφαλές.

Τα κύρια στοιχεία που έχει το UMTS από το GSM είναι:

- Επικύρωση (authentication) του χρήστη.
- Εμπιστευτικότητα ταυτότητας του χρήστη.

- Το στοιχείο ταυτότητας του χρήστη (subscriber identity module, SIM) μπορεί να μεταφέρεται από τα τερματικά.

- Κρυπτογράφηση (encryption) στην ασύρματη διεπαφή.

Επιπλέον χαρακτηριστικά ασφαλείας του UMTS είναι τα εξής:

- Ασφάλεια απέναντι στη χρησιμοποίηση λανθασμένων σταθμών βάσης χρησιμοποιώντας αμοιβαία επικύρωση.
- Επέκταση της κρυπτογράφησης ώστε να συμπεριληφθεί η διεπαφή ανάμεσα στον Node B και τον RNC.
- Πληροφορίες ασφαλείας στο δίκτυο προστατεύονται σε καταχωρητές ασφαλείας και κατά τη διάρκεια που εκπέμπονται τα “κλειδιά” κρυπτογράφησης (ciphering) και τα δεδομένα επικύρωσης στο σύστημα.
- Μηχανισμός ενημέρωσης των χαρακτηριστικών ασφαλείας.

Οι προδιαγραφές του UMTS έχουν 5 τύπους χαρακτηριστικών ασφαλείας:

- **Ασφάλεια πρόσβασης στο δίκτυο (network access security):** Είναι το σύνολο των χαρακτηριστικών ασφαλείας που παρέχει στους χρήστες ασφαλή πρόσβαση στις υπηρεσίες του 3G και κυρίως παρέχει προστασία από επιθέσεις στο ασύρματο μέσο.
- **Ασφάλεια περιοχής δικτύου (network domain security):** Είναι το σύνολο των χαρακτηριστικών ασφαλείας το οποίο ενεργοποιεί κόμβους στην περιοχή του τηλεπικοινωνιακού φορέα (provider) ώστε να ανταλλάσσουν δεδομένα σηματοδότησης και να προστατεύουν από επιθέσεις στο ενσύρματο κομμάτι του δικτύου.
- **Ασφάλεια περιοχής χρήστη (user domain security):** Είναι το σύνολο των χαρακτηριστικών ασφαλείας το οποίο παρέχει ασφαλή πρόσβαση στους κινητούς σταθμούς.
- **Ασφάλεια περιοχής εφαρμογής (application domain security):** Είναι το σύνολο των χαρακτηριστικών ασφαλείας το οποίο ενεργοποιεί εφαρμογές στον χρήστη και στην περιοχή του τηλεπικοινωνιακού φορέα για την ασφαλή ανταλλαγή μηνυμάτων.
- **Ορατότητα και διαμορφωσιμότητα της ασφάλειας (visibility and configurability of security):** Είναι το σύνολο των χαρακτηριστικών

ασφαλείας το οποίο προσφέρει στον χρήστη τη δυνατότητα να προειδοποιεί τον εαυτό του αν κάποιο χαρακτηριστικό ασφαλείας είναι ενεργοποιημένο ή όχι και τότε η χρήση και η παροχή υπηρεσιών εξαρτάται από αυτό το χαρακτηριστικό.

Επίσης οι προδιαγραφές του UMTS έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά ασφαλείας εμπιστευτικότητας της ταυτότητας του χρήστη.^[34]

- **Εμπιστευτικότητα ταυτότητας του χρήστη (user identity confidentiality):** Είναι η ιδιότητα να μην απορρέει στο ασύρματο μέσο (δηλ. να μην μπορεί κάποιος να “κρυφακούει”) η μόνιμη ταυτότητα του χρήστη (IMSI) στον οποίο παρέχονται υπηρεσίες.
- **Εμπιστευτικότητα τοποθεσίας του χρήστη (user location confidentiality):** Είναι η ιδιότητα να μην απορρέει στο ασύρματο μέσο η παρουσία ή η εγγραφή ενός χρήστη σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- **Μη ιχνηλάτιση του χρήστη (user untraceability):** Είναι η ιδιότητα όπου ένας παρείσακτος (intruder) δεν μπορεί να συμπεράνει αν διαφορετικές υπηρεσίες παρέχονται στον ίδιο χρήστη με το να “κρυφακούει” στο ασύρματο μέσο.

Κεφάλαιο 5

5. Προσομοίωση δικτύων στο Ornet Modeller

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η κάλυψη του θεωρητικού τμήματος που σχετίζεται με την περιγραφή του εργαλείου που χρησιμοποιήσαμε για την προσομοίωση μας, τον Ornet Modeller. Θα περιγραφεί αναλυτικά η αρχιτεκτονική και η τοπολογία των δικτύων που δημιουργήσαμε. Επίσης, θα γίνει αναφορά στις υπηρεσίες που φτιάξαμε και θέσαμε ως Applications στους workstations κάθε δικτύου. Και τέλος, θα αφιερώσουμε ένα κομμάτι για την παρουσίαση των στατιστικών που έχουμε διαθέσιμα από το εργαλείο μας, ποιους τύπους στατιστικών επιλέξαμε για τη μελέτη μας και για ποιους λόγους.

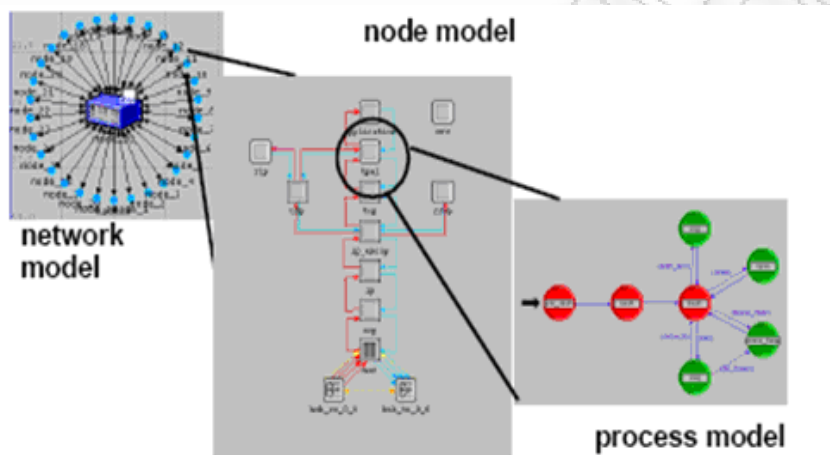
5.1 Γενική Περιγραφή

Το OPNET Modeller, αποτελεί ένα εξειδικευμένο εργαλείο στο χώρο των επικοινωνιών, που προσφέρει τη δυνατότητα με τη βοήθεια ενός γραφικού περιβάλλοντος να μοντελοποιηθούν και να προσομοιωθούν διάφορα είδη δικτύων. Παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον για το σχεδιασμό δικτύων επικοινωνιών και κατανεμημένων συστημάτων. Τόσο η συμπεριφορά όσο και η επίδοση των σχεδιασμένων σε αυτό μοντέλων μπορούν να αναλυθούν εκτελώντας διακριτές προσομοιώσεις γεγονότων (discrete event simulations). Το περιβάλλον του OPNET ενσωματώνει εργαλεία για όλες τις φάσεις της μελέτης μιας προσομοίωσης, περιλαμβάνοντας σχεδιασμό μοντέλων, προσομοίωση, συλλογή και ανάλυση στοιχείων.

Για την κατασκευή της δομής ενός δικτύου, ακολουθείται αυστηρά η παρακάτω ιεραρχία τριών επιπέδων:

- Μοντέλο Δικτύου (Project Editor)
- Μοντέλο Κόμβων (Node Editor)
- Μοντέλο Επεξεργασίας (Process Editor)

Τα αντικείμενα που ανήκουν στο μοντέλο δικτύου περιγράφονται από αντικείμενα που ανήκουν στο μοντέλο κόμβων, ενώ αυτά που ανήκουν στο μοντέλο κόμβων περιγράφονται από αντικείμενα που ανήκουν στο μοντέλο επεξεργασίας. Ένα παράδειγμα αυτής της ιεραρχίας φαίνεται παρακάτω:



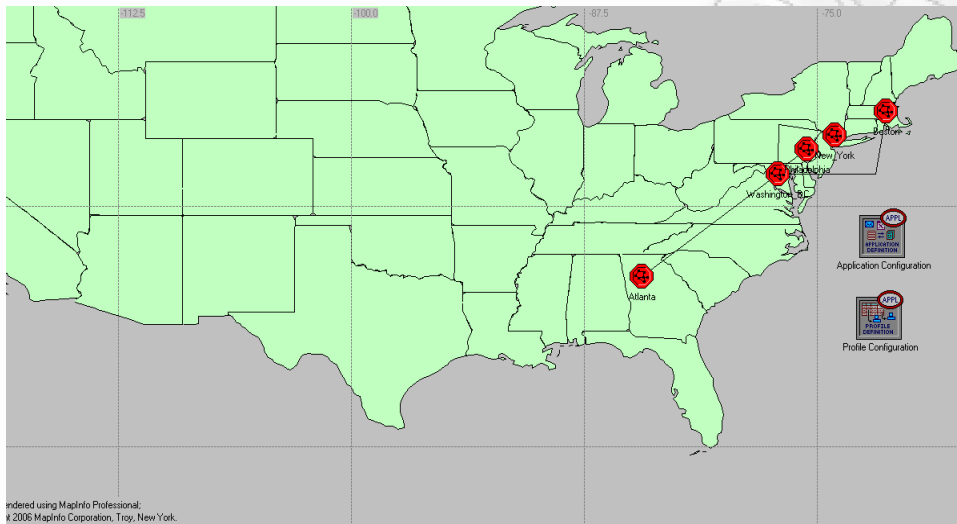
Σχήμα 5.1: Ιεραρχική δομή μοντελοποίησης στο OPNET

5.1.1 Μοντέλο δικτύου

Το Μοντέλο Δικτύου (Project Editor), αποτελεί την κύρια πλατφόρμα εργασίας για την κατασκευή και προσομοίωση ενός δικτύου. Από εδώ μπορούμε να κτίσουμε ένα μοντέλο δικτύου, χρησιμοποιώντας τα έτοιμα μοντέλα (π.χ. ένα Τοπικό Δίκτυο (LAN), ένα Μητροπολιτικό Δίκτυο (MAN) ή ένα δίκτυο με δύο υπολογιστές κ.τ.λ.) που υπάρχουν στη βιβλιοθήκη του OPNET, να επιλέξουμε στατιστικά στοιχεία για το δίκτυο, να τρέξουμε μια προσομοίωση και να δούμε τα αποτελέσματα. Επίσης μπορούμε να φτιάξουμε τα μοντέλα δικτύου και επεξεργασίας, να κατασκευάσουμε μοντέλα για πακέτα που στέλνονται, να

κατασκευάσουμε φίλτρα και παραμέτρους στα οποία μπορούμε να έχουμε πρόσβαση από το μοντέλο επεξεργασίας.

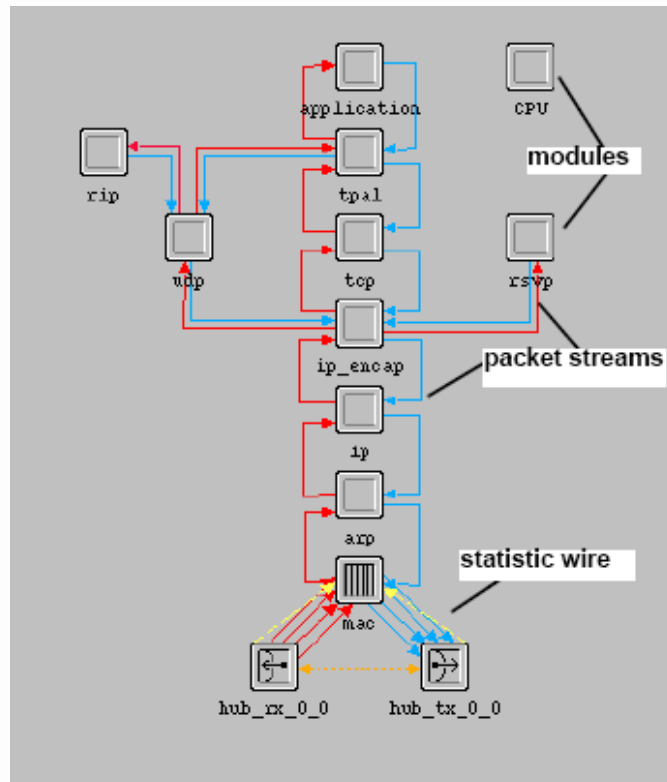
Πιο κάτω φαίνεται το προφίλ ενός μοντέλου δικτύου, όπου έχουν δημιουργηθεί 5 Τοπικά Δίκτυα (κόκκινα σημεία), που επικοινωνούν μεταξύ τους:



Σχήμα 5.2: Μοντέλο Δικτύου

5.1.2 Μοντέλο κόμβων

Τα αντικείμενα του Μοντέλου Κόμβων (Node Editor), περιγράφουν την συμπεριφορά των αντίστοιχων κόμβων δικτύου και μοντελοποιούν τις εσωτερικές τους λειτουργίες όπως δημιουργία δεδομένων, αποθήκευση κ.τ.λ. Η συμπεριφορά κάθε αντικειμένου του δικτύου περιγράφεται από διάφορα “στοιχεία” (modules), τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με “συνδέσεις πακέτων” (packet streams) ή “στατιστικά καλώδια” (statistic wires). Όλα αυτά φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.

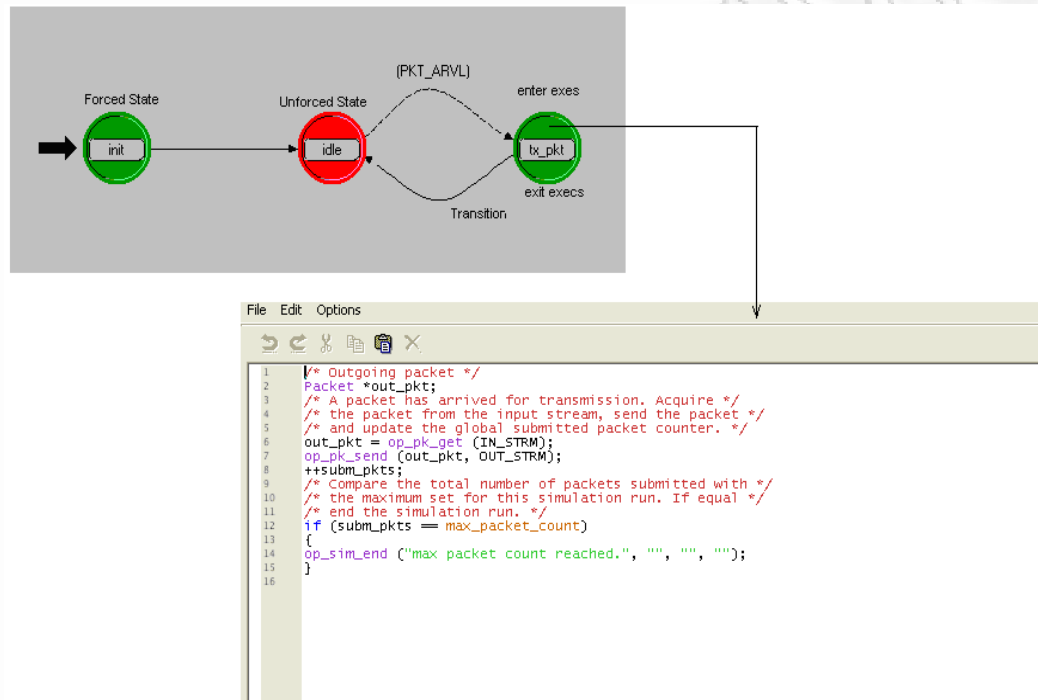


Σχήμα 5.3: Μοντέλο Κόμβων

5.1.3 Μοντέλο επεξεργασίας

Το Μοντέλο Επεξεργασίας (Process Editor), αναπαρίσταται με διαγράμματα πεπερασμένων καταστάσεων (finite state machines - FSMs) που ελέγχουν την εσωτερική λειτουργικότητα των αντικειμένων στο μοντέλο κόμβων. Τα διαγράμματα αυτά δημιουργούνται από εικόνες που αντιπροσωπεύουν καταστάσεις (states) και γραμμές (transitions) που αντιπροσωπεύουν μεταβάσεις μεταξύ αυτών των καταστάσεων. Κάθε κατάσταση χαρακτηρίζεται από τις λειτουργίες εισόδου (enter execution) – οι οποίες περιγράφονται σε κώδικα της γλώσσας C και γράφονται στο πάνω μισό κομμάτι της εικόνας μιας κατάστασης- και τις λειτουργίες εξόδου (exit execution) – οι οποίες γράφονται στο κάτω μισό κομμάτι. “Αναδυόμενα” παράθυρα εμφανίζονται με διπλή επιλογή για κάθε κομμάτι, όπου μπορούμε να γράψουμε τον κώδικα. Οι καταστάσεις επίσης χαρακτηρίζονται σε “εξαναγκασμένες” (forced, πράσινο χρώμα) και “μη-

εξαναγκασμένες” (unforced, κόκκινο χρώμα), ανάλογα με το αν θέλουμε μια κατάσταση να μεταβαίνει στην επόμενη χωρίς κανένα περιορισμό ή όχι αντίστοιχα. Συνθήκες μετάβασης μπορούν επίσης να οριστούν στις γραμμές μετάβασης για να ορίσουν περιορισμούς για τη μετάβαση από την μια κατάσταση στην άλλη. Αυτά φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί :



Σχήμα 5.4: Μοντέλο Επεξεργασίας

5.2 Μοντέλα εφαρμογών στο OPNET Modeller

Το Ornet χρησιμοποιεί γενικά μοντέλα εφαρμογών για τη δημιουργία κινήσεων

εφαρμογής. Δεδομένες εφαρμογές που υποστηρίζουν αυτά τα μοντέλα είναι :

- Μεταφορά αρχείων (File Transfer Protocol – FTP)
- Υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (E-mail)
- Απομακρυσμένη πρόσβαση (Remote Login)
- Video conferencing

- Διαχείριση βάσεων
- HTTP – (Φυλλομετρητής σελίδων – Web browsing)
- Εκτυπώσεις
- Υπηρεσίες φωνής

Εκτός από τα μοντέλα που παρέχουν τις παραπάνω εφαρμογές, υπάρχει και το γενικό μοντέλο εφαρμογής Custom που παρέχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για τη διαμόρφωση νέων εφαρμογών με όλες τις λεπτομέρειες που απαιτούνται. Δύο είναι τα βασικά στοιχεία του μοντέλου που εξυπηρετούν αυτό το σκοπό : η ενέργεια (Task) και η φάση (Phase).

5.3 Στόχοι προσομοίωσης στο OPNET Modeller

Ξεκινώντας αυτή την εργασία, τέθηκαν κάποιοι στόχοι, για το κομμάτι που αφορά την προσομοίωση των δικτύων. Κατά τη διαδικασία της εκπόνησής της, έγινε η προσπάθεια να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί κατά το μέγιστο δυνατό βαθμό.

Ως αρχικός στόχος λοιπόν, ήταν να προσομοιώσουμε ένα δίκτυο συνεργασίας UMTS (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών)-WLAN(Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα –WIMAX(Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα.

Τρεις σε αριθμό χρήστες, δηλαδή ένα τερματικό για κάθε δίκτυο, θα υπάρχουν στην δεδομένη επικαλυπτόμενη περιοχή και θα εκκινούν υπηρεσίες http (web browsing), απομακρυσμένη πρόσβαση (telnet), video και voice. Οι υπηρεσίες αυτές επιλέχθηκαν αφενός για να εισάγουμε την ύπαρξη ενός server και την αλληλεπίδραση αυτών με τους χρήστες και αφετέρου γιατί είναι απαιτητικές σε θέματα ποιότητας υπηρεσίας.

Πιο συγκεκριμένα, θεωρούμε μία περιοχή στην οποία υπάρχουν 3subnets τα οποία ενώνονται σε ένα Ethernet IP Router ο οποίος με τη σειρά του ενώνεται με έναν server που θα υποστηρίζει τις 4 υπηρεσίες που αναφέραμε παραπάνω. Ο λόγος που χρησιμοποιήσαμε subnets για την υλοποίηση της προσομοίωσης μας είναι : επειδή δεν μπορούσαμε να έχουμε ένα τερματικό που να στέλνει και να λαμβάνει σήμα και στα τρία δίκτυα, Wifi, Wimax και UMTS αντίστοιχα,

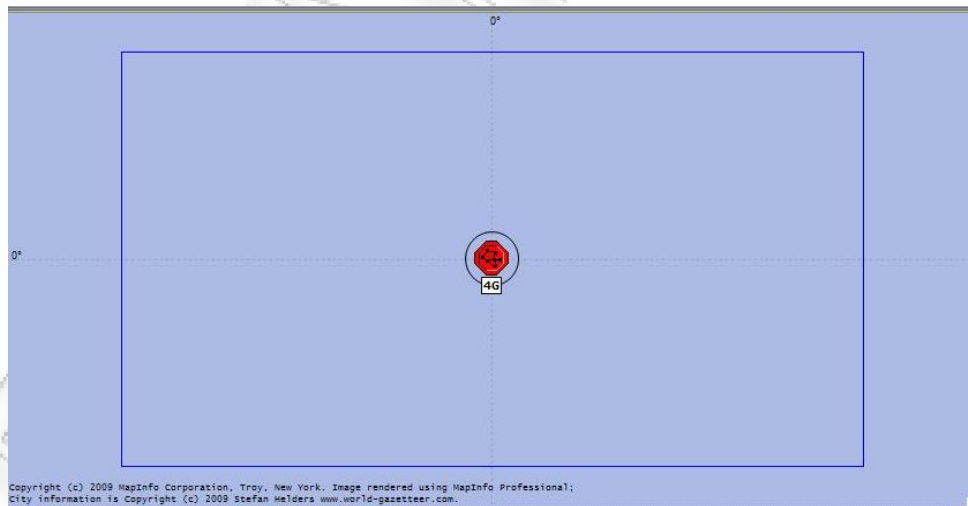
δημιουργήσαμε 3 subnets όπου το καθένα έχει το δικό του τερματικό και εν συνεχεία, ενώθηκαν όλα σε έναν IP router ώστε να υπάρχει το ίδιο traffic από πίσω. Το όλο εγχείρημα υλοποιήθηκε σε μοντέλο δικτύου (project editor).

Μέσω του OPNET θα προσομοιώσουμε το εν λόγω δίκτυο και βάση των αποτελεσμάτων θα εξάγουμε συμπεράσματα για την απόδοση της καθεμιάς από τις 4 υπηρεσίες πάνω στο κάθε δίκτυο δικτύων WLAN, WIMAX και UMTS.

5.4 Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν

5.4.1 Γενική δομή μοντέλου δικτύου διασύνδεσης ετερογενών τεχνολογιών

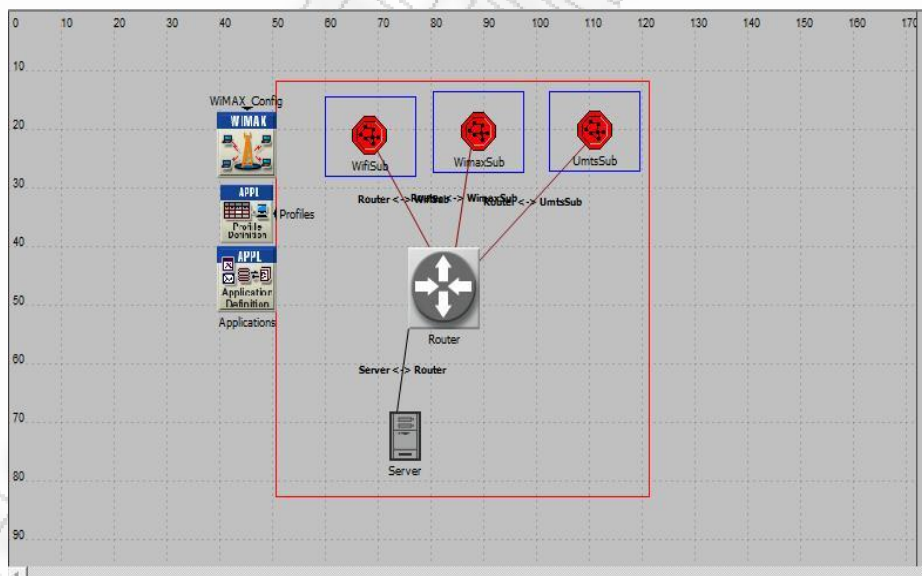
Για να επιτευχθεί η προσομοίωση των δικτύων, έχει αναπτυχθεί ένα μοντέλο δικτύου. Στην επιφάνεια εργασίας του Μοντέλου Δικτύου τοποθετούμε ένα κόμβο δικτύου από την παλέτα αντικειμένων (object palette). Η θέση στην οποία τον τοποθετούμε πάνω στην επιφάνεια εργασίας είναι τυχαία. Σώζουμε αυτό το αρχείο με το όνομα “4G”. Η εικονική αναπαράσταση αυτού που περιγράψαμε φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 5.5: Μοντέλο δικτύου 4G

Με διπλή επιλογή του κόμβου που δημιουργήσαμε, βλέπουμε παρακάτω την εικονική αναπαράσταση της τοπολογίας του μοντέλου δικτύου 4G. Όπως

μπορούμε να δούμε και από την εικόνα που ακολουθεί, η τοπολογία περιλαμβάνει τους εξής κόμβους. Πρώτον, τους Application και Profile Configurations, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για να δημιουργήσουμε τα προφίλ των χρηστών μας και για να ορίσουμε το traffic που θέλουμε να έχουμε βάσει των υπηρεσιών που έχουμε επιλέξει. Επίσης, απαραίτητος για την ορθή λειτουργία του wimax είναι ο κόμβος με το όνομα Wimax Configuration. Στη συνέχεια, δημιουργούμε τα 3 Τοπικά Δίκτυα (subnets), WIFI, WIMAX και UMTS τα οποία θα επικοινωνούν μεταξύ τους και των οποίων η τοπολογία θα περιγραφεί αναλυτικά στις παραγράφους που ακολουθούν. Τα 3 subnets που δημιουργήσαμε ενώνονται σε ένα IP Ethernet Router ο οποίος με τη σειρά του ενώνεται με έναν server που θα υποστηρίζει τις υπηρεσίες που έχουμε ορίσει προηγουμένως στους Application και Profile Configuration κόμβους. Σχετικά με τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, ο Ethernet router και ο server ενώνονται μέσω μιας γραμμής PPP_T1. Μεταξύ Ethernet router και καθενός από τα subnets υπάρχει μια γραμμή 100BaseT.



Σχήμα 5.6: Εικονική αναπαράσταση μορφολογίας δικτύου 4G

5.4.2 Διαχείριση της κινητικότητας – SIP πρωτόκολλο

Με την ανάπτυξη πολλαπλών ασύρματων διεπαφών στα κινητά τερματικά αναπτύχθηκαν ερωτήματα σχετικά με τον τρόπο που θα παρέχεται στους κόμβους η δυνατότητα να επικοινωνούν, ακόμα και στην περίπτωση που θα αλλάζουν το σημείο πρόσβασης τους στο δίκτυο (κάθετη διαπομπή-vertical handover). Επειδή η τοπολογία ενός ασύρματου δικτύου είναι δυναμική, η διεύθυνση προορισμού δεν ανταποκρίνεται πάντα στην ίδια φυσική θέση του προορισμού. Έτσι προκύπτει πρόβλημα δρομολόγησης πακέτων μεταξύ κινητών σταθμών, το οποίο μπορεί να λυθεί με τη χρήση διάφορων πρωτοκόλλων όπως είναι το MobileIP (MIP).

Όταν ο κινητός κόμβος αλλάζει το σημείο σύνδεσής του δίκτυο, η ροή των πληροφοριών ενοχλείται και μειώνεται ο ρυθμός μετάδοσης λόγω της διαδικασίας της διαπομπής. Η διαπομπή μπορεί να είναι είτε ελεγχόμενη από τον κινητό κόμβο (Mobile-Controlled HandOver), είτε ελεγχόμενη από το δίκτυο (Network-Controlled HandOver). Το εκάστοτε πρωτόκολλο κινητικότητας έχει ως κύριο στόχο να διατηρεί τον ρυθμό της ροής πληροφοριών κατά την διάρκεια της διαπομπής, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται συνεχή και πανταχού παρούσα πρόσβαση στους χρήστες. Στο επίπεδο δικτύου και πιο συγκεκριμένα η διαχείριση της κινητικότητας από το επίπεδο εφαρμογής γίνεται με την χρήση του πρωτοκόλλου SIP (Session Initiation Protocol).

Η διαχείριση της κινητικότητας από το επίπεδο εφαρμογής είναι κατάλληλη για υπηρεσίες όπως VoIP, όπου υπάρχει μεταγωγή της κλήσης μεταξύ κυψελοειδών δικτύων και δικτύων που βασίζονται στην μεταφορά πακέτων. Από την άλλη μεριά υπάρχουν και μειονεκτήματα. Καταρχάς, απαιτεί περισσότερο χρόνο συγκριτικά με την διαχείριση της κινητικότητας από το επίπεδο δικτύου λόγω του χρόνου επεξεργασίας του επιπέδου εφαρμογής. Επιπλέον, υποστηρίζει την κινητικότητα μόνο για εφαρμογές που βασίζονται στο SIP (SIP-based applications). Αν η εφαρμογή μεταξύ των επικοινωνούντων οντοτήτων είναι βασισμένη στο SIP, τότε η υποστήριξη και διαχείριση της κινητικότητας μπορεί να γίνει μέσω της σηματοδότησης του πρωτοκόλλου SIP. Το SIP μπορεί να υποστηρίζει υπηρεσίες βασισμένες και στο RTP και στο TCP (πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς) κατά την διάρκεια της διαπομπής και φροντίζει τις αλλαγές που συμβαίνουν στις παραμέτρους

των οντοτήτων κατά την διάρκεια αυτής. Όμως, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υπηρεσίες που δεν βασίζονται στο SIP (non-SIP-based applications), όπως η FTP και Telnet. Κατά συνέπεια, εάν κάποιος πάροχος επιθυμεί διαχείριση της κινητικότητας για όλες τις υπηρεσίες κατά την διάρκεια της διαπομπής, τότε η διαχείριση αυτής από το επίπεδο εφαρμογής δεν είναι η καλύτερη λύση.

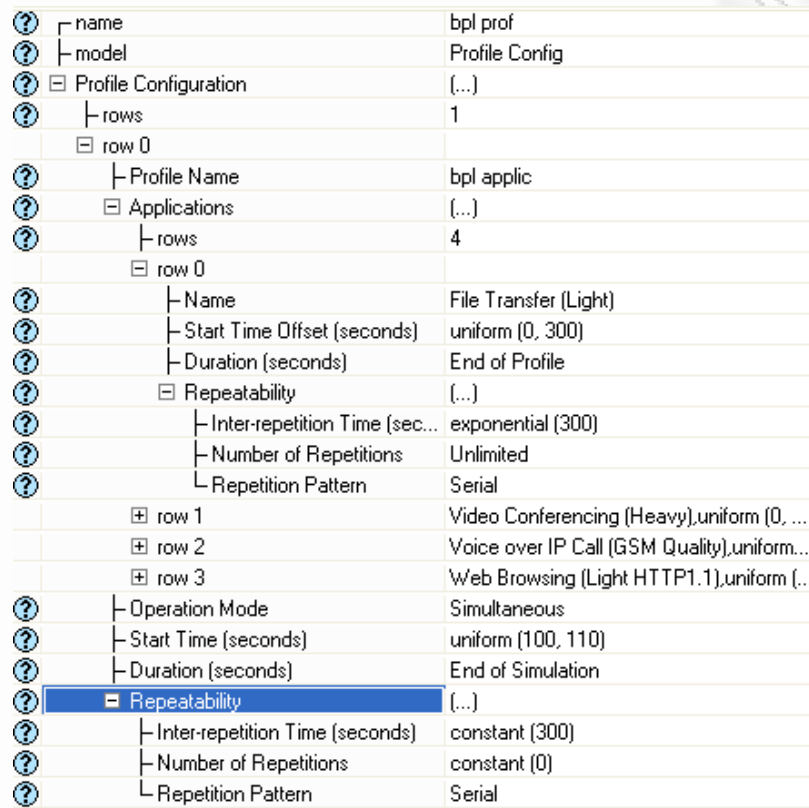
5.4.2.1 Δημιουργία κίνησης στο μέσο

Η δημιουργία κίνησης στο μέσο υλοποιείται με τον ορισμό μιας σειράς παραμέτρων στον πίνακα μεταβλητών κάθε σταθμού (station) που αφορούν στην παραγωγή κίνησης και πλαισίων. Στους σταθμούς εργασίας (workstation) υπάρχει διαφοροποίηση ως προς τον τρόπο ορισμού της κίνησης, καθώς χρησιμοποιούνται οι κόμβοι Application Configuration και Profile Configuration όπου ορίζονται είδη εφαρμογών, όπως FTP, πρόσβαση σε βάση δεδομένων, e-mail και άλλες, το φορτίο και τα χαρακτηριστικά τους και επιλέγεται η επιθυμητή.

Από τα Node Models που υπάρχουν στην Object Palette, κάνουμε “drag and drop” τα εικονίδια Application Configuration και Profile Configuration. Στο εικονίδιο Application Configuration ορίζονται οι υποστηριζόμενες από το δίκτυο εφαρμογές και τα χαρακτηριστικά τους (παραδείγματος χάριν e-mail, φορτίο ftp, πρόσβαση σε βάση δεδομένων, telnet και άλλες). Πηγαίνουμε λοιπόν στα attributes του Application Configuration και επιλέγουμε όλες τις υπηρεσίες που θέλουμε για την προσομοίωση μας.

Στο εικονίδιο Profile Configuration επιλέγονται οι εφαρμογές που θα χρησιμοποιούνται από τους σταθμούς και ο τρόπος με τον οποίο αυτό θα γίνεται, ενώ στον πίνακα μεταβλητών του σταθμού απλά επιλέγεται η επιθυμητή εφαρμογή και ο προορισμός της. Έτσι λοιπόν με το Profile Configuration φτιάχνουμε τα προφίλ των χρηστών που έχουμε δημιουργήσει. Με δεξιά κλικ στο εικονίδιο μεταβαίνουμε στην επιλογή “Edit attributes” και στο “Profile Configuration” στην επιλογή “Number of rows” επιλέγουμε πόσες θα είναι οι υπηρεσίες που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε και τις ορίζουμε. Εμείς επιλέξαμε να έχουμε 4 υπηρεσίες, http, voice application,

telnet και video conferencing. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το παράθυρο με τις επιλογές του προφίλ που εφαρμόστηκε σε όλες τις προσομοιώσεις.



?	name	bpl prof
?	model	Profile Config
?	Profile Configuration	(...)
?	rows	1
	row 0	
?	Profile Name	bpl applic
?	Applications	(...)
?	rows	4
	row 0	
?	Name	File Transfer (Light)
?	Start Time Offset (seconds)	uniform (0, 300)
?	Duration (seconds)	End of Profile
?	Repeatability	(...)
?	Inter-repetition Time (sec...	exponential (300)
?	Number of Repetitions	Unlimited
?	Repetition Pattern	Serial
	row 1	Video Conferencing (Heavy).uniform (0, ...
	row 2	Voice over IP Call (GSM Quality).uniform...
	row 3	Web Browsing (Light HTTP1.1).uniform (...)
?	Operation Mode	Simultaneous
?	Start Time (seconds)	uniform (100, 110)
?	Duration (seconds)	End of Simulation
?	Repeatability	(...)
?	Inter-repetition Time (seconds)	constant (300)
?	Number of Repetitions	constant (0)
?	Repetition Pattern	Serial

Σχήμα 5.7: Παράθυρο επιλογών του προφίλ κίνησης που εφαρμόστηκε στις προσομοιώσεις

Κάθε υπηρεσία αντιστοιχίστηκε στην εφαρμογή που την περιγράφει καλύτερα από αυτές που διαθέτει το OPNET. Η αντιστοιχία παρουσιάζεται στον πίνακα παρακάτω.

Πίνακας 5.1: Η αντιστοιχία μεταξύ υπηρεσιών που προσφέρονται από το δίκτυο και των εφαρμογών που παρέχει το OPNET

ΕΦΑΡΜΟΓΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΟ OPNET
Απλή επικοινωνία	Αποστολή μηνυμάτων πολυμέσων	File Transfer (light)
Παρακολούθηση χώρου	Εικόνα υψηλής ποιότητας	Video Conference (high)
IPTV	Διαδραστικά μέσα ιδιαίτερα υψηλής ποιότητας	Video Conference (light)
VoIP	Ηλεκτρονική τηλεφωνία	VoIP (GSM quality)
Ευρυζωνική πρόσβαση	Φυλλομέτρηση	Web browsing (light HTTP 1.0)

5.4.3 Δημιουργία subnets

Στο σημείο αυτό θα περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο φτιάξαμε τα 3 Subnets, Wifi, Wimax και Umts αντίστοιχα. Από τα Node Models που υπάρχουν στην Object Palette , κάνουμε “drag and drop” τρία κόκκινα εικονίδια με την ονομασία subnet. Με δεξιά κλικ στο κάθε subnet, με την επιλογή “Set name” ονοματίζουμε κάθε δίκτυο, WIFI, WIMAX και UMTS αντίστοιχα.

5.4.3.1 Δομή του μοντέλου δικτύου WIFI

Με διπλή επιλογή του subnet Wifi βλέπουμε ότι η τοπολογία περιλαμβάνει ένα Access Point και ένα σταθμό Wireless lan station.(Η τοπολογία που βλέπουμε μέσα σε κάθε subnet έχει δημιουργηθεί με τον ίδιο τρόπο όπως και παραπάνω, “drag & drop” από την Object Palette). Στα attributes του Wlan sta

στην επιλογή “Application Supported Profiles” επιλέγουμε στο “Number of rows” τον αριθμό 4, όσες είναι και οι υπηρεσίες που έχουμε ορίσει προηγουμένως στο εικονίδιο Profile Configuration.

Η γενική μορφή του δικτύου WIFI που προσομοιώθηκε φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα .

Πιο συγκεκριμένα, ανοίγοντας την object palette επιλέξαμε τους εξής κόμβους δικτύου του OpNet :

- a) Wireless lan_ethernet_slip4_router (Access point)
- b) Wlan_wsktn (Wireless lan workstation)



Σχήμα 5.8: Εικονική αναπαράσταση μορφολογίας δικτύου Wifi

Επίσης, στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το παράθυρο με τις επιλογές του προφίλ που εφαρμόστηκαν στο wlan station.

Πίνακας 5.2: Παράθυρο με wlan παραμέτρους

S.No	Parameter	Value
1	Physical Characteristics	Direct Sequense
2	Data Rate	11 Mbps
3	Bandwidth(Hz)	Physical Technology Dependent
4	Channel frequency(Hz)	BSS Based
5	Transmission Power(W)	0,005
6	Max Receive Lifetime(sec)	0,5
7	Buffer Size(bits)	256000

5.4.3.2 Δομή του μοντέλου δικτύου WIMAX

Με διπλή επιλογή του subnet WIMAX βλέπουμε ότι η τοπολογία περιλαμβάνει ένα Base station και ένα σταθμό Wimax station.(Η τοπολογία που βλέπουμε μέσα σε κάθε subnet έχει δημιουργηθεί με τον ίδιο τρόπο όπως και παραπάνω, “drag & drop” από την Object Palette)

Η γενική μορφή του δικτύου WIMAX που προσομοιώθηκε φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα .

Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τους εξής κόμβους δικτύου του OrNet:

- a) wimax_bs_ethernet4_slip4_router, Base station
- b) wimax_ss_wsktn(mobile) , Wimax workstation

Οι υπηρεσίες ορίζονται στο Wimax sta με τον ίδιο τρόπο όπως και στο Wlan station. Αξίζει να σημειωθεί ότι για την σωστή λειτουργία του Wimax είναι απαραίτητο να κάνουμε drag ένα ακόμη Node Model από την Object Palette, το Wimax Configuration.



Σχήμα 5.9: Εικονική παράσταση μορφολογίας δικτύου Wimax

Επίσης, στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το παράθυρο με τις επιλογές του προφίλ που εφαρμόστηκαν στο wimax station.

Πίνακας 5.3: Παράθυρο με wimax παραμέτρους

S.No	Parameter	Value
1	Maximum Transmission Power(W)	0,5
2	PHY Profile	Wireless OFDMA
3	PHY Profile Type	OFDM 20MHz

Πίνακας 5.4: Παράθυρο με wimaxπαραμέτρους

S.No	Parameter	Value
1	Physical Characteristics	Direct Sequence
2	Data Rate	11 Mbps
3	Bandwidth(Hz)	Physical Technology Dependent
4	Channel frequency(Hz)	BSS Based
5	Transmission Power(W)	0,005
6	Max Receive Lifetime(sec)	0,5
7	Buffer Size(bits)	256000

5.4.3.3 Δομή του μοντέλου δικτύου UMTS

Τέλος, με διπλή επιλογή του subnet UMTS βλέπουμε ότι η τοπολογία περιλαμβάνει μία κεραία Node-B, έναν RNC node, έναν SGSN node, έναν GGSN node, έναν router και ένα σταθμό UE.

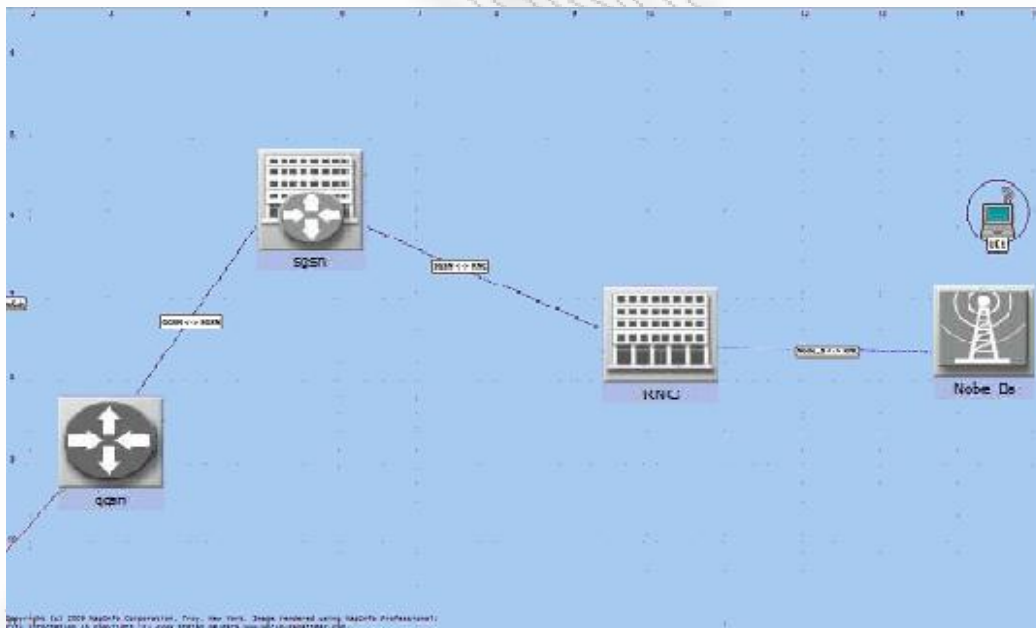
Η γενική μορφή του δικτύου UMTS που προσομοιώθηκε φαίνεται και στο Σχήμα παρακάτω.

Πιο αναλυτικά η τοπολογία του δικτύου UMTS περιλαμβάνει τους εξής κόμβους:

- a) Έναν Ethernet4_slip8_gtwy (Router)
- b) Έναν umts_ggsn_ethernet2_slip8 (GGSN)
- c) Έναν umts_sgsn_Ethernet_atm_slip9 (SGSN)
- d) Έναν umts_rnc_Ethernet_atm_slip (RNC)
- e) Έναν umts_node_b (Node_B_1)
- f) Ένα ή περισσότερους umts_wkstn (UE)

Σχετικά με τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, ο router και η πύλη εξόδου/δρομολογητής GGSN συνδέονται μέσω μιας γραμμής 100BaseT. Μεταξύ GGSN και της πύλης SGSN όπου και γίνεται η εγγραφή του χρήστη υπάρχει μια γραμμή PPP_DC3 και μεταξύ SGSN και RNC μια ATM_OC3. Τέλος, ο RNC και ο Node_B_1 επικοινωνούν μέσω γραμμής ATM_OC3.

Ομοίως ορίζονται οι υπηρεσίες στον UE.



Σχήμα 5.10: Εικονική αναπαράσταση μορφολογίας δικτύου Umts

Πίνακας 5.5: Παράθυρο με παραμέτρους admission control (οι παράμετροι αυτές οι οποίες ορίζονται στον RNC Node δεν επηρεάζονται από τον τύπο της υπηρεσίας)

S.No	Parameter	Value
1	Admission Control Algorithm	Default
2	Uplink Loading Factor	0,75
3	Downlink Loading Factor	0,75
4	Thermal Noise Power Spectral Density	-174

Πίνακας 5.6: Παράθυρο με παραμέτρους που ορίστηκαν στον NODE B

S.No	Parameter	Value
1	Transmission Power (W)	1

5.5 Διαθέσιμα Στατιστικά Δεδομένα

Για να αναλυθεί και να μελετηθεί η απόδοση των δικτύων WLAN, η πλατφόρμα προσομοίωσης OPNET παρέχει μια σειρά στατιστικών δεδομένων που μπορούν να επιλεγούν ώστε κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης να συλλέγονται δεδομένα και μετά το πέρας αυτής να αναπαρίστανται γραφικά. Τα στατιστικά στοιχεία μπορούν να συλλέγονται ανά κόμβο ή καθολικά.

Τα στατιστικά στοιχεία ανά κόμβο αφορούν τα δεδομένα ενός σταθμού και είναι περισσότερα σε πλήθος. Κάποια από τα σημαντικότερα είναι τα εξής:

- Χρόνοι οπισθοχώρησης
- Κατάληψη καναλιού (μετρητής NAV)
- Απεσταλμένη κίνηση ελέγχου (περιλαμβάνει πλαίσια επιβεβαίωσης, RTS και CTS)
- Ληφθείσα κίνηση ελέγχου (περιλαμβάνει πλαίσια επιβεβαίωσης, RTS και CTS)

- Απεσταλμένη κίνηση δεδομένων
- Ληφθείσα κίνηση δεδομένων
- Προσπάθειες επαναμετάδοσης
- Απορριφθέντα πακέτα δεδομένων (λόγω υπερχείλισης προσωρινής μνήμης του ανώτερου στρώματος)

Πριν “τρέξω” λοιπόν την προσομοίωση μου επιλέγω τι είδους στατιστικά αποτελέσματα χρειάζομαι για την έρευνα μου. Πατώντας λοιπόν δεξί κλικ, πηγαίνω στην επιλογή “Choose individual statistics” και επιλέγω αυτά που με ενδιαφέρουν. Εμείς επιλέξαμε :

Global Statistics :

UMTS GMM

WIMAX

Wireless LAN

Node Statistics :

Client Http

Client Remote Login

Video Conferencing

Voice Application

- **Ethernet delay (sec):** Η καθυστέρηση από άκρη σε άκρη όλων των πακέτων Ethernet που λήφθηκαν από όλους τους σταθμούς.
- **IP traffic received (bits/sec):** Ο συνολικός αριθμός των bits που λήφθηκαν από ένα κόμβο από όλες τις διεπαφές IP ανά δευτερόλεπτο.
- **IP traffic sent (packets/sec):** Ο συνολικός αριθμός των bits που στάλθηκαν από ένα κόμβο από όλες τις διεπαφές IP ανά δευτερόλεπτο.
- **Wireless LAN delay (sec):** Η καθυστέρηση από άκρη σε άκρη όλων των πακέτων που λήφθηκαν και προωθήθηκαν σε υψηλότερα επίπεδα από το στρώμα MAC όλων των ασυρμάτων κόμβων του δικτύου.
- **Wireless LAN throughput (bits/sec):** Ο συνολικός αριθμός bits που προωθήθηκαν από το στρώμα MAC όλων των ασυρμάτων κόμβων του δικτύου σε υψηλότερα επίπεδα προς τον απαιτηθέντα χρόνο.

Κεφάλαιο 6

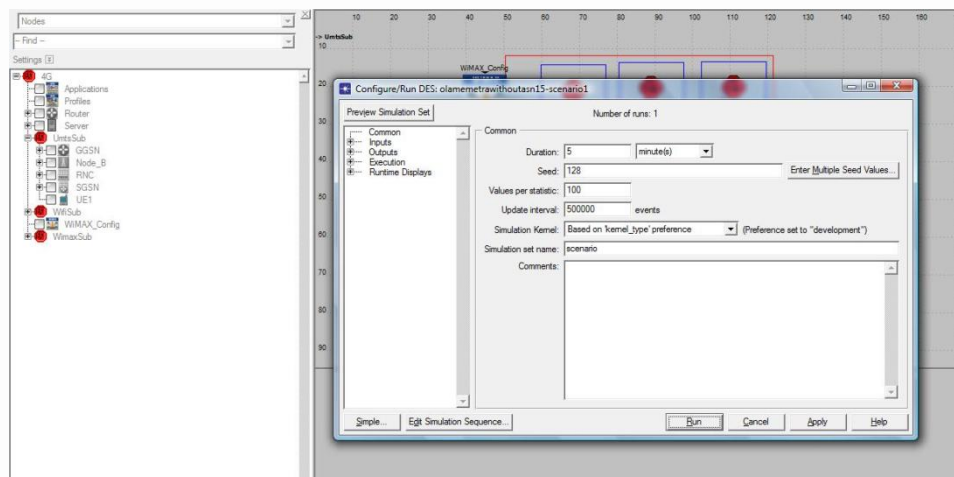
6. Αποτελέσματα της προσομοίωσης, παρατηρήσεις και συμπεράσματα

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων μετά από μια σειρά επαναλαμβανόμενων προσομοιώσεων. Θα αναλυθούν διεξοδικά τα αποτελέσματα που έχουμε από τις γραφικές παραστάσεις οι οποίες προκύπτουν από τα στατιστικά που επιλέξαμε προηγουμένως. Θα γίνει σύγκριση της απόδοσης των υπηρεσιών για κάθε τύπο δικτύου. Και τέλος, θα γίνουν προτάσεις για πιθανές βελτιώσεις των τεχνολογιών που αφορούν μελλοντικές χρήσεις υπηρεσιών στα συνεχώς εξελισσόμενα ευρυζωνικά δίκτυα με στόχο τη μεγιστοποίηση της απόδοσης.

6.1 Γενική Περιγραφή

Επιλέγουμε ακολούθως “Διαμόρφωση/ τρέξιμο προσομοίωσης ξεχωριστών γεγονότων”. Στην κονσόλα μορφοποίησης της εξομοίωσης που εμφανίζεται επιλέγουμε τις παραμέτρους ως εξής:

- Duration: 5 minutes
- Seed: 128 (αριθμός simulation που κάνει το opnet)
- Values per statistic: 100
- Update interval: 500000 events
- Simulation Kernel: Based on ‘kernel_type’ preference

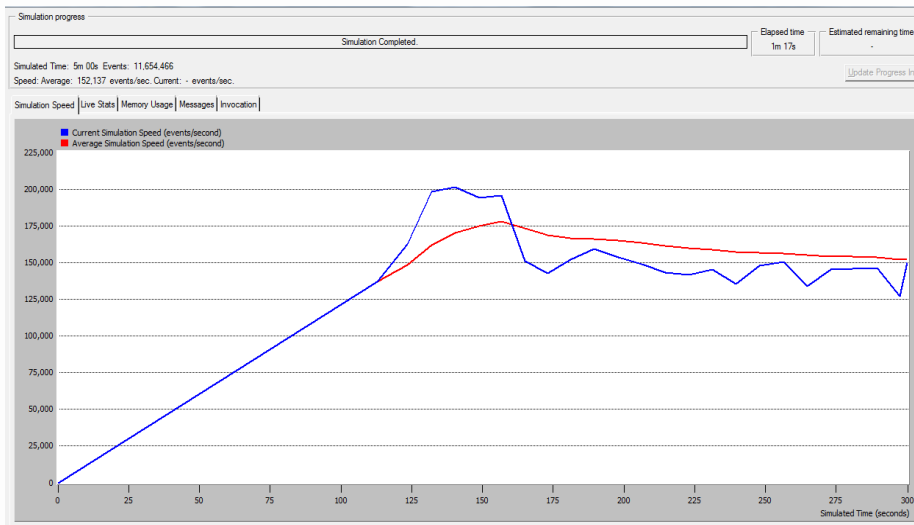


Σχήμα 6.1: Κονσόλα προσομοίωσης

Στη συνέχεια επιλέγουμε “Run”, αφήνουμε την προσομοίωση να τελειώσει και στο παράθυρο “Ακολουθία Προσομοίωσης” (Simulation Sequence) βλέπουμε τα αποτελέσματα.

6.2 Ταχύτητα προσομοίωσης

Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε την ταχύτητα της προσομοίωσης για όλο το χρονικό διάστημα που εμείς είχαμε ορίσει για να τρέξει η προσομοίωση μας. Με την μπλε γραμμή φαίνεται η στιγμιαία ταχύτητα της προσομοίωσης μας, ενώ με την κόκκινη η μέση ταχύτητα.



Σχήμα 6.2: Ταχύτητα προσομοίωσης

Στα γραφήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας.

6.3 Ρυθμοί απόδοσης και Χωρητικότητα καναλιού

6.3.1 Throughput

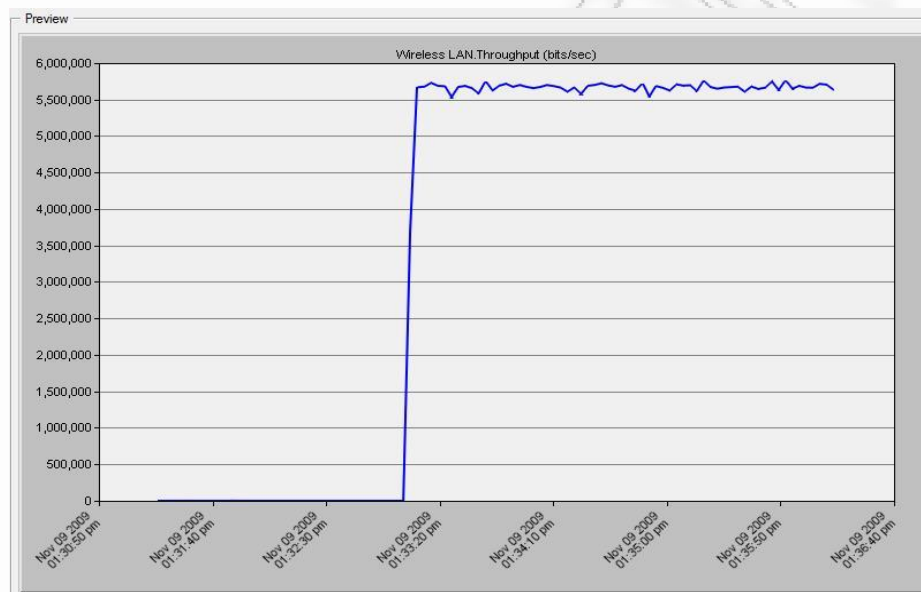
Πρώτα απ' όλα ελέγγω την κατανομή του φορτίου πάνω στις ζεύξεις των δικτύων WLAN, WIMAX και UMTS. Για να μελετήσουμε την κατανομή του φορτίου θα ελέγχουμε το ρυθμό εξυπηρέτησης (throughput).

Από τα "Global Statistics" λοιπόν ελέγγω το throughput ,δηλαδή την απόδοση του συστήματος μας για κάθε ένα από τα subnets που έχω φτιάξει.

Θα πρέπει επίσης να σημειώσουμε πως κάθε τερματικό βρίσκεται σε κοντινή απόσταση την κεραία του, ο wlan station από το AP, ο wimax station από τον base station και ο UE από τον Node B (ρυθμού 11Mbps) Το κάθε τερματικό λοιπόν εξυπηρετείται από το δίκτυο του. Μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα από την στιγμή έναρξης των υπηρεσιών παρατηρούνται τα παρακάτω διαγράμματα σχετικά με τον ρυθμό εξυπηρέτησης.

6.3.1.1 Throughput για wlan δίκτυο

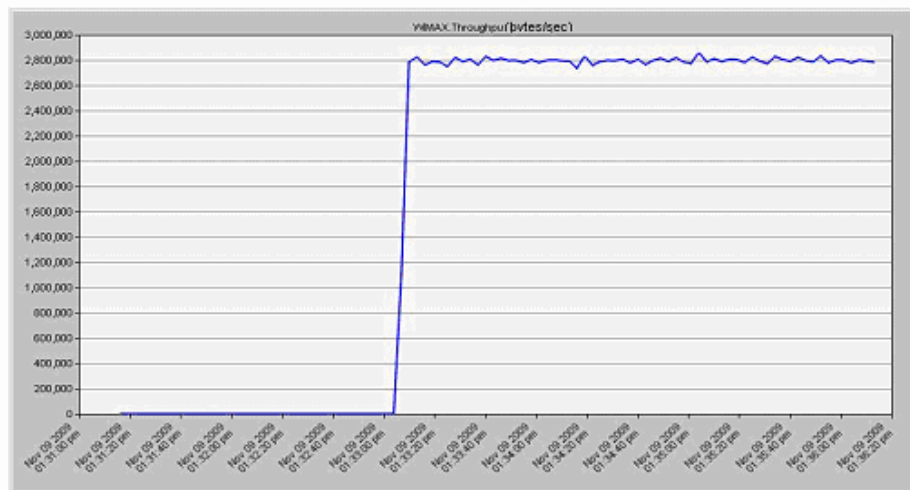
Στο παρακάτω γράφημα παρατηρούμε ότι το throughput για το wifi δίκτυο είναι περίπου ίσο με 5.700.000 bits ανά sec ή αλλιώς 5,7 Mbps, τιμή φυσιολογική για τα δεδομένα ασύρματου τοπικού δικτύου, το οποίο μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι 11Mbps.



Σχήμα 6.3: Throughput σε Wifi (bits/sec)

6.3.1.2 Throughput για wimax δίκτυο

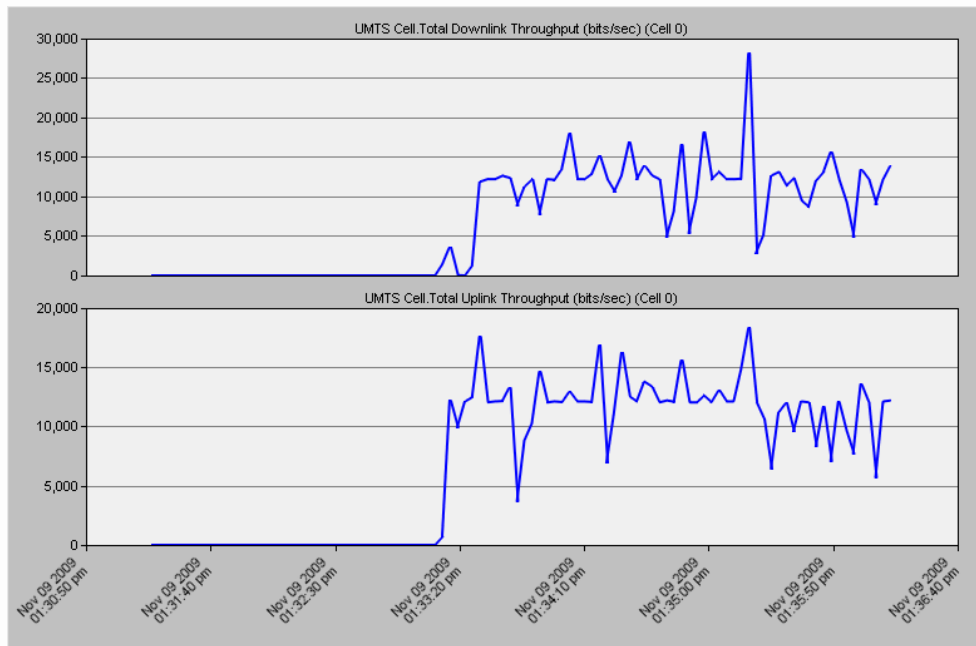
Το επόμενο γράφημα αφορά το ασύρματο μητροπολιτικό δίκτυο Wimax. Παρατηρούμε ότι το throughput για το wimax δίκτυο είναι περίπου ίσο με 2.800.000 bytes ανά sec ή αλλιώς $2,800.000 * 8 = 22,400.000$ bits/sec ή αλλιώς 22,4 Mbps. Να σημειωθεί ότι το wimax μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι 54 Mbps.



Σχήμα 6.4: Throughput σε Wimax (bytes/sec)

6.3.1.3 Throughput για umts δίκτυο

Το τελευταίο γράφημα αφορά το throughput για downlink και uplink στο UMTS δίκτυο. Παρατηρούμε ότι το throughput για την κάτω κυμαίνεται περίπου σε 14,500 bits ανά sec, ενώ για την άνω 12,000bits/sec. Με βάση τις δεδομένες τιμές ρυθμού εξυπηρέτησης που προέκυψαν, το δίκτυο UMTS δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα δεδομένου ότι μπορεί να εξυπηρετήσει ρυθμούς μέχρι 2 Mbit. Μία αύξηση, όμως, είτε του αριθμού των χρηστών είτε των ενεργών υπηρεσιών θα μπορούσε να προκαλέσει υπερφόρτωση αυτού δημιουργώντας ουρές αναμονής και καθυστερήσεις στην διεκπεραίωση των υπηρεσιών.



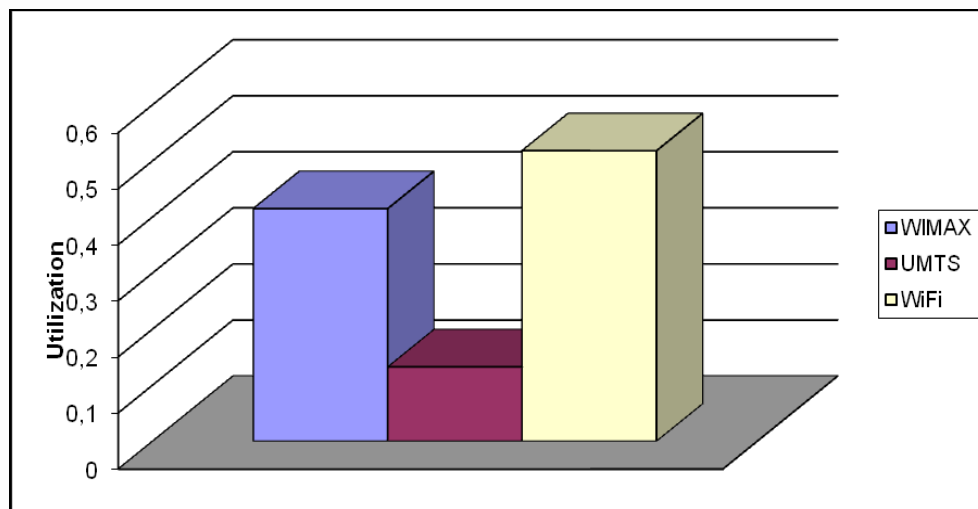
Σχήμα 6.5: Throughput σε Umts - downlink & uplink (bits/sec)

Γενικά βλέπουμε ότι οι αποδόσεις των subnets κυμαίνονται σε φυσιολογικές τιμές όπως φαίνεται από τα παραπάνω.

6.3.2 Utilization

Η χρησιμοποίηση των καναλιών, όρος γνωστός επίσης ως απόδοση της χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης, σε ποσοστό υπολογίζεται με το συνολικό throughput για uplink και downlink που πετυχαίνουμε σε σχέση με το bitrate του δικτύου σε bit /s σε ψηφιακό κανάλι επικοινωνίας. Παρακάτω έχουμε υπολογίσει το utilization για κάθε RAT ξεχωριστά. Ο τύπος που υπολογίσαμε το utilization είναι ο παρακάτω :

$$\text{Utilization} = \frac{\text{Throughput uplink} + \text{Throughput downlink (bits/sec)}}{\text{Capacity (bits/sec)}}$$



Σχήμα 6.6: Utilization ανά RAT

6.3.2.1 Utilization για wlan δίκτυο

Χρησιμοποιώντας τα στατιστικά αποτελέσματα από την προσομοίωση μας υπολογίσαμε ότι το συνολικό throughput στο wlan δίκτυο είναι 5,7Mbps. Επίσης, γνωρίζουμε ότι το capacity για το wifi δίκτυο γνωρίζουμε ότι είναι ίσο με 11 Mbps.

Συνεπώς, με βάση τον τύπο (παράγραφος 3.6.2), το συνολικό utilization για το ασύρματο τοπικό δίκτυο είναι ίσο με :

$$\text{Utilization (Wifi)} = 5,7 / 11 = 0,518 \text{ ή } 51,8\%$$

6.3.2.2 Utilization για wimax δίκτυο

Όμοια με τα παραπάνω υπολογίσαμε ότι το συνολικό throughput στο wimax δίκτυο είναι 22,4 Mbps. Το capacity για το wimax γνωρίζουμε ότι είναι ίσο με 54 Mbps.

Συνεπώς, με βάση τον τύπο (παράγραφος 3.6.2), το συνολικό utilization για το ασύρματο μητροπολιτικό δίκτυο είναι ίσο με :

Utilization (Wimax) = $22,4/54 = 0,4148$ ή 41,48%

6.3.2.3 Utilization για umts δίκτυο

Ομοίως, υπολογίσαμε ότι το throughput στην κάτω ζεύξη σε αριθμό φθάνει 14,500bits/sec ή 0,145Mbps και στην άνω ζεύξη 12,000 ή 0,12Mbps.

Το capacity για το umts δίκτυο γνωρίζουμε ότι είναι ίσο με 2Mbit.

Συνεπώς, με βάση τον τύπο (παράγραφος 3.6.2), το συνολικό utilization για το umts δίκτυο είναι ίσο με :

Utilization (Umts) = $0,145+0,12 / 2 = 0,1325$ ή 13,25%.

6.4 Αποτίμηση επίδοσης υπηρεσιών για κάθε τύπο δικτύου

Στα διαγράμματα που ακολουθούν θα συγκρίνουμε μία μία τις υπηρεσίες που έχουμε θέσει για κάθε ένα subnet ξεχωριστά.

Θα προσομοιώσουμε τέσσερα σενάρια τα οποία βασίζονται στην τοπολογία που δημιουργήσαμε παραπάνω και για κάθε ένα από αυτά θα αλλάζουμε τον τύπο της υπηρεσίας.

6.4.1 Application HTTP

6.4.1.1 Γενικά για το HTTP

Το **Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερκειμένου** (HyperText Transfer Protocol, HTTP) είναι η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα του Παγκοσμίου Ιστού για να μεταφέρουν δεδομένα ανάμεσα σε έναν διακομιστή (server) και ένα πελάτη (client).

Το HTTP είναι ο συνήθης τρόπος για τη διεκπεραίωση αιτήσεων/απαντήσεων μεταξύ ενός υπολογιστή πελάτη (client) και ενός εξυπηρετητή (server). Πελάτης ονομάζεται ο τελικός χρήστης, και ο εξυπηρετητής είναι η εκάστοτε ιστοσελίδα.

Στην δική μας προσομοίωση ο εξυπηρετητής μας είναι ο server ο οποίος ενώνεται με τον Ethernet router, ο οποίος κατά συνέχεια ενώνεται με τα 3 subnets που έχουμε δημιουργήσει. Τον ρόλο των clients έχουν οι σταθμοί wlan station, wimax station και UE.

6.4.1.2 Σενάριο 1ο

Υποθέτουμε πως κάθε τερματικό βρίσκεται σε κοντινή απόσταση την κεραία του, ο wlan station από το AP, ο wimax station από τον base station και ο UE από τον Node B (ρυθμού 11Mbps). Το κάθε τερματικό λοιπόν εξυπηρετείται από το δίκτυο του. Στο πρώτο σενάριο μελετάμε την εφαρμογή της υπηρεσίας του web browsing και συγκρίνουμε την απόδοση της για κάθε RAT που δημιουργήσαμε. Μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα από την στιγμή έναρξης των υπηρεσιών προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα για τα στατιστικά μεγέθη που επιλέξαμε για την προσομοίωση μας.

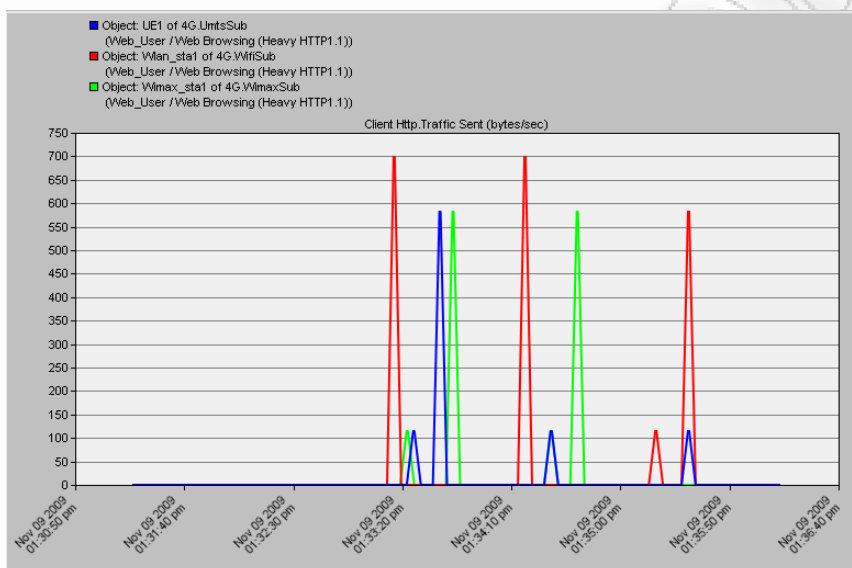
6.4.1.3 Στατιστικά αποτελέσματα

6.4.1.3.1 Traffic Sent & Traffic Received

Στις δύο πρώτες γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν περιγράφεται ο ρυθμός μετάδοσης και παραλαβής bytes ανά sec για κάθε subnet που δημιουργήσαμε. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ ο κατακόρυφος στο πλήθος των bytes που στάλθηκαν και ελήφθησαν αντίστοιχα. Η κάθε κορύφωση εκφράζει τη με μετάδοση και παραλαβή ενός πακέτου.

Σύμφωνα λοιπόν με την γραφική παράσταση των μεταδιδόμενων bytes δηλ. του στατιστικού «Traffic Sent (bytes/sec)» (Σχήμα 6.6) συμπεραίνουμε ότι από

το wlan δίκτυο στέλνονται πολύ περισσότερα bytes ανά δευτερόλεπτο, με μέγιστη τιμή τα 700 bytes/sec, σε σύγκριση με το wimax δίκτυο που ακολουθεί, αφού στέλνει περίπου 590 bytes/sec, ενώ τελευταίο έρχεται το umts δίκτυο που αποστέλλει κατά μέσο όρο 120bytes/sec



Σχήμα 6.7: Client HTTP. Traffic Sent (bytes/sec)

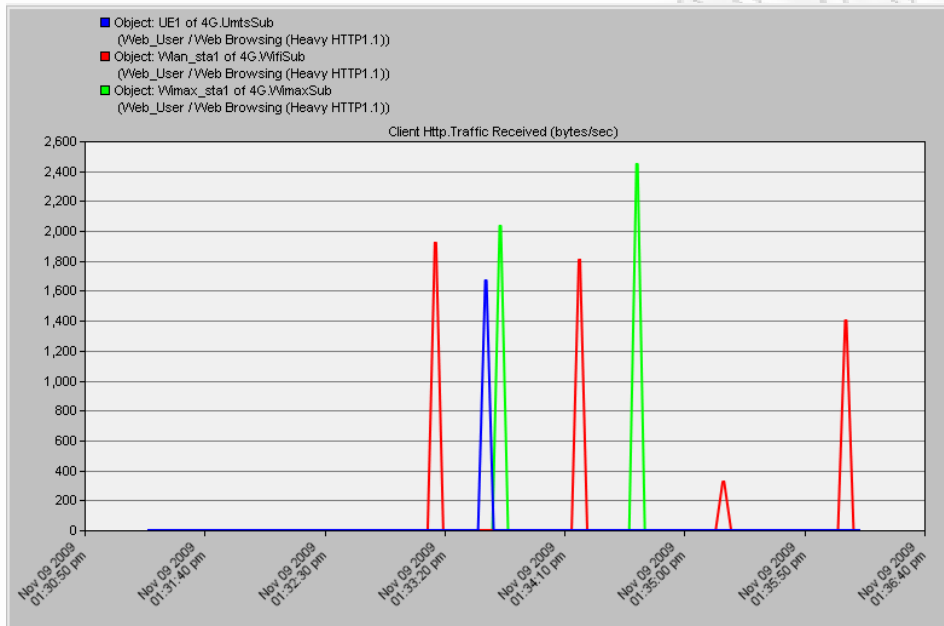
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για το Traffic load comparison ανά RAT για την υπηρεσία του web browsing.

Πίνακας 6.1 : Http Traffic Sent

Statistic	Maximum	Minimum
<u>Http Traffic Sent/ WlanSTA (bytes/sec)</u>	700	0
<u>Http Traffic Sent/WimaxSTA (bytes/sec)</u>	590	0
<u>Http Traffic Sent/ UE (bytes/sec)</u>	590	0

Η παρακάτω γραφική παράσταση περιγράφει το ρυθμό παραλαβής bytes. Σύμφωνα λοιπόν με το στατιστικό «Traffic Received (bytes/sec)» (Σχήμα 6.7),

συμπεραίνουμε ότι στο wimax δίκτυο λαμβάνονται πολύ περισσότερα bytes ανά δευτερόλεπτο, με μέγιστη τιμή τα 2500 bytes/sec, σε σύγκριση με το wlan δίκτυο που ακολουθεί, αφού λαμβάνει bytes με μέγιστη τιμή περίπου ίση με 1900 bytes/sec, ενώ τελευταίο έρχεται το umts δίκτυο που εμφανίζει το χαμηλότερο ρυθμό παραλαβής με μέγιστη τιμή ίση με 1700 bytes/sec.



Σχήμα 6.8: Client HTTP. Traffic Reiceived (bytes/sec)

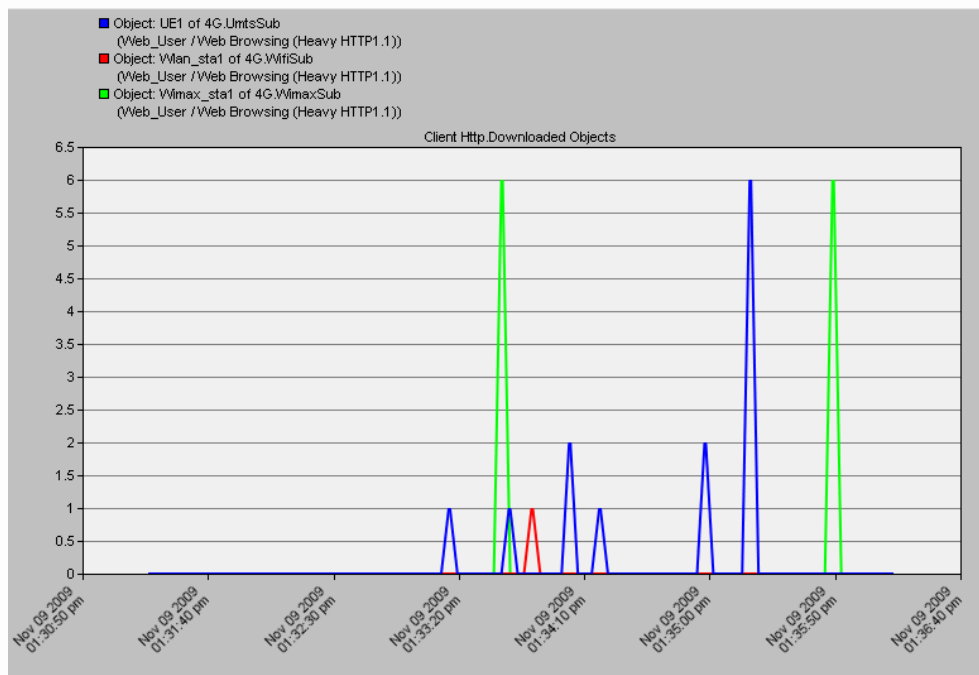
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για το Traffic load comparison ανά RAT για την υπηρεσία του web browsing.

Πίνακας 6.2: Http Traffic Received

Statistic	Maximum	Minimum
Http Traffic Received/ WlanSTA (bytes/sec)	1,980	0
Http Traffic Received/WimaxSTA (bytes/sec)	2,480	0
Http Traffic Received/ UE (bytes/sec)	1,690	0

6.4.1.3 .2 Object Response Time

Ένα δεύτερο μέγεθος που μελετάμε για την υπηρεσία του web browsing είναι ο αριθμός των δεδομένων που κατεβαίνουν με το άνοιγμα της ιστοσελίδας δηλ. το στατιστικό «Object Response» (Σχήμα 6.8). Ως object response time ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για να «κατέβουν» όλα τα objects που περιέχονται σε μία html σελίδα. Πιο συγκεκριμένα, ο χρόνος από τη στιγμή που ένας client στέλνει “browser application” request στον server μέχρι ο client να παραλάβει όλα τα objects της html σελίδας. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ ο κατακόρυφος στο πλήθος των objects που έγιναν download. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των χρόνων απόκρισης της υπηρεσίας του web browsing στα 3 διαφορετικά RATs παρατηρούμε ότι τα περισσότερα objects κάνει download ο wimax station σημειώνοντας μέγιστη τιμή περίπου ίση με 6 στη μονάδα του χρόνου. Ακολουθεί ο UE ο οποίος κάνει download κατά μέσο όρο 2 objects στη μονάδα του χρόνου, καταφέροντας όμως σε μια χρονική στιγμή να φτάσει και τη μέγιστη τιμή που σημειώνει ο wimax station. Και τέλος, ο wlan station κάνει download τα λιγότερα objects, με μέγιστη την τιμή των 0,3 objects. Το γεγονός ότι παρουσιάζεται βελτίωση της υπηρεσίας στην περίπτωση του wimax δικτύου οφείλεται και στους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που υποστηρίζει και στις χαμηλές καθυστερήσεις.



Σχήμα 6.9: Client HTTP. Downloaded Objects

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για τους χρόνους απόκρισης της υπηρεσίας του web browsing ανά RAT.

Πίνακας 6.3: Http Download objects

Statistic	Maximum	Minimum
<u>Http Object response time/ WlanSTA (download objects)</u>	1,0	0
<u>Http Object response time /WimaxSTA (download objects)</u>	6,0	0
<u>Http Object response time / UE (download objects)</u>	6,0	0

6.4.1.3 .3 Συμπέρασμα

Σύμφωνα με τα παραπάνω θα λέγαμε ότι για την υπηρεσία του web browsing είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούμε το wimax δίκτυο ώστε να πετυχαίνουμε καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη αποστολή bytes στη μονάδα του χρόνου , δηλ. να καταφέρνουμε σε λιγότερο χρόνο να βλέπουμε τη σελίδα που επιθυμούμε.

6.4.2 Application Voice

6.4.2.1 Γενικά για το Voice over IP

Το **Voice over IP** ή **VoIP** ή τηλεφωνία μέσω διαδικτύου ή σωστότερα **ΦεΔΠ** δηλαδή "Φωνή επί διαδικτυακού πρωτοκόλλου", χαρακτηρίζει μια ομάδα πρωτοκόλλων-τεχνολογιών (H.323,SIP), η οποία προσφέρει φωνητική συνομιλία σε πραγματικό χρόνο με σχετικά καλή ποιότητα πλέον και στην ουσία χωρίς κόστος. Η υπηρεσία Voice over IP (VoIP) χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο του Διαδικτύου (Internet Protocol) για να μεταφέρει τηλεφωνικές συνομιλίες, μετατρέποντας τη φωνή σε πακέτα δεδομένων.

6.4.2.2 Σενάριο 2^ο

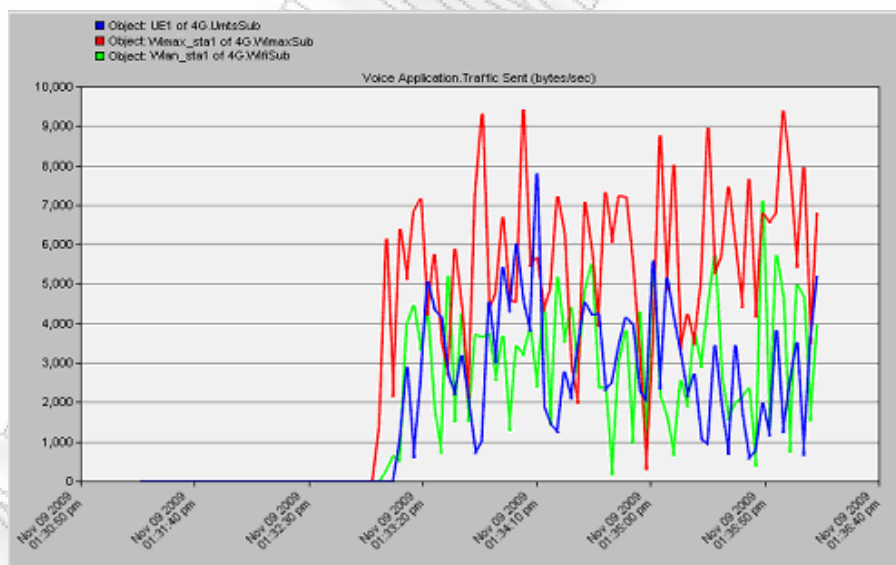
Η περίπτωση αυτή είναι ίδιας φιλοσοφίας με την προηγούμενη, με την διαφορά πως τώρα εφαρμόσαμε υπηρεσία φωνής.

6.4.2.3 Στατιστικά αποτελέσματα

6.4.2.3 .1 Traffic Sent & Traffic Received

Στις δύο πρώτες γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν περιγράφεται ο ρυθμός μετάδοσης και παραλαβής bytes ανά sec για κάθε subnet που δημιουργήσαμε. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ ο κατακόρυφος στο πλήθος των bytes που στάλθηκαν και ελήφθησαν αντίστοιχα. Η κάθε κορύφωση εκφράζει τη με μετάδοση και παραλαβή ενός πακέτου φωνής.

Σύμφωνα με την γραφική παράσταση των μεταδιδόμενων bytes, δηλαδή στατιστικού «Traffic Sent (bytes/sec)» (Σχήμα 6.9) συμπεραίνουμε ότι από το wimax δίκτυο αποστέλλονται πολύ περισσότερα bytes ανά δευτερόλεπτο, κατά μέσο όρο 6500 bytes/sec σε σύγκριση με το umts δίκτυο που ακολουθεί, αφού στέλνει περίπου 4000 bytes/sec, ενώ με πολύ μικρή διαφορά ακολουθεί το wlan δίκτυο με μέσο ρυθμό αποστολής περίπου ίσο με 3900 bytes/sec.



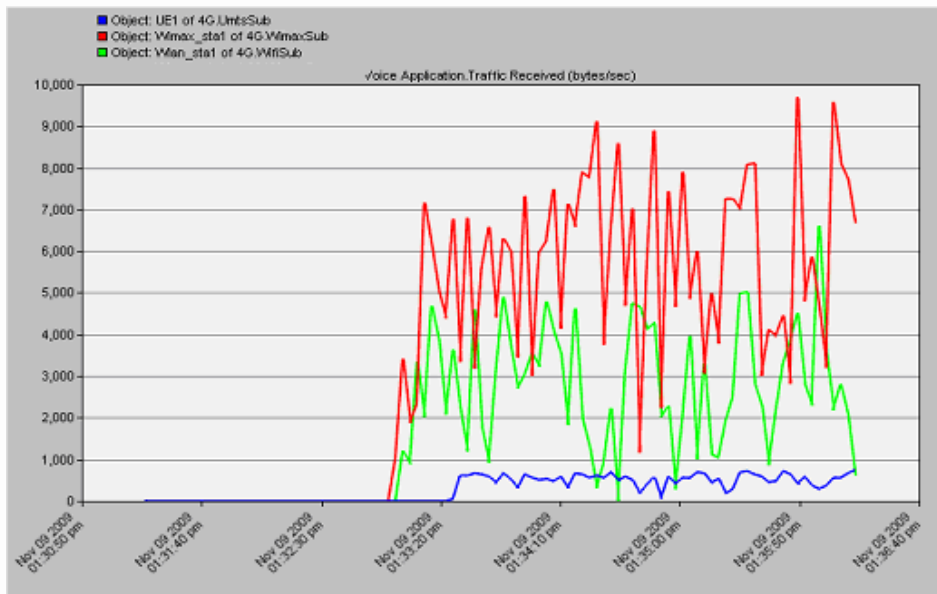
Σχήμα 6.10: Client Voice. Traffic Sent (bytes/sec)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για το Traffic load comparison ανά RAT για την υπηρεσία φωνής.

Πίνακας 6.4: VoIP Traffic Sent

Statistic	Maximum	Minimum
Voice Traffic Sent/ WimaxSTA (bytes/sec)	9,200	0
Voice Traffic Sent/ WlanSTA (bytes/sec)	7,200	0
Voice Traffic Sent/ UE (bytes/sec)	8,900	0

Η παρακάτω γραφική παράσταση περιγράφει το ρυθμό παραλαβής bytes. Σύμφωνα λοιπόν με το στατιστικό «Traffic Received (bytes/sec)» (Σχήμα 6.10), συμπεραίνουμε ότι στο wimax δίκτυο λαμβάνονται περίπου κατά μέσο όρο 6000 bytes/sec, γεγονός που δείχνει ότι έχουμε ελάχιστες απώλειες πακέτων κατά την αποστολή. Στη συνέχεια, βλέποντας τη μπλε γραμμή η οποία περιγράφει το ρυθμό παραλαβής bytes στο umts δίκτυο παρατηρούμε ότι λαμβάνονται ανά sec περίπου 500 bytes. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι έχουμε τις μεγαλύτερες απώλειες bytes κατά την αποστολή, πράγμα που είναι εμφανές από το σχήμα. Τέλος, η πράσινη γραμμή αντιστοιχεί στα bytes που λαμβάνονται από το wlan station. Σημειώνεται ένας μέσος ρυθμός αποστολής bytes ανά sec περίπου ίσος με 3000. Και σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να μιλήσουμε για μικρές απώλειες αφού ο αριθμός χαμένων bytes είναι μικρός, σε σχέση με αυτά που είχα σταλεί.



Σχήμα 6.11: Client Voice. Traffic Reiceived (bytes/sec)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για το Traffic load comparison ανά RAT για την υπηρεσία φωνής.

Πίνακας 6.5: VoIP Traffic Received

Statistic	Maximum	Minimum
<u>Voice Traffic Received/ WimaxSTA (bytes/sec)</u>	9,800	0
<u>Voice Traffic Received/ WlanSTA (bytes/sec)</u>	6,800	0
<u>Voice Traffic Received/ UE (bytes/sec)</u>	700	0

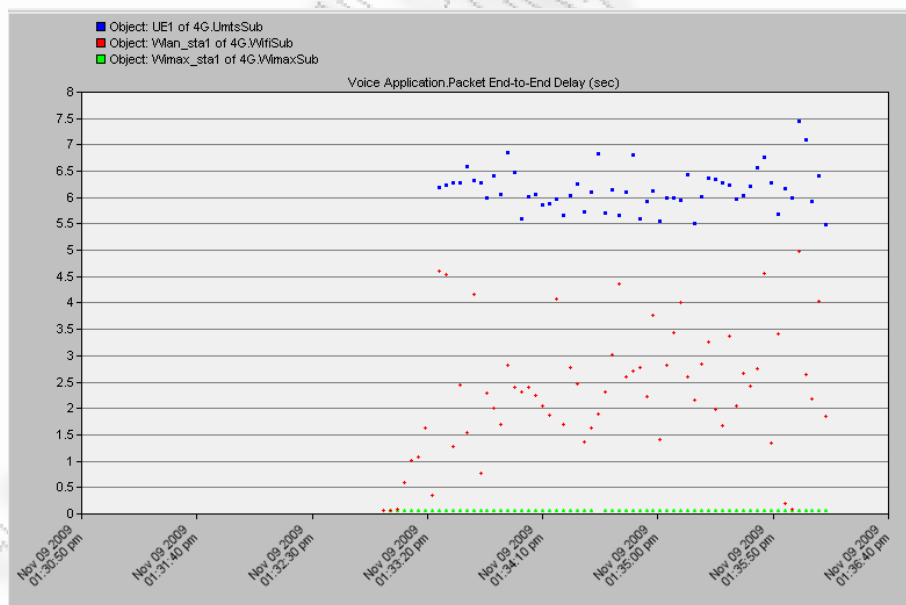
6.4.2.3 .2 Packet end-to-end Delay

Ένα άλλο μέγεθος που μελετάμε για την υπηρεσία φωνής η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο παραλαβής πακέτων, δηλ. το στατιστικό «Packet end-to-end Delay». Η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο ενός πακέτου φωνής μετράται από τη

στιγμή που δημιουργήθηκε μέχρι τη στιγμή που λήφθηκε. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ ο κατακόρυφος στην καθυστέρηση παραλαβής πακέτων για κάθε subnet. Ξεκινώντας τις παρατηρήσεις μας με τα πράσινα σημεία τα οποία αναφέρονται στο wimax δίκτυο, θα λέγαμε ότι καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης οι καθυστερήσεις είναι ελάχιστες και είναι της τάξης των 0,1 sec, εμφανίζοντας μια σταθερότητα μέχρι το τέλος.

Στη συνέχεια, παρατηρώντας τα κόκκινα σημεία τα οποία αναφέρονται στο wlan δίκτυο, θα λέγαμε ότι παρουσιάζει με ένα μέσο ρυθμό περίπου στα 2,5 sec καθυστερήσεις, μικρότερες σε σύγκριση με αυτές που εμφανίζονται στο umts δίκτυο αν δούμε τα μπλε σημεία όπου ο μέσος ρυθμός καθυστερήσεων παραλαβής πακέτων είναι περίπου ίσος με 6,3sec.

Συγκρίνοντας λοιπόν τις καθυστερήσεις για κάθε RAT συμπεραίνουμε ότι το wimax δίκτυο παρουσιάζει τις μικρότερες και αυτό συνεπάγεται καλύτερη ποιότητα υπηρεσία για την υπηρεσία φωνής.



Σχήμα 6.12: Client Voice. Packet end-to-end Delay (sec)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για τις καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο των πακέτων φωνής ανά RAT.

Πίνακας 6.6: VoIP Packet end-to-end Delay

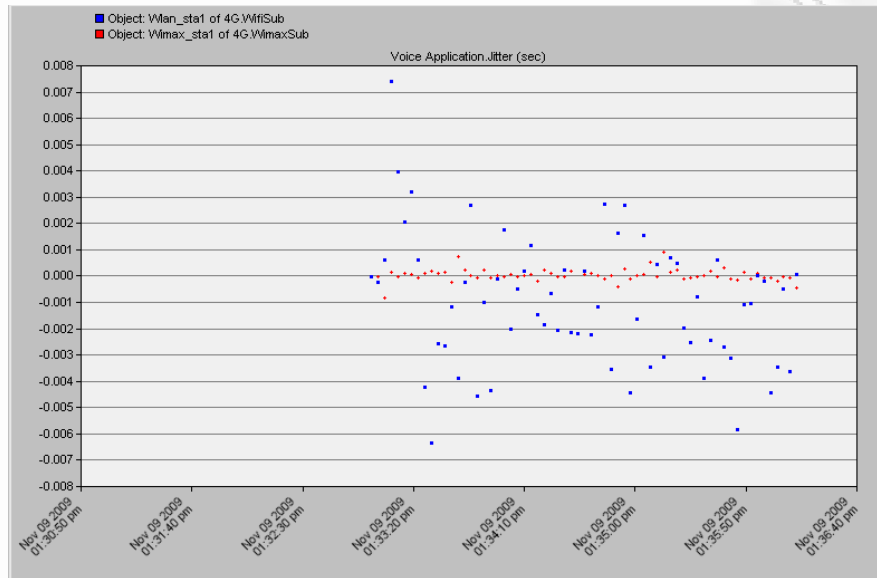
Statistic	Maximum	Minimum
<u>Voice Packet End-to-End Delay/ WlanSTA (sec)</u>	5	0,2
<u>Voice Packet End-to-End Delay/WimaxSTA (sec)</u>	0,2	0,19
<u>Voice Packet End-to-End Delay/UE (sec)</u>	7,5	6

6.4.2.3 .3 Jitter

Στην υπηρεσία Voice over IP ένα άλλο μέγεθος που μας απασχολεί είναι το στατιστικό «jitter». Jitter είναι η διακύμανση του χρόνου μεταξύ των πακέτων που φθάνουν, η οποία προκαλείται από συμφόρηση δικτύου ή αλλαγές διαδρομής. Πιο συγκεκριμένα jitter είναι η διακύμανση ανάμεσα στις end-to-end packet delays για τα πακέτα φωνής που λαμβάνονται από έναν κόμβο. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ ο κατακόρυφος στο jitter. Η σύγκριση για το συγκεκριμένο μέγεθος έχει γίνει ανάμεσα στο wlan δίκτυο και το wimax.

Παρατηρώντας τα κόκκινα σημεία τα οποία αντιστοιχούν στο jitter του wimax δικτύου, διακρίνουμε μια σταθερότητα και τιμές πολύ κοντά στο 0, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η χρονική διαφορά μεταξύ των πακέτων που φθάνουν είναι πολύ μικρή, άρα οι καθυστερήσεις παραλαβής πακέτων είναι ελάχιστες. Αντίθετα στο wlan δίκτυο, αν παρατηρήσουμε τα μπλε σημεία θα λέγαμε ότι υπάρχει μια αστάθεια ως προς τα χρονικά διαστήματα παραλαβής πακέτων, αφού βλέπουμε ότι το jitter παίρνει τόσο θετικές τιμές όσο και

αρνητικές Παίρνει τιμές από -0,0062 που είναι η ελάχιστη μέχρι 0,0075 που είναι η μέγιστη.



Σχήμα 6.13: Client Voice. Jitter (sec)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για τη διακύμανση του χρόνου μεταξύ των πακέτων φωνής ανά RAT.

Πίνακας 6.7: VoIP Jitter

Statistic	Maximum	Minimum
<u>Voice Jitter/ WlanSTA (sec)</u>	0,0075	-0,0062
<u>Voice Jitter/WimaxSTA (sec)</u>	0,001	-0,0012

6.4.2.3.4 Συμπέρασμα

Σύμφωνα με τα παραπάνω γραφήματα θα λέγαμε ότι το σημαντικό πλεονέκτημα που εισάγει το wimax δίκτυο σε σύγκριση με τα άλλα δύο είναι ότι

αποφεύγει καταστάσεις δύσκολες, όπως υπερφορτώσεις και συμφόρηση (σε λογικά πλαίσια δεδομένου ότι το οποιοδήποτε δίκτυο μπορεί κάποια στιγμή να υπερφορτωθεί) και έτσι περιορίζει σημαντικά τον αριθμό των κλήσεων που απορρίπτονται ή καθυστερούν αν διεκπεραιωθούν.

6.4.3 Application Telnet

6.4.3.1 Γενικά για το Remote Log in

Remote Log In είναι μια υπηρεσία του Internet που μας επιτρέπει να συνδεόμαστε με έναν απομακρυσμένο υπολογιστή και να δουλεύουμε αλληλεπιδραστικά στον υπολογιστή αυτό χρησιμοποιώντας τα προγράμματά του σαν να είμαστε άμεσα συνδεδεμένοι μαζί του. Με άλλα λόγια, το δικό μας τερματικό - προσωπικός υπολογιστής, workstation, τερματικό ενός UNIX συστήματος, κλπ. - μετατρέπεται σε τερματικό του απομακρυσμένου υπολογιστή ο οποίος ανταποκρίνεται στις εντολές μας. Τα παραπάνω γίνονται με τη βοήθεια του πρωτοκόλλου επικοινωνίας Telnet (TELEcommunication NETwork).

Το Telnet βασίζεται στην αρχιτεκτονική client/server: για να χρησιμοποιήσουμε το Telnet, εκτελούμε στον υπολογιστή μας ένα πρόγραμμα πελάτη για Telnet (Telnet client), ενώ στον απομακρυσμένο υπολογιστή εκτελείται ένα πρόγραμμα που ονομάζεται εξυπηρετητής Telnet (Telnet server). Ο Telnet server είναι ένας ταυτόχρονος εξυπηρετητής που μπορεί να ανταποκριθεί σε πολλές αιτήσεις συγχρόνως, δημιουργώντας μια νέα διεργασία για κάθε νέα αίτηση. Μέσω του Telnet, μπορούμε να συνδεόμαστε με υπολογιστές του Internet σε ολόκληρο τον κόσμο και να εκμεταλλευόμαστε τις υπηρεσίες που προσφέρουν: έτσι μπορούμε να χρησιμοποιούμε απομακρυσμένες βάσεις δεδομένων και άλλες πηγές πληροφόρησης, να αναζητούμε πληροφορίες σε βιβλιογραφικούς καταλόγους διαφόρων βιβλιοθηκών, κλπ. Μια πολύ γνωστή βιβλιοθήκη με την οποία μπορούμε να συνδεθούμε είναι η Βιβλιοθήκη του Κογκρέσου (διεύθυνση: locis.loc.gov):

Κατά τη σύνδεσή μας με έναν απομακρυσμένο υπολογιστή, μας ζητείται όνομα χρήστη (login name) και συνθηματικό (password). Επομένως, θα πρέπει να έχουμε λογαριασμό (δηλ. δικαίωμα πρόσβασης) στον υπολογιστή αυτό. Μερικές φορές, για υπηρεσίες που διατίθενται δημόσια, μας υποδεικνύεται από τον απομακρυσμένο υπολογιστή κάποιο ειδικό login name (π.χ. guest) ώστε να μπορέσουμε να συνδεθούμε ακόμη κι αν δεν διαθέτουμε λογαριασμό.

6.4.3.2 Σενάριο 3^ο

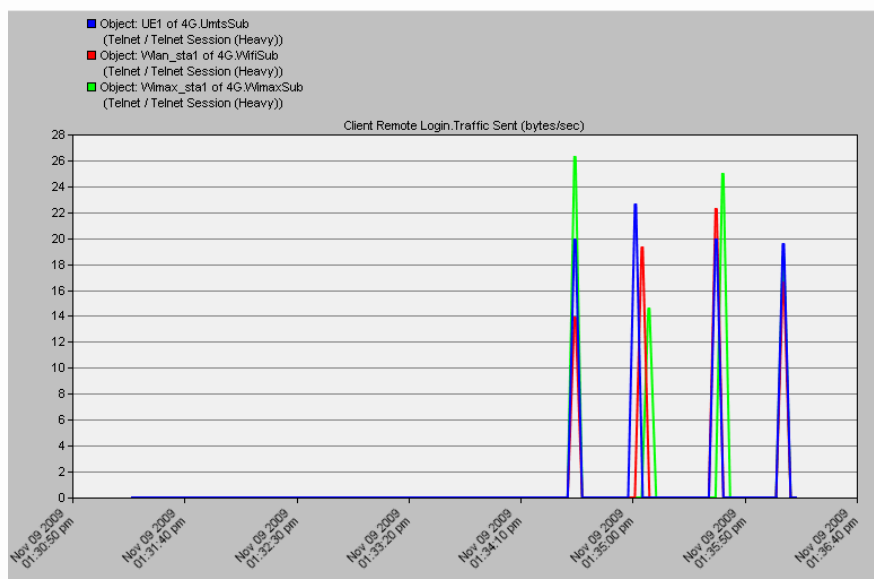
Στο τρίτο σενάριο ισχύουν ακριβώς τα ίδια δεδομένα με πριν, με τις δύο προηγούμενες υπηρεσίες, του Web browsing και του Voice over IP.

6.4.3.3 Στατιστικά αποτελέσματα

6.4.3.3.1 Traffic Sent & Traffic Received

Στις δύο πρώτες γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν περιγράφεται ο ρυθμός μετάδοσης και παραλαβής bytes ανά sec για κάθε subnet που δημιουργήσαμε. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ ο κατακόρυφος στο πλήθος των bytes που στάλθηκαν και ελήφθησαν αντίστοιχα. Η κάθε κορύφωση εκφράζει κάθε πετυχημένη σύνδεση με τον απομακρυσμένο υπολογιστή.

Σύμφωνα με την γραφική παράσταση των μεταδιδόμενων bytes του στατιστικού «Traffic Sent (bytes/sec)» (Σχήμα 6.13) συμπεραίνουμε ότι ο wimax station κατά γενική ομολογία στέλνει μεγαλύτερο αριθμό bytes ανά δευτερόλεπτο, γύρω στα 24-26 bytes/sec σε σχέση με τον UE που ακολουθεί με ένα μέσο ρυθμό στα 21 bytes/sec και τέλος ο wlan station με 19 bytes/sec.



Σχήμα 6.14: Client Remote Login. Traffic Sent (bytes/sec)

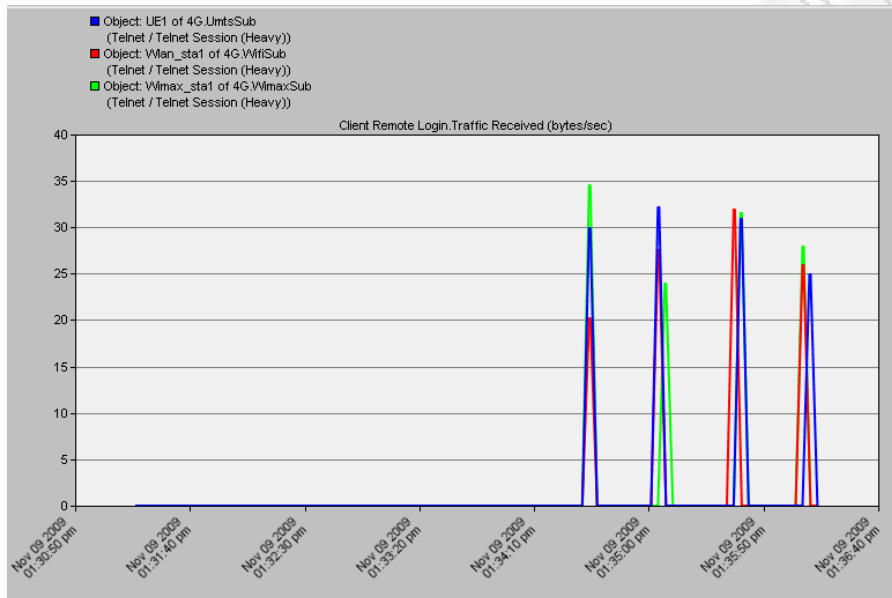
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για το Traffic load comparison ανά RAT για την υπηρεσία telnet.

Πίνακας 6.8 : Telnet Traffic Sent

Statistic	Maximum	Minimum
<u>Telnet Traffic Sent/ WlanSTA (bytes/sec)</u>	22,2	0
<u>Telnet Traffic Sent/WimaxSTA (bytes/sec)</u>	26,8	0
<u>Telnet Traffic Sent/UE (bytes/sec)</u>	22,7	0

Η επόμενη γραφική παράσταση περιγράφει το ρυθμό παραλαβής bytes. Σύμφωνα λοιπόν με το στατιστικό «Traffic Received (bytes/sec)» (Σχήμα 6.14), συμπεραίνουμε ότι ο wimax station λαμβάνει με μεγαλύτερο ρυθμό bytes, 30bytes/sec. Ο UE λαμβάνει bytes με ένα μέσο ρυθμό στα 28 bytes/sec και ο

wlan station παρουσιάζει τον πιο μικρό ρυθμό παραλαβής bytes περίπου ίσο με 25bytes/sec.



Σχήμα 6.15: Client Remote Login.Traffic Reiceived (bytes/sec)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για το Traffic load comparison ανά RAT για την υπηρεσία Telnet.

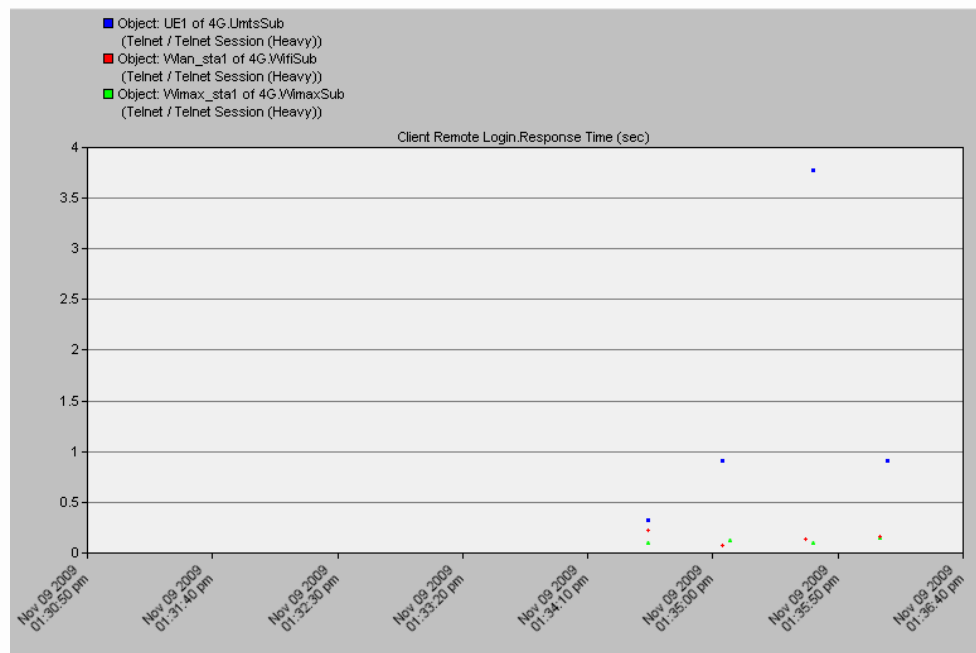
Πίνακας 6.9: Telnet Traffic Received

Statistic	Maximum	Minimum
<u>Telnet Traffic Received/ WlanSTA (bytes/sec)</u>	32	0
<u>Telnet Traffic Received/WimaxSTA (bytes/sec)</u>	34,9	0
<u>Telnet Traffic Received/UE (bytes/sec)</u>	32	0

6.4.3.3 .2 Login Response Time

Στην παρακάτω γραφική παράσταση περιγράφεται ένα άλλο μέγεθος για την υπηρεσία telnet, το στατιστικό «Login Response Time (sec)». Το μέγεθος αυτό περιγράφει σε ποια χρονική στιγμή ο server κάνει login. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ ο κατακόρυφος άξονας δείχνει τις χρονικές στιγμές που ο server κάνει login. Αν θέλαμε να δώσουμε έναν καλύτερο ορισμό για τον telnet response time θα λέγαμε ότι είναι ο χρόνος μεταξύ ενός client που στέλνει “get” request στον server μέχρι να συνδεθεί με τον απομακρυσμένο υπολογιστή (login).

Ξεκινώντας τις παρατηρήσεις μας με τα πράσινα σημεία τα οποία αναφέρονται στο wimax station, θα λέγαμε ότι καθ’ όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης οι καθυστερήσεις από το request του client στο server μέχρι να κάνει login είναι ελάχιστες και είναι της τάξης των 0,1 sec. Όσον αφορά το wlan station, όμοια με το wimax παρουσιάζει μικρές καθυστερήσεις της τάξης των 0,15sec. Αντίθετα στον UE, όπως μπορούμε να δούμε από τα μπλε σημεία, οι καθυστερήσεις εδώ είναι μεγαλύτερες σε σύγκριση με τα άλλα δύο δίκτυα. Παρουσιάζονται αυξομειώσεις, δηλαδή ενώ σε μια χρονική στιγμή μπορεί να παρουσιαστεί μικρή καθυστέρηση ίση με 0,4sec σε κάποια άλλα όπως παρατηρούμε από το γράφημα μπορεί να παρουσιαστεί καθυστέρηση ίση με 3,7sec



Σχήμα 6.16: Client Remote Login. Response Time (sec)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για τους χρόνους απόκρισης της υπηρεσίας του telnet ανά RAT.

Πίνακας 6.10: Telnet Login Response Time

Statistic	Maximum	Minimum
<u>Telnet Login Response Time/WlanSTA (sec)</u>	0,25	0,08
<u>Telnet Login Response Time/WimaxSTA (sec)</u>	0,2	0.08
<u>Telnet Login Response Time/UE (sec)</u>	3,7	0.4

6.4.3.3 Συμπέρασμα

Σύμφωνα με τα παραπάνω γραφήματα, αν θα μιλούσαμε για ποιότητα της υπηρεσίας απομακρυσμένης πρόσβασης (telnet) θα λέγαμε ότι στο wimax δίκτυο η εφαρμογή Telnet client συνδέεται ταχύτερα με τον server για να εκτελέσει διεργασίες και σημειώνει τις λιγότερες αποτυχημένες προσπάθειες σύνδεσης με απομακρυσμένο υπολογιστή σε σύγκριση με τα άλλα δύο RATs.

6.4.4 Application Video

6.4.4.1 Γενικά για το video conferencing

Τηλεδιάσκεψη (Videoconference) είναι η αμφίδρομη επικοινωνία (ήχου, εικόνας και δεδομένων) σε πραγματικό χρόνο, μεταξύ δύο (2) ή περισσότερων ατόμων ή ομάδων ατόμων που βρίσκονται σε απομακρυσμένα σημεία μεταξύ τους.

Η Τηλεδιάσκεψη χωρίζεται σε δύο είδη:

- Επικοινωνία μεταξύ 2 απομακρυσμένων σημείων που ονομάζεται σημείο προς σημείο (point to point) τηλεδιάσκεψη.
- Επικοινωνία μεταξύ περισσότερων των 2 σημείων που ονομάζεται πολυδιάσκεψη (multipoint) τηλεδιάσκεψη και απαιτεί χρήση εξυπηρετητή τηλεδιάσκεψης (multipoint conference unit - MCU)

Διεθνώς αναγνωρισμένα πρωτόκολλα τηλεδιάσκεψης είναι το δημοφιλέστερο αυτή τη στιγμή H.323, το οποίο διαθέτει μεγάλη εγκατεστημένη βάση χρηστών, λογισμικού και σταθμών τηλεδιάσκεψης και το SIP το οποίο αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η εφαρμογή video conferencing χρησιμοποιεί πακέτα UDP (Universal Datagram Protocol). Εφαρμογές όπως αυτή είναι πολύ σημαντικό τα πακέτα να παραδοθούν στον παραλήπτη σε σύντομο χρονικό διάστημα ούτως ώστε να μην υπάρχει διακοπή στην ροή του ήχου ή της εικόνας. Κατά συνέπεια προτιμάται το πρωτόκολλο UDP διότι είναι αρκετά γρήγορο, παρόλο που υπάρχει η πιθανότητα μερικά πακέτα UDP να χαθούν. Στην περίπτωση που χαθεί κάποιο πακέτο, οι

εφαρμογές αυτές διαθέτουν ειδικούς μηχανισμούς διόρθωσης και παρεμβολής ούτως ώστε ο τελικός χρήστης να μην παρατηρεί καμία αλλοίωση ή διακοπή στην ροή του ήχου και της εικόνας λόγω του χαμένου πακέτου. Σε αντίθεση με το πρωτόκολλο TCP, το UDP υποστηρίζει broadcasting, δηλαδή την αποστολή ενός πακέτου σε όλους τους υπολογιστές ενός δικτύου, και multicasting, δηλαδή την αποστολή ενός πακέτου σε κάποιους συγκεκριμένους υπολογιστές ενός δικτύου.

6.4.4.2 Σενάριο 4^ο

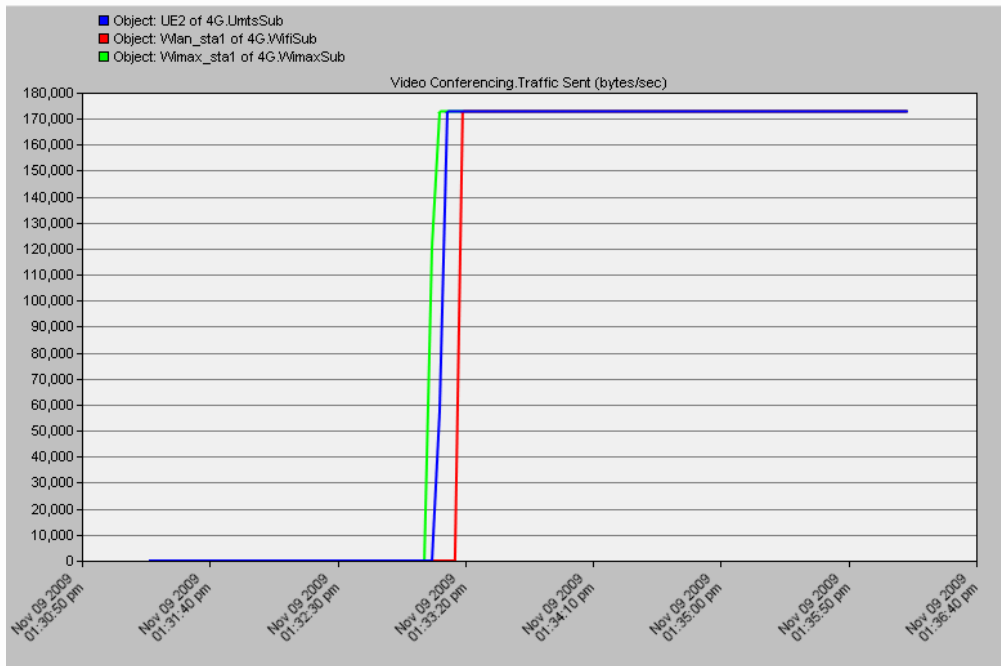
Στο τελευταίο σενάριο έχουμε την εφαρμογή μιας ιδιαίτερα απαιτητικής υπηρεσία, αυτής του Video.

6.4.4.3 Στατιστικά αποτελέσματα

6.4.4.3 .1 Traffic Sent & Traffic Received

Στις δύο γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν περιγράφεται ο ρυθμός μετάδοσης και παραλαβής bytes ανά sec για κάθε subnet που δημιουργήσαμε. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ ο κατακόρυφος στο πλήθος των bytes που στάλθηκαν και ελήφθησαν αντίστοιχα. Η κάθε κορύφωση εκφράζει τη με μετάδοση και παραλαβή ενός πακέτου video.

Η παρακάτω γραφική παράσταση περιγράφει το ρυθμό αποστολής bytes. Σύμφωνα λοιπόν με το στατιστικό «Traffic Sent (bytes/sec)» (Σχήμα 6.16), συμπεραίνουμε ότι από όλους του σταθμούς αποστέλλονται τα ίδια bytes καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, δηλαδή 172,000 bytes/sec. Η μόνη διαφορά που παρατηρούμε είναι στο χρόνο ότι με ένα μικρό προβάδισμα ξεκινά να στέλνει πρώτος ο wimax station, ακολουθεί ο UE και τελευταίος ο wlan station.



Σχήμα 6.17: Client Video, Traffic Sent (bytes/sec)

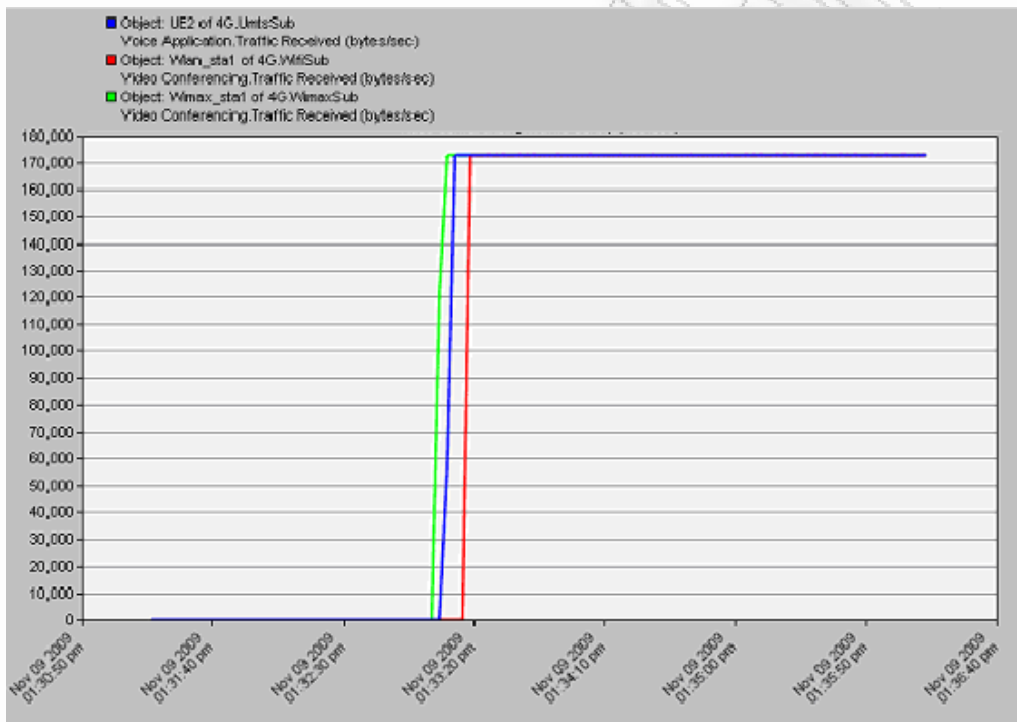
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για το Traffic load comparison ανά RAT για την υπηρεσία video conferencing.

Πίνακας 6.11: Video Traffic Sent

Statistic	Maximum	Minimum
<u>Video Conferencing Traffic Sent/WlanSTA (bytes/sec)</u>	172,000	0
<u>Video Conferencing Traffic Sent/WimaxSTA (bytes/sec)</u>	172,000	0.0
<u>Video Conferencing Traffic Sent/UE (bytes/sec)</u>	172,000	0.059

Στην επόμενη γραφική παράσταση περιγράφεται ο ρυθμός παραλαβής bytes. Σύμφωνα λοιπόν με το στατιστικό «Traffic Received (bytes/sec)» (Σχήμα

6.17), συμπεραίνουμε τα εξής. Παρατηρούμε ότι το διάγραμμα αυτό είναι παρόμοιο με το διάγραμμα του Traffic Sent, πράγμα το οποίο είναι πολύ λογικό για να έχουμε μια καλή ποιότητα υπηρεσίας για video conferencing και μια συνεχή ροή χωρίς διακοπές ήχου ή εικόνας. Από όλους του σταθμούς λαμβάνονται τα ίδια bytes καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, δηλαδή 170,000 bytes/sec. Κατά τη διάρκεια μεταφοράς bytes παρατηρούμε ότι έχουμε κάποιες απώλειες bytes.



Σχήμα 6.18: Client Video. Traffic Reiceived (bytes/sec)

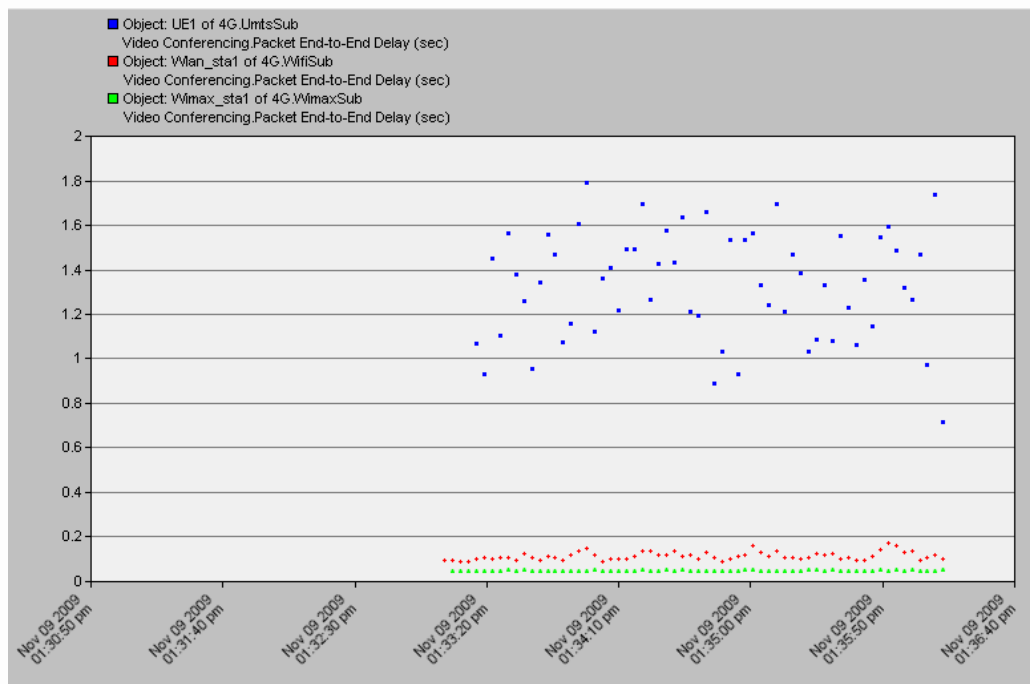
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για το Traffic load comparison ανά RAT για την υπηρεσία video conferencing.

Πίνακας 6.12: Video Traffic Received

Statistic	Maximum	Minimum
<u>Video Conferencing Traffic Received/WlanSTA (bytes/sec)</u>	170,000	0
<u>Video Conferencing Traffic Received/WimaxSTA (bytes/sec)</u>	170,000	0.0
<u>Video Conferencing Traffic Received/UE (bytes/sec)</u>	170,000	0.061

6.4.4.3 .2 Packet end-to-end Delay

Στην υπηρεσία του Video Conferencing ένα άλλο μέγεθος που μας απασχολεί είναι το στατιστικό «Packet end-to-end Delay». Όπως συμβαίνει και με τα πακέτα φωνής, η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο ενός πακέτου video μετράται από τη στιγμή που δημιουργήθηκε μέχρι τη στιγμή που λήφθηκε. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ ο κατακόρυφος στην καθυστέρηση παραλαβής πακέτων για κάθε subnet. Ξεκινώντας τις παρατηρήσεις μας με τα πράσινα σημεία τα οποία αναφέρονται στο wimax δίκτυο, θα λέγαμε ότι καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης οι καθυστερήσεις είναι ελάχιστες, της τάξης των 0,02 sec, καθώς επίσης εμφανίζουν και σταθερότητα. Το ίδιο συμβαίνει και με το wlan δίκτυο στο οποίο είναι λίγο μεγαλύτερες, της τάξης των 0,1sec αλλά και σε αυτή την περίπτωση σταθερές σε όλη της διάρκεια της προσομοίωσης. Τέλος, αν παρατηρήσουμε τα μπλε σημεία τα οποία αντιστοιχούν στο umts δίκτυο, θα λέγαμε ότι οι τιμές κυμαίνονται από 0,7 sec - 1,8 sec με ένα μέσο ρυθμό καθυστερήσεων στα 1,4sec.



Σχήμα 6.19: Client Video. Packet end-to-end Delay

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα για τις καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο των πακέτων ανά RAT.

Πίνακας 6.13: Video Packet end-to-end Delay

Statistic	Maximum	Minimum
<u>Video Conferencing Packet End-to-End Delay/WlanSTA (sec)</u>	0,02	0,019
<u>Video Conferencing Packet End-to-End Delay/WimaxSTA (sec)</u>	0,18	0.12
<u>Video Conferencing Packet End-to-End Delay/UE (sec)</u>	1,8	0.7

6.4.4.3 Συμπέρασμα

Σύμφωνα με τα παραπάνω γραφήματα θα λέγαμε ότι το wimax δίκτυο σε σύγκριση με τα άλλα δύο και στην περίπτωση της υπηρεσίας του Video Conferencing παρέχει την υψηλότερη ποιότητα υπηρεσίας με τις μικρότερες χρονοκαθυστερήσεις που αυτό συνεπάγεται συνεχή ροή εικόνας και ήχου χωρίς διακοπές.

6.5 Γενικά Συμπεράσματα

Κοιτάζοντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, στους πιο πάνω πίνακες και γραφικές παραστάσεις, μπορούμε να κάνουμε ορισμένες παρατηρήσεις και να συγκρίνουμε τις διάφορες υπηρεσίες ως προς την επίδοσή τους ανά RAT.

Καταρχήν, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για τους τρεις τύπους που έχουμε προσομοιώσει, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το UMTS δίκτυο είναι αυτό που παρουσιάζει μεγαλύτερες εξασθενήσεις σήματος και χαμηλότερο QoS στα περισσότερα application που εφαρμόσαμε. Επίσης στο δίκτυα UMTS, οι καθυστερήσεις είναι μεγαλύτερες, λόγω των χαμηλότερων ρυθμών μετάδοσης,

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι και στις τρεις περιπτώσεις, ωστόσο, έχουμε υποθέσει πολύ μικρή ισχύ θορύβου, γιατί οι εξασθενήσεις που παίρνουμε από την προσομοίωση είναι αρκετά μεγάλες και σε αντίθετη περίπτωση, ο τύπος που συνδέει το ρυθμό σφαλμάτων με το σηματοθορυβικό λόγο SNR (και αφού την ισχύ θορύβου την κρατάμε σταθερή, με την εξασθένηση του σήματος), θα έδινε λανθασμένα αποτελέσματα.

Για το Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο (WiMAX), που έχουμε προσομοιώσει, παρατηρούμε ότι υπάρχουν οι υψηλότερες εξασθενήσεις από όλα τα προηγούμενα δίκτυα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στις πολύ υψηλές συχνότητες που χρησιμοποιούνται (στην προσομοίωση υποθέτουμε ότι είναι BSS based για το πρότυπο 802.16). Λόγω όμως των υψηλών ρυθμών μετάδοσης που

υποστηρίζονται από το πρότυπο (data: 40Mbps, voice: 40Mbps, video: 72Mbps), οι καθυστερήσεις μιας διαδρομής (καθυστέρηση μετάδοσης + καθυστέρηση διάδοσης) είναι πολύ μικρές. Οι ρυθμοί μετάδοσης στο wimax, μπορούν να ποικίλουν ανάλογα και με το εύρος καναλιού που χρησιμοποιείται. Στην προσομοίωση μας από τις παραμέτρους έχει οριστεί ότι το εύρος που θα χρησιμοποιηθεί είναι OFDM 20MHz.

Από όλη την πιο πάνω συζήτηση μπορούμε να πούμε ότι το Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο, παρουσιάζει την καλύτερη επίδοση ως προς την καθυστέρηση πακέτου και γι' αυτό το λόγο αποτελεί λύση για γρήγορη ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο. Ωστόσο λόγω των μεγάλων συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται, η εξασθένηση του σήματος είναι αρκετά μεγάλη και χρειάζεται να χρησιμοποιείται μεγαλύτερη ισχύς εκπομπής που όπως έχουμε ορίσει, φάνει το maximum 0,5Watt. Η μεγάλη εξασθένηση του σήματος, σίγουρα, επηρεάζει και το ρυθμό σφαλμάτων, οπότε και την αξιόπιστη μετάδοση των πακέτων, κάτι που στα δίκτυα UMTS παρουσιάστηκε σε αρκετά μικρότερο βαθμό από ότι στα υπόλοιπα δίκτυα. Η τεχνολογία UMTS, μπορεί να αποτελέσει μια αξιόπιστη λύση για συνδέσεις με χαμηλότερες απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση των πακέτων.

Τέλος, τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα, αποτελούν μια εύχρηστη τεχνολογία, που συνδυάζει μικρές εξασθενήσεις, υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και μικρές καθυστερήσεις και για το λόγο αυτό αποτελούν σήμερα μια πολύ διαδεδομένη λύση στο χώρο των ασύρματων επικοινωνιών με το μειονέκτημα ότι δεν είναι ικανοποιητική η απόδοση τους αφού δεν μπορούν να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις όπως καταφέρνουν με επιτυχία τα wimax δίκτυα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, όσον αφορά την καθυστέρηση πακέτου μιας διαδρομής, σε πραγματικά δίκτυα που παρουσιάζουν συμφόρηση, τα αποτελέσματα θα είναι αρκετά διαφορετικά από αυτά που πετυχαίνουμε με την προσομοίωση. Ο λόγος είναι ότι, η καθυστέρηση αναμονής στους κόμβους επηρεάζει σε αρκετά μεγάλο βαθμό τη συνολική καθυστέρηση. Ωστόσο, λόγω του ότι υποθέσαμε αμελητέες καθυστερήσεις αναμονής για όλα τα δίκτυα, τα αποτελέσματα μας επιτρέπουν να συγκρίνουμε τις επιδόσεις των δικτύων μεταξύ τους και να καταλήξουμε σε γενικά συμπεράσματα.

6.6 Επίλογος

Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας, καταφέραμε να έρθουμε σε επαφή, με μερικές από τις κυριότερες τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών που χρησιμοποιούνται σήμερα. Αναλύσαμε σε αρκετά μεγάλο βαθμό την επίδοση τεσσάρων υπηρεσιών για κάθε τύπο δικτύου που τις υιοθέτησε. Σε μια προσπάθεια προσομοίωσης των δικτύων, είδαμε πως οι διάφοροι παράμετροι και τα μοντέλα υπολογισμών που χρησιμοποιήσαμε για κάθε ένα από αυτά, επιδρούν στην εξασθένηση του σήματος, την καθυστέρηση των πακέτων και το ρυθμό των σφαλμάτων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει τη βάση για παραπέρα έρευνα στις ασύρματες επικοινωνίες και την κατασκευή μοντέλων προσομοίωσης που να προσεγγίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τη λειτουργία των πραγματικών δικτύων. Επίσης η ενοποίηση όλων των ασύρματων τεχνολογιών σε μία, σε ένα προγραμματιστικό περιβάλλον, θα μπορούσε να υπάρξει ένα σπουδαίο εργαλείο, καθώς οδηγούμαστε στα δίκτυα τέταρτης γενιάς.

Εν κατακλείδι, από αυτά που έχουν αναπτυχθεί στις προηγούμενες σελίδες, μπορούμε να πούμε ότι εκτός από την κατανόηση και τη βαθύτερη γνώση των ασύρματων επικοινωνιών που έχουμε κερδίσει, καταφέραμε να εξοικειωθούμε με το εργαλείο Ornet και μέσα από τη δική μας έρευνα να βγάλουμε τα δικά μας συμπεράσματα που θα μας βοηθήσουν στη μελέτη μας στο τομέα των ευρυζωνικών δικτύων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ – ΠΗΓΕΣ

Αναφορές 1^ο Κεφαλαίου

- [1] Ιάκωβος Στ. Βενιέρης, «Δίκτυα Ευρείας Ζώνης», Εκδόσεις Τζιόλα, 2003
- [2] 4G supports Open Wireless Architecture (OWA) which is a big movement from 3G technology, <http://4gmobile.blogspot.com/2007/08/4g-supports-open-wireless-architecture.html>
- [3] IEEE Computer Society,
<http://www.computer.org/students/looking/summer97/ieee802.htm>

Αναφορές 2^ο Κεφαλαίου

- [1] Andrew S. Tanenbaum, «Δίκτυα Υπολογιστών – 3^η Έκδοση», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2000
- [2] IEEE 802.11 : http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- [3] IEEE: www.ieee.org
- [4] 802.11a-g, A NEW IEEE STANDARD FOR WIRELESS NETWORKING.ppt
<http://www.awmn.net>
- [5] IEEE Std. 802.11b, Supplement to Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, IEEE Std. 802.11b-1999, 1999.

Αναφορές 3^ο Κεφαλαίου

- [1] Carl Eklund, Roger B. Marks, Kenneth L. Stanwood and Stanley Wang, IEEE Communications Magazine • June 2002, “IEEE Standard 802.16: Technical Overview of the WirelessMAN™ Air Interface for Broadband Wireless Access”
- [2] Worldwide Interoperability for Microwave Access Forum, Whitepaper, “IEEE 802.16a Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access”

[3] Wikipedia, “WiMAX”

<http://en.wikipedia.org/wiki/WiMax>

[4] C. Eklund et al., “IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access,” IEEE Commun. Mag., 40(6):98–107, June 2002.

[5] Marks R. B., *IEEE Standard 802.16 for Global Broadband Wireless Access* 21-10-2003

[6] “Performance Evaluation of the IEEE 802.16A Physical Layer using simulation”, ([http:// www.ece.utexas.edu /~iwong /Files/WirelessFinalReport.pdf](http://www.ece.utexas.edu/~iwong/Files/WirelessFinalReport.pdf))

Αναφορές 4^ο Κεφαλαίου

[1] <http://www.umts-forum.org/>

[2] <http://www.umtsworld.com/>

[3] <http://www.3gnewsroom.com/>

[4] Λαυτσίδης Ηλίας, Μαραγκός Δαμιανός, Παπαγεωργίου Δημήτρης, «Δίκτυα Υψηλών Ταχυτήτων – UMTS», 2005

[5] Castro, Jonathan P., “The UMTS Network and Radio Access Technology: Air Interface Techniques for Future Mobile Systems”, Εκδόσεις J. Wiley & Sons, 2001

Αναφορές 5^ο Κεφαλαίου

[1] OPNET Modeler Product Documentation, Release 10.0, Models, Standard Model User Guides, Wireless Models, Wireless LAN Model User Guide

[2] OPNET Modeler – Accelerating Networking R&D:
www.opnet.com/products/modeler/home.html

[3] Document Title: Release Notes © 1987-2009 OPNET Technologies, Inc,
<http://www.opnet.com>

[4] OPNET Technologies. OPNET Documentation

Αναφορές 6^ο Κεφαλαίου

[1] Hypertext Transfer Protocol (HTTP), <http://en.wikipedia.org/wiki/Http>

[2] File Transfer Protocol (FTP), <http://en.wikipedia.org/wiki/Ftp>

[3] Voice over Internet Protocol

http://en.wikipedia.org/wiki/Voice_over_Internet_Protocol

[4] Video Conferencing, <http://en.wikipedia.org/wiki/Videoconferencing>

[5] UDP Vs TCP,

<http://vista.netera.ca/WebContent/informationarchive/Technical%20Information/UDP%20vs%20TCP%20Summary.pdf>

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
AAS	Adaptive Antenna Systems
AP	Access Point
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BPSK	Binary phase-shift keying
BS	Base Station
CN	Core Network
CPS	Common Part Sublayer
CS	Convergence Sublayer
CS	Circuit Switched
DES	Data Encryption Standard
FDD	Frequency Division Duplexing
FTP	File Transfer Protocol
GERAN	GSM EDGE RAN
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
HSS	Home Subscriber Server
HTTP	HypeText Transfer Protocol
IP	Internet Protocol
LDPC	Low Density Parity Check
MAC	Medium Access Control
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NLOs	Non-line-of-sight OR near-line-of-sight
PHY	Physical Layer

PS	Privacy Sublayer
PS	Packet Switched
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature phase-shift keying
RAN	Radio – Access Network
RNC	Radio Network Controller
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreement
SNR	Signal to Noise Ratio
SOFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access
SS	Subscriber Station
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplexing
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	Universal Terrestrial Radio – Access Network
VoIP	Voice over IP
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Wireless Metropolitan Area Networks
WLANS	Wireless Local Networks

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ