

A.T.E.I

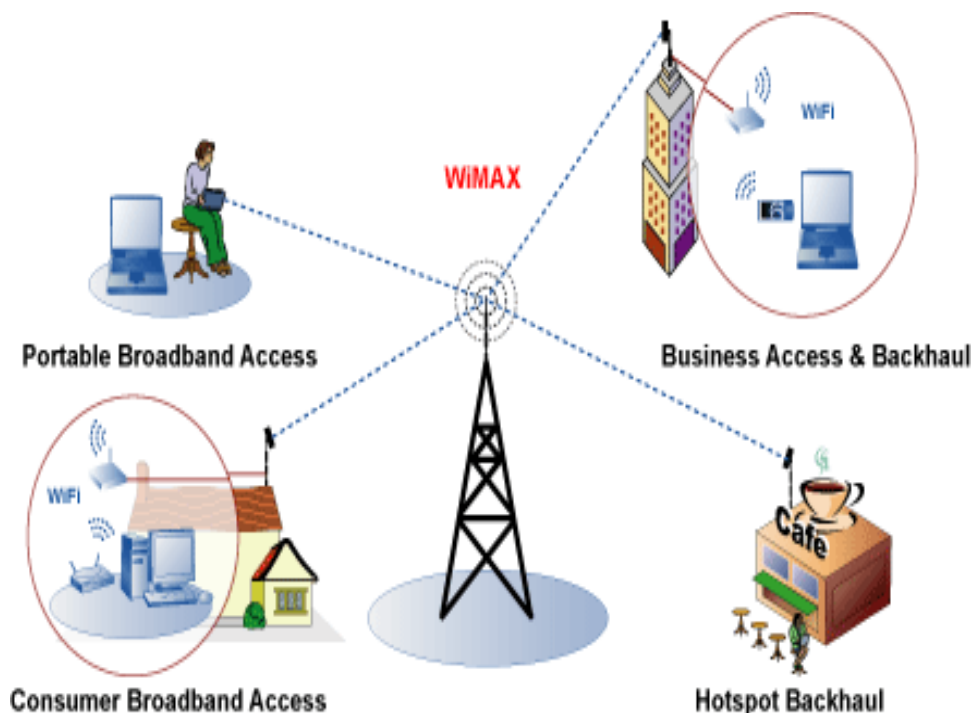
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων

Πτυχιακή Εργασία

Όνομα: Καραδήμας Χρήστος

Εισηγητής: Δρ. Γεώργιος Μαστοράκης

“Μελέτη, σχεδίαση, υλοποίηση και αξιολόγηση μηχανισμού παροχής εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας σε δίκτυα 802.16”



Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	6
1.1	Υφιστάμενο πλαίσιο στην ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση	6
1.2	Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	8
1.3	Δομή της διπλωματικής εργασίας	8
2	Πρωτόκολλα	9
2.1	802.16	9
2.2	802.16a	9
2.3	802.16c	10
2.4	802.16-2004(d)	10
2.5	802.16e	12
3	WiMax Τεχνικές	14
3.1	Προσαρμοστική Διαμόρφωση	14
3.2	OFDM	16
3.3	FDD-TDD	17
3.3.1	FDD	18
3.3.2	TDD	18
3.4	Σύγκριση TDD-FDD	19
4	Αλγόριθμοι και τεχνικές ποιότητας υπηρεσιών	20
4.1	Εισαγωγή	20
4.2	Μηχανισμοί Αστυνόμευσης (policing)	21
4.3	Μηχανισμοί Χρονοπρογραμματισμού (scheduling)	22
4.3.1	Ομοιογενείς αλγόριθμοι ή Homogeneous Algorithms	22
4.3.2	Υβριδικοί αλγόριθμοι ή Hybrid Algorithms	23
4.3.3	Καιροσκοπικοί αλγόριθμοι ή Opportunistic Algorithms	24
4.4	Μηχανισμοί ελέγχου κίνησης	25
4.5	IntServ	27
4.5.1	Εισαγωγή	27
4.5.2	Υπηρεσία εγγυημένης ποιότητας (QoS)	29
4.5.3	Υπηρεσία ελεγχόμενου φόρτου	29
4.5.4	Υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort)	29
4.5.5	Το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων – RSVP	30
4.6	DiffServ	31
4.6.1	Εισαγωγή	31
4.6.2	Tos Πεδίο	32
4.6.3	DSCP πρωτόκολλο	33
4.6.4	Κατηγοριοποίηση	34
4.6.5	Κλάσεις DiffServ	33
4.6.6	Συμπεριφορές - Ανά - Κόμβο (PHBs)	37
4.6.7	Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσίας (SLAs)	39
4.6.8	802.1p Πρωτόκολλο	40
4.7	Υπηρεσίες προώθησης του WiMAX	42
4.7.1	unsolicited Grant Services (uGS)	42
4.7.2	real-time Polling Service (rtPS):	42
4.7.3	non real-time Polling Service (nrtPS):	42
4.7.4	Best Effort (BE):	43
4.8	WiMax Σύγκριση Με WiFi	43
4.8.1	Εισαγωγή	43

4.8.2	Σύγκριση WiMAX και WiFi ως προς παρεχόμενη QoS	43
4.8.3	Πλεονεκτήματα WiMAX έναντι του WiFi.....	44
5	Αξιολόγηση μηχανισμού παροχής ποιότητας υπηρεσίας	45
5.1	Εισαγωγή	46
5.2	Αξιολόγηση Πειραματικής Πλατφόρμας.....	47
5.3	Συσχετίσεις και καταγραφές ροών δεδομένων	52
5.4	Σενάριο Υλοποίησης.....	55
5.4.1	Αποτελέσματα Υπηρεσιών για Απώλειες Πακέτων	57
5.4.2	Αποτελέσματα Υπηρεσιών για Καθυστέρηση Πακέτων	63
5.5	Συμπεράσματα	69

Σχημάτα

Εικόνα 1.	WiMax με Οπτική επαφή	9
Εικόνα 2.	WiMax χωρίς οπτική Επαφή	10
Εικόνα 3.	WiMax με και χωρίς οπτική Επαφή, αλλά και με κινητικότητα.....	13
Εικόνα 4.	Παράδειγμα Κωδικοποίησης των bits για 16-QAM	15
Εικόνα 5.	Προσαρμοστική διαμόρφωση ανάλογα με την απόσταση	16
Εικόνα 6.	OFDM διαχωρισμός υπο-καναλιών (sub-channels).....	17
Εικόνα 7.	Απεικόνιση ενός συχνοτικού διαστήματος ανοδικής και κατερχομενης ροής προς αποφυγή πιθανών παρεμβολών.	18
Εικόνα 8.	Απεικόνιση Τεχνικής TDD.....	19
Εικόνα 9.	Στρωματοποίηση RSVP.....	30
Εικόνα 10.	Απεικόνιση Λειτουργίας RSV.....	31
Εικόνα 11.	IP Header και διαχωρισμός των bits για κάθε Header	32
Εικόνα 12.	TOS byte Header και επίπεδο προτεραιότητας με βάση τα τρία πρωταρχικά bits	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 13.	Χρησιμοποίηση των 5 bits για συγκεκριμένο τύπο ροής δεδομένων σύμφωνα πάντα με το Class Map.	35
Εικόνα 14.	Απεικόνιση πίνακα για συγκεκριμένο εύρος ζώνης για κάθε υπηρεσία, καθώς συγκεκριμένη ευαισθησία σε καθυστέρηση, διακύμανση καθυστέρησης και απώλεια πακέτων για κάθε υπηρεσία.	34
Εικόνα 15.	Περιγραφή των τύπων-ροών δεδομένων ανάλογα με τα 3 πρώτα bit για 802.1p.....	41
Εικόνα 16.	Overhead IP (20 bytes)+UDP(8 bytes)+RTP(12 bytes) είτε για G.711 είτε G.729.....	42
Εικόνα 17.	Αρχικός Σχεδιασμός και Αρχιτεκτονική Δικτύου	56

Περίληψη

Ο βασικός στόχος της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας επικεντρώνεται στην παροχή δεδομένων εγγυημένης Ποιότητας Υπηρεσίας επιβεβαιώνοντας πειραματικά τις δικτυακές επιδόσεις του προτύπου IEEE802.16 (WiMAX) με χρήση μηχανισμών QoS. Η εργασία παρέχει τόσο θεωρητική όσο και πρακτική γνώση πάνω στη συγκεκριμένη τεχνολογία και προτείνει μεθόδους παροχής QoS με χρήση των προτύπων DiffServ και IntServ. Αρχικά παρουσιάζεται η οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE802.16 όπου αναλύονται τα χαρακτηριστικά και οι καινοτομίες τους όπως η προσαρμοστική διαμόρφωση, η πολυπλεξία OFDM, η πολλαπλή πρόσβαση OFDMA και οι τεχνικές TDD-FDD. Στο επόμενο στάδιο παρουσιάζονται βιβλιογραφικά στοιχεία σε θέματα αρχιτεκτονικών εξασφάλισης Ποιότητας Υπηρεσίας (IntServ, DiffServ) στο Διαδίκτυο και ο συνδυασμός τους με το WiMAX για την διατεματική (E2E) παροχή υπηρεσιών δικτύου (UGS, rtPS, nrtPS, BE). Επιπρόσθετα συγκρίνονται οι δυνατότητες του WiMAX σε σχέση με παλαιότερες τεχνολογίες (WiFi) και ακολούθως παρουσιάζονται και αναλύονται, τα πειραματικά αποτελέσματα, με βάση ένα συγκεκριμένο σχεδιαστικό πλάνο, με ενεργοποιημένους και απενεργοποιημένους τους μηχανισμούς Ποιότητας Υπηρεσίας. Οι υπηρεσίες που απαιτούν εγγυημένο εύρος ζώνης (VoIP, Live Streaming, Data), απολαμβάνουν υψηλότερη προτεραιότητα έτσι ώστε να διασφαλίζεται ορθή και αποτελεσματικότερη επικοινωνία. Τα γραφήματα που παρουσιάζονται απεικονίζουν τις διαφορές ανάμεσα στις υπηρεσίες εγγυημένης ποιότητας και στις υπηρεσίες όπου τα δεδομένα δεν έχουν καμία προτεραιότητα στο δίκτυο.

Θερμότατες ευχαριστίες οφείλονται:

Στον Επίκουρο Καθηγητή του ΤΕΙ Κρήτης Δρ. Εύαγγελο Πάλλη για την καθοδήγηση, καθώς και για τις πολύτιμες και άμεσες υποδείξεις για το αντικείμενο του Τηλεπικοινωνιακού Μηχανικού στα χρόνια των σπουδών μου.

Στον Επιστημονικό Συνεργάτη του ΤΕΙ Κρήτης Δρ. Γεώργιο Μαστοράκη για την αποδοχή και τη συνεργασία για την υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας.

Στον Υποψήφιο Διδάκτορα Νικόλαο Ζώτο για την αρχική σχεδίαση, παραμετροποίηση και την εν δυνάμει βελτιστοποίηση της αρχιτεκτονικής του δικτύου, καθώς και για όλη του την συνεισφορά για την υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας.

Στον Ερευνητή Δρ. Αναστάσιο Κούρτη υπεύθυνο του Εργαστηρίου στο ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, ο οποίος μου έδωσε την δυνατότητα να χρησιμοποιήσω το εργαστηριακό υλικό για την διεκπεραίωση της πτυχιακής εργασίας καθώς και για την περαιτέρω κατανόηση ενός δικτυακού εργαστηρίου.

1 Εισαγωγή

Λίγα Λόγια

Το WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access ή Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Πρόσβαση Μικροκυμάτων) προσφέρει ασύρματη σύνδεση με ταχύτητα έως 70 Megabit/sec -μεγαλύτερη από τα περισσότερα επίγεια δίκτυα- σε αποστάσεις έως και 30 χλμ.

Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης έως και 72 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50 Mbps. Η Χορήγηση χρήσης φάσματος ραδιοσυχνοτήτων στα είναι 1,75 GHz και 3,5 GHz, μετά από σχετικά αιτήματα που υπέβαλαν στη Ρυθμιστική Αρχή, εταιρίες που ενδιαφέρονται να αναπτύξουν την τεχνολογία WiMax.

1.1 Υφιστάμενο πλαίσιο στην ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση

Η εκρηκτική ανάπτυξη του διαδικτύου κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας έχει οδηγήσει στην ολοένα αυξανόμενη ζήτηση από τους χρήστες του για υψηλής ταχύτητας πρόσβαση σε οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκονται. Οι εταιρείες παροχής υπηρεσιών διαδικτύου (Internet Service Providers – ISPs) προσπάθησαν να καλύψουν τις ανάγκες των πελατών τους με την τεχνολογία DSL (Digital Subscriber Line), η οποία αν και εμφανίστηκε ως πρωτοποριακή λύση τελευταίου-μιλίου (last-mile solution) συνοδευόταν από περιορισμούς στην απόδοση, αφού αναπτύχθηκε επάνω στις ήδη υπάρχουσες τηλεφωνικές γραμμές, αλλά και από περιορισμούς στην κάλυψη, αφού σε ορισμένες περιοχές (ημιαστικές, αραιοκατοικημένες κλπ.) ο αριθμός υποψηφίων πελατών δε θα δικαιολογούσε τη δαπάνη ανάπτυξης της τεχνολογίας και δε θα προσέφερε τα προσδοκώμενα κέρδη στις εταιρείες. Επιπλέον, η λύση της αντικατάστασης των τηλεφωνικών γραμμών με οπτικές ίνες, προσφέροντας υψηλότερες ταχύτητες, θα ανέβαζε το κόστος της επένδυσης αλλά και το χρόνο υλοποίησης λόγω των απαραίτητων εργασιών (εκσκαφή, τοποθέτηση των ινών κλπ.). Επίσης, σε κάποιες περιοχές θα ήταν εντελώς αδύνατη η ανάπτυξη ενσύρματου δικτύου, λόγω μορφολογίας του εδάφους (Όπως για παράδειγμα η περιοχή του Αγίου Όρους). Έτσι, άρχισε η αναζήτηση εναλλακτικής πρότασης για την λύση τελευταίου μιλίου (last mile), δηλαδή της σύνδεσης του τελικού χρήστη με τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο.

Η ασύρματη πρόσβαση ήταν η ιδανικότερη λύση. Η τεχνολογία που αναπτύχθηκε προς αυτή την κατεύθυνση ήταν το WiFi (πρότυπο IEEE 802.11), το οποίο όμως έφτανε μέχρι τη θεωρητική ταχύτητα των 54Mbps και κάλυπτε περιοχή ακτίνας μέχρι 100m. Το Wi-Fi όμως, αν και αρκετά απλό στη χρήση, δεν έφερε την πραγματική επανάσταση, που όλοι περίμεναν και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην περιορισμένη εμβέλεια της κάλυψής του. Στην πραγματικότητα η εν λόγω τεχνολογία αξιοποιήθηκε κυρίως για σύνδεση ηλεκτρονικών υπολογιστών και δρομολογητών (routers) σε οικιακούς ή εταιρικούς χώρους και όχι για την παροχή υπηρεσιών πρόσβασης στο Internet σε μια γεωγραφικά εκτεταμένη περιοχή. Με την

εμβέλειά του να περιορίζεται στα 100 μέτρα, δεν θα μπορούσε φυσικά να περιμένει κανείς κάτι διαφορετικό. Το μειονέκτημα της περιορισμένης εμβέλειας του Wi-Fi άφησε σαν λύση για τους χρήστες που επιθυμούν μόνιμη πρόσβαση στο διαδίκτυο εν κινήσει, τη χρήση των τεχνολογιών GPRS και 3G, μέσω των GSM και UMTS δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Οι εν λόγω τεχνολογίες προσφέρουν σταθερή σύνδεση σε κάθε σημείο όπου υπάρχει κάλυψη σήματος από το δίκτυο, κάτι που πρακτικά σημαίνει ότι ο συνδρομητής μπορεί να πλοηγείται στα web sites που τον ενδιαφέρουν, να «κατεβάζει» τα e-mail του και να χρησιμοποιεί οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία του Internet ακόμη και στη διάρκεια ενός ταξιδιού από τη μία άκρη μιας χώρας στην άλλη, χωρίς καμία σχεδόν διακοπή της σύνδεσης. Όμως τόσο το GPRS όσο και το 3G διαθέτουν ένα σημαντικό μειονέκτημα, που κράτησε μειωμένη τη συνδρομητική βάση: τις υψηλές χρεώσεις. Παρόλο που ο χρήστης είναι σε συνεχή σύνδεση με το Internet, χωρίς να υφίσταται χρονοχρέωση, η κοστολόγηση της πρόσβασης γίνεται σύμφωνα με τον όγκο των διακινούμενων δεδομένων. Ενδεικτικά στη χώρα μας, 1 MB δεδομένων που στέλνει ή λαμβάνει ο συνδρομητής GPRS/3G φθάνει να κοστολογείται μέχρι και 5€, κάτι που καθιστά απαγορευτική τη χρήση της υπηρεσίας ακόμη και για πλοήγηση σε ιστοσελίδες λίγα λεπτά καθημερινά. Υπό αυτές τις συνθήκες δημιουργήθηκε η ανάγκη για κάτι διαφορετικό.

Απαλλαγμένο από τα μειονεκτήματα των σημερινών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο και διατηρώντας ή αναβαθμίζοντας τα πλεονεκτήματά τους, το WiMAX είναι η λύση που όπως όλα δείχνουν θα επικρατήσει στο πολύ κοντινό μέλλον, αντικαθιστώντας ακόμη και τις οικιακές ADSL συνδέσεις. Το WiMAX προσφέρει αφενός μεν υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης σε σχέση με το Wi-Fi, αφετέρου δε σημαντικά υψηλότερη εμβέλεια, που υπολογίζεται ότι θα μπορεί να καλύψει σε κάθε της σημείο ακόμη και μια μεγαλούπολη. Όπως προαναφέρθηκε, λόγω της ιδιομορφίας του εδάφους, το Άγιο Όρος, καλύφθηκε αποκλειστικά με WiMAX. Χρησιμοποιήθηκαν 6 σταθμοί βάσης με την εμβέλεια του δικτύου να φτάνει τα 50 km, καλύπτοντας την πλειοψηφία των Μονών και Σκητών του Αγίου Όρους, σε σχεδόν όλη την έκταση της Χερσονήσου του Άθω. Με τον τρόπο που τα κινητά τηλέφωνα σήμερα έχουν επικρατήσει για τις ανάγκες της επικοινωνίας μας έναντι του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου, με τον ίδιο τρόπο εκτιμάται από τους ειδικούς ότι πολύ σύντομα το WiMAX θα καλύπτει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό συνδρομητών, σε σχέση με αυτούς που συνδέονται στο διαδίκτυο μέσω ενσύρματης γραμμής ADSL, ISDN ή PSTN.

Το Internet πρέπει να αποτελεί ένα μέσο ενημέρωσης και επικοινωνίας προσβάσιμο ανά πάσα στιγμή από παντού, με την ίδια λογική που σήμερα ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν από οποιοδήποτε σημείο, χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες. Κάπως έτσι εκτιμάται ότι μελλοντικά ο χρήστης ενός φορητού υπολογιστή ή PDA θα ενεργοποιεί τη συσκευή του σε οποιοδήποτε σημείο μιας πόλης ή και ολόκληρης της χώρας του και θα είναι αμέσως έτοιμος να πλοηγηθεί στο Internet με ταχύτητες αρκετών Mbps. Όσο κι αν αυτό φαίνεται σαν ένα ...άπιαστο όνειρο, το WiMAX υπόσχεται να το κάνει πραγματικότητα και οι πρώτες δοκιμές που έχουν γίνει σε χώρες του εξωτερικού, δείχνουν ότι θα το κατορθώσει.[1],[2]

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι, να εξηγήσει τον τρόπο λειτουργίας του WiMAX, ώστε να αποτελέσει ένα καλό εγχειρίδιο για κάθε αναγνώστη που τον αφορά το θέμα. Παρέχει τόσο θεωρητική όσο και πρακτική γνώση πάνω στη συγκεκριμένη τεχνολογία, εστιάζοντας πάνω στο τομέα της ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Επιπλέον παρουσιάζεται η τρέχουσα έρευνα όπου απεικονίζεται η σημαντική διαφορά ανάμεσα σε συγκεκριμένη πρόταση παροχής ποιότητας υπηρεσίας και χωρίς κάποια πρόταση παροχής υπηρεσίας. Έτσι, παρουσιάζεται ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα του WiMAX όπου υπηρεσίες που χρειάζονται υψηλή προτεραιότητα και συγκεκριμένο εύρος ζώνης (VoIP, Live Streaming, Data), μπορούν με την κατάλληλη μελέτη για οποιαδήποτε ποιότητα υπηρεσίας, να εξασφαλίζεται, ορθή και εγγυημένη επικοινωνία.

1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας

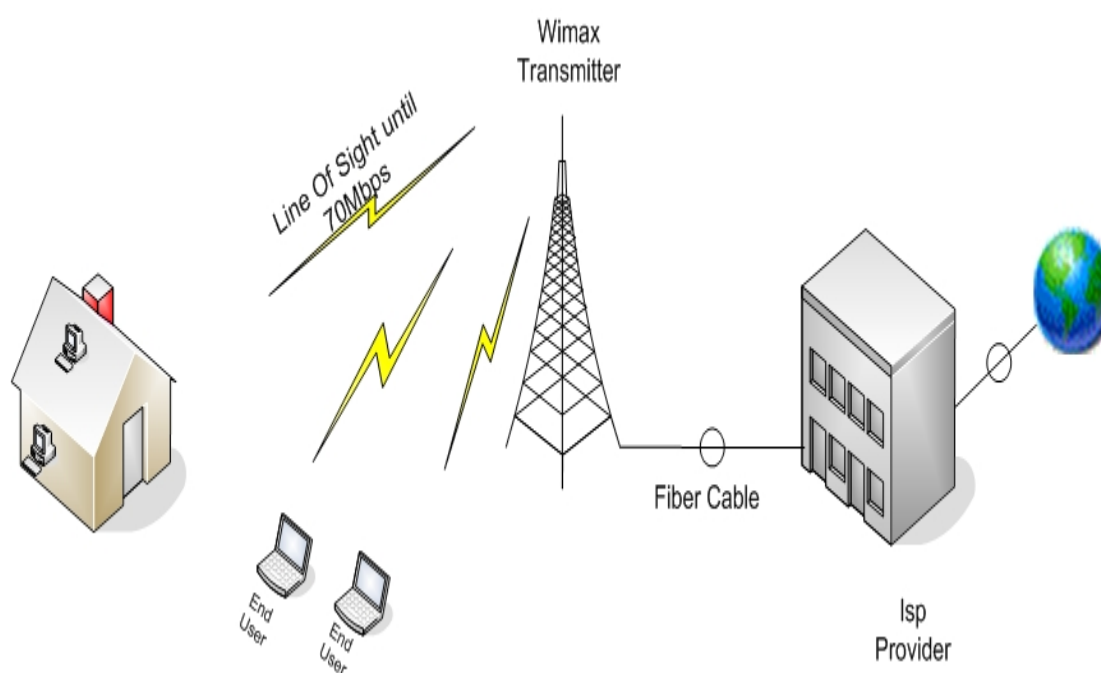
Με την παρούσα εργασία, δίνεται το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση της τεχνολογίας WiMAX αλλά και συμπληρωματικών πεδίων όπως υφιστάμενα μοντέλα διάδοσης και η εφαρμογή τους. Επιπλέον, παρουσιάζεται συγκεκριμένη μελέτη εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσίας (QoS) στο διαδίκτυο, προκειμένου να διατηρούνται εγγυημένα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας από άκρου σε άκρο για την παροχή IP υπηρεσιών. Συγκεκριμένα, η διάρθρωση των κεφαλαίων έχει ως εξής:

- Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE 802.16 (WiMAX).
- Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύονται τα χαρακτηριστικά και οι καινοτομίες της συγκεκριμένης τεχνολογίας, όπως: προσαρμοστική διαμόρφωση, πολυπλεξία OFDM, πολλαπλή πρόσβαση OFDMA και SOFDMA, τεχνικές TDD-FDD.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύεται η ποιότητα υπηρεσιών (QoS) που μπορεί να προσφέρει το WiMAX. Επίσης, παρουσιάζεται η τρέχουσα έρευνα σε θέματα αρχιτεκτονικών εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσίας (IntServ, DiffServ) στο διαδίκτυο και ο συνδυασμός τους με το WiMAX στη διασφάλιση εγγυημένης ποιότητας υπηρεσιών δικτύου (UGS, rtPS, nrtPS, BE) από άκρου σε άκρο. Επίσης, συγκρίνονται οι δυνατότητες του WiMAX σε σχέση με υφιστάμενες τεχνολογίες (WiFi).
- Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναπαρίστανται όλα τα γραφήματα και οι τελικές μετρήσεις με αναλύσεις, με και χωρίς την παροχή προτεινόμενης υπηρεσίας.

2 Πρωτόκολλα

2.1 802.16

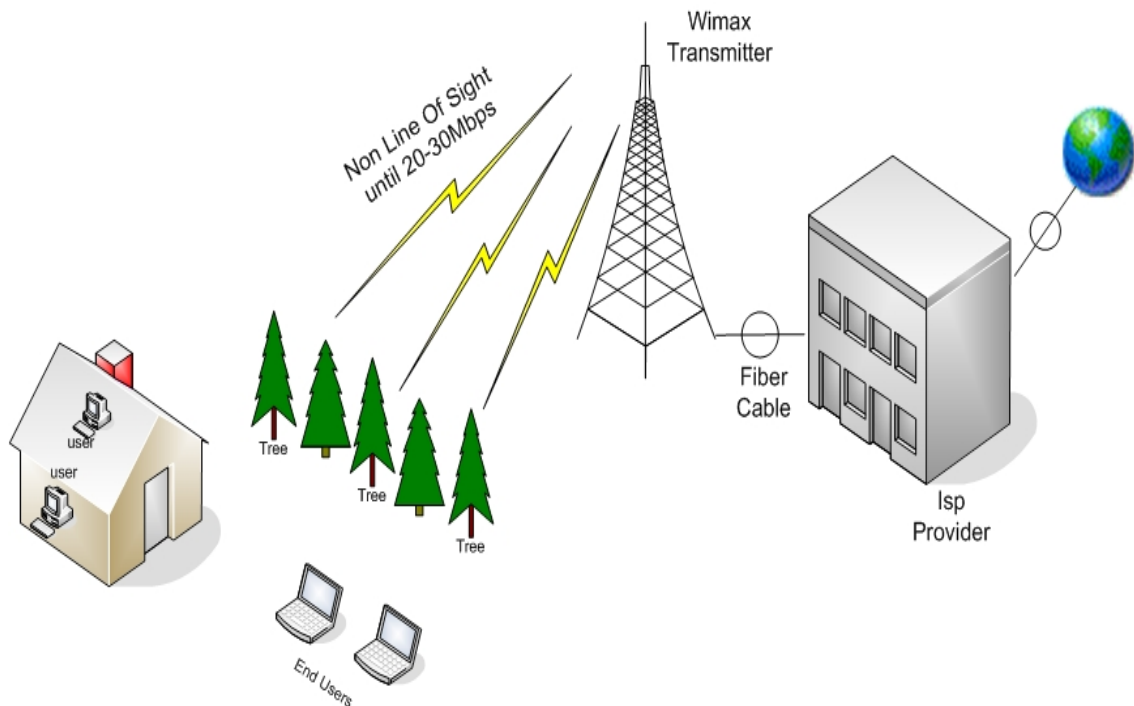
Η πρώτη έκδοση των προτύπων WiMax εξέτασε τις σειρές φάσματος πάνω από 10 GHz (συγκεκριμένα 10 GHz σε 66 GHz), όπου υπάρχει ακόμα διαθέσιμο φάσμα παγκοσμίως. Επειδή οι συγκεκριμένες συχνότητες είναι υψηλές, το αντίστοιχο μήκος κύματος είναι μικρό και επομένως η διάδοση των σημάτων αφορούσε αποκλειστικά επικοινωνίες απ'ευθείας οπτικής επαφής (Line Of Sight-LOS), λόγω των ισχυρών απωλειών διάδοσης που οφείλονται στα μικρά μήκη κύματος. Κατά συνέπεια υποστηρίζει τα ευρέα κανάλια, που ορίζονται ως όντας μεγαλύτερο από 10 MHz στο μέγεθος. [1]



Εικόνα 2. WiMax με Οπτική επαφή

2.2 802.16a

Η αναπροσαρμογή 802.16a προσέθεσε την υποστήριξη για τις σειρές φάσματος 2 GHz σε 11 GHz (αφορώντας ζώνες φάσματος με ή χωρίς αδειοδότηση χρήσης τους), όπου είναι δυνατή η δημιουργία συνδέσεων χωρίς οπτική επαφή πομπού-δέκτη (NLOS) ικανότητα. Αυτή η έκδοση ενίσχυσε τις μέσες ικανότητες στρώματος ελέγχου προσπέλασης (MAC). Βελτίωσε επίσης τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS). Το 802.16a έχει πάνω από 48km μέγιστη ακτίνα κάλυψης και τυπική ακτίνα κυψέλης 6.5-9.5 km σε κυψελωτό σύστημα. [4]



Εικόνα 3. WiMax χωρίς Οπτική επαφή,

2.3 802.16c

Το Δεκέμβριο του 2002 εγκρίθηκε και τον Ιανουάριο του 2003 δημοσιεύθηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16c, το οποίο ήταν μία συλλογή από αποσαφηνίσεις και ενημερώσεις πάνω στο IEEE 802.16-2001. Η τεκμηρίωση του IEEE 802.16c αναπτύχθηκε για ασύρματα δίκτυα σε αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων μεταξύ 10 και 66 GHz και σχετιζόταν με το λεπτομερές προφίλ, με την αποτίμηση των επιδόσεων και με τη δοκιμή του συστήματος. [5]

2.4 802.16-2004(d)

Η ένωση των υποπροτύπων IEEE 802.16a,c,d όρισε το πρότυπο IEEE 802.16-2004 το οποίο περιγράφει τη συνολική λειτουργικότητα των επιμέρους υποπροτύπων που προαναφέρθηκαν για συχνότητες λειτουργίας 2-66GHz, ενώ διασφαλίζει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 63Mbps στην κάτω ζώνη και 28Mbps στην άνω, για κάθε κανάλι εύρους 10MHz. Το 802.16-2004 πρότυπο βελτιώνει τη χρήση του WiMAX σε last-mile εφαρμογές σε διάφορες βασικές πτυχές:

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

Η παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών και η καθυστέρηση διάδοσης βελτιώνουν την απόδοση σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει άμεση οπτική επαφή

μεταξύ του σταθμού βάσεως και του σταθμού συνδρομητή. Ο WiMAX εξοπλισμός που λειτουργεί στις μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων θα χρησιμοποιεί TDD ενώ ο εξοπλισμός που λειτουργεί στις αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων θα χρησιμοποιεί είτε TDD είτε FDD.

Το 802.16-2004 χρησιμοποιεί διαμόρφωση OFDM για τη βελτιστοποίηση των ασύρματων υπηρεσιών. Το σήμα OFDM διαιρείται σε 256 φέροντα αντί των 64 που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.11. Ο μεγαλύτερος αριθμός φερόντων στην ίδια ζώνη συχνοτήτων οδηγεί σε στενότερα υποφέροντα, το οποίο είναι ισοδύναμο με μεγαλύτερες περιόδους συμβόλων. Το ίδιο ποσοστό του χρόνου φύλαξης ή του κυκλικού προθέματος (CP) παρέχει μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στη μεγαλύτερη καθυστέρηση διάδοσης και μεγαλύτερη αντοχή στην παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών.

Το φυσικό στρώμα (PHY) έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ανέχεται την καθυστέρηση διάδοσης, και συγκεκριμένα ανέχεται μέχρι 10 nsec, 1000 φορές μεγαλύτερη από το πρότυπο 802.11. Δεν επιτρέπει τις συγκρούσεις δεδομένων και, επομένως, χρησιμοποιεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης αποτελεσματικότερα. Καμία σύγκρουση σημαίνει καμία απώλεια εύρους ζώνης για αναμετάδοση δεδομένων. Όλη η επικοινωνία συντονίζεται από το σταθμό βάσεως.

Άλλα χαρακτηριστικά του προτύπου είναι:

- **Βελτιωμένη συνδετικότητα των χρηστών**

Το 802.16-2004 κρατά περισσότερους χρήστες συνδεδεμένους λόγω των εύκαμπτων σε πλάτος καναλιών και της προσαρμοστικής διαμόρφωσής (adaptive modulation) τους. Επειδή χρησιμοποιεί στενότερα κανάλια από αυτά των 20MHz που χρησιμοποιεί το 802.11, το 802.16-2004 μπορεί να εξυπηρετήσει τους συνδρομητές με μικρότερες απαιτήσεις σε ρυθμό μετάδοσης χωρίς σπατάλη εύρους ζώνης. Όταν οι συνδρομητές αντιμετωπίζουν θορυβώδεις καταστάσεις ή χαμηλή ισχύ σημάτων, το προσαρμοστικό σχέδιο διαμόρφωσης τους κρατά συνδεδεμένους ενώ σε άλλη περίπτωση ίσως είχαμε διακοπή της σύνδεσης.

- **Υψηλότερη ποιότητα υπηρεσίας**

Το πρότυπο εξασφαλίζει QoS για τους πελάτες που την απαιτούν και προσαρμόζει τα επίπεδα υπηρεσιών για να καλύψει τις διαφορετικές απαιτήσεις πελατών. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να εγγυηθεί υψηλό εύρος ζώνης στους επαγγελματικούς πελάτες ή χαμηλή καθυστέρηση για εφαρμογές φωνής και βίντεο, ενώ παράλληλα παρέχει μόνο υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (best-effort) και χαμηλού κόστους στους οικιακούς χρήστες του διαδικτύου.

- **Πλήρης υποστήριξη για υπηρεσίες WMAN**

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

- **Robust carrier-class operation**

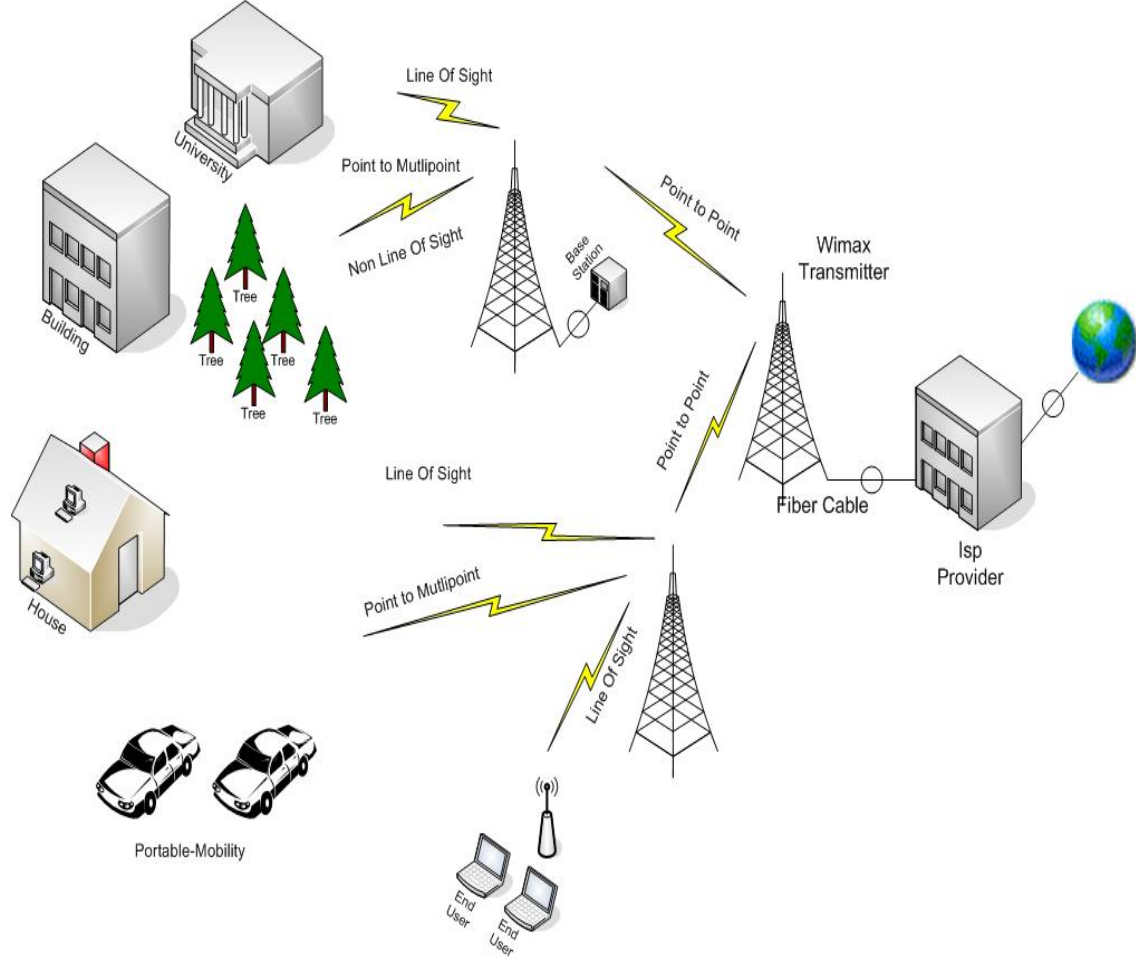
Το πρότυπο σχεδιάστηκε για carrier-class λειτουργία. Όσο περισσότεροι χρήστες μπαίνουν στο δίκτυο, πρέπει να μοιραστούν το συνολικό εύρος ζώνης και ο ρυθμός μετάδοσης του καθενός μειώνεται κατά γραμμικό τρόπο. Η μείωση, εντούτοις, είναι πολύ λιγότερο δραματική από ό,τι είναι στο 802.11. Αυτή η ικανότητα καλείται αποδοτική πολλαπλή πρόσβαση. [7],[8]

2.5 802.16e

Το Δεκέμβριο του 2005 εκδόθηκε το IEEE 802.16e (ή αλλιώς Mobile WiMAX) που αφορά την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση για κινητά συστήματα.

Χρησιμοποιεί OFDMA τεχνική που επιτρέπει στα σήματα διαιρεθούν σε πολλά sub-channels χαμηλής-ταχύτητας για να αυξήσει την αντίσταση στην πολλαπλών διαδρομών παρέμβαση. Παραδείγματος χάριν, εάν ένα κανάλι 20 MHz υποδιαιρείται 1000 sub-channels, κάθε μεμονωμένος χρήστης έχει την άδεια για έναν δυναμικό αριθμό sub-channels βασισμένα στην απόσταση και τις ανάγκες τους από το κύτταρο (δηλ. 4, 64, 298, 312, 346, 610 και 944). Εάν μέσα, σε μια υψηλότερη μεθοδολογία διαμόρφωσης όπως η διαμόρφωση εύρους 64 τετραγωνισμού (QAM) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το υψηλότερο εύρος ζώνης σε περισσότερα κανάλια. Εάν ο χρήστης είναι μακρύτερα, ο αριθμός των καναλιών μπορεί να μειωθεί με μια επακόλουθη αύξηση δύναμης ανά κανάλι. [7]

Οι δύο εκδόσεις του WiMAX (σταθερό και κινητό) θα συνυπάρξουν και θα καλύψουν την αυξανόμενη ζήτηση για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση στις σταθερές και κινητές αγορές. Εκτός από τον προβληματισμό εάν θέλουν να εγκαταστήσουν ένα κινητό ή σταθερό δίκτυο, κατά επιλογή μιας λύσης WiMAX οι πάροχοι πρέπει να αξιολογήσουν πρόσθετους παράγοντες όπως οι αγορές-στόχοι, η διαθεσιμότητα του φάσματος, οποιοδήποτε ρυθμιστικοί περιορισμοί και χρονικοί περιορισμοί της επέκτασης. Τα προϊόντα 802.16-2004 είναι λιγότερο σύνθετα από τα αντίστοιχα 802.16e προϊόντα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύτερο φάσμα των μη αδειοδοτημένων ζωνών και προσφέρουν σε μερικές περιπτώσεις, υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης από τον εξοπλισμό 802.16e. Αφ' ετέρου, καλύτερο περιθώριο συνδέσεων (link margin), υποστήριξη κινητικότητας, βελτιωμένη κάλυψη εσωτερικών χώρων και η εύκαμπτη διαχείριση του φάσματος είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρονται από τα 802.16e προϊόντα. [9]



Εικόνα 4. WiMax με και χωρίς οπτική Επαφή, αλλά και με κινητικότητα

Μερικά από τα γενικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος Mobile WiMAX είναι:

- **Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης**

Η χρήση κεραιών MIMO καθώς και ευέλικτων σχημάτων sub-channelization (υποκαναλοποίησης), εξελιγμένης κωδικοποίησης και διαμόρφωσης επιτρέπουν στην τεχνολογία Mobile WiMAX να υποστηρίζει μέγιστους ρυθμούς 63Mbps Downlink και 28Mbps UpLink ανά τομέα για διάυλο εύρους 10MHz.

- **Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS)**

Η sub-channelization και τα σχήματα σηματοδότησης που βασίζονται στο MAC παρέχουν έναν ευέλικτο μηχανισμό για βέλτιστη κατανομή του διατιθέμενου χώρου, χρόνου και φάσματος στη βάση του εκάστοτε πλαισίου για αύξηση της ποιότητας υπηρεσιών.

- **Κλιμάκωση (Scalability)**

Το Mobile WiMAX είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να λειτουργεί σε διάφορα εύρη διαύλου (1.25–20MHz) προκειμένου να είναι πάντα σε συμμόρφωση με τις διαφορετικές προδιαγραφές που συναντώνται σε διαφορετικές χώρες του κόσμου.

- **Ασφάλεια**

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

- i. Πιστοποίηση με βάση το πρωτόκολλο EAP (Extensible Authentication Protocol)
- ii. Κρυπτογράφηση με χρήση του κώδικα AES-CCM (Advanced Encryption Std-Counter with Cipher-block chaining Message authentication code)
- iii. Σχήματα προστασίας μηνυμάτων ελέγχου που βασίζονται στους κώδικες CMAC (Cipher-based Message Authentication Code) και HMAC (Hash Message Authentication Code)

- **Κινητικότητα**

Υποστηρίζει βέλτιστα σχήματα διαπομπής με καθυστερήσεις μικρότερες των 50msec για να εξασφαλίσει εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time) όπως VoIP χωρίς μείωση της ποιότητας, ενώ ευέλικτα σχήματα διαχείρισης διασφαλίζουν την ασφάλεια κατά τη διάρκεια της διαπομπής. [11], [10]

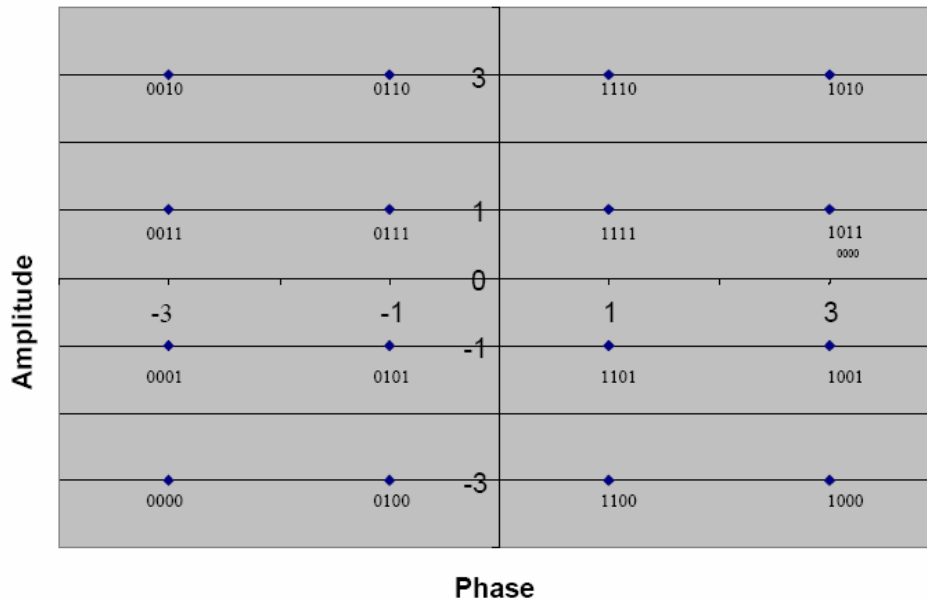
3 WiMax Τεχνικές

3.1 Προσαρμοστική Διαμόρφωση

Στο WiMAX, όπως και σε κάθε σύστημα επικοινωνίας, χρησιμοποιείται διαμόρφωση για τα σήματα πληροφορίας. Η διαμόρφωση είναι η διαδικασία μέσω της οποίας ένα «φέρον» κύμα τροποποιείται ώστε να μεταφέρει το σήμα πληροφορίας. Για ψηφιακά σήματα επικοινωνίας, υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι διαμόρφωσης, οι ASK, FSK και PSK, από τις οποίες προκύπτουν και όλες οι υπόλοιπες.

Στο WiMAX χρησιμοποιείται κατά πρώτον η PSK (Phase Shift Keying) και συγκεκριμένα η BPSK και η QPSK παραλλαγή της. Κατά την BPSK (Binary PSK) μεταβάλλουμε τη φάση του φέροντος σήματος, είτε σε 0° είτε σε 180° , ανάλογα με το αν το bit που θέλουμε να στείλουμε κάθε φορά είναι 0 ή 1 αντίστοιχα. Κατά την QPSK (Quadrature PSK) προστίθενται δύο επιπλέον φάσεις, οι 90° και 270° . Έτσι, τώρα, έχουμε τέσσερις διαφορετικές «εμφανίσεις» του φέροντος σήματος, πράγμα το οποίο μάς βολεύει στο να κωδικοποιήσουμε 2 bits πληροφορίας σε κάθε «εμφάνιση», δηλαδή σε κάθε διαφορετική φάση ($4=2^2$). Δηλαδή, αν η φάση του φέροντος είναι 0° , σημαίνει ότι έχουν κωδικοποιηθεί τα bits 00. Αν η φάση είναι 90° , έχουν κωδικοποιηθεί τα bits 01. Αν η φάση είναι 180° έχουν κωδικοποιηθεί τα bits 11. Και, τέλος, αν η φάση είναι 270° , έχουν κωδικοποιηθεί τα bits 10.

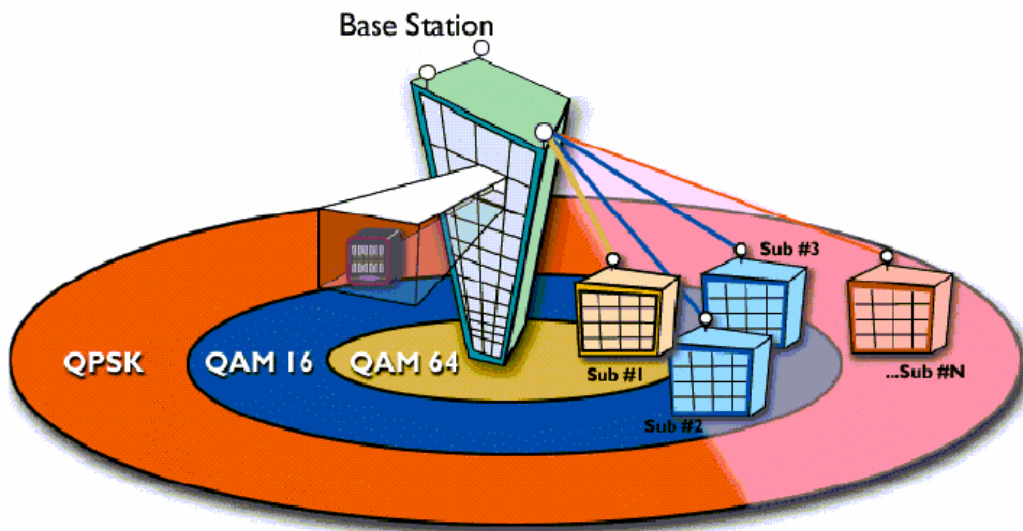
Η επόμενη διαμόρφωση που χρησιμοποιούμε στο WiMAX είναι η QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Αυτή η διαμόρφωση προέρχεται από το συνδυασμό της ASK και της PSK. Σημειώνουμε εδώ ότι η ASK (Amplitude Shift Keying) περιλαμβάνει μεταβολή του πλάτους (ή αλλιώς της ισχύος) του φέροντος σύμφωνα με το σήμα πληροφορίας. Ανάλογα με το πόσες διαφορετικές «εμφανίσεις» του φέροντος έχουμε, χαρακτηρίζεται και η διαμόρφωση (M-QAM). Το M μπορεί να πάρει τιμές 16, 32, 64, κλπ. Στο WiMAX χρησιμοποιούμε την 16-QAM και την 64-QAM. Στην 16-QAM υπάρχουν 16 διαφορετικές «εμφανίσεις» του φέροντος που διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά στη φάση και στο πλάτος (4 διαφορετικές φάσεις \times 4 διαφορετικά πλάτη = 16 «εμφανίσεις»). Επομένως μπορούμε να αναπαραστήσουμε ταυτόχρονα 4 bits πληροφορίας ($4=2^2$) σε κάθε «εμφάνιση» του φέροντος. Οι «εμφανίσεις» αυτές και οι αντίστοιχες κωδικοποιήσεις των bits φαίνονται και στην παρακάτω εικόνα, που ονομάζεται «διάγραμμα αστερισμού».



Εικόνα 5. Παράδειγμα Κωδικοποίησης των bits για 16-QAM

Τα αντίστοιχα ισχύουν και για την 64-QAM. Συγκεκριμένα, κωδικοποιούνται 6 bits ταυτόχρονα σε κάθε σύμβολο (αφού υπάρχουν $64=2^6$ «εμφανίσεις» του φέροντος). Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των bits/symbol, τόσο υψηλότερη είναι προφανώς και η ρυθμοαπόδοση (throughput), αλλά και η απόδοση φάσματος που πετυχαίνεται στο κανάλι. Όμως, όσο περισσότερες διαφορετικές «εμφανίσεις» του φέροντος έχουμε, τόσο δυσκολότερο είναι ο δέκτης να αποφασίσει για ποια συγκεκριμένη «εμφάνιση» πρόκειται. Αυτό συμβαίνει γιατί η διαφορά μεταξύ των «εμφανίσεων» είναι μικρή και δεδομένων των παρεμβολών και των μη ιδανικών συνθηκών διάδοσης, υπάρχει περίπτωση ο δέκτης να λάβει διαφορετική από την πεμφθείσα «εμφάνιση» του φέροντος. Αυτή η πιθανότητα λάνθασμένης λήψης μπορεί να μειωθεί αν οι συνθήκες διάδοσης στο κανάλι προσεγγίζουν περισσότερο τις ιδανικές, δηλαδή αν αυξηθεί ο σηματοθορυβικός λόγος (SNR) στο δέκτη. Οπότε συμφέρει να χρησιμοποιούμε διαφορετική διαμόρφωση ανάλογα με το σηματοθορυβικό λόγο στο δέκτη. Αυτό ακριβώς καλείται Προσαρμοστική Διαμόρφωση (Adaptive Modulation).

Με άλλα λόγια, με αύξοντα σηματοθορυβικό λόγο χρησιμοποιούμε κατά σειρά τις εξής διαμορφώσεις: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM. Ένα παράδειγμα προσαρμοστικής διαμόρφωσης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6. Προσαρμοστική διαμόρφωση ανάλογα με την απόσταση

Όσο αυξάνεται η απόσταση από το σταθμό βάσης μεταβαίνουμε σε χαμηλότερες διαμορφώσεις (BPSK) – αφού ο SNR στο δέκτη είναι χαμηλός και η BPSK έχει χαμηλότερες απαιτήσεις σε SNR – ενώ όσο πλησιάζουμε στο σταθμό βάσης τόσο υψηλότερες τεχνικές διαμόρφωσης χρησιμοποιούμε (QAM) – αφού ο SNR στο δέκτη είναι υψηλός και η QAM έχει υψηλότερες απαιτήσεις σε SNR. Έτσι, στις μακρύτερες αποστάσεις πετυχαίνουμε ικανοποιητική λήψη του σήματος, ενώ στις κοντινότερες αποστάσεις πετυχαίνουμε αύξηση της ρυθμοαπόδοσης και της χρησιμοποίησης φάσματος.

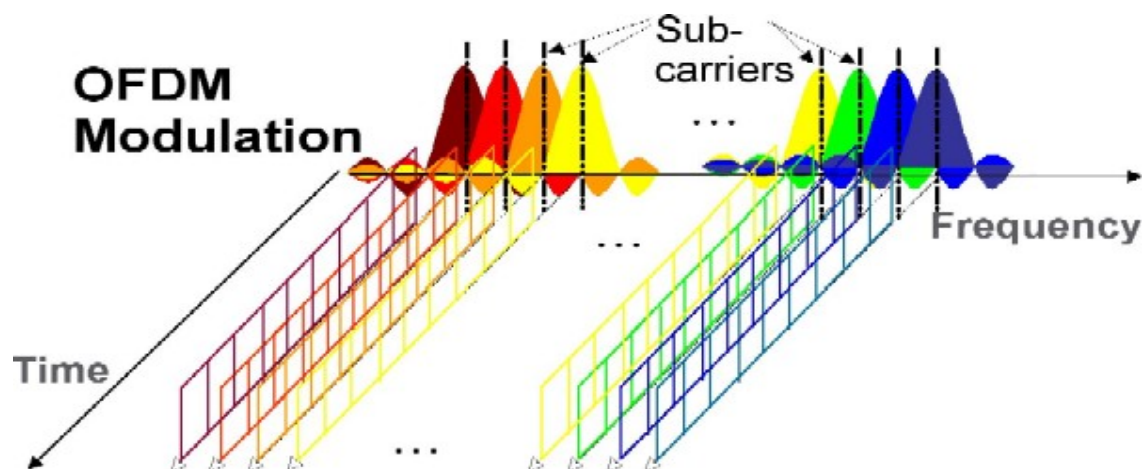
Τέλος, θα αναφερθούμε στο ρυθμό κωδικοποίησης. Κάθε διαμόρφωση χωρίζεται σε υποδιαμορφώσεις που διαφέρουν ως προς το ρυθμό κωδικοποίησης. Για παράδειγμα, έχουμε την QPSK 3/4 και την QPSK 1/2. Τα κλάσματα υποδηλώνουν το ποσοστό των bits χρήσιμης πληροφορίας που υπάρχουν στο εκπεμπόμενο σήμα. Τα υπόλοιπα bits χρησιμοποιούνται για διόρθωση λαθών. [1]

3.2 OFDM

Η διαμόρφωση OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) προέκυψε από την ανάγκη αποτελεσματικής αντιμετώπισης του προβλήματος διάδοσης μέσα από κανάλια επιλεκτικής εξασθένησης ως προς τη συχνότητα. Σε αντίθεση με το κανάλι επίπεδης εξασθένησης (flat fading), ένα κανάλι επιλεκτικής εξασθένησης (frequency selective fading) είναι εκείνο που επηρεάζει διαφορετικά την κάθε συχνότητα του εύρους του σήματος που μεταφέρει. Αποτέλεσμα αυτού είναι η φασματική αλλοίωση του ψηφιακά διαμορφωμένου σήματος καθώς διέρχεται από κανάλι επιλεκτικής εξασθένησης, γεγονός που οδηγεί στο φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής.

Το αρχικό σήμα χωρίζεται σε ανεξάρτητα κανάλια, διαμορφώνει τα υποφέροντα τα οποία και πολυπλέκονται για να δημιουργήσουν το φέρον της OFDM. Για να επικοινωνήσουν όμως περισσότεροι από ένας χρήστες με το σταθμό βάσης, ο χρόνος διαιρείται σε χρονοσχιζιμές και κάθε μία εκχωρείται σε διαφορετικό χρήστη, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Πρέπει, όμως, να πούμε ότι το ποσοστό

χρονοσχισμών που εκχωρείται σε κάθε χρήστη ποικίλλει ανάλογα με την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) που έχει συμφωνήσει η εταιρεία να του παρέχει.



Εικόνα 7. OFDM διαχωρισμός υπο-καναλιών (sub-channels)

Για τη δημιουργία του OFDM σήματος χρησιμοποιείται ο ταχύς μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform - FFT). Συγκεκριμένα, τα εισερχόμενα σειριακά δεδομένα πρώτα μετατρέπονται από σειριακά σε παράλληλα και ομαδοποιούνται σε x bits. Κάθε ομάδα από τα x bits δημιουργεί ένα μιγαδικό αριθμό $d_n = a_n + j b_n$. ($a_n, b_n = \pm 1$ για QPSK, $a_n, b_n = \pm 1, \pm 3$ για 16QAM, κ.ο.κ.). Ο αριθμός x καθορίζει το σηματικό αστερισμό του αντίστοιχου υπο-φέροντος, όπως η QPSK ή η 16-QAM. Οι μιγαδικοί αριθμοί διαμορφώνονται στη βασική ζώνη από τον αντίστροφο ταχύ M/Σ Fourier (IFFT) και ξαναμετατρέπονται σε σειριακά δεδομένα για εκπομπή. [2], [3], [4]

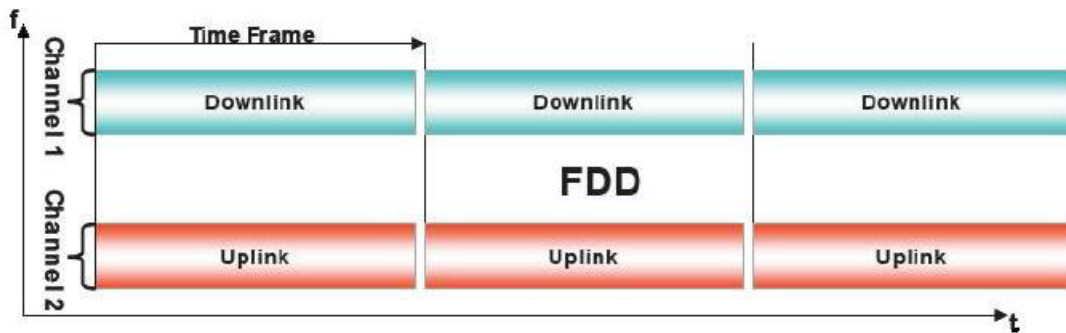
3.3 FDD-TDD

Λίγα Λόγια

Στο WiMAX, όπως και στα περισσότερα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, έχουμε σταθμούς βάσης και σταθμούς συνδρομητών που εναλλάσσουν τους ρόλους του πομπού και του δέκτη κατά την επικοινωνία. Όταν εκπέμπει ο σταθμός βάσης και λαμβάνει ο σταθμός συνδρομητή τότε μιλάμε για downlink μετάδοση (κατερχόμενη ροή), ενώ στην αντίθετη περίπτωση αναφερόμαστε στην uplink μετάδοση (ανερχόμενη ροή). Με κάποιον τρόπο όμως πρέπει να ρυθμίζεται η μετάδοση των πληροφοριών μεταξύ των δύο σταθμών. Έχουμε για αυτό το σκοπό, δύο είδη τεχνικών αμφίδρομης εκπομπής, την FDD (Frequency Division Duplex), που είναι τεχνική διαχωρισμού στη συχνότητα και την TDD (Time Division Duplex), που είναι τεχνική διαχωρισμού στο χρόνο.

3.3.1 FDD

Στην FDD λειτουργία, τα uplink και downlink κανάλια βρίσκονται σε διαφορετικές συχνότητες. Οι σταθμοί βάσης μεταδίδουν στην downlink συχνότητα φέροντος ενώ οι συνδρομητικοί σταθμοί μεταδίδουν στην uplink συχνότητα φέροντος. Στα συστήματα FDD, οι δομές των πλαισίων ανοδικής και κατερχόμενης ροής είναι όμοιες εκτός από το ότι κάθε ροή εκπέμπεται σε διαφορετικά κανάλια. Η τεχνική FDD στην παρακάτω εικόνα:



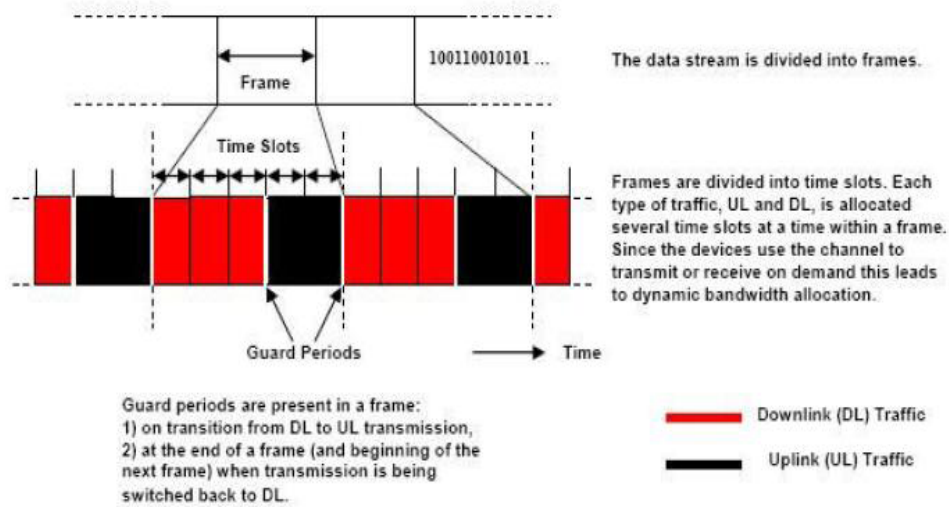
Εικόνα 8. Απεικόνιση ενός συχνοτικού διαστήματος ανοδικής και κατερχόμενης ροής προς αποφυγή πιθανών παρεμβολών.

Όπως βλέπουμε και στην παραπάνω εικόνα, μεταξύ της υπο-ζώνης κατερχόμενης και ανερχόμενης ροής πρέπει να παρεμβάλλεται ένα συχνοτικό διάστημα, προς αποφυγή πιθανών παρεμβολών μεταξύ των δύο ροών. Το συχνοτικό αυτό διάστημα φύλαξης κυμαίνεται από 50 έως 100 MHz. [5]

3.3.2 TDD

Η τεχνική TDD είναι νεώτερη από την FDD και χρησιμοποιεί έναν μόνο δίαυλο, τον οποίο διαμοιράζει στο πεδίο του χρόνου, χρησιμοποιώντας κάποιες χρονοσχισμές για τη μία κατεύθυνση μετάδοσης και τις υπόλοιπες για την άλλη. Για να μη συμβεί σύγκρουση δεδομένων διαφορετικών κατευθύνσεων μεσολαβεί ένας χρονικός διαχωρισμός ασφαλείας, το Transmit Transition Gap (TTG). Αυτό το κενό παρέχει χρόνο στο σταθμό βάσης ώστε να μεταπέσει από τη διαμόρφωση πομπού στην αντίστοιχη του δέκτη και στους συνδρομητικούς σταθμούς να μεταπέσουν από τη διαμόρφωση του δέκτη σε αυτή του πομπού. Κατά τη διάρκειά του, ο σταθμός βάσης και οι συνδρομητικοί σταθμοί δεν εκπέμπουν διαμορφωμένα δεδομένα αλλά απλώς επιτρέπουν στις κεραίες πομπού/δέκτη (Tx/Rx) και στον τομέα λήψης του σταθμού βάσης να ενεργοποιηθούν. Μετά το κενό, ο δέκτης-σταθμός βάσης πρέπει να κοιτάξει για τα πρώτα σύμβολα της uplink ριπής. Το χάσμα έχει διάρκεια ακέραιο πολλαπλάσιο της διάρκειας των χρονοσχισμών, και αρχίζει στην έναρξη μίας χρονοσχιμής. Κατά αντιστοιχία, υπάρχει το RTG (Receive Transition Gap) που είναι το κενό μεταξύ της uplink και της downlink ριπής που ακολουθεί.

Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η τεχνική TDD:



Εικόνα 9. Απεικόνιση Τεχνικής TDD

3.4 Σύγκριση TDD-FDD

Από φασματικής απόψεως, τουλάχιστον, η TDD φαίνεται να είναι πιο αποδοτική, αφού χρησιμοποιεί το μισό φάσμα για εκπομπή και λήψη σε σχέση με την FDD. Από την άλλη βέβαια η FDD έχει επί μακρόν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές και τεχνολογίες φωνής παρέχοντας αξιόπιστη και σταθερή υπηρεσία. Ο κάθε πάροχος πρέπει να επιλέξει είτε τη μία τεχνική είτε την άλλη διότι επί του παρόντος δεν υπάρχει τεκμηριωμένη διαλειτουργικότητα μεταξύ συστημάτων FDD και TDD.

Ένα σημαντικό κριτήριο επιλογής είναι το μέγεθος του φάσματος που κατέχει ή μπορεί να εκπέμψει ο εκάστοτε πάροχος. Εάν το φάσμα είναι περιορισμένο, τότε η σχεδίαση κυψελωτού δικτύου σε περιοχή με πολλούς χρήστες είναι δυσχερής, δεδομένης της αποδεδειγμένης τεχνικά ανάγκης για ύπαρξη σε κυψελωτό δίκτυο άνω των έξι διαύλων για πρόσβαση και διασύνδεση. Επομένως η τεχνική που εξυπηρετεί σε αυτή την περίπτωση είναι η TDD, εφόσον η FDD χρειάζεται διπλάσιο φάσμα.

Ένα άλλο κριτήριο είναι η συμμετρική ή ασύμμετρη μετάδοση δεδομένων μεταξύ σταθμού βάσης και σταθμού συνδρομητή. Στις περισσότερες εφαρμογές, εκτός ίσως από τη μετάδοση φωνής, η μετάδοση είναι ασύμμετρη, δηλαδή το μεγαλύτερο ποσοστό δεδομένων μεταδίδεται από την downlink ροή (π.χ. Internet, Video & Audio Streaming, IPTV κλπ.). Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν συμφέρει η χρήση της FDD επειδή χαρακτηρίζεται από εγγενή συμμετρία στη μετάδοση δεδομένων και επομένως θα υπάρχει σπατάλη εύρους ζώνης κατά τις παραπάνω ασύμμετρες εφαρμογές. Αντίθετα, στην TDD υπάρχει ευελιξία ως προς το ποσοστό των χρονοσχισμών που θα μεταδίδει ο διάλος προς την κάθε κατεύθυνση (π.χ. 70%-30%, 50%-50% κλπ.). Επομένως, για περιοχές χρηστών που η κυριότερη χρήση του WiMAX θα είναι για τηλεφωνία (VoIP), ο πάροχος μπορεί να χρησιμοποιήσει τεχνική FDD, ενώ σε περιοχές που θα υπάρχει σημαντική ασύμμετρη κίνηση, η ενδεδειγμένη λύση είναι η TDD.[6],[7]

4 Αλγόριθμοι και τεχνικές ποιότητας υπηρεσιών

4.1 Εισαγωγή

Στις μέρες μας λόγω της ραγδαίας εξάπλωσης του διαδικτύου όλο και περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούν καθημερινά διαδικτυακές υπηρεσίες τόσο στο εργασιακό όσο και στο οικιακό τους περιβάλλον. Η ανάγκη για διαρκή ανάπτυξη καινούριων online εφαρμογών είναι επιτακτική. Ωστόσο, εφαρμογές μεταφοράς ήχου και εικόνας πραγματικού χρόνου (real-time) απαιτούν καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service, QoS) σε σχέση με την ποιότητα που μπορεί να προσφέρει σήμερα το διαδίκτυο. Για να είναι λοιπόν σε θέση ένας πάροχος υπηρεσιών να προσφέρει υπηρεσίες τις οποίες οι πελάτες του μπορούν να εμπιστευθούν, χρειάζεται ένα δίκτυο με δυνατότητες ποιότητας υπηρεσίας (QoS enabled). [1]

Οι παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα που προσφέρει το δίκτυο στη μεταφορά των εφαρμογών είναι:

- **Το εύρος ζώνης (bandwidth)**
 - **Η καθυστέρηση (delay)**
 - **Η διακύμανση καθυστέρησης (jitter)**
 - **Οι απώλειες πακέτων (loss)**
-
- **Εύρος ζώνης (Bandwidth):** είναι ο ρυθμός, με τον οποίο μπορούν να μεταδοθούν δεδομένα σε κάποια ζεύξη του δικτύου, συνήθως σε bits/sec. Για τη μεταφορά μιας υπηρεσίας μπορεί να ενδιαφέρουν: η μέγιστη τιμή εύρους ζώνης που μπορεί να διατεθεί από το δίκτυο, η μέση τιμή καθώς και η ελάχιστη.
 - **Καθυστέρηση (delay):** Πρόκειται για τον χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο για να φτάσει μέσω του δικτύου από τον αποστολέα στον παραλήπτη του.
 - **Η διακύμανση καθυστέρησης (jitter) :** είναι η διακύμανση της μέσης χρονικής απόστασης μεταξύ διαδοχικών πακέτων σε μια συγκεκριμένη ροή.
 - **Απώλειες πακέτων (loss):** είναι το ποσοστό απώλειας πακέτων (loss) που σημειώνεται είτε εξαιτίας της υπερχειλίσισης των θέσεων μνήμης στις ουρές αναμονής μετάδοσης των δρομολογητών, είτε λόγω αλλοίωσης από θόρυβο των φυσικών μέσων μετάδοσης, είτε από αναδιάταξη (reordering) λόγω μεταφοράς πακέτων της ίδιας ροής μέσω διαφορετικών μονοπατιών.

Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε πελάτη υπάρχει και το κατάλληλο «πακέτο» υπηρεσιών, έτσι κάθε δίκτυο οφείλει να προσφέρει διαφορετικούς πόρους στις διάφορες εφαρμογές, διαφοροποιώντας έτσι τη μεταχείρισή τους.

Ως βάση για την προοπτική παροχής διαφορετικής ποιότητας υπηρεσίας σε διαφορετικού τύπου εφαρμογές προέκυψαν από την εμπειρία οι ακόλουθες 4 αρχές:

Αρχή 1: Η κατηγοριοποίηση των πακέτων (μέσω συγκεκριμένης σήμανσής τους) δίνει τη δυνατότητα σε ένα δρομολογητή να ξεχωρίζει τα πακέτα που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας.

Αρχή 2: Είναι επιθυμητό να παρέχεται ένας βαθμός απομόνωσης μεταξύ διαφορετικών μορφών κυκλοφορίας, έτσι ώστε η κυκλοφορία μιας εφαρμογής να μην επηρεάζεται αρνητικά από την κυκλοφορία οποιασδήποτε άλλης προβληματικά συμπεριφερόμενης εφαρμογής.

Αρχή 3: Επιπρόσθετα με την απομόνωση της κυκλοφορίας των διαφόρων εφαρμογών, είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά οι διαθέσιμοι πόροι (π.χ. εύρος ζώνης της σύνδεσης και οι ενταμειυτές).

Αρχή 4: Απαιτείται μια διαδικασία αποδοχής κλήσεων, βάσει της οποίας οι εφαρμογές θα δηλώνουν τις ανάγκες τους σε ποιότητα υπηρεσίας και είτε θα γίνονται δεκτές στο δίκτυο (με το ζητούμενο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας), είτε θα μπλοκάρονται (εάν το δίκτυο δε μπορεί να παρέχει το ζητούμενο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας).

Οι παραπάνω αρχές μπορούν να υλοποιηθούν μέσω διαφόρων μηχανισμών. Γενικά, υπάρχουν δύο ευρείες προσεγγίσεις τις οποίες μπορεί να ακολουθήσει κανείς.

Οι Μηχανισμοί Αστυνόμευσης (policing) και οι Μηχανισμοί Χρονοπρογραμματισμού (scheduling).

4.2 Μηχανισμοί Αστυνόμευσης (policing)

Η πρώτη προσέγγιση βασίζεται στο σκεπτικό της “αστυνόμευσης” της κυκλοφορίας. Εάν η κυκλοφορία μιας εφαρμογής πρέπει να ικανοποιεί συγκεκριμένα κριτήρια (π.χ. η ταχύτητα μετάδοσης πακέτων να μην υπερβαίνει ένα μέγιστο όριο), μπορεί να υλοποιηθεί ένας μηχανισμός αστυνόμευσης ο οποίος θα διασφαλίζει ότι τα κριτήρια αυτά τηρούνται πραγματικά. Εάν η ελεγχόμενη εφαρμογή αρχίσει να συμπεριφέρεται προβληματικά, ο μηχανισμός αστυνόμευσης θα αναλαμβάνει κάποια ενέργεια (π.χ. απόρριψη ή καθυστέρηση των πακέτων που παραβιάζουν τα κριτήρια), έτσι ώστε να διασφαλίζει ότι η κυκλοφορία που εισέρχεται στο δίκτυο συμμορφώνεται με τα κριτήρια.

Πιο αναλυτικά, μπορούμε να ορίσουμε τρία σημαντικά κριτήρια αστυνόμευσης (ρύθμιση της ταχύτητας με την οποία μπορεί να στέλνει πακέτα στο δίκτυο μια εφαρμογή). Κάθε κριτήριο διαφέρει από τα άλλα ανάλογα με τη χρονική κλίμακα στην οποία γίνεται η αστυνόμηση. Τα κριτήρια είναι: της μέσης ταχύτητας, της μέγιστης ταχύτητας και του μεγέθους ακολουθίας πακέτων. Για το χαρακτηρισμό των ορίων αστυνόμευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναλογία ο μηχανισμός του “τρύπιου δοχείου” (leaky bucket). [4]

Τόσο ο μηχανισμός κατηγοριοποίησης και σήμανσης των πακέτων όσο και ο μηχανισμός αστυνόμευσης είναι τοποθετημένοι στην ίδια θέση, στα “όρια” του δικτύου, είτε στο τελικό σύστημα είτε σε έναν περιμετρικό δρομολογητή. Πρόκειται για μηχανισμό διαχείρισης καταχωρητή (buffer management).

4.3 Μηχανισμοί Χρονοπρογραμματισμού (scheduling)

Μια εναλλακτική προσέγγιση η οποία μπορεί να παρέχει επαρκή απομόνωση μεταξύ διαφορετικών μορφών κυκλοφορίας είναι ο μηχανισμός χρονοπρογραμματισμού πακέτων σε επίπεδο σύνδεσης, ο οποίος δεσμεύει ρητά ένα σταθερό ποσό από το εύρος ζώνης της σύνδεσης για την κυκλοφορία κάθε εφαρμογής.

Σε ένα δίκτυο τα πακέτα που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας «πολυπλέκονται» (multi-plexed) και αναμένουν στην ουρά για μετάδοση, στους ενταμιευτές εξόδου μιας σύνδεσης. Ο τρόπος με τον οποίο επιλέγονται πακέτα από την ουρά αναμονής για μετάδοση μέσω της σύνδεσης αναφέρεται ως μέθοδος χρονοπρογραμματισμού της σύνδεσης (scheduling). Η μέθοδος χρονοπρογραμματισμού παίζει σημαντικό ρόλο στις καθυστερήσεις που υφίστανται τα πακέτα και συνεπώς στην παροχή υπηρεσιών εγγυημένης ποιότητας.[4]

Για παράδειγμα πακέτα που ανήκουν σε μια εφαρμογή VoIP με ευαισθησία στην καθυστέρηση θα πρέπει να μεταδίδονται με προτεραιότητα έναντι των πακέτων μιας εφαρμογής e-mail. Για να επιτευχθεί παρόμοια διαφοροποίηση στη συμπεριφορά ενός μηχανισμού χρονοπρογραμματισμού χρησιμοποιούνται περισσότεροι του ενός καταχωρητές, ο καθένας από τους οποίους λαμβάνει διαφορετική μεταχείριση από τη διαδικασία επιλογής του επόμενου πακέτου προς μετάδοση. Τέτοιοι μηχανισμοί-αλγόριθμοι είναι οι:

- **απόλυτης προτεραιότητας (strict Priority Queuing, PQ)**
- **δίκαιος με βάρη (Weighted Fair Queuing, WFQ)**
- **κυκλικής σειράς με βάρη (Weighted Round Robin, WRR)**
- **κυκλικής σειράς με βάρη με έλλειμμα (Deficit Weighted Round Robin)**
- **υβριδικό όπως ο βασιζόμενος σε κλάσεις (Class Based Queuing, CBQ)**

Τέτοιοι μηχανισμοί-αλγόριθμοι εντάσσονται σε μια από τις παρακάτω κατηγορίες

4.3.1 Ομοιογενείς αλγόριθμοι ή Homogeneous Algorithms

Αυτοί είναι κληρονομιά σχεδιάζοντας τους αλγορίθμους που προσπαθούν να αντιμετωπίσουν τα ζητήματα όπως η παροχή QoS, της απομόνωσης ροής και της δικαιοσύνης. Οι αλγόριθμοι προτάθηκαν αρχικά για τα συνδεδεμένα με καλώδιο δίκτυα αλλά χρησιμοποιούνται σε WiMAX για να ικανοποιήσουν κυρίως τις απαιτήσεις QoS της κυκλοφορίας τεσσάρων υπηρεσιών. Οι αλγόριθμοι σε αυτήν την κατηγορία δεν αντιμετωπίζουν το ζήτημα της ποιότητας καναλιών συνδέσεων.

4.3.1.1 Earliest Deadline First (EDF)

Η πιό πρόωρη προθεσμία πρώτα (EDF) είναι ένα ευρύτατα χρησιμοποιημένη σχεδιάζοντας τους αλγόριθμους για τις σε πραγματικό χρόνο εφαρμογές δεδομένου ότι επιλέγει SSs βασισμένο στις απαιτήσεις καθυστέρησής τους. Ανήκει στη κατηγορία Homogeneous Algorithms ο αλγόριθμος ορίζει την προθεσμία στα πακέτα άφιξης ενός SS. Δεδομένου ότι κάθε SS διευκρινίζει μια αξία για τη μέγιστη παράμετρο λανθάνουσας κατάστασης, ο χρόνος άφιξης ενός πακέτου προστίθεται στη λανθάνουσα κατάσταση για να διαμορφώσει την ετικέτα του πακέτου. Η αξία της μέγιστης λανθάνουσας κατάστασης για SSs του nrtPS και των κατηγοριών του BE τίθεται το άπειρο. Στον ακόλουθο ψευδοκώδικα, το mindeadline αναφέρεται στο πακέτο με την πιό πρόωρη προθεσμία. Ο αλγόριθμος κατωτέρω εκτελείται επάνω στην άφιξη κάθε πακέτου.

4.3.1.2 Weighted Round Robin (WRR)

Το WRR που σχεδιάζει τον αλγόριθμο προτεινόμενο αρχικά για την κυκλοφορία του ATM έχει εφαρμοστεί για να αξιολογήσει το IEEE 802.16 στρώμα της MAC στο πόσο αποτελεσματικά υποστηρίζει τις απαιτήσεις QoS της multi-class κυκλοφορίας. Ανήκει στη κατηγορία Homogeneous Algorithms, ο αλγόριθμος αυτός εκτελείται στην αρχή κάθε πλαισίου στο σταθμό βάσης (BS). Στην έναρξη ενός πλαισίου, ο αλγόριθμος WRR καθορίζει την κατανομή του εύρους ζώνης μεταξύ του SSs βασισμένου στα βάρη τους. Μια κρίσιμη μερίδα του σχεδίου WRR ορίζει τα βάρη σε κάθε SS. Τα βάρη ορίζονται για να απεικονίσουν τη σχετικές προτεραιότητα και τις απαιτήσεις QoS του SSs.

4.3.1.3 Weighted Fair Queuing (WFQ)

Και WFQ και WRR που σχεδιάζει τους αλγόριθμους ορίζουν τα βάρη σε SSs. Αντίθετα από τον αλγόριθμο WRR, ο αλγόριθμος WFQ εξετάζει επίσης το μέγεθος πακέτων και την ικανότητα καναλιών κατά διάθεση του εύρους ζώνης στο SSs. Ένα πακέτο άφιξης κολλιέται με το χρόνο τέρματος που υπολογίζεται βασισμένος στο βάρος του SS, το μέγεθος πακέτων και την uplink ικανότητα καναλιών. Σε WFQ, το βάρος ενός SS υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως είναι σε WRR. Μόλις οριστεί το βάρος, τα πακέτα άφιξης του SS είναι stam

4.3.2 Υβριδικοί αλγόριθμοι ή Hybrid Algorithms

Αυτή η κατηγορία περιέχει τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό κληρονομιάς σχεδιάζοντας τους αλγόριθμους σε μία προσπάθεια να ικανοποιήσουν οι απαιτήσεις QoS των τεσσάρων υπηρεσιών. Μερικοί από τους αλγόριθμους σε αυτήν την κατηγορία αντιμετωπίζουν επίσης το ζήτημα των μεταβλητών όρων καναλιών σε WiMAX. Μια σημαντική πτυχή των αλγορίθμων σε αυτήν την κατηγορία είναι η γενική κατανομή του εύρους ζώνης μεταξύ των σχεδιάζοντας υπηρεσιών. Μόλις καταταχτεί το εύρος ζώνης σε κάθε κατηγορία, ένας αλγόριθμος κληρονομιών εκτελείται για SSs της κατηγορίας για να καθορίσει την κατανομή εύρους ζώνης σε εκείνη την κατηγορία.

4.3.2.1 Hybrid (EDF+WFQ+FIFO)

Ο υβριδικός αλγόριθμος που προτείνεται στον ακριβή μηχανισμό προτεραιότητας χρήσεων για τη γενική κατανομή εύρους ζώνης. Η EDF που σχεδιάζει τον αλγόριθμο χρησιμοποιείται για SSs του ertPS και rtPS των κατηγοριών,

ο αλγόριθμος WFQ χρησιμοποιείται για SSs της κατηγορίας nrtPS και FIFO χρησιμοποιείται για SSs της κατηγορίας του BE. Οι αλγόριθμοι EDF και WFQ εφαρμόζονται όπως περιγράφονται παραπάνω. Ο FIFO χρησιμοποιείται για την κατηγορία του BE δεδομένου ότι SSs αυτής της κατηγορίας δεν έχει οποιεσδήποτε απαιτήσεις QoS. Στον ακόλουθο ψευδοκώδικα, η σειρά αναμονής (ConnertPS), η σειρά αναμονής (ConnrtPS), η σειρά αναμονής (ConnnrtPS) και η σειρά αναμονής (ConnBE) αναφέρονται στις σειρές αναμονής πακέτων SSs από το ertPS, rtPS, nrtPS και κατηγορίες του BE, αντίστοιχα. Η διανομή εύρους ζώνης μεταξύ των κατηγοριών κυκλοφορίας εκτελείται στην αρχή κάθε πλαισίου ενώ οι αλγόριθμοι EDF, WFQ και FIFO εκτελούνται στην άφιξη κάθε πακέτου.

4.3.2.2 Hybrid (EDF+WFQ)

Ένας υβριδικό αλγόριθμο που χρησιμοποιεί τον EDF για SSs του ertPS και rtPS κατηγορίες και τον αλγόριθμο WFQ για SSs του nrtPS και των κατηγοριών του BE. Αν και ο μηχανισμός της γενικής διανομής εύρους ζώνης δεν διευκρινίζεται, αναφέρεται σε εκείνο το εύρος ζώνης διατίθεται κατά τρόπο δίκαιο. Ακριβώς ως υβριδικό αλγόριθμο (EDF+WFQ+FIFO), η γενική διανομή εύρους ζώνης εκτελείται στην αρχή κάθε πλαισίου ενώ οι αλγόριθμοι EDF και WFQ εκτελούνται στην άφιξη κάθε πακέτου. Τα εξής είναι το γενικό σχέδιο κατανομής εύρους ζώνης που υιοθετείται στην εφαρμογή μας

4.3.3 Καιροσκοπικοί αλγόριθμοι ή Opportunistic Algorithms

Σχέδιο οι αλγόριθμοι σε αυτήν την κατηγορία στρέφεται πρώτιστα στην εκμετάλλευση της μεταβλητότητας στους όρους καναλιών σε WiMAX. Οι αλγόριθμοι προσπαθούν επίσης να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις QoS των τεσσάρων σχεδιάζοντας τις υπηρεσίες και να διατηρήσουν τη δικαιοσύνη μεταξύ του SSs.

4.3.3.1 Cross-Layer scheduling algorithm

Ο αλγόριθμος πρότεινε χρήσεις μια λειτουργία προτεραιότητας που ενσωματώνει την καθυστέρηση HOL του πακέτου και την ελάχιστη απαραίτητη ρυθμοαπόδοση του SSs στη διατύπωσή της. Ανήκει στη κατηγορία των Opportunistic Algorithms, το SS με την πιο υψηλή προτεραιότητα επιλέγεται για να διαβιβάσει στο πλαίσιο (δείτε το σχήμα 3-8). Η προτεραιότητα ενός SS υπολογίζεται βασισμένος στην κατηγορία κυκλοφορίας που ανήκει. Αν και η λειτουργία προτεραιότητας για SSs της κατηγορίας ertPS δεν καθορίζεται, χρησιμοποιούμε την ίδια λειτουργία που διευκρινίζεται για SSs της κατηγορίας rtPS. Ο αλγόριθμος εκτελείται στο σταθμό βάσης (BS) στην αρχή κάθε πλαισίου με το οποίο η προτεραιότητα ορίζεται σε κάθε SS. Στη συνέχεια, το SS με την πιο υψηλή προτεραιότητα επιλέγεται για τη μετάδοση στο πλαίσιο. Το σχέδιο χρησιμοποιεί έναν συντελεστή για κάθε κατηγορία στις λειτουργίες προτεραιότητας.

4.3.3.2 Queuing Theoretic scheduling algorithm

Αυτό το uplink που σχεδιάζει τον αλγόριθμο χρησιμοποιεί ένα πρότυπο αναμονής για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις QoS της multi-class κυκλοφορίας. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τις sigmoid λειτουργίες για να ορίσει τη χρησιμότητα σε κάθε SS. Η εισαγωγή στη sigmoid λειτουργία εξαρτάται από την κατηγορία κυκλοφορίας που το SS ανήκει. Στο SS με τη χαμηλότερη χρησιμότητα δίνεται υψηλότερη προτεραιότητα μετάδοσης. Ανήκει και αυτός στη κατηγορία των Opportunistic Algorithms και χρησιμοποιεί επίσης τα κατώτατα όρια για να περιορίσει το εύρος ζώνης που διατίθεται σε SSs κάθε κατηγορίας. Αυτό είναι ένας μοναδικός τρόπος την κατανομή εύρους ζώνης και ότι η χαμηλότερη προτεραιότητα SSs δεν λιμοκτονεί. Ο αλγόριθμος εκτελείται στο σταθμό βάσης (BS) στην αρχή κάθε πλαισίου. Η χρησιμότητα κάθε SS υπολογίζεται στην έναρξη ενός πλαισίου και το εύρος ζώνης διατίθεται αναλόγως.

Με κάθε τέτοιο μηχανισμό σε κάθε διαφορετικό καταχωρητή αποδίδεται τελικά ένα μέρος του εύρους ζώνης του φυσικού μέσου μετάδοσης. Δεδομένων των ρυθμίσεων του κάθε μηχανισμού, το μερίδιο αυτό εξαρτάται από το φόρτο των καταχωρητών. Έτσι, οι μηχανισμοί διακρίνονται περαιτέρω σε :

- *σταθερού έργου (work-conserving)*
- *μη σταθερού έργου (not work-conserving)*

Στους μηχανισμούς σταθερού έργου (work-conserving) το μέγεθος του εύρους ζώνης που παραχωρείται σε κάθε καταχωρητή είναι σταθερό ανεξάρτητα με το αν ο συνολικός φόρτος είναι χαμηλός και αφήνει μέρος του εύρους ζώνης αναξιοποίητο. Αντίθετα, στους μηχανισμούς μη σταθερού έργου (not work-conserving) όταν υπάρχει επιπλέον εύρος ζώνης αυτό μοιράζεται μεταξύ των καταχωρητών που έχουν πακέτα προς μετάδοση αυξάνοντας έτσι το μερίδιο που τους αντιστοιχεί.[1]

Ένας χρήστης δικτύου το οποίο υποστηρίζει ποιότητα υπηρεσίας, αντιλαμβάνεται ένα μοντέλο υπηρεσίας παρόμοιο με αυτό ενός τηλεφωνικού δικτύου, σε αντίθεση με αυτό που ισχύει στο κλασικό Διαδίκτυο. Έτσι, σε πρώτη φάση λαμβάνει χώρα μια διαδικασία παρόμοια με αυτή της εγκατάστασης κλήσης, όπου ο χρήστης προσπαθεί να αρχικοποιήσει μια σύνδεση και να δεσμεύσει τους απαραίτητους πόρους. Υποθέτοντας ότι η κλήση έχει γίνει δεκτή, ο χρήστης έχει στη διάθεσή του έναν καθαρό τηλεπικοινωνιακό δίαυλο. Στην αντίθετη περίπτωση, ο χρήστης λαμβάνει ένα σήμα κατειλημμένου, που τον ειδοποιεί ότι η αίτησή του για σύνδεση με τη συγκεκριμένη ποιότητα δεν έγινε δεκτή.

4.4 Μηχανισμοί ελέγχου κίνησης

Στον πρώτο δρομολογητή εμπιστοσύνης, το δρομολογητή πρόσβασης, που συναντά η κίνηση από την πηγή προς τον προορισμό υλοποιούνται οι μηχανισμοί ελέγχου κίνησης όπως ταξινόμηση (classification), κατηγοριοποίηση-σήμανση (marking), μέτρηση (metering). και αστυνόμευση (policing).

Μετά από αυτόν το δρομολογητή κάθε ροή Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών αναμιγνύεται με άλλες ροές με παρόμοια χαρακτηριστικά και απαιτήσεις. Αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η δημιουργία των κλάσεων ροών. Όλες οι

διαδικασίες προώθησης και αστυνόμευσης στους εσωτερικούς δρομολογητές του δικτύου πραγματοποιούνται πλέον στο επίπεδο των κλάσεων.

Επιπρόσθετο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι ότι απλοποιεί τις επιχειρησιακές σχέσεις μεταξύ διαφορετικών παρόχων υπηρεσιών Internet (ISPs), ώστε να μπορούν αν συνεργαστούν με αποδοτικό τρόπο και να δημιουργήσουν υπηρεσίες από άκρη σε άκρη που διασχίζουν διαφορετικά δίκτυα.

Στο μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών κάθε δίκτυο συνάπτει συμφωνίες με τα γειτονικά του δίκτυα για να προσφέρει διαφοροποιημένες υπηρεσίες σε διαφορετικές ομάδες ροών. Οι συμφωνίες χαρακτηρίζονται από ορισμένες ιδιότητες (profiles). Εφαρμόζοντας με αυστηρότητα τις συμφωνίες κίνησης των ομαδοποιημένων ροών και εξασφαλίζοντας ότι καινούριες συνδέσεις που θα επηρέαζαν αρνητικά την απόδοση του δικτύου δε θα γίνονται δεκτές, το μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών εξασφαλίζει μια καλά ορισμένη υπηρεσία από άκρη σε άκρη για μια αλυσίδα διασυνδεδεμένων δικτύων. Η αρχιτεκτονική **DiffServ** απαιτεί στην υλοποίησή της από τους δρομολογητές του δικτύου την υποστήριξη ορισμένων μηχανισμών. Οι κυριότερες λειτουργίες των απαιτούμενων μηχανισμών είναι :

- **Ταξινόμηση πακέτων (packet classification).**

Ταξινόμηση των πακέτων που εισέρχονται στο δίκτυο σε ροές ή συνενώσεις ροών ώστε να ακολουθήσει κατάλληλη εξυπηρέτησή τους. Πραγματοποιείται στον δρομολογητή πρόσβασης, που συναντά η κίνηση από την πηγή προς τον προορισμό. Συγκεκριμένα, ο ταξινομητής (classifier) ελέγχει την IP επικεφαλίδα των εισερχόμενων πακέτων, τα αντιστοιχεί σε SLAs σύμφωνα με τους κανόνες ταξινόμησης και τα προωθεί για επεξεργασία στις λειτουργίες ρύθμισης, όπως ορίζεται από τους κανόνες ρύθμισης στο κάθε SLA.

Θεωρητικά οι ροές χαρακτηρίζονται από μια πεντάδα που αποτελείται από:

- **Την IP διεύθυνση του αποστολέα**
- **Τον αριθμό port του αποστολέα**
- **Την IP διεύθυνση του παραλήπτη**
- **Τον αριθμό port του παραλήπτη**
- **Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται.**

Στην περίπτωση κατά την οποία το υπό εξέταση πακέτο δεν αντιστοιχεί σε κάποιο SLA ακολουθεί τους default κανόνες ρύθμισης όπως έχουν καθοριστεί από τον πάροχο.

Αντίθετα, στην περίπτωση όπου επιθυμούμε να κάνουμε ταξινόμηση σε συνενώσεις ροών τότε αρκεί να χρησιμοποιήσουμε ένα συνδυασμό των παραπάνω πεδίων της πεντάδας που χαρακτηρίζει μια ροή, ή ακόμη και ένα μόνο πεδίο. Η περίπτωση αυτή είναι πιο εύκολη να γίνει και μπορεί τελικά να πραγματοποιείται ταχύτερα σε σύγκριση με τον έλεγχο όλης της πεντάδας.

Στην πραγματικότητα ισχύει πως η ταξινόμηση των πακέτων επιθυμούμε να γίνει σε έναν περιορισμένο αριθμό κατηγοριών (κλάσεων) και συνεπώς αρκεί να χρησιμοποιήσουμε ένα σταθερό πεδίο στην επικεφαλίδα των πακέτων. Η μέθοδος αυτή είναι σαφώς απλούστερη και πιο αποδοτική και στην περίπτωση της DiffServ

αρχιτεκτονικής ονομάζεται behavior aggregate classification, και πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η ταξινόμηση που επιτυγχάνει είναι σε επίπεδο aggregates.

- **Μαρκάρισμα πακέτων (packet marking)**

Έπεται της λειτουργίας της ταξινόμησης. Παρέχει συγκεκριμένη τιμή στο πεδίο DSCP καθορίζοντας έτσι το PHB που θα χρησιμοποιηθεί από τους εσωτερικούς κόμβους του Δικτύου για την εξυπηρέτηση του πακέτου και κατά συνέπεια την ποιότητα που θα λάβει από το δίκτυο.

- **Μέτρηση (metering)**

Ο μηχανισμός μέτρησης ελέγχει αν κάθε ροή συμπεριφέρεται σύμφωνα με το προκαθορισμένο προφίλ της, το οποίο έχει συμφωνηθεί από τον πελάτη και τον διαχειριστή του δικτύου. Το προφίλ κίνησης της ροής του χρήστη περιγράφεται στα SLAs. Με βάση τα περιγραφόμενα χαρακτηριστικά τα εισερχόμενα πακέτα κρίνονται είτε ως συμμορφούμενα (in-profile) είτε ως μη συμμορφούμενα (out-of-profile). Κριτήρια αποτελούν ο ρυθμός άφιξης των πακέτων (arrival rate) και το μέγεθος έκρηξης (burst size). Διαφορετικές ενέργειες ρύθμισης καθορίζονται για τα profile και out-of-profile πακέτα. Η λειτουργία που ελέγχει τη ροή των πακέτων έναντι του traffic profile της ονομάζεται μετρητής (meter). Η κίνηση που υπερβαίνει το προκαθορισμένο προφίλ είτε επαναμαρκάρεται, ώστε να υποδεικνύεται ως κίνηση κλάσης χαμηλότερης προτεραιότητας, είτε γίνεται απόρριψη ή μορφοποίηση στα πακέτα της.

- **Αστυνόμευση κίνησης (policy routing)**

Η αστυνόμευση σχετίζεται με τον έλεγχο της κίνησης και με τα μέτρα τα οποία λαμβάνει το δίκτυο όταν μια ροή προσπαθεί να διοχετεύσει στο δίκτυο περισσότερα πακέτα από αυτά που έχουν προσυμφωνηθεί. Για τη συμμόρφωση της ροής με το traffic profile της χρησιμοποιούνται ο shaper (μορφοποιεί την κίνηση) και ο dropper (απορρίπτει την κίνηση). Ο shaper καθυστερεί τα πακέτα έτσι ώστε, με την τεχνητή αυτή καθυστέρηση, η ροή που προκύπτει να συμμορφώνεται με το traffic profile της. Ο shaper χρησιμοποιεί καταχωρητές περιορισμένης χωρητικότητας για την αποθήκευση των πακέτων που έρχονται πιο γρήγορα από όσο τα μεταδίδει. Κατά την υπερχειλίση αυτών των καταχωρητών τα πακέτα διαγράφονται. Ο dropper απλά διαγράφει τα out-of-profile πακέτα. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή και ως αστυνόμευση (policing). Γνωστοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι οι: token και leaky bucket.

4.5 IntServ

4.5.1 Εισαγωγή

Η ποιότητα υπηρεσιών (QoS), όπως την ορίσαμε νωρίτερα, απαιτεί προφανώς ένα διαχωρισμό μεταξύ υπηρεσιών, ώστε κάθε μία να υπόκειται σε διαφορετική μεταχείριση. Έτσι, ο οργανισμός Internet Engineering Task Force (IETF) όρισε δύο αρχιτεκτονικές ποιότητας υπηρεσίας: την Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services Architecture – IntServ), η οποία ακολουθήθηκε αρχικά και το

μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services Framework – DiffServ) που υιοθετήθηκε αργότερα. Η κάθε μία έχει το ρόλο της και ένα σύστημα το οποίο συνδυάζει και τις δύο, προσφέροντας τα συμπληρωματικά πλεονεκτήματά τους, θα αποτελούσε μια πολύ καλή λύση για την επίτευξη ποιότητας υπηρεσίας. Η ομάδα εργασίας Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services . IntServ) ιδρύθηκε με σκοπό την επαύξηση της βασικής αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου σε μια νέα IntServ αρχιτεκτονική όπως αρχικά προτάθηκε στο RFC1633, έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η εξυπηρέτηση εφαρμογών πραγματικού χρόνου με απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας πέραν της best-effort.

Ως αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας δημιουργήθηκε ένα μοντέλο υπηρεσιών που περιγράφει τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από τη νέα αρχιτεκτονική και αποσκοπούν στην εξυπηρέτηση όλων των τύπων εφαρμογών, προδιαγράφηκαν οι επιπρόσθετοι μηχανισμοί Ελέγχου Κίνησης (Traffic Control . TC) στους δρομολογητές του δικτύου που είναι απαραίτητοι για την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής καθώς και τα σχετικά interfaces με τους υπάρχοντες μηχανισμούς. Ακόμα, αναπτύχθηκε το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων (Resource Reservation Protocol . RSVP), το οποίο επιτρέπει στις εφαρμογές να επιλέγουν το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας για την κίνηση που δημιουργούν και πρόκειται να εξυπηρετηθεί από το δίκτυο.

Σύμφωνα με το IntServ μοντέλο υπηρεσιών οι εφαρμογές κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- *στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time).*
- *στις εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου ή ελαστικές (nonrealtime/elastic).*

Στις real-time εφαρμογές ταυτόχρονα με τη λήψη των πακέτων στον προορισμό πραγματοποιείται ασύγχρονα και ανεξάρτητα η επεξεργασία τους για τη σύνθεση του δειγματοληπτημένου σήματος. Τα πακέτα που φτάνουν με καθυστέρηση για την ανασύνθεση του σήματος δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, οπότε θεωρούνται άκυρα και απορρίπτονται. Αντίθετα, στις non-real-time εφαρμογές η επεξεργασία των πακέτων είναι σύγχρονη με τη λήψη τους, μπλοκάρει μέχρι την άφιξη του επόμενου στη σειρά πακέτου η οποία εξασφαλίζεται μέσω μηχανισμών ανίχνευσης λάθους (error detection) και επαναμεταδόσεων από την πηγή.

Οι real-time εφαρμογές διακρίνονται περαιτέρω σε δύο υποκατηγορίες :

- *στις ανεκτικές (tolerant).*
- *στις μη ανεκτικές (intolerant) real-time εφαρμογές.*

Tolerant εφαρμογές χαρακτηρίζονται εκείνες οι real-time εφαρμογές οι οποίες έχουν την δυνατότητα να αφομοιώσουν διακυμάνσεις σε delay και jitter και να λειτουργήσουν ικανοποιητικά σε αντίθεση με τις intolerant εφαρμογές των οποίων η ποιότητα μειώνεται σε παρόμοιες συνθήκες. [1]

Η αρχιτεκτονική IntServ βασίζεται στην προσέγγιση ανά ροή και τη δυναμική δέσμευση πόρων. Μέσω της αρχιτεκτονικής IntServ παρέχεται εξατομικευμένη εγγυήση ποιότητας υπηρεσίας σε μεμονωμένες συνόδους εφαρμογών. Η λογική πίσω

από την IntServ αρχιτεκτονική είναι ότι σε κάθε ροή (flow) δίνονται απόλυτες εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας για την πιθανότητα απωλειών καθώς και για την καθυστέρηση, εφόσον η κίνηση για κάθε ροή υπακούει σε προκαθορισμένες παραμέτρους. Η δέσμευση των πόρων μπορεί να γίνει με ένα πρωτόκολλο ειδικά σχεδιασμένο γι' αυτό το σκοπό, όπως το RSVP (Resource ReSerVation Protocol). [2]

Η χρήση του RSVP παρέχει τρεις διαφορετικούς τύπους υπηρεσίας για την εξυπηρέτηση των πιο πάνω κατηγοριών εφαρμογών και είναι οι εξής :

- *την υπηρεσία Εγγυημένης Ποιότητας (Guaranteed QoS service) για intolerant real-time εφαρμογές.*
- *την υπηρεσία Ελεγχόμενου Φορτίου (Controlled Load service) για tolerant real-time εφαρμογές.*
- *και την υπηρεσία Βέλτιστης Προσπάθειας (Best Effort service) για elastic εφαρμογές.*

4.5.2 Υπηρεσία εγγυημένης ποιότητας (QoS)

Η προδιαγραφή για εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας, η οποία ορίζεται στο έγγραφο RFC 2212 παρέχει ακράδαντα (μαθηματικώς αποδεικτέα) όρια για τις καθυστερήσεις που θα αντιμετωπίσει ένα πακέτο στην ουρά ενός δρομολογητή. Παράλληλα τα πακέτα της ροής που ανήκουν σε αυτή την κλάση δεν απορρίπτονται λόγω υπερχειλίσης των ενταμιευτών στους δρομολογητές του δικτύου και παρέχεται εγγυημένο εύρος ζώνης. Τα παραπάνω βέβαια ισχύουν εφόσον η πηγή της συγκεκριμένης ροής στέλνει πακέτα στο δίκτυο σύμφωνα με τις παραμέτρους κίνησης που έχουν προσυμφωνηθεί με το δίκτυο. [3]

4.5.3 Υπηρεσία ελεγχόμενου φόρτου

Προσεγγίζει τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται η υπηρεσία best-effort σε ελαφρώς φορτωμένα δίκτυα, ανεξάρτητα με τον πραγματικό φόρτο του δικτύου την κάθε στιγμή. Στην πραγματικότητα, το ποσοστό απώλειας πακέτων είναι ιδιαίτερα χαμηλό και η καθυστέρηση εξαιτίας του χρόνου αναμονής στις ουρές μετάδοσης των κόμβων του δικτύου πολύ μικρή.

Η υλοποίηση αυτής της υπηρεσίας προϋποθέτει, όπως και για την Guaranteed QoS υπηρεσία, η εφαρμογή του χρήστη να τροφοδοτήσει το δίκτυο με τα στοιχεία της κίνησης που πρόκειται να παράγει, σε αυτή την περίπτωση μια εκτίμηση των χαρακτηριστικών της κίνησης. Στη συνέχεια, κάθε κόμβος στο μονοπάτι μεταφοράς της συγκεκριμένης υπηρεσίας χρησιμοποιεί αυτή την εκτίμηση για να υπολογίσει αν οι διαθέσιμοι πόροι είναι αρκετοί για την εξυπηρέτησή της, χωρίς όμως να κάνει χρήση αυστηρών μαθηματικών μοντέλων και των παραμέτρων που αφορούν την καθυστέρηση και την απώλεια. Η κατηγορία ελεγχόμενου φορτίου είναι κατάλληλη για υπηρεσίες πολυμέσων, οι οποίες μπορούν να ανεχθούν μικρές απώλειες πακέτων και μικρές καθυστερήσεις, αρκεί αυτό να γίνεται μέσα σε ένα λογικό πλαίσιο. [1]

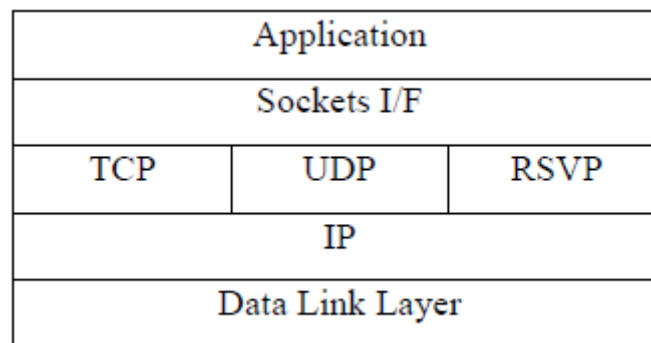
4.5.4 Υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort)

Η υπηρεσία Best Effort είναι παρόμοια με τη γνωστή υπηρεσία που παρέχεται από τη βασική αρχιτεκτονική του διαδικτύου κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες φόρτου, που ποικίλουν από ελαφρώς φορτωμένα δίκτυα έως και υπερφορτωμένα δίκτυα. Εξάλλου η υπηρεσία αυτή είναι και η υπηρεσία που παρέχεται στις εφαρμογές που δεν υλοποιούν την αρχιτεκτονική IntServ.

4.5.5 Το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων – RSVP

Το μοντέλο Ενοποιημένων Υπηρεσιών του διαδικτύου διαχωρίζει το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για μεταφορά αιτήσεων δέσμευσης πόρων δικτύου από το μηχανισμό ελέγχου και περιγραφή της κίνησης του χρήστη (QoS control).

Το RSVP Resource Reservation Protocol, είναι απλά ένα μονόδρομο (simplex) πρωτόκολλο σηματοδότησης (signalling) που μεταφέρει αιτήσεις δέσμευσης πόρων για ροές μίας κατεύθυνσης και επιστρέφει μια ένδειξη για την επιτυχή ή αποτυχημένη περάτωση της διαδικασίας στην πλευρά που πραγματοποιεί την αίτηση. Δεν είναι το ίδιο πρωτόκολλο δρομολόγησης αλλά χρησιμοποιεί τους πίνακες δρομολόγησης όπως έχουν διαμορφωθεί από άλλους μηχανισμούς.

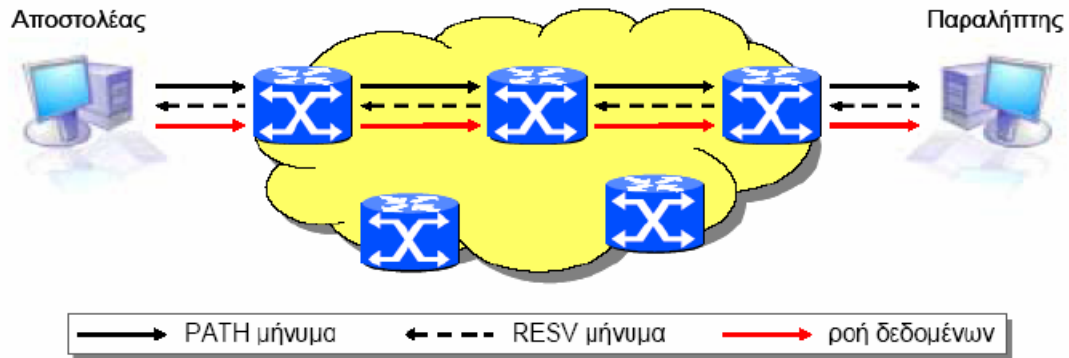


Εικόνα 10. Στρωματοποίηση RSVP

(Πήγη [3])

Το πρωτόκολλο RSVP τοποθετείται ακριβώς πάνω από το πρωτόκολλο IP στη στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP, όπως διαπιστώνεται στο παραπάνω σχημα, καταλαμβάνοντας τη θέση πρωτοκόλλου μεταφοράς.

Ωστόσο, το RSVP παρέχει υπηρεσίες επιπέδου συνόδου εφόσον δε μεταφέρει δεδομένα εφαρμογής.



Εικόνα 11. Απεικόνιση Λειτουργίας RSVP

(Πηγή [1])

4.6 DiffServ

4.6.1 Εισαγωγή

Αναγνωρίζοντας τα προβλήματα εφαρμογής της αρχιτεκτονικής IntServ σε μεγάλη κλίμακα, ο οργανισμός IETF (Internet Engineering Task Force) δημιούργησε την ομάδα εργασίας Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services, DiffServ) με σκοπό τη δημιουργία μιας εναλλακτικής πρότασης επέκτασης της βασικής αρχιτεκτονικής του διαδικτύου για παροχή ποιότητας υπηρεσίας που να είναι εφαρμόσιμη σε μεγάλη κλίμακα (scalable).

Η βασική αρχή της αρχιτεκτονικής DiffServ είναι ότι τοποθετεί τη διαχείριση ροών κίνησης στα άκρα του δικτύου, όπου γίνεται η ανάθεση και συνάθροιση (aggregation) των ροών κίνησης σε πεπερασμένες και προκαθορισμένες κλάσεις, ενώ η διαχείριση των κλάσεων αυτών γίνεται από τους εσωτερικούς κόμβους του δικτύου. Έτσι, η ογκώδης πληροφορία και η πολύπλοκη επεξεργασία (π.χ. αστυνόμευση, μορφοποίηση) των ξεχωριστών ροών, δηλαδή των μεμονωμένων συνόδων που αποτελούσαν τις ροές στο IntServ, περιορίζεται στους ακραίους κόμβους, ενώ οι εσωτερικοί κόμβοι, ανεξάρτητα από το πλήθος των ενεργών ροών, καλούνται να διαχειριστούν ανά πάσα στιγμή τον ίδιο αριθμό κλάσεων, καθιστώντας την αρχιτεκτονική εφαρμόσιμη σε μεγάλη κλίμακα. Αυτό αποτελεί και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής Diff-Serv έναντι του μοντέλου IntServ/RSVP, καθώς μπορεί εύκολα να κλιμακωθεί. [1]

Ως αποτέλεσμα των πιο πάνω είναι και η απαλλαγή των εσωτερικών κόμβων από τη διαδικασία δέσμευσης πόρων ανά ροή και κατά συνέπεια από την από άκρου σε άκρο σηματοδότηση κατά την ενεργοποίηση μιας ροής. Η πληροφορία για την ποιότητα υπηρεσίας που είναι να λάβει μια ροή φαίνεται στην επικεφαλίδα των πακέτων με την αναγραφή της κλάσης, στην οποία έχει ενταχθεί.

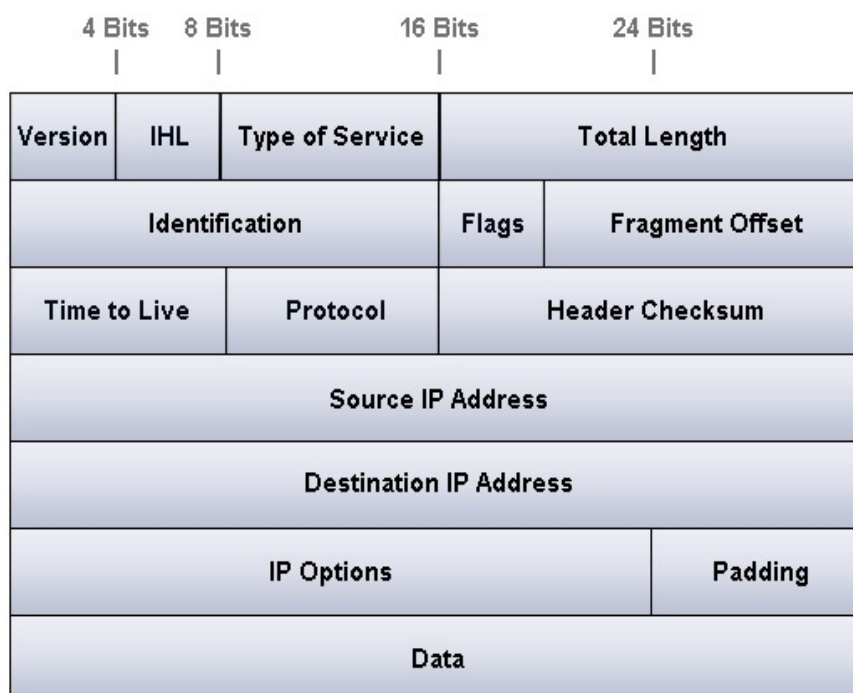
Συγκεκριμένα, η πληροφορία αυτή κωδικοποιείται στο DS πεδίο της επικεφαλίδας των IP πακέτων. Το πεδίο DS (Differentiated Services) ορίστηκε από την ομάδα εργασίας της IEEE για τις Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες, αντικαθιστώντας το πεδίο Type of Service - TOS (στο IPv4) ή το πεδίο Traffic Class (στο IPv6). Αυτή

τη στιγμή έχουν γίνει οι απαραίτητοι ορισμοί του DS Field και της αρχιτεκτονικής των Differentiated Services, ωστόσο δεν έχουν ακόμη τυποποιηθεί οι διάφορες υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει το μοντέλο. Οι υπηρεσίες αυτές χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι παρέχονται προς μια κατεύθυνση, είναι δηλαδή μονοκατευθυντικές (unidirectional) και άρα ασύμμετρες. Η αρχιτεκτονική DiffServ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για unicast μετάδοση και το μοντέλο δε μπορεί ακόμα να υποστηρίξει multicast μετάδοση.

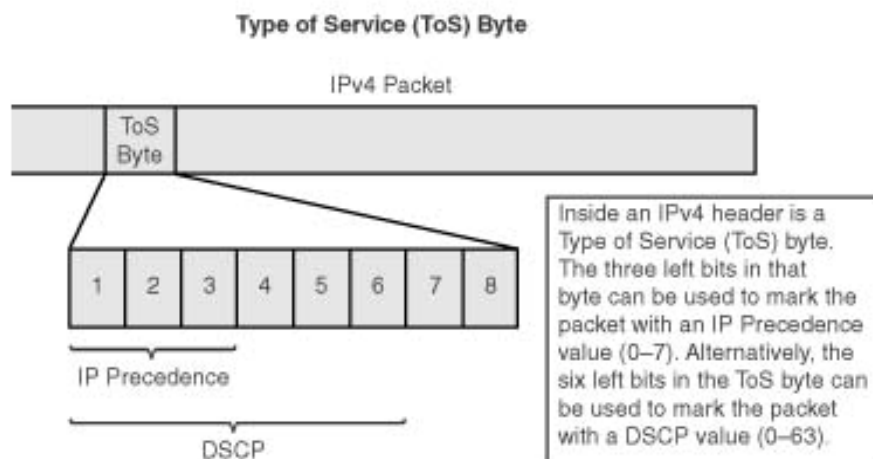
Περιληπτικά, η λειτουργία του μοντέλου έχει ως εξής: οι πελάτες ζητούν ένα συγκεκριμένο επίπεδο υπηρεσίας, μαρκάροντας το DS field (βρίσκεται στην οκτάδα των bit του πεδίου του TOS και χρησιμοποιεί τα έξι από τα οκτώ bit για να εφαρμοστεί το πρότυπο), κάθε πακέτου με μια συγκεκριμένη τιμή. Η τιμή αυτή προσδιορίζει την ανά κόμβο συμπεριφορά του δικτύου (Per-Hop Behavior, PHB) ως προς το πακέτο. Οι τιμές του DS πεδίου είναι μέσα στα πλαίσια της συμφωνίας (Service Level Agreement, SLA) ανάμεσα στον πάροχο (provider) και τον πελάτη και ορίζουν τις παραμέτρους του επιπέδου υπηρεσίας, όπως είναι ο ρυθμός μετάδοσης, η προτεραιότητα μετάδοσης και απόρριψης, η εξυπηρέτηση στην ουρά κ.α. [5]

4.6.2 Tos Πεδίο

Το ToS (Type of Service) (στο IPv4) ή το πεδίο Traffic Class (στο IPv6) αποτελείται από 8 bits. Τα πρώτα 6 bits του πεδίου TOS ενός IP πακέτου αναφέρονται στο DSCP πρωτόκολλο.



Εικόνα 12. IP Header και διαχωρισμός των bits για κάθε Header



Εικόνα 12. TOS byte Header και επίπεδο προτεραιότητας με βάση τα τρία πρωταρχικά bits

4.6.3 DSCP πρωτόκολλο

Στο **DSCP** (*Differentiated Services Code Point*), η πρώτη τριάδα καθορίζει το επίπεδο προτεραιότητας (Precedence Level) όπως αναφέρεται στο παρακάτω.

Precedence Level	DESCRIPTION
7	Stays the same (link layer and routing protocol keep alive)
6	Stays the same (used for IP routing protocols)
5	Express forwarding (EF)
4	Class 4
3	Class 3
2	Class 2
1	Class 1
0	Best effort

Σύμφωνα με το **DSCP** πρωτόκολλο, βάση του οποίου λειτουργεί η τεχνολογία **DIFFSERV**, οι πρωτυποποιημένες κλάσεις που χρησιμοποιούνται για κάποιες συγκεκριμένες υπηρεσίες που αναφέρονται στον πίνακα **Class Map**.

4.6.4 Κλάσεις DiffServ

Πέραν της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort), όπου αναφέρθηκε στην IntServ αρχιτεκτονική και συνεπώς υποστηρίζεται και στην DiffServ αρχιτεκτονική, το δίκτυο υποστηρίζει δύο επιπλέον διαφοροποιημένες υπηρεσίες: την Εξαιρετική (Expedited ή Premium) και την Εγγυημένη (Assured).

Η **Εξαιρετική (Expedited ή Premium)** κλάση υλοποιεί μια υπηρεσία που έχει συγκεκριμένο μέγιστο εύρος ζώνης (Peak Bandwidth), ασήμαντη αναμονή στις ουρές των δρομολογητών, δεν δανείζεται εύρος ζώνης από άλλες υπηρεσίες και μπορεί να υλοποιηθεί αρκετά εύκολα. Αυτή η κλάση είναι κατάλληλη για εμπορικές εφαρμογές που δεν έχουν μεγάλη εκρηκτικότητα αλλά είναι αρκετά ευαίσθητες στις χρονικές καθυστερήσεις (πχ. VoIP, video conference).

Από την άλλη μεριά, η **Εγγυημένη (Assured)** υπηρεσία έχει χρονικές καθυστερήσεις παρόμοιες με αυτές που έχει η υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας όταν το δίκτυο δε διαθέτει υψηλό φορτίο. Ροές πακέτων που χρησιμοποιούν την Εγγυημένη υπηρεσία μπορούν να δανείζονται εύρος ζώνης από άλλες κλάσεις χαμηλότερης προτεραιότητας (ή και από κλάσεις υψηλότερης προτεραιότητας όταν αυτές έχουν μικρή κίνηση) όταν αυτό είναι απαραίτητο. Για αυτό το λόγο η συγκεκριμένη υπηρεσία είναι κατάλληλη για εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου με υψηλή εκρηκτικότητα (πχ. World Wide Web). [3]

Application	Bandwidth	Sensitivity to		
		Delay	Jitter	Loss
VoIP	Low	High	High	Med
Video Conferencing	High	High	High	Med
Streaming video on demand	High	Med	Med	Med
Streaming audio	Low	Med	Med	Med
Client/Server transactions	Med	Med	Low	High
E-mail	Low	Low	Low	High
File tranfer	Med	Low	Low	High

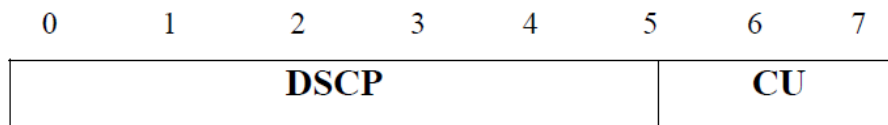
Εικόνα 13. Απεικόνιση πίνακα για συγκεκριμένο εύρος ζώνης για κάθε υπηρεσία, καθώς και συγκεκριμένη ευαισθησία σε καθυστέρηση, διακύμανση καθυστέρησης και απώλεια πακέτων για κάθε υπηρεσία.

4.6.5 Κατηγοριοποίηση

Η αρχιτεκτονική DiffServ αντί να καθορίσει τα χαρακτηριστικά των ίδιων των υπηρεσιών, καθορίζει τα χαρακτηριστικά πεπερασμένων κλάσεων που υλοποιεί το δίκτυο και οι οποίες αποτελούν τα δομικά στοιχεία με βάση τα οποία στη συνέχεια κάθε πάροχος διαδικτύου μπορεί να δομήσει τις υπηρεσίες που θα παρέχει στην περιοχή του, εξυπηρετώντας καλύτερα τις ιδιαίτερες ανάγκες του. [1]

Κάθε πακέτο που εισέρχεται στο δίκτυο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών μαρκάρεται με ένα Κωδικό Σημείο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ Code

Point, DSCP) στο πεδίο DS. Πακέτα με το ίδιο DSCP ανήκουν σε μία συσσωρευμένη συμπεριφορά (behaviour aggregate) και λαμβάνουν την ίδια μεταχείριση PHB, ανεξάρτητα από τη ροή στην οποία ανήκουν. Στη συνέχεια, αναλύουμε το DS πεδίο.[3]



DSCP = DiffServ Code Point [RFC 2474]

CU = Currently Unused

Εικόνα 14. Χρησιμοποίηση των 5 bits για συγκεκριμένο τύπο ροής δεδομένων σύμφωνα πάντα με το Class Map.

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το format του DS field, όπως έχει οριστεί από την ομάδα εργασίας των DiffServ. Τα πρώτα 6 bits του πεδίου αποτελούν το Differentiated Services Code Point (DSCP) και χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν την Per-Hop Behaviour που θα έχει το πακέτο και κατά συνέπεια την υπηρεσία που θα του παρέχεται. Συνολικά, μπορούν να διακριθούν 64 (2⁶) διαφορετικές υπηρεσίες (προτεραιότητες) στο DSCP μέσα στο DS πεδίο. Οι 64 υπηρεσίες έχουν χωριστεί σε τρεις διαφορετικές ομάδες :

1. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από 32 απ' άκρο σε άκρο συμπεριφορές (υπηρεσίες).
2. Οι επόμενες 16 υπηρεσίες είναι δεσμευμένες για τοπική ή πειραματική χρήση.
3. Οι επόμενες 16 υπηρεσίες είναι δεσμευμένες αρχικά για τοπική ή πειραματική χρήση, αλλά πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν overflow ομάδα υπηρεσιών σε περίπτωση που και οι 32 υπηρεσίες της πρώτης ομάδας έχουν όλες χρησιμοποιηθεί.

Τα τελευταία 2 bits του DS field είναι δεσμευμένα για μελλοντική χρήση και αγνοούνται κατά τη διαδικασία της επιλογής PHB. Όμως υπάρχει ένα πλήθος από δρομολογητές που δεν ανήκουν σε πεδία που υποστηρίζουν DiffServ και συνεχίζουν να ρυθμίζουν τη λειτουργία τους με βάση την τιμή του ToS πεδίου στην επικεφαλίδα των IP πακέτων. Η μετατροπή ενός πεδίου που δεν υποστηρίζει DiffServ σε πεδίο που υποστηρίζει DiffServ είναι μη πρακτική και αρκετά δύσκολη. Έτσι, για την παροχή ολοκληρωμένων από άκρου σε άκρο υπηρεσιών πρέπει να υπάρχει κάποια συμβατότητα ανάμεσα στο DSCP πεδίο και στο ToS πεδίο. Για το σκοπό αυτό τα 3 bits προτεραιότητας του Traffic Class πεδίου λαμβάνονται υπόψη και διερμηνεύονται στο DSCP field, από τον δρομολογητή που υποστηρίζει DiffServ. Μπορούν λοιπόν να υποστηριχθούν από το DSCP field, 8 (2³) επίπεδα προτεραιότητας (Precedence Level) όπως αναγράφονται στον αρχικό πίνακα. [5]

CLASS MAP

<0-63> Differentiated services codepoint value

af11	Match packets with AF11 dscp (001010) (10)
af12	Match packets with AF12 dscp (001100) (12)
af13	Match packets with AF13 dscp (001110) (14)
af21	Match packets with AF21 dscp (010010) (18)
af22	Match packets with AF22 dscp (010100) (20)
af23	Match packets with AF23 dscp (010110) (22)
af31	Match packets with AF31 dscp (011010) (26)
af32	Match packets with AF32 dscp (011100) (28)
af33	Match packets with AF33 dscp (011110) (30)
af41	Match packets with AF41 dscp (100010) (34)
af42	Match packets with AF42 dscp (100100) (36)
cs1	Match packets with CS1(precedence 1) dscp (001000) (8)
cs2	Match packets with CS2(precedence 2) dscp (010000) (16)
cs3	Match packets with CS3(precedence 3) dscp (011000) (24)
cs4	Match packets with CS4(precedence 4) dscp (100000) (32)
cs5	Match packets with CS5(precedence 5) dscp (101000) (40)
cs6	Match packets with CS6(precedence 6) dscp (110000) (48)
cs7	Match packets with CS7(precedence 7) dscp (111000) (56)
default	Match packets with default dscp (000000) (0)
ef	Match packets with EF dscp (101110) (46)

- Στον πίνακα **CLASS MAP** αναγράφονται μόνο οι πρωτυποποιημένες κλάσεις που έχουν οριστεί από τον οργανισμό IETF (Internet Engineering Task Force). Σημειώνεται ότι δίνεται η δυνατότητα σε κάθε πάροχο να ορίζει και να κατηγοριοποιεί κλάσεις ανάλογα με τις ανάγκες του.

4.6.5.1 Expedited Forwarding (ef)

Το ef μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να χτίσει μια χαμηλή απώλεια, χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση, χαμηλό jitter, σίγουρο εύρος ζώνης, δίπλα δίπλα υπηρεσία μέσω των περιοχών DS (Diffserv). Μια τέτοια υπηρεσία εμφανίζεται στα σημεία τέλους όπως ένα σημείο να δείχνει τη σύνδεση ή μια «εικονική μισθωμένη γραμμή.»

4.6.5.2 Assured Forwarding (af)

Η Assured Forwarding εγγυάται ένα συγκεκριμένο ποσό του εύρους ζώνης σε μια κατηγορία AF και επιτρέπει την πρόσβαση με πρόσθετο εύρος ζώνης, εάν είναι διαθέσιμο.

4.6.5.3 Best Effort (BE)

Δεν παρέχει οποιεσδήποτε εγγυήσεις ότι το στοιχείο παραδίδεται ή ότι σε έναν χρήστη δίνεται ένα εγγυημένο QoS ή μια ορισμένη προτεραιότητα. Αυτό σημαίνει ότι λαμβάνουν το απροσδιόριστο variable bit-rate και το χρόνο παράδοσης, ανάλογα με το τρέχον φορτίο κυκλοφορίας. Με την αφαίρεση των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων όπως η αποκατάσταση των χαμένων ή αλλοιωμένων στοιχείων και το preallocation των πόρων, το δίκτυο λειτουργεί αποτελεσματικότερα, και οι κόμβοι δικτύων είναι ανέξοδοι.

4.6.6 Συμπεριφορές - Ανά - Κόμβο (PHBs)

Κάθε κλάση προδιαγράφεται μέσω της αντίστοιχης Συμπεριφοράς Ανά Κόμβο (Per Hop Behaviour, PHB). Αυτό σημαίνει ότι η κάθε κλάση έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά προώθησης (forwarding) σε κάθε δρομολογητή που παρεμβάλλεται στη διαδρομή ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη. Η ποιότητα υπηρεσίας που λαμβάνει μια ροή δεδομένης κλάσης από άκρου σε άκρο εξαρτάται από τους πόρους που έχουν δεσμευτεί για το αντίστοιχο PHB σε κάθε δρομολογητή του μονοπατιού και από τις άλλες ενεργές ροές της ίδιας κλάσης σε αυτό το μονοπάτι. Έτσι, ο πάροχος ρυθμίζει τα χαρακτηριστικά ποιότητας των υπηρεσιών όπως κρίνεται επιθυμητό, καθορίζοντας τους ανά κλάση δεσμευμένους πόρους σε κάθε δρομολογητή και τις ροές κίνησης που αποκτούν πρόσβαση σε αυτούς ανά πάσα στιγμή. Τα PHBs υλοποιούνται σε κάθε δρομολογητή μέσω των μηχανισμών χρονοπρογραμματισμού και διαχείρισης καταχωρητή που ρυθμίζουν αντίστοιχα την καθυστέρηση μετάδοσης και την πιθανότητα απώλειας. Το κάθε PHB αντιστοιχεί σε μία μοναδική τιμή του πεδίου DSCP. Έχουν προτυποποιηθεί τρεις κατηγορίες PHBs και είναι οι εξής :

- 1) η default PHB που αντιστοιχεί στη γνωστή best-effort συμπεριφορά προώθησης (Best Effort, BE) – σχετίζεται με την κλάση BE.
- 2) η Εγγυημένη Προώθηση (Assured Forwarding, AF) - σχετίζεται με την κλάση Assured.
- 3) η Εσπευσμένη Προώθηση (Expedited Forwarding, EF) - σχετίζεται με την κλάση Premium.

Σημειώνεται πως, πέραν των πιο πάνω τριών κατηγοριών, κάθε πάροχος μπορεί στην επικράτειά του να ορίζει ειδικά PHBs σύμφωνα με τις ανάγκες του. [1]

- Θεωρητικά, ένα δίκτυο θα μπορούσε να έχει μέχρι 64 (26) δηλαδή από 0-63 διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές στο DSCP. Τα DiffServ RFCs συστήνουν, αλλά δεν απαιτούν, ορισμένες κωδικοποιήσεις, οι οποίες προσφέρουν στους παρόχους των δικτύων μεγάλη ευελιξία στον καθορισμό των κατηγοριών κυκλοφορίας. Στην πράξη, εντούτοις, τα περισσότερα δίκτυα χρησιμοποιούν τις παραπάνω συμπεριφορές ανά-κόμβο.

4.6.6.1 Περιγραφή Προώθησης Βέλτιστης Προσπάθειας (Best Effort, BE)

Το BE PHB αντιστοιχεί σε μετάδοση με χαμηλότερη προτεραιότητα μετάδοσης και υψηλότερη προτεραιότητα απόρριψης και χρησιμοποιείται στη γενική περίπτωση για την εξυπηρέτηση εκείνων των ροών που δεν αντιστοιχούν σε κάποιο SLA και κατ' επέκταση των ροών που προκύπτουν από εφαρμογές μη συμβατές με το DiffServ. Η προτεινόμενη τιμή του πεδίου DSCP για την προκαθορισμένη (default) PHB, που είναι ουσιαστικά η κίνηση Βέλτιστης Προσπάθειας, είναι: 000000. [1]

4.6.6.2 Περιγραφή Εγγυημένης Προώθησης (Assured Forwarding, AF)

Η AF ομάδα PHBs δημιουργήθηκε για να εξυπηρετήσει πελάτες και εφαρμογές που επιθυμούν εγγυήσεις για ένα μέρος της κίνησης που παράγουν, αλλά και τη δυνατότητα να το ξεπερνούν όταν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι στο δίκτυο ακόμα κι αν αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερες καθυστερήσεις.

Η ομάδα AF περιλαμβάνει 4 διαφορετικές PHBs (AF1x έως AF4x), που προσφέρουν 4 επίπεδα εγγυήσεων μετάδοσης από τα πιο υψηλά (AF1x) έως τα πιο χαμηλά (AF4x) αντίστοιχα. Για κάθε μία από τις 4 αυτές PHBs θα παρέχεται κάποιο ελάχιστο ποσό εύρους ζώνης και χώρου στους ενταμιευτές. Σε περίπτωση που κάποιες κλάσεις δεν κάνουν χρήση όλου του εύρους ζώνης που τους έχει ανατεθεί, το περίσσειμα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί από τις άλλες κλάσεις. Σε κάθε μία από τις 4 PHBs αντιστοιχούν 3 επίπεδα προτεραιότητας απόρριψης, π.χ. AF11, AF12 και AF13 από τη χαμηλότερη προς την υψηλότερη.

Καθώς οι ροές που εξυπηρετούνται με AF είναι δυνατό να ξεπερνούν το traffic profile τους, αναμένεται σε κάποιες περιπτώσεις οι ρυθμοί άφιξης να είναι μεγαλύτεροι από το δεσμευμένο εύρος ζώνης και άρα να δημιουργούνται ουρές και καθυστερήσεις. Επιπλέον, εφόσον το πλεόνασμα της κίνησης μπορεί να είναι οσοδήποτε μεγάλο αλλά οι καταχωρητές των ουρών πεπερασμένοι αναμένεται να παρουσιάζεται συμφόρηση και να υπάρχουν απώλειες. Τότε τα διαφορετικά επίπεδα απόρριψης εξασφαλίζουν τα πακέτα που έχουν βρεθεί inprofile και φέρουν DSCP χαμηλότερης προτεραιότητας απόρριψης (AF11, AF21 κ.λ.π.) εις βάρος των επιπλέον out-of-profile πακέτων με DSCP υψηλότερων προτεραιοτήτων, τα οποία τελικά απορρίπτονται προς αντιμετώπιση της συμφόρησης.

Μεταβάλλοντας το ποσό των πόρων που κατανέμονται σε κάθε κατηγορία, μια εταιρεία παροχής διαδικτύου μπορεί να παρέχει διαφορετικά επίπεδα απόδοσης σε διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας AF.[4]

Ο συνδυασμός κατηγοριών και “προτίμησης για απόρριψη” παράγει τις δώδεκα χωριστές κωδικοποιήσεις DSCP από AF11 μέχρι AF43 όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Assured Forwarding (AF) Behavior Group				
	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
Low Drop	AF11	AF21	AF31	AF41
Med Drop	AF12	AF22	AF32	AF42
High Drop	AF13	AF23	AF33	AF43

Πηγή [6]

4.6.6.3 Περιγραφή Εσπευσμένης Προώθησης (Expedited Forwarding, EF)

Το EF PHB μοιάζει με υπηρεσία εικονικής μισθωμένης γραμμής (Virtual Leased Line, VLL) όπου οι τελικοί χρήστες έχουν την εντύπωση πως χρησιμοποιούν σύνδεση πάνω από αποκλειστικά δική τους φυσική γραμμή. Η υλοποίηση της EF απαιτεί ο ρυθμός μετάδοσης να είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερος ή ίσος του ρυθμού άφιξης των πακέτων και να χρησιμοποιεί απόλυτη υψηλότερη προτεραιότητα μετάδοσης επί των άλλων PHBs.

Με αυτό τον τρόπο οι χρόνοι αναμονής στις ουρές των δρομολογητών μηδενίζονται καθώς και οι απώλειες πακέτων λόγω υπερχείλισης των καταχωρητών των ουρών, επιτυγχάνοντας θεωρητικά μετάδοση με μηδενικό delay, loss και jitter, πέραν αυτών που οφείλονται στους συνδέσμους του φυσικού επιπέδου. Εξαιτίας της απόλυτης υψηλότερης προτεραιότητας μετάδοσης, οι ροές που εξυπηρετούνται με EF αστυνομεύονται έτσι ώστε να μην ξεπερνούν ποτέ το traffic profile τους, καθώς κάτι τέτοιο θα μείωνε την ποιότητα υπηρεσίας των ροών των άλλων PHBs. [1] Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κατάλληλα για τη φωνή, το βίντεο και άλλες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Τυπικά δίκτυα θα περιορίζουν την EF κίνηση στο 30% το πολύ της συνολικής κίνησης.[6]

4.6.7 Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσίας (SLAs)

Για να μπορούν οι χρήστες να λαμβάνουν διαφοροποιημένες υπηρεσίες από τον Πάροχο Υπηρεσίας διαδικτύου (Internet Service Provider, ISP), πρέπει να έχουν μία Συμφωνία Επιπέδου Υπηρεσίας (Service Level Agreement, SLA) με τον τελευταίο. Η SLA σηματοδοτεί τις υποστηριζόμενες κλάσεις υπηρεσίας και το επίπεδο κίνησης που επιτρέπεται σε κάθε κλάση. Οι SLAs διακρίνονται σε στατικές και δυναμικές. Οι στατικές SLAs είναι διαπραγματεύσιμες σε κανονική βάση, κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Απ’ την άλλη πλευρά, οι δυναμικές SLAs είναι

διαπραγματεύσιμες μέσω πρωτοκόλλων σηματοδότησης όπως το RSVP. Ο έλεγχος πόρων μπορεί να διεξαχθεί από τους πράκτορες (Bandwidth Brokers) που έχουν την απαιτούμενη γνώση των προτεραιοτήτων και πολιτικών του δικτύου, κάνοντας έτσι εφικτό τον καταμερισμό των πόρων.[5]

Στην SLA περιγράφονται οι παράμετροι της συμφωνίας υπηρεσίας που καθορίζουν τις δεσμεύσεις του παρόχου ως προς την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας, τη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας, τον τρόπο χρέωσης, κ.λ.π., και τις υποχρεώσεις του πελάτη ως προς τα χαρακτηριστικά κίνησης της ροής που θα λάβει η υπηρεσία. Τα SLAs δημιουργούνται και μεταξύ ομότιμων παρόχων (ISPs) για την εξυπηρέτηση πελατών με ανάγκες επικοινωνίας πέραν της περιοχής ενός μόνο παρόχου και την εξασφάλιση end-to-end QoS μεταξύ χρηστών που ανήκουν σε διαφορετικούς ISPs. Το υποσύνολο των παραμέτρων που αφορούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας ονομάζεται Προδιαγραφή Επιπέδου Υπηρεσίας (Service Level Specification, SLS).

4.6.8 802.1p Πρωτόκολλο

Το πρότυπο IEEE 802.1p είναι μια μέθοδο για την κατά προτεραιότητα, τα πακέτα που διέρχονται από ένα δίκτυο. Η κεφαλίδα MAC είναι ένα από εκείνα τα τμήματα που ελέγχονται σε κομβικά σημεία και διακόπτες σε ένα δίκτυο, το οποίο είναι επίσης υπεύθυνο για τη διαφοροποίηση των πακέτων του δικτύου με βάση τις προτεραιότητές τους.

Το 802.1p θέτει ένα 3-bit τιμή στο MAC header να αναφέρουν προτεραιοτήτων. Αυτό το 3-bit τιμή παρέχει προτεραιότητα επίπεδα που κυμαίνονται από 0 έως 7 (δηλαδή, ένα σύνολο 8 επιπέδων), με επίπεδο 7 που αντιπροσωπεύουν την υψηλότερη προτεραιότητα. Αυτό επιτρέπει σε πακέτα να έχουν διάφορες κατηγορίες κίνησης αναλογα παντα με την προτεραιότητα. Έτσι, όταν υπάρχει συμφόρηση δικτύου, τα πακέτα που έχουν υψηλότερες προτεραιότητες θα τύχουν προτιμησιακής μεταχείρισης, ενώ πακέτα με χαμηλή προτεραιότητα θα πρέπει να διατηρούνται σε αναμονή.

HP WebQoS ToS Value Range	IEEE 802.1p User Priority	Traffic Type
0xE0 - 0xFF	7 (highest)	Network Management
0xC0 - 0xDF	6	Voice
0xA0 - 0xBF	5	Video
0x80 - 0x9F	4	Controlled Load
0x60 - 0x7F	3	Excellent Effort
0x40 - 0x5F	0 (routine traffic)	Best Effort
0x20 - 0x3F	2	Undefined
0x00 - 0x1F	1 (lowest)	Background

Εικόνα 15. Περιγραφή των τύπων-ροών δεδομένων ανάλογα με τα 3 πρώτα bit για 802.1p

4.6.8.1 VoIP

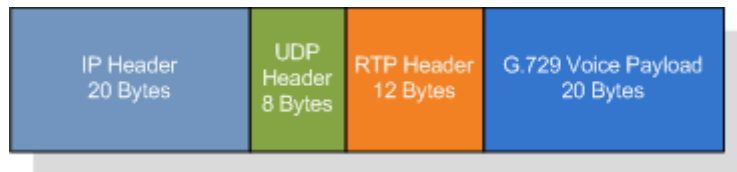
Το CodecsCodecs κωδικοποιεί και αποκωδικοποιεί και τις δύο άκρες της συνομιλίας για να επιτρέψει στο σήμα για να σταλεί και να παραληφθεί μέσω το δίκτυο. Τα διαφορετικά codecs έχουν τις διαφορετικές απαιτήσεις εύρους ζώνης και τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην απόδοση δικτύων. Μερικά χρησιμοποιούμενα συνήθως codecs είναι επίσης πρότυπα ITU αυτοί ονομάζονται G.711 και G.729. Η εργασία του κωδικοποιητή-αποκωδικοποιητή είναι να ληφθεί ο λεκτικός ήχος και να μετασχηματιστεί σε ένα ωφέλιμο φορτίο για τη μετάδοση πέρα από το δίκτυο δεδομένων. Μερικά codecs, όπως G.711, δεν υιοθετούν κανένα σχέδιο συμπίεσης. Η έλλειψη συμπίεσης δεν σημαίνει καμία πρόσθετη απώλεια στοιχείων, αλλά η ανταλλαγή είναι ότι ο κωδικοποιητής-αποκωδικοποιητής απαιτεί περισσότερο εύρος ζώνης από το δίκτυο. Άλλα codecs, όπως G.729, συμπιέζουν τα στοιχεία και επομένως απαιτούν το λιγότερο εύρος ζώνης. Εντούτοις, τέτοια συμπίεση είναι συνήθως «με απώλειες,» που σημαίνει ότι κάποια υποβάθμιση στην ποιότητα φωνής προκύπτει από εκείνη την διαδικασία. Μόλις έχει ο κωδικοποιητής-αποκωδικοποιητής το ωφέλιμο φορτίο του έτοιμο, είναι μέχρι ένα άλλο πρωτόκολλο, το σε πραγματικό χρόνο πρωτόκολλο μεταφορών (RTP) για να μεταφέρει τα στοιχεία στον προοριζόμενο παραλήπτη.

G.711 - 64000 bps (Bit Rate) * .020 seconds (Payload Size) = 1280 bits (160 Bytes)

G.729 - 8000 bps (Bit Rate) * .020 seconds (Payload Size) = 160 bits (20 Bytes)

G.711 - 160 Bytes (Payload) + 40 Bytes (Overhead) = 200 Bytes

G.729 - 20 Bytes (Payload) + 40 Bytes (Overhead) = 60 Bytes



Εικόνα 16. Overhead IP (20 bytes)+UDP(8 bytes)+RTP(12 bytes) είτε για G.711 είτε G.729.

4.7 Υπηρεσίες προώθησης του WiMAX

4.7.1 unsolicited Grant Services (uGS)

Παρέχει υπηρεσίες με σταθερό ρυθμό μετάδοσης των bits (Constant Bit Rate, CBR), οι οποίες απαιτούν σταθερό χρονοπρογραμματισμό (scheduling) και εγγύηση ρυθμαπόδοσης (throughput), καθυστέρησης απόκρισης (latency) και μεταβλητότητας καθυστέρησης (jitter). Χρησιμοποιείται για real-time services κατ' αντιστοιχία των γραμμών T1 και E1. Παράδειγμα εφαρμογής που ανήκει σε αυτή την κλάση υπηρεσιών είναι το VoIP χωρίς καταστολή σιωπής.

4.7.2 real-time Polling Service (rtPS):

Προσφέρει ένα μεταβλητό bit rate, αλλά με εγγυημένο ελάχιστο ρυθμό και μια εγγυημένη καθυστέρηση (latency). Παρέχει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real time services) όπως βιντεο-διάσκεψη (video conferencing). Το μήκος πακέτου των δεδομένων μπορεί να είναι μεταβλητό. Ο σταθμός βάσης εκτελεί περιόδευση, ρωτώντας το συνδρομητή σε σταθερά διαστήματα πόσο εύρος ζώνης χρειάζεται αυτή τη φορά. Ένα άλλο παράδειγμα είναι υπηρεσίες επιχειρηματικής πρόσβασης. Είναι αρκετά συνηθισμένο οι πάροχοι σταθερών ασύρματων δικτύων (WISPs) να εγγυώνται ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων επιπέδου γραμμής E1/T1 σύμφωνα με τα Service Level Agreements (SLAs). Ωστόσο, επιτρέπουν στους πελάτες να χρησιμοποιούν μεγαλύτερη χωρητικότητα εφόσον αυτή είναι διαθέσιμη στο δίκτυο. Αυτό θεωρείται μια επιτυχημένη στρατηγική των WISPs έναντι των ανταγωνιστικών παρόχων ενσύρματων δικτύων.

4.7.3 non real-time Polling Service (nrtPS):

Αυτή υπηρεσία υποστηρίζει τις εφαρμογές που η καθυστέρηση είναι ανεκτική αλλά μπορεί να χρειαστούν την υψηλή ρυθμοαπόδοση όπως οι εφαρμογές πρωτοκόλλου μεταφοράς αρχείων FTP ή e-mail. Με άλλα λόγια παρέχει εγγύηση μόνο για τη ρυθμαπόδοση (throughput) και γι' αυτό χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου. Οι BS (σταθμοί βάσης) επιτρέπουν στο SS να κάνουν το περιοδικό unicast για να χορηγήσει τα αιτήματα, ακριβώς όπως η rtPS υπηρεσία, αλλά τα αιτήματα εκδίδονται σε πιο μακροχρόνια διαστήματα.

4.7.4 Best Effort (BE):

Αυτή η κατηγορία κυκλοφορίας περιέχει τις εφαρμογές όπως η πρόσβαση Telnet ή World Wide Web (WWW) που δεν απαιτεί οποιαδήποτε εγγύηση QoS. Το αίτημα εύρους ζώνης από τέτοιες αιτήσεις χορηγείται στην διαστημικός-διαθέσιμη βάση. Το SS επιτρέπεται για να χρησιμοποιήσει και οι δύο ισχυρισμός-ελεύθεροι και βασισμένα τα στον ισχυρισμό αιτήματα εύρους ζώνης, αν και ισχυρισμός-ελεύθερο δεν χορηγείται όταν το φορτίο συστημάτων είναι υψηλό.

4.8 WiMax Σύγκριση Με WiFi

4.8.1 Εισαγωγή

Το πρότυπο 802.11b επικυρώθηκε από το IEEE επίσης τον Ιούλιο του 1999 και λειτουργεί στη ζώνη ραδιοσυχνοτήτων από 2.4 έως 2.497 GHz. Η μέθοδος διαμόρφωσης που έχει επιλεγεί για το 802.11b είναι η Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), η οποία χρησιμοποιεί τη συμπληρωματική διαμόρφωση κώδικα (Complementary Code Keying - CCK), καθιστώντας έτσι δυνατή την επίτευξη ταχυτήτων έως 11 Mbps.

Το Wi-Fi είχε σκοπό να επιτρέπει σε φορητές συσκευές, όπως φορητούς υπολογιστές και προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDAs) να συνδέονται σε τοπικά δίκτυα, αλλά τώρα χρησιμοποιείται συχνά για πρόσβαση στο Διαδίκτυο και ασύρματα VoIP τηλέφωνα. Οι σταθεροί υπολογιστές μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν Wi-Fi, επιτρέποντας σε γραφεία και σπίτια να δικτυώνονται χωρίς ακριβή καλωδίωση. Πολλοί υπολογιστές πωλούνται σήμερα με ενσωματωμένο Wi-Fi, ενώ άλλοι χρειάζονται την προσθήκη κάρτας δικτύου Wi-Fi. Η γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης ονομάζεται hotspot. Η εμβέλεια ενός σημείου πρόσβασης ποικίλει. Το σημείο πρόσβασης που βρίσκεται σε έναν τυπικό Wi-Fi δρομολογητή μπορεί να έχει εμβέλεια 30 μέτρων σε εσωτερικό χώρο και 120 μέτρα σε εξωτερικό.

4.8.2 Σύγκριση WiMAX και WiFi ως προς παρεχόμενη QoS

Σχετικά με την προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service -QoS), η υπεροχή του 802.16 είναι σαφής. Στο WiMAX υπάρχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας πολυμέσων, τη στιγμή που κάτι τέτοιο απουσιάζει από τις περισσότερες εξειδικεύσεις του 802.11 και παρουσιάζεται μόνο στο 802.11e με τη μορφή των κλάσεων υπηρεσιών.

Η καινοτομία αυτή μεταφράζεται σε έμπιστες συμβάσεις-συμφωνίες (Service Level Agreements, SLAs) που μπορεί ένας πάροχος να προσφέρει στον τελικό χρήστη ως προς την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών παρά το γεγονός ότι μεσολαβεί ασύρματο μέσο διάδοσης. Επιπλέον, ο πάροχος μπορεί να προσφέρει διαφορετικά SLAs σε διαφορετικούς εγγεγραμμένους χρήστες ή ακόμα σε διαφορετικούς χρήστες στον ίδιο σταθμό υπηρεσίας.

4.8.3 Πλεονεκτήματα WiMAX έναντι του WiFi

Τα IEEE 802.16 δίκτυα χρησιμοποιούν το στρώμα LLC (Logical Link Control που τυποποιείται και ως IEEE 802.2) όπως και άλλα LAN και WAN. Μια σημαντική προδιαγραφές του πολλαπλού φυσικού στρώματος (PHY). Αυτό είναι κρίσιμο ώστε να επιτρέψει στους κατασκευαστές εξοπλισμού να διαφοροποιήσουν τις προσφορές τους. Αυτό είναι επίσης μια σημαντική πτυχή του γιατί το WiMAX μπορεί να περιγραφεί ως "πλαίσιο για την εξέλιξη της ασύρματης ευρυζωνικότητας", παρά μια στατική εφαρμογή ασύρματων τεχνολογιών. Οι αναβαθμίσεις στις τρέχουσες και στις νέες τεχνολογίες και ενδεχομένως στις νέες βασικές τεχνολογίες που ενσωματώνονται στο φυσικό στρώμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. [8] Μια συγκλίνουσα τάση είναι η χρήση των multi-mode και multi-radio SoC (System on a Chip) και σχεδίων συστημάτων που είναι εναρμονισμένα μέσω της χρήσης του κοινού MAC, της διαχείρισης συστημάτων, της περιαγωγής (roaming), του IMS (IP Multimedia system) και άλλων επιπέδων του συστήματος. Το WiMAX μπορεί να περιγραφεί ως μία τολμηρή προσπάθεια σφυρηλάτησης πολλών τεχνολογιών για να εξυπηρετήσει πολλές ανάγκες σε πολλά φάσματα. Το στρώμα MAC είναι σημαντικά διαφορετικό από αυτό του 802.11 Wi-Fi (αλλά και του Ethernet). Στο Wi-Fi, το MAC χρησιμοποιεί «ανταγωνιστική» πρόσβαση-όλοι οι συνδρομητικοί σταθμοί που επιθυμούν να περάσουν δεδομένα μέσω ενός σημείου πρόσβασης (AP), ανταγωνίζονται για την προσοχή του σε τυχαία βάση. Αυτό μπορεί να αναγκάσει τους απόμακρους από το AP κόμβους να διακόπτονται επανειλημμένα από τους λιγότερο ευαίσθητους, πιο κοντινούς κόμβους, μειώνοντας πολύ τη ρυθμοαπόδοσή τους.

Αντιθέτως, στο 802.16 MAC ο συνδρομητικός σταθμός πρέπει να ανταγωνιστεί μόνο μία φορά (για την αρχική του είσοδο μέσα στο δίκτυο). Μετά από αυτό, διατίθεται μια χρονοσχισμή από το σταθμό βάσης. Η χρονοσχισμή μπορεί να διευρυνθεί ή να περιοριστεί, αλλά παραμένει ορισμένη στο συνδρομητή, με την έννοια ότι άλλοι συνδρομητές δεν μπορούν να την χρησιμοποιήσουν αλλά περιμένουν τη σειρά τους εκ περιτροπής. Αυτός ο αλγόριθμος προγραμματισμού είναι ανθεκτικός στην υπερφόρτωση και το μεγάλο αριθμό εγγραφών (αντίθετα από το 802.11). Είναι επίσης πολύ περισσότερο αποδοτικός σε εύρος ζώνης. Ο αλγόριθμος επιτρέπει επίσης στο σταθμό βάσης να ελέγχει την ποιότητα της υπηρεσίας, με την εξισορρόπηση των αναθέσεων με βάση τις ανάγκες των συνδρομητικών σταθμών.

Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας WiMAX έναντι του WiFi σημειώνονται στους παρακάτω τομείς [7]:

- **κλιμάκωση (scalability)**
- **σχετική απόδοση (relative performance)**
- **ποιότητα υπηρεσίας (QoS)**
- **εμβέλεια (range)**
- **κάλυψη (coverage)**
- **ασφάλεια (security)**

Κλιμάκωση	Κανάλια εύρους 20MHz	Κανάλια εύρους από 1,75 έως 20MHz
QoS	Απόκτηση πρόσβασης MAC κατόπιν αίτησης	MAC βασισμένο στον ανταγωνισμό (CSMA/CA) => όχι εγγυημένη QoS
	Σχεδιάστηκε για την παροχή βέλτιστης μεταφορά φωνής και video	Δεν εγγυάται το επίπεδο latency για μεταφορά φωνής ή video
	Υποστηρίζει διαφορετικά επίπεδα υπηρεσίας π.χ. T1 για επιχειρησιακούς πελάτες, Best Effort για οικιακούς.	Δεν παρέχει διαφοροποιημένα επίπεδα υπηρεσιών ανάλογα με το χρήστη
Εμβέλεια	Η θεωρητική εμβέλεια περίπου 50 Km	Εμβέλεια περίπου 100 m
	Η ανοχή του σε φαινόμενα εξάπλωσης καθυστέρησης λόγω πολυδιάδευσης (ανακλάσεις σήματος) σε εσωτερικούς χώρους είναι 10.0 msec	Η ανοχή του σε φαινόμενα εξάπλωσης καθυστέρησης λόγω πολυδιάδευσης σε εσωτερικούς χώρους είναι 0.8 msec
Κάλυψη	Βέλτιστη απόδοση σε NLOS	Βέλτιστη απόδοση σε LOS
	Το πρότυπο υποστηρίζει τοπολογία δικτύου πλέγματος (mesh network)	Δεν υποστηρίζει τοπολογία πλέγματος με επικυρωμένα πρότυπα
Ασφάλεια	Το υπάρχον πρότυπο PKM - EAP	Το υπάρχον πρότυπο WPA + WEP
Σχετική Απόδοση	Channel Bandwidth 1,75 έως 20MHz	Channel Bandwidth 20MHz
	Maximum Data Rate 100 Mbps	Maximum Data Rate 54 Mbps
	Maximum bps/Hz 5.0 bps/Hz	Maximum bps/Hz 2.7 bps/Hz

Αξιολόγηση μηχανισμού παροχής ποιότητας υπηρεσίας

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιούνται κάποιες πειραματικές μετρήσεις που έχουν ως στόχο την εύρεση του μέγιστου εύρους ζώνης της πλατφόρμας του WiMax. Αρχικά μετρήθηκε η πραγματική ταχύτητα της πλατφόρμας σε σχέση με την ονομαστική, με σταδιακή αύξηση του εύρους ζώνης, ώστε να παρατηρηθεί το μέγιστο όριο εύρους καθώς και το επίπεδο κορεσμού της πλατφόρμας. Εν συνεχεία, δόθηκε με την βοήθεια ενός traffic generator, ροή δεδομένων, έτσι ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί η διαφορετικότητα ανάμεσα στα δεδομένα που εστάλησαν (με βάση πάντα το πεδίο TOS που υποδηλώνει τον τύπο δεδομένων της κάθε ροής). Έπειτα με την βοήθεια του tcp dump δημιουργήθηκε ένα script οποίο έκανε την ανάλυση των δεδομένων, έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε τελικά συμπεράσματα για την λειτουργία, καθώς και για τα πλεονέκτημα που παρουσιάζει η προτεινόμενη παροχή υπηρεσίας.

Τα QoS Metrics χρησιμοποιούνται κυρίως [ITU-T-Y.1540] από το IP περιβάλλον και είναι τα ακόλουθα:

- **IPLR- IP Packet Loss Ratio**
- **IPTD – IP Packet Transfer Delay**

Ο ακόλουθος πίνακας απεικονίζει το μέγιστο επιτρεπτό όριο για κάθε QoS κλάση, για κάθε ένα από αυτά τα metrics.

QoS Class	Characteristics	IPLR	IPTD
0	Real time ,jitter sensitive,highly interactive	1×10^{-3}	100ms
1	Real time ,jitter sensitive, interactive,	1×10^{-3}	400ms
2	Transaction data, higly interactive	1×10^{-3}	100ms
3	Transaction data, interactive	1×10^{-3}	400ms
4	Low loss only (short transactions, bulk data ,video streaming)	1×10^{-3}	1s
5	Tradional applications of default IP networks	1×10^{-3}	U

5.2 Αξιολόγηση Πειραματικής Πλατφόρμας

Τα παρακάτω γραφήματα απεικονίζουν τις πραγματικές τιμές που μετρήθηκαν από την πλατφόρμα. Οι αρχικές ρυθμίσεις έχουν ορισθεί με βάση την «θεωρητική χωρητικότητα της πλατφόρμας ανα χρήστη, για περιγραφή δεδομένων Best Effort. Το μέγιστο όριο αναφέρεται ότι είναι τα 12 Mbit ανα χρήστη. Κάθε φορά στέλνεται συγκεκριμένη ροή δεδομένων οι οποία παράγεται από έναν traffic generator έτσι ώστε να διαπιστωθεί η πραγματική χωρητικότητα της πλατφόρμας ανα χρήστη.

***Σημείωση οι αναγραφόμενες τιμές είναι για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, υπάρχει πάντα πιθανότητα απόκλισης των τιμών, λόγω διαφόρων παραγόντων (π.χ καιρικών συνθηκών, παρεμβολών, διαθλασεων κ.α).**

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	12000		1000	5

Counters	1	2	3	4
Bytes Request	15223666	0	0	0
Bytes Tx	15223666	0	0	0
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	0	0	0	0
Bytes Discarded	0	0	0	0
Pakets Req	14283	0	0	0
Pakets Tx	14283	0	0	0
Pakets Dropped	0	0	0	0
Pakets Discarded	0	0	0	0
Avarage Delay (msec)	16	0	0	0
Delay Variance (msec ²)	33	0	0	0
Max Delay (msec)	20	0	0	0
CIR Utilization (%)	100	0	0	0
DLI (%)	0	0	0	0
EIR Utilization (%)	8	0	0	0
Average Throughput (bits/s)	957410	0	0	0

Η ροή δεδομένων ορίζεται στο 1 Mbit, η πραγματική χωρητικότητα που καταγράφηκε στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι στα 0.95 Mbit.

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	12000		1000	5

Counters	1	2	3	4
Bytes Request	30446266	0	0	0
Bytes Tx	30446266	0	0	0
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	0	0	0	0
Bytes Discarded	0	0	0	0
Pakets Req	28565	0	0	0
Pakets Tx	28565	0	0	0
Pakets Dropped	0	0	0	0
Pakets Discarded	0	0	0	0
Avarage Delay (msec)	16	0	0	0
Delay Variance (msec ²)	32	0	0	0
Max Delay (msec)	20	0	0	0
CIR Utilization (%)	100	0	0	0
DLI (%)	0	0	0	0
EIR Utilization (%)	16	0	0	0
Average Throughput (bits/s)	2045582	0	0	0

Η ροή δεδομένων ορίζεται στο 2 Mbit, η πραγματική χωρητικότητα που καταγράφηκε στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι στα 2 Mbit.

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	12000		1000	5

Counters	1	2	3	4
Bytes Request	75967604	0	0	0
Bytes Tx	75967604	0	0	0
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	0	0	0	0
Bytes Discarded	0	0	0	0
Pakets Req	71267	0	0	0
Pakets Tx	71267	0	0	0
Pakets Dropped	0	0	0	0
Pakets Discarded	0	0	0	0
Avarage Delay (msec)	16	0	0	0
Delay Variance (msec ²)	33	0	0	0
Max Delay (msec)	24	0	0	0
CIR Utilization (%)	100	0	0	0
DLI (%)	0	0	0	0
EIR Utilization (%)	42	0	0	0
Average Throughput (bits/s)	4780796	0	0	0

Η ροή δεδομένων ορίζεται 5 Mbit για περιγραφή δεδομένων Best Effort, η πραγματική χωρητικότητα που καταγράφηκε στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι στα 4,78 Mbit.

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	12000		1000	5

Counters	1	2	3	4
Bytes Request	15033419	0	0	0
Bytes Tx	11439821	0	0	0
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	35935986	0	0	0
Bytes Discarded	35935986	0	0	0
Pakets Req	141034	0	0	0
Pakets Tx	107322	0	0	0
Pakets Dropped	33712	0	0	0
Pakets Discarded	33712	0	0	0
Avarage Delay (msec)	164	0	0	0
Delay Variance (msec ²)	211	0	0	0
Max Delay (msec)	198	0	0	0
CIR Utilization (%)	100	0	0	0
DLI (%)	18	0	0	0
EIR Utilization (%)	65	0	0	0
Average Throughput (bits/s)	7856025	0	0	0

Η ροή δεδομένων ορίζεται 10 Mbit , η πραγματική χωρητικότητα που καταγράφηκε στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι στα 7,85 Mbit.

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	12000		1000	5

Counters	1	2	3	4
Bytes Request	17406667	0	0	0
Bytes Tx	11337277	0	0	0
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	60693896	0	0	0
Bytes Discarded	60693896	0	0	0
Pakets Req	163299	0	0	0
Pakets Tx	106361	0	0	0
Pakets Dropped	56938	0	0	0
Pakets Discarded	56938	0	0	0
Avarage Delay (msec)	164	0	0	0
Delay Variance (msec ²)	418	0	0	0
Max Delay (msec)	198	0	0	0
CIR Utilization (%)	100	0	0	0
DLI (%)	28	0	0	0
EIR Utilization (%)	70	0	0	0
Average Throughput (bits/s)	8353321	0	0	0

Η ροή δεδομένων ορίζεται ζεύξης 11,5 Mbit, η πραγματική χωρητικότητα που καταγράφηκε στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι στα 8,35 Mbit.

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	12000		1000	5
Counters				
Bytes Request	17777605	0	0	0
Bytes Tx	11840411	0	0	0
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	59371936	0	0	0
Bytes Discarded	59371936	0	0	0
Pakets Req	166774	0	0	0
Pakets Tx	111078	0	0	0
Pakets Dropped	55696	0	0	0
Pakets Discarded	55696	0	0	0
Avarage Delay (msec)	149	0	0	0
Delay Variance (msec ²)	398	0	0	0
Max Delay (msec)	183	0	0	0
CIR Utilization (%)	100	0	0	0
DLI (%)	22	0	0	0
EIR Utilization (%)	76	0	0	0
Average Throughput (bits/s)	9263556	0	0	0

Η ροή δεδομένων ορίζεται 11,7 , πραγματική χωρητικότητα που καταγράφηκε στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι στα 9,2 Mbit.

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	12000		1000	5
Counters				
Bytes Request	17851396	0	0	0
Bytes Tx	10915218	0	0	0
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	69361782	0	0	0
Bytes Discarded	69361782	0	0	0
Pakets Req	167470	0	0	0
Pakets Tx	102397	0	0	0
Pakets Dropped	65073	0	0	0
Pakets Discarded	65073	0	0	0
Avarage Delay (msec)	174	0	0	0
Delay Variance (msec ²)	365	0	0	0
Max Delay (msec)	202	0	0	0
CIR Utilization (%)	100	0	0	0
DLI (%)	34	0	0	0
EIR Utilization (%)	65	0	0	0
Average Throughput (bits/s)	7857062	0	0	0

Η ροή δεδομένων ορίζεται 11,9Mbit , η πραγματική χωρητικότητα που καταγράφηκε στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι στα 7,85 Mbit.

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	12000		1000	5
Counters				
Bytes Request	17627939	0	0	0
Bytes Tx	12303375	0	0	0
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	53245634	0	0	0
Bytes Discarded	53245634	0	0	0
Pakets Req	165370	0	0	0
Pakets Tx	115421	0	0	0
Pakets Dropped	49949	0	0	0
Pakets Discarded	49949	0	0	0
Avarage Delay (msec)	156	0	0	0
Delay Variance (msec ²)	74	0	0	0
Max Delay (msec)	186	0	0	0
CIR Utilization (%)	100	0	0	0
DLI (%)	25	0	0	0
EIR Utilization (%)	72	0	0	0
Average Throughput (bits/s)	8871894	0	0	0

Η ροή δεδομένων ορίζεται 12Mbit, η πραγματική χωρητικότητα που καταγράφηκε στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι στα 8,8 Mbit.

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	12000		1000	5
Counters				
Bytes Request	18996393	0	0	0
Bytes Tx	13044678	0	0	0
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	59517152	0	0	0
Bytes Discarded	59517152	0	0	0
Pakets Req	178212	0	0	0
Pakets Tx	122376	0	0	0
Pakets Dropped	55836	0	0	0
Pakets Discarded	55836	0	0	0
Avarage Delay (msec)	158	0	0	0
Delay Variance (msec ²)	167	0	0	0
Max Delay (msec)	188	0	0	0
CIR Utilization (%)	100	0	0	0
DLI (%)	31	0	0	0
EIR Utilization (%)	71	0	0	0
Average Throughput (bits/s)	8754808	0	0	0

Η ροή δεδομένων ορίζεται 12,5Mbit, η πραγματική χωρητικότητα που καταγράφηκε στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι στα 8,75 Mbit.

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	12000		1000	5

Counters	1	2	3	4
Bytes Request	17627939	0	0	0
Bytes Tx	12303375	0	0	0
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	53245634	0	0	0
Bytes Discarded	53245634	0	0	0
Pakets Req	165370	0	0	0
Pakets Tx	115421	0	0	0
Pakets Dropped	49949	0	0	0
Pakets Discarded	49949	0	0	0
Avarage Delay (msec)	156	0	0	0
Delay Variance (msec ²)	74	0	0	0
Max Delay (msec)	186	0	0	0
CIR Utilization (%)	100	0	0	0
DLI (%)	25	0	0	0
EIR Utilization (%)	72	0	0	0
Average Throughput (bits/s)	8871894	0	0	0

Η ροή δεδομένων ορίζεται 13 Mbit, η πραγματική χωρητικότητα που καταγράφηκε στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι στα 8,87 Mbit.

Όπως φαίνεται στα γραφήματα παρατηρείται η ονομαστική ταχύτητα της πλατφόρμας κυμαίνεται ανάμεσα στο 8,5-9 Mbit.

5.3 Συσχετίσεις και καταγραφές ροών δεδομένων

Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζονται οι μέγιστες χωρητικότητες που στέλνονται για κάθε υπηρεσία με ανώτατο όριο 1Mbit η κάθε μια από αυτές. Το πρωτόκολλο **DSCP** είναι υπεύθυνο για το **mapping (αντιστοίχιση)** που πρέπει να γίνει ανάμεσα στις υπηρεσίες του πρωτοκόλλου (**ef,af11,af22,BE**) και στις υπάρχον υπηρεσίες της πλατφόρμας (**CG,RT,NRT,BE**). Στο πρώτο γράφημα έχουμε μόνο την μια κίνηση δεδομένων (**Best Effort**) και μια καταγραφή.

Στο δεύτερο γράφημα αποστέλλονται τέσσερις κινήσεις (**Best Effort**) των 1Mbit η κάθε μια, με συνολικό εύρος 4Mbit σε μια καταγραφή. Στο τρίτο γράφημα στέλνονται τρεις κινήσεις με traffic generator (mgen) με κίνηση ef=0xb8 (**VoIP**) af11=0x0c (**Video Streaming**) BE=0x00 (**Bulk Data**) με και τρεις διαφορετικές καταγραφές. Στο τελευταίο γράφημα στέλνουμε τέσσερις κινήσεις με mgen με πεδίο **TOS** για BE=0x00 για af11=0x28 για af22=0x50 για ef=0xb8 με και τέσσερις διαφορετικές καταγραφές BE(**Bulk Data**), RT (**Video Streaming**), NRT(**High Priority Data**), CG(**VoIP**).

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE			
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)				
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	4000			
Counters	1	2	3	4
Bytes Request	15195462			
Bytes Tx	15195462			
Bytes Retransmitted Tx	0			
Bytes Dropped	0			
Bytes Discarded	0			
Pakets Req	14642			
Pakets Tx	14642			
Pakets Dropped	0			
Pakets Discarded	0			
Avarage Delay (msec)	16			
Delay Variance (msec ²)	33			
Max Delay (msec)	20			
CIR Utilization (%)	100			
DLI (%)	0			
EIR Utilization (%)	25			
Average Throughput (bits/s)	1020870			

Μία ροή δεδομένων **1Mbps (Best Effort)** και μια καταγραφή (Μέγιστο εύρος καναλιού 4Mbps).

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE			
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)				
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	4000			
Counters	1	2	3	4
Bytes Request	60789612			
Bytes Tx	60134634			
Bytes Retransmitted Tx	0			
Bytes Dropped	654978			
Bytes Discarded	654978			
Pakets Req	58567			
Pakets Tx	57936			
Pakets Dropped	631			
Pakets Discarded	631			
Avarage Delay (msec)	293			
Delay Variance (msec ²)	10			
Max Delay (msec)	299			
CIR Utilization (%)	100			
DLI (%)	1			
EIR Utilization (%)	99			
Average Throughput (bits/s)	4030761			

Τέσσερις κινήσεις (**Best Effort**) των 1Mbit η κάθε μια,(Με συνολικό εύρος **4Mbit** σε μια καταγραφή).

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	CG	
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	1000	
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	1000		5	
Counters	1	2	3	4
Bytes Request	15197658	15197358	15197358	
Bytes Tx	15034692	15034392	15197358	
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	
Bytes Dropped	162966	162966	0	
Bytes Discarded	162966	162966	0	
Pakets Req	14646	14641	14641	
Pakets Tx	14489	14484	14641	
Pakets Dropped	157	157	0	
Pakets Discarded	157	157	0	
Avarage Delay (msec)	292	292	16	
Delay Variance (msec ²)	183	334	33	
Max Delay (msec)	299	299	20	
CIR Utilization (%)	100	99	0	
DLI (%)	1	1	0	
EIR Utilization (%)	99	0	0	
Average Throughput (bits/s)	1008105	1008105	1020838	

Τρεις διαφορετικές ροές δεδομένων, των **1Mbit** η κάθε μια, **CG (VoIP)**, **RT (Video Streaming)**, **BE (Bulk Data)** με και τρεις διαφορετικές καταγραφές (Μέγιστο εύρος καναλιού **4Mbit**).

QoS Parameters	1	2	3	4
Type	BE	RT	NRT	CG
CIR (kbps)/Packet Size (bytes)		1000	900	1000
MIR (kbps)/Sample Rate (msec)	1000		1000	5
Counters	1	2	3	4
Bytes Request	15197598	15197358	15197358	15197358
Bytes Tx	15034632	15034392	15034392	15197358
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	162966	162966	162966	0
Bytes Discarded	162966	162966	162966	0
Pakets Req	14645	14641	14641	14641
Pakets Tx	14488	14484	14484	14641
Pakets Dropped	157	157	157	0
Pakets Discarded	157	157	157	0
Avarage Delay (msec)	292	292	292	16
Delay Variance (msec ²)	145	172	133	34
Max Delay (msec)	299	299	299	20
CIR Utilization (%)	100	99	100	0
DLI (%)	1	1	1	0
EIR Utilization (%)	99	0	97	0
Average Throughput (bits/s)	1007552	1008105	1008105	1021392

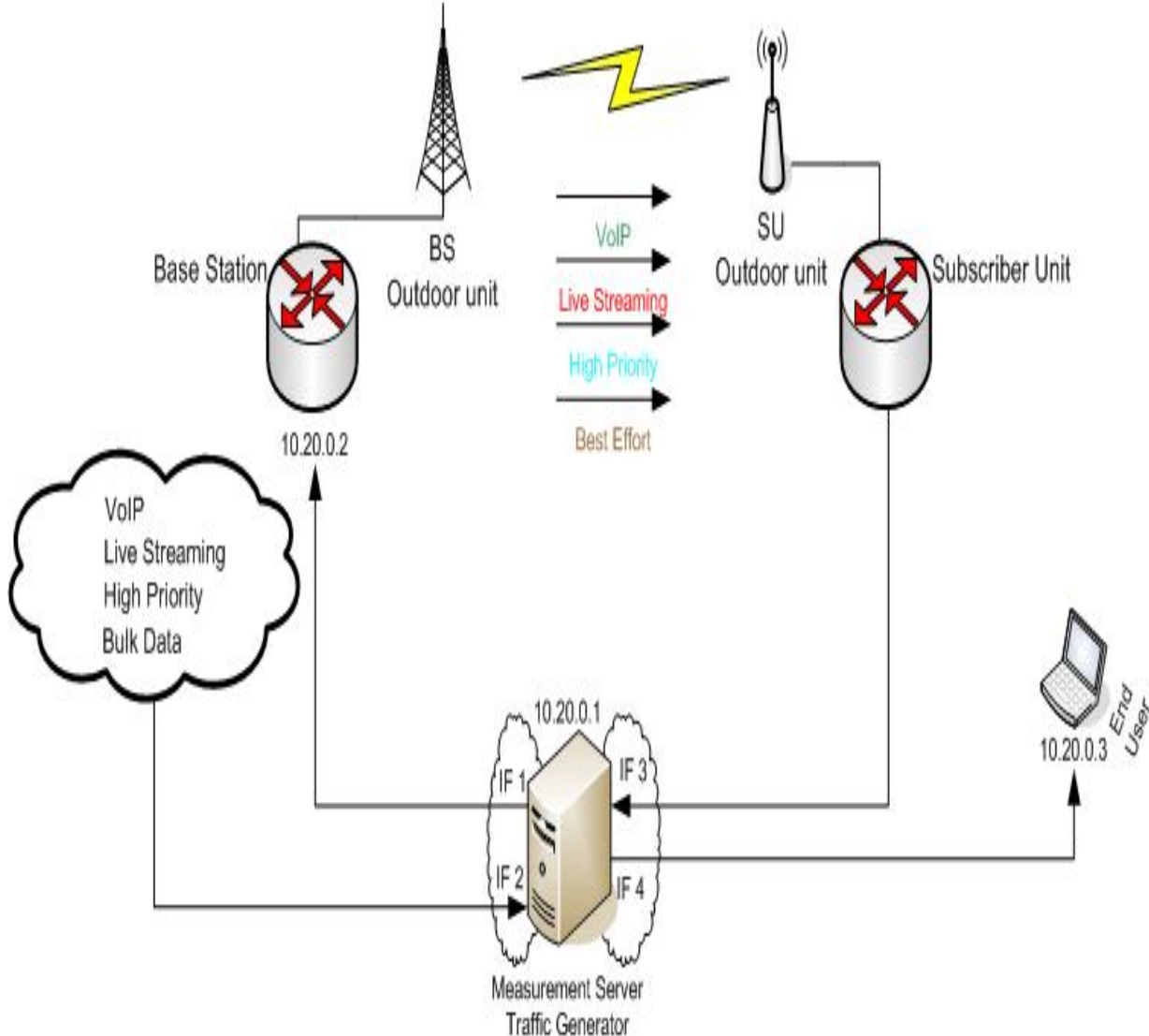
Τέσσερις διαφορετικές ροές δεδομένων **1Mbit** η κάθε μια και τέσσερις διαφορετικές καταγραφές **BE(Bulk Data)**, **RT (Video Streaming)**, **NRT(High Priority Data)**,**CG(VoIP)**,(Μέγιστο εύρος καναλιού **4Mbit**).

5.4 Σενάριο Υλοποίησης

Η αρχική μελέτη καθώς και αρχικός σχεδιασμός οδηγεί στην υλοποίηση ενός δικτύου το οποίο θα παρέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες μέσα από το 802.16. Αρχικά, το δίκτυο διαθέτει έναν σταθμό βάσης (**Base Station**) και μια μονάδα χρήσης (**Subscriber Unit**). Η επικοινωνία επιτυγχάνεται με το πρωτόκολλο 802.16 Wimax. Το εύρος ζώνης του καναλιού ορίζεται να είναι στα **4Mbps**, εκ των οποίων θα εισαχθούν ροές δεδομένων για τηλεφωνία μέσω διαδικτύου (**VoIP**), για μετάδοση οπτικοακουστικού υλικού σε πραγματικό χρόνο (**Live Streaming**), για δεδομένα υψηλής προτεραιότητας (**High Priority Data**), καθώς και για δεδομένα μαζικής μεταφοράς (**Bulk Data**), οι οποίες θα αντιστοιχούν σε **1Mbps** η κάθε μια. Όπως γίνεται κατανοητό, αφού έχει οριστεί ότι το δίκτυο θα υποστηρίζει **1Mbps** για κάθε μια ροή δεδομένων, το σύνολο των τεσσάρων θα είναι το συνολικό εύρος ζώνης, το οποίο θα εκμεταλλευτούμε με το αναφερθέν σενάριο.

Έτσι λοιπόν, θα αποσταλούν μέσω του διατεθέν εύρους ζώνης, οι προαναφερθείσες ροές δεδομένων, αρχικά το δίκτυο παραμετροποιείται έτσι ώστε να μην υπάρχει κάποια παροχή ποιότητας υπηρεσίας και μετά τροποποιείται με την προτεινόμενη παροχή υπηρεσία, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα κάθε φορά να παρατηρείται η διάφορα ανάμεσα τους καθώς και τα επίπεδα διακύμανσης του δικτύου. Οι ροές δεδομένων δημιουργούνται με τη βοήθεια ενός προγράμματος παραγωγής κίνησης (**Traffic Generator**). Για κάθε ροή δεδομένων αντιστοιχεί και διαφορετικός τρόπος μετάδοσης δεδομένων, βάση του πρωτοκόλλου **DSCP**, το οποίο λειτουργεί με γνώμονα τις προαναφερθείσες πρωτυποποιημένες κλάσεις του κεφαλαίου (4.6.5). Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι το πρωτόκολλο **DSCP** είναι υπεύθυνο για το **mapping (αντιστοίχιση)** που πρέπει να γίνει ανάμεσα στις υπηρεσίες του πρωτοκόλλου (**ef,af11,af22,BE**) και στις υπάρχον υπηρεσίες της πλατφόρμας (**CG,RT,NRT,BE**).

Μετά την διαδικασία παραγωγής, και την αντιστοίχιση, έπεται η αποστολή της παραγόμενης ροής δεδομένων από τον σταθμό βάσης (**Base Station**), στην μονάδα χρήσης (**Subscriber Unit**) και από εκεί στο τελικό προορισμό, ο οποίος θα είναι ο τελικός χρήστης. Η διαδικασία αποστολής δεδομένων που ακολουθείται είναι η εξής: μέσω ενός interface (εικ1.IF2) παράγονται οι ροές δεδομένων, έπειτα γίνεται η προώθηση των δεδομένων (εικ1.IF1), ακολουθεί αρχική καταγραφή των τιμών μέσω ενός Measurement Server και εν συνεχεία γίνεται η αποστολή τους, αφού γίνει η λήψη των δεδομένων μέσω ενός τρίτου interface (εικ1.IF3), καταγράφονται και αναλύονται οι μετρήσεις από συγκεκριμένο πρόγραμμα και στο τέλος, γίνεται η σύγκριση των αρχικών τιμών με τις σταλμένες τιμές. Στη συνέχεια μέσω ενός τέταρτου interface (εικ1.IF3) στέλνονται τα δεδομένα σε έναν ή περισσότερους χρήστες, για την παροχή ποιότητας της προτεινόμενης υπηρεσίας με βάση τις αναλύσεις των γραφημάτων που ακολουθούν, σχετίζοντας πάντα τα διαγράμματα μεταξύ τους (χωρίς την παροχή ποιότητας της προτεινόμενης υπηρεσίας και με την παροχή ποιότητας προτεινόμενης υπηρεσίας), ώστε να παρατηρείται κάθε φορά η διάφορα-βελτίωση ανάμεσα τους. Η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα να διαπιστωθεί η απώλεια πακέτων (**Loss**), η καθυστέρηση (**Delay**) και η διάφορα λήψεως διαδοχικών πακέτων (**Jitter**).

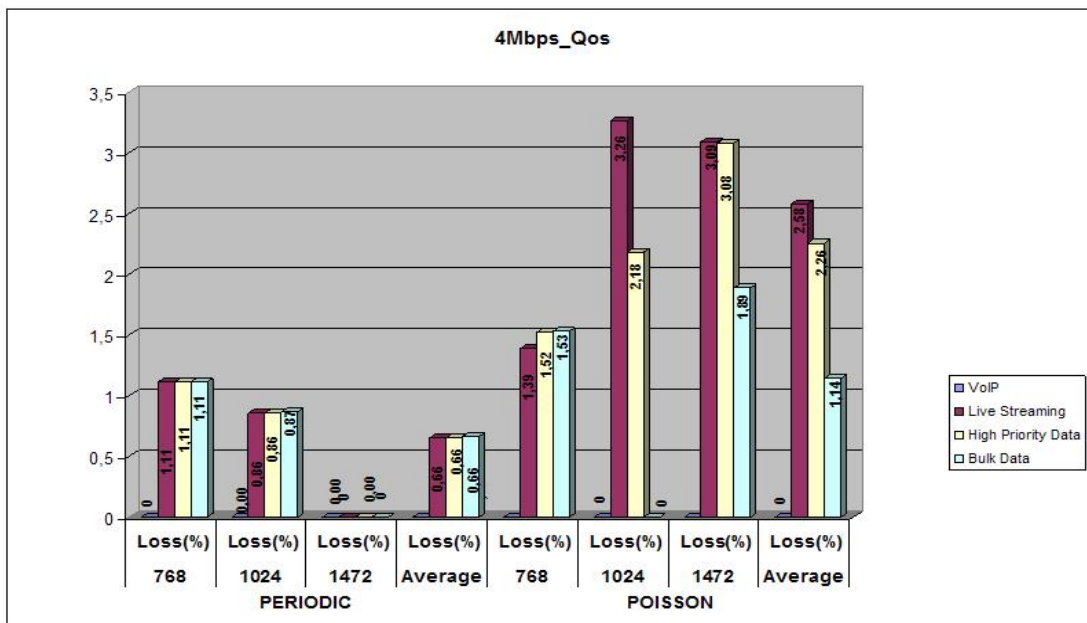
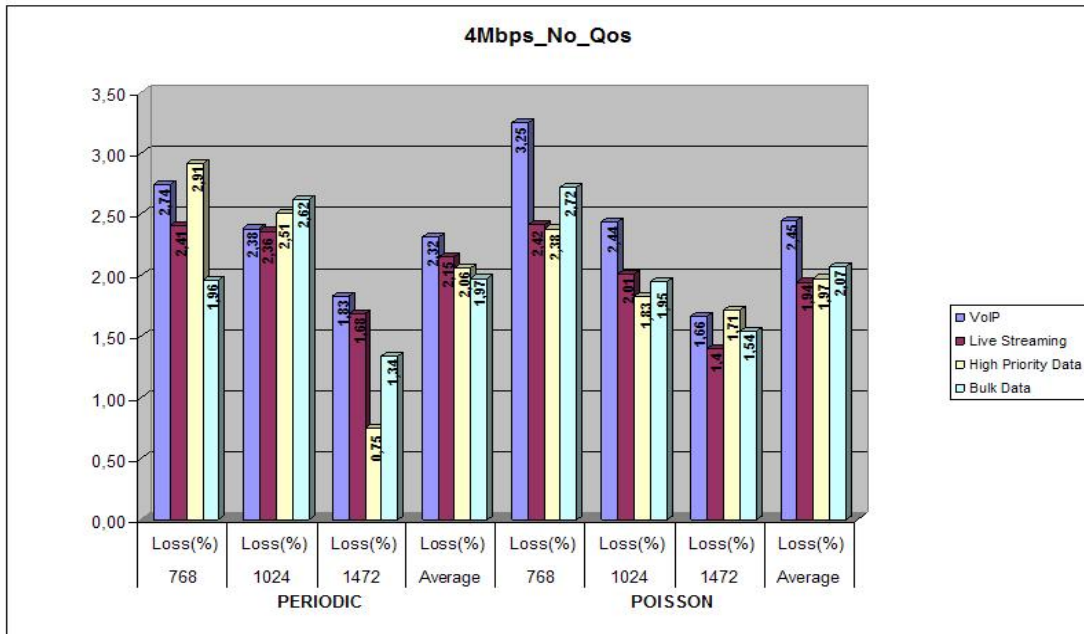


Εικόνα 17. Αρχικός Σχεδιασμός και Αρχιτεκτονική Δικτύου

Μετά, το πέρας, της προαναφερθείσας διαδικασίας αυξάνουμε διαδοχικά κατά 100Kbps κάθε φορά την ροή της κίνησης (**Bulk Data**) από το **4Mbps** σταδιακά στο **4,5 Mbps**, αυτό συμβαίνει για δυο λόγους, αφενός για να διαπιστωθεί η συμπεριφορά του δικτύου με την προτεινόμενη παροχή υπηρεσίας ή μη, αλλά και το σημείο κορεσμού του δικτυου,και αφετέρου διότι η συγκεκριμένη υπηρεσία αυτή έχει οριστεί ότι θα αντιστοιχούν τα λιγότερο σημαντικά δεδομένα, κατά συνέπεια, εθεωρείτο και λιγότερο σημαντική σαν υπηρεσια,ετσι δίδεται η δυνατότητα παραμετροποίησης της υπηρεσίας αυτης,ετσι ώστε να υπάρξει ωφέλιμη αύξηση στις άλλες υπηρεσίες για τις οποίες έχει σχεδιαστεί το υπάρχον δίκτυο.

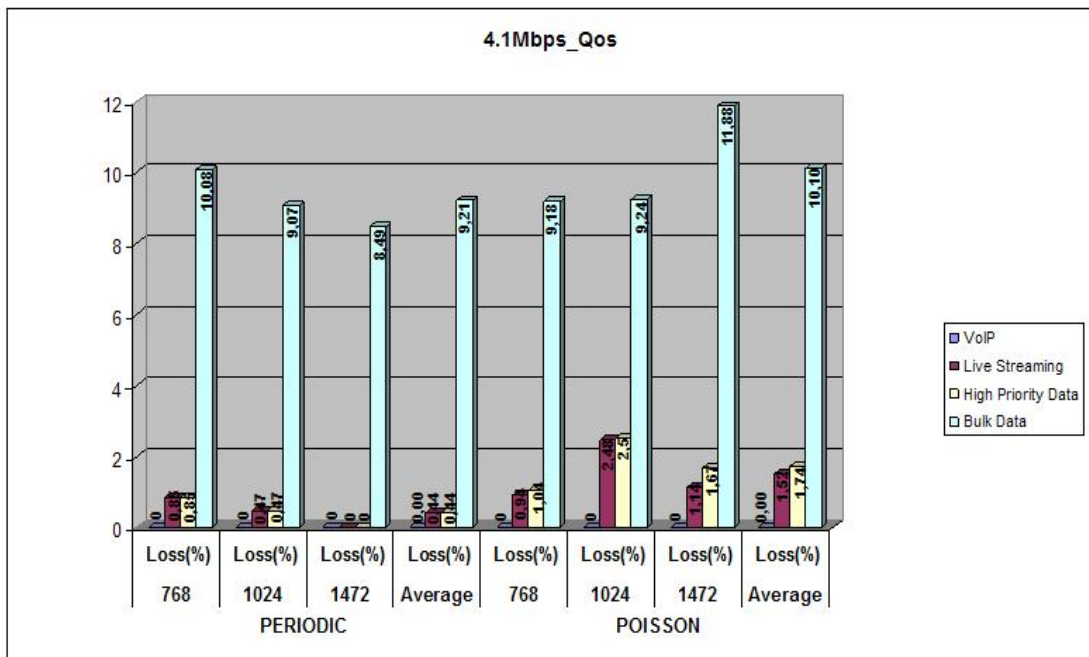
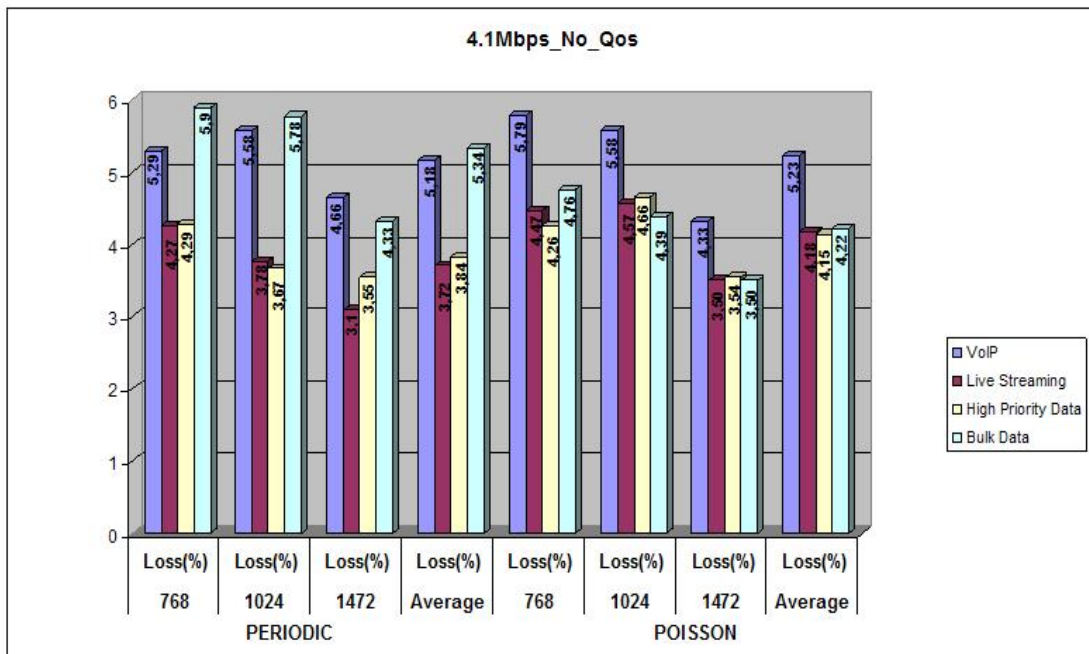
5.4.1 Αποτελέσματα Υπηρεσιών για Απώλειες Πακέτων

Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζεται το ποσοστό των πακέτων που χάθηκαν για κάθε μέγεθος πακέτου καθώς και το είδος της κίνησης με τα οποία εστάλησαν τα πακέτα. Επίσης αναφέρεται και το εύρος ζώνης αυξάνοντας κάθε φορά την κίνηση κατά 100Kbps. Στο πρώτο γράφημα φαίνεται το ποσοστό των χαμένων πακέτων χωρίς κάποια παροχή υπηρεσίας (QoS). Στο Δεύτερο με την προτεινόμενη παροχή υπηρεσιων, απεικονίζεται η δραστική μείωση του ποσοστού των χαμένων πακέτων καθώς επίσης παρατηρείται ακόμα και την εξάλειψη του φαινομένου σε κάποιες υπηρεσίες.



Όπως παρατηρείται στα γραφήματα παρέχοντας την προτεινόμενη υπηρεσία έχουμε μείωση των χαμένων πακέτων από 75%-100% ανάλογα με το μέγεθος πακέτου για περιοδική κίνηση σε κάθε υπηρεσία και επίσης παρατηρείται μια

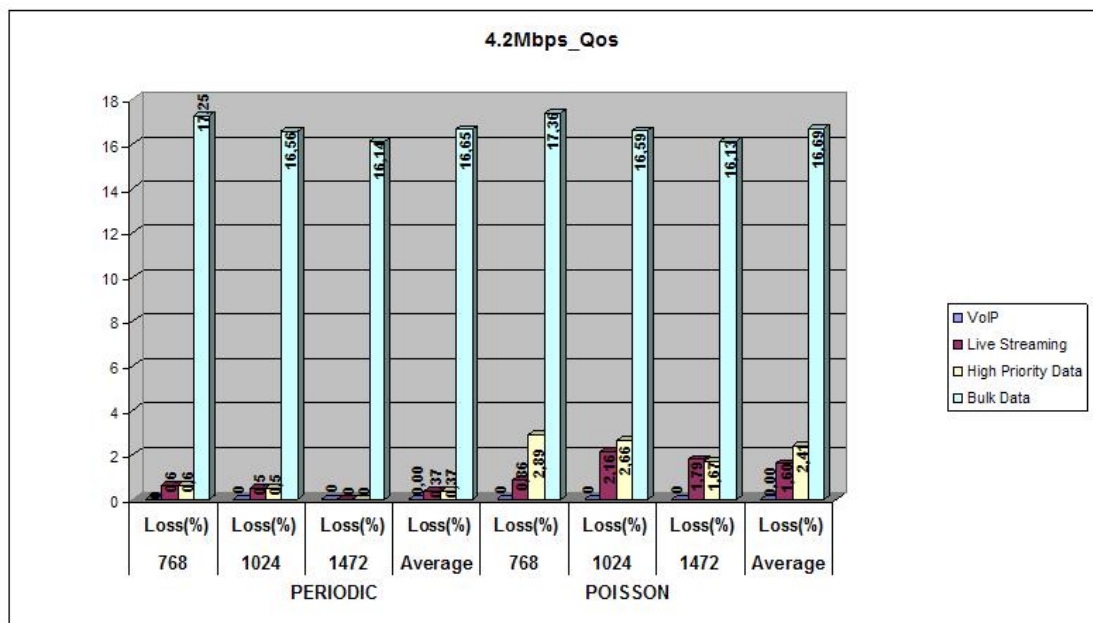
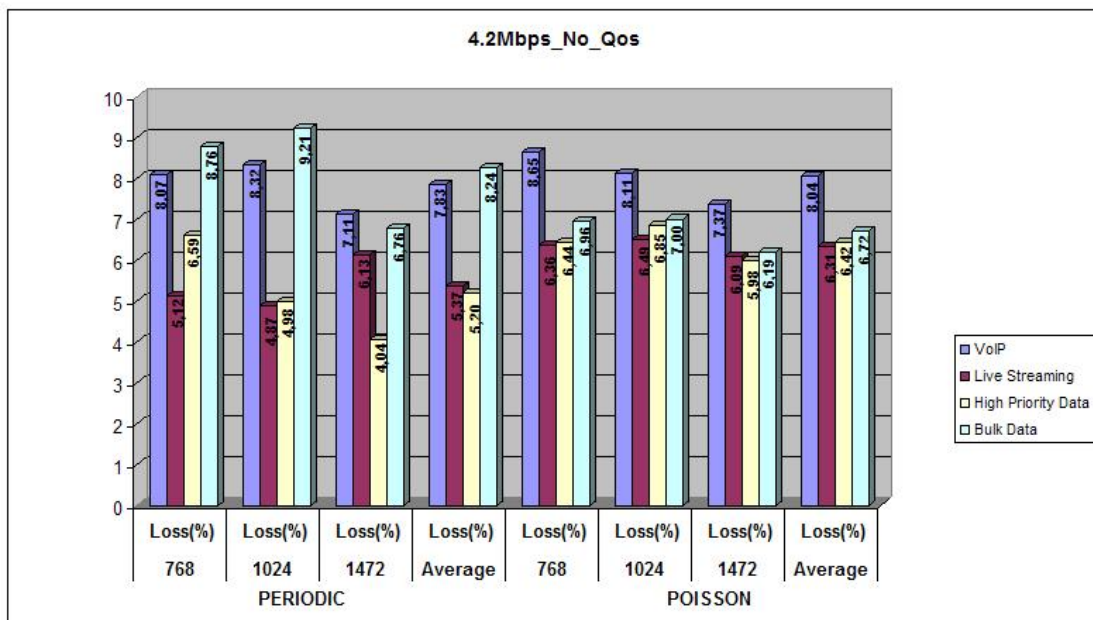
αυξομείωση από 30%-100% για κάθε υπηρεσία ανάλογα με το μέγεθος πακέτου για *Poisson κίνηση*. Βλεπουμε ότι για τηλεφωνία μέσω διαδικτύου **VoIP** δεν χάνεται κανένα πακέτο και δεν υπάρχει κάποιο σοβαρό πρόβλημα επικοινωνίας αφού οι μετρήσεις δεν ξεπερνάν το μέγιστο επιτρεπτό όριο των τιμών του πίνακα (**QoS Metrics**). Το ποσοστό ανοχής (%) για κάθε υπηρεσία κυμαίνεται για **VoIP** στο **1-2%** καθώς και για **Video Streaming** και **High Priority Data** στο **3-4%**.



Εδώ παρατηρείται ότι αυξάνοντας το εύρος ζώνης κατά 100Kbps της υπηρεσίας Bulk Data (υπηρεσία που τα δεδομένα της προέρχονται από αναζήτηση

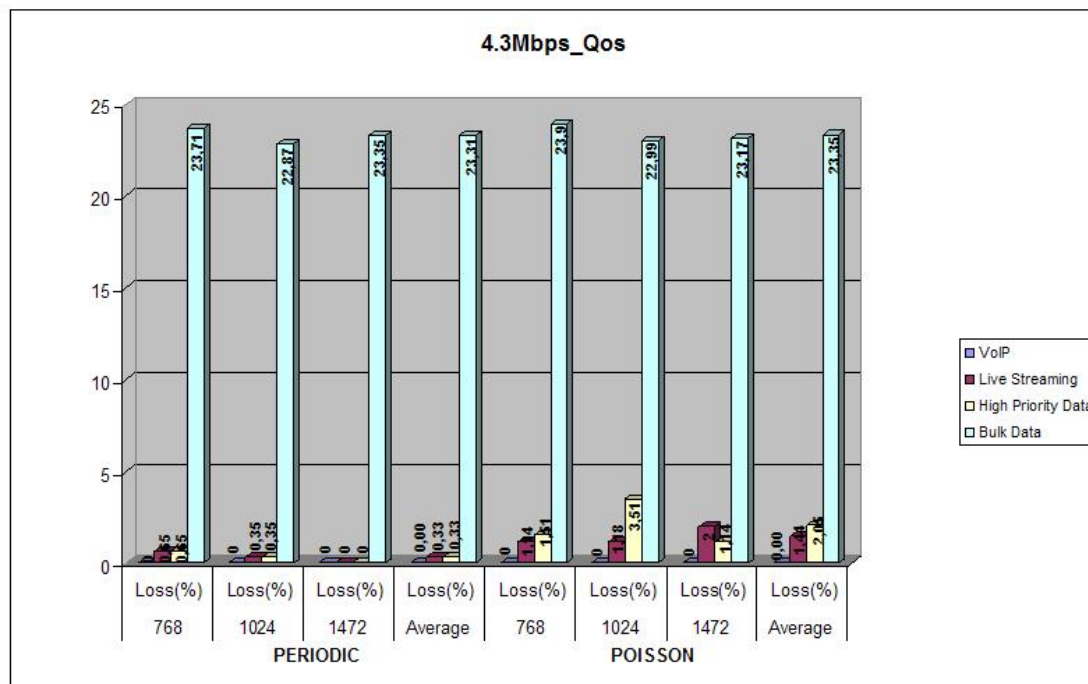
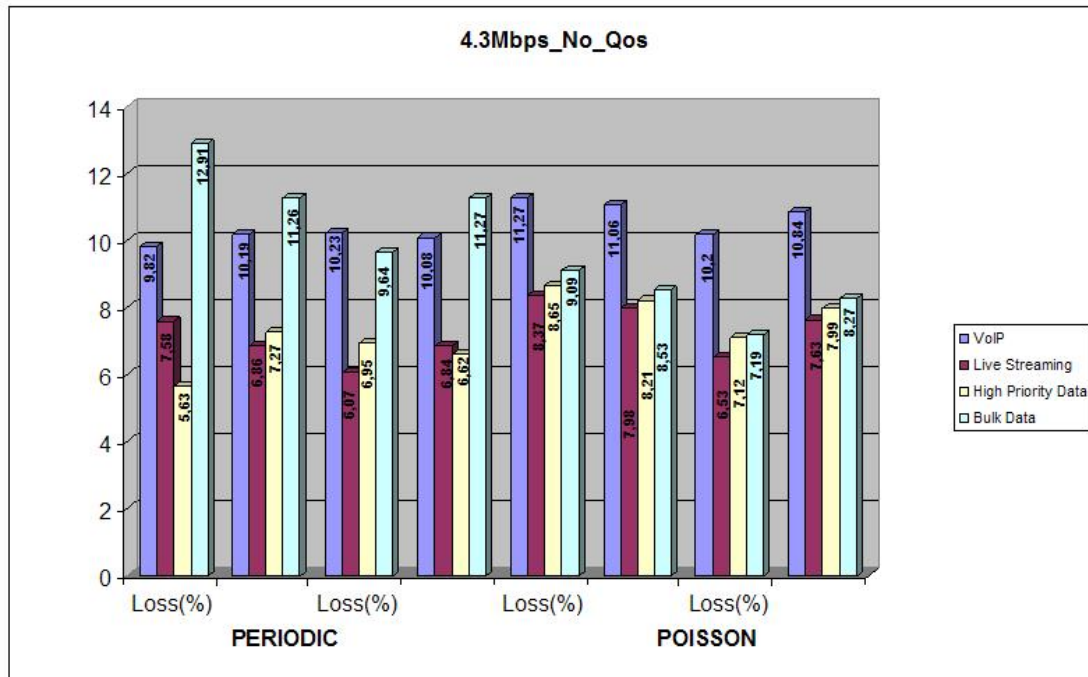
στο διαδίκτυο κ.τ.λ.), δημιουργείται συμφόρηση στο δίκτυο αφού η μέγιστη χωρητικότητά του είναι 4 Mbps. Στο δεύτερο γράφημα (στο οποίο εισάγεται το προτεινόμενο μοντέλο παροχής ποιότητας υπηρεσίας), απεικονίζεται καθαρά μια γενικότερη μείωση της απώλειας πακέτων στις υπόλοιπες υπηρεσίες (ανεξαρτήτως μέγεθος πακέτου και μοντέλου κίνησης) κατά ένα ποσοστό της τάξεως του 65%-100% σε σχέση με το 1^ο γράφημα (χωρίς την παρουσία μοντέλου παροχής ποιότητας υπηρεσίας). Επίσης το μεγαλύτερο μέρος των απωλειών επικεντρώνεται στη συγκεκριμένη υπηρεσία, γεγονός, το οποίο οφείλεται στο ο,τι στην υπηρεσία αυτή έχει οριστεί ότι θα αντιστοιχούν τα λιγότερο σημαντικά δεδομένα. Το δίκτυο, ξεπερνά το επίπεδο **κορεσμού (4 Mbps)** και η κατανομή των χαμένων πακέτων είναι λογικό να εντοπίζεται στη συγκεκριμένη υπηρεσία εφόσον υπάρχει η ανάγκη προστασίας των άλλων υπηρεσιών που είναι μεγαλύτερης σημασίας.

Στο παρακάτω γράφημα παρατηρείται την αύξηση του εύρους ζώνης κατά 200Kbps της υπηρεσίας μαζικής μεταφοράς δεδομένων (**Bulk Data**). Έχουμε στο



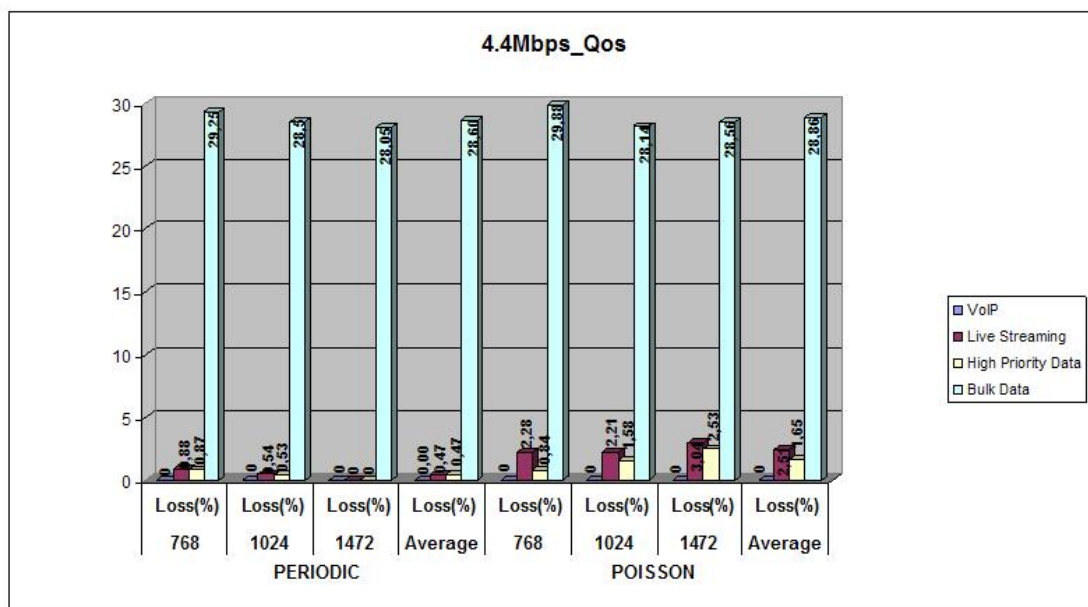
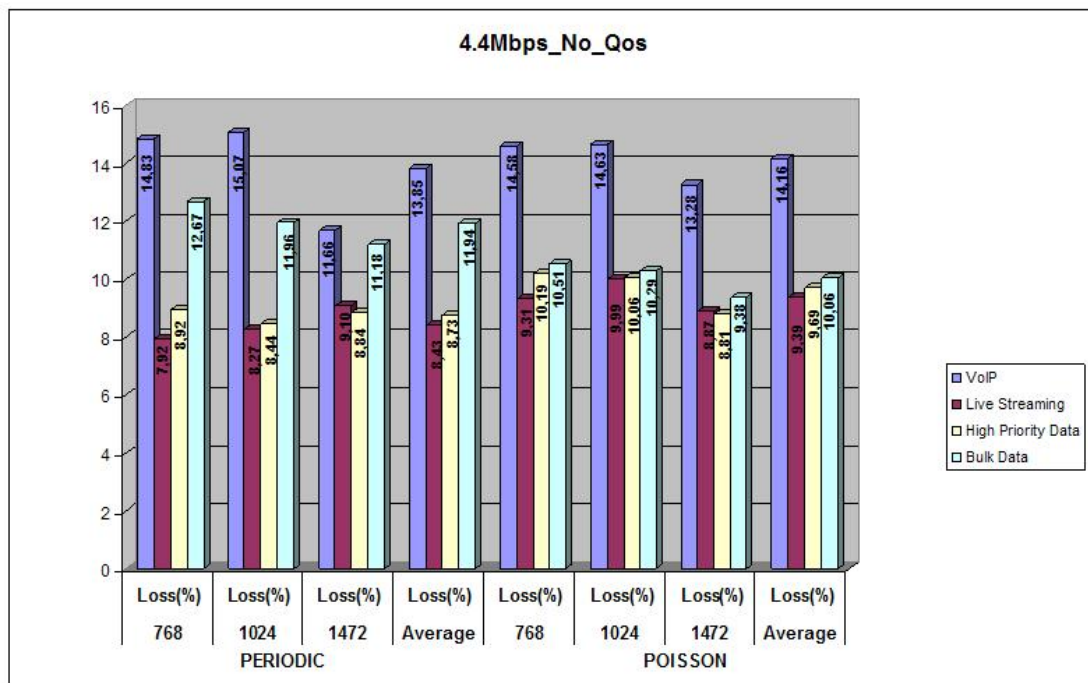
πρώτο γράφημα μια αύξηση των τιμών της κάθε υπηρεσίας σε σχέση με τα αντίστοιχα προηγούμενα γραφήματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στο δεύτερο γράφημα να μην υπάρχει μια γενικότερη μείωση της απώλειας πακέτων στις υπόλοιπες υπηρεσίες, κατά ένα ποσοστό 65%-100%

σε σχέση με το 1^ο γράφημα, αλλά που βέβαια είναι αυξανόμενη η απώλεια των πακέτων μαζικής μεταφοράς δεδομένων (Bulk Data) σε σύγκριση με το αντίστοιχο προηγούμενο γράφημα.

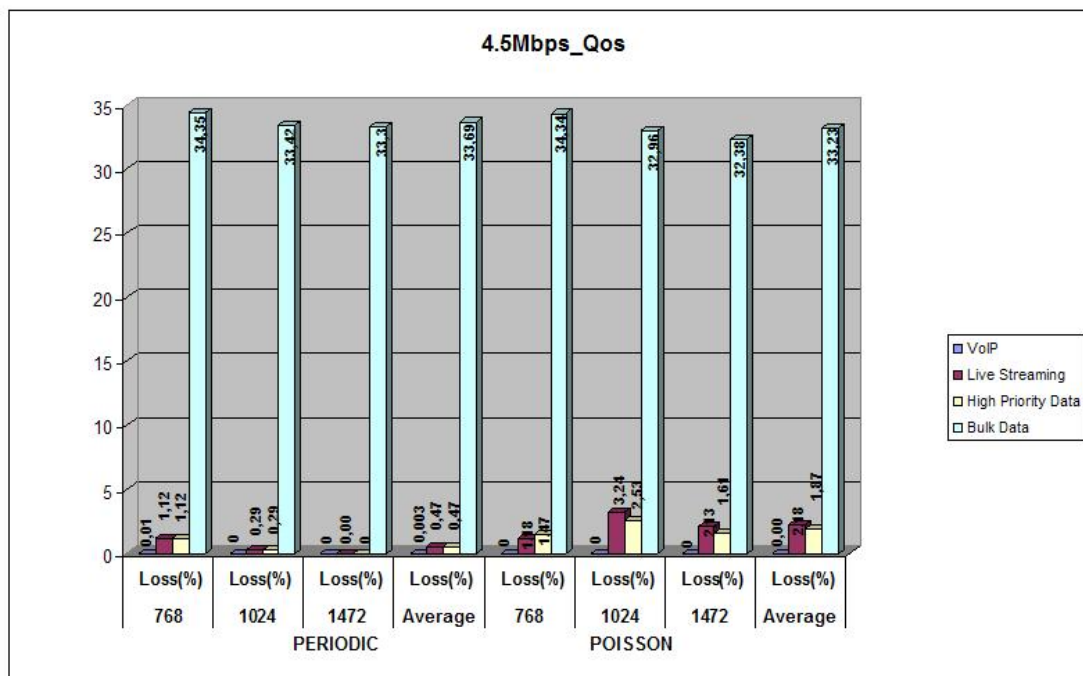
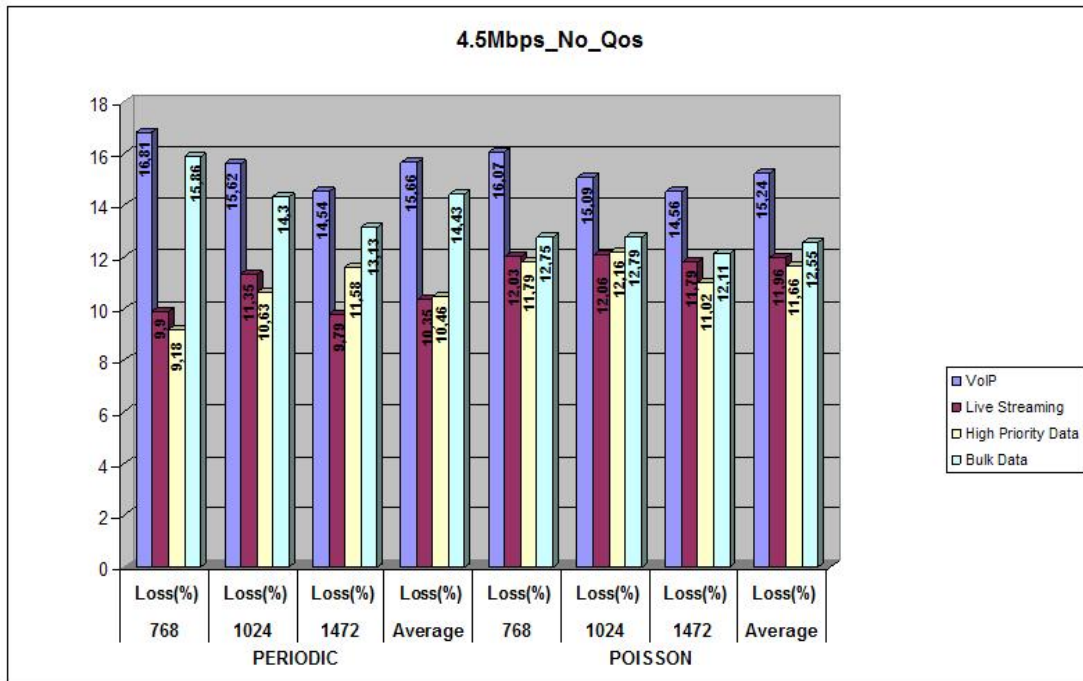


Στο παραπάνω γράφημα βλέπεται την αύξηση του εύρους ζώνης κατά 300Kbps της υπηρεσίας Bulk Data, Έχουμε στο πρώτο γράφημα μια αύξηση των τιμών της κάθε υπηρεσίας σχέση με τα αντίστοιχα προηγούμενα γραφήματα. Εδώ στο δεύτερο γράφημα παρατηρούμε αυξομειώσεις στις απώλειες των πακέτων για κάθε μέγεθος σε σχέση πάντα με το αντίστοιχο προηγούμενο γράφημα. Επίσης, διαπιστώνεται και εδώ ότι στην υπηρεσία Bulk Data αυξάνονται διαδοχικά οι τιμές με την σταδιακή αύξηση του εύρους ζώνης ανά 100 Kbps. Αυτό που παρατηρείται σαν διαπίστωση είναι ότι και πάλι με βάση το πίνακα (QoS Metrics) δεν ξεπερνιούνται τα ανώτατα όρια των αναγραφόμενων τιμών, με αποτέλεσμα το δίκτυο και σε αυτές τις μετρήσεις να λειτουργεί ικανοποιητικά.

Στο ακόλουθο σχεδιάγραμμα η αύξηση του εύρους ζώνης κατά 400Kbps της υπηρεσίας Bulk Data, έχει ως αποτέλεσμα το πρώτο γράφημα να έχει μια αύξηση των τιμών της κάθε υπηρεσίας σχέση με τα αντίστοιχα προηγούμενα γραφήματα. Εδώ στο



δεύτερο γράφημα παρατηρούμε αυξομειώσεις στις απώλειες των πακέτων για κάθε μέγεθος σε σχέση πάντα με το αντίστοιχο προηγούμενο γραφήμα.Επισης,διαπιστώνεται και εδώ ότι στην υπηρεσία Bulk Data αυξάνονται διαδοχικά οι τιμές με την σταδιακή αύξηση του εύρους ζώνης ανά 100 Kbps.

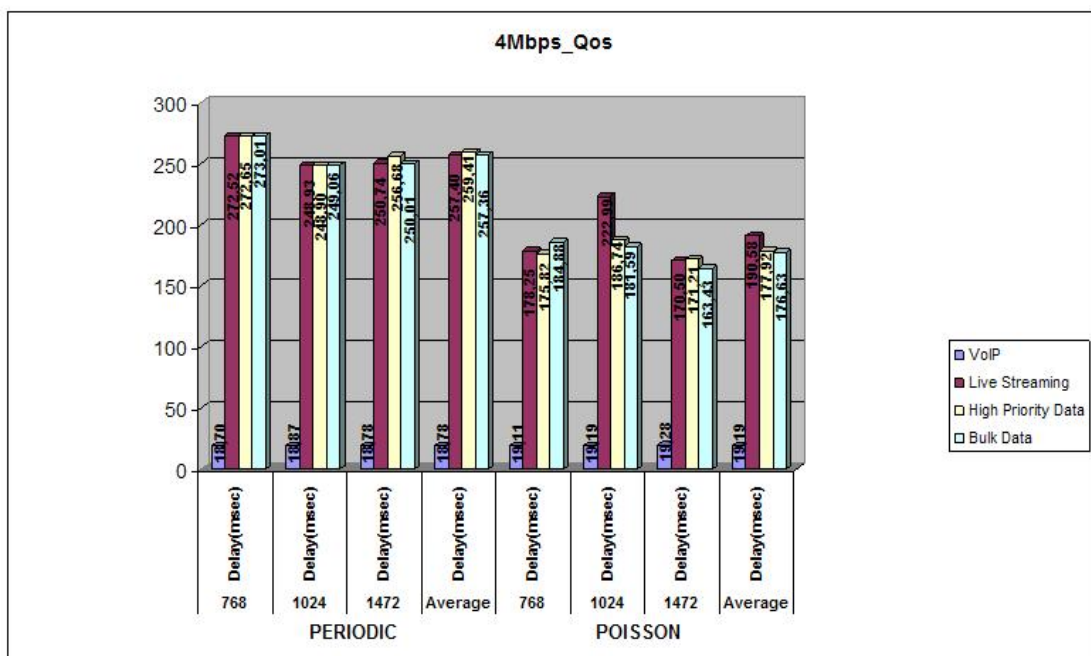
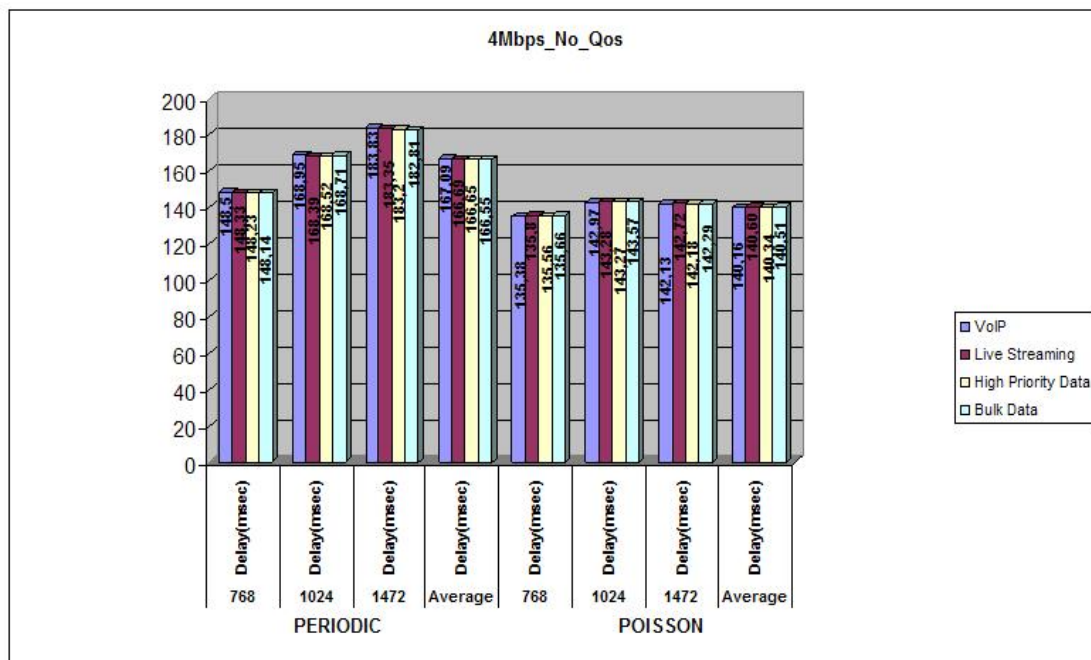


Στο τελευταίο γράφημα παρατηρείται κατά την αύξηση του εύρους ζώνης κατά 500Kbps της υπηρεσίας Bulk Data. Διαπιστώνεται ξανά ότι στο πρώτο γράφημα υπάρχει μια αύξηση των τιμών της κάθε υπηρεσίας σχέση με τα αντίστοιχα προηγούμενα γραφήματα.Ενω στο δεύτερο γράφημα παρατηρούνται μικρές αυξομειώσεις στις απώλειες των πακέτων για κάθε μέγεθος σε σχέση πάντα με το

αντίστοιχα προηγούμενα γραφήματα. Συμπερασματικά, παρατηρείται ότι το δίκτυο και πάλι λειτουργεί ικανοποιητικά για τις άλλες τρεις υπηρεσίες που είναι μεγαλύτερης προτεραιότητας,ακόμα και σε περιπτώσεις κορεσμού η επικοινωνία παραμένει σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα αφού δεν έχουμε μεγάλο ποσοστό της απώλειας των πακέτων.

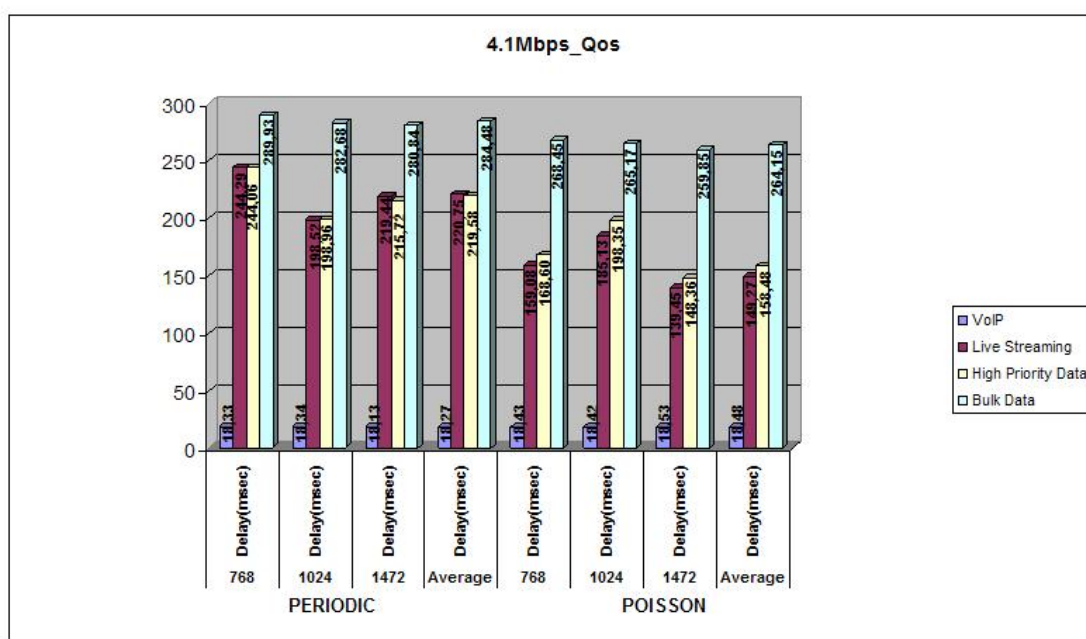
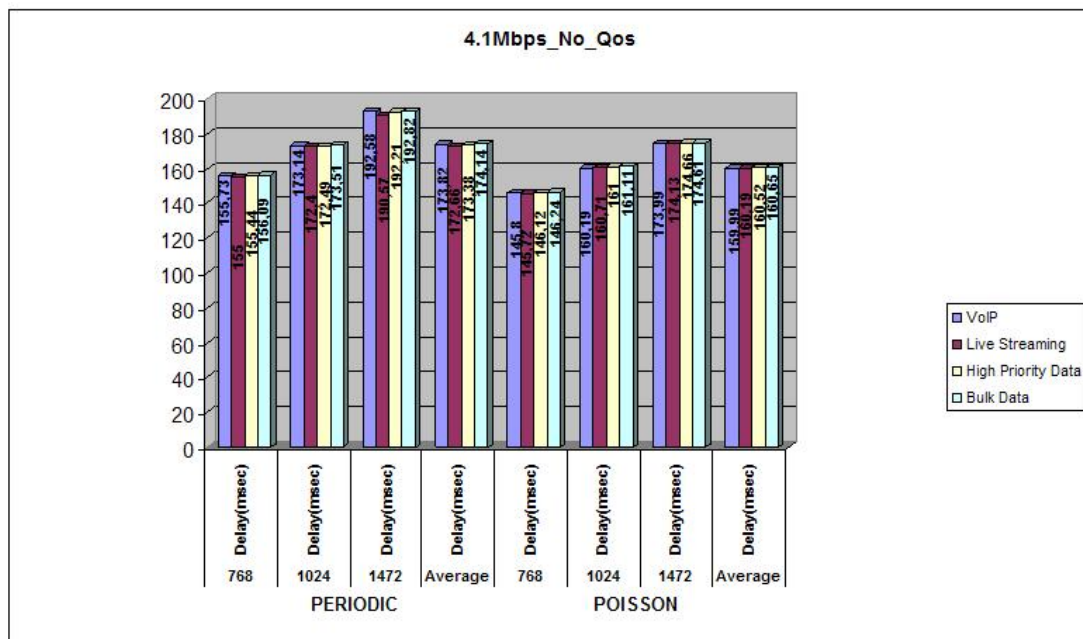
5.4.2 Αποτελέσματα Υπηρεσιών για Καθυστέρηση Πακέτων

Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζεται το ποσοστό των πακέτων που καθυστέρησαν για κάθε μέγεθος πακέτου καθώς και το είδος της κίνησης με τα οποία εστάλησαν τα πακέτα. Επίσης αναφέρεται και το εύρος ζώνης αυξάνοντας κάθε φορά την κίνηση κατά 100Kbps.Στο πρώτο γράφημα φαίνεται η καθυστέρηση (msec) των πακέτων χωρίς παροχή ποιότητας υπηρεσίας (QoS).Στο Δεύτερο με την προτεινόμενη παροχή υπηρεσιων,παρατηρειται η μείωση του ποσοστού της καθυστέρησης πακέτων στην συγκεκριμένη υπηρεσία που μας ενδιαφερει.Αυτο σημαίνει ότι το πρότυπο

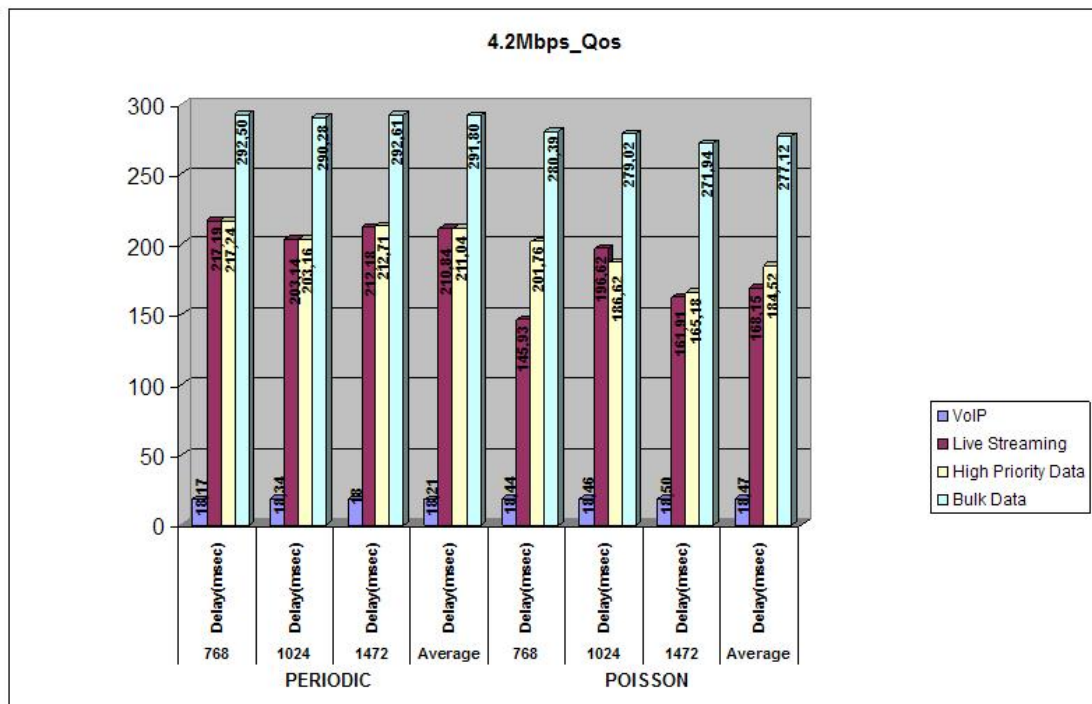
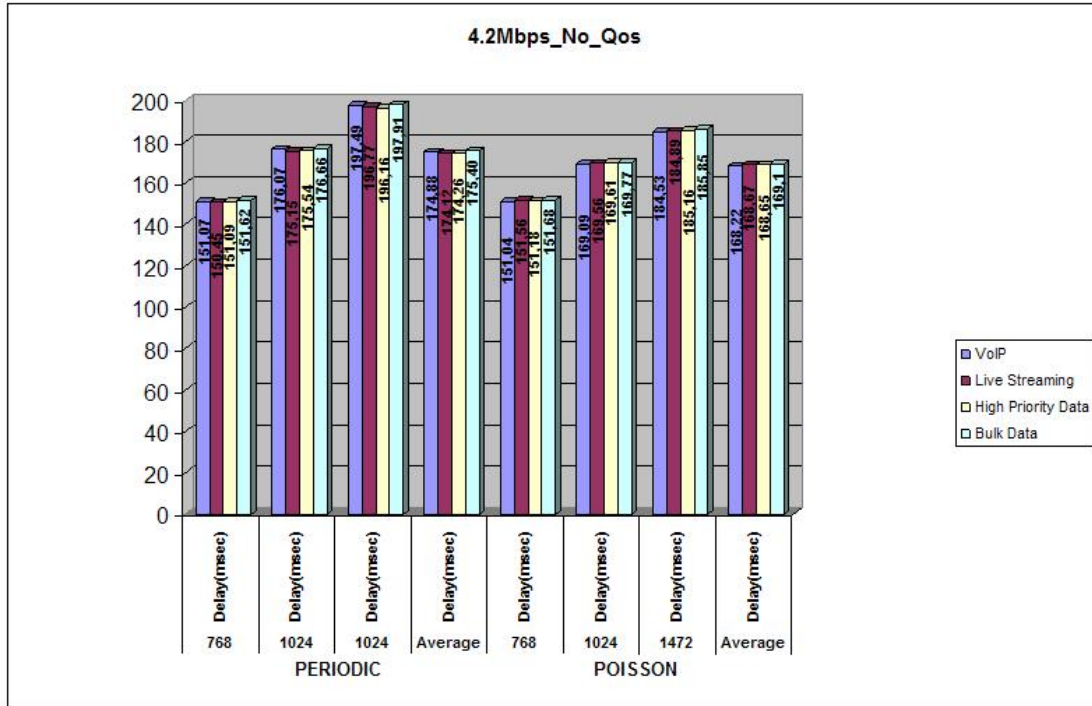


επιτάσσει συγκεκριμένα κάποιες τιμές για ορθή επικοινωνία και λήψη των δεδομένων.

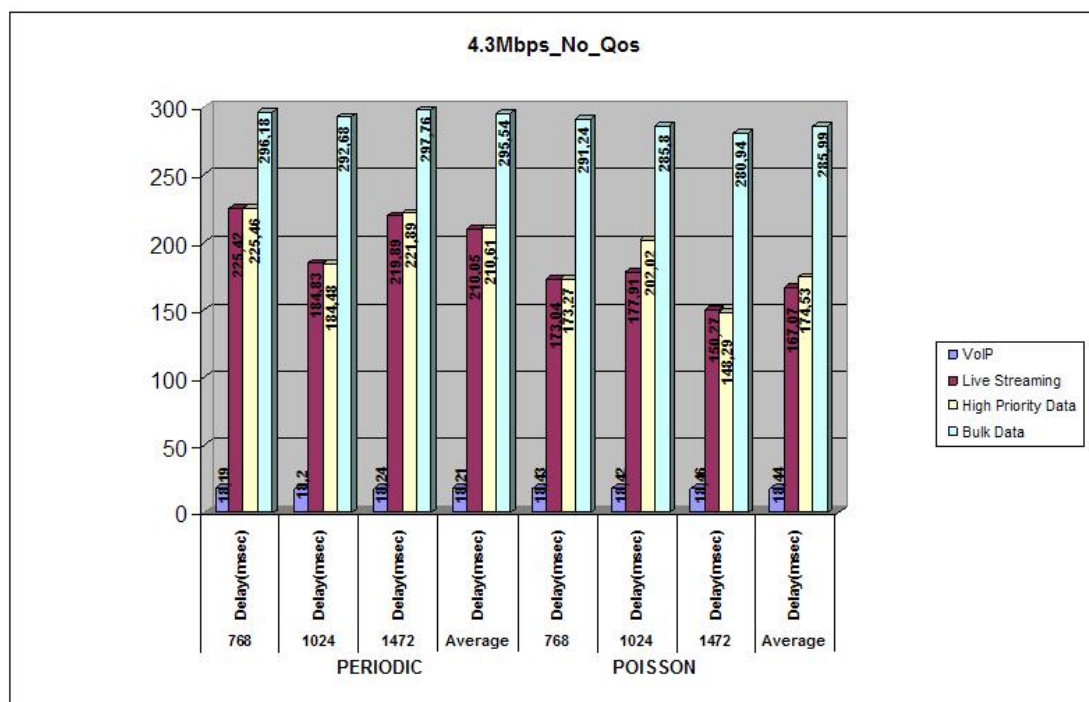
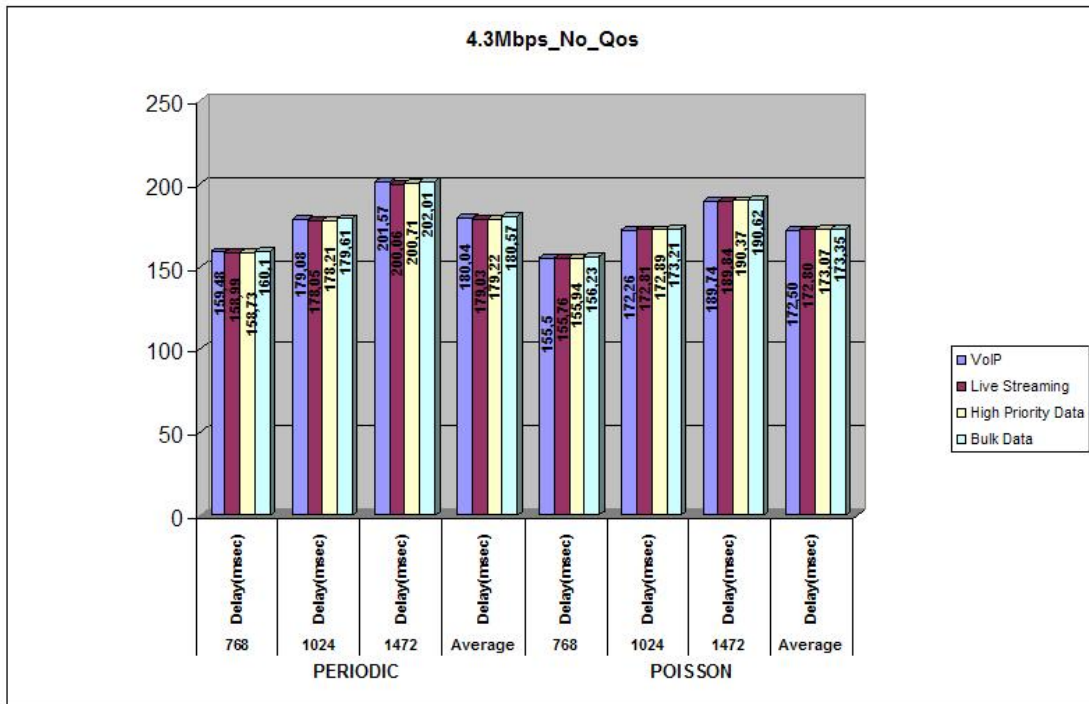
Όπως παρατηρείται και τα δυο γραφήματα διαπιστώνεται ότι ο χρόνος καθυστέρησης του πακέτου για τηλεφωνία μέσω διαδικτύου(VoIP) υπηρεσία έχει μειωθεί κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό με την προτεινόμενη παροχή υπηρεσιων,και αυτό διότι με βάση τον πίνακα που αναγράφει τα επιτρεπτά όρια για κάθε μέγιστη τιμη,πρέπει να κυμαίνεται η κάθε τιμή μέσα σε αυτά τα όρια ώστε να υπάρχει αξιοπιστία και σωστή λήψη δεδομενων.Βλεπουμε ότι με Poisson κίνηση έχουμε μικρότερη καθυστερήσει σε όλα τα μεγέθη των πακετων.Επιπροσθετα κάθε υπηρεσία χρησιμοποιεί συγκεκριμένους αλγοριθμους,ετσι ώστε να προστατεύεται η υπηρεσία με την μεγαλύτερη προτεραιότητα.



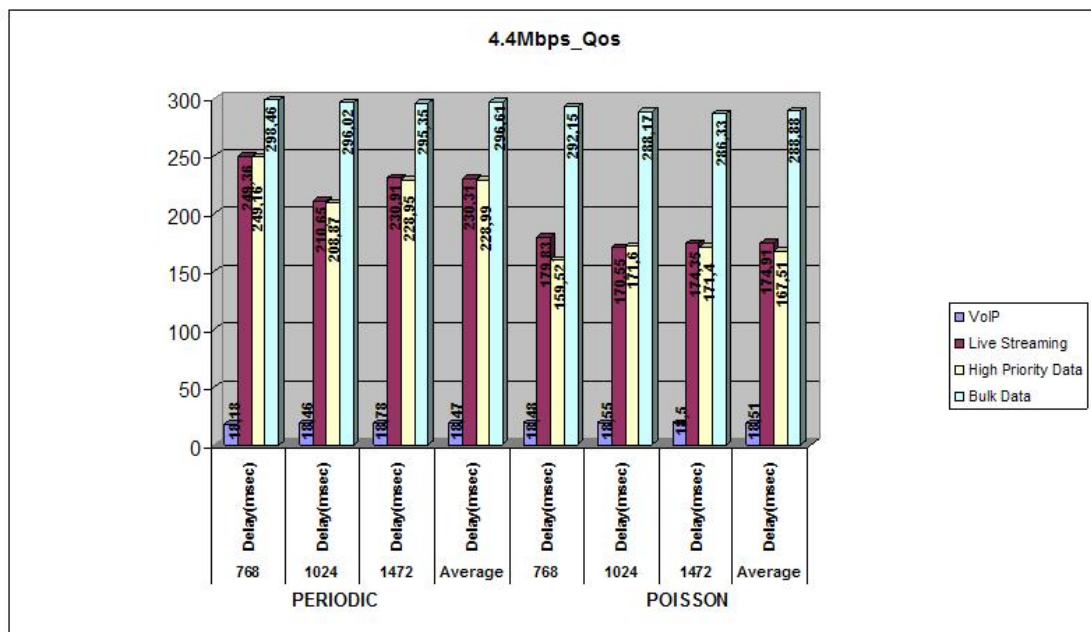
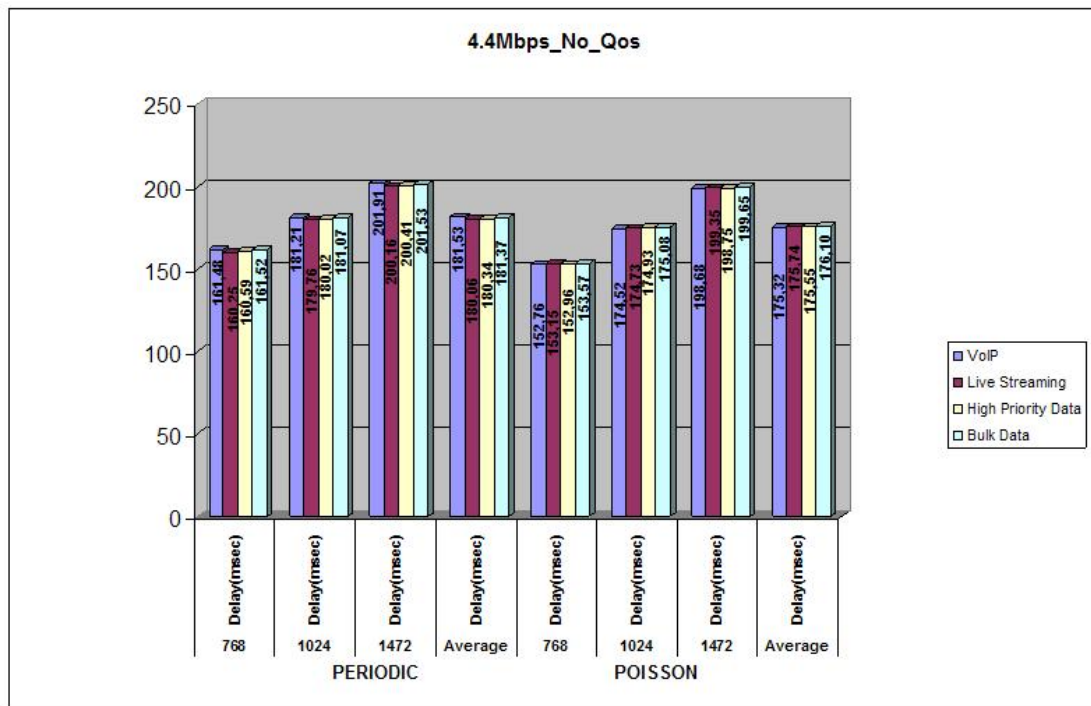
Γνωρίζοντας ότι η μέγιστη χωρητικότητά του δίκτυο είναι 4 Mbps,αυξάνοντας λοιπόν κατά 100Kbps την υπηρεσία **Bulk Data** δημιουργείται συμφόρηση στο δίκτυο.Θεωρώντας ότι στην υπηρεσία αυτή έχει οριστεί ότι αντιστοιχούν τα λιγότερο σημαντικά δεδομένα,βλεπουμε,στο δεύτερο γραφημα,μια μείωση των άλλων υπηρεσιών σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα και μια φυσιολογική αύξηση της συγκεκριμένης υπηρεσίας.



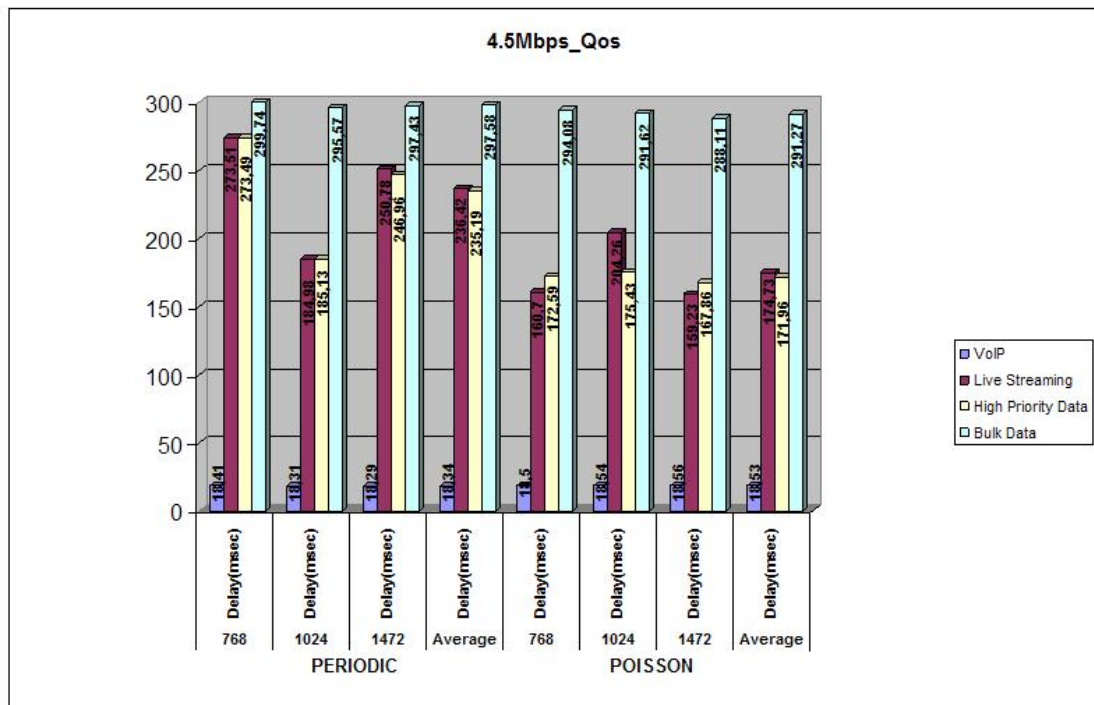
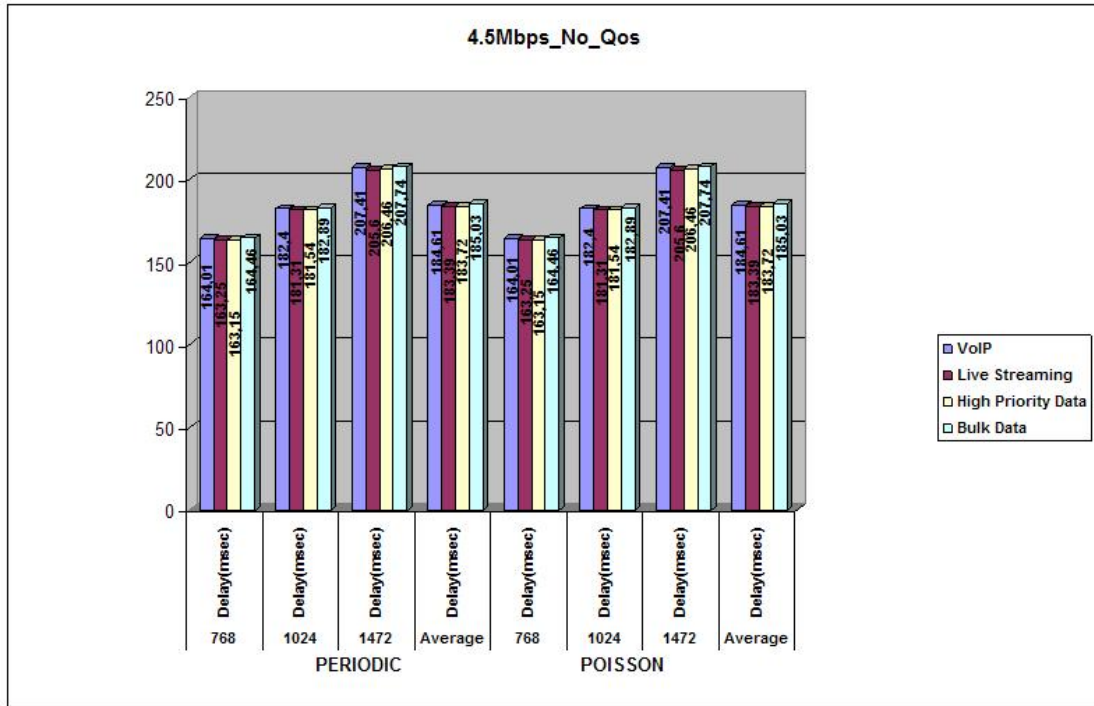
Αυξανοντας,τωρα κατά 200Kbps την υπηρεσία **Bulk Data** το δίκτυο συνεχίζει και ξεπερνά το επίπεδο **κορεσμού (4 Mbps)**. Παρατηρείται, στο δεύτερο γραφημα, μια αυξομείωση κάποιων υπηρεσιών ανάλογα με το μέγεθος του πακέτου και της κίνησης (*Periodic Possion*) σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα και μια επιπλέον φυσιολογική αύξηση της συγκεκριμένης υπηρεσίας.



Στο παραπάνω σχεδιάγραμμα, αυξάνεται το εύρος ζώνης κατά 300Kbps στην υπηρεσία **Bulk Data** και το δίκτυο παραμένει σε επίπεδο **κορεσμού (4 Mbps)**. Παρατηρείται, ακριβώς ότι και στο προηγούμενο γραφημα, μια αυξομείωση κάποιων υπηρεσιών ανάλογα με το μέγεθος του πακέτου και της κίνησης (*Periodic Passion*) καθώς και μια επιπρόσθετη φυσιολογική αύξηση της συγκεκριμένης υπηρεσίας. Αυτό που παρατηρείται σαν διαπίστωση είναι ότι και πάλι με βάση το πίνακα (QoS Metrics) δεν ξεπερνιέται το ανώτατο όριο των αναγραφόμενων τιμών με αποτέλεσμα το δίκτυο και σε αυτές τις μετρήσεις να λειτουργεί ικανοποιητικά.



Συνεχίζοντας,την αύξηση του εύρους ζώνης κατά 400Kbps στην υπηρεσία Bulk Data το δίκτυο φαίνεται να έχει φτάσει στο μέγιστο σημείο. Παρατηρούνται, μικρές αυξομειώσεις σε σχέση με το προηγούμενο γράφημα καθώς και μια πολύ μικρή αύξηση της καθυστέρησης της συγκεκριμένης υπηρεσίας (Bulk Data) σε msec.



Στο Τελευταίο σχεδιάγραμμα ,αυξάνεται το εύρος ζώνης συν 100Kbps (500 Kbps) στην υπηρεσία **Bulk Data** το δίκτυο φαίνεται να έχει φτάσει στο μέγιστο σημείο.Βλεπουμε,παλι μικρές αυξομειώσεις σε σχέση με το προηγούμενο γράφημα καθώς και μια πολύ μικρή αύξηση της καθυστέρησης της συγκεκριμένης υπηρεσίας (Bulk Data) σε msec.

5.5 Συμπεράσματα

Κλείνοντας, μετά την προσομοίωση του πειράματος,την μελέτη και ανάλυση όλων των παραπάνω γραφημάτων, διαπιστώνεται πως με την συγκεκριμένη πρόταση παροχής υπηρεσίας παρατηρείται μια διαφορετική κατανομή του εύρους ζώνης για κάθε υπηρεσία. Όπως διαπιστώνεται, η υπηρεσία που «παραμετροποιείται», για να τροποποιηθούν οι άλλες τρεις υπηρεσίες, έχει ως αποτέλεσμα, να διασφαλίζει απόλυτα την αξιοπιστία της αρχικής μελέτης και του αρχικού σχεδιασμού του σεναρίου υλοποίησης. Η υπηρεσία της τηλεφωνίας μέσω διαδικτύου (**VoIP**), η υπηρεσία μετάδοσης οπτικοακουστικού υλικού σε πραγματικό χρόνο (**Live Streaming**), καθώς και η υπηρεσία για δεδομένα υψηλής προτεραιότητας (**High Priority Data**) παραμένουν στην ουσια,ακομα και στον κορεσμό του δικτυου,σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Η παρουσία του Measurement Server έχει σκοπό, να βοηθήσει στην καταγραφή των αρχικών και των τελικών μετρήσεων, ώστε να υπάρχει πλήρη εικόνα της προσομοίωσης του πειράματος. Σε πραγματικές συνθήκες υλοποίησης του πειράματος ο Measurement Server δεν είναι απαραίτητος.

Πέρα, των μετρήσεων πραγματοποιηθηκε,για του λόγου το αληθες,και το πρακτικό σκέλος. Έχοντας τα κατάλληλα προγράμματα υλοποίησης για κάθε μια από τις υπηρεσίες, διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχαν προβλήματα παροχής για την διαδικτυακη τηλεφωνική επικοινωνία (**VoIP**) ακόμα και σε σημείο κορεσμού του δικτύου. Επίσης υπήρχε καθαρή απεικόνιση για (**Live Streaming**), καθώς και τα σημαντικά δεδομένα (**High Priority Data**), διακινούνταν μέσα στο δίκτυο με ικανοποιητικό ρυθμό και με ασφάλεια. Αυτό δείχνει ότι δεν υπήρχε υψηλή καθυστέρηση (πάνω από τα όρια του **QoS Metrics**) ώστε να υπάρξει κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα για παράδειγμα (κάποιες μικρό-διακοπές κατά την διάρκεια της διαδικτυακης επικοινωνιας, ή κακή και αργή απεικόνιση ενός Video, ή απώλεια πακέτων που περιέχουν σημαντική πληροφορία). Έτσι συμπεραίνεται ότι η προτεινόμενη παροχή υπηρεσιών εγγυάται μια αξιόπιστη επικοινωνία, αφού δεν έχουμε πολύ μεγάλες καθυστερήσεις στα πακέτα, ακόμα και σε κορεσμό του δικτύου. Το δίκτυο, δηλαδή λειτουργεί ικανοποιητικά και σε αυτές τις τιμές και των «θεωρητικών» και των «πρακτικών» μετρήσεων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Κεφάλαιο 1

- [1] <http://www.techteam.gr/wiki/WiMAX>
- [2] Βασδάρης Θωμάς, Τσελίκης Παναγιώτης, “Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα WiMAX”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτ. 2006.

Κεφάλαιο 2

- [1] Ιωάννης Α. Τερζάκης Δημήτριος Κ. Τσαπάρης Διπλωματική εργασία, «Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για πρόσβαση και διασύνδεση. Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών Δικτύου» Αθήνα, Απρ. 2007.
- [2] <http://www.techteam.gr/wiki/WiMAX>
- [3] <http://ru6.cti.gr/broadband/el/wimax.php>
- [4] http://www.commsdesign.com/design_corner/showArticle.jhtml
- [5] <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/>
- [6] IEEE 802.16 and WiMAX - Broadband Wireless Access for Everyone, Intel Corporation, White Paper, 2003
- [7] <http://broadband.cti.gr/el/wimax.php>
- [8] Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions/ WiMAX and WiFi solutions, Intel Corporation whitepaper, June 2004
- [9] www.wikipedia.org
- [10] Mobile WiMAX-Part 1: Overview and Performance Evaluation, WiMAX Forum, March 2006
- [11] The WiMAX Forum Certified Program for Fixed WiMAX, WiMAX Forum, May 2006

Κεφάλαιο 3

- [1] Sam W. Ho, Adaptive Modulation (QPSK, QAM), Intel Communications Group
- [2] Dusan Matiae, OFDM as a possible modulation technique for multimedia applications in the range of mm waves, 30 Oct. 1998
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing
- [4] Eugene Crozier (System Architect, SR Telecom), Allan Klein (VP System and Technology, SR Telecom), WiMAX's technology for LOS and NLOS environments, WIMAX forum.
- [5] Ιωάννης Α. Τερζάκης Δημήτριος Κ. Τσαπάρης Διπλωματική εργασία, «Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για πρόσβαση και διασύνδεση. Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών Δικτύου» Αθήνα, Απρ. 2007.
- [6] Deploying License-Exempt WiMAX solutions, Intel Corporation whitepaper, May 2005
- [7] www.wikipedia.org

Κεφάλαιο 4

- [1] Παπαγεωργίου Ν. Βάσος, “Μελέτη τεχνικών QoS σε δίκτυα IPv6”, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πάτρας, Πάτρα, Ιούλιος 2004
- [2] Βενιέρης Στ. Ιάκωβος, Νικολούζου Ευγενία, “Τεχνολογίες Διαδικτύου”, 2η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα
- [3] James F. Kurose, Keith W. Ross, “Δικτύωση Υπολογιστών”, εκδόσεις Γκιούρδας
- [4] Παπαχαραλάμπους Αναστάσιος, “Μελέτη υποστήριξης υπηρεσιών Quality of Service σε IPv6 δίκτυα”, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πάτρας, Πάτρα 2005
- [5] “WiMAX”, Shashi Jakku
- [6] Ιωάννης Α. Τερζάκης Δημήτριος Κ. Τσαπάρας Διπλωματική εργασία, «Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για πρόσβαση και διασύνδεση. Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών Δικτύου» Αθήνα, Απρ. 2007.

ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΗΓΕΣ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ

WiMAX Forum (www.wimaxforum.org) - WiMAX Forum Whitepapers, περιεχόμενα ιστοσελίδων WiMAX Forum και παραπομπές (links).

Περιεχόμενα ιστοσελίδων, Whitepapers και Positionpapers Εταιρειών από δικτυακούς τόπους Μελών του WiMAX Forum (Νοέμβριος 2006).

www.wimax.org

WiMAX Forum, “WiMAX’s Technical Advantage for Coverage in LOS and NLOS Conditions”, Aug 2004.

“The Advantages of TDD over FDD in Wireless Data Applications”, Raza WiMax Forum Whitepaper, “WiMAX Deployment Considerations for Fixed

Wireless Access in the 2.5 GHz and 3.5 GHz Licensed Bands”, June 2005.

Intel Whitepaper, “Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions”, 2004

Intel Paper 2004, “Orthogonal Frequency Division Multiplexing”

Cisco Systems 2000, “Basics of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)”, Greg DesBrisay, Cisco Systems, Inc., Consulting Systems Engineer Wireless

“Introduction to WiBro Technology”, September 10, 2004.

WiMax Forum Whitepaper, “Business Case Models for Fixed Broadband Wireless Access based on WiMAX Technology and the 802.16 Standard”, October 10, 2004

“WiFi and WiMAX Networks”, Κατσιδου Μαρία, Θεσ/νίκη, Δεκ. 2005

ΧΡΗΣΤΟΣ Ι. ΜΠΟΥΡΑΣ, “ΔΙΚΤΥΑ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ”, ΠΑΝΕΠΙΣΤ/ΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΠΑΤΡΑ 2005

Παράρτημα Α ’: Ακρωνύμια

3G	3rd Generation
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AES-CCM	Advanced Encryption Std–Counter with Cipher-block
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
DES	Data Encryption Standard
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DiffServ	Differentiated Services Framework
DSCP	DiffServ Code Point
DSL	Digital Subscriber Line
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EAP	Extensible Authentication Protocol
FDD	Frequency Division Duplex
FFT	Fast Fourier Transform
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System ²
GSM	Global System for Mobile communications
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMS	IP Multimedia System
IntServ	Integrated Services Architecture
IntServ	Integrated Services Architecture
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol TeleVision
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunications Union
ITU-R	International Radiocommunications Union

LAN	Local Area Network
LOS	Line Of Sight
LS	Least Squares
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MIMO	Multiple-In-Multiple-Out
MPLS	MultiProtocol Label Switching
NLOS	Non Line of Sight
nrtPS	Non-Real-Time Polling Services
ODU	OutDoor Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PHB	Per-Hop Behavior
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quatradure PSK
RSVP	Resource Reservation Protocol
rtPS	Real-Time Polling Services
SLA	Service Level Agreement
SNR	Signal to Noise Ratio
SOFDMA	Scalable OFDMA
SS	Subscriber Station
TCP	Transport Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
ToS	Type of Service
TTG	Transmit Transition Gap
UDP	User Datagram Protocol
UGS	Unsolicited Grant Service
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VLAN	Virtual Local Area Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
WEP	Wired Equivalent Privacy
WFQ	Weighted Fair Queuing
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Wireless Interoperability for Microwave Access
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WRR	Weighted Round Robin

Παράρτημα Β ’: WiMAX στην υγεία

Επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

Εξαρτώνται κυρίως από δύο παράγοντες:

Τη Συχνότητα Εκπομπής: Για συχνότητες που ανήκουν στο ραδιοφάσμα (υπηρεσίες ραδιοφωνίας, τηλεόρασης, κινητής τηλεφωνίας), η εκπεμπόμενη ακτινοβολία ονομάζεται «μη ιονίζουσα», διότι δεν μπορεί να δημιουργήσει ιόντα μέσα στην ύλη, δηλαδή (με επιστημονικούς όρους) το φωτόνιό της δεν έχει αρκετή ενέργεια, ώστε να εκδιώξει ένα ηλεκτρόνιο από ένα άτομο της ύλης. Αντιθέτως, σε πολύ υψηλές συχνότητες (π.χ. ακτίνες X) η ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει ιονισμό, επομένως άμεση βλάβη στη βιολογική ύλη, και ονομάζεται «ιονίζουσα». Στις ραδιοσυχνότητες, έχει διαπιστωθεί ότι οι κύριες επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι θερμικές.

Την Ισχύ Εκπομπής: Υπάρχουν διάφορα μεγέθη που ποσοτικοποιούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, με το πιο ευρέως διαδεδομένο στις ραδιοσυχνότητες την Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (συμβολίζεται με E και μετριέται σε Βολτ (Volt) ανά μέτρο). Άλλα μεγέθη είναι η Ένταση του μαγνητικού πεδίου (συμβολίζεται με H και μετριέται σε Αμπέρ ανά μέτρο), η Μαγνητική Επαγωγή πεδίου (συμβολίζεται με B και μετριέται σε Τέσλα) και η Πυκνότητα Ροής Ισχύος (συμβολίζεται με S και μετριέται σε Βατ (Watt) ανά τετραγωνικό μέτρο).

Παρακάτω βρίσκονται μελέτες που έχουν γίνει ανά τον κόσμο για τις επιδράσεις που μπορεί να έχει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στον ανθρώπινο οργανισμό. Παρόλα αυτά, όσο αφορά το εύρος των 2,4GHz οι μελέτες που υπάρχουν είναι πολύ λίγες, καθώς η ισχύς που χρησιμοποιούν τα ασύρματα τερματικά είναι πολύ μικρή. Αντίστοιχα, μπορούμε εύκολα να βρούμε έναν μεγάλο αριθμό από μελέτες και έρευνες που έχουν γίνει για την επίδραση των κινητών τηλεφώνων, αφού αυτά χρησιμοποιούν τουλάχιστον την δεκαπλάσια ισχύ σε σχέση με τα ασύρματα τερματικά και είναι πολύ περισσότερο διαδεδομένα.

Από αυτά τα πειράματα μαζί με άλλα που έχουν γίνει πάνω σε ανθρώπινα ομοιώματα, μετρώντας την άνοδο της θερμοκρασίας που η ακτινοβολία προκαλούσε και συνυπολογίζοντας το Specific Absorption Rate (SAR) (μέτρο που έχει καθορίσει η FCC (Federal Communications Commission) για το ποσοστό απορρόφησης της ακτινοβολίας από το σώμα) βρέθηκαν (όπως αναλύεται και στις διαφάνειες του κ. Νικήτα Γιαννάκου[10]) τα ακόλουθα μεγέθη για την ένταση του πεδίου σε σχέση με τα όρια του ανθρώπινου οργανισμού:

1 μέχρι 10 mW/cm² Είναι επιτρεπτή η έκθεση λίγες ώρες κάθε 24ωρο Πάνω από 10 mW/cm²

ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.

Το προσωπικό δεν πρέπει να εκτίθεται σε ακτινοβολία αυτού του μεγέθους Έργο «Προώθηση της ευρυζωνικής πρόσβασης Επιπτώσεις ασύρματων δικτύων στους νομούς της Περιφέρειας Πελοποννήσου» επικοινωνιών στην δημόσια υγεία 29 Ιουνίου 2005 Σελίδα 15 © Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αν υπερβούμε το 1mW/cm² η άνοδος της θερμοκρασίας θα μας προκαλέσει μη αντιστρεπτή μεταβολή στα κύτταρα μας.

Επίσης άλλες έρευνες, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από την FCC, έχουν καταλήξει ότι μπορούμε να υπολογίσουμε μια απόσταση ασφαλείας για κάθε πηγή σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο :

$$R_{min} = \sqrt{N \cdot 10(G-L)/10} \cdot P/\sqrt{4 \pi S}$$

Όπου:

- **G το κέρδος (gain) της κεραίας**
- **P η ισχύς εισόδου στην κεραία**
- **L απώλειες (dB) μεταξύ πομπού - κεραίας**
- **N αριθμός πομπών συνδεδεμένοι με την κεραία**
- **S μέγιστη επιτρεπόμενη πυκνότητα ισχύος (W/m²)**

Υπολογίζοντας μάλιστα για κάποιες ενδεικτικές τιμές έχουμε έτσι σε πραγματικές συνθήκες, ανάλογα με την περίπτωση, υπολογίζουμε ότι

• Ένα WiFi τερματικό, όπου η EIRP περιορίζεται εκ του νόμου στα 100mW, δηλαδή 0,1Watt έχει απόσταση ασφαλείας τα 10cm

• Ένα κινητό GSM εκπέμπει 1 με 2 Watt (όταν είναι μακριά από το σταθμό βάσης του), άρα η απόσταση ασφαλείας είναι 30cm

• Μία κεραία κινητής τηλεφωνίας στη χειρότερη περίπτωση έχει 40Watt ισχύ, με κέρδος κεραίας 10db, άρα EIRP=400Watt, άρα η ελάχιστη απόσταση είναι 6 μέτρα

• Ένας πομπός ραδιοφώνου ή τηλεόρασης με ισχύ 30000Watt έχει ελάχιστη απόσταση 30μέτρα

Εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε πως η ισχύς εκπομπής καθώς και η απόσταση ασφαλείας των ασυρμάτων δικτύων είναι κατά πολύ μικρότερα αυτών των κινητών τηλεφώνων. Από τα παραδείγματα βλέπουμε πως μια κεραία ασυρμάτων δικτύων εκπέμπει στα 0,1Watt, ενώ μια κεραία κινητής τηλεφωνίας στα 40Watt, με αποστάσεις ασφαλείας 10cm στα ασύρματα και 6 μέτρα στα κινητά!

Παράρτημα Γ': Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Τεχνικά Χαρακτηριστικά BreezeMAX

Series (band)	Duplex Separation	Uplink Frequency	Downlink Frequency
3.3e	50 MHz	3366-3385 MHz	3316-3335 MHz
3.3f	50 MHz	3381-3400 MHz	3331-3350 MHz
3.3g	-76 MHz	3300-3324 MHz	3376-3400 MHz

Micro Base Station Indoor Unit



Σταθμός βάσης



Έχει ως σκοπό να παρέχει το υψηλό κέρδος συστημάτων



Μεταφέρει το σήμα ανάμεσα στο Micro Base Station και στο ODU.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά BreezeMAX PRO-S CPE



ODU Subscriber Unit (SU)

Εγκαθίσταται στην πλευρά πελατών, περιλαμβάνει μια υπαίθρια μονάδα (ODU) και μια εσωτερική μονάδα (IDU).



IDU Subscriber Unit (SU)

Η εσωτερική μονάδα τροφοδοτείται από τους κεντρικούς αγωγούς και συνδέεται με το ODU μέσω ενός καλωδίου Ethernet

Υπάρχουν δύο Τύποι εσωτερικής μονάδας:

- Το bmax-CBE-idu-1D είναι το βασικό IDU, λειτουργώντας ως απλή μονάδα διεπαφών με έναν λιμένα 10/100BaseT Ethernet αυτός συνδέει με τον εξοπλισμό του χρήστη.
- Η IDU-NG-4D1W ασύρματη πύλη IDU δικτύωσης παρέχει τις προηγμένες ικανότητες δρομολόγησης και μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως ένα ασύρματο σημείο πρόσβασης του τοπικού LAN.