

Α.Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ

**ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ &
ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ**

Τομέας Τηλεπικοινωνιών & Πολυμέσων



**ΘΕΜΑ: «Παροχή ποιότητας υπηρεσιών σε ετερογενή δίκτυα
κορμού»**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ της

Ευμορφίας Αλαπάνη

Ηράκλειο, Ιούνιος 2009

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου Ε. Πάλλη για τη δυνατότητα που μου έδωσε να εκπονήσω την παρούσα πτυχιακή εργασία σε έναν ενδιαφέρον τομέα, αυτόν των τηλεπικοινωνιών.

Επίσης, ευχαριστώ τον αγαπητό Ν. Ζώτο (Υποψήφιος Διδάκτωρ στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων) για την πολύτιμη βοήθεια του, τόσο κατά τη διάρκεια υλοποίησης του πειραματικού σταδίου της εργασίας, όσο και για τον χρόνο που αφιέρωσε να διαβάσει με επιμέλεια και μεγάλη σχολαστικότητα το αρχικό χειρόγραφο και για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Η ευθύνη για όποιες αδυναμίες παραλείψεις ή αβλεψίες βαρύνει αποκλειστικά εμένα.

Περιεχόμενα

	Σελ.
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7-8
2. ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	9
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QOS)	9
2.2 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΖΟΝΤΑΙ ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	9-10
2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	10
2.3.1 Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services)	10-11
2.3.2 Αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services)	12-16
2.4 ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΕ LINUX (Differentiated Services σε Linux)	16-18
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΟΡΜΟΥ	19
3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	19-20
3.2 MPLS ΚΑΙ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	20
3.2.1 Διασφάλιση Ποιότητας Υπηρεσίας σε MPLS δίκτυα	20-22
3.2.2 Integrated Services σε MPLS δίκτυα	22
3.2.3 Χρήση του RSVP σε MPLS δίκτυο για υποστήριξη Intserv	22-24
3.2.4 Differentiated Services σε MPLS δίκτυα	24-25
3.2.5 Χρήση των LDP και RSVP σε MPLS δίκτυο για υποστήριξη Diffserv	25-28
3.2.6 Συγκριση E-LSP και L-LSP	28-29
3.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΑ ATM ΔΙΚΤΥΑ	29
3.3.1 Εισαγωγή στην ποιότητα υπηρεσίας	29-30
3.3.2 Παραμετροί QOS στα ATM δίκτυα	30-32
3.3.3 Κατηγορίες Υπηρεσιών ATM	32
3.3.4 Εφαρμογή QOS στα ATM δίκτυα	32-34
3.3.5 Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις παραμέτρους QoS στο ATM	34
3.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ WiMAX	35
3.4.1 Μηχανισμοί Υποστήριξης QOS WiMax	35-36
3.4.2 Unsolicited Grant Service (UGS)	36
3.4.3 real-time Polling Service (rtPS)	36-37
3.4.4 non real-time Polling Service (nrtPS)	37
3.4.5 Best Effort (BE)	37

3.5	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 802.11e	37
	3.5.1 Μηχανισμοί Υποστήριξης QOS 802.11e	38
3.6	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 802.11a	39
	3.6.1 Μηχανισμοί Υποστήριξης QOS 802.11a	39-40
3.7	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 802.11b	40
	3.7.1 Μηχανισμοί Υποστήριξης QOS 802.11b	40-41
4.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	42
	4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	42
	4.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ QOS	43
5.	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ	45-51
	5.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	52-56
	5.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ WiMAX	57
6.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ	59

Περιεχόμενα Πινάκων & Σχημάτων

	Σελ.
Πίνακας 1- Εφαρμογές που χρειάζονται QoS	10
Πίνακας 2- Κλάσεις AF	16
Πίνακας 3- Υποστηριγμένες κατηγορίες κυκλοφορίας	44
Πίνακας 4- QoS Class	45
Πίνακας 5- Καθυστέρηση Δικτυού (χωρίς Diffserv)	53
Πίνακας 6- Απώλεια πακέτων (Χωρίς Diffserv)	54
Πίνακας 7- Καθυστέρηση Δικτύου & Απώλεια πακέτων (χωρίς Diffserv)	55
Πίνακας 8- Καθυστέρηση Δικτυού & Απώλεια πακέτων με Περιοδική κίνηση & κίνηση Poisson (με Diffserv)	56-57
Πίνακας 9- Αντιστοίχιση κλάσεων σε ενσύρματο και ασύρματο δίκτυο WiMax	57
Πίνακας 10-	58
Σχήμα 1- ToS	12
Σχήμα 2- Αρχιτεκτονική Diffserv	13
Σχήμα 3- Μηχανισμός Diffserv	14
Σχήμα 4- Linux Traffic Control	17
Σχήμα 5- Qdisc with filters and classes	17
Σχήμα 6- MPLS επικεφαλίδα	21
Σχήμα 7- Διανομή ετικέτας με χρήση του RSVP	23
Σχήμα 8- Αντιστοίχιση IP επικεφαλίδας με MPLS shim header για δημιουργία E LSP	27
Σχήμα 9- Αντιστοίχιση IP επικεφαλίδας με MPLS shim header για δημιουργία L- LSP	27
Σχήμα 10- Μοντέλο Προώθησης ετικετών	28
Σχήμα 11- Φυσική Σύνδεση	33
Σχήμα 12- Παράδειγμα ATM Δικτύου	34
Σχήμα 13- WiMax	35
Σχήμα 14- WiMax (2)	36
Σχήμα 15- 802.11.e	38
Σχήμα 16- 802.11e (2)	39
Σχήμα 17- 802.11a	40
Σχήμα 18- 802.11b	41
Σχήμα 19- Αρχιτεκτονική παροχής ποιότητας υπηρεσίας	42
Σχήμα 20- Πλατφόρμα	43
Σχήμα 21- Χρονοπρογραμματιστής πακέτων HTB και υποστηριγμένες DiffServ κατηγορίες	44
Σχήμα 22- HTB packet Scheduler	44

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

	Σελ.
Διάγραμμα 1.α.L	46
Διάγραμμα 1.α.D	50
Διάγραμμα 1.β.L	46
Διάγραμμα 1.β.D	50
Διάγραμμα 1.γ.L	47
Διάγραμμα 1.γ.D	51
Διάγραμμα 2.α.L	47
Διάγραμμα 2.α.D	51
Διάγραμμα 2.β.L	48
Διάγραμμα 2.β.D	52
Διάγραμμα 2.γ.L	48
Διάγραμμα 2.γ.D	52

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας οι διαθέσιμοι δικτυακοί πόροι σε ένα δίκτυο είναι συνήθως περιορισμένοι και συχνά δεν επαρκούν για να ικανοποιήσουν το σύνολο της κίνησης που παράγουν οι χρήστες. Η ύπαρξη περιόδων συμφόρησης στις γραμμές διασύνδεσης ή στις ουρές εξόδου των δρομολογητών κορμού είναι ένας από τους βασικότερους λόγους για την παραβίαση των εγγυήσεων απόδοσης κατά τη μεταφορά της κίνησης πάνω από δίκτυα μεταγωγής πακέτων IP. Στις περιπτώσεις αυτές παρατηρείται αύξηση του αριθμού των πακέτων που απορρίπτονται λόγω έλλειψης χώρου στους καταχωρητές (buffers) των δρομολογητών, αυξομειώνεται ο χρόνος κατά την μεταφορά των πακέτων, ελαττώνεται ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων κ.α.. Οι παραπάνω συνέπειες έχουν ως αποτέλεσμα πολλές δικτυακές εφαρμογές όπως α) εφαρμογές μεταφοράς φωνής πάνω από IP (VoIP, VoIP trunks), β) Τηλε-διάσκεψη (Videoconferencing), γ) μετάδοση υψηλής ποιότητας βίντεο (high quality video distribution), δ) εφαρμογές ροής ήχου και εικόνας (audio / video streaming) να μη λειτουργούν αποδοτικά. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός μηχανισμού παροχής εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας (QoS), με σκοπό την προστασία των δεδομένων από απώλειες και αλλοιώσεις σε τέτοιου είδους υπηρεσίες.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να επιλυθεί το παραπάνω πρόβλημα υλοποιώντας την ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία των **Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services)**, η οποία βρίσκει εφαρμογή σε πληθώρα τεχνολογιών δικτύωσης.

Η παρουσίαση της παρούσας εργασίας είναι λεκτική και διαγραμματική και αποτελείται από 4 κύρια κεφάλαια.

Στο πρώτο μέρος, το κεφάλαιο 2 περιλαμβάνει βασικές έννοιες που θα φάνουν χρήσιμες σε όλη την εργασία. Ορίζεται η ποιότητα υπηρεσίας QoS, αναφέρονται οι υπηρεσίες που χρειάζονται QoS καθώς επίσης αναλύονται 2 βασικές τεχνολογίες παροχής ποιότητας υπηρεσιών, η Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services) και η Αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services).

Στο δεύτερο μέρος, στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα ετερογενή δίκτυα και περιγράφεται πως οι Αρχιτεκτονικές που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο μπορούν να συνεργαστούν με το MPLS πρωτόκολλο και τι επεκτάσεις πρέπει να εφαρμοστούν στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να αναλύσει τις διάφορες τεχνολογίες δικτύωσης στα ετερογενή δίκτυα κορμού όπως η WiMax, η 802.11e, 802.11a, 802.11b. Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στην ποιότητα υπηρεσίας στα ATM δίκτυα.

Στο τρίτο μέρος, το κεφάλαιο 4, παρουσιάζεται αρχικά, μια πρότυπη αρχιτεκτονική που ενσωματώνει τον προτεινόμενο μηχανισμό παροχής ποιότητας υπηρεσίας καθώς επίσης αναφέρονται και οι κατάλληλες παραμετροποιήσεις που

έγιναν έτσι ώστε ο μηχανισμός αυτός να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τις κατάλληλες επεμβάσεις στις περισσότερες τεχνολογίες δικτύωσης κορμού.

Στο τέταρτο μέρος ,το κεφάλαιο 5,θα γίνει αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του πειράματος που πραγματοποιήθηκε καθώς και σχολιασμός αυτών. Τα πειραματικά αποτελέσματα θα συζητηθούν ως προς το πώς η αύξηση της δικτυακής κίνησης του δικτύου το επηρεάζουν και κατά πόσο ο μηχανισμός λειτουργεί παρέχοντας την καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσίας.

Τέλος αναφέρονται τα συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας . Παραθέτονται μια σειρά από ανοιχτά προβλήματα η επίλυση των οποίων αποτελεί τους μελλοντικούς στόχους .

2. ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QOS)

Το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που καθορίζεται μέσω σύμβασης υπηρεσίας ενός χρήστη δικτύων και ενός προμηθευτή δικτύων και εγγυάται ένα καθορισμένο επίπεδο bandwidth και ταχύτητας ροής δεδομένων (dataflow rates). Η ποιότητα υπηρεσιών υλοποιείται με απόδοση προτεραιοτήτων στις διαφορετικές συνδέσεις ενός δικτύου, έτσι ώστε όσες χρειάζονται σταθερούς πόρους (π.χ. εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως βιντεοδιάσκεψη ή άλλες υπηρεσίες πολυμέσων) να είναι βέβαιο ότι τους διαθέτουν. Οι εν λόγω πόροι διασφαλίζουν χαρακτηριστικά της σύνδεσης όπως τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, την απαιτούμενη καθυστέρηση, μεταβολή της καθυστέρησης, πιθανότητα απώλειας πακέτων κλπ. Οι μηχανισμοί ποιότητας υπηρεσιών παρέχουν εγγυήσεις για τη σταθερότητα ενός ή περισσότερων από αυτά τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης υπό συνθήκες συμφόρησης.

2.2 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΖΟΝΤΑΙ ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή σε πολλές εφαρμογές απαιτείται η παροχή ποιότητας υπηρεσίας. Οι κατηγορίες των εφαρμογών αυτών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Κατηγορία Εφαρμογών	Χαρακτηριστικά κίνησης / Απαιτήσεις Ποιότητας Υπηρεσίας
Παραδοσιακές δικτυακές εφαρμογές με ελαστικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας π.χ. ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, μεταφορά αρχείων, πλοήγηση στο Διαδίκτυο, κλπ.	Ανεκτικότητα στην καθυστέρηση, στη μεταβλητότητα καθυστέρησης και στα σφάλματα μεταφοράς
Εφαρμογές μεταφοράς φωνής πάνω από IP (<i>VoIP, VoIP trunks</i>).	Χαμηλή μεταβλητότητα ρυθμού κίνησης, αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης, ευαισθησία στη μεταβλητότητα καθυστέρησης.
Τηλε-διάσκεψη (<i>Videoconferencing</i>), μετάδοση υψηλής ποιότητας βίντεο (<i>high quality video distribution</i>), κλπ.	Υψηλή μεταβλητότητα ρυθμού κίνησης, αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης, ευαισθησία στη μεταβλητότητα καθυστέρησης.

Εφαρμογές ροής ήχου και εικόνας (<i>audio / video streaming</i>).	Χαμηλή ή μέση μεταβλητότητα ρυθμού κίνησης, ελαστικές απαιτήσεις καθυστέρησης και μεταβλητότητας καθυστέρησης.
Κίνηση ελέγχου / σηματοδότηση (<i>critical control traffic / signalling</i>), εφαρμογές <i>tele-immersion</i> , κλπ.	Απαιτήση για μειωμένη καθυστέρηση, ευαισθησία στα σφάλματα μεταφοράς.
Εφαρμογές με αλληλεπίδρασης ή συναλλαγές (<i>Interactivetransactional applications</i>), π.χ. <i>e-commerce</i> .	Απαιτήση για μειωμένη καθυστέρηση, ευαισθησία στα σφάλματα μεταφοράς.

Πίνακας 1- Εφαρμογές που χρειάζονται QoS

2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

2.3.1 Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services)

Υπάρχουν πολλές αρχιτεκτονικές και μοντέλα για την παροχή QoS σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων IP. Μια πολύ γνωστή και με την οποία θα ασχοληθούμε εκτενέστερα παρακάτω, είναι η αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services). Μια ακόμη βασική αρχιτεκτονική είναι η Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services).

Η Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services) σχεδιάστηκε για να επιτρέψει την παροχή εγγυήσεων κατάλληλων για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real time) σε συνδέσεις από άκρο-σε-άκρο. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι η διαχείριση της κίνησης πραγματοποιείται σε επίπεδο ροής. Στην αρχιτεκτονική IntServ συναντάμε:

- Το πρωτόκολλο σηματοδότησης για τη δέσμευση δικτυακών πόρων (Resource Reservation Protocol – RSVP) [Brad+97] [Wroc97], το οποίο επιτρέπει σε μεμονωμένες εφαρμογές να αιτούνται εγγυήσεις κατά τη μεταφορά των πακέτων τους μέσα από το δίκτυο και στους δρομολογητές κορμού να ανταλλάσσουν πληροφορίες ελέγχου σχετικά με την κατάσταση των εγκατεστημένων ροών.
- Τη διαδικασία ελέγχου αποδοχής ροών, η οποία καθορίζει κατά πόσο μια νέα αίτηση μπορεί να ικανοποιηθεί βάσει της διαθεσιμότητας των δικτυακών πόρων. Ο καθορισμός των απαραίτητων πόρων προκύπτει από τα μηνύματα σηματοδότησης που ανταλλάσσουν οι τελικοί κόμβοι μεταξύ τους.
- Τη διαδικασία διαχωρισμού της κυκλοφορίας ανά ροή, η οποία κατηγοριοποιεί τα εισερχόμενα πακέτα σε κατάλληλες κλάσεις προτεραιότητας ώστε να εξασφαλίζονται οι συμφωνημένες εγγυήσεις ποιότητας κατά τη μεταφορά.

- Τη διαδικασία χρονοπρογραμματισμού, η οποία διαχειρίζεται τη συμφόρηση στις ουρές εξόδου των δρομολογητών και κατανέμει τους διαθέσιμους πόρους μεταξύ των εγκατεστημένων ροών ανάλογα με τις απαιτήσεις τους.

Πριν ξεκινήσει η ανταλλαγή κίνησης μεταξύ των δύο τελικών κόμβων, δηλαδή του κόμβου Πηγή (source node) και Προορισμού (destination node), ανταλλάσσονται μηνύματα σηματοδότησης με χρήση του πρωτοκόλλου RSVP. Ο κόμβος Πηγή δημιουργεί μήνυμα σηματοδότησης RSVP PATH, στο οποίο περιγράφει τα χαρακτηριστικά κίνησης που θα παράγει χρησιμοποιώντας το πεδίο SENDER_TSPEC2. Στο μήνυμα RSVP PATH συμπεριλαμβάνεται το πεδίο ADSPEC που καθορίζει τους μηχανισμούς ποιότητας υπηρεσίας που ο κόμβος Προορισμού έχει την ικανότητα να εφαρμόσει. Το μήνυμα RSVP PATH προωθείται στο δίκτυο από κόμβο σε κόμβο με (TSPEC) και οι υπηρεσίες που είναι επιθυμητό να παρέχονται (RSPEC), π.χ. ρυθμός και εγγυήσεις μέγιστης καθυστέρησης.

Αφού ολοκληρωθεί η εγκατάσταση μιας νέας ροής, ο κάθε ενδιάμεσος δρομολογητής στο από άκρο-σε-άκρο μονοπάτι διαχωρίζει την εισερχόμενη κίνηση σε μία κλάση υπηρεσίας με βάση τα στοιχεία που έχει αποθηκεύσει προηγουμένως τοπικά. Ο κάθε δρομολογητής στο δίκτυο επιλέγει ανεξάρτητα σε ποια κλάση θα αντιστοιχήσει την κίνηση της ροής, το οποίο σημαίνει ότι τα πακέτα μίας ροής μπορεί να κατηγοριοποιηθούν σε διαφορετικές κλάσεις προτεραιότητας κατά τη προώθησή τους από τους ενδιάμεσους δρομολογητές.

Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι η διαχείριση της κίνησης πραγματοποιείται σε επίπεδο ροής. Οι κλάσεις υπηρεσίας που έχουν οριστεί για την αρχιτεκτονική IntServ είναι οι ακόλουθες:

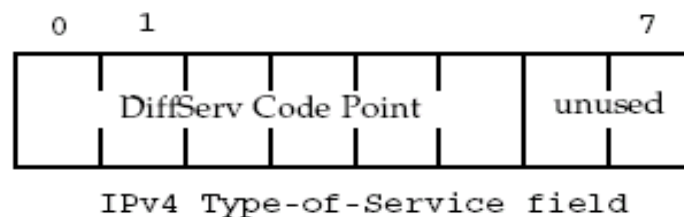
- Εγγυημένη (Guaranteed) [SPG97]: Εξασφαλίζει το εύρος ζώνης (bandwidth) για τη κάθε εγκατεστημένη ροή, δηλαδή εγγυάται αμελητέα απώλεια πακέτων σε περιόδους συμφόρησης, και παρέχει εγγύηση για τη μέγιστη καθυστέρηση μέχρι τον κόμβο Προορισμού. Δεν εξασφαλίζει το μέγιστο όριο για τη μεταβλητότητα καθυστέρησης (jitter). Προορίζεται για εφαρμογές που απαιτούν συγκεκριμένες εγγυήσεις απόδοσης κατά τη μεταφορά της κίνησης.
- Ελεγχόμενου Φόρτου (Controlled Load) [Wroc97b]: Εξασφαλίζει στα πακέτα της ροής αντιμετώπιση ανάλογη με αυτή που θα είχαν σε ένα δίκτυο με ελάχιστη συμφόρηση χωρίς όμως να παρέχονται αυστηρές εγγυήσεις όσον αφορά το εύρος ζώνης και την από άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση. Προορίζεται για εφαρμογές που απαιτούν αξιόπιστες υπηρεσίες από το δίκτυο χωρίς όμως να απαιτούν αυστηρές εγγυήσεις απόδοσης κατά τη μεταφορά της κίνησης.

Η Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services) παρ' όλο που σχεδιάστηκε για να παρέχει υψηλή ποιότητα υπηρεσίας, αντιμετωπίζει προβλήματα κλιμάκωσης σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε η αρχιτεκτονική των Διαφοροποιημένων υπηρεσιών (Differentiated Services – DiffServ).

2.3.2 Αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services)

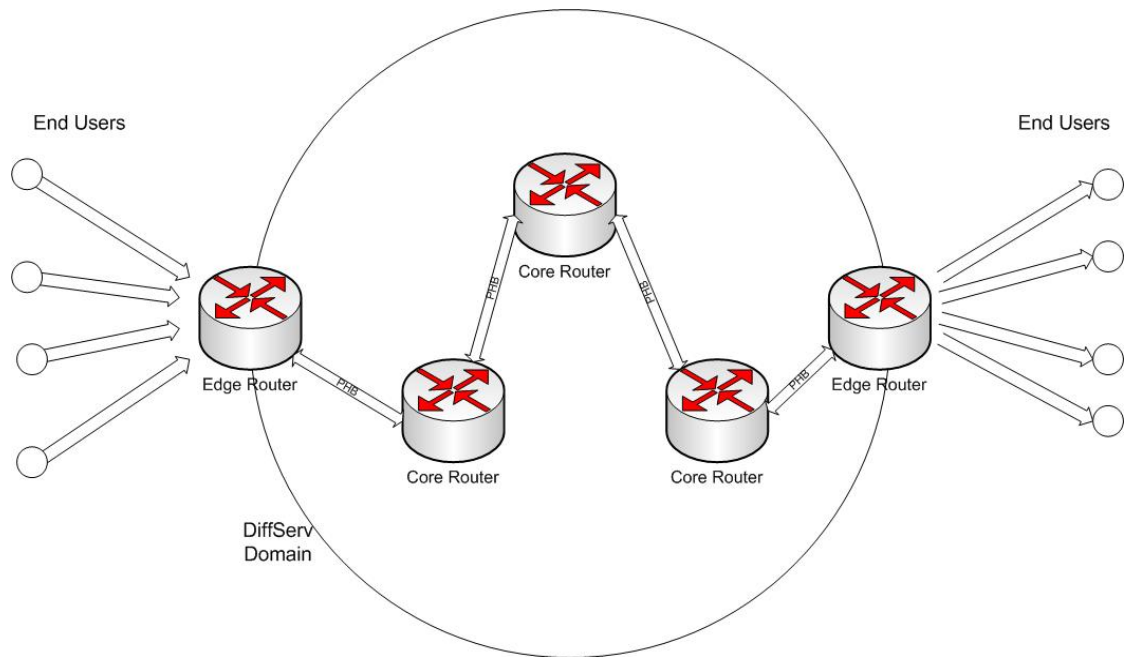
Η αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών Differentiated Services – DiffServ) [Blake+98] προσπάθησε να επιλύσει αυτό το πρόβλημα κλιμάκωσης που είχε ο προκάτοχός της. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε δεν προσπάθησε να διαχειριστεί μεμονωμένες ροές αλλά συναθροίσεις ροών (Aggregated Flows). Η παροχή ποιότητας υπηρεσίας στην εξυπηρετούμενη κίνηση γίνεται με την χρήση προτεραιοτήτων για τις συναθροίσεις ροών παρά με τη δέσμευση πόρων ανά ροή.

Η αρχιτεκτονική DiffServ προβλέπει ότι η κατηγοριοποίηση, έλεγχος και ο χρωματισμός της κίνησης για την κάθε εγκατεστημένη ροή πραγματοποιείται στα όρια της εκάστοτε διαχειριστικής περιοχής ενώ στο εσωτερικό της δεν παρακολουθούνται οι ροές ξεχωριστά αλλά τα πακέτα μετάγονται σύμφωνα με τις μαρκαρισμένες επικεφαλίδες τους. Ειδικότερα, αφού προηγηθεί η αίτηση παροχής ποιότητας και ο έλεγχος αποδοχής σε μία νέα ροή, μαρκάρονται τα πακέτα IP της ροής με συγκεκριμένη τιμή στην επικεφαλίδα τους, η οποία τιμή καθορίζει την αντιμετώπιση που θα έχουν τα πακέτα στους δρομολογητές του δικτύου. Ανατίθεται, λοιπόν, η κατάλληλη τιμή Differentiated Services Code Point (DSCP) στο πεδίο Type of Service (ToS) της επικεφαλίδας του πρωτοκόλλου IPv4 ή στο πεδίο Traffic Class του πρωτοκόλλου IPv6, σύμφωνα με την οποία καθορίζεται η αντιμετώπιση των πακέτων από τους δρομολογητές του δικτύου.



Σχημα 1-TOS

Η αντιμετώπιση σε κάθε δρομολογητή αποκαλείται συμπεριφορά προώθησης ανά κόμβο (Per Hop Behavior - PHB) και καθορίζει την σχετική προτεραιότητα προώθησης πακέτων, τη πιθανότητα απόρριψής τους καθώς και τις εγγυήσεις σε εύρος ζώνης (bandwidth). Η εν σειρά εφαρμογή μιας παροχής ποιότητας υπηρεσίας στα από άκρο-σε-άκρο μονοπάτια μέσα στα όρια μιας διαχειριστικής περιοχής.

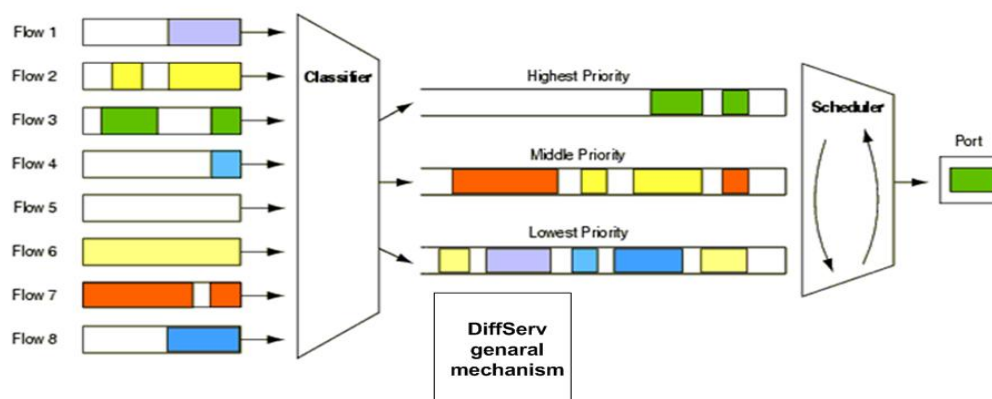


Σχήμα 2 - Αρχιτεκτονική DiffServ

Για την υποστήριξη εγγυήσεων απόδοσης σε ένα δίκτυο DiffServ απαιτείται να υλοποιούνται οι ακόλουθοι μηχανισμοί στους ακραίους δρομολογητές μιας διαχειριστικής περιοχής:

- ταξινομητής πακέτων (packet classifier), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την κατηγοριοποίηση των πακέτων ανάλογα με την τιμή σε ένα ή περισσότερα πεδία της επικεφαλίδας των πακέτων. Σύμφωνα με την απόφαση που λαμβάνεται, το κάθε πακέτο μεταχειρίζεται σύμφωνα με το συμβόλαιο SLA της ροής κίνησης στην οποία ανήκει.
- μετρητής (meter), ο οποίος συλλέγει στατιστικά στοιχεία για την κυκλοφορία της κάθε συναθροισμένης ροής και καθορίζει αν η εισερχόμενη κίνηση στη διαχειριστική περιοχή ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές που έχουν οριστεί στο συμβόλαιο SLA της παρεχόμενης υπηρεσίας.
- σημαδευτής πακέτων (packet marker), ο οποίος θέτει ή μεταβάλλει 5 227.1 την τιμή DSCP στην επικεφαλίδα των πακέτων με βάση τα αποτελέσματα της ταξινόμησης και των μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί σε προηγούμενα στάδια. Η τιμή αυτή καθορίζει τη συμπεριφορά PHB για τα πακέτα της ροής στους ακόλουθους κόμβους.
- διαμορφωτής (shaper) / «κόφτης» (dropper), εξασφαλίζουν ότι μια ροή συμμορφώνεται ακριβώς με τις παραμέτρους που καθορίζονται σε ένα προσυμφωνημένο προφίλ κίνησης. Μικρές αποκλίσεις στην ροή των πακέτων διορθώνονται στο διαμορφωτή ενώ εάν η εισερχόμενη ροή είναι πολύ διαφορετική από ότι έχει συμφωνηθεί, ο «κόφτης» προχωρά στην απόρριψη πακέτων.
- «συμπεριφορά ανά κόμβο» (Per Hop Behavior PHB), ο οποίος χαρακτηρίζει τον τρόπο μεταγωγής πακέτων για κάθε διαφορετική κλάση υπηρεσίας και περιλαμβάνει τη διαχείριση και το χρονοπρογραμματισμό των διαφόρων ουρών που υποστηρίζει ο

κόμβος DiffServ. Να σημειωθεί ότι ο μετρητής, ο σημαδευτής πακέτων, ο διαμορφωτής και ο «κόφτης» περιγράφονται συνολικά ως ρυθμιστής κυκλοφορίας (traffic conditioner). Στις περισσότερες των περιπτώσεων, η κατηγοριοποίηση και το μαρκάρισμα των πακέτων πραγματοποιείται μόνο στα όρια της διαχειριστικής περιοχής από τους ακραίους δρομολογητές (edge routers) ενώ οι υπόλοιποι δρομολογητές ασχολούνται μόνο με την μεταγωγή των πακέτων σύμφωνα με τις πληροφορίες που έχουν αποθηκευτεί στις επικεφαλίδες των πακέτων.



Σχημα 3 - Μηχανισμός Diffserv

Η συναθροισμένη κίνηση που εισέρχεται σε μια διαχειριστική περιοχή DiffServ περιορίζεται από τον ρυθμιστή κυκλοφορίας (traffic conditioner), ο οποίος ελέγχει τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της εισερχόμενης κίνησης (traffic profile). Για πάρα πολλές δικτυακές εφαρμογές είναι αρκετά δύσκολο ή πρακτικά αδύνατο να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της κίνησης που παράγουν κατά τη λειτουργία τους. Για παράδειγμα, ο στιγμιαίος ρυθμός κίνησης που απαιτείται για τη μεταφορά βίντεο εξαρτάται από την κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται και συνήθως μεταβάλλεται με το χρόνο. Ο ρυθμιστής κυκλοφορίας σε δίκτυα DiffServ αδιαφορεί για τα διάφορα χαρακτηριστικά κίνησης που παράγουν οι διαφορετικές εφαρμογές και συνήθως προσπαθεί να ελέγξει μόνο το (συνολικό) μέσο και μέγιστο ρυθμό κίνησης που εμφανίζουν οι ροές. Έχουν οριστεί από το IETF οι ακόλουθες δύο συμπεριφορές PHB (Per Hop Behavior - PHB) για την εξυπηρέτηση της κίνησης σε δίκτυα DiffServ:

- **Επισπεύδουσα Προώθηση (Expedited Forwarding - EF)**, η οποία χρησιμοποιείται για την υποστήριξη υπηρεσιών που παρέχουν χαμηλή καθυστέρηση και μεταβλητότητα καθυστέρησης (jitter) στην μεταφορά των πακέτων καθώς και αμελητέο ρυθμό απώλειας πακέτων εφόσον δεν παραβιάζονται τα συμφωνηθέντα χαρακτηριστικά κίνησης (traffic profile) για τη συναθροισμένη ροή. Η συμπεριφορά EF PHB έχει ως στόχο να εξομοιώσει υπηρεσίες που παρέχει μια «εικονική» μισθωμένη γραμμή (virtual leased line). Πακέτα μιας συναθροισμένης κίνησης που παραβιάζουν το συμφωνηθέν προφίλ απορρίπτονται χωρίς να γίνεται διάκριση της ροής που ανήκουν.

- **Εγγυημένη Προώθηση (Assured Forwarding - AF)**], η οποία χρησιμοποιείται για την υποστήριξη υπηρεσιών διαφορετικής προτεραιότητας. Έχουν οριστεί τέσσερις

διαφορετικές κλάσεις προτεραιότητας -AF1, AF2, AF3, AF4- και σε καθεμιά από τις οποίες ορίζονται τρεις διαφορετικές προτεραιότητες -χαμηλή, μέση, υψηλή- απόρριψης πακέτων. Η κάθε κλάση AF έχει τη δυνατότητα να εκμεταλλεύεται τους αχρησιμοποίητους πόρους υπολοίπων κλάσεων. Τα πακέτα που παραβαίνουν το επιτρεπόμενο προφίλ κίνησης είτε προωθούνται στο δίκτυο με μικρότερη προτεραιότητα από αυτή που είχαν αρχικά είτε, στη χειρότερη περίπτωση, απορρίπτονται.

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

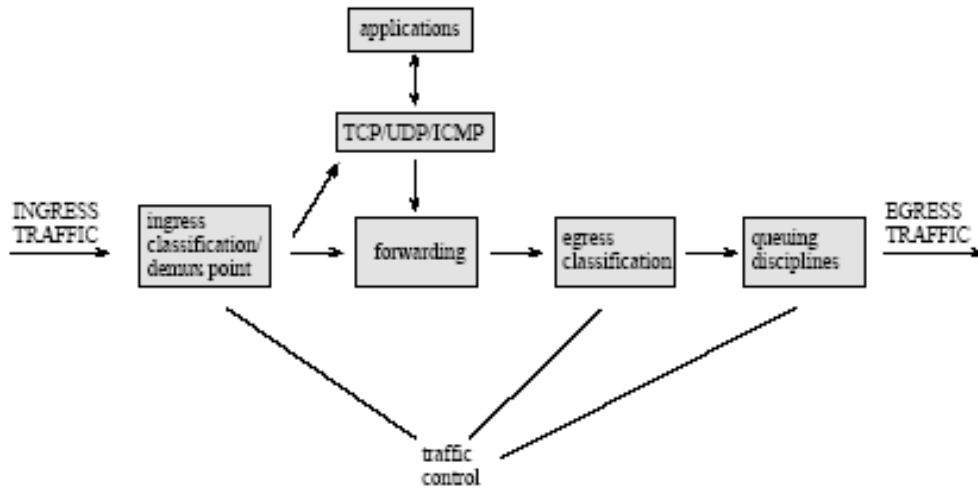
Assured Forwarding (AF) Behavior Group				
	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
Low Drop	AF11	AF21	AF31	AF41
Med Drop	AF12	AF22	AF32	AF42
High Drop	AF13	AF23	AF33	AF43

Πίνακας 2 –Κλασσσεις AF

• **Προώθηση Βέλτιστης Προσπάθειας (Best Effort - BE)**, η οποία 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. [1]

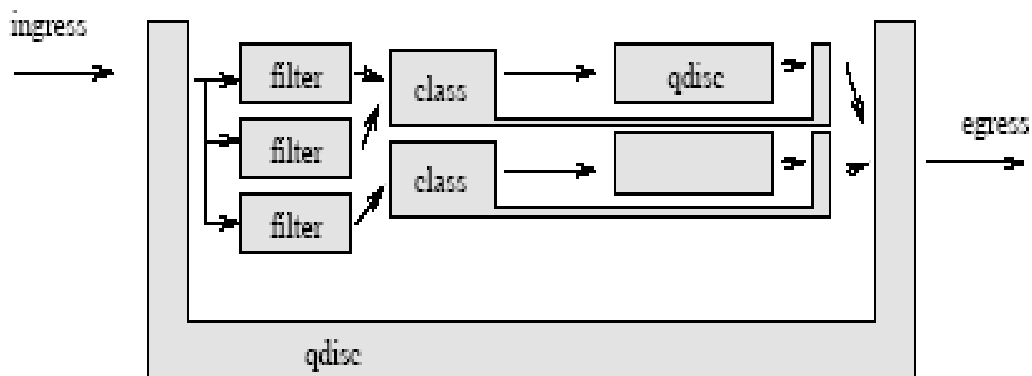
2.4 ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΕ LINUX (Differentiated Services σε Linux)

Το Traffic Control είναι ένα τμήμα του Linux kernel που χειρίζεται την βασική δρομολόγηση των πακέτων καθώς και πιο σύνθετα σενάρια δρομολόγησης όπως υλοποίηση της DiffServ αρχιτεκτονικής. Η βασική δομή του Linux Traffic Control φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στον ingress η εισερχόμενη κίνηση είτε στέλνεται στο ανώτερο επίπεδο πρωτοκόλλου, είτε προωθείται στον επόμενο κόμβο σύμφωνα με την IP επικεφαλίδα ή τους πίνακες δρομολόγησης. Η προώθηση περιλαμβάνει την επιλογή του εξερχόμενου interface, επόμενου κόμβου, encapsulation κλπ. Το traffic control σ' αυτή την περίπτωση αποφασίζει αν τα πακέτα θα μπου στην ουρά αναμονής, αν θα απορριφθούν, με ποια σειρά θα σταλούν, αν θα καθυστερηθούν πριν σταλούν καθώς και άλλες λειτουργίες. Το Netfiltering, ένα άλλο συστατικό του Linux kernel χειρίζεται το firewalling και το IP masquerading.



Σχήμα 4-Linux Traffic Control

Τα βασικά συστατικά του Traffic Control είναι queuing discipline, classes, policing και filters. Η συνεργασία μεταξύ τους φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Κάθε συσκευή δικτύου έχει μια queuing discipline συνδεδεμένη μαζί της. Η πιο απλή υλοποίηση αποτελείται από μία qdisc στην οποία αποθηκεύονται τα εισερχόμενα πακέτα και αυτή αδειάζει όσο πιο γρήγορα μπορεί η συσκευή. Πιο περίπλοκες qdiscs χρησιμοποιούν filters για να διαχωρίζουν τα πακέτα που ανήκουν σε διαφορετικές κλάσεις πακέτων, και ορίζουν την κάθε κλάση με ένα συγκεκριμένο τρόπο, πχ. δίνοντας προτεραιότητα διαφορετική σε κάθε κλάση. Οι qdiscs και οι κλάσεις είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Η παρουσία των κλάσεων είναι απ' τις σημαντικότερες ιδιότητες μιας qdisc. Απ' την άλλη οι filters μπορούν να συνδυαστούν αυθαίρετα με queuing disciplines και classes, αρκεί η queuing discipline να έχει classes να αντιστοιχίσουν τα πακέτα τους. Αυτές οι classes δεν αποθηκεύουν τα πακέτα μόνες τους, αλλά χρησιμοποιούν άλλες queuing disciplines για το σκοπό αυτό. Οι queuing disciplines αυτές με τη σειρά τους, έχουν άλλες classes και filters κοκ.



Σχήμα 5-Qdisc with filters and classes

Παρακάτω θα γίνει μια αναφορά των κυριότερων qdiscs, classes και filters που υποστηρίζονται από τον kernel.. Η καθεμιά από τις παρακάτω qdiscs, classes, filters έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητας έναντι των υπολοίπων – τα

οποία δεν αναλύονται σ' αυτό το report – και το ποιο θα επιλεγθεί εξαρτάται απ' την κάθε περίπτωση ξεχωριστά και από τον λειτουργία που θέλουμε η αντίστοιχη συσκευή δικτύου να κάνει.

➤ **Qdiscs**

Χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν αυτές που χρησιμοποιούνται ευρέως ως root qdiscs και είναι οι Class Based Queueing (CBQ), DiffServ field marker (dsmark), και ingress qdisc. Οι qdiscs της δεύτερης κατηγορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν root qdiscs αλλά συνήθως θεωρούνται ως leaf qdiscs με την έννοια ότι δεν έχουν άλλους filters, classes και άλλες qdiscs συνδεδεμένες μεταξύ τους. Αυτές είναι First In First Out (FIFO), Priority Scheduler (PRIO), Random Early Detection (RED), Stochastic Queueing (SFQ), True Link Equalizer Queue (TEQL), Token Bucket Filter (TBF) και Generalized Random Early Detection (GRED). Στα σενάρια που υλοποιήθηκαν για την συγκεκριμένη εργασία και αναλύονται στο Κεφάλαιο 3, χρησιμοποιήθηκαν οι DSMARK και CBQ ως root qdiscs καθώς και οι FIFO, RED και SFQ.

➤ **Filters**

Οι filters χρησιμοποιούνται για να ταξινομήσουν τα πακέτα βασιζόμενοι σε συγκεκριμένες ιδιότητες που αυτά έχουν όπως το TOS πεδίο της IP επικεφαλίδας, η IP διεύθυνση, οι port numbers κοκ. Ελέγχεται ο πρώτος filter και αν το πακέτο περάσει επιτυχώς στέλνεται στην αντίστοιχη qdisc ειδάλλως περνάτε στον επόμενο κατά προτεραιότητα filter, μέχρι να ταιριάξει σε κάποιον. Οι πιο γνωστοί filters είναι οι Firewall based classifier (fw), ο u32 classifier, ο routing table based classifier, ο RSVP classifier, ο RSVP6 classifier και ο Traffic Control classifier (tcindex). Ο u32 ταξινομεί τα πακέτα βάση πληροφοριών που βρίσκονται στην επικεφαλίδα του πακέτου, ενώ ο tcindex χρησιμοποιεί το DSCP πεδίο για να ξεχωρίσει τα πακέτα μεταξύ τους και πρέπει να συνδυάζεται με τη dsmark qdisc. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε ο u32 και ο tcindex classifier. Ο πρώτος χρησιμοποιείται στον ingress όπου λαμβάνονται τα πακέτα του και ταξινομούνται βάση της πόρτας προορισμού. Ο tcindex χρησιμοποιείται στους edge routers στον οποίο αντιστοιχίζεται το EXP → DS field.

➤ **Classes**

Οι classes συνδυάζονται άρρηκτα με qdiscs. Κάθε class έχει τη δική της queue, που εξ' ορισμού είναι η FIFO queue. Υπάρχουν 2 τρόποι να οριστεί μια class. Είτε με το class identifier που ορίζεται από το χρήστη είτε από τον identifier του kernel και ονομάζεται internal identifier. Ο id είναι μοναδικός και αντιστοιχεί σε μια queueing discipline και είναι ένας u32 data type. Ο kernel id είναι ένας unsigned long integer. Εδώ στην εργασία χρησιμοποιήθηκε ο class id που είναι παρόμοιος του queueing discipline identifier και δομείται ως εξής <major number:minor number>. Ο major number αναφέρεται στο στιγμιότυπο της qdisc ενώ το minor number ταυτοποιεί την

κλάση. Δεν υποστηρίζουν classes όλες οι qdiscs – οι qdisc αυτές είναι CBQ, DS_MARK και FIFO.

3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΟΡΜΟΥ

3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Ετερογενές δίκτυο μπορεί να είναι ένα δίκτυο υπολογιστών που συνδυάζει έναν ή περισσότερους διαφορετικούς τύπους υπολογιστών, λειτουργικών συστημάτων ή/και πρωτοκόλλων. Ένα ασύρματο δίκτυο που συνδέει τη χρησιμοποίηση των διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης θα μπορούσε επίσης να κληθεί ετερογενές δίκτυο δεδομένου ότι διατηρεί τις συνδέσεις του μεταπηδώντας σε ένα κυψελοειδές δίκτυο.

Λόγω αυτής της ασυμβατότητας που υφίσταται ανάμεσα στα χαρακτηριστικά λειτουργίας των ετερογενών τοπικών δικτύων, είναι προφανές πως η διασύνδεση τέτοιων δικτύων, δεν είναι πάντα μια εύκολη διαδικασία και χαρακτηρίζεται από ένα πλήθος προβλημάτων, τα πιο σημαντικά εκ των οποίων είναι τα ακόλουθα:

- **Τα ετερογενή δίκτυα, χρησιμοποιούν γενικά διαφορετικά πρότυπα λειτουργίας**, τα οποία στηρίζονται στη χρήση διαφορετικών πρωτοκόλλων, μη συμβατών μεταξύ τους. Εάν λοιπόν θελήσουμε να διασυνδέσουμε δύο τέτοια δίκτυα θα πρέπει να μετασηματίσουμε τη διακινούμενη πληροφορία με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι κατανοητή από το δίκτυο στο οποίο αποστέλλεται.
- **Τα ετερογενή δίκτυα, χρησιμοποιούν συνήθως διαφορετικές μορφές επικοινωνίας**, οι οποίες ενδέχεται να μην είναι τεχνολογικά συμβατές μεταξύ τους. Για να είναι λοιπόν δυνατή η διασύνδεση τέτοιων δικτύων, θα πρέπει η τεχνολογία που χρησιμοποιούν να είναι συμβατή με παλαιότερες μορφές επικοινωνίας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσά τους (κάτι τέτοιο συμβαίνει για παράδειγμα ανάμεσα στην τεχνολογία της κινητής τηλεφωνίας και στην τεχνολογία του παγκόσμιου διαδικτύου, η συμβατότητα των οποίων επιτρέπει την αποστολή μηνυμάτων σε κινητό τηλέφωνο μέσω του Internet).
- **Τα ετερογενή δίκτυα στηρίζονται συνήθως σε ολοκληρωμένες λύσεις συγκεκριμένων εταιρειών, οι οποίες δεν αποτελούν διεθνή πρότυπα**, κάτι που οδηγεί σε προβλήματα συμβατότητας μεταξύ προϊόντων διαφορετικών κατασκευαστών. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν

ενδιάμεσες συσκευές διασύνδεσης προκειμένου να γεφυρωθεί αυτή η ασυμβατότητα, κάτι που βεβαίως συνεπάγεται πιο πολύπλοκη σχεδίαση του δικτύου, και φυσικά, μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.

Η σημασία της ποιότητας εξυπηρέτησης (QoS) έχει αυξηθεί με την πρόσφατη εξέλιξη των δικτύων τηλεπικοινωνιών, τα οποία χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη ετερογένεια. Ενώ πολλές εφαρμογές απαιτούν ένα συγκεκριμένο επίπεδο διαβεβαίωσης από το δίκτυο τα δίκτυα επικοινωνίας χαρακτηρίζονται από τους διαφορετικούς φορείς παροχής υπηρεσιών, τα μέσα μετάδοσης και τις λύσεις εφαρμοστών όπως ο τρόπος ασύγχρονης μεταφοράς (ATM), η έκδοση 4 πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IPv4), IPv6 και MPLS. Παρακάτω, γίνεται αναφορά στο πώς ορισμένες τεχνολογίες δικτύωσης παρέχουν ποιότητα υπηρεσίας.

3.2. MPLS ΚΑΙ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Το **Multiprotocol Label Switching (MPLS)**, βασίζεται στην μεταγωγή ετικετών για την προώθηση των πακέτων εξού και ο όρος “label switching”. Το “multiprotocol” έχει τοποθετηθεί γιατί οι τεχνικές του είναι εφαρμόσιμες σε ΚΑΘΕ πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου και όχι μόνο στο IP επίπεδο. Παρ’ όλα αυτά εμείς θα επικεντρωθούμε στο IP σαν επίπεδο δικτύου. Θα εξετάσουμε διεξοδικότερα την MPLS αρχιτεκτονική στην παρακάτω ενότητα.

Το MPLS μοντέλο δεν ορίζει νέες αρχιτεκτονικές παροχής ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Αντ’ αυτού η περισσότερη εργασία έχει επικεντρωθεί στο να παρέχει τις ήδη υπάρχουσες QoS αρχιτεκτονικές που προσφέρονται στο IP. Αυτές οι αρχιτεκτονικές που ήδη προσφέρει είναι οι εξής δύο: Integrated Services (IntServ) και Differentiated Services (DiffServ). Στις επόμενες ενότητες περιγράφεται πως αυτές οι αρχιτεκτονικές μπορούν να συνεργαστούν με το MPLS πρωτόκολλο και τι επεκτάσεις πρέπει να εφαρμοστούν στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν.

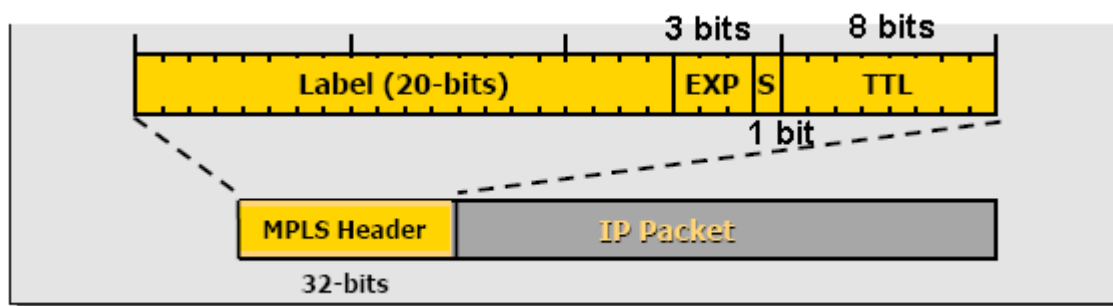
3.2.1. Διασφάλιση Ποιότητας Υπηρεσίας σε MPLS δίκτυα

Στη συμβατική IP δρομολόγηση, καθώς ένα πακέτο ταξιδεύει από τον έναν δρομολογητή στον άλλον, κάθε ένας απ’ αυτούς αποφασίζει ανεξάρτητα πως θα προωθήσει το πακέτο. Για να γίνει αυτό αναλύει την επικεφαλίδα του πακέτου και εκτελεί έναν αλγόριθμο δρομολόγησης. Κάθε ένας απ’ αυτούς επιλέγει ανεξάρτητα τον επόμενο κόμβο (next hop) βασισμένος στην πληροφορία που περιέχεται στην επικεφαλίδα του πακέτου και τα αποτελέσματα που προκύπτουν απ’ τον αλγόριθμο δρομολόγησης. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται καθ’ όλη τη διαδρομή από τον αρχικό μέχρι τον τελικό κόμβο.

Η επικεφαλίδα ενός πακέτου περιέχει αρκετή περισσότερη πληροφορία απ’ αυτή που χρειάζεται για να επιλεγεί απλά ο επόμενος κόμβος. Έτσι προκαλείται

πρόσθετη καθυστέρηση σε κάθε κόμβο για την επιλογή του επόμενου του. Αυτό εκμεταλλεύεται η MPLS αρχιτεκτονική που εξετάζει την επικεφαλίδα του πακέτου μόνο στον πρώτο κόμβο του MPLS δικτύου για να αποφασιστεί που θα προωθήσει το πακέτο. Στους επόμενους κόμβους εντός του δικτύου, η επικεφαλίδα δεν εξετάζεται πάλι.

Η επιλογή του επόμενου κόμβου μπορεί να θεωρηθεί ως ο συνδυασμός 2 συναρτήσεων. Η πρώτη κατατάσσει το σύνολο των πιθανών πακέτων σε ένα σετ ισοδύναμων κλάσεων προώθησης ή Forwarding Equivalence Classes (FEC's). Το FEC αναπαριστά το σύνολο των πακέτων που μοιράζονται τους ίδιους περιορισμούς, δηλαδή όλα τα πακέτα που προορίζονται για τον ίδιο επόμενο κόμβο. Η δεύτερη αντιστοιχεί κάθε FEC σε έναν επόμενο κόμβο (next hop). Όλα τα πακέτα που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο FEC και ταξιδεύουν από ένα συγκεκριμένο κόμβο θα ακολουθήσουν το ίδιο ακριβώς μονοπάτι. Συνεπώς διαφορετικά πακέτα που θα αντιστοιχίζονται στο ίδιο FEC δεν θα μπορούν να διαχωριστούν μεταξύ τους.



Σχήμα 6- MPLS επικεφαλίδα

Στην MPLS αρχιτεκτονική, η αντιστοίχιση ενός συγκεκριμένου πακέτου σε ένα συγκεκριμένο FEC γίνεται μόνο μια φορά, την ώρα που το πακέτο μπαίνει στο δίκτυο. Το FEC του κάθε πακέτου αντιστοιχίζεται ως μια μικρού και σταθερού μεγέθους πληροφορία γνωστή ως «ετικέτα» (*label*). Η ετικέτα έχει τοπική σημασία μόνο, ώστε σε κάθε πακέτο να ανατίθεται και διαφορετική ετικέτα σε κάθε δρομολογητή. Όταν το πακέτο προωθείται από κόμβο σε κόμβο, ταξιδεύει μαζί του και η ετικέτα. Είναι προφανές ότι τα πακέτα πρώτα θα αποκτήσουν ετικέτα και στη συνέχεια θα προωθηθούν. Όταν ένας δρομολογητής λάβει ένα πακέτο που έχει ετικέτα, δεν θα αναλύσει την επικεφαλίδα του για να βρει τον επόμενο κόμβο προς προώθηση, αλλά θα το κάνει με βάση την τιμή της ετικέτας. Η αντιστοίχιση της ετικέτας με το FEC μπορεί να γίνει με 2 τρόπους ανάλογα με τον τύπο της ετικέτας και τη μορφή που αυτή παίρνει. Αυτή η ετικέτα τοποθετείται μεταξύ της επικεφαλίδας του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer – Layer 2) και της επικεφαλίδας του επιπέδου δικτύου (Network Layer – Layer 3) όπως φαίνεται και παραπάνω στο σχήμα 2-1. Χρησιμοποιείται σε δίκτυα που βασίζονται σε πακέτα (packet based networks) όπως το Ethernet ή το Packet over Sonet.

Το μήκος της επικεφαλίδας είναι 32 bits (=4 bytes) και ονομάζεται shim header λόγω του μικρού μεγέθους της ή και MPLS στοίβα ετικετών καθ' ότι μπορεί να περιέχει πολλαπλές εγγραφές. Περιλαμβάνει τα εξής πεδία:

- Label (20 bits): Η τιμή της ετικέτας,
- EXP (3 bits): Πεδίο για πειραματικούς σκοπούς. Χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση διαφορετικών κλάσεων κίνησης για την υποστήριξη του μοντέλου DiffServ,
- S (1 bit): Μαρκάρεται με την τιμή 1 για την τελευταία εγγραφή της στοίβας, ενώ αν η στοίβα είναι βάρους μεγαλύτερου του ενός, τότε για κάθε επίπεδο τα S μαρκάρονται με την τιμή 0. Στην περίπτωση που η στοίβα περιλαμβάνει περισσότερες από μία ετικέτες, τότε η μορφή της θα' ναι αυτή του σχήματος 2-2.
- TTL (8 bits): Χρησιμοποιείται για την αποφυγή επαναλήψεων (loops), αντίστοιχο του TTL της IP επικεφαλίδας. Μόλις ένα IP πακέτο μετατραπεί σε MPLS, αντιγράφεται το TTL πεδίο της IP επικεφαλίδας στο TTL πεδίο της MPLS επικεφαλίδας. Σε κάθε κόμβο οι LSRs θα την μειώνουν κατά μια μονάδα, κι έτσι είναι δυνατόν να γίνει το tracerouting του μονοπατιού αντίστοιχο του traceroute στο IP.

3.2.2. Integrated Services σε MPLS δίκτυα

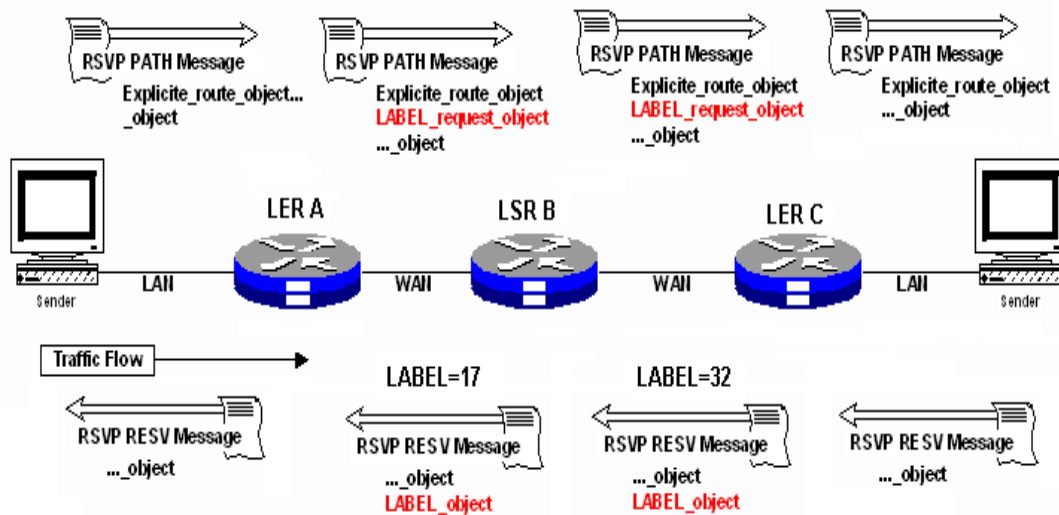
Η αρχιτεκτονική των Integrated Services προσφέρει ποιότητα υπηρεσίας που βασίζεται σε κάθε ροή, με το RSVP να είναι ένα πρωτόκολλο σηματοδοσίας που χρησιμοποιούν οι εφαρμογές. Το RSVP είναι ένα απ' τα διάφορα πρωτόκολλα που μπορούν να παρέχουν IntServ, για αυτό οι έννοιες RSVP και IntServ δεν είναι ταυτόσημες. Το RSVP μπορεί υπό κάποιες προϋποθέσεις να λειτουργήσει σαν πρωτόκολλο διανομής ετικετών σε ένα MPLS δίκτυο χωρίς να απαιτείται επιπλέον σηματοδοσία απλά προσθέτοντας κάποιες επεκτάσεις στα μηνύματα που χρησιμοποιεί το RSVP. Στην παρακάτω ενότητα θα δούμε πως μπορεί να γίνει αυτό.

3.2.3. Χρήση του RSVP σε MPLS δίκτυο για υποστήριξη IntServ

Η MPLS αρχιτεκτονική ορίζει ένα πρωτόκολλο διανομής ετικετών σαν ένα σύνολο από διαδικασίες με τις οποίες ένας LSR ενημερώνει έναν άλλον για τις ετικέτες που θα χρησιμοποιήσει για την προώθηση της κίνησης στο MPLS δίκτυο και πως δεν προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μόνο τέτοιου πρωτοκόλλου. Το RSVP είναι ένα πρωτόκολλο σηματοδοσίας που χρησιμοποιείται για την κράτηση πόρων για κάθε ροή ξεχωριστά σε ένα δίκτυο. Σ' αυτήν την ενότητα θα εξεταστούν οι επεκτάσεις του RSVP προκειμένου να λειτουργήσει σε ένα MPLS δίκτυο ως πρωτόκολλο διανομής ετικετών. Παράλληλα μπορεί να υποστηρίξει QoS, καθώς και Traffic Engineering όταν απαιτείται. Με τη χρήση (των επεκτάσεων) αυτού του πρωτοκόλλου μπορούν να εγκατασταθούν LSPs όπου οι κόμβοι ορίζονται ρητώς (explicitly routed LSPs), με ή χωρίς κράτηση πόρων (resource reservations) καθώς και επαναδρομολόγηση και εντοπισμό βρόγχων (loop detection). Η επέκταση αυτή του πρωτοκόλλου ονομάζεται **RSVP-TE** (RSVP with Traffic Engineering).

Ο πρώτος στόχος όταν χρησιμοποιείται το RSVP-TE σε ένα MPLS δίκτυο, είναι να επιτραπεί σε έναν LSR – ο οποίος ταξινομεί τα πακέτα εξετάζοντας την ετικέτα τους και όχι την επικεφαλίδα τους – να μπορεί να ξεχωρίσει τα πακέτα που ανήκουν σε ροές για τις οποίες έχει γίνει κράτηση (reservation). Με άλλα λόγια, χρειάζεται η δημιουργία και διανομή των αντιστοιχίσεων μεταξύ ροών (flows) και ετικετών (labels). Το σύνολο των πακέτων για τα οποία έχει γίνει RSVP reservation μπορεί να πει κανείς ότι είναι ένα άλλο παράδειγμα ενός FEC.

Το πρωτόκολλο σηματοδοσίας χρησιμοποιεί downstream-on-demand διανομή ετικετών. Η αίτηση για δέσμευση μια ετικέτας σε ένα συγκεκριμένο LSP tunnel δημιουργείται από τον ingress κόμβο μέσω του *RSVP Path message* (το RSVP Path message είναι ανάλογο του Path message που χρησιμοποιείται στο πρωτόκολλο LDP). Για τον σκοπό αυτό το μήκος του RSVP Path message μεγαθύνεται [5] με την προσθήκη ενός LABEL_REQUEST αντικείμενο ώστε παράλληλα να γίνεται αίτηση για κράτηση ετικέτας χωρίς επιβάρυνση επιπλέον μηνυμάτων. Οι ετικέτες δεσμεύονται κατά downstream τρόπο μέσω του *RSVP Resv* μηνύματος. Αντίστοιχα το RSVP Resv μήνυμα επεκτείνεται με ένα ειδικό αντικείμενο, το LABEL για να ενημερώσει όλους τους δρομολογητές από τον egress προς τον ingress για την κράτηση αυτής της ετικέτας. Επίσης υπάρχουν και άλλες επεκτάσεις προσθέτοντας και άλλα αντικείμενα όπως το αντικείμενο EXPLICIT_ROUTE [9] που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει ο ingress δρομολογητής συγκεκριμένους κόμβους από τους οποίους πρέπει να περνάει το LSP που θα δημιουργηθεί ώστε να υποστηρίξει Traffic Engineering, αλλά δεν θα αναλυθούν στην παρούσα ενότητα.



Σχήμα 7- Διανομή ετικέτας με χρήση του RSVP

Όταν ένας LER θέλει να στείλει ένα RESV μήνυμα για μια νέα RSVP ροή, ο LER δεσμεύει μια ετικέτα από το σύνολο των ελεύθερων ετικετών που διαθέτει και δημιουργεί μια εγγραφή (στον πίνακα LFIB) καθορίζοντας η ετικέτα των

εισερχόμενων πακέτων γι' αυτή ροή να παίρνει την τιμή της ετικέτας που μόλις διέθεσε. Στη συνέχεια στέλνει το RSVP μήνυμα που δημιούργησε με την αντίστοιχη τιμή στο πεδίο LABEL προς τον αρχικό αποστολέα ακολουθώντας την ίδια διαδρομή που ακολούθησε το PATH μήνυμα.

Το παρακάτω παράδειγμα και το σχήμα 6 [18] ξεκαθαρίζουν τι συμβαίνει σ' αυτήν την περίπτωση. Εδώ έχει γίνει η θεώρηση ότι οι δύο hosts δεν παίρνουν μέρος στην διαδικασία της διανομή ετικετών (label distribution) αν και αυτό δεν τους εμποδίζει απ' το να μην το κάνουν. Ο host 1 που βρίσκεται στα αριστερά του σχήματος στέλνει ένα Path μήνυμα προς τον host 2 για την δημιουργία LSP. Το στέλνει δια μέσου του LER A, αυτός στη συνέχεια το στέλνει στον LSR B, αυτός έπειτα στον LER C και ο τελευταίος στον host2. Βλέπουμε στο σχήμα πως μεταξύ των Path messages που αλλάζουν οι δρομολογητές υπάρχει το αντικείμενο Label_request_Object το οποίο κάνει αίτηση για νέα ετικέτα. Αν για κάποιον λόγο παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα, στέλνεται ένα μήνυμα λάθους (error message) προς τον αρχικό κόμβο. Μόλις το Path μήνυμα φτάνει στον host 2, αυτός στέλνει πίσω το Resv message. Μόλις αυτό φτάσει στον LER C, αυτός δεσμεύει μια ετικέτα (label 32) για αυτήν την κράτηση (reservation) και 'διαφημίζει' την αντιστοίχιση αυτή (ετικέτας/ροής) στον γειτονικό του κόμβο τον LSR B. Αυτός δεσμεύει την ετικέτα 17 – για την ίδια κράτηση πάντα – και την στέλνει στον LSR A μέσω του Resv message. Τώρα ένα LSP έχει εγκατασταθεί και έχει γίνει κράτηση πόρων από τον LSR A στον LSR C. Όταν πακέτα αυτής της ροής φτάνουν στον κόμβο LER A, αυτός τα ταξινομεί και εκτελεί τις απαραίτητες QoS ενέργειες για αυτή την κράτηση όπως αστυνομεύοντας (policing) και προγραμματίζοντας (scheduling) τα πακέτα στην ουρά εξόδου. Με άλλα λόγια κάνει όλες τις κανονικές λειτουργίες ενός Integrated Services δρομολογητή που 'τρέχει' RSVP πρωτόκολλο. Επιπρόσθετα, ο LSR A τοποθετεί μια ετικέτα στα πακέτα και τοποθετεί την τιμή 17 (label=17) ως εξερχόμενη ετικέτα πριν τα προωθήσει προς τον LSR B.

Όταν ο LSR B (και όλοι οι υπόλοιποι δρομολογητές διαμέσου αυτής της διαδρομής) λαμβάνει ένα πακέτο με ετικέτα, θα ψάξει και θα βρει την ετικέτα στον τοπικό του πίνακα LFIB και θα βρει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα υπηρεσίας QoS που του επιβάλλουν πως να αστυνομεύσει την ροή, να βάλει τα πακέτα σε ουρές αναμονής, κλπ. Είναι αυτονόητο ότι δεν χρειάζεται να ελέγξει την επικεφαλίδα του IP ή του επιπέδου μεταφοράς. Στην περίπτωση που έχει χρησιμοποιηθεί το RSVP σαν πρωτόκολλο διανομής ετικετών και δεν έχει γίνει κράτηση πόρων για μια ροή, τότε δεν χρειάζεται να εκτελεστούν QoS ενέργειες απλά διαβάζεται η τιμή της ετικέτας και σύμφωνα με αυτή προωθείται προς τον επόμενο κόμβο.

3.2.4. Differentiated Services σε MPLS δίκτυα

Οι Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (Differentiated Services) ταξινομούν τα πακέτα σε ένα περιορισμένο αριθμό κλάσεων (classes) και έτσι δεν χρειάζεται οι δρομολογητές να διαχειρίζονται την κάθε ροή ξεχωριστά όπως στην περίπτωση των Integrated Services. Τα πακέτα της κάθε ροής αναγνωρίζονται από την τιμή του πεδίου DSCP (Differentiated Services Code Point) και αυτή η τιμή θα αντιστοιχίζει

την ροή σε μια απ' τις υπάρχουσες κλάσεις. Το σύνολο των πακέτων που έχουν το ίδιο DSCP πεδίο αποτελούν μια Behavior Aggregate (BA – Ενοποιημένη Συμπεριφορά). Η Per-Hop-Behavior (PHB – Συμπεριφορά-ανα-κόμβο) είναι η συμπεριφορά και η αντιμετώπιση που θα έχουν αυτά τα πακέτα σε κάθε κόμβο.

Η αρχιτεκτονική DiffServ έχει μερικά κοινά στοιχεία με την MPLS αρχιτεκτονική. Και οι δυο ταξινομούν τα πακέτα μαρκάροντας (labels, DSCP) κάποιο πεδίο. Στην πρώτη από το πεδίο καθορίζεται η συμπεριφορά που θα αποδοθεί σε κάθε πακέτο ενώ στη δεύτερη καθορίζεται η διαδρομή που αυτό θα ακολουθήσει. Έτσι διαπιστώνεται ότι αυτές οι δύο τεχνολογίες μπορούν να συνεργαστούν συνδυάζοντας τα χαρακτηριστικά της καθεμιάς.

3.2.5. Χρήση των LDP και RSVP σε MPLS δίκτυο για υποστήριξη DiffServ

Ο κύριος σκοπός για την συνεργασία DiffServ και MPLS είναι να εξασφαλιστεί με ένα τρόπο ότι τα πακέτα που έχουν 'σημαδεμένα' τα DSCP πεδία τους να λαμβάνουν και την ποιότητα υπηρεσίας QoS που τους αντιστοιχεί από τον κάθε LSR μέσα στο δίκτυο. Στην περίπτωση που ο δρομολογητής υποστηρίζει DiffServ αρχιτεκτονική μόνο (αλλά όχι MPLS) διαβάζει την επικεφαλίδα του πακέτου και από το DSCP πεδίο της, διαπιστώνει την PHB του πακέτου που θα εφαρμόσει, οπότε και τον τρόπο που πρέπει να διαχειριστεί το πακέτο. Στην περίπτωση της MPLS αρχιτεκτονικής όμως, ο LSR δεν διαβάζει την επικεφαλίδα του πακέτου αλλά την ετικέτα, οπότε δεν μπορεί να πάρει την τιμή του DSCP πεδίου. Μόνο ο ingress δρομολογητής διαβάζει την MPLS επικεφαλίδα γιατί λαμβάνει πακέτα δίχως ετικέτα. Πρέπει με κάποιο τρόπο ο LSR να εξάγει την PHB που του αντιστοιχεί μέσω της επικεφαλίδας της ετικέτας. Υπάρχουν 2 τρόποι για να γίνει αυτό και θα αναλυθούν στην συνέχεια.

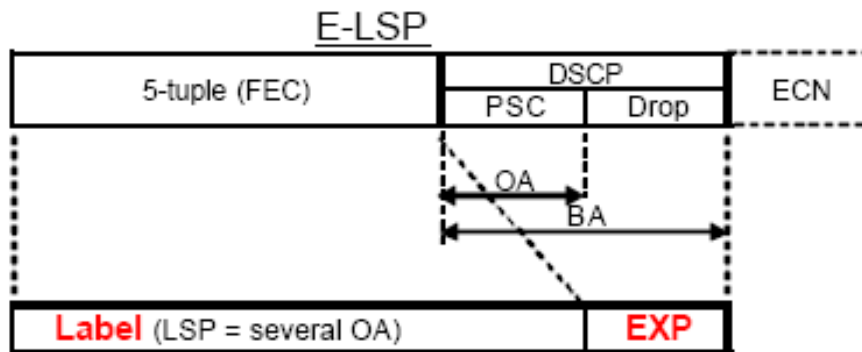
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο στην ανάλυση της MPLS αρχιτεκτονικής, η "shim header" που χρησιμοποιείται στο MPLS έχει ένα πεδίο τριών bits που ορίζει ως «πεδίο για πειραματική χρήση» (for experimental use). Ο αρχικός σκοπός δημιουργίας του ήταν να υποστηρίξει το μαρκάρισμα των πακέτων που επιθυμούν DiffServ. Έτσι θα μπορούσε ο κάθε δρομολογητής απλά να αντιγράψει την τιμή του DSCP πεδίου της επικεφαλίδας στο Exp πεδίο της MPLS επικεφαλίδας και να δώσει λύση στο πρόβλημα. Παρ'όλα αυτά υπάρχει η δυσαναλογία ότι αυτό το πεδίο είναι μεγέθους 3-bit, ενώ το DSCP πεδίο είναι μεγέθους 6-bits. Έτσι ενώ η DiffServ αρχιτεκτονική υποστηρίζει μέχρι 64 διαφορετικές τιμές DSCPs, η shim header του MPLS υποστηρίζει το πολύ 8 διαφορετικές τιμές στο EXP πεδίο.

Μια παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι ότι για ένα δίκτυο που υποστηρίζει το πολύ 8 Behavior Aggregates για κάθε FEC, το EXP πεδίο μπορεί να τις υποστηρίξει πλήρως. Όπως ένας DiffServ δρομολογητής διατηρεί αντιστοιχίσεις μεταξύ DSCP και PHBs που υποστηρίζει, έτσι και ένας LSR διατηρεί αντιστοιχίσεις μεταξύ EXP και PHBs που μπορεί να υποστηρίξει. Όσο δεν υπάρχει ανάγκη για υποστήριξη πάνω από 8 BAs, η λειτουργικότητα του δρομολογητή θα είναι παρόμοια. Όπως ακριβώς πρέπει να διαμορφωθεί ένας DiffServ δρομολογητής για να

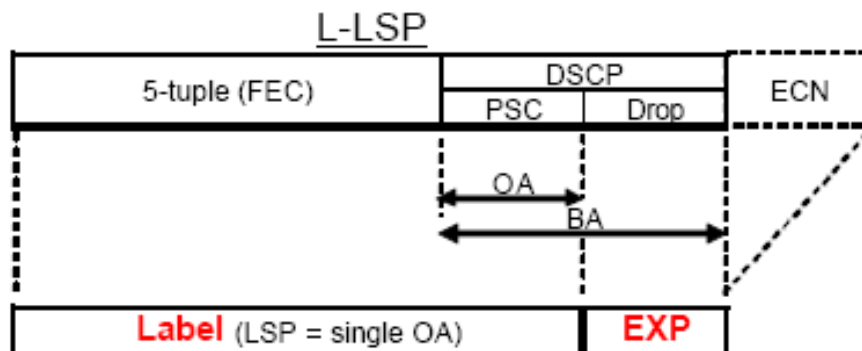
αντιστοιχίζει DSCPs-PHBs έτσι πρέπει να διαμορφωθεί ένας LSR να αντιστοιχίζει τιμές EXP-PHBs.

Για παράδειγμα, στην πολύ απλή περίπτωση που ένα δίκτυο υποστηρίζει 2 κλάσεις πακέτων (best effort και premium), θα μπορούσε ο διαχειριστής του δικτύου να χρησιμοποιήσει την δυαδική τιμή 000 του EXP για να μαρκάρει τα πακέτα της best-effort κίνησης και την τιμή 001 για να μαρκάρει τα πακέτα της premium κίνησης. Πρέπει στη συνέχεια να διαμορφώσει έτσι τους LSRs ώστε να συμπεριφέρονται 'τυπικά' (default behavior – Best Effort κίνηση) στα πακέτα που έχουν τιμή EXP 000, ενώ να τοποθετούν τα πακέτα που είναι μαρκαρισμένα με 001 στην ουρά που εφαρμόζει την EF PHB. Σ' αυτήν την περίπτωση δεν απαιτείται επιπρόσθετη σηματοδότηση (signaling). Οποιοδήποτε πρωτόκολλο διανομής ετικετών (label distribution protocol) κι αν χρησιμοποιείται, δεν χρειάζεται καμία αλλαγή για την ανάθεση ετικετών. Η ετικέτα (label) λέει στον LSR που να προωθήσει το πακέτο, και το EXP πεδίο του λέει με ποιά PHB να συμπεριφερθεί στο πακέτο. Ένα LSP που έχει ορισθεί με αυτόν τον τρόπο αναφέρεται ως **E-LSP (EXP-Inferred-PSC LSP)**: το 'E' σημαίνει EXP, ότι δηλαδή η PHB συνεπάγεται αποκλειστικά από τα EXP bits. Κοιτάζοντας το παραπάνω παράδειγμα με το δίκτυο των 2 κλάσεων, η τιμή της ετικέτας όλων των πακέτων ενός FEC θα 'ναι ίδια για τον κάθε LSR (π.χ. Label=8) και θα ξεχωρίζει τις PHBs από το EXP πεδίο. Στο επόμενο κεφάλαιο, στο Πρακτικό Μέρος φαίνεται ξεκάθαρα και αναλυτικά πως γίνεται η δημιουργία E-LSPs και πως γίνεται η αντιστοίχιση των PHB στο EXP πεδίο.

Προηγουμένως έγινε η παραδοχή ότι το δίκτυο υποστηρίζει το πολύ 8 PHBs. Τι γίνεται όμως στην περίπτωση που υπάρχει η ανάγκη για περισσότερες από 8 PHBs; Είναι προφανές ότι τώρα τα EXP bits δεν μπορούν από μόνα τους να εξαγάγουν την PHB που πρέπει να εφαρμοστεί. Η πιο λογική λύση είναι να χρησιμοποιηθεί η ετικέτα (label) σε συνδυασμό με τα EXP bits με κάποιο τρόπο, για να 'κουβαλήσει' την PHB. Ένα LSP που ορίζεται μ' αυτόν τον τρόπο ονομάζεται **L-LSP (Label-Only-Inferred-PSC LSP)**². Το L σημαίνει Label, αφού η ετικέτα (label) είναι αυτή που θα μας δώσει την PHB. Σ' αυτήν την περίπτωση η τιμή της ετικέτας θα δείχνει στον δρομολογητή που να στείλει το πακέτο (next hop) και συγχρόνως την PSC που να ακολουθήσει. Το EXP πεδίο στη συνέχεια θα υποδεικνύει την προτεραιότητα απόρριψης. Για παράδειγμα αν ένα δίκτυο υποστηρίζει τις κλάσεις EF, BE, AF1x, τότε θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα L-LSP που θα αντιστοιχεί στην BE κίνηση με label=1, ένα L-LSP που θα αντιστοιχεί στην EF κίνηση με label=2 και ένα L-LSP που θα αντιστοιχεί στην AF1 με label=3. Έχοντας ένα πακέτο τιμή ετικέτας 3, ο LSR καταλαβαίνει ότι ανήκει στην AF1 PSCH και το τοποθετεί στην κατάλληλη ουρά. Όταν χρειαστεί την προτεραιότητα απόρριψης αυτή θα προκύψει απ' την τιμή του EXP πεδίου. Με αυτόν τον τρόπο η PHB προκύπτει απ' τον συνδυασμό label και EXP. Παρακάτω τα δύο σχήματα [20] ξεκαθαρίζουν τη διαφορά μεταξύ ενός E-LSP και ενός L-LSP.



Σχήμα 8-Αντιστοίχιση IP επικεφαλίδας με MPLS shim header για δημιουργία E-LSP

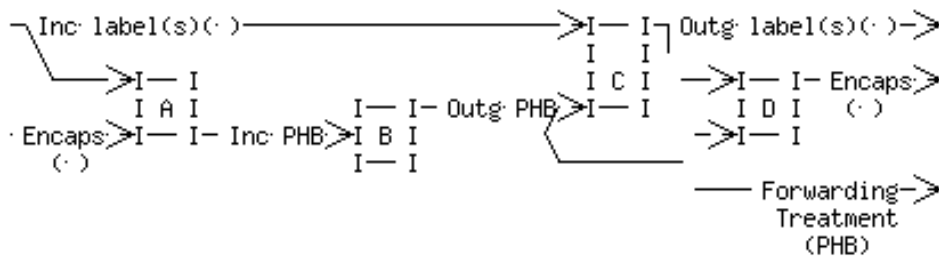


Σχήμα 9-Αντιστοίχιση IP επικεφαλίδας με MPLS shim header για δημιουργία L-LSP

Γενικά το μοντέλο προώθησης ετικετών που χρησιμοποιούν οι LSRs που εφαρμόζουν DiffServ φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελείται από τα εξής στάδια:

- A. Προσδιορισμός εισερχόμενης PHB (για εισερχόμενα πακέτα)
- B. Προσδιορισμός εξερχόμενης PHB (για εξερχόμενα πακέτα)
- C. Προώθηση ετικετών
- D. Κρυπτογράφηση (encode) της DiffServ πληροφορίας στο αντίστοιχο πεδίο Encapsulation Layer (EXP, CLP, DE, ...).

Η περαιτέρω ανάλυση του μοντέλου δεν κρίνεται σκόπιμη στην παρούσα αναφορά. Σχετικές λεπτομέρειες θα βρεθούν στο αντίστοιχο RFC-3270: MPLS Support of Differentiated Services [7] από όπου και προήλθε το σχήμα.



Σχήμα 10-Μοντέλο Προώθησης ετικετών

Πρέπει να γίνουν κάποιες μετατροπές και κάποιες επεκτάσεις [6],[10] στα πρωτόκολλα διανομής ετικετών [7] που χρησιμοποιούνται προκειμένου να μεταφέρουν πληροφορία σχετική με τις PHB μέσα στα μηνύματα που χρησιμοποιούν (path, resv,...) ώστε να συνδυάσουν την DiffServ αρχιτεκτονική.

Στο LDP πιο συγκεκριμένα οι επεκτάσεις πραγματοποιούνται με την προσθήκη ενός νέου LDP TLV που ονομάζεται Diff-Serv TLV. Αυτό το αντικείμενο είναι προαιρετικό στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται προκαθορισμένες αντιστοιχίσεις EXP-PHB για εγκατάσταση E-LSP ενώ υποχρεωτικό στην περίπτωση που δεν είναι προκαθορισμένες και μεταδίδονται κατά τη σηματοδότηση ή στην περίπτωση εγκατάστασης L-LSP. Για την περίπτωση του E-LSP το αντικείμενο περιλαμβάνει το πεδίο MAP μία ή περισσότερες φορές όπου σε κάθε μία απ' αυτές περιέχεται και μια αντιστοίχιση EXP-PHB. Αντίθετα στην περίπτωση εγκατάστασης L-LSP περιλαμβάνει μόνο ένα PSC πεδίο που υποδεικνύει το PSC (PHB Scheduling Class) που υποστηρίζεται απ' αυτό το LSP.

Όταν σαν πρωτόκολλο διανομής ετικετών χρησιμοποιείται το RSVP-TE γίνεται παρόμοια διαδικασία. Ένα νέο αντικείμενο προστίθεται, το DIFFSERV Object. Αυτό τοποθετείται στο Path Message ώστε παράλληλα να γίνεται αίτηση για ετικέτα (Label_Request Object) με τη μεταφορά αυτού του μηνύματος και να μεταφέρεται πληροφορία για τις PHBs που πρέπει να υποστηριχθούν. Η μορφή του είναι ίδια με την προηγούμενη περίπτωση, όπου πάλι περιλαμβάνει πολλά MAP πεδία στην περίπτωση που εγκαθίσταται ένα E-LSP και το κάθε ένα αναφέρεται και σε μια αντιστοίχιση EXP-PHB ενώ περιλαμβάνει ένα πεδίο μόνο που ονομάζεται PSC στην περίπτωση εγκατάστασης ενός L-LSP.

3.2.6. Σύγκριση E-LSP και L-LSP

Τέλος θα γίνει μια σύγκριση μεταξύ E-LSPs και L-LSPs και θα παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του καθενός απ' αυτά. Βέβαια δεν αναφερόμαστε σε περιπτώσεις όπου δεν χρησιμοποιείται το EXP πεδίο, όπως παράδειγμα στο ATM όπου εξ'ορισμού ορίζεται δημιουργία μόνο L-LSPs. Όπου είναι δυνατή η δημιουργία και των 2 τύπων LSPs, τα E-LSPs προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα. Κατ'αρχήν επειδή πολλές PHBs που μπορούν να υποστηριχθούν σε ένα μόνο E-LSP, τα E-LSPs περιορίζουν τον συνολικό αριθμό των LSPs, κάτι που

μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην περίπτωση που το πλήθος των labels που μπορεί να υποστηρίξει ο LSR είναι περιορισμένο. Επίσης, το 'μοντέλο' των E-LSPs είναι παρόμοιο με το προτυποποιημένο DiffServ μοντέλο. Ο LSR κοιτάζει κάποια bits στην επικεφαλίδα και αποφασίζει σε ποια PHB να κατατάξει το πακέτο. Απ'την άλλη και τα L-LSPs προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως την ικανότητα να υποστηρίξουν αυθαίρετα μεγάλο αριθμό από PHBs και όχι μόνο 8. Απ'την άλλη επειδή τα L-LSPs προσφέρουν ένα LSP για κάθε PHB ή για κάθε PSC, μπορεί κανείς να κατασκευάσει διαφορετικά μονοπάτια για διαφορετικές PHBs ανάλογα με το πως αυτός επιθυμεί. Για παράδειγμα, ένα LSP που μεταφέρει μόνο EF κίνηση θα μπορούσε να δημιουργηθεί πάνω από χαμηλής καθυστέρησης συνδέσεις (low delay links) ενώ ένα LSP που μεταφέρει AF κίνηση θα μπορούσε να περνάει από συνδέσεις που προσφέρουν περισσότερη καθυστέρηση αλλά υψηλό εύρος ζώνης. Έτσι η επιλογή ή ο συνδιασμός των LSPs που θα υποστηρίξει ένα δίκτυο δεν ακολουθούν προκαθορισμένους κανόνες, αλλά προσδιορίζονται από το κάθε δίκτυο συγκεκριμένα.

3.3. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΑ ΑΤΜ ΔΙΚΤΥΑ

3.3.1. Εισαγωγή στην ποιότητα υπηρεσίας

Οι απαιτήσεις ποιότητας των διαφόρων υπηρεσιών παρουσιάζουν σημαντική ποικιλία. Κάποιες υπηρεσίες είναι ευαίσθητες στις καθυστερήσεις, άλλες είναι ευαίσθητες στις απώλειες και κάποιες στη διακύμανση της καθυστέρησης (delay variation, jitter). Για το λόγο αυτό η παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS-Quality of Service) γίνεται όλο και πιο σημαντικό θέμα στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Με τον όρο Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) εννοούμε το βαθμό ικανοποίησης του χρήστη για μια υπηρεσία, όπως αυτός διαμορφώθηκε από την «απόδοση» της υπηρεσίας σε όλη τη διάρκεια της (δηλαδή πρόκειται για την άποψη που έχει ο χρήστης για την υπηρεσία). Το συμβόλαιο ανάμεσα στα δύο άκρα μεταφοράς σε ένα δίκτυο απαρτίζεται από τρία τμήματα:

1. Δείκτες κίνησης
2. QoS απαιτήσεις
3. Κατηγορία υπηρεσίας

Το πρώτο μέρος του συμβολαίου (δείκτες κίνησης), χαρακτηρίζει το φορτίο που μπορεί να εξυπηρετηθεί στο δίκτυο. Το δεύτερο μέρος (QoS), καθορίζει την ποιότητα υπηρεσιών. Το τρίτο μέρος δηλώνει την κατηγορία της υπηρεσίας που έχουμε και εξαρτάται από τα δύο προηγούμενα μέρη του συμβολαίου. Οι δείκτες που δίνουν πληροφορίες για την κίνηση και συνιστούν τον connection traffic descriptor, όπως είπαμε νωρίτερα, είναι οι ακόλουθοι:

- Μέγιστος αριθμός κυψελίδων (PCR-Peak Cell Rate)
- Μέγιστο μέγεθος μεγάλης ροής (MBS-Maximum Burst Size)
- Υποστηρίξιμος ρυθμός κυψελίδων (SCR-Sustainable Cell Rate)
- Ελάχιστος αριθμός κυψελίδων (MCR-Minimum Cell Rate)
- Ανοχή απόκλισης καθυστέρησης κυψελίδων (CDTV-Cell Delay Variation Tolerance)

Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την ποιότητα υπηρεσιών και συνεπώς την απόδοση του δικτύου είναι οι εξής:

- Ρυθμός απώλειας cells (CLR-Cell Loss Ratio)
- Καθυστέρηση μετάδοσης cell (CTD-Cell Transfer Delay)
- Ρυθμός λανθασμένων κυψελίδων (CER-Cell Error Ratio)
- Ρυθμός μπλοκ κυψελίδων με σοβαρά προβλήματα (SECBR-Severely Errored Cell Block Ratio)
- Ρυθμός λανθασμένης εισαγωγής κυψελίδων (CMR-Cell Misinsertion Rate)
- Μέση καθυστέρηση μεταφοράς κυψελίδων (MCTD-Mean Cell Transfer Delay)
- Μεταβολή καθυστερήσεων (CDV-Cell Delay Variation)

3.3.2. Παράμετροι QoS στα ATM δίκτυα

Στο σημείο αυτό χρειάζεται να εξειδικευτούν οι QoS παράμετροι της απόδοσης στα ATM δίκτυα. Η ποιότητα της υπηρεσίας που παρέχει ένα δίκτυο ATM μετράται με ένα σύνολο από παραμέτρους που χαρακτηρίζουν την απόδοση της σύνδεσης σε επίπεδο ATM. Με βάση τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν την ποιότητα υπηρεσίας έχουμε τρεις παραμέτρους διαπραγματεύσιμες μεταξύ του συστήματος πρόσβασης στο δίκτυο και του δικτύου και μια ή περισσότερες παραμέτρους που μπορούν να προσφερθούν μεμονωμένα κατά σύνδεση για τον προσδιορισμό της QoS. Οι διαπραγματεύσιμες παράμετροι είναι:

- **Peak-to-peak Cell Delay Variation (Peak-to-Peak CDV):**

Η διακύμανση από την καθυστέρηση μετάδοσης (peak-to-peak CDV) ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της μέγιστης καθυστέρησης που μπορεί να έχει ένα cell ώστε να θεωρείται έγκυρο, (ή με άλλα λόγια του maxCTD, που ορίζεται ακολούθως), και της ελάχιστης, που ισούται με τον ελάχιστο χρόνο για τη μετάδοση από άκρο σε άκρο.

- **Maximum Cell Transfer Delay (maxCTD):**

Ο χρόνος που χρειάζεται για τη μεταφορά ενός cell ορίζεται ως ο χρόνος από τη στιγμή ενός γεγονότος αναχώρησης, από το σημείο μέτρησης της αφετηρίας, μέχρι το γεγονός εισόδου στο σημείο μέτρησης του προορισμού. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται Cell Transfer Delay (CTD) και είναι το άθροισμα των χρόνων που χρειάζεται για να μεταφερθεί το cell σε γειτονικές δικτυακές συσκευές, καθώς και ο χρόνος που δαπανά σε κάθε δικτυακή συσκευή (χρόνος επεξεργασίας του cell και προώθησής του). Ο μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος για την μετάδοση ενός cell μετρημένος σε milliseconds, ονομάζεται maxCTD και καθορίζει το χρόνο πέρα από τον οποίο αν ληφθεί το cell τότε θεωρείται εκπρόθεσμο και πρέπει να απορριφθεί. Θεωρείται τοπολογική μετρική για τις κατηγορίες υπηρεσιών σταθερού και μεταβλήτου ρυθμού μετάδοσης (CBR, rt-VBR και nrt-VBR) του ATM, ενώ δεν χρησιμοποιείται για τις UBR και ABR.

- **Cell Loss Ratio (CLR):**

Η παράμετρος αυτή ισούται με το λόγο των κελιών που είτε έχουν χαθεί και άρα δεν έφθασαν στον προορισμό, είτε καθυστέρησαν περισσότερο από maxCTD –οπότε απορρίφθηκαν-, προς το συνολικό αριθμό πακέτων που μεταδόθηκαν. Στον υπολογισμό αυτό δεν πρέπει να υπολογίζονται τα πακέτα τα οποία ανήκουν σε ομάδα N πακέτων στα οποία παρουσιάστηκαν πολλά προβλήματα (δηλαδή περισσότερα από M χαμένα ή καθυστερημένα πακέτα ή πακέτα που έλαβε το ένα άκρο της σύνδεσης χωρίς να έχουν σταλεί από το άλλο).

- **Cell Error Ratio (CER):**

Ορίζεται ως ο αριθμός των πακέτων που περιέχουν λάθος είτε στα περιεχόμενα, είτε στις επικεφαλίδες τους προς το συνολικό αριθμό των πακέτων που μεταδόθηκαν. Ομοίως, σε αυτή τη περίπτωση δεν πρέπει να υπολογιστούν τα πακέτα τα οποία ανήκουν σε ομάδα N πακέτων στα οποία παρουσιάστηκαν πολλά προβλήματα (δηλαδή περισσότερα από M χαμένα ή καθυστερημένα πακέτα ή πακέτα που έλαβε το ένα άκρο της σύνδεσης χωρίς να έχουν σταλεί από το άλλο). $CER = \frac{\text{Cells dTransmitte}}{\text{TotalCells Errored}}$

- **Severely Errored Cell Block Ratio (SECBR):**

Ο λόγος των ομάδων πακέτων που παρουσίασαν αρκετά λάθη προς το συνολικό αριθμό των ομάδων που μεταδόθηκαν. Μια ομάδα των N πακέτων παρουσίασε αρκετά λάθη όταν τουλάχιστον M πακέτα της ομάδας περιείχαν λάθη ή καθυστέρησαν ή παραδόθηκαν στον προορισμό χωρίς να έχουν σταλεί από την πηγή. Συνήθως, ομάδα αποτελούν τα πακέτα χρήστη που βρίσκονται μεταξύ συνεχόμενων πακέτων διαχείρισης.

- **Cell Misinsertion Rate (CMR):**

Ο αριθμός των πακέτων που ενώ λήφθηκαν από το ένα άκρο δεν είχαν αποσταλεί από το άλλο. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται ως ο λόγος του αριθμού αυτών των

πακέτων προς το χρονικό διάστημα που παρατηρήθηκαν. Και σε αυτή την περίπτωση δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο υπολογισμό τα cell που μετρήθηκαν στο SECBR.

3.3.3. Κατηγορίες Υπηρεσιών ATM

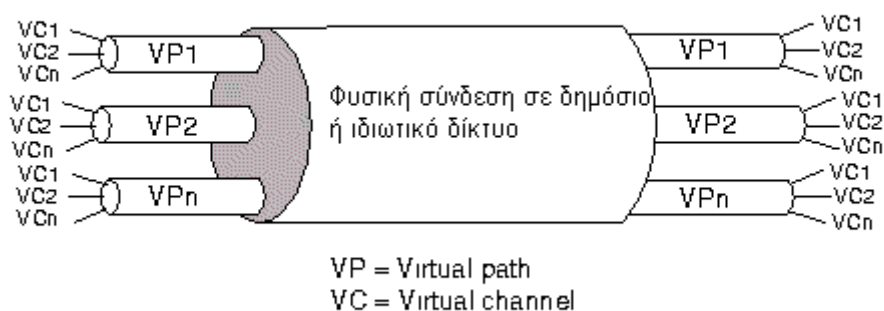
Με βάση τις παραμέτρους κίνησης και τις παραμέτρους ποιότητας, ορίζονται πέντε κατηγορίες υπηρεσιών για την μεταφορά των ATM cells. Η **Constant Bit Rate (CBR)** υπηρεσία ορίζεται για την κίνηση που απαιτεί σταθερό bandwidth, το οποίο καθορίζεται από το Peak Cell Rate (PCR) που πρέπει να είναι συνεχώς διαθέσιμο. Το δίκτυο εγγυάται ότι όλα τα cells που εκπέμπονται από την πηγή και συμφωνούν με το PCR θα μεταφερθούν από το δίκτυο με ελάχιστη απώλεια cells και μέσα σε καθορισμένους περιορισμούς του maxCTD και του peak-to-peak CDV (των παραμέτρων καθυστέρησης δηλαδή). Αυτός ο τύπος κίνησης χρησιμοποιείται συνήθως για μετάδοση φωνής και video που απαιτεί ελάχιστη ή καθόλου απώλεια cell και ακριβή έλεγχο χρονισμού κατά τη μετάδοση. Η **real time Variable Bit Rate (rt-VBR)** υπηρεσία χαρακτηρίζεται από το PCR (και τη σχετιζόμενη ανοχή), το Sustained Cell Rate (SCR) και το Maximum Burst Size (MBS) σε cells που ελέγχουν την «εκρηκτική» φύση της VBR κίνησης. Το δίκτυο προσπαθεί να παραδώσει cells «συμμορφούμενων» συνδέσεων μέσα σε καθορισμένους περιορισμούς του maxCTD και του peak-to-peak CDV. Είναι κατάλληλη για αιτήσεις φωνής ή video. Η **non real time Variable Bit Rate (nrt-VBR)** πηγές καθορίζονται επίσης από τα PCR, SCR και MBS, αλλά είναι λιγότερο ευαίσθητες στην καθυστέρηση και στη διακύμανση της καθυστέρησης. Προορίζεται για αιτήσεις που έχουν ακραία χαρακτηριστικά κίνησης και δεν έχουν ισχυρούς περιορισμούς στην καθυστέρηση και τη διακύμανσή της. Η **Available Bit Rate (ABR)** υπηρεσία καθορίζεται από το PCR και το Minimum Cell Rate (MCR) που εγγυάται το δίκτυο. Το bandwidth που δεσμεύεται από το δίκτυο σε μια ABR σύνδεση μπορεί να αλλάζει κατά τη διάρκεια τη σύνδεσης, αλλά δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το MCR. Οι ABR συνδέσεις χρησιμοποιούν μηχανισμό ελέγχου ανάδρασης κλειστού κύκλου που στηρίζεται στο εύρος για τον έλεγχο συμφόρησης. Το δίκτυο προσπαθεί να διατηρήσει μικρό CLR αλλάζοντας τα Allowed Cell Rates (ACR) στα οποία μπορεί μια πηγή να στείλει. Η **Unspecified Bit Rate (UBR)** υπηρεσία προορίζεται για αιτήσεις best effort, και αυτή η κατηγορία δεν υποστηρίζει κάποιες εγγυήσεις υπηρεσιών. Η UBR δεν έχει δομή για υποστήριξη μηχανισμών ελέγχου συμφόρησης. Η UBR διαχειρίζεται τη συμφόρηση με κανόνες διαχείρισης του αποτελεσματικού αποθηκευτικού χώρου (efficient buffer) εντός του switch.

3.3.4. Εφαρμογή QoS στα ATM δίκτυα

Από τη στιγμή που για κάποια σύνδεση έχουν δεσμευθεί τα άκρα της και το δίκτυο για κάποιο «συμβόλαιο» κίνησης, τότε πρέπει να αναπτυχθούν μηχανισμοί που να ελέγχουν αν ικανοποιείται το συμβόλαιο αυτό. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν να βοηθήσουν το χρήστη να διαφοροποιήσει τα χαρακτηριστικά της κίνησης που εισάγει στο δίκτυο (traffic shaping) και το δίκτυο να προστατευθεί από χρήστες οι οποίοι παραβιάζουν το συμβόλαιο κίνησης ηθελημένα ή όχι. Ο μηχανισμός ο οποίος ελέγχει το ρυθμό ροής των cell, ονομάζεται γενικός αλγόριθμος ρυθμού cell (**Generic Cell Rate Algorithm – GCRA**). Ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόζεται σε κάθε cell και αποφασίζει αν ικανοποιείται το συμβόλαιο κίνησης. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να

εφαρμοστεί από τις λειτουργίες ελέγχου κίνησης (UPC-Utilities Processing Control) για να ανιχνευτούν τα cell που παραβιάζουν το συμβόλαιο και να απορριφθούν ή να μαρκαριστούν ως υποψήφια για απόρριψη (μέσω του Cell Loss Priority bit). Παρότι δεν είναι υποχρεωτικό να εφαρμοστεί ο GCRA από τις δικτυακές συσκευές, εντούτοις είναι υποχρεωτικό κάθε αλγόριθμος που χρησιμοποιείται να έχει τα ίδια αποτελέσματα με αυτόν. Επομένως, για να πραγματοποιηθεί μια σύνδεση που έχει κάποιες απαιτήσεις όσον αφορά την ποιότητα που απαιτεί από το δίκτυο, θα πρέπει να δεσμευθούν πόροι σε όλες τις δικτυακές συσκευές κατά μήκος του μονοπατιού και επίσης θα πρέπει, και πάλι από όλες τις ενδιάμεσες συσκευές, για κάθε cell που εισάγεται στο δίκτυο να ελέγχεται αν ικανοποιεί το συμβόλαιο κίνησης και αν όχι να γίνονται οι απαραίτητες ενέργειες. Όλο αυτό το σύνολο λειτουργιών που είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο θα δημιουργούσε τεράστιο πρόβλημα στα στοιχεία του δικτύου και ιδιαίτερα σε εκείνα μέσω των οποίων διέρχονται πολλές κλήσεις. Αν κάθε δικτυακή συσκευή υλοποιούσε αυτές τις λειτουργίες τότε θα μπορούσε να εξυπηρετήσει μόνο λίγες κλήσεις.

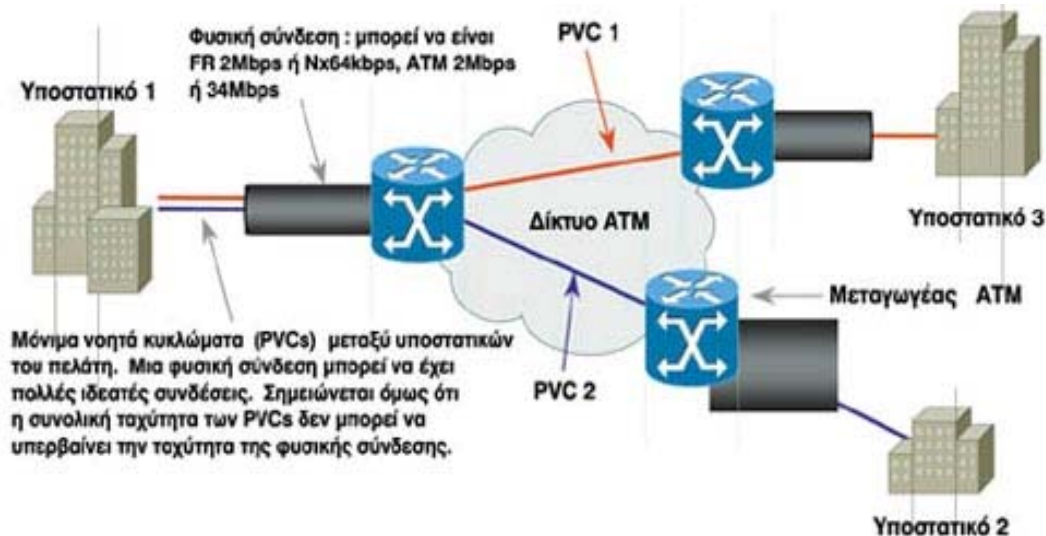
Για να επιλυθεί το πρόβλημα αυτό τα δίκτυα ATM ορίζουν δύο επίπεδα σύνδεσης, το επίπεδο νοητού μονοπατιού (**virtual path**) και το επίπεδο νοητού κυκλώματος (**virtual circuit**). Καταρχάς, σε ένα δίκτυο υπάρχουν τα δικτυακά στοιχεία και οι φυσικές συνδέσεις, οι οποίες ενώνουν δύο κόμβους. Αυτό είναι το φυσικό δίκτυο. Πάνω από αυτό, ορίζονται νοητές συνδέσεις μεταξύ οποιονδήποτε κόμβων και έτσι δημιουργείται ένα άλλο (νοητό) δίκτυο. Για τις συνδέσεις στο επίπεδο αυτό ορίζονται κάποια χαρακτηριστικά κίνησης και κάποιες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν και την πιο απαιτητική εφαρμογή που θα διέλθει μέσω αυτού του μονοπατιού. Τα νοητά κυκλώματα χρησιμοποιούν αυτό το δίκτυο. Έστω για παράδειγμα ότι μεταξύ δύο χρηστών πρέπει να εγκατασταθεί μια σύνδεση και έστω ότι υπάρχει ένα νοητό μονοπάτι μεταξύ των δύο δικτυακών συσκευών.



Σχήμα 11-Φυσική Σύνδεση

Αν το VP μπορεί να δεσμεύσει τους απαραίτητους πόρους και μπορεί να εξυπηρετήσει τη ζητούμενη σύνδεση (δηλαδή το VC που πρέπει να δημιουργηθεί), τότε η σύνδεση γίνεται. Τα χαρακτηριστικά της κίνησης, ακόμα και η ύπαρξη του VC, είναι γνωστά μόνο στα άκρα του VP. Οι ενδιάμεσες δικτυακές συσκευές δεν γνωρίζουν τίποτα για τη σύνδεση αυτή. Άρα, ο έλεγχος του συμβολαίου κίνησης της σύνδεσης και η δέσμευση των απαραίτητων πόρων γίνεται μόνο στις δύο τερματικές

δικτυακές συσκευές. Τα ενδιάμεσα στοιχεία του δικτύου ενδιαφέρονται μόνο για το αν το VP ως σύνολο έχει κίνηση που δεν παραβιάζει το συμβόλαιο κίνησης και γι' αυτό ελέγχουν όλα τα cell του VP χωρίς να ενδιαφέρονται σε ποιο VC ανήκουν. Προφανώς αν μεταξύ των τερματικών δικτυακών συσκευών δεν ορίζεται κάποιο VP, τότε είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένα σύνολο από VP για να αποκατασταθεί η σύνδεση και άρα το VC. Μόνο αυτές οι δικτυακές συσκευές, που είναι στα άκρα των VP, γνωρίζουν την ύπαρξη του VC. Η τεχνική αυτή του καθορισμού των VP, διευκολύνει αρκετά τη δημιουργία μεγάλων δικτύων στα οποία για όλες τις συνδέσεις ικανοποιείται ένα συμβόλαιο κίνησης.



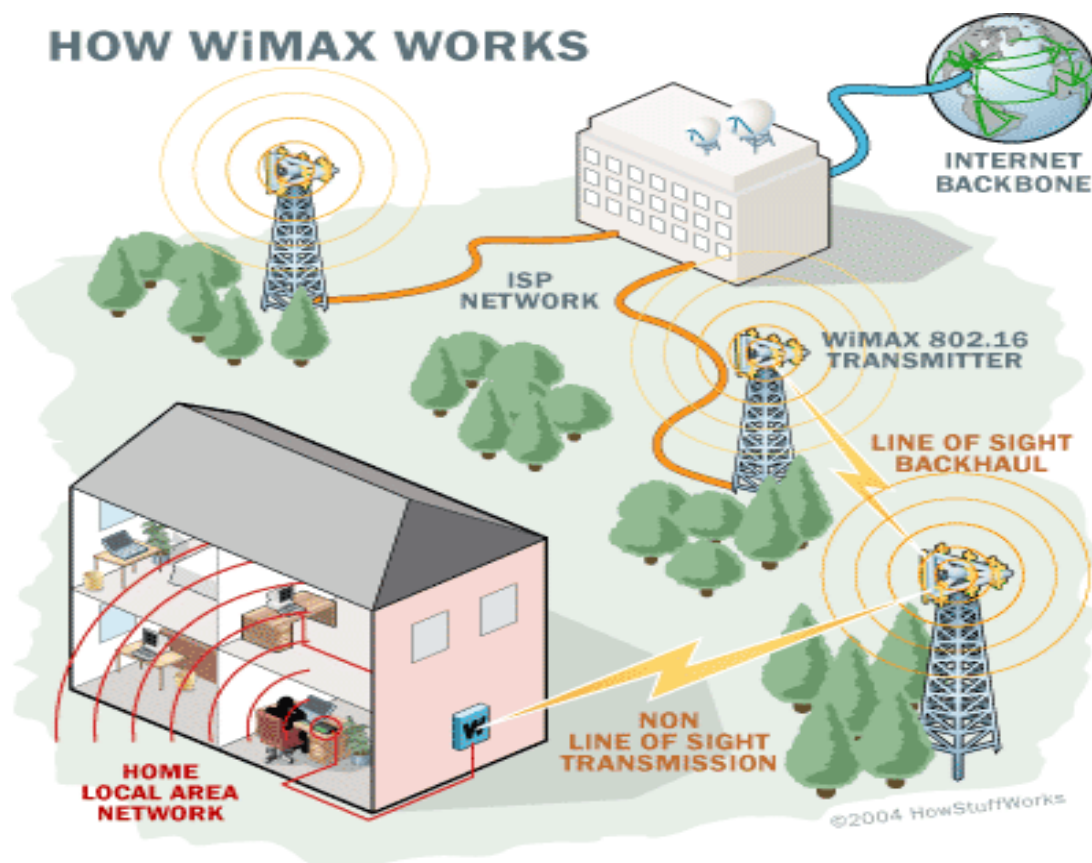
Σχήμα 12- Παράδειγμα ATM Δικτύου

3.3.5. Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις παραμέτρους QoS στο ATM

Είναι πολύ σημαντικό να ληφθούν υπ' όψη παράγοντες που μπορούν να έχουν αντίκτυπο στις παραμέτρους QoS και οφείλονται σε ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά δημόσιων ή ιδιωτικών ATM δικτύων. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους η QoS μπορεί να υποβαθμιστεί και διάφορες δικτυακές λειτουργίες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ικανότητα του δικτύου να παρέχει αξιόλογη QoS. Ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους η παροχή QoS μπορεί να υποβαθμιστεί είναι η ίδια η αρχιτεκτονική των ATM switches. Ο σχεδιασμός του switching πίνακα μπορεί να μην είναι βέλτιστος ή η στρατηγική buffering μπορεί να μοιράζεται σε πολλά ports, σε αντίθεση με την παροχή buffering ανά port ή ανά VC. Επομένως η δυνατότητα για buffering μπορεί να γίνει ανεπαρκής και να προκύψουν συνθήκες συμφόρησης στο δίκτυο. Άλλες πηγές υποβάθμισης της QoS είναι λάθη που οφείλονται στο μέσο μετάδοσης, υπερβολικός φόρτος κίνησης, δέσμευση υπερβολικής χωρητικότητας για ένα συγκεκριμένο σύνολο συνδέσεων και απώλειες λόγω διακοπής λειτουργίας κάποιου port, link ή switch.

3.4 . ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ WiMAX

Η **WiMAX** αποκαλείται η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης η οποία λειτουργεί με παρεμφερή τρόπο με το WiFi, ωστόσο με πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια. Συγκεκριμένα, ενώ το WiFi εξασφαλίζει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι 100 μέτρα, το WiMax φθάνει τα 35 χιλιόμετρα ή και παραπάνω.

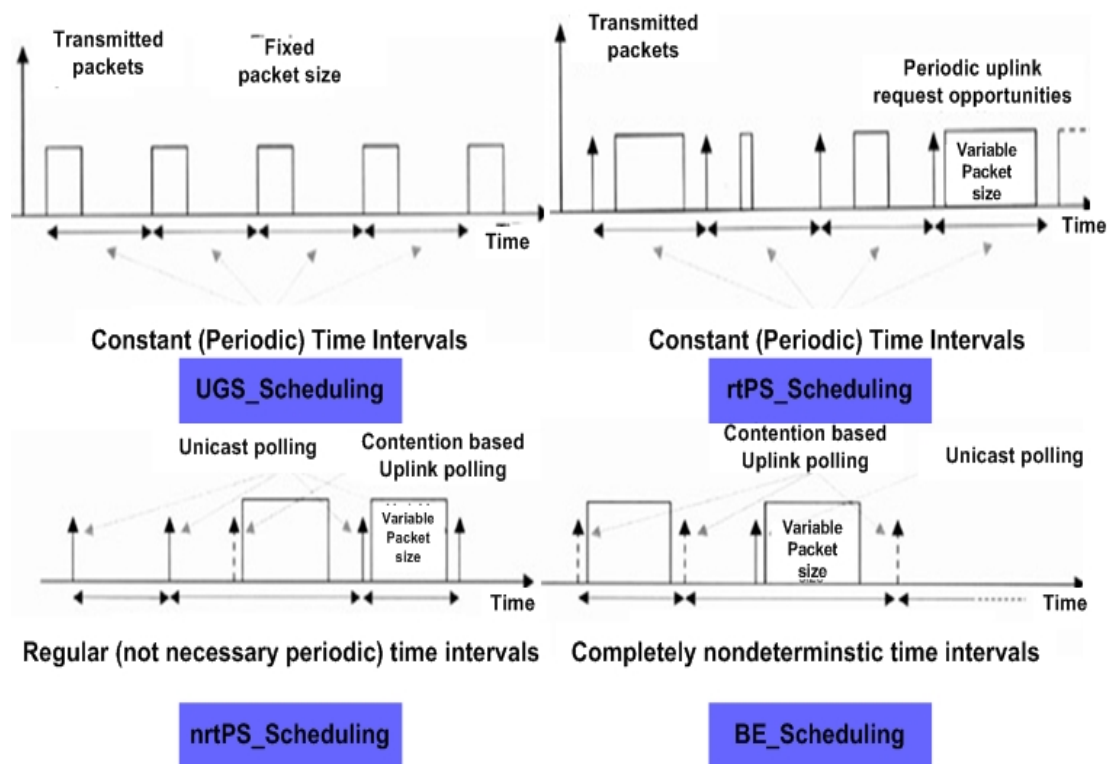


Σχήμα 13-WiMax

3.4.1. Μηχανισμοί Υποστήριξης QOS WiMax

Το WiMAX χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών ευρυζωνικής πρόσβασης στο internet σε τελικούς χρήστες, με εξοπλισμό ιδιαίτερα εύκολο στην εγκατάσταση. Με τον ίδιο τρόπο που σήμερα εγκαθιστά κανείς στον υπολογιστή του μια κάρτα δικτύωσης WiFi, μελλοντικά θα εγκαθιστά μια κάρτα WiMAX η οποία θα του επιτρέπει να χρησιμοποιήσει από τον οικιακό του χώρο (και όχι μόνο) τις ασύρματες υπηρεσίες που παρέχουν οι ISP. Το αρχικό πρωτόκολλο του WiMAX όριζε το WiMAX στο εύρος των 10 με 66 GHz. Το πρωτόκολλο 802.16a αναβαθμίστηκε το 2004 σε 802.16-2004 προσθέτοντας προδιαγραφές για το εύρος 2 με 11 GHz. Το 802.16-2004 αναβαθμίστηκε στο 802.16e το 2005 και χρησιμοποιεί τύπο συχρότητας scalable orthogonal frequency-division multiple access (SOFDMA) ο οποίος συγκρούεται με την έκδοση OFDM-256 που χρησιμοποιείται από το

802.16d. Οι πιο εξελιγμένες μορφές πρωτοκόλλων, συμπεριλαμβανομένου και του 802.16e, χρησιμοποιούν Multiple Antenna Support δια μέσω του συστήματος Multiple-input multiple-output (MIMO) το οποίο παραπέμπει στη χρήση Multiple Antenna και από τον πομπό και από τον δέκτη. Αυτό μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της κάλυψης, της ατομικής εγκατάστασης, της αποτελεσματικής χρήσης και της ευρυζωνικής αποτελεσματικότητας. Το 802.16e προσθέτει την ικανότητα για κάλυψη σε περίπτωση κίνησης του χρήστη. Παρακάτω αναλύονται οι μηχανισμοί που έχουν αναπτυχτεί για να παρέχεται ποιότητα υπηρεσίας σε WiMAX δίκτυα.



Σχήμα 14-WiMax (2)

3.4.2. Unsolicited Grant Service (UGS)

Αυτή η υπηρεσία έχει ως σκοπό να υποστηρίξει τις εφαρμογές που παράγουν τα πακέτα των στοιχείων καθορισμένου μεγέθους περιοδικά όπως T1/E1 και VoIP χωρίς καταστολή σιωπής. Για να υποστηρίξουν τις ανάγκες τέτοιων εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο και να μειώσουν τα γενικά έξοδα με τη διαδικασία αίτημα-επιχορήγησης εύρους ζώνης, οι BS διαθέτουν τις σταθερές επιχορηγήσεις στοιχείων μεγέθους χωρίς λήψη των ρητών αιτημάτων από το SS. Το μέγεθος των επιχορηγήσεων είναι βασισμένο στο μέγιστο ποσοστό που μπορεί να στηριχτεί από την αίτηση και συζητιέται στην οργάνωση σύνδεσης.

3.4.3. real-time Polling Service (rtPS)

Αυτή η υπηρεσία έχει ως σκοπό να υποστηρίξει τις εφαρμογές που παράγουν τα πακέτα μεταβλητού μεγέθους σε πραγματικό χρόνο σε περιοδική βάση όπως το βίντεο MPEG ή VoIP με την καταστολή σιωπής. Οι BS επιτρέπουν στο SSs να υποβάλουν τα περιοδικά αιτήματα unicast και επιτρέπουν να διευκρινίσουν το μέγεθος της επιθυμητής επιχορήγησης. Δεδομένου ότι ένα αφιερωμένο αίτημα επιχορήγησης είναι ισχυρισμός-ελεύθερο, το αίτημα εύρους ζώνης είναι εγγυημένο για να παραληφθεί από το SS εγκαίρως. Το SSs που ανήκει σε αυτήν την κατηγορία είναι απαγορευμένο από τη χρησιμοποίηση των ευκαιριών αιτήματος ισχυρισμού.

3.4.4. non real-time Polling Service (nrtPS):

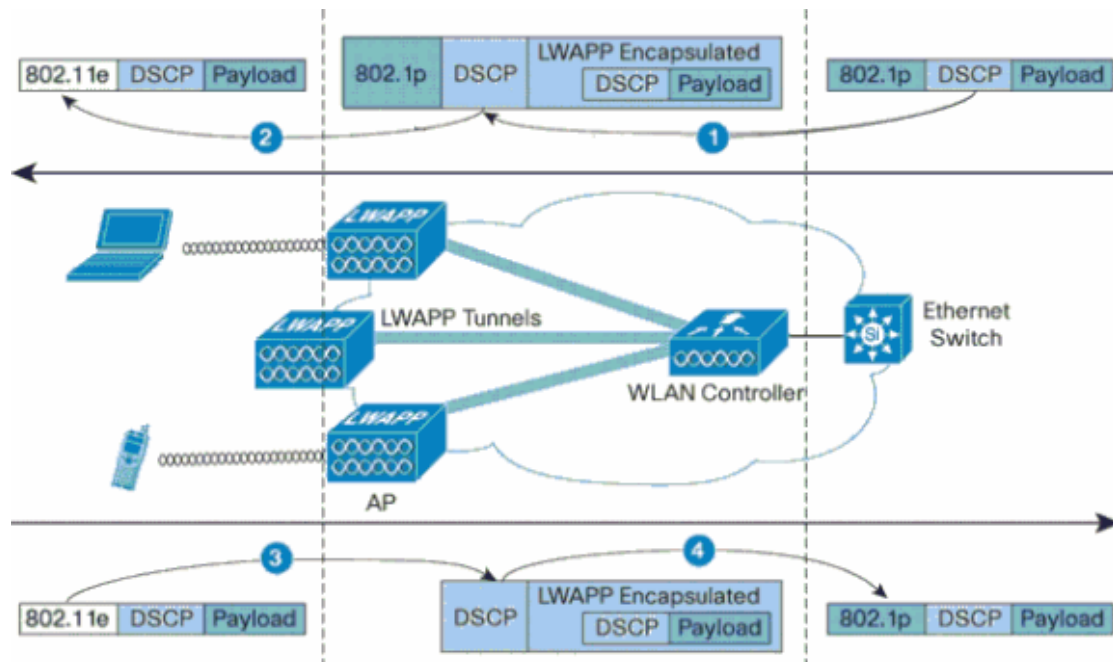
Η nrtPS σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει τις μη-πραγματικές χρονικές αιτήσεις που απαιτούν τις μεταβλητές εκρήξεις επιχορήγησης στοιχείων μεγέθους σε κανονική βάση. Αυτή η υπηρεσία υποστηρίζει τις εφαρμογές που έχουν καθυστέρηση ανεκτική αλλά μπορεί να χρειαστούν την υψηλή ρυθμοαπόδοση όπως οι εφαρμογές πρωτοκόλλου μεταφοράς αρχείων (FTP). Οι BS επιτρέπουν στο SS για να κάνουν το περιοδικό unicast να χορηγήσει τα αιτήματα, ακριβώς όπως το rtPS σχεδιάζοντας την υπηρεσία, αλλά τα αιτήματα εκδίδονται σε πιο μακροχρόνια διαστήματα. Αυτό θα εξασφαλίσει ότι το SSs λαμβάνει το αίτημα 19ευκαιρίες ακόμη και κατά τη διάρκεια της συμφόρησης δικτύων. Το SSs αυτής της κατηγορίας επιτρέπεται επίσης να χρησιμοποιήσει τις ευκαιρίες αιτήματος ισχυρισμού."

3.4.5. 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.

3.5. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 802.11e

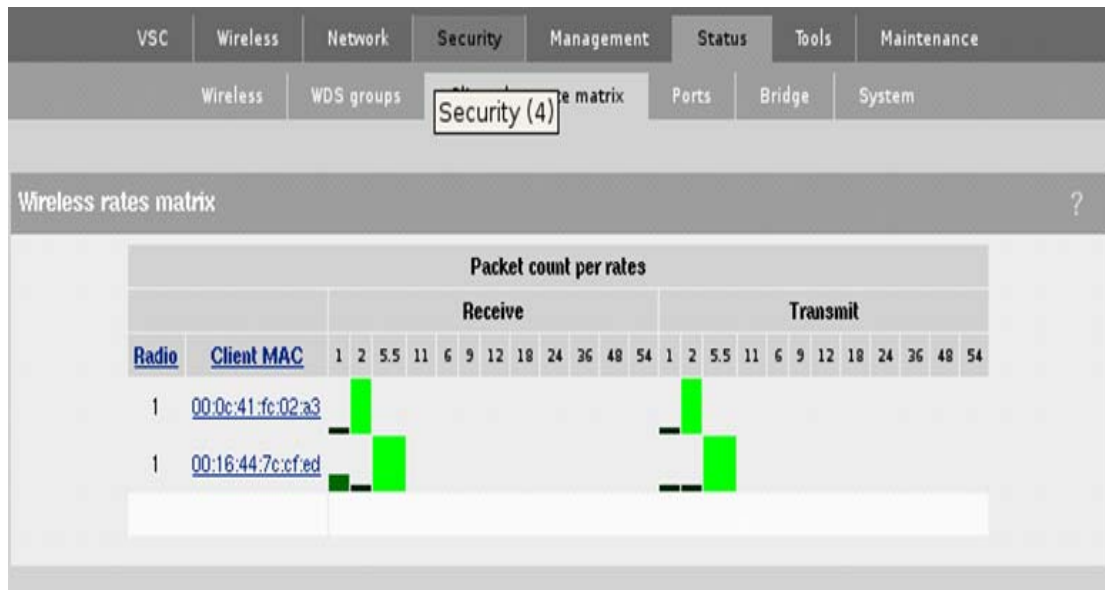
Η τεχνολογία 802.11e προσπαθεί να εμπλουτίσει το MAC επίπεδο του 802.11 για να αυξήσει την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας. Η βελτίωση στις ικανότητες και την αποδοτικότητα σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτρέψουν σε εφαρμογές όπως η φωνή, το βίντεο, ή η μεταφορά ήχου πάνω από 802.11 ασύρματα δίκτυα.



Σχήμα 15- 802.11e

3.5.1. Μηχανισμοί Υποστήριξης QoS 802.11e

Οι σταθμοί, που λειτουργούν κάτω από 802.11e, καλούνται ενισχυμένοι σταθμοί, και ένας ενισχυμένος σταθμός, ο οποίος μπορεί προαιρετικά να λειτουργήσει ως κεντρικός ελεγκτής για όλους τους άλλους σταθμούς μέσα στο ίδιο QBSS, καλείται υβριδικός συντονιστής (HC). Ένα QBSS είναι ένα BSS, το οποίο περιλαμβάνει ένα 802.11e-υποχωρητικό HC και τους σταθμούς. Το HC θα κατοικήσει χαρακτηριστικά μέσα σε ένα AP 802.11e. Παρακάτω, σημαίνουμε τους 802.11e-υποχωρητικούς ενισχυμένους σταθμούς από τους σταθμούς. Με 802.11e, μπορούν ακόμα να υπάρξουν οι δύο φάσεις λειτουργίας μέσα στα superframes, δηλ., ένα CP και ένα CFP, τα οποία εναλλάσσονται με την πάροδο του χρόνου συνεχώς. Το EDCF χρησιμοποιείται στο CP μόνο, ενώ το HCF χρησιμοποιείται και στις δύο φάσεις, το οποίο κάνει αυτό το νέο υβρίδιο λειτουργίας συντονισμού. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα διαφοροποίησης μεταξύ δύο χρηστών σε ένα δίκτυο 802.11e.



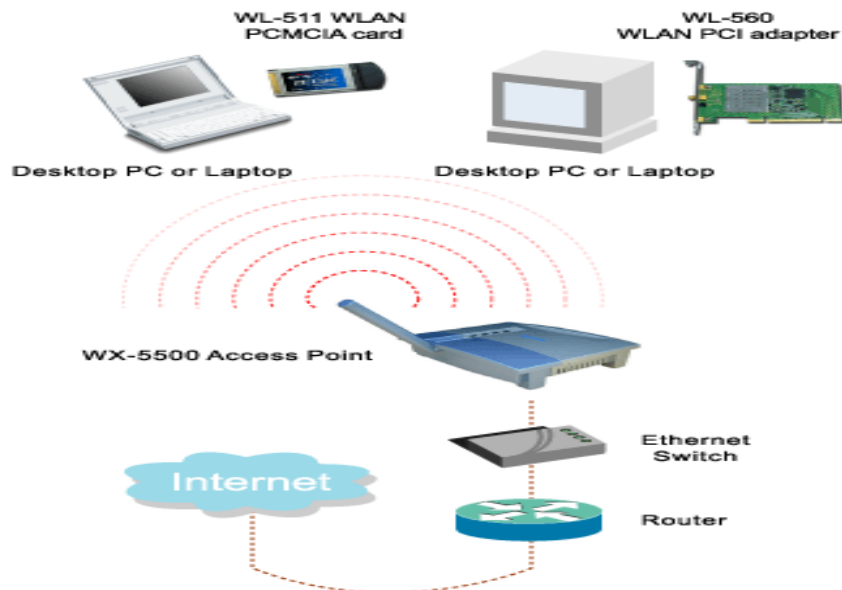
Σχήμα 16- 802.11e (2)

3.6. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 802.11a

IEEE 802.11a-1999 ή 802.11a είναι μια τροποποίηση στη IEEE 802.11 προδιαγραφή που πρόσθεσε μια υψηλότερη απόδοση ρυθμού μέχρι 54 MBIT/s και χρησιμοποιεί τη ζώνη 5 Ghz. Έχει δει τη διαδεδομένη παγκόσμια εφαρμογή, ιδιαίτερα μέσα στον εταιρικό χώρο εργασίας.

3.6.1. Μηχανισμοί Υποστήριξης QOS 802.11a

Τα πρότυπα 802.11a χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο πυρήνων όπως τα αρχικά πρότυπα, ενεργοποιούν στη ζώνη 5 Ghz, και χρησιμοποιούν ορθογώνια να πολλαπλασιάσουν συχνότητα-τμήματος 52 υπομεταφορέων (OFDM) με ένα μέγιστο ακατέργαστο ποσοστό στοιχείων 54 MBIT/s, το οποίο παράγει τη ρεαλιστική καθαρή επιτεύξιμη απόδοση ρυθμού στα 20 MBIT/s. Το ποσοστό στοιχείων μειώνεται σε 48, 36, 24, 18, 12, 9 έπειτα 6 MBIT/s αν είναι απαραίτητο. Η 802.11a αρχικά είχε 12/13 μη-επικαλυπτόμενα κανάλια, 12 που μπορούν να είναι χρησιμοποιημένα εσωτερικά και 4/5 των 12 που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο υπαίθριο σημείο για να δείξουν τις διαμορφώσεις. Πρόσφατα πολλές χώρες του κόσμου επιτρέπουν τη λειτουργία στη ζώνη 5.47 έως 5.725 Ghz ως δευτεροβάθμιο χρήστη χρησιμοποιώντας μια μέθοδο διανομής που παράγεται σε 802.11h. Αυτό θα προσθέσει τα κανάλια ενός άλλου 12/13 στη γενική ζώνη 5 Ghz επιτρέποντας τη σημαντική γενική ικανότητα ασύρματων δικτύων επιτρέποντας τη δυνατότητα των καναλιών 24+ σε μερικές χώρες. 802.11a δεν είναι διαλειτουργικό με 802.11b όπως λειτουργούν στις χωριστές ζώνες, εκτός από εάν χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό που έχει μια διπλή ικανότητα ζωνών. Σχεδόν όλα τα σημεία πρόσβασης επιχειρηματικής κατηγορίας έχουν τη διπλή ικανότητα ζωνών.



Σχήμα 17- 802.11a

Η χρησιμοποίηση της ζώνης 5 Ghz δίνει σε 802.11a ένα σημαντικό πλεονέκτημα, δεδομένου ότι η ζώνη 2.4 Ghz είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθεί στο σημείο της συσσώρευσης. Η υποβάθμιση που προκαλείται από τέτοιες συγκρούσεις μπορεί να προκαλέσει τις συχνές πεταγμένες συνδέσεις και την υποβάθμιση της υπηρεσίας. Εντούτοις, αυτή η υψηλή συχνότητα μεταφορέων φέρνει επίσης ένα μικρό μειονέκτημα: Η αποτελεσματική γενική σειρά 802.11a είναι ελαφρώς λιγότερο από αυτό 802.11b/g 802.11a τα σήματα δεν μπορούν να διαπεράσουν μέχρι εκείνους για 802.11b επειδή απορροφώνται ευκολότερα από τους τοίχους και άλλα στερεά αντικείμενα στην πορεία τους.

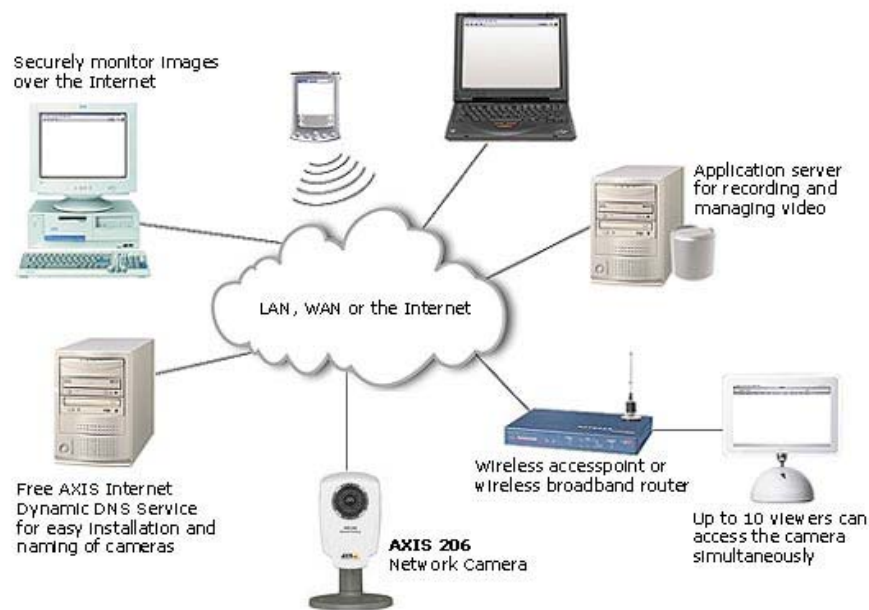
3.7 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 802.11b

IEEE 802.11b-1999 ή 802.11b, είναι μια τροποποίηση στη IEEE 802.11 προδιαγραφή που επέκτεινε τη ρυθμοαπόδοση μέχρι 11 MBIT/s χρησιμοποιώντας την ίδια ζώνη 2.4 Ghz. Αυτή η προδιαγραφή με το όνομα μάρκετινγκ της WI-Fi έχει εφαρμοστεί όλων πέρα από τον κόσμο. Η τροποποίηση έχει ενσωματωθεί στα δημοσιευμένα IEEE 802.11-2007 πρότυπα.

3.7.1. Μηχανισμοί Υποστήριξης QOS 802.11b

Το πρωτόκολλο 802.11b έχει ένα μέγιστο ακατέργαστο ποσοστό στοιχείων 11 MBIT/s και χρησιμοποιεί την ίδια μέθοδο προσπέλασης μέσω CSMA/CA που καθορίζεται στα αρχικά πρότυπα. Λόγω των γενικών εξόδων πρωτοκόλλου CSMA/CA, στην πράξη η μέγιστη ρυθμοαπόδοση 802.11b που μια εφαρμογή μπορεί να επιτύχει είναι περίπου 5.9 MBIT/s που χρησιμοποιούν το TCP και 7.1 MBIT/s που

χρησιμοποιούν UDP. Η 802.11b χρησιμοποιείται σε μια point-to-multipoint διαμόρφωση, όπου ένα σημείο πρόσβασης επικοινωνεί μέσω μιας πανκατευθυντικής κεραίας με έναν ή περισσότερους νομαδικούς ή κινητούς πελάτες που βρίσκονται σε μια περιοχή κάλυψης περίπου το σημείο πρόσβασης. Η χαρακτηριστική εσωτερική σειρά είναι 30 μ (πόδια 100) σε 11 MBIT/s και 90 μ (πόδια 300) σε 1 MBIT/s. Το γενικό εύρος ζώνης είναι δυναμικά απαίτηση κοινή σε όλους τους χρήστες σε ένα κανάλι. Με τις εξωτερικές κεραίες υψηλός-κέρδους, το πρωτόκολλο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στο σταθερό σημείο για να δείξει τις ρυθμίσεις, χαρακτηριστικά στις σειρές μέχρι 8 χιλιόμετρα (5 μίλια) αν και κάποια επιτυχία εκθέσεων στις σειρές μέχρι 80-120 χλμ (50-75 μίλια) όπου η γραμμή θέας μπορεί να καθιερωθεί. Αυτό γίνεται συνήθως αντί των δαπανηρών μισθωμένων γραμμών ή του πολύ δυσκίνητου εξοπλισμού επικοινωνιών μικροκυμάτων. Οι σχεδιαστές τέτοιων εγκαταστάσεων που επιθυμούν να παραμείνουν μέσα στο νόμο πρέπει εντούτοις να είναι προσεκτικοί για τους νομικούς περιορισμούς στην αποτελεσματική ακτινοβολούσα δύναμη.

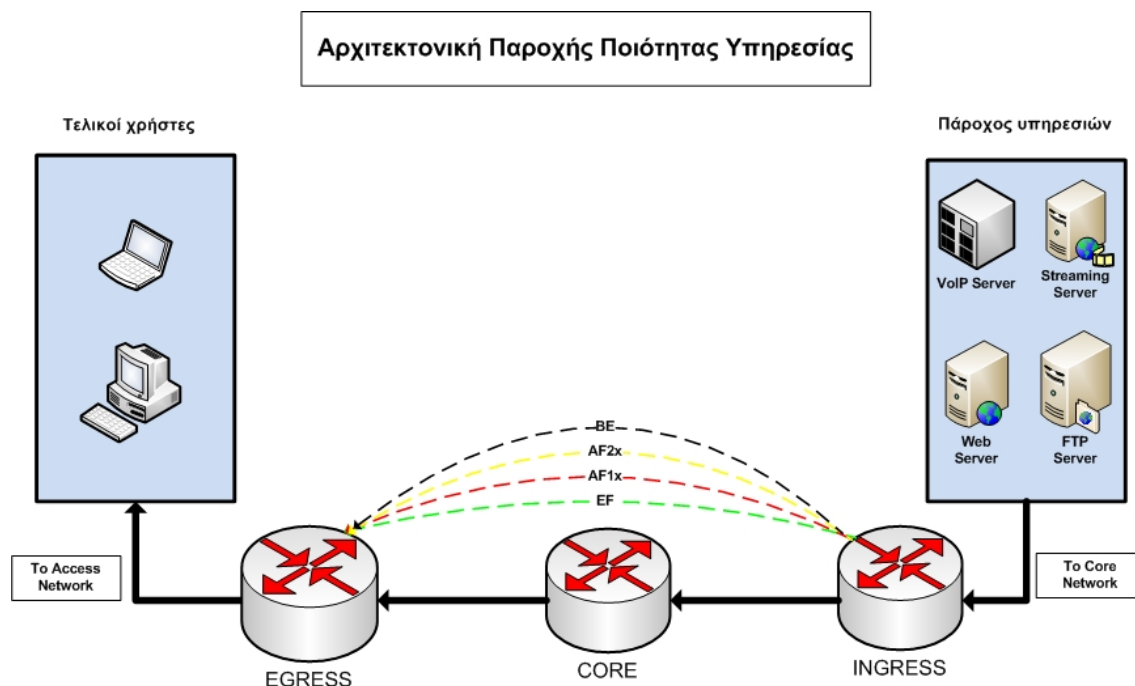


Σχήμα 18- 802.11b

4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

4.1. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται το δίκτυο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ενσωμάτωση του μηχανισμού παροχής ποιότητας υπηρεσίας και την πραγματοποίηση πειραματικών μετρήσεων απόδοσης. Το δίκτυο αποτελείται από τον παροχέα υπηρεσιών - SP (τηλεφωνία, οπτικοακουστικού υλικού – video streaming, FTP και διαδικτυακές υπηρεσίες), το δίκτυο κορμού που απαρτίζεται από 3 δρομολογητές (Linux Routers) οι οποίοι υλοποιούν την τεχνολογία διαφοροποιημένων υπηρεσιών (DiffServ). Τέλος υπάρχουν οι τελικοί χρήστες που λαμβάνουν τις παρεχόμενες υπηρεσίες.



Σχήμα 19-Αρχιτεκτονική παροχής ποιότητας υπηρεσίας

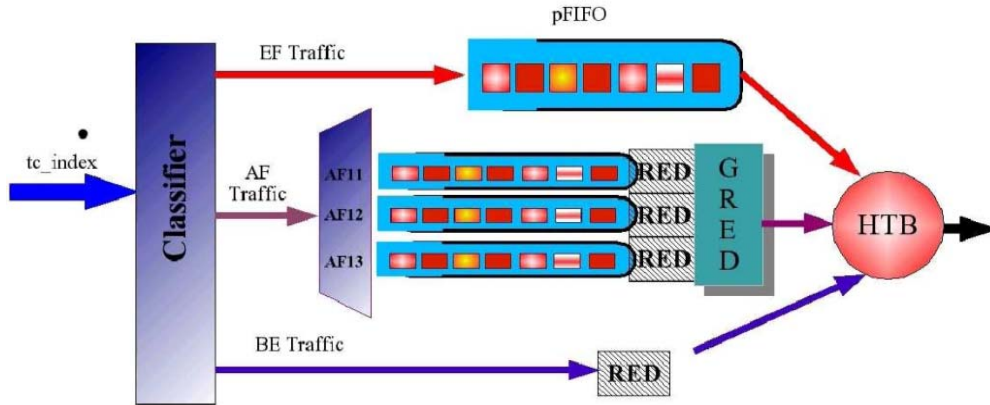
Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική υλοποιήθηκε στην ήδη εγκατεστημένη πλατφόρμα του ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ, η οποία παραμετροποιήθηκε κατάλληλα για την πραγματοποίηση των πειραματικών μετρήσεων.



Σχήμα 20-Πλατφόρμα

4.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ QoS

Η υλοποίηση των DiffServ δρομολογητών που χρησιμοποιούνται στηρίζονται στο λειτουργικό σύστημα (OS) Linux και σύμφωνα με την αρχιτεκτονική που προτείνεται στο σχήμα διαφορετικά πακέτα φθάνουν από το SP και από το internet στο DiffServ δίκτυο. Τα πακέτα σε όλο το δίκτυο Diffserv επισημαίνονται και να ανατίθενται σε διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας προσδίδοντας σε κάθε κατηγορία ένα διαφορετικό DSCP ταξινομητής και με χρήση HTB Packet Scheduler, κατά τον INGRESS δρομολογητή. Οι υποστηριζόμενες κατηγορίες κυκλοφορίας είναι οι EF, AFxx και BE. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει την κατανομή των αντίστοιχων DSCP τιμών στις υπηρεσίες (VoIP, A/V και Internet). Οι ιεραρχικοί συμβολικοί χρονοπρογραμματιστές (HTB) πακέτων που χρησιμοποιήθηκαν για το DiffServ υποστήριξαν PHB. Συγκεκριμένα, μια πειθαρχία αναμονής pFIFO υιοθετείται για την κατηγορία EF. Τρεις εικονικές σειρές αναμονής GRED με τη διαφορετική προτεραιότητα πτώσης (2% για AF11, 4% για AF12) εφαρμόζονται για το AFxx. Η κατηγορία του BE εξυπηρετήσε μέσω μιας πειθαρχίας RED αναμονής με την προτεραιότητα πτώσης 40%. Το μέγιστο εύρος ζώνης που διατίθεται στην κατηγορία γονέων HTB είναι 4Mbps. Η κατηγορία EF εγγυάται 0.9 Mbit με το μέγιστο ποσοστό 1Mbit για την υπηρεσία VoIP. AF11 παρέχει 0.9 Mbit για την τηλεοπτική υπηρεσία. Af22 παρέχει 0.9 Mbit και το BE 0.9Mbit.



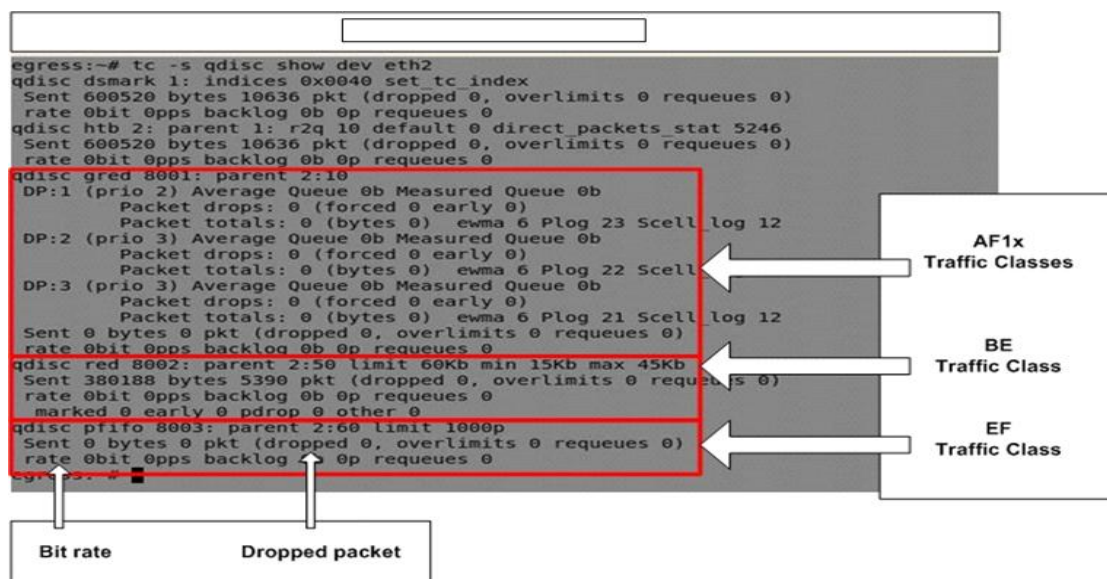
Σχήμα 21- Χρονοπρογραμματιστής πακέτων HTB και υποστηριγμένες DiffServ κατηγορίες.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η αντιστοίχιση των χρησιμοποιούμενων κλάσεων με τα αντίστοιχες τιμές του DSCP (Differential Services Code Point) πεδίου. Επίσης παρουσιάζεται και η αντιστοίχιση της κάθε παρεχόμενης υπηρεσίας στην κατάλληλη κλάση

SERVICE	CORE NETWORK
VoIP	EF (DSCP-0x2e)
A/V Content	AF11(DSCP-0x0a)
High priority Services	AF12(DSCP-0x0c)
Other internet services	BE (DSCP-0x00)

Πίνακας 3- Υποστηριγμένες κατηγορίες κυκλοφορίας

Στην επόμενη εικόνα παρατίθεται ο HTB Packet Scheduler όπως υλοποιείται στον στους δρομολογητές διαφοροποιημένων υπηρεσιών.



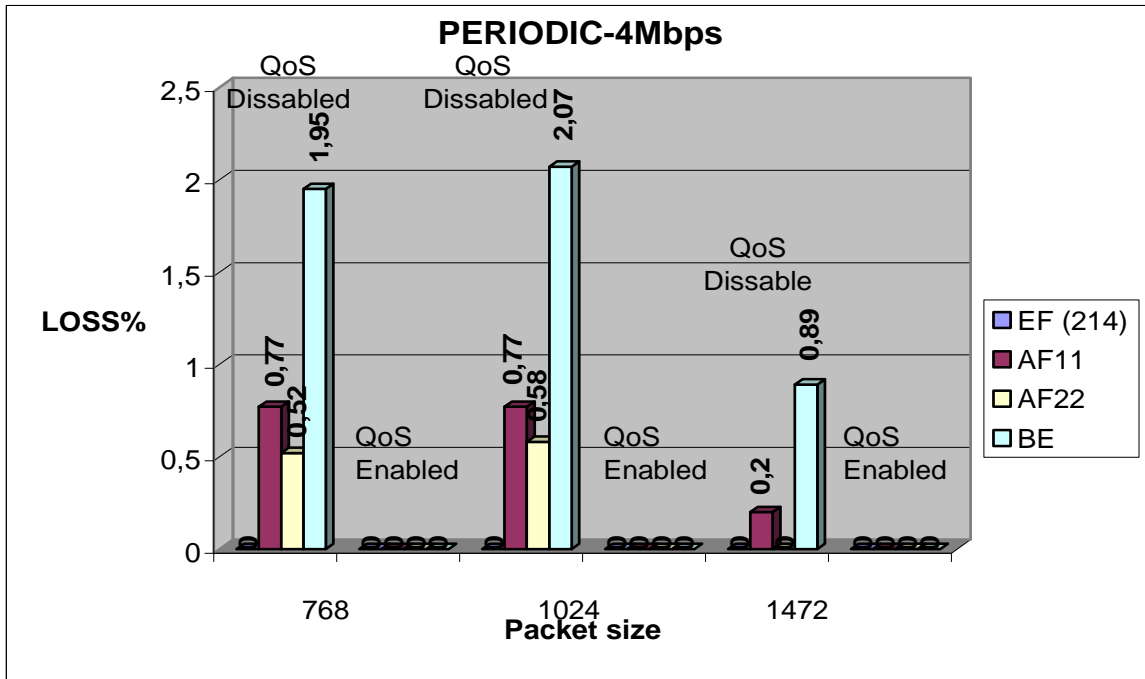
Σχήμα 22-HTB packet Scheduler

5. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ

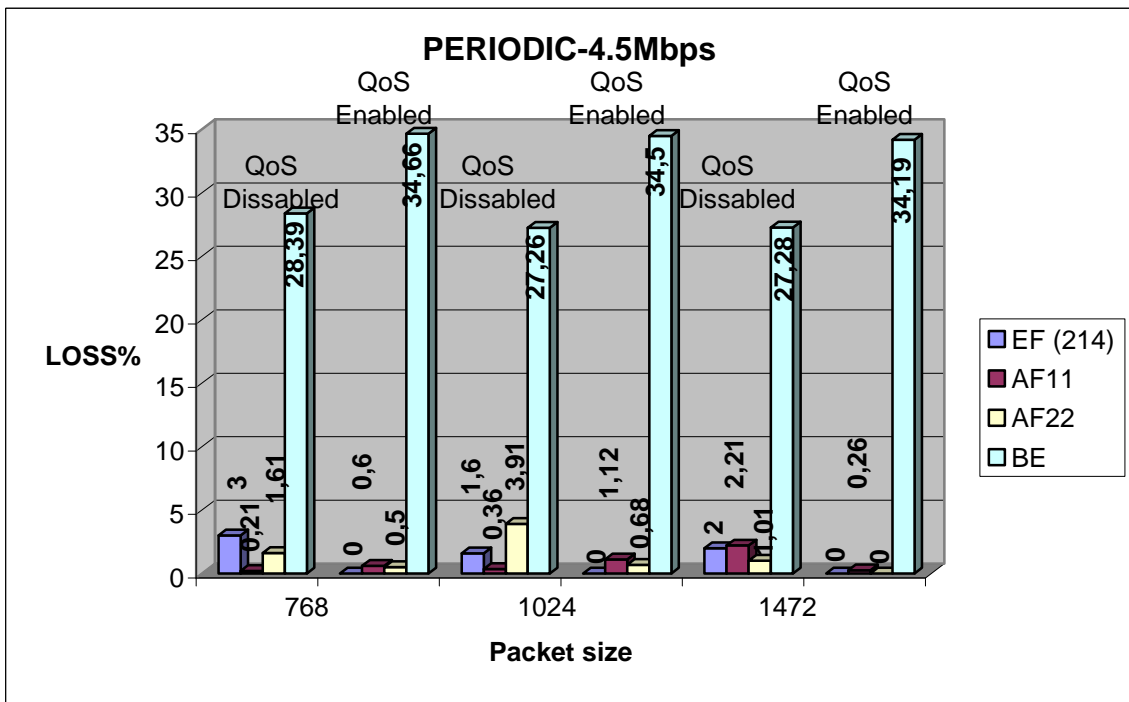
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές οι οποίες θα αποτελέσουν το μέτρο σύγκρισης για τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων βάσει των οποίων ο μηχανισμός θα χαρακτηριστεί ως αποδοτικός ή μη αποδοτικός.

QoS Class	Characteristics	IPTD	IPDV	IPLR	IPER
0	Real time, jitter sensitive, highly interactive	100ms	50ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}
1	Real time, jitter sensitive, interactive	400ms	50ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}
2	Transaction data, highly interactive	100ms	U	1×10^{-3}	1×10^{-4}
3	Transaction data, interactive	400ms	U	1×10^{-3}	1×10^{-4}
4	Low loss only (short transactions, bulk data, video streaming)	1s	U	1×10^{-3}	1×10^{-4}
5	Traditional applications of default IP networks	U	U	U	U

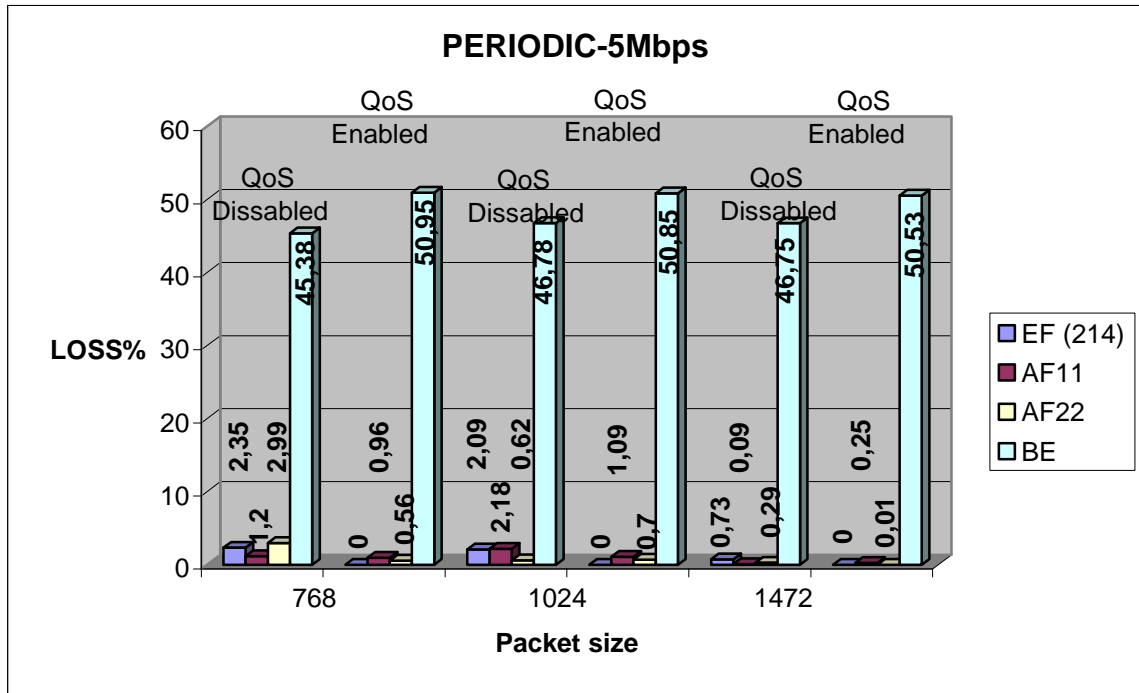
Πινάκας 4–QoS Class



Διάγραμμα 1.α.L
 (Απώλεια πακέτων στο 100% της χωρητικότητας δικτύου 4Mbps με περιοδική κίνηση)

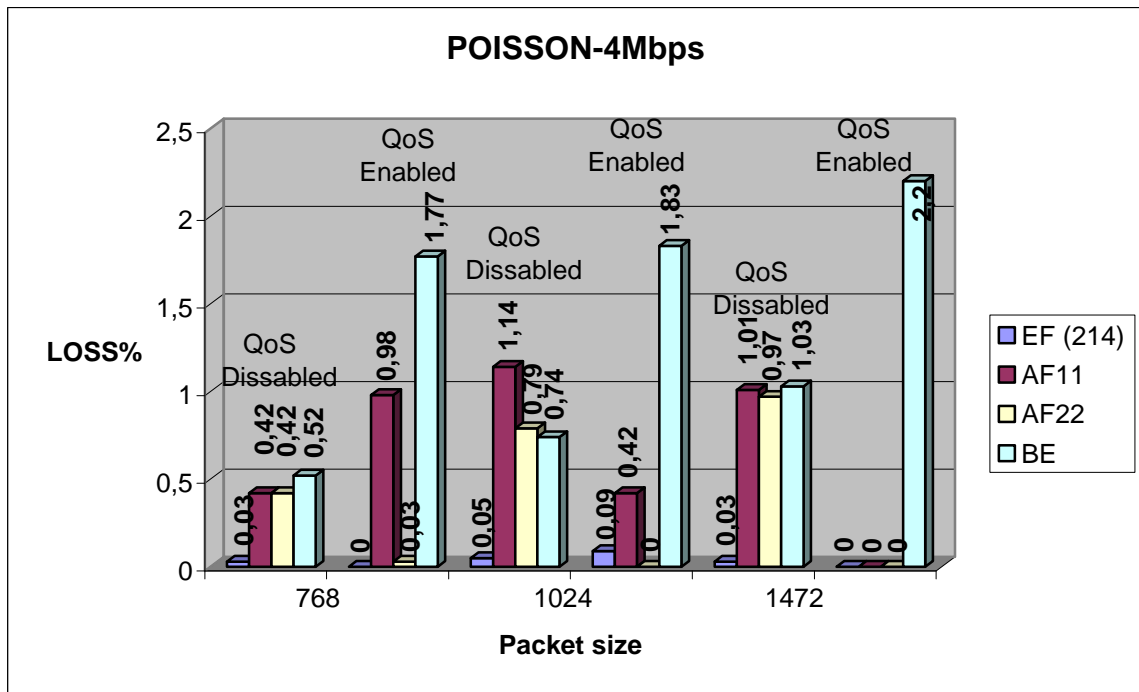


Διάγραμμα 1.β.L
 (Απώλεια πακέτων στο 112,5% της χωρητικότητας δικτύου 4,5Mbps με περιοδική κίνηση)



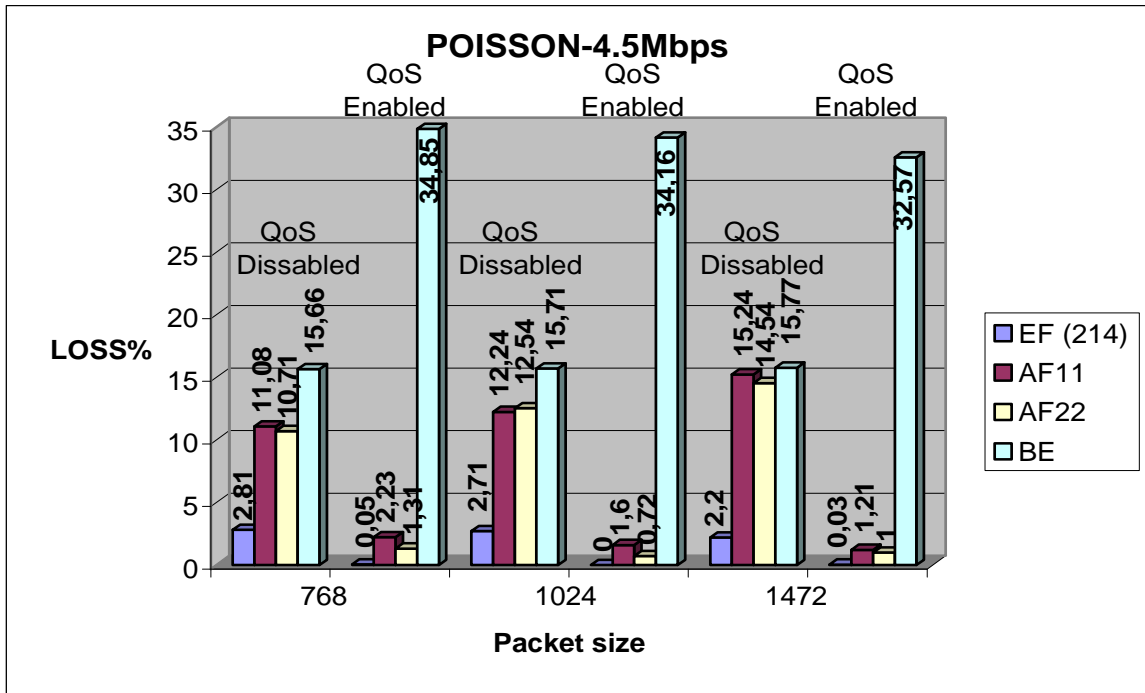
Διάγραμμα 1.ε.L

(Απώλεια πακέτων στο 125% της χωρητικότητας δικτύου. 5Mbps με περιοδική κίνηση)

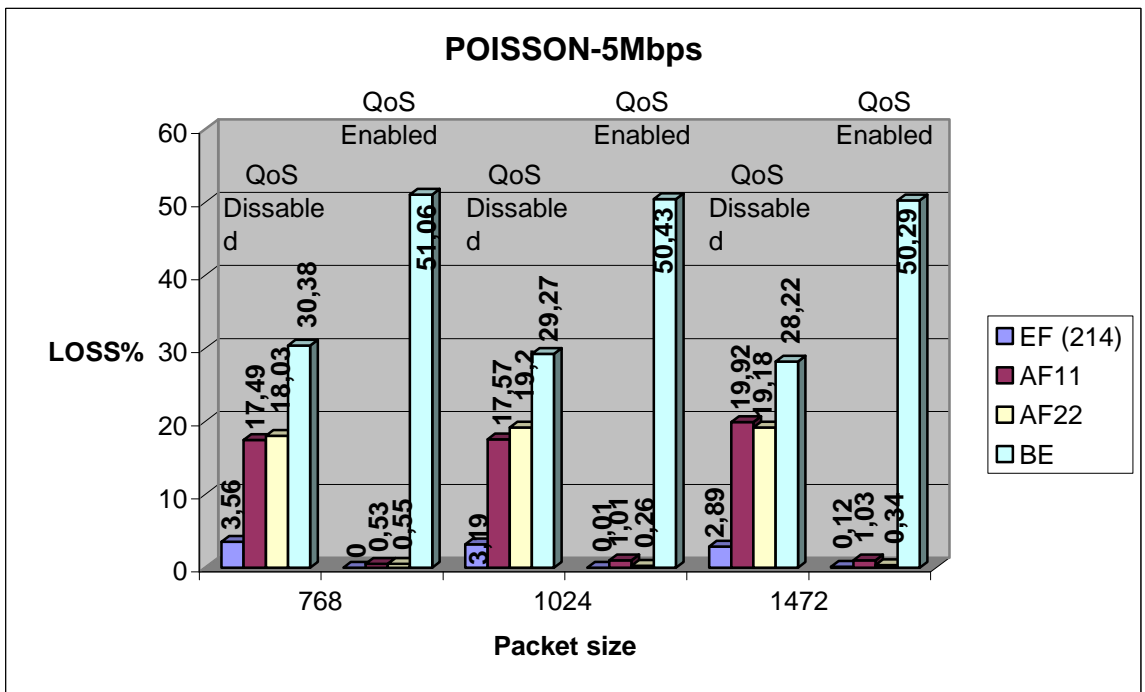


Διάγραμμα 2.α.L

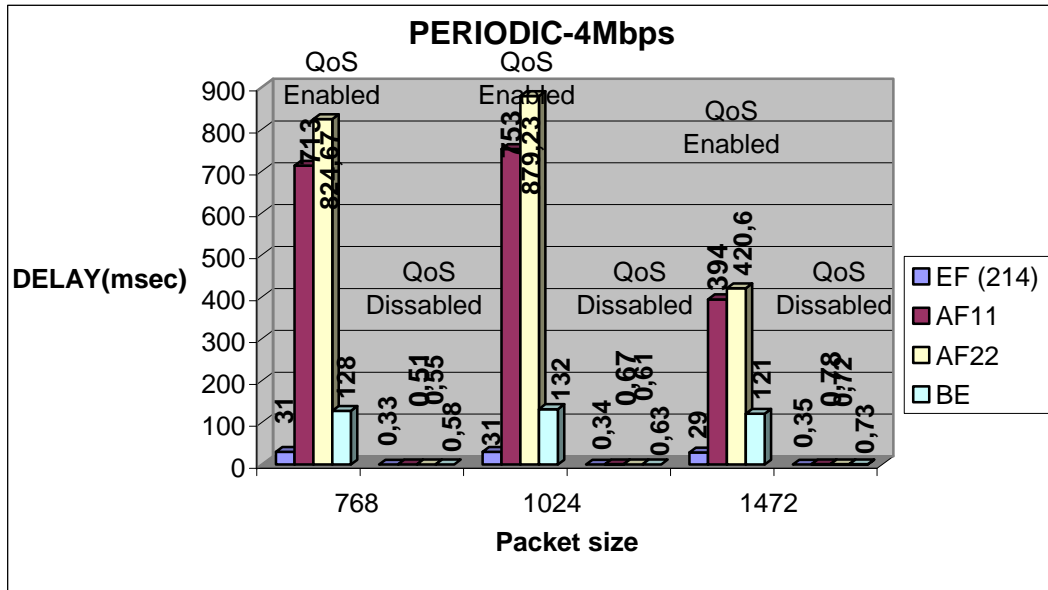
(Απώλεια πακέτων στο 100% της χωρητικότητας δικτύου 4Mbps με κίνηση POISSON)



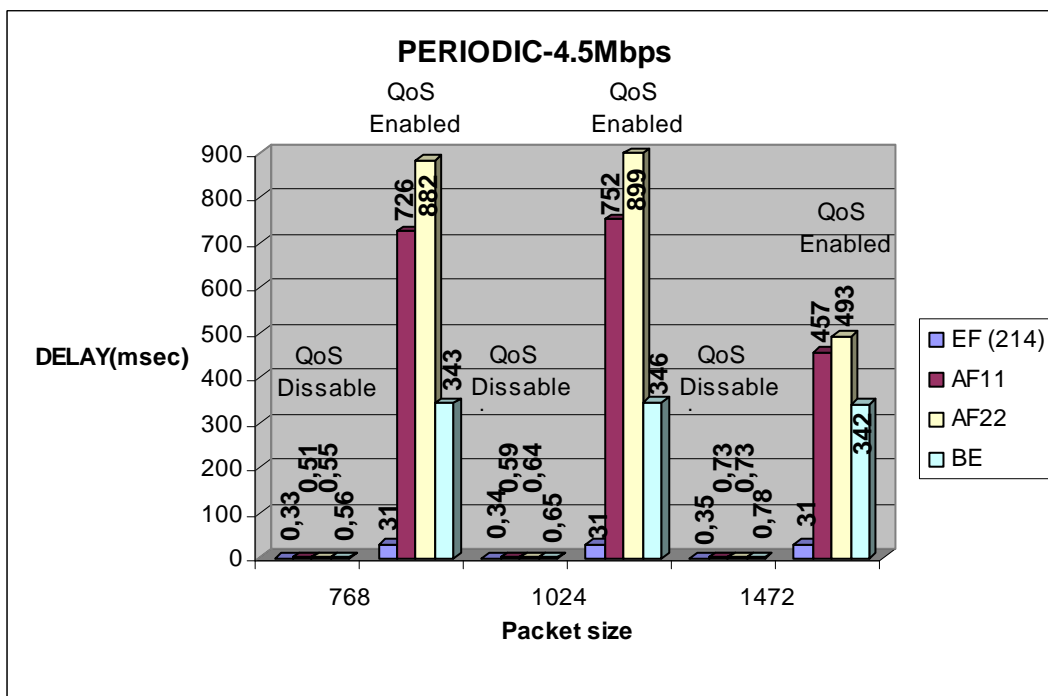
Διάγραμμα 2.b.L
 (Απώλεια πακέτων στο 112,5% της χωρητικότητας δικτύου 4,5Mbps με κίνηση POISSON)



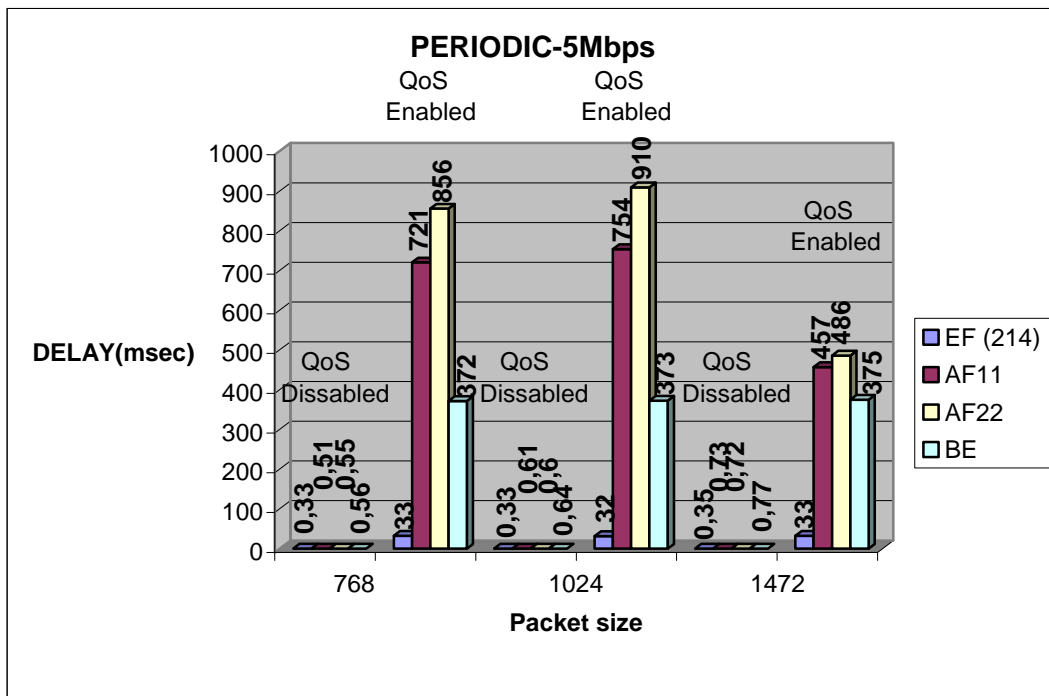
Διάγραμμα 2.c.L
 (Απώλεια πακέτων στο 125% της χωρητικότητας δικτύου 5Mbps με κίνηση POISSON)



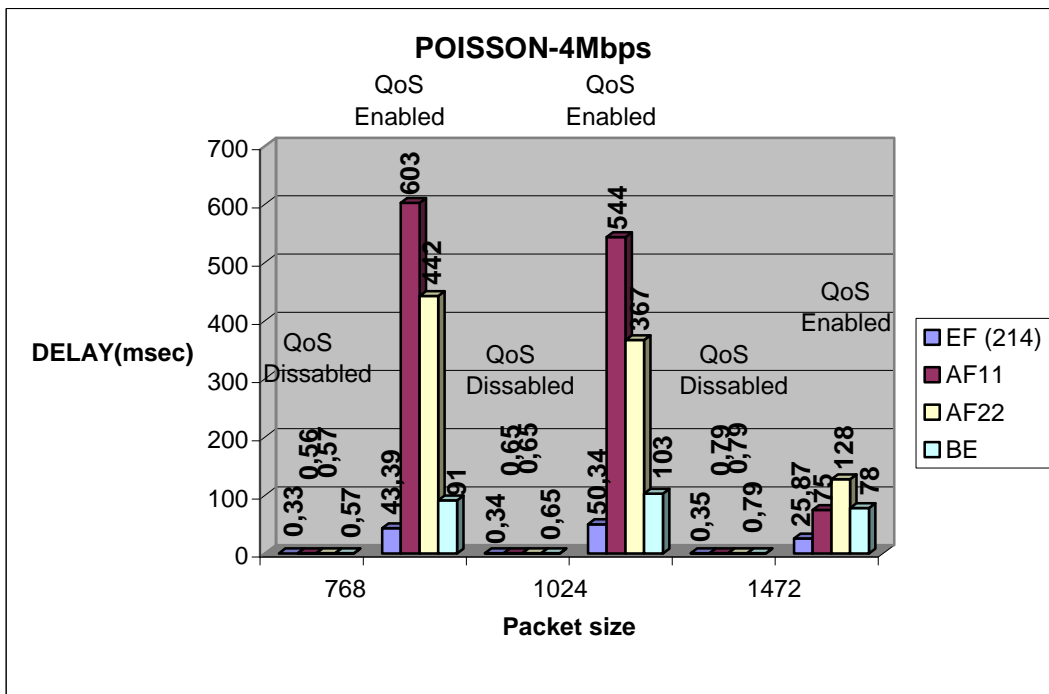
Διάγραμμα 1.α.D
(Καθυστέρηση δικτύου στα 4Mbps με περιοδική κίνηση)



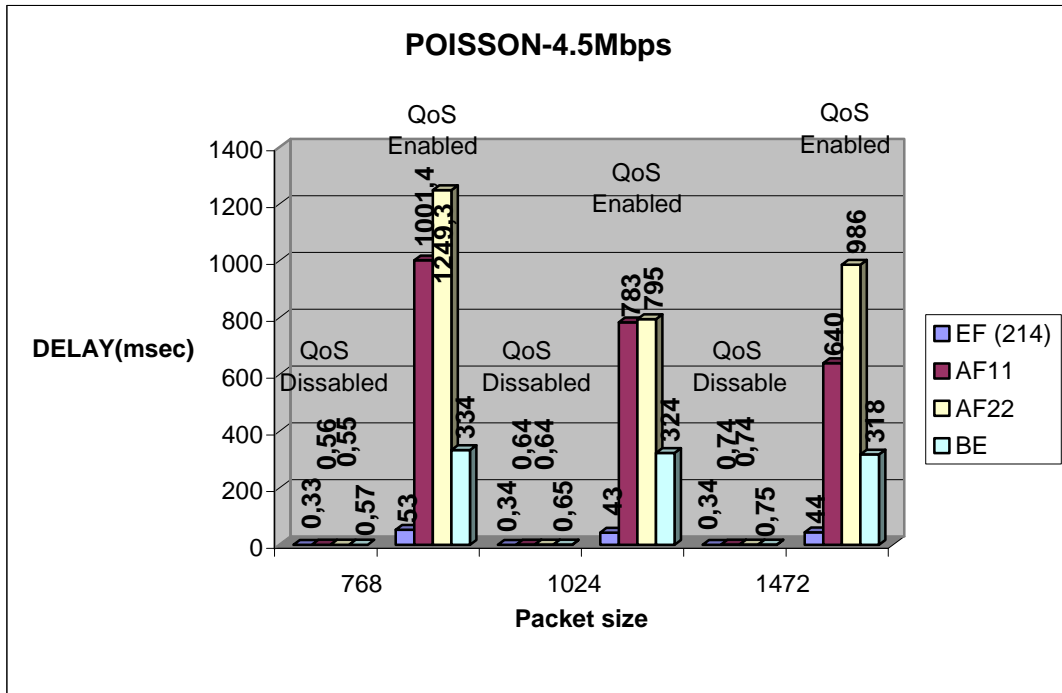
Διάγραμμα 1.β.D
(Καθυστέρηση δικτύου στα 4,5Mbps με περιοδική κίνηση)



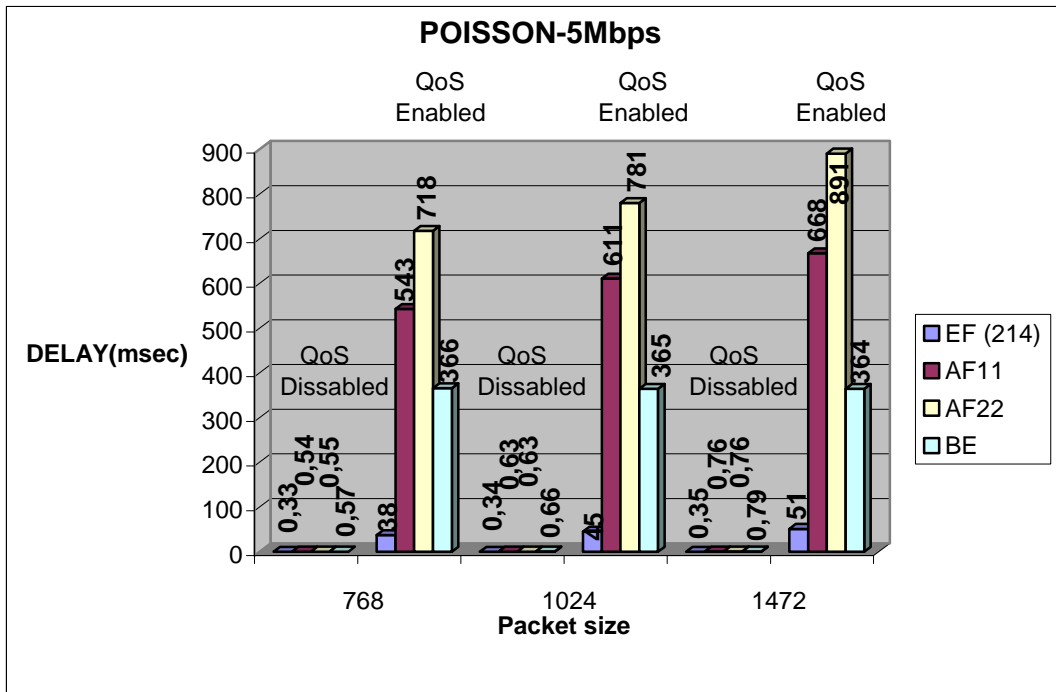
Διάγραμμα 1.b.D
(Καθυστέρηση δικτύου στα 5Mbps με περιοδική κίνηση)



Διάγραμμα 2.α.D
(Καθυστέρηση δικτύου στα 4Mbps με κίνηση POISSON)



Διάγραμμα 2.α.D
(Καθυστέρηση δικτύου στα 4.5Mbps με κίνηση POISSON)



Διάγραμμα 2.α.D
(Καθυστέρηση δικτύου στα 5Mbps με κίνηση POISSON)

5.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για το πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκε η ήδη εγκατεστημένη πλατφόρμα του ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ, η οποία όμως παραμετροποιήθηκε κατάλληλα. Τα πειραματικά αποτελέσματα θα συζητηθούν ως τρόπος για το πώς οι αλλαγές δικτύων έχουν επιπτώσεις στην απόδοσή της. Για το δίκτυο θα παρουσιαστούν οι γραφικές παραστάσεις καθυστέρησης, και απώλεια πακέτων. Το jitter δεν θα αναφερθεί επειδή ήταν αμελητέες οι διαφορές που παρατηρήθηκαν με ποιότητα υπηρεσίας και χωρίς αυτήν. Οι τιμές που όλες οι γραφικές παραστάσεις θα παρουσιάσουν είναι οι τιμές όλων των χρησιμοποιημένων μεγεθών πακέτων (768, 1024, 1472).

Αρχικά, τα σενάρια δοκιμής περιλαμβάνουν τη μετάδοση όλων των υπηρεσιών μαζί στο μέγιστο κατώτατο όριο δικτύων που είναι 4Mbps (1Mbps για κάθε υπηρεσία). Αφετέρου, το φορτίο δικτύων θα αυξηθεί βαθμιαία και τελικά όλες οι υπηρεσίες (τηλεφωνία Διαδικτύου, βίντεο, και χρονικά κρίσιμα στοιχεία) θα μεταδοθούν ταυτόχρονα με τη μαζική κυκλοφορία έως ότου υπερβαίνει το φορτίο δικτύων την ανώτερη μεγάλη μονάδα ικανότητας δικτύων για 25% (φορτίο 5 Mbits).

Η αξιολόγηση της πειραματικής υποδομής πρόκειται να γίνει σε 2 στάδια:

1. Κεντρικό δίκτυο χωρίς υποστήριξη QoS
2. Κεντρικό δίκτυο με την υποστήριξη DiffServ .

1. Κεντρικό δίκτυο χωρίς υποστήριξη QoS

Στο πρώτο σενάριο η ανάλυση εστίασε στο κεντρικό δίκτυο χωρίς υποστήριξη QoS. Είναι πολύ σημαντικό να γίνει κατανοητό πώς το δίκτυο συμπεριφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή προκειμένου να συγκριθούν οι μετρήσεις με το επόμενο στάδιο πειράματος. Η λήξη της πρώτης φάσης του πειράματος οδηγεί οσον αφορά την καθυστέρηση και την απώλεια πακέτων που απεικονίζονται στους ακόλουθους αριθμούς. Ο **πίνακας-5** απεικονίζει την καθυστέρηση για τις 4 ροές συμπεριλαμβανομένων όλων των διαφορετικών φορτίων κυκλοφορίας. Οι τιμές καθυστέρησης είναι πολύ χαμηλές, λιγότερο από 1 msec. Είναι λογικό φαινόμενο εάν σκεφτεί κανείς ότι καμία σειρά αναμονής δεν έχει εγκατασταθεί αλλά μόνο το φίλτρο που περιορίζει την ικανότητα δικτύων σε 4Mbps και ρίχνει ακριβώς τα πακέτα που υπερβαίνουν αυτήν την ικανότητα.

ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

DELAY-4Mbps			
Packet size (bytes)	768	1024	1472
EF (214)	0,338441	0,343832	0,355347
AF11	0,517534	0,670284	0,785579
AF22	0,556922	0,616787	0,727032
BE	0,583622	0,633134	0,730354
DELAY-5Mbps			
EF (214)	0,336046	0,341895	0,351479
AF11	0,516394	0,596141	0,732748
AF22	0,553192	0,642996	0,732748
BE	0,568738	0,651287	0,783942
DELAY-5Mbps			
EF (214)	0,334936	0,339995	0,35371
AF11	0,514017	0,610519	0,730692
AF22	0,552675	0,602179	0,729626
BE	0,565771	0,646456	0,776055

Πίνακας 5- Καθυστέρηση Δικτύου (χωρίς Diffserv)

Ο **πίνακας-6** απεικονίζει τη μέση αναλογία απώλειας πακέτων. Παρατηρώντας τον **πίνακα-6** σαφώς αποδεικνύεται ότι όταν έχουν οι κυκλοφοριακές ροές έναν ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ τύπο μετάδοσης η απώλεια πακέτων ανιχνεύεται στην κυκλοφορία του BE μόνο (μαζικά στοιχεία Διαδικτύου). Αυτό συμβαίνει επειδή οι ροές διαβιβάζονται χωριστά και συλλαμβάνονται χωριστά και το φίλτρο ρίχνει τα πακέτα μέσα στη ροή που υπερβαίνει το φορτίο ικανότητας δικτύων (ακόμα και όταν φέρνουν οι ροές τα στοιχεία μη χαρακτηρισμένα).

ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

LOSS-4Mbps			
Packet size (bytes)	768	1024	1472
EF (214)	0	0	0
AF11	0,77	0,77	0,2
AF22	0,52	0,58	0
BE	1,95	2,07	0,89
LOSS-4.5Mbps			
EF (214)	3	1,6	2
AF11	0,21	0,36	2,21
AF22	1,61	3,91	1,01
BE	28,39	27,26	27,28
LOSS-5Mbps			
EF (214)	2,35	2,09	0,73
AF11	1,2	2,18	0,09
AF22	2,99	0,62	0,29
BE	45,38	46,78	46,75

Πίνακας 6-Απώλεια πακέτων (Χωρίς Diffserv)

Στα πραγματικά συστήματα ο τρόπος μετάδοσης στοιχείων στο κεντρικό δίκτυο εμφανίζεται όπως τη μετάδοση POISSON. Αυτό σημαίνει ότι το στοιχείο δεν στέλνει σταθερό ποσοστό Mbit, αλλά καθώς η μετάδοση κυλά υπάρχει μια απόκλιση μεταξύ ενός ελάχιστου ποσοστού και ενός ανώτατου ποσοστού. Επίσης η σημαντικότερη παρατήρηση από τον **πίνακα-7** είναι ότι στον τύπο μετάδοσης POISSON ακόμα κι αν η αυξανόμενη κυκλοφορία προέρχεται από την κατηγορία του BE, υπάρχει ένα υψηλό ποσοστό της απώλειας πακέτων στις AF11 και AF22 κατηγορίες κυκλοφορίας (υψηλές - ποιοτική τηλεοπτική ροή, υπηρεσία Διαδικτύου προτεραιότητας). Αυτό προκαλεί την διακοπή μετάδοσης και την διαστρέβλωση περιεχομένου, με τέτοιο τρόπο που είναι ανέφικτο από τον χρήστη να το δει. Το μέσο ποσοστό απώλειας πακέτων για την κατηγορία EF (υπηρεσία VoIP τηλεφωνίας Διαδικτύου) είναι χαμηλότερο από AF11 αλλά ένα μέσο ποσοστό 2.636% για το φορτίο 112.5% κυκλοφορίας (POISSON) και 3.322% για το φορτίο 125% κυκλοφορίας (POISSON) αυτό είναι αρκετό να διαστρεβλώσει την κυκλοφορία φωνής(αποδεκτή αξία 0.1% και σε μερικούς ειδικούς όρους μέχρι 1%). Έτσι είναι επιτακτικό να προστεθεί η υποστήριξη QoS προκειμένου να προστατευθούν τα διαβιβασθέντα στοιχεία.

ΚΙΝΗΣΗ POISSON

4Mbps						
Packet	768					
	Loss	Delay	Loss	Delay	Loss	Delay
EF (214)	0,03	0,33949	0,05	0,346733	0,03	0,354402
AF11	0,42	0,568138	1,14	0,655325	1,01	0,793182
AF22	0,42	0,572426	0,79	0,656475	0,97	0,791091
BE	0,52	0,571248	0,74	0,65602	1,03	0,793821
4,5Mbps						
EF (214)	2,81	0,337847	2,71	0,344242	2,2	0,344242
AF11	11,08	0,561183	12,24	0,644515	15,24	0,744515
AF22	10,71	0,5598	12,54	0,643898	14,54	0,743898
BE	15,66	0,576589	15,71	0,658764	15,77	0,758764
5Mbps						
EF (214)	3,56	0,337084	3,19	0,344862	2,89	0,35478
AF11	17,49	0,548775	17,57	0,636138	19,92	0,769676
AF22	18,03	0,551458	19,2	0,637317	19,18	0,769284
BE	30,38	0,577421	29,27	0,660703	28,22	0,790747

Πίνακας 7-Καθυστέρηση Δικτύου & Απώλεια πακέτων (χωρίς DiffServ)

2. Κεντρικό δίκτυο με την υποστήριξη DiffServ .

Σε αυτή τη φάση η ανάλυση εστίασε στο κεντρικό δίκτυο με την υποστήριξη QoS. Το δίκτυο θα εξεταστεί σχετικά με το πώς το DiffServ βελτιώνει την απόδοση δικτύων σε σύγκριση με την πρώτη οργάνωση. Ο **πινάκας-8** παρουσιάζει την καθυστέρηση κάθε ροής σε κάθε κατηγορία κυκλοφορίας. Από τον πίνακα αυτό είναι εύκολο να παρατηρηθεί ότι η καθυστέρηση κάθε ροής αυξάνεται και μάλιστα εντυπωσιακά για τις AF11 και AF22 κατηγορίες και λιγότερο για τις κατηγορίες κυκλοφορίας EF και του BE. Αυτό το φαινόμενο έχει μια καλύτερη εξήγηση εάν λάβετε υπόψη την απώλεια πακέτων που απεικονίζεται στον ίδιο πίνακα. Συγκεκριμένα , αυτή μειώνεται στις κατηγορίες κυκλοφορίας EF, AF11, AF22 που σημαίνει ότι τα ευαίσθητα στοιχεία προστατεύονται και διαβιβάζονται με ένα υψηλό επίπεδο ποιότητας. Αυτές είναι ιδανικές τιμές που συνδυάζονται με την αύξηση της καθυστέρησης και προκύπτουν τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Η καθυστέρηση για την κατηγορία EF κυμαίνεται από 30msec-46.4msec (αποδεκτό επίπεδο 50ms) για το φορτίο κυκλοφορίας 100% μέχρι το φορτίο 125% αντίστοιχα. Η AF11 κατηγορία κυκλοφορίας που σχεδιάστηκε για να φέρει τη ροή του βίντεο και έχει μια απώλεια πακέτων που κυμαίνεται από 0.79% σε 1.1% και μια

καθυστέρηση που κυμαίνεται από 528msec σε 811msec (αποδεκτή απώλεια πακέτων 0.1% - 1% και 400msec για πραγματικό σύστημα και 1s για τη καθυστέρηση). Η τιμές της απώλειας πακέτων είναι αποδέκτες αλλά μερικές φορές αυτή η απώλεια μπορεί να προκαλέσει τη διαστρέβλωση στην υψηλά - ποιοτική τηλεοπτική ροή εάν συμβαίνει σε μια συγκεκριμένη σειρά πακέτων. Η καθυστέρηση που εμφανίζεται στην AF11 είναι λογική. Η απώλεια πακέτων για την AF22 κατηγορία κυκλοφορίας έχει τις ίδιες τιμές όπως για AF11. Η ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι η καθυστέρηση στην AF22 είναι 10% μέχρι 20% μεγαλύτερη από την καθυστέρηση στην AF11. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει επειδή AF11 έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα ως κατηγορία από AF22 και τα πακέτα διαδίδονται πιο αργό προκειμένου να προστατευθούν από την απώλεια πακέτων. Τέλος, το BE έχει τη χαμηλότερη καθυστέρηση και αυτό συμβαίνει επειδή έχει τη χαμηλότερη προτεραιότητα και τη μεγαλύτερη προτεραιότητα πτώσης.

<u>ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ</u>						
4Mbps						
Packet	768		1024		1472	
EF (214)	0	30.520	0	30.913	0	28.988
AF11	0	712.927	0	752.760	0	394.423
AF22	0	824,67	0	879,23	0	420,6
BE	0	127.927	0	132.286	0	121.273
4.5Mbps						
EF (214)	0	31.231	0	31.323	0	31.219
AF11	0,6	726.039	1,12	752.443	0,26	456.597
AF22	0,5	882	0,68	899	0	493
BE	34,66	343.201	34,5	345.813	34,19	341.606
5Mbps						
EF (214)	0	32.787	0	31.820	0	32.668
AF11	0,96	720.678	1,09	753.989	0,25	456.784
AF22	0,56	856	0,7	910	0,01	486
BE	50,95	371.888	50,85	372.546	50,53	374.583
<u>ΚΙΝΗΣΗ POISSON</u>						
4Mbps						
Packet	768		1024		1472	
	Loss	Delay	Loss	Delay	Loss	Delay
EF (214)	0	43,39	0,09	50,34	0	25,87
AF11	0,98	602.529	0,42	543.967	0	74.652
AF22	0,03	442	0	367	0	128
BE	1,77	91.288	1,83	102.762	2,2	78.284

4.5Mbps						
EF (214)	0,05	52.880	0	42.722	0,03	43.775
AF11	2,23	1001,4	1,6	783	1,21	640
AF22	1,31	1249,3	0,72	795	1	986
BE	34,85	334.019	34,16	324.333	32,57	318.451
5Mbps						
EF (214)	0	37.600	0,01	45.263	0,12	51.416
AF11	0,53	543.251	1,01	611.114	1,03	667.771
AF22	0,55	718	0,26	781	0,34	891
BE	51,06	366.030	50,43	364.647	50,29	364.490

Πίνακας 8 - Καθυστέρηση Δικτύου & Απώλεια πακέτων με Περιοδική κίνηση & κίνηση Poisson (με Diffserv)

5.2. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ WiMAX

Με στόχο την ολοκλήρωση και την πιστοποίηση της σωστής απόδοσης του μηχανισμού παροχής ποιότητας υπηρεσίας με χρήση της τεχνολογίας διαφοροποιημένων υπηρεσιών, ο μηχανισμός παραμετροποιείται κατάλληλα έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυο WiMAX. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η αντιστοιχία των κλάσεων που χρησιμοποιήθηκαν στις πειραματικές μετρήσεις για το ενσύρματο δίκτυο κορμού με τις αντίστοιχες για το ασύρματο δίκτυο WiMAX.

SERVICE	CORE NETWORK	ACCESS NETWORK
VoIP	EF (DSCP-0x2e)	UGS Scheduling
A/V Content	AF11(DSCP-0x0a)	rtPS Scheduling
High priority Services	AF22(DSCP-0x14)	nrtPS Scheduling
Other internet services	BE	BE Sheduling

Πίνακας 9- Αντιστοίχιση κλάσεων σε ενσύρματο και ασύρματο δίκτυο WiMax

Αξίζει να σημειωθεί ότι για την αντιστοιχία λαμβάνεται υπόψη το DSCP πεδίο το οποίο είναι υπεύθυνο για την υλοποίηση των διαφοροποιημένων υπηρεσιών έτσι ώστε η κίνηση να μεταδίδεται χρησιμοποιώντας την ίδια λογική σε αυτό το ετερογενές δίκτυο. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ύστερα από μια μέτρηση 180 δευτερολέπτων και φαίνεται η καθυστέρηση και η απώλεια πακέτων που προσθέτει το WiMAX σε όλη την αλυσίδα του δικτύου κορμού. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι υπηρεσίες που χρίζουν μεγαλύτερης προστασίας συνεχίζουν και ύστερα από τη

μεταφορά τους από ένα ασύρματο δίκτυο κορμού παραμένουν προστατευμένες και χωρίς σημαντικές αλλοιώσεις στην απόδοσή τους.

Service	Down Link Counters	Up Link Counters		
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	83392008	98113028	83541978	95364594
Bytes Tx	42759720	97583408	82068202	95364594
Bytes Retransmitted Tx	0	0	0	0
Bytes Dropped	40600034	524188	1465820	0
Bytes Discarded	40600034	524188	1465820	0
Pakets Req	62930	72250	63003	71919
Pakets Tx	32261	71860	61891	71919
Pakets Dropped	30644	386	1106	0
Pakets Discarded	30644	386	1106	0
Avarage Delay (msec)	193	41	165	17
Delay Variance (msec ²)	4926	368	1855	29
Max Delay (msec)	469	103	259	30
CIR Utilization (%)	100	85	100	0
DLI (%)	1	0	0	0
EIR Utilization (%)	95	0	95	0
Average Throughput (bits/s)	927588	874914	1007633	1158393

Πίνακας 10

6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Η υποστήριξη Ποιότητας Υπηρεσίας (*Quality of Service- QoS*) είναι βασική απαίτηση σε προηγμένα δίκτυα μεταγωγής πακέτων IP. Η λειτουργία σύγχρονων δικτυακών εφαρμογών, όπως εφαρμογές μεταφοράς πολυμεσικού (*multimedia*) υλικού ή εικονικής συνεργασίας (*virtual collaboration*), απαιτούν την παροχή εγγυήσεων κατά τη μεταφορά της κίνησης για συνδέσεις που διασχίζουν *πολλαπλές ανεξάρτητες διαχειριστικές περιοχές*. Παρόλη την προσπάθεια της ερευνητικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια, οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές παροχής *QoS* που έχουν προταθεί κατά καιρούς αποδεικνύονται ανεπαρκείς να ικανοποιήσουν τις παραπάνω ανάγκες. Πολλές από τις προτεινόμενες μεθόδους για την εγκατάσταση νέων συνδέσεων είτε αποτυγχάνουν να παρέχουν εγγυήσεις κατά τη μεταφορά των πακέτων IP είτε δεν κλιμακώνονται αποδοτικά σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων.

Η αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (*Integrated Services - IntServ*) βασίζεται στη χρήση σηματοδοσίας για τη δέσμευση δικτυακών πόρων και τη διατήρηση πληροφοριών κατάστασης στους δρομολογητές κορμού για τις εγκατεστημένες ροές. Παρόλο που η αρχιτεκτονική *IntServ* κατορθώνει να παρέχει εγγυήσεις κατά τη μεταφορά της κίνησης, προβλήματα κλιμάκωσης αποτρέπουν την εφαρμογή της σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων. Η αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (*Differentiated Services - DiffServ*), αντιθέτως, χειρίζεται ροές με αντίστοιχες απαιτήσεις απόδοσης ως συναθροίσεις κίνησης (*traffic aggregates*), τις οποίες αντιστοιχίζει σε περιορισμένο αριθμό από κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας. Παρόλο που η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής *DiffServ* δεν παρουσιάζει περιορισμούς κλιμάκωσης, έχει σχεδιαστεί για να παρέχει εγγυήσεις απόδοσης στην συναθροισμένη κίνηση αγνοώντας τις υπηρεσίες που τελικά λαμβάνουν οι μεμονωμένες ροές. Επίσης, η αρχιτεκτονική *DiffServ* στερείται τη χρήση σηματοδοσίας για τη δέσμευση των δικτυακών πόρων και τη διαχείριση των μηχανισμών *QoS* στους δρομολογητές κορμού. Για το λόγο αυτό, αρκετές διαδικασίες κατά την παροχή των υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος αποδοχής νέων ροών, πραγματοποιείται από τον αρμόδιο διαχειριστή με αποτέλεσμα την εισαγωγή καθυστερήσεων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Internet QoS: Architectures and Mechanisms for Quality of Service, Zheng Wang (Author), Morgan Kaufmann.
2. QoS over Heterogeneous Networks, Mario Marchese (Author), John Wiley and Sons Ltd 2007.
3. WiMAX Technology for Broadband Wireless Access, Loutfi Nuaymi (Author), John Wiley & Sons Ltd 2007.
4. Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org>.
5. D. Miras, et al., “A Survey of Network QoS Needs of Advanced Internet Applications”, Internet2 QoS Working Group, November, 2002.
6. Pdf: Παροχή Ποιότητας Υπηρεσίας για Εξυπηρέτηση Κίνησης Υψηλής Προτεραιότητας σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων IP
- 7.Pdf: Αρχιτεκτονική Παροχής Υπηρεσιών IP σε Υβριδικά Δίκτυα Κορμού Με Έμφαση Σε Δίκτυα Πολυπλεξίας Μήκους Κύματος
8. <http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/142/1/329.pdf>

Ακρωνύμια

A

ADSL :Asymmetric Digital Subscriber Line
AF : Assured Forwarding

B

BW :Bandwidth
BE :Best Effort

C

CBR :Constant Bit Rate

D

DiffServ :Differentiated Services
DSCP :Differentiated Service Code Point

E

EF :Expedited Forwarding

F

FIFO :First-In, First-Out

G

GPRS :General Packet Radio Service

H

HTB :Hierarchical Token Bucket

I

IntServ :Internet Engineering Task Force
IP :Internet protocol
IPTV :Internet Protocol Television
ISP :Internet Service Provider

L

LER :Label Edge Router
LSR :Label Switched Path

M

MAC :Media Access Control
MAN :Metropolitan Area Network
MPEG-2 :Moving Picture Experts Group
MPLS :Multi Protocol Label Switching
MSB :Most Significant Bit

N

NPA :Network Point of Attachment

NTSC :National Television System Committee

P

PDU :Protocol Data Unit

PHB :Per Hop Behaviour

PSTN :Public Switched Telephone Network

Q

QoS :Quality of

U

UDP :Universal Mobile Telecommunications System

W

WWiMAX :Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN :Wireless Local Area Network

WWW :World Wide Web
