



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ
ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

**ΧΡΗΣΤΟΣ Ι. ΜΠΟΥΡΑΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΠΑΤΡΑ 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι πανεπιστημιακές σημειώσεις αποτελούν ουσιαστική αναμόρφωση και επέκταση των παλαιότερων, που χρησιμοποιούνται ως διδακτικό σύγγραμμα στα πλαίσια του μαθήματος «Αλγοριθμικά Θέματα Δικτύων και Τηλεματικής». Το μάθημα αυτό διδάσκεται στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα «Επιστήμη και Τεχνολογία των Υπολογιστών» του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών.

Η αναμόρφωση και η επέκταση των σημειώσεων οδήγησαν στο παρόν κείμενο και έγιναν στα πλαίσια του ΕΠΕΑΕΚ – Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στην «Επιστήμη και τεχνολογία Υπολογιστών».

Η ύλη που καλύπτεται είναι:

1. Εισαγωγή στην Ποιότητα Υπηρεσίας
 - Ποιότητα Υπηρεσίας σε φυσικό επίπεδο και σε επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων
 - Ποιότητα Υπηρεσίας σε επίπεδο δικτύου
2. Εφαρμογές με δυνατότητα προσαρμογής της μετάδοσης ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου
3. Η Αρχιτεκτονική IntServ
 - Περιγραφή της αρχιτεκτονικής και των μηχανισμών της
4. Η αρχιτεκτονική DiffServ
 - Περιγραφή της αρχιτεκτονικής και των μηχανισμών της
5. Ανεπτυγμένες υπηρεσίες QoS
 - Υπηρεσία IP Premium
 - Υπηρεσία Less than Best effort
 - Υπηρεσία Διαχειριζόμενης Χωρητικότητας
6. Εισαγωγή στους Bandwidth Brokers
7. Εισαγωγή σε θέματα Χρέωσης Υπηρεσιών
 - Ανάλυση και περιγραφή κόστους υπηρεσιών
 - Υπάρχοντα μοντέλα χρέωσης και κριτική προσέγγισή τους
8. Περιγραφή Συμβάσεων Διασφάλισης Επιπέδου Ποιότητας Υπηρεσίας (ΣΔΕΠΥ-SLA)
 - Εισαγωγή στο θέμα και στη μεθοδολογία ανάπτυξης τέτοιων συμβάσεων
 - Είδη SLA και μετρικές προσδιορισμού απόδοσης υπηρεσιών
 - Περιγραφή σύνδεσης SLA με θέματα Χρέωσης σε υπηρεσίες QoS

Οι Πανεπιστημιακές Σημειώσεις συμπληρώνονται και εμπλουτίζονται από τις διαλέξεις του μαθήματος καθώς και το πλούσιο υλικό (εργασίες, παρουσιάσεις και βιβλιογραφία) που υπάρχει στο δικτυακό τόπο του μαθήματος (http://ru6.cti.gr/bouras/algorithmika_themata.php). Καλό είναι οι φοιτητές να επισκέπτονται και να ενημερώνονται για τα περιεχόμενα του δικτυακού τόπου.

Κλείνοντας θέλω να ευχαριστήσω τους συνεργάτες μου Κωνσταντίνο Στάμο και Δημήτρη Πρίμπα οι οποίοι με σκληρή δουλειά βοήθησαν στη μεταμόρφωση του ακατέργαστου υλικού σε ένα χρήσιμο πανεπιστημιακό σύγγραμμα, και δημιούργησαν το δικτυακό τόπο. Τους ευχαριστώ θερμά.

Πάτρα, Ιούνιος 2008

Χ. Ι. Μπούρας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
2	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ	13
2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
2.2	ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	13
2.3	ΤΥΠΟΙ QoS	15
2.3.1	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ QoS ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	15
2.3.2	ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΟΝΟΠΑΤΙΩΝ.....	15
2.3.2.1	Δρομολόγηση βάσει του Προορισμού και Επιλογή Μονοπατιού	16
2.3.2.2	TCP και Συμμετρική Επιλογή Μονοπατιού	16
2.4	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ	17
2.4.1	ATM	17
2.4.1.1	Τάξεις Ποιότητας Υπηρεσίας στα ATM δίκτυα.....	17
2.4.1.2	Υλοποίηση Ποιότητας Υπηρεσίας στα ATM δίκτυα	18
2.4.2	FRAME RELAY	20
2.4.2.1	Το Frame Relay και η Ποιότητα Υπηρεσιών στο Διαδίκτυο	20
2.5	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	21
2.5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
2.5.2	Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ INTEGRATED SERVICES (INTSERV)	22
2.5.3	Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ DIFFERENTIATED SERVICES (DIFFSERV).....	24
2.5.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	25
3	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	27
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
3.2	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ	27
3.3	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	30
3.3.1	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΣΤΡΩΜΑΤΑ	30
3.3.2	ΑΛΛΑΓΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ (RATE SHAPING)	31
3.3.3	ΈΛΕΓΧΟΣ ΛΑΘΩΝ (ERROR CONTROL)	31
3.4	ΛΗΨΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.....	32
3.5	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	32
3.5.1	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ UNICAST ΚΑΙ MULTICAST ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	34
3.5.2	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ	36
3.5.2.1	Κατάσταση Συμφόρησης του Δικτύου	36
3.5.2.2	Δυνατότητα Κλιμάκωσης	36
3.5.2.3	Ταχύτητα Προσαρμογής.....	36
3.5.2.4	Φιλικότητα προς το TCP	36

3.5.2.5	Iκανοποίηση του Χρήστη	37
4	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	39
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	39
4.2	INTSERV	39
4.2.1	ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	39
4.2.1.1	Εισαγωγή στο πρωτόκολλο RSVP	40
4.2.1.2	Αρχιτεκτονική του RSVP	41
4.2.1.3	Χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου RSVP.....	42
4.2.1.4	Τρόπος λειτουργίας του RSVP	42
4.2.1.5	Τύποι RSVP μηνυμάτων	49
4.2.1.6	Μορφή RSVP πακέτων	50
4.2.1.7	Πεδία RSVP αντικειμένων	51
4.3	DIFFSERV	53
4.3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	53
4.3.2	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	54
4.3.2.1	Ταξινόμηση με βάση την IPv4 επικεφαλίδα	55
4.3.2.2	Ταξινόμηση με βάση την IPv6 επικεφαλίδα	55
4.3.2.3	Ταξινόμηση με Βάση την MPLS Επικεφαλίδα	56
4.3.3	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΑΡΚΑΡΙΣΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ, ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ	57
4.3.3.1	Αλγόριθμοι Κουβά με Κουπόνι (Token Bucket) και Κουβά με Διαρροή (Leaky Bucket)	57
4.3.4	ΑΣΤΥΝΟΜΕΥΣΗ (POLICING) ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	59
4.3.5	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΟΥΡΩΝ	59
4.3.5.1	Ρητή Ειδοποίηση Συμφόρησης (Explicit Congestion Notification - ECN)...	61
4.3.5.2	Μηχανισμός RED (Τυχαία Πρώιμη Ανίχνευση - Random Early Detection)	62
4.3.5.3	Μηχανισμός Ζυγισμένος (Weighted) RED	63
4.3.6	ΧΡΟΝΟΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ.....	64
4.3.6.1	FIFO.....	64
4.3.6.2	Μηχανισμός με Ουρές Προτεραιότητας (Priority Queueing - PQ).....	65
4.3.6.3	Τροποποιημένος Ελλειμματικός (Modified Deficit) Round Robin (M-DRR)	65
4.3.6.4	Μέθοδος Δίκαιης Ουράς (Fair Queueing) – Ζυγισμένης Δίκαιης Ουράς (Weighted Fair Queueing).....	66
4.3.7	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ DIFFSERV.....	67
4.3.7.1	EF-βασισμένες (EF-based) υπηρεσίες.....	67
4.3.7.2	AF βασισμένες Υπηρεσίες.....	69
4.3.8	ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΑΠΟ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ (LESS THAN BEST EFFORT)	71
4.4	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ QOS ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ IPV6 ΔΙΚΤΥΑ	71
4.5	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ BANDWIDTH BROKERS.....	72
5	ΘΕΜΑΤΑ ΧΡΕΩΣΗΣ	75
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	75
5.2	ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΜΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΧΡΕΩΣΗΣ	75
5.3	ΔΟΜΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΚΑΠΟΙΟΝ ΠΑΡΟΧΟ (ISP COST STRUCTURE)	75
5.3.1	ΚΟΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (ACCESS COSTS).....	76
5.3.1.1	Κόστη εγκατάστασης δικτύου (installation costs).....	76
5.3.1.2	Κόστη ενεργοποίησης πελάτη (customer activation costs)	77

5.3.2	ΚΟΣΤΗ ΧΡΗΣΗΣ (USAGE COSTS).....	77
5.3.2.1	Κόστη υποστήριξης πελάτη & συντήρησης (customer support & maintenance).....	77
5.3.2.2	Κόστη φόρτου δικτύου (network load costs)	77
5.3.3	ΣΥΜΦΩΝΙΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΑΡΟΧΩΝ (ISP PEERINGS)	78
5.4	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΧΡΕΩΣΗΣ	79
5.5	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΧΡΕΩΣΗΣ.....	81
5.5.1	1 ^Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ: ΧΡΕΩΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ - ΧΡΕΩΣΗ ΕΝΙΑΙΟΥ-ΤΕΛΟΥΣ.....	81
5.5.1.1	Μειονεκτήματα του μοντέλου χρέωσης ενιαίου τέλους.....	82
5.5.1.2	Μειονεκτήματα του μοντέλου χρέωσης βασισμένη στη χρήση.....	84
5.5.1.3	Η άποψη των παρόχων (ISPs) για την ενιαίου-τέλους χρέωση.....	88
5.5.1.4	Συμπεράσματα – κριτική προσέγγιση των 2 κατηγοριών	89
5.5.2	2 ^Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΧΡΕΩΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ «ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ»	90
5.5.2.1	Η Τεχνική Διάσταση.....	91
5.5.2.2	Η Οικονομική Διάσταση	91
5.5.2.3	Η Διάσταση της Επιστημονικής Έρευνας	92
5.5.3	ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΧΡΕΩΣΗΣ «ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΑ ΑΚΡΑ».....	93
6	ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ - ΣΔΕΠΥ (SERVICE LEVEL AGREEMENTS - SLA)	95
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	95
6.2	ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΜΙΑ ΣΔΕΠΥ (SLA)	96
6.2.1	ΕΙΔΗ ΣΔΕΠΥ	96
6.2.1.1	Κατηγοριοποίηση ως προς τις υπηρεσίες, αντικείμενο της ΣΔΕΠΥ.....	96
6.2.1.2	Κατηγοριοποίηση ως προς το χρόνο αντίδρασης του πάροχου	97
6.2.1.3	Κατηγοριοποίηση ως προς τη σχέση του πάροχου με τον οργανισμό	98
6.3	ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΣΔΕΠΥ	99
6.3.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΙΑΣ ΣΔΕΠΥ.....	100
6.3.2	ΦΑΣΕΙΣ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΣΔΕΠΥ	101
6.3.2.1	Περιγραφή της υπηρεσίας	101
6.3.2.2	Δείκτες.....	101
6.3.2.3	Όρια τιμών για τους δείκτες	102
6.3.2.4	Αποζημιώσεις	103
6.3.2.5	Μετρήσεις.....	103
6.3.2.6	Διαδικασίες επικοινωνίας οργανισμού – πάροχου	104
6.3.2.7	Άλλα θέματα.....	104
6.3.3	ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΔΕΠΥ.....	105
6.3.4	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ	105
6.3.5	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	107
6.3.6	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΔΕΠΥ	108
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	111
	WEB SITES	117

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΚΑΙ Η ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ	15
ΣΧΗΜΑ 2: VIRTUAL PATHS ΚΑΙ VIRTUAL CIRCUITS ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΑΤΜ	19
ΣΧΗΜΑ 3: ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	29
ΣΧΗΜΑ 4 ΔΙΚΤΥΑΚΟ ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ RSVP	40
ΣΧΗΜΑ 5 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΥ RSVP	41
ΣΧΗΜΑ 6 ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΣΕ ΕΝΑΝ ΚΟΜΒΟ ΤΟΥ ΜΟΝΟΠΑΤΙΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	43
ΣΧΗΜΑ 7 Η ΕΝΟΠΙΟΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΤΗΣΕΩΝ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ	44
ΣΧΗΜΑ 8 ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ RSVP	45
ΣΧΗΜΑ 9 ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΟΡΙΖΟΥΝ ΜΙΑ RSVP ΣΥΝΟΔΟ	45
ΣΧΗΜΑ 10 ΠΕΔΙΑ ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΩΝ RSVP ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ	50
ΣΧΗΜΑ 11: ΟΙ ΒΑΣΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΑΤΑ ΡΑΤΗ ΚΑΙ Η ΣΕΙΡΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΕΚΤΕΛΟΥΝΤΑΙ	54
ΣΧΗΜΑ 12: Το TOS OSETT ΤΗΣ IPv4 ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΑΣ	55
ΣΧΗΜΑ 13: Η IPv4 ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ DIFFSERV ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	55
ΣΧΗΜΑ 14: Η ΒΑΣΙΚΗ IPv6 ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΑ	56
ΣΧΗΜΑ 15: Η MPLS ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΑ	56
ΣΧΗΜΑ 16: Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ «ΚΟΥΒΑ ΜΕ ΚΟΥΠΟΝΙ» (TOKEN BUCKET)	58
ΣΧΗΜΑ 17: Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ «ΚΟΥΒΑ ΜΕ ΔΙΑΡΡΟΗ» (LEAKY BUCKET)	58
ΣΧΗΜΑ 18: ΈΝΑΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ 3 ΕΠΙΠΕΔΑ	59
ΣΧΗΜΑ 19: Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ RED	63
ΣΧΗΜΑ 20: Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΖΥΓΙΣΜΕΝΟΣ (WEIGHTED) RED	63
ΣΧΗΜΑ 21: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΣ BANDWIDTH BROKER	72
ΣΧΗΜΑ 22: ΔΟΜΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ISP	75
ΣΧΗΜΑ 23: ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΧΡΕΩΣΗΣ	90

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΣΤΥΛ/ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ.....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΤΙΜΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΤΥΠΟΣ ΤΩΝ RSVP ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΤΑΞΕΙΣ ΤΩΝ RSVP ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΙΑΙΟΥ-ΤΕΛΟΥΣ ΩΣ ΜΟΡΦΗ ΠΑΚΕΤΑΡΙΣΜΑΤΟΣ	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΔΕΠΥ	109

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το βιβλίο αυτό πραγματεύεται θέματα που αφορούν το μεταπτυχιακό μάθημα «Αλγοριθμικά Θέματα Δικτύων» που διδάσκεται στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος στο Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών. Καλύπτει θέματα που έχουν να κάνουν με την Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service) και ειδικότερα με τις πιο διαδεδομένες αρχιτεκτονικές για την παροχή εγγυήσεων υπηρεσίας, τις IntServ και DiffServ. Επιπλέον παρουσιάζονται θέματα που έχουν να κάνουν με τις χρεώσεις σε δίκτυα δεδομένων, δίνοντας έμφαση στην διάκριση μεταξύ της χρέωσης βασισμένης στη χρήση και της χρέωσης σταθερού τέλους. Τέλος, το βιβλίο έχει σαν στόχο να περιγράψει θέματα συμβάσεων διασφάλισης επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας, τα οποία συσχετίζονται άμεσα με την χρέωση των υπηρεσιών αλλά και με τον σχεδιασμό και τρόπο παροχής υπηρεσιών ποιότητας εξυπηρέτησης (τι εγγυήσεις παρέχονται και πόσο ρητές αυτές είναι).

Το βιβλίο ακολουθεί την παρακάτω δομή: Το κεφάλαιο 2 κάνει μια εισαγωγή στην έννοια της ποιότητας υπηρεσίας και παρουσιάζει συνοπτικά τις αρχιτεκτονικές IntServ και DiffServ. Το κεφάλαιο 3 αναλύει τις εφαρμογές με δυνατότητα προσαρμογής της μετάδοσής τους ώστε να προσαρμόζονται κάθε φορά στην τρέχουσα κατάσταση του δικτύου, κάτι το οποίο είναι χρήσιμο ειδικά στην περίπτωση που το δίκτυο δεν υποστηρίζει κάποια ποιότητα υπηρεσίας. Επίσης, κάνει μια πλήρη περιγραφή των προτεινόμενων μηχανισμών και σύγκριση μεταξύ τους. Στη συνέχεια, το κεφάλαιο 4 περιγράφει το θέμα της παροχής ποιότητας υπηρεσίας στο επίπεδο δικτύου, όπου αναλύονται οι μηχανισμοί και τα πρότυπα που υποστηρίζονται. Επίσης, γίνεται αναλυτική περιγραφή των υπηρεσιών που έχουν ήδη «προτυποποιηθεί» και των στόχων καθεμίας. Προχωρώντας στο βιβλίο, το κεφάλαιο 5 αναλώνεται στο θέμα της χρέωσης υπηρεσιών όπου παρουσιάζονται οι ισχύουσες πρακτικές και συγκρίνονται μεταξύ τους. Τέλος, το κεφάλαιο 6 θίγει το θέμα των συμβάσεων διασφάλισης επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας, ένα θέμα που άπτεται τόσο του θέματος της παροχής ποιότητας υπηρεσίας όσο και της χρέωσης των υπηρεσιών.

2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε ένα πραγματικό IP δίκτυο, η βασική υπηρεσία που προσφέρεται είναι η υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας. Σύμφωνα με αυτή κάθε πακέτο που φτάνει σε ένα δρομολογητή δέχεται την ακόλουθη επεξεργασία:

- Αρχικά γίνεται έλεγχος για το που θα σταλεί το πακέτο που μόλις έφτασε.
- Στη συνέχεια το πακέτο στέλνεται στη γραμμή εξόδου για το επόμενο hop. Εάν δεν είναι δυνατό το πακέτο να σταλεί άμεσα αυτό αποθηκεύεται προσωρινά σε μια ουρά εξόδου.
- Εάν η ουρά αυτή είναι γεμάτη το πακέτο απορρίπτεται. Σε περίπτωση που όταν φτάσει το πακέτο η ουρά περιέχει ήδη άλλα πακέτα τότε το πακέτο αυτό δέχεται επιπλέον καθυστέρηση σύμφωνα με το χρόνο που απαιτείται ώστε τα παλιότερα πακέτα να φύγουν από την ουρά.

Ουσιαστικά στην υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας όλα τα πακέτα αντιμετωπίζονται όμοια και δεν υπάρχουν εγγυήσεις, διαφοροποιήσεις ή προσπάθεια επιβολής δικαιοσύνης. Εντούτοις το δίκτυο προσπαθεί να προωθήσει όσο περισσότερη κίνηση μπορεί με «λογική» ποιότητα. Πολλές φορές στο δίκτυο παρουσιάζεται το φαινόμενο της συμφόρησης, που ουσιαστικά συμβαίνει όταν ένας δρομολογητής αποθηκεύει πακέτα σε μια ουρά εξόδου γιατί λαμβάνει περισσότερα πακέτα από αυτά που μπορεί να μεταδώσει. Στη διάρκεια της περιόδου συμφόρησης είναι λογικό τα πακέτα να δέχονται μεγαλύτερη καθυστέρηση ενώ όταν η ουρά εξόδου γεμίσει, τότε αυτά απορρίπτονται.

Ωστόσο υπάρχουν εφαρμογές που απαιτούν ορισμένες εγγυήσεις (κυρίως σε καθυστέρηση και απόρριψη πακέτων) όπως οι εφαρμογές μετάδοσης δεδομένων πραγματικού χρόνου (π.χ. IP τηλεφωνία (voice over IP - VoIP) και τηλεδιάσκεψη (videoconference)). Αυτές, προκειμένου να πετύχουν τις εγγυήσεις ποιότητας που εξασφαλίζουν τη σωστή λειτουργία τους πρέπει να διασχίζουν στο δίκτυο άδειες ή σχεδόν άδειες ουρές, γεγονός που για να συμβεί πρέπει να υπάρξουν μηχανισμοί που θα τις διασφαλίσουν.

Ένας τρόπος προκειμένου να υπάρξει παροχή εγγυήσεων σε κάποια κίνηση είναι η διαχείριση ορισμένων πακέτων διαφορετικά έναντι των υπολοίπων. Στο σημείο αυτό ουσιαστικά εισέρχεται η έννοια της ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service). Ένας ορισμός της είναι: «η ικανότητα ενός στοιχείου του δικτύου να παρέχει ένα επίπεδο διαβεβαίωσης (εγγυήσης) σε ένα υποσύνολο κίνησης ότι οι απαιτήσεις υπηρεσίας της μπορεί να επιτευχθούν με συγκεκριμένη (πολύ μεγάλη) πιθανότητα». Ουσιαστικά, οι μηχανισμοί της Ποιότητας Υπηρεσίας δεν παρέχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα στο δίκτυο ή κάτι παρόμοιο, αλλά απλώς κάνουν καλύτερη διαχείριση του δικτύου ώστε να χρησιμοποιείται πιο αποδοτικά και σύμφωνα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών.

2.2 ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Οι μετρικές που ενδιαφέρουν τις εφαρμογές που ζητούν ποιότητα υπηρεσίας στην εξυπηρέτησή τους είναι γενικά τέσσερις και περιγράφονται αμέσως παρακάτω. Η

σημαντικότερη ποσότητα που ενδιαφέρει και επηρεάζει τις εφαρμογές είναι το εύρος ζώνης, που ορίζεται ως το πλήθος των δεδομένων, σε bits ανά δευτερόλεπτο (bps), που μεταδίδονται από ένα χρήστη στον άλλο. Το εύρος ζώνης χαρακτηρίζεται από 4 ποσότητες που είναι:

- Το μέγιστο μέγεθος καταιγισμού, δηλαδή ο μέγιστος αριθμός πακέτων που μπορούν να βρεθούν στην ουρά του δρομολογητή χωρίς να απορριφθούν. Μία εφαρμογή που κατά τα άλλα συμπεριφέρεται μέσα στα προκαθορισμένα όρια, μπορεί για διάφορους λόγους να στείλει κάποια χρονική στιγμή δεδομένα με ρυθμό καταιγισμού.
- Το μέγιστο εύρος ζώνης (peak bandwidth), δηλαδή η ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή του εύρους ζώνης που επιτρέπεται μία ροή να διατηρήσει σταθερή.
- Το ελάχιστο εγγυημένο εύρος ζώνης.
- Το μέσο εύρος ζώνης, δηλαδή η μέση τιμή του εύρους ζώνης που υπολογίζεται διαιρώντας τον αριθμό των bytes που μεταδόθηκαν προς το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

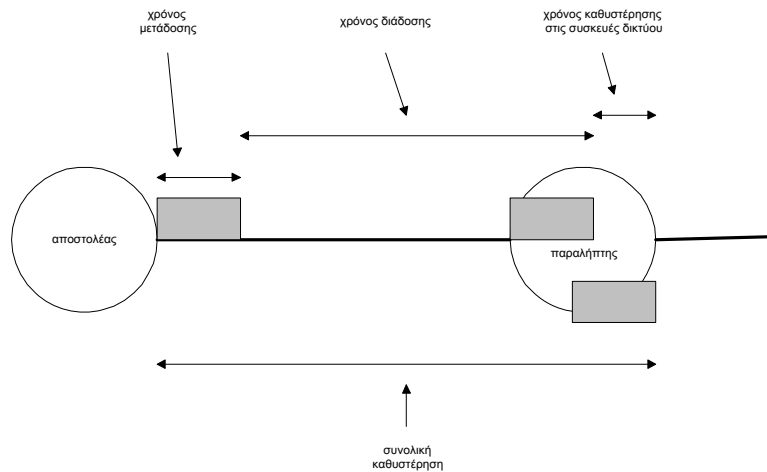
Η δεύτερη ποσότητα που ενδιαφέρει σχεδόν όλες τις εφαρμογές είναι η καθυστέρηση, που ορίζεται ως ο χρόνος μεταξύ της μετάδοσης του πρώτου bit ενός IP πακέτου και της λήψης του τελευταίου bit αυτού του πακέτου από τον παραλήπτη. Ουσιαστικά η συνολική αυτή καθυστέρηση ισούται με το άθροισμα των καθυστερήσεων σε κάθε τμήμα του δικτύου. Η καθυστέρηση σε κάθε τμήμα του δικτύου είναι 3 ειδών και συγκεκριμένα:

- Χρόνος μετάδοσης, είναι δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για την τοποθέτηση πάνω σε μια γραμμή μετάδοσης όλων των bit του πακέτου και είναι ανάλογος της ταχύτητας της γραμμής.
- Χρόνος διάδοσης, είναι ο χρόνος από τη μετάδοση του πρώτου (ή του τελευταίου bit του πακέτου) και τη λήψη αυτού του bit από τον παραλήπτη. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από την τεχνολογία μετάδοσης και την απόσταση.
- Τέλος είναι ο χρόνος καθυστέρησης στις συσκευές του δικτύου. Η καθυστέρηση αυτή εισάγεται στα σημεία που λαμβάνουν πληροφορία και είναι ο χρόνος από τη λήψη τους μέχρι η πληροφορία να μεταδοθεί στην επόμενη συσκευή. Ο χρόνος αυτός αποτελείται από το χρόνο επεξεργασίας και το χρόνο που η πληροφορία παραμένει στην ουρά.

Παράλληλα η επόμενη ποσότητα που χαρακτηρίζει την ποιότητα υπηρεσίας είναι η διακύμανση καθυστέρησης. Ουσιαστικά, η διακύμανση καθυστέρησης αναφέρεται σε ζεύγη πακέτων και ορίζεται ως η διακύμανση της διαφοράς του χρόνου άφιξης μεταξύ διαδοχικών πακέτων. Πολλές εφαρμογές απαιτούν να έχουν ένα άνω όριο για την διακύμανση καθυστέρησης προκειμένου η απόδοσή τους να είναι καλή.

Τέλος, μια παράμετρος που ενδιαφέρει πολλές εφαρμογές είναι η απώλεια πακέτων και είναι ουσιαστικά το ποσοστό των πακέτων που μεταδόθηκαν από την πηγή και δεν λήφθηκαν από τον παραλήπτη ή παραλήφθηκαν με λάθη. Η απώλεια πακέτων προκαλείται είτε από απώλεια κάποιου δικτυακού συνδέσμου, είτε εξαιτίας προβλημάτων στη ρύθμιση των συσκευών του δικτύου είτε τέλος από συμφόρηση στο δίκτυο. Γενικά η επίδραση της απώλειας πακέτων στις εφαρμογές μπορεί να είναι καταστροφική υποβαθμίζοντας την απόδοσή τους. Επίσης σε πολλές εφαρμογές ενδεχόμενη αποστολή ξανά ενός χαμένου πακέτου δεν έχει καμιά απολύτως σημασία

και αντιθέτως δυσχεραίνει την λειτουργία της εφαρμογής παρά την βοήθα. Ένα παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής είναι η τηλεδιάσκεψη.



Σχήμα 1: Τα είδη της καθυστέρησης και η συνολική καθυστέρηση

2.3 ΤΥΠΟΙ QoS

2.3.1 Μηχανισμοί για QoS στο Φυσικό Επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο αποτελείται από τη φυσική καλωδίωση (συνήθως οπτική ίνα) και το μέσο μετάδοσης στο ίδιο το δίκτυο. Η δοκιμασμένη τακτική της κατασκευής διαφοροποιημένων μεταξύ τους φυσικών μονοπατιών σε ένα δίκτυο είναι μια πρώτη προσπάθεια για την παροχή διαφοροποιημένων επιπέδων υπηρεσιών. Σε ορισμένες περιπτώσεις διαφορετικά μονοπάτια κατασκευάζονται κυρίως για χρήση από το επίπεδο δικτύου, παρέχοντας διαθεσιμότητα επιπλέον δικτυακών συνδέσεων στις περιπτώσεις που το πρωτεύον φυσικό μονοπάτι χαθεί για κάποιο λόγο. Ωστόσο, πολλές φορές η χρήση όλου του διαθέσιμου εύρους τόσο από το πρωτεύον όσο και από τα εναλλακτικά (backup) μονοπάτια φαίνεται ελκυστική. Στις περιπτώσεις αυτές η απόδοση μπορεί να γίνει προβληματική, καθώς ενώ η διάθεση περισσότερων από ένα φυσικών μονοπατιών προς ένα προορισμό θεωρητικά επιτρέπει σε ένα αυθαίρετο τμήμα της κίνησης του δικτύου να χρησιμοποιήσει το χαμηλής καθυστέρησης, μεγάλου εύρους ζώνης μονοπάτι, το υπόλοιπο τμήμα της κίνησης επιλέγει ένα εναλλακτικό μονοπάτι το οποίο μπορεί να έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά εύρους ζώνης και καθυστέρησης. Μια τέτοια ρύθμιση οδηγεί σε μειωμένη αξιοπιστία και αυξημένη διακύμανση καθυστέρησης, εκτός εάν το πρωτόκολλο δρομολόγησης έχει σχεδιαστεί προσεκτικά έτσι ώστε να σταθεροποιεί την τμηματοποίηση της κίνησης μεταξύ των δύο μονοπατιών.

2.3.2 Διαφοροποίηση φυσικών μονοπατιών

Παρ' όλο που η εισαγωγή επιπλέον φυσικών μονοπατιών σε ένα δίκτυο γίνεται συνήθως προκειμένου να εξασφαλιστούν εναλλακτικά μονοπάτια μέσω πλεονασμού (redundancy), μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παροχή διαφοροποιημένων μεταξύ τους υπηρεσιών στις περιπτώσεις όπου τα διαθέσιμα μονοπάτια έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Για παράδειγμα, η κίνηση καλύτερης προσπάθειας μπορεί να διοχετευτεί από τις συσκευές του επιπέδου δικτύου (δρομολογητές) στο μονοπάτι χαμηλότερης ταχύτητας, ενώ η κίνηση υψηλότερης προτεραιότητας (QoS) μπορεί να προωθηθεί στο μονοπάτι υψηλότερης ταχύτητας. Εναλλακτικά, το παραπάνω σενάριο μπορεί να υλοποιηθεί με ένα δορυφορικό μονοπάτι που συνοδεύεται από ένα γρηγορότερο επίγειο μονοπάτι μέσω καλωδίων. Η κυκλοφορία καλύτερης προσπάθειας διοχετεύεται μέσω του μεγαλύτερης καθυστέρησης δορυφορικού μονοπατιού, ενώ η κίνηση υψηλότερης προτεραιότητας δρομολογείται μέσω του συστήματος επίγειων καλωδίων. Η παραπάνω προσέγγιση είναι πρωτόγονη και έχει πολλά μειονεκτήματα.

2.3.2.1 Δρομολόγηση βάσει του Προορισμού και Επιλογή Μονοπατιού

Η μέθοδος σύμφωνα με την οποία τα IP πακέτα δρομολογούνται στο Διαδίκτυο βασίζεται στην πληροφορία για τον προορισμό τους που περικλείεται στην επικεφαλίδα του κάθε πακέτου. Αυτή η μέθοδος καλείται «δρομολόγηση βάσει του προορισμού» και λόγω του ότι τα πακέτα δρομολογούνται βάσει μιας τοπικής απόφασης για το καλύτερο μονοπάτι προς τον IP προορισμό, η διεύθυνση του οποίου περιλαμβάνεται στην επικεφαλίδα κάθε πακέτου, δεν υπάρχουν ισχυροί μηχανισμοί για την δρομολόγηση της κίνησης βάσει της IP πηγής της. Συνεπώς είναι δύσκολο να γίνει η επιλογή μονοπατιού βάσει των χαρακτηριστικών της πηγής της κυκλοφορίας, αφού η επιλογή μονοπατιού γίνεται βάση της ταυτότητας του παραλήπτη.

Βάσει των παραπάνω, ένας QoS μηχανισμός διαφοροποίησης μέσω επιλογής μονοπατιού θα μπορούσε να εφαρμοστεί πιο αποτελεσματικά σε επιλεγμένη εισερχόμενη κυκλοφορία, ενώ η εξερχόμενη κυκλοφορία θα προσαρμοζόταν στις QoS απαιτήσεις του παραλήπτη. Ένα δίκτυο δρομολόγησης βάσει του προορισμού δεν μπορεί να ρυθμίσει τα QoS μονοπάτια τόσο της εισερχόμενης όσο και της εξερχόμενης κυκλοφορίας προς έναν οποιονδήποτε προορισμό. Κάθε QoS μονοπάτι καθορίζεται βάσει μιας βασισμένης στον προορισμό επιλογής μονοπατιού, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι σε ένα ανομοιογενές QoS περιβάλλον, παράμετροι ασυμμετρικής ποιότητας σε εισερχόμενες και εξερχόμενες ροές δεδομένων θα παρατηρηθούν.

2.3.2.2 TCP και Συμμετρική Επιλογή Μονοπατιού

Η αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων (συνήθως με την χρήση του πρωτοκόλλου TCP στο Διαδίκτυο σήμερα) απαιτεί ροή δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις, γεγονός που σημαίνει ότι η κάθε μετάδοση που αρχικοποιείται από έναν συγκεκριμένο αποστολέα γενικά απαιτεί την αποστολή κυκλοφορίας ελέγχου και από τον παραλήπτη. Αυτή η αντίστροφη ροή δεδομένων χρησιμοποιείται για να καθορίσει την επιτυχία της μετάδοσης, να λύσει το πρόβλημα της ενδεχομένως μη ταξινομημένης παραλαβής δεδομένων από τον παραλήπτη, την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης και για τη μεταφορά άλλων σημάτων ελέγχου, με σκοπό τη σωστή λειτουργία. Στην πραγματικότητα, αυτή η αντίστροφη ροή επιτρέπει στον αποστολέα να εκτιμήσει την κατάσταση κατά μήκος του μονοπατιού μετάδοσης των δεδομένων στον παραλήπτη, δίνοντάς του τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων προκειμένου να κάνει βέλτιστη χρήση του μεριδίου του στο μέσο προς τον προορισμό. Επομένως, για μια αξιόπιστη ροή κυκλοφορίας που μεταδίδεται κατά μήκος ενός συγκεκριμένου μονοπατιού σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο διαφοροποιημένης ποιότητας, η επιστρεφόμενη ροή ελέγχου θα πρέπει να επιστρέφει από το ίδιο μονοπάτι στο ίδιο επίπεδο ποιότητας προκειμένου να διατηρείται αξιόπιστα ο βέλτιστος ρυθμός

μετάδοσης (αυτή η δρομολόγηση καλείται δρομολόγηση των συμμετρικών μονοπατιών).

Τα ασυμμετρικά μονοπάτια στο Διαδίκτυο αποτελούν έναν προβληματικό παράγοντα σε συνάρτηση με την ευαίσθητη στην καθυστέρηση κυκλοφορία και με τα διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας, που παραμορφώνουν το σήμα που δημιουργείται από τον παραλήπτη. Το πρόβλημα αυτό οφείλεται κυρίως στις τοπικές πολιτικές δρομολόγησης στα επιμέρους διαχειριστικά τμήματα (domains) δια μέσω των οποίων η κυκλοφορία διακινείται στο Διαδίκτυο. Είναι μη ρεαλιστική η απαίτηση για δρομολόγηση συμμετρικών μονοπατιών στο Διαδίκτυο, κυρίως στο άμεσο μέλλον.

Συμπερασματικά, η ανομοιομορφία των μονοπατιών δεν επιτρέπει διαφοροποιημένα επίπεδα υπηρεσιών να δημιουργηθούν βάση των διαφορετικών χαρακτηριστικών καθυστέρησης, εύρους ζώνης και φορτίου στα διάφορα μονοπάτια. Για εφαρμογές που απαιτούν αξιόπιστη μετάδοση, αυτή η διαφοροποίηση στα επίπεδα υπηρεσιών είναι αναποτελεσματική.

2.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Η διαφοροποίηση στις υπηρεσίες που παρέχονται μέσω της κυκλοφορίας στα δίκτυα, επιτυγχάνεται κυρίως μέσω μηχανισμών στο επίπεδο σύνδεσης και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση των ATM και Frame Relay στα WANs.

2.4.1 ATM

Το ATM είναι μια από τις τεχνολογίες μετάδοσης που παρέχουν ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων μεγαλύτερες των 155Mbps. Εκτός από τους υψηλής ταχύτητας ρυθμούς μετάδοσης, το ATM παρέχει ένα πολύπλοκο υποσύνολο από μηχανισμούς διαχείρισης της κυκλοφορίας, διαχείρισης εικονικών κυκλωμάτων (Virtual Circuits - VCs) και συσχετισμού των παραμέτρων για ποιότητα υπηρεσίας με τα εικονικά αυτά κυκλώματα. Ωστόσο αυτοί οι μηχανισμοί μεταδόσεων με υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας δεν χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία των οργανισμών που χρησιμοποιούν το ATM σαν εργαλείο μετάδοσης δεδομένων στο Διαδίκτυο. Γενικά, το ATM χρησιμοποιείται κυρίως λόγω των μεγάλων ταχυτήτων μετάδοσης που υποστηρίζει και της ευελιξίας για πολύπλεξη που παρέχεται στις διάφορες ATM υλοποιήσεις.

2.4.1.1 Τάξεις Ποιότητας Υπηρεσίας στα ATM δίκτυα

Υπάρχουν δύο τάξεις Ποιότητας Υπηρεσίας στο ATM:

- Η τάξη που ορίζει παραμέτρους απόδοσης (specified QoS class)
- Η τάξη όπου δεν ορίζονται παράμετροι απόδοσης (unspecified QoS class)

Οι τάξεις Ποιότητας Υπηρεσίας αφορούν κάθε μεμονωμένη σύνδεση και ορίζουν μια σειρά από παραμέτρους απόδοσης και αντικειμενικές τιμές για κάθε παράμετρο απόδοσης που ορίζεται.

Ένα δίκτυο ATM μπορεί να υποστηρίζει διαφορετικές τάξεις Ποιότητας Υπηρεσίας, ωστόσο μόνο μια από αυτές μπορεί να είναι μη καθορισμένη (unspecified). Είναι επίσης λογικό η απόδοση του δικτύου να είναι τουλάχιστον ίση με αυτή που ζητήθηκε από κάποιο τερματικό σημείο ενός ATM δικτύου. Κάθε σύνδεση ATM δηλώνει την

απαιτούμενη Ποιότητα Υπηρεσίας με τον ορισμό μιας συγκεκριμένης τάξης. Στα μόνιμα εικονικά κυκλώματα (Permanent Virtual Circuits - PVCs, δηλαδή ένας σύνδεσμος με στατική δρομολόγηση που έχει καθοριστεί εκ των προτέρων) το σύστημα διαχείρισης δικτύου (Network Management System - NMS) χρησιμοποιείται για να υποδεικνύει τις τάξεις της Ποιότητας Υπηρεσίας μέσω της UNI σηματοδοσίας (User-Network Interface, ο τρόπος επικοινωνίας μεταξύ τερματικών σταθμών και ATM διακοπών). Στα εικονικά κυκλώματα μεταγωγής (Switched Virtual Circuits - SVCs, δηλαδή σύνδεση που εγκαθιδρύεται όχι στατικά, αλλά δυναμικά μέσω σηματοδοσίας) χρησιμοποιούνται τα τμήματα της πληροφορίας του πρωτοκόλλου σηματοδοσίας για να δηλωθεί στο δίκτυο μέσω του UNI η τάξη Ποιότητας Υπηρεσίας.

Ένας συνδυασμός από τάξεις Ποιότητας Υπηρεσίας και κατηγορίες υπηρεσιών του ATM έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των παρακάτω κατηγοριών υπηρεσιών:

- Κατηγορία Υπηρεσίας Α. Εξομοίωση κυκλωμάτων, μετάδοση video με χρήση CBR.
- Κατηγορία Υπηρεσίας Β. VBP ήχος και video
- Κατηγορία Υπηρεσίας Γ. Μεταφορά δεδομένων με προσανατολισμό στη σύνδεση
- Κατηγορία Υπηρεσίας Δ. Μεταφορά δεδομένων χωρίς σύνδεση

Στις μέρες μας έχουν οριστεί οι παρακάτω τάξεις Ποιότητας Υπηρεσίας:

- 1η Τάξη Ποιότητας Υπηρεσίας: Υποστηρίζει Ποιότητα Υπηρεσίας που απαντά στις απαιτήσεις της Κατηγορίας Υπηρεσίας Α. Έχει απόδοση παρόμοια με αυτή των ψηφιακών ιδιωτικών γραμμών.
- 2η Τάξη Ποιότητας Υπηρεσίας: Υποστηρίζει Ποιότητα Υπηρεσίας που απαντά στις απαιτήσεις της Κατηγορίας Υπηρεσίας Β. Έχει απόδοση που μπορεί να εξυπηρετήσει εφαρμογές μετάδοσης video με χρήση πακέτων καθώς επίσης και εφαρμογές τηλεδιάσκεψης και πολυμέσων.
- 3η Τάξη Ποιότητας Υπηρεσίας: Υποστηρίζει Ποιότητα Υπηρεσίας που απαντά στις απαιτήσεις της Κατηγορίας Υπηρεσίας Γ. Μπορεί να υποστηρίξει πρωτόκολλα όπως το Frame Relay.
- 4η Τάξη Ποιότητας Υπηρεσίας: Υποστηρίζει Ποιότητα Υπηρεσίας που απαντά στις απαιτήσεις της Κατηγορίας Υπηρεσίας Δ. Μπορεί να υποστηρίξει πρωτόκολλα όπως το IP.

Η βασική διαφορά μεταξύ των καθορισμένων και μη (specified και unspecified) τάξεων είναι ότι στις μη καθορισμένες τάξεις καθορίζονται στόχοι απόδοσης. Παρόλα αυτά το ίδιο το δίκτυο μπορεί να ορίσει ορισμένες εσωτερικές επιθυμητές τιμές για τις παραμέτρους απόδοσης και έτσι μπορεί να δημιουργηθούν νέες έμμεσες τάξεις Ποιότητας Υπηρεσίας.

2.4.1.2 Υλοποίηση Ποιότητας Υπηρεσίας 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.

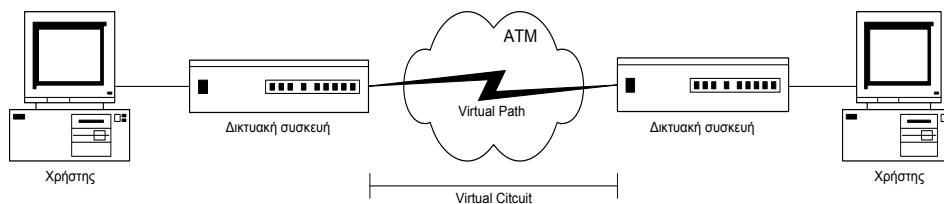
Ο μηχανισμός ο οποίος ελέγχει το ρυθμό ροής των κελιών (cells, τα μικρά, σταθερού μήκους πακέτα στο ATM), ονομάζεται γενικός αλγόριθμος ρυθμού κελίου (Generic Cell Rate Algorithm – GCRA). Ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόζεται σε κάθε κελί και αποφασίζει αν ικανοποιείται το συμβόλαιο κίνησης. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να εφαρμοστεί από τις λειτουργίες ελέγχου κίνησης (UPC) για να ανιχνευτούν τα κελιά που παραβιάζουν το συμβόλαιο και να απορριφθούν ή να μαρκαριστούν ως υποψήφια για απόρριψη (μέσω του bit Cell Loss Priority). 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 αναμένει 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 κελί 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 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. Καταρχήν, 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 ότι για παράδειγμα μεταξύ των δύο χρηστών πρέπει να εγκατασταθεί μια σύνδεση και ότι υπάρχει ένα νοητό μονοπάτι μεταξύ των δύο δικτυακών συσκευών, όπως φαίνεται στο

Σχήμα 2. Αν το VP έχει 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 κελί του VP χωρίς να ενδιαφέρονται σε ποιο VC ανήκουν.



Σχήμα 2: Virtual paths και virtual circuits σε δίκτυα ATM

Προφανώς αν μεταξύ των τερματικών δικτυακών συσκευών δεν ορίζεται κάποιο VP, τότε είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένα σύνολο από VPs για να αποκατασταθεί η σύνδεση και άρα το VC. Μόνο αυτές οι δικτυακές συσκευές, που είναι στα άκρα των VPs, γνωρίζουν την ύπαρξη του VC. Η τεχνική αυτή του καθορισμού των VPs, διευκολύνει αρκετά τη δημιουργία μεγάλων δικτύων στα οποία για όλες τις συνδέσεις ικανοποιείται ένα συμβόλαιο κίνησης.

2.4.2 Frame relay

Το Frame Relay οφείλει την ύπαρξή του στην ανάπτυξη της ISDN τεχνολογίας, όπου το Frame Relay αρχικά αναπτύχθηκε σαν μια τεχνολογία υπηρεσίας-πακέτου για ISDN δίκτυα. Με την αφαίρεση της ανίχνευσης λαθών του επιπέδου σύνδεσης, της επαναμετάδοσης και του ελέγχου ροής, το Frame Relay στράφηκε στην από άκρο σε άκρο σηματοδοσία στο επίπεδο μεταφοράς, προκειμένου να εκτελέσει το πρωτόκολλο δρομολόγησης τις παραπάνω λειτουργίες. Οι διακόπτες (switches) του δικτύου προωθούν τα πλαίσια (frames) δεδομένων χωρίς να περιμένουν θετική αναγνώριση από το επόμενο διακόπτη, οπότε οι διακόπτες μπορούν να λειτουργήσουν με λιγότερη μνήμη και να οδηγήσουν γρηγορότερα τα κυκλώματα με τη μειωμένη λειτουργικότητα διακοπτών που απαιτεί το Frame Relay.

2.4.2.1 Το Frame Relay και η Ποιότητα Υπηρεσιών στο Διαδίκτυο

Το Frame Relay αποτελεί μια ενδεικτική περίπτωση ελέγχου της κυκλοφορίας στα δίκτυα με χρήση ενός περιορισμένου συνόλου σημάτων. Ωστόσο η σχέση μεταξύ του Frame Relay σαν ένα πρωτόκολλο επιπέδου σύνδεσης και των μηχανισμών για παροχή Ποιότητας Υπηρεσίας στο Διαδίκτυο δεν είναι πολύ καλή.

Τα Frame Relay δίκτυα λειτουργούν σε ένα τοπικά ορισμένο επίπεδο με επιλεκτική απόρριψη πλαισίων σαν μέσο για να επιβληθεί ένα όριο στο ρυθμό μετάδοσης της κίνησης, καθώς αυτή εισέρχεται στο δίκτυο. Η αντιμετώπιση αυτή αποτελεί την πρωταρχική αντίδραση στη συμφόρηση. Η επιλογή των πλαισίων προς απόρριψη γίνεται χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη οποιοδήποτε είδους πληροφορία από τα πρωτόκολλα των ανώτερων επιπέδων. Το από άκρο σε άκρο TCP πρωτόκολλο χρησιμοποιεί την απώλεια πακέτων σαν την πρωταρχική ένδειξη για συμφόρηση στο δίκτυο, αλλά η ένδειξη αυτή αναγνωρίζεται μόνο από τον «δημιουργό» μιας TCP συνόδου. Σαν αποτέλεσμα, όταν το δίκτυο τείνει να προσεγγίσει μια κατάσταση συμφόρησης, η μέθοδος με την οποία οι εφαρμογές στο επίπεδο εφαρμογών του συστήματος υποβαθμίζονται δεν ακολουθεί καμία ορισμένη πολιτική. Συνεπώς το Frame Relay, στον τομέα της επιλεκτικής αντιμετώπισης των εφαρμογών δεν προσφέρει κάποια συγκεκριμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες του επιπέδου σύνδεσης.

Επίσης είναι προφανές ότι σε ένα ετερογενές δίκτυο όπου χρησιμοποιείται ένας αριθμός από διαφορετικά πρωτόκολλα του επιπέδου σύνδεσης για να υποστηριχθούν μονοπάτια από άκρο σε άκρο, τα bits ECN και DE του Frame Relay δεν αποτελούν χρήσιμο εργαλείο αφού δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σηματοδοσία από άκρο σε άκρο. Μια ενδιαφέρουσα τεχνική είναι όταν ο κάθε δρομολογητής εφαρμόζει συχνά ενσωμάτωση των IP πακέτων στο Frame Relay. Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται μια πιο λειτουργική προσέγγιση προκειμένου ο χρήστης να επιλέγει την DE κίνηση. Σύμφωνα με αυτήν χρησιμοποιείται ένα πεδίο στην επικεφαλίδα του IP πακέτου για να δηλώσει ένα καθορισμένο επίπεδο ποιότητας, μέσω ενός bit που δηλώνει

καταλληλότητα για απόρριψη, και επιτρέπεται ο χαρακτηρισμός αυτός να μεταφέρεται από άκρο σε άκρο σε ολόκληρο το μονοπάτι του δικτύου. Με αυτή τη λειτουργικότητα, είναι δυνατόν ο δρομολογητής στα σημεία εισόδου (που πραγματοποιεί τη μετατροπή ενός IP datagram σε πλαίσιο του Frame Relay) να καθορίσει το DE bit σύμφωνα με την τιμή του bit στην επικεφαλίδα του IP πακέτου και να προωθήσει το πλαίσιο στον πρώτο διακόπτη του Frame Relay υποδικτύου. Ο διακόπτης αυτός μπορεί στη συνέχεια να επιβεβαιώσει ή να καθαρήσει το DE bit σύμφωνα με την τοπική πολιτική ρύθμισης της κυκλοφορίας, η οποία σχετίζεται με το ανά εικονικό κύκλωμα CIR.

Η αλληλεπίδραση των μηχανισμών υποστήριξης Ποιότητας Υπηρεσίας με τα διάφορα επίπεδα της στοίβας των πρωτοκόλλων είναι αδύνατη χωρίς τη συμβατότητα μεταξύ των δομών σηματοδότησης για τη μετάδοση στο επίπεδο σύνδεσης και τη στοίβα πρωτοκόλλων των ανώτερων επιπέδων.

2.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

2.5.1 Εισαγωγή

Στο μεγαλύτερο τμήμα του Διαδικτύου ο βασικός φορέας υπηρεσιών είναι η οικογένεια πρωτοκόλλων TCP/IP και το καθολικά κοινό πρωτόκολλο είναι το IP. Η χρήση του πρωτοκόλλου αυτού για την εφαρμογή μηχανισμών Ποιότητας Υπηρεσίας, φαίνεται να οδηγεί σε μια μεγαλύτερη πιθανότητα για την επιτυχή παροχή πραγματικής ποιότητας υπηρεσίας αφού η εφαρμογή, διαχείριση και αντιμετώπιση λαθών μπορούν να γίνουν πάνω σε μια κοινή βάση.

Συμβαίνει επίσης η τεχνολογία αυτή του IP να λειτουργεί πάνω σε μια από άκρο σε άκρο φιλοσοφία, χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό σηματοδότησης που εκτείνεται σε όλο το δίκτυο με ομοιόμορφο τρόπο. Το IP πρωτόκολλο είναι η υπηρεσία για την από άκρο σε άκρο μεταφορά στις περισσότερες περιπτώσεις, οπότε παρ' όλο που όπως φάνηκε στις προηγούμενες παραγράφους είναι δυνατόν να υλοποιηθούν QoS υπηρεσίες στα κατώτερα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων, οι υπηρεσίες αυτές καλύπτουν μόνο ένα τμήμα του από άκρο σε άκρο μονοπατιού δεδομένων. Αυτές οι προσπάθειες συχνά υποβαθμίζονται από την αλλοίωση της σηματοδότησης, η οποία προκαλείται από τα τμήματα του από άκρο σε άκρο μονοπατιού που δεν καλύπτονται από την QoS υπηρεσία, οπότε το συνολικό αποτέλεσμα μιας μη-καθολικής QoS δομής είναι γενικά μη ικανοποιητικό.

Όταν το από άκρο σε άκρο μονοπάτι δεν αποτελείται από ένα ομοιογενές επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων, κάθε προσπάθεια για την παροχή διαφοροποιημένων υπηρεσιών μέσα στα πλαίσια μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας του επιπέδου διασύνδεσης δεν θα έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Στο Διαδίκτυο για παράδειγμα, ένα IP πακέτο μπορεί να διανύσει οποιοδήποτε αριθμό από ανομοιογενή μονοπάτια του επιπέδου διασύνδεσης, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά που εγγενώς παρέχουν μεθόδους για την παροχή διαφοροποίησης της κίνησης. Ωστόσο το πακέτο μπορεί επίσης να διανύσει συνδέσμους του δικτύου που δεν μπορούν να παρέχουν κανενός είδους διαφοροποίηση υπηρεσιών στο επίπεδο διασύνδεσης, οπότε η παροχή ποιότητας υπηρεσίας καθίσταται ανεπαρκής.

Το συμπέρασμα είναι ότι κανενός είδους μηχανισμός στα επίπεδα μεταφοράς και δικτύου δεν μπορεί να προσφέρει τη δυνατότητα για διαφοροποίηση υπηρεσιών σε όλα τα είδη ροής δεδομένων και ότι ένα δίκτυο που παρέχει ποιότητα υπηρεσίας πρέπει να

αναπτύσσει έναν αριθμό από μηχανισμούς για την αντιμετώπιση του μεγάλου εύρους απαιτήσεων των χρηστών. Το IETF (Internet Engineering Task Force) έχει προτείνει διάφορα μοντέλα και μηχανισμούς για την επίτευξη ποιότητας υπηρεσίας. Τα πιο σημαντικά μοντέλα είναι :

- Η αρχιτεκτονική Integrated services (IntServ) η οποία κάνει χρήση του πρωτοκόλλου RSVP (Resource Reservation Protocol – Πρωτόκολλο Κράτησης Πόρων). Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιείται κράτηση πόρων (resource reservation), όπου οι πόροι του δικτύου διατίθενται με βάση τις ανάγκες των εφαρμογών. Πιο συγκεκριμένα για κάθε πελάτη (η συνένωση πελατών) που επιθυμεί κάποια ποιότητα υπηρεσίας γίνεται στο δίκτυο κράτηση πόρων ώστε να εξυπηρετούνται οι ανάγκες του.
- Η αρχιτεκτονική Differentiated Services (DiffServ). Στην περίπτωση αυτή γίνεται διάκριση των πακέτων και παρέχεται προτεραιότητα σε ορισμένα από αυτά. Η κίνηση του δικτύου διαχωρίζεται και οι πόροι διανέμονται δίκαια με βάση τα κριτήρια αστυνόμευσης και διαχείρισης του εύρους ζώνης. Προκειμένου να επιτευχθεί ποιότητα στην υπηρεσία, οι διαχωρισμοί (classifications) που έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις απολαμβάνουν προνομιακή μεταχείριση από το δίκτυο.
- Το πρότυπο (τεχνολογία) Multiprotocol Label Switching (MPLS – Εναλλαγή Ετικετών Πολλαπλών Πρωτοκόλλων). Λειτουργεί παρόμοια με τη DiffServ αρχιτεκτονική αφού μαρκάρει τα πακέτα στα σημεία εισόδου στο δίκτυο και απομακρύνει το μαρκάρισμα στα σημεία εξόδου. Όμως, στόχος του μαρκαρίσματος δεν είναι να παρέχει προτεραιότητα στους δρομολογητές όπως συμβαίνει στη DiffServ αρχιτεκτονική αλλά να καθορίσει τον κατάλληλο δικτυακό σύνδεσμο προς τον επόμενο δρομολογητή.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε συνοπτικά τις δύο πρώτες αρχιτεκτονικές και στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναλυτική παρουσίαση των μηχανισμών.

2.5.2 Η Αρχιτεκτονική *Integrated Services (IntServ)*

Ο οργανισμός IETF (Internet Engineering Task Force), ανταποκρινόμενος στην απαίτηση για ανάπτυξη ολοκληρωμένων υπηρεσιών στο Διαδίκτυο, προχώρησε στην ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής Integrated Services architecture ή εν συντομία IntServ. Η αρχιτεκτονική IntServ σχεδιάστηκε αρχικά για να παρέχει ένα σύνολο προεκτάσεων στο παραδοσιακό μοντέλο μετάδοσης «καλύτερης προσπάθειας» του Διαδικτύου. Στόχος της ήταν να παρέχει κάποια ιδιαίτερη μεταχείριση σε ορισμένους τύπους κυκλοφορίας / κίνησης και να παρέχει ένα μηχανισμό στις εφαρμογές ώστε αυτές να έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν ανάμεσα σε πολλά επίπεδα υπηρεσιών μετάδοσης.

Το μοντέλο IntServ ήταν η πρώτη από τις δύο μέχρι στιγμής προσπάθειες που έχουν γίνει για την παροχή εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσία (QoS) στο Διαδίκτυο. Η δεύτερη προσπάθεια είναι το μοντέλο των DiffServ, που βασίζεται σε διαφορετικές αρχές και παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο.

Η βασική ιδέα της αρχιτεκτονικής IntServ είναι ότι δεν απαιτείται να τροποποιηθεί η βασική υποκείμενη αρχιτεκτονική του Διαδικτύου, αλλά αρκεί να προστεθούν κάποιες προεκτάσεις που θα παρέχουν υπηρεσίες πέρα από την παραδοσιακή υπηρεσία «καλύτερης προσπάθειας». Η ομάδα εργασίας του μοντέλου IntServ έχει εστιάσει στους εξής στόχους:

- Στον ξεκάθαρο καθορισμό των υπηρεσιών που θα παρέχονται. Δηλαδή στον καθορισμό και την τεκμηρίωση αυτού του νέου και βελτιωμένου μοντέλου υπηρεσιών του Διαδικτύου.
- Στον καθορισμό των υπηρεσιών στο επίπεδο της εφαρμογής, του χρονοπρογραμματισμού των δρομολογητών του Διαδικτύου σχετικά με την δέσμευση των δικτυακών πόρων, και των διασυνδέσεων των δρομολογητών μεταξύ τους.
- Στην ανάπτυξη απαιτήσεων εγκυρότητας στους δρομολογητές του Διαδικτύου για να εξασφαλίζεται η παροχή της κατάλληλης υπηρεσίας. Το Διαδίκτυο θα συνεχίσει να περιέχει ένα ετερογενές σύνολο δρομολογητών, να τρέχει διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης και να χρησιμοποιεί διαφορετικούς αλγορίθμους δρομολόγησης. Για αυτό η ομάδα εργασίας πρέπει να θέσει κάποιες απαιτήσεις στους δρομολογητές που θα εξασφαλίζουν ότι το Διαδίκτυο μπορεί να υποστηρίξει το νέο μοντέλο υπηρεσιών.

Ο όρος εγγύηση ποιότητας υπηρεσίας (QoS) στο περιβάλλον του IntServ αναφέρεται στη φύση της υπηρεσίας μετάδοσης πακέτων που παρέχεται από το δίκτυο, όπως αυτή χαρακτηρίζεται από παραμέτρους όπως το εύρος ζώνης, η καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων και ο ρυθμός απώλειας πακέτων. Κόμβος του δικτύου θεωρείται κάθε συνιστώσα του δικτύου που χειρίζεται πακέτα δεδομένων και έχει τη δυνατότητα επιβολής ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας στα δεδομένα που ρέουν διαμέσου της. Στους κόμβους συμπεριλαμβάνονται οι δρομολογητές, τα τελικά συστήματα και τα υποδίκτυα. Ένας IntServ-συμβατός (IntServ-capable) κόμβος είναι ένας κόμβος του δικτύου που μπορεί να παρέχει μία ή περισσότερες υπηρεσίες του μοντέλου IntServ. Ένας IntServ-ενήμερος (IntServ-aware) κόμβος είναι ένας κόμβος του δικτύου που υποστηρίζει τις συγκεκριμένες διασυνδέσεις που απαιτούνται από το μοντέλο αλλά που δε μπορεί να παρέχει τη ζητούμενη υπηρεσία. Παρόλο που ένας IntServ- ενήμερος κόμβος δε μπορεί να παρέχει καμία από τις υπηρεσίες QoS, μπορεί απλά να κατανοεί τις παραμέτρους της ζητούμενης υπηρεσίας και να απαντάει αρνητικά σε αυτές τις αιτήσεις.

Σημαντικό ρόλο στο μοντέλο IntServ παίζει η έννοια του ελέγχου των πόρων. Οι πόροι του δικτύου (π.χ. εύρος ζώνης) πρέπει να ελέγχονται ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο ποιότητα υπηρεσίας. Μια θεμελιώδης αρχή του μοντέλου IntServ είναι ότι η κυκλοφορία που διαχειρίζεται από αυτό το μοντέλο πρέπει να υπόκειται σε μηχανισμούς ελέγχου αποδοχής. Επίσης, εκτός από τον έλεγχο αποδοχής, το μοντέλο IntServ φροντίζει για ένα μηχανισμό δέσμευσης πόρων. Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου δε μπορούν να ικανοποιηθούν χωρίς εγγυήσεις πόρων, και οι εγγυήσεις πόρων δε μπορούν να γίνουν χωρίς δέσμευση πόρων. Για την υλοποίηση αυτού του μηχανισμού δέσμευσης πόρων χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο, όπως το RSVP. Σκοπός του πρωτοκόλλου αυτού είναι να αποτελεί το μέσο καθορισμού των πόρων του δικτύου που απαιτούνται για την επίτευξη της απαιτούμενης ποιότητας υπηρεσίας. Η λογική του RSVP είναι πως πρέπει κατά μήκος όλης της διαδρομής που ακολουθούν τα πακέτα, να γίνουν δεσμεύσεις πόρων σύμφωνα με τις ανάγκες της κάθε εφαρμογής. Η διαδικασία δέσμευσης πόρων είναι ακολουθιακή και ο πρώτος δρομολογητής στέλνει κατάλληλο μήνυμα στον επόμενο όπου ζητά δέσμευση πόρων. Η διαδικασία αυτή εξελίσσεται μέχρι να φτάσει στον παραλήπτη, ο οποίος τότε στέλνει στην αντίθετη διαδρομή επιβεβαιώσεις κράτησης. Οι IntServ υπηρεσίες που έχουν προταθεί έως σήμερα είναι η Εγγυημένη (Guaranteed), που είναι η πλησιέστερη δυνατή στα αφιερωμένα εικονικά κυκλώματα και η Ελεγχόμενου Φόρτου (Controlled Load) που

είναι ισοδύναμη με την υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας σε συνθήκες έλλειψης φόρτου.

2.5.3 Η Αρχιτεκτονική Differentiated Services (DiffServ)

Το μοντέλο DiffServ αποτελεί τη δεύτερη σημαντική προσπάθεια για την παροχή εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσίας (QoS) στο Διαδίκτυο. Η πρώτη προσπάθεια (IntServ) εμφάνισε αρκετά μειονεκτήματα με κυριότερο αυτό της μη επεκτασιμότητας σε μεγάλα δίκτυα. Ο σκοπός της ομάδας εργασίας DiffServ ήταν να ορίσει το DS πεδίο στην επικεφαλίδα των IP πακέτων, αντικαθιστώντας το πεδίο TOS (στο IPv4) ή το πεδίο Traffic Class (στο IPv6).

Οι DiffServ υπηρεσίες χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι παρέχονται προς μια κατεύθυνση (unidirectional) και άρα είναι μη συμμετρικές. Η αρχιτεκτονική DiffServ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για unicast μετάδοση και το μοντέλο δε μπορεί ακόμα να υποστηρίξει multicast μετάδοση.

Περίληπτικά η λειτουργία του μοντέλου έχει ως εξής: οι πελάτες ζητούν ένα συγκεκριμένο επίπεδο υπηρεσίας, μαρκάροντας το DS πεδίο του κάθε πακέτου με μια συγκεκριμένη τιμή. Η τιμή αυτή προσδιορίζει την ανά κόμβο συμπεριφορά του δικτύου (Per-Hop Behavior, PHB) ως προς το πακέτο. Οι τιμές του DS πεδίου είναι μέσα στα πλαίσια της συμφωνίας ανάμεσα στον πάροχο και στον πελάτη (Service Level Agreement, SLA - Σύμβαση Διασφάλισης Επιπέδου Ποιότητας Υπηρεσιών ΣΔΕΠΥ) και ορίζουν τις παραμέτρους του επιπέδου υπηρεσίας, όπως ο ρυθμός μετάδοσης, η προτεραιότητα μετάδοσης και απόρριψης, η εξυπηρέτηση στην ουρά κ.ά.

Η αρχιτεκτονική DiffServ αποτελεί το πιο δυναμικό σημείο για την παροχή υπηρεσιών QoS. Η λογική της είναι να αναγνωρίζει κάποιες ροές πακέτων και να τις διαχειρίζεται προνομιακά έναντι των υπολοίπων. Γενικά έχουν προταθεί 2 είδη DiffServ υπηρεσιών που περιγράφονται παρακάτω. Με τον όρο per hop behavior καλείται η «συμπεριφορά προώθησης» (forwarding behavior) που εφαρμόζεται στα πακέτα σε κάθε κόμβο του DiffServ διαχειριστικό τμήμα.

- Expedited Forwarding (EF). Σε αυτή την κατηγορία υπηρεσιών στόχο αποτελεί η ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης και της διακύμανσης καθυστέρησης ενώ παράλληλα στοχεύει ώστε να παρέχει ποιότητα υπηρεσίας στον υψηλότερο βαθμό. Τα πακέτα που υπερβαίνουν το προφίλ της κίνησης που έχει συμφωνηθεί ότι θα εισάγει ο χρήστης (στη ΣΔΕΠΥ που υπογράφηκε) απορρίπτονται. Γενικά οι υπηρεσίες αυτής της κατηγορίας εξομοιώνουν τη λειτουργία μιας εικονικής μισθωμένης γραμμής.
- Assured Forwarding (AF). Η κατηγορία αυτή διαθέτει το πολύ 4 κλάσεις εξυπηρέτησης και το πολύ 3 επίπεδα απόρριψης για κάθε κλάση. Η AF κίνηση που υπερβαίνει τα χαρακτηριστικά διανέμεται με όχι τόσο μεγάλη πιθανότητα όσο η εντός προφίλ κίνηση, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να υποβιβάζεται αλλά δεν σημαίνει απαραίτητα ότι απορρίπτεται.

Η λειτουργία της DiffServ Αρχιτεκτονικής βασίζεται σε μια σειρά από μηχανισμούς οι οποίοι ενεργούν πάνω στις ροές. Προκειμένου να υλοποιηθούν υπηρεσίες παροχής ποιότητας υπηρεσίας απαιτείται η σωστή χρήση των μηχανισμών διαχείρισης των ουρών και χρονοδρομολόγησης.

2.5.4 Σύγκριση της Δέσμευσης πόρων με την Προσαρμογή της Μετάδοσης

Η σύγκριση της δέσμευσης πόρων με την προσαρμογή της μετάδοσης έχει απασχολήσει σημαντικά την ερευνητική κοινότητα με υποστηρικτές και των δύο απόψεων. Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της δέσμευσης πόρων και της προσαρμογής της μετάδοσης.

Το βασικό πλεονέκτημα των μηχανισμών δέσμευσης πόρων στο Διαδίκτυο είναι ότι παρέχουν συγκεκριμένες εγγυήσεις ποιότητας στις εφαρμογές. Αντίστροφα, το βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι αυξάνουν την πολυπλοκότητα του δικτύου λόγω του ότι εισάγουν επεκτάσεις στους μηχανισμούς των δρομολογητών για την δέσμευση των πόρων και την τυχόν χρέωση των χρηστών. Επιπλέον, λόγω του ελέγχου πρόσβασης (Admission Control) που πρέπει να υλοποιηθεί στο δίκτυο μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα περιορισμού πρόσβασης κάποιων χρηστών στο δίκτυο κατά την διάρκεια περιόδων υψηλής κίνησης και κατά συνέπεια να προκαλέσει την δυσαρέσκεια των χρηστών. Οι μηχανισμοί δέσμευσης πόρων υλοποιούνται στο επίπεδο του δικτύου και όχι στο επίπεδο της εφαρμογής, όπως οι μηχανισμοί μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων, και άρα μπορούν να εφαρμοστούν ανεξάρτητα από την εφαρμογή που χρησιμοποιεί το δίκτυο. Επιπλέον, είναι πιο ευέλικτοι όσον αφορά τις απαιτήσεις του χρήστη αλλά και τον τρόπο λειτουργίας του δικτύου (οι διαχειριστές για παράδειγμα μπορεί να έχουν συγκεκριμένους λόγους που να επιθυμούν την καλύτερη μεταχείριση μιας ροής δεδομένων από μια άλλη), οι οποίοι μπορούν να προκαθοριστούν με συμφωνίες όπως εξηγείται στο κεφάλαιο 4.

Από την άλλη πλευρά, το βασικό πλεονέκτημα των μηχανισμών προσαρμογής της μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων με την χρήση ελέγχου ροής και συμφόρησης από άκρο σε άκρο είναι ότι δεν απαιτούν αλλαγές στο δίκτυο και λειτουργούν αποκλειστικά στα τελικά συστήματα. Οι μηχανισμοί αυτοί στοχεύουν στο να αυξάνουν την ποιότητα της μετάδοσης με το να προσαρμόζουν τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων με στόχο να μειωθούν οι απώλειες πακέτων και να αυξηθεί η χρησιμοποίηση του δικτύου συνολικά ώστε να ωφεληθούν οι εφαρμογές που μεταδίδουν δεδομένα στο δίκτυο. Κατά συνέπεια, με κόστος μια μικρή πτώση της ποιότητας των πολυμέσων τα οποία λαμβάνει ο τελικός χρήστης, η εφαρμογή μπορεί να προσαρμόσει την εύρος ζώνης το οποίο καταναλώνει δεδομένης την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Ειδικότερα για την μετάδοση πολυμέσων, μελέτες έχουν δείξει πως η ποιότητα απεικόνισης στον τελικό χρήστη μιας ροής δεδομένων χαμηλού ρυθμού μετάδοσης με λίγες απώλειες πακέτων είναι καλύτερη σε σχέση με μια ροή δεδομένων υψηλού ρυθμού μετάδοσης με πολλές απώλειες πακέτων. Επιπλέον οι μηχανισμοί προσαρμογής της μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων συμπεριφέρονται καλύτερα σε περιβάλλοντα όπου οι πόροι του δικτύου μεταβάλλονται συχνά, γεγονός που ευνοεί σημαντικά τις εφαρμογές πολυμέσων οι συνδέσεις των οποίων συνήθως κρατούν μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντίθετα, οι μηχανισμοί δέσμευσης θα πρέπει να διαπραγματευτούν ξανά τους όρους της δέσμευσης πόρων σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο δικτυακό περιβάλλον. Επιπλέον η δέσμευση πόρων μπορεί να οδηγήσει στο φαινόμενο οι εφαρμογές που έχουν δεσμεύσει δικτυακούς πόρους να μην τους χρησιμοποιούν για κάποιο λόγο και αυτοί οι δικτυακοί πόροι να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλες εφαρμογές που έχουν την δυνατότητα να τους χρησιμοποιήσουν. Τέλος, οι μηχανισμοί προσαρμογής της μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων έχουν σαν βασικότερο μειονέκτημα ότι εξαρτώνται από την καλή συμπεριφορά της εφαρμογής του τελικού χρήστη.

3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε και στα παραπάνω κεφάλαια, το Διαδίκτυο δεν παρέχει κάποιο εγγενή μηχανισμό που να καθορίζει τον τρόπο μετάδοσης δεδομένων από τους τελικούς χρήστες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ανάρμοστη συμπεριφορά ενός και μόνου τελικού χρήστη ο οποίος μεταδίδει δεδομένα με ρυθμό μετάδοσης μεγαλύτερο από το διαθέσιμο εύρος ζώνης μπορεί να οδηγήσει σε μη δίκαιο διαμοιρασμό των διαθέσιμων πόρων ανάμεσα στους χρήστες του δικτύου. Ακόμη χειρότερα μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα στο δίκτυο όπως το φαινόμενο της «κατάρρευσης λόγω συμφόρησης» (congestion collapse) όπου ενώ υπάρχει υψηλή κίνηση στο δίκτυο το ποσοστό της «ωφέλιμης» κίνησης είναι μικρό και το μεγαλύτερο μέρος της κίνησης οφείλεται στην επαναμετάδοση πακέτων που είτε έχουν παραδοθεί στον παραλήπτη (αλλά ο αποστολέας δεν έχει λάβει ακόμη την επιβεβαίωση από τον παραλήπτη) και βρίσκονται στο δίκτυο ακόμη.

Προκειμένου να μη παρουσιάζονται τα παραπάνω ανεπιθύμητα φαινόμενα οι εφαρμογές πολυμέσων θα πρέπει να υλοποιούν κάποιο μηχανισμό ελέγχου ροής και συμφόρησης στο επίπεδο της εφαρμογής ώστε να ελέγχουν την UDP κίνηση την οποία μεταδίδουν.

3.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ

Κατά τον σχεδιασμό μια εφαρμογής πολυμέσων με δυνατότητα προσαρμογής, τέσσερα είναι τα βασικά σημεία που πρέπει να επικεντρώσει κανείς την προσοχή του:

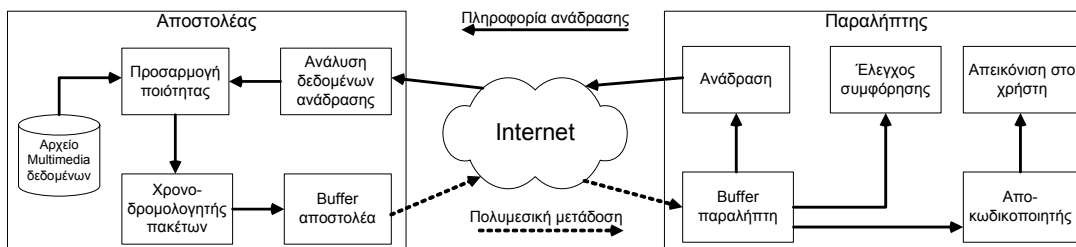
- Στον μηχανισμό μετάδοσης των δεδομένων: Ο μηχανισμός μετάδοσης των δεδομένων σχετίζεται με την μέθοδο η οποία χρησιμοποιείται για την μεταφορά των πολυμεσικών δεδομένων πάνω από το δίκτυο καθώς και με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που έχει αυτή η μέθοδος.
- Στον μηχανισμό παροχής ανάδρασης σχετικά με την κατάσταση του δικτύου: Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιεί διάφορες μεθόδους για να εξακριβώσει την κατάσταση του δικτύου και στην συνέχεια ενημερώνει τον αποστολέα των δεδομένων ώστε να προσαρμόσει την μετάδοση δεδομένων ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου.
- Στον μηχανισμό ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσαρμοστεί η μετάδοση των πολυμεσικών δεδομένων στις εκάστοτε συνθήκες του δικτύου: Ο μηχανισμός αυτός είναι υπεύθυνος να προσαρμόζει την μετάδοση των πολυμεσικών δεδομένων (πρακτικά αυξάνοντας ή μειώνοντας των ρυθμό δεδομένων που εξάγει ο κωδικοποιητής) ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου.
- Στο μηχανισμό ο οποίος είναι υπεύθυνος για την διαχείριση των λαθών στην μετάδοση των πακέτων.

Οι εφαρμογές μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων έχουν κάποια ανοχή στις απώλειες πακέτων γιατί υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης της πολυμεσικής πληροφορίας ακόμη και αν έχει χαθεί ένα μέρος της αρχικής πληροφορίας (κάτι τέτοιο βέβαια έχει επιπτώσεις στην ποιότητα που παραγόμενου αποτελέσματος). Επίσης, στις περισσότερες εφαρμογές μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων, η καθυστερημένη άφιξη ενός πακέτου (πιθανόν λόγω επαναμετάδοσης του μετά από μια αποτυχημένη μετάδοση) μπορεί να περιέχει πληροφορία η οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλέον. Παρόλα αυτά αντικείμενο ορισμένων ερευνητικών εργασιών, σχετικές με μεταδόσεις πολυμέσων με δυνατότητα προσαρμογής, αποτέλεσε το πρόβλημα της διαχείρισης λαθών και η βασική προσέγγιση η οποία ακολουθείται για την αντιμετώπιση του είναι η επιλεκτική επαναμετάδοση ορισμένων πακέτων.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται μια γενική αρχιτεκτονική μιας εφαρμογής πραγματικού χρόνου η οποία χρησιμοποιείται για την μετάδοση πολυμέσων. Συνήθως οι εφαρμογές αυτές ακολουθούν το μοντέλο αρχιτεκτονικής πελάτη – εξυπηρετητή, σύμφωνα με το οποίο υπάρχει σε κάποιο σημείο του δικτύου ένας αποστολέας – εξυπηρετητής ο οποίος παρέχει τις υπηρεσίες του σε μια σειρά από πελάτες – παραλήπτες. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3 ο αποστολέας μιας εφαρμογής πραγματικού χρόνου για την μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

- Αποθήκευση πολυμέσων (multimedia archive): Στη αποθήκευση πολυμέσων, όπου συνήθως γίνεται σε μια συστοιχία σκληρών δίσκων, βρίσκονται αποθηκευμένα τα προς μετάδοση πολυμέσα (συνήθως αρχεία βίντεο), τα οποία είναι σε κωδικοποιημένη μορφή (για παράδειγμα MPEG, JPEG, κλπ). Υπάρχει περίπτωση ένα αρχείο πολυμέσων να αποθηκεύεται στην αποθήκευση πολυμέσων σε περισσότερες από μια κωδικοποιήσεις ώστε να εξυπηρετούνται ομάδες παραληπτών με διαφορετικές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχει ένα βίντεο αποθηκευμένο τόσο σε JPEG μορφή για την εξυπηρέτηση των χρηστών του τοπικού μας δικτύου (οι οποίοι έχουν γρήγορη δικτυακή σύνδεση με τον αποστολέα) όσο και σε H.263 μορφή για την εξυπηρέτηση απομακρυσμένων χρηστών με όχι και τόσο καλή δικτυακή σύνδεση.
- Ανάλυση πληροφοριών ανάδρασης – Έλεγχος συμφόρησης (feedback analysis): Αυτό το τμήμα της εφαρμογής είναι υπεύθυνο για την ανάλυση των πληροφοριών ανάδρασης από το δίκτυο και τους παραλήπτες και την εξαγωγή συμπερασμάτων για την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Ο μηχανισμός ανάλυσης πληροφοριών ανάδρασης μετά την εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατάσταση του δικτύου ενημερώνει τον μηχανισμό προσαρμογής της ποιότητας των πολυμέσων ώστε αυτός να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες με στόχο τα μεταδιδόμενα πολυμέσα να προσαρμοστούν στην τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Ο αποστολέας χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες ανάδρασης προσαρμόζει τον ρυθμό μετάδοσης των πολυμέσων. Οι μηχανισμοί ανάλυσης πληροφοριών ανάδρασης αναλύονται στην παράγραφο 3.5.
- Προσαρμογή της ποιότητας των πολυμέσων (quality adaptation): Ο μηχανισμός αυτός είναι υπεύθυνος για την προσαρμογή των προς μετάδοση πολυμέσων στο κατάλληλο επίπεδο ποιότητας για τις τρέχουσες συνθήκες του δικτύου. Ο μηχανισμός αυτός στηρίζεται σε τεχνικές προσαρμογής της ποιότητας των πολυμέσων οι οποίες αναλύονται στην παράγραφο 3.3.
- Μετάδοση πακέτων / μνήμη προσωρινής αποθήκευσης (packet scheduler / sender buffer): Ο μηχανισμός αυτός είναι υπεύθυνος για την ενθυλάκωση (encapsulation) των πολυμέσων συνήθως σε RTP πακέτα και την δρομολόγηση της μετάδοσης τους

στο δίκτυο. Η ύπαρξη μνήμης προσωρινής αποθήκευσης κρίνεται απαραίτητη για την εξομάλυνση των τυχόν ανωμαλιών του ρυθμού μετάδοσης πακέτων από τον αποστολέα στο δίκτυο.



Σχήμα 3: Γενική αρχιτεκτονική εφαρμογής πραγματικού χρόνου για την μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3 ο παραλήπτης μιας εφαρμογής πραγματικού χρόνου για την μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

- **Μνήμη προσωρινής αποθήκευσης:** Η ύπαρξη μνήμης προσωρινής αποθήκευσης στην πλευρά του παραλήπτη κατά την μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων έχει εξαιρετική σημασία. Ο παραλήπτης πριν αρχίσει να παρουσιάζει δεδομένα στον χρήστη αποθηκεύει τα εισερχόμενα δεδομένα από το δίκτυο στην μνήμη προσωρινής αποθήκευσης. Η παρουσίαση δεδομένων στον χρήστη αρχίζει αφού έχει αποθηκευτεί ικανοποιητικός αριθμός δεδομένων ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα όπως η εφαρμογή να μην έχει εγκαίρως όλα τα απαραίτητα προς παρουσίαση δεδομένα και να διακόπτεται η παρουσίαση των πολυμέσων στον τελικό χρήστη. Το μέγεθος της μνήμης προσωρινής αποθήκευσης σχετίζεται άμεσα με την διακύμανση της καθυστέρησης που παρουσιάζει η μετάδοση των πολυμέσων. Σε κάθε περίπτωση, το μέγεθος της μνήμης προσωρινής αποθήκευσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την διακύμανση καθυστέρησης (έστω ότι τόσο το μέγεθος της μνήμης προσωρινής αποθήκευσης όσο και το μέγεθος της διακύμανσης καθυστέρησης μετρώνται στην ίδια μονάδα π.χ. ms), ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα διακοπής της μετάδοσης των πολυμέσων.
- **Παροχή πληροφοριών ανάδρασης:** Ο μηχανισμός παροχής πληροφοριών ανάδρασης είναι υπεύθυνος για την καταγραφή της ποιότητας των μεταδιδόμενων πολυμέσων και την παροχή πληροφοριών ανάδρασης στον αποστολέα. Η παροχή πληροφοριών ανάδρασης συνήθως στηρίζεται στην μετάδοση RTCP αναφορών παραλήπτη.
- **Έλεγχος συμφόρησης (congestion control):** Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται για την επιλογή των κατάλληλων ροών δεδομένων τις οποίες μπορεί να λαμβάνει ο αποστολέας με δεδομένες τις τρέχουσες δικτυακές συνθήκες. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται είτε σε υβριδικούς μηχανισμούς ελέγχου ροής και συμφόρησης είτε σε μηχανισμούς ελέγχου ροής και συμφόρησης οι οποίοι εκτελούνται στον παραλήπτη.
- **Αποκωδικοποιητής:** Ο αποκωδικοποιητής διαβάζει πακέτα δεδομένων από την μνήμη προσωρινής αποθήκευσης του αποστολέα, τα αποκωδικοποιεί και τα μετατρέπει στην κατάλληλη μορφή για παρουσίαση στον χρήστη (π.χ. μετατροπή από βίντεο με MPEG κωδικοποίηση σε RGB βίντεο). Ανάλογα με τα προβλήματα που υπάρχουν κατά την μετάδοση των πολυμέσων η ποιότητα των πολυμέσων που παράγει ο αποκωδικοποιητής μπορεί να είναι χαμηλή, ενώ υπάρχει και το ενδεχόμενο να διακοπεί η αναπαραγωγή των πολυμέσων εάν στην μνήμη

προσωρινής αποθήκευσης του παραλήπτη δεν υπάρχει ο κατάλληλος αριθμός πακέτων.

- Μονάδα Απεικόνισης (user display) στην οποία παρουσιάζονται τα μεταδιδόμενα πολυμέσα.

Η παραπάνω αρχιτεκτονική είναι αρκετά γενική και κάποιες συγκεκριμένες υλοποιήσεις μπορεί να μην παρέχουν όλους τους παραπάνω μηχανισμούς ή αντίθετα να περιέχουν επιπλέον εξειδικευμένους μηχανισμούς.

3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Κατά την υλοποίηση εφαρμογών για την προσαρμογή και μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων πάνω από δίκτυα η προσαρμογή γίνεται κυρίως στη ροή δεδομένων του βίντεο για τους παρακάτω λόγους:

- Η ροή δεδομένων του βίντεο απαιτεί σημαντικά περισσότερο εύρος ζώνης για την μετάδοση της από ότι η ροή δεδομένων του ήχου. Για παράδειγμα το εύρος ζώνης που απαιτείται για την μετάδοση βίντεο κυμαίνεται από 100 kbps έως 30 Mbps, ενώ το εύρος ζώνης που απαιτείται για την μετάδοση ήχου κυμαίνεται από 8 kbps έως 128 kbps.
- Οι άνθρωποι είναι περισσότερο ευαίσθητοι στην μείωση της ποιότητας του ήχου από ότι στην μείωση της ποιότητας του βίντεο.

Κατά συνέπεια όταν το δίκτυο πλησιάζει σε κατάσταση συμφόρησης ένας μηχανισμός με δυνατότητα προσαρμογής θα προσαρμόζει κυρίως την ροή δεδομένων του βίντεο.

Οι μηχανισμοί που περιγράφονται στην συνέχεια είναι μηχανισμοί οι οποίοι εφαρμόζονται στο επίπεδο της εφαρμογής. Οι μηχανισμοί με δυνατότητα προσαρμογής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες, σε ενεργητικούς (reactive) και παθητικούς (passive) ανάλογα με την προσέγγιση τους στη μέθοδο προσαρμογής των δεδομένων. Οι ενεργητικοί μηχανισμοί έχουν στόχο να προσαρμόσουν την κίνηση της εφαρμογής πολυμέσων στις αλλαγές του δικτύου. Οι παθητικοί μηχανισμοί στόχο έχουν να βελτιστοποιήσουν την χρήση των δικτυακών πόρων. Στην συνέχεια παρουσιάζεται μια σειρά από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την προσαρμογή των πολυμεσικών δεδομένων.

3.3.1 Κωδικοποίηση σε Στρώματα

Σύμφωνα με αυτόν την τεχνική, η οποία είναι μια παθητική τεχνική, η πληροφορία των πολυμέσων κωδικοποιείται σε μια σειρά από στρώματα (layers). Το βασικό στρώμα περιέχει την σημαντική πληροφορία των πολυμέσων και κρίσιμες πληροφορίες χρονισμού. Τα ανώτερα στρώματα κωδικοποίησης των πολυμέσων βελτιώνουν την ποιότητα των πολυμέσων προοδευτικά, δηλαδή ο παραλήπτης λαμβάνει μια ικανοποιητική ποιότητα από το βασικό στρώμα, ενώ η ποιότητα βελτιώνεται με την χρήση των ανώτερων στρωμάτων. Ένας πιο εξελιγμένος μηχανισμός ο οποίος όμως απαιτεί υποστήριξη από τον ενεργό εξοπλισμό (δρομολογητές) του δικτύου είναι ο παρακάτω: Ο κωδικοποιητής προσδιορίζει προτεραιότητες για κάθε κωδικοποιημένο στρώμα και θέτει στο βασικό στρώμα την μέγιστη προτεραιότητα. Όταν τα πολυμέσα μεταδίδονται στο δίκτυο, σε περίπτωση συμφόρησης απορρίπτεται η πληροφορία με

την χαμηλότερη προτεραιότητα, δηλαδή τα ανώτερα στρώματα των κωδικοποιημένων πολυμέσων.

Μια παραλλαγή αυτού του μηχανισμού η οποία λειτουργεί ως ενεργητικός μηχανισμός είναι η παρακάτω: Ο αποστολέας προσθέτει ή αφαιρεί στρώματα στα πολυμέσα που μεταδίδει ανάλογα με τις πληροφορίες ανάδρασης που λαμβάνει από τους παραλήπτες (για παράδειγμα με την χρήση RTCP αναφορών παραλήπτη).

3.3.2 Αλλαγή των Παραμέτρων του Κωδικοποιητή (Rate Shaping)

Οι τεχνικές αλλαγής των παραμέτρων του κωδικοποιητή είναι ενεργητικές τεχνικές που προσπαθούν να προσαρμόσουν την κίνηση που παράγεται από τον κωδικοποιητή των πολυμέσων ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Μηχανισμοί παροχής ανάδρασης από τους παραλήπτες χρησιμοποιούνται για να διαπιστωθούν οι αλλαγές στην κατάσταση του δικτύου και ο κωδικοποιητής προσαρμόζεται ανάλογα. Για την υλοποίηση αυτών των τεχνικών μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου ένας ή περισσότεροι από τους παρακάτω παράγοντες:

- Ρυθμός μετάδοσης πλαισίων (frame rate): Ο ρυθμός μετάδοσης πλαισίων είναι ο ρυθμός με τον οποίο τα πλαίσια του βίντεο κωδικοποιούνται από τον κωδικοποιητή. Μειώνοντας τον ρυθμό πλαισίων μπορούμε να μειώσουμε τα δεδομένα που εξάγει ο κωδικοποιητής αλλά από την άλλη πλευρά μειώνεται η ποιότητα του βίντεο.
- Κβαντιστής (Quantizer): Ο κβαντιστής προσδιορίζει τον αριθμό των DCT συντελεστών (coefficients) τα οποία μπορούν να κωδικοποιηθούν. Αυξάνοντας το βήμα του κβαντιστή, μειώνεται ο αριθμός των κωδικοποιημένων συντελεστών άρα μειώνεται η ποιότητα της εικόνας.
- Όριο Ανίχνευσης Κίνησης (Movement detection threshold): Στην περίπτωση inter-frame (ανάμεσα στα πλαίσια) κωδικοποίησης, η μέθοδος DCT εφαρμόζεται στις διαφορές των σημάτων. Το όριο ανίχνευσης κίνησης περιορίζει τον αριθμό των πλαισίων (blocks) τα οποία εντοπίζονται να είναι «σημαντικά διαφοροποιημένα» από τα προηγούμενα πλαίσια. Αυξάνοντας αυτό το όριο μειώνονται τα δεδομένα που παράγει ο κωδικοποιητής. Και σε αυτή την περίπτωση μειώνεται η ποιότητα του βίντεο.

Οι τεχνικές αλλαγής των παραμέτρων του κωδικοποιητή χρησιμοποιούν τις ίδιες μεθόδους αλλά διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται ο περιορισμός του ρυθμού μετάδοσης. Για παράδειγμα, υπάρχουν τέτοιες τεχνικές οι οποίες βασίζονται στην απόρριψη ακόμη και ολόκληρων πλαισίων. Οι τεχνικές αυτές είναι άμεσα συνδεδεμένες με την κωδικοποίηση των πολυμέσων η οποία χρησιμοποιείται.

3.3.3 Έλεγχος Λαθών (Error Control)

Ο ρυθμός λαθών αποτελεί ένα μεταβλητό παράγοντα για διάφορους λόγους (π.χ. συμφόρηση, παρεμβολές σε ένα ασύρματο δίκτυο) και οι εφαρμογές πολυμέσων πρέπει να προσαρμόζονται στις αλλαγές του ρυθμού απωλειών και λαθών. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για να μετριάσει κανείς τις συνέπειες των απωλειών και των λαθών, η ARQ (Automatic Repeat Request – Αυτόματη Αίτηση Επανάληψης) και η FEC (Forward Error Correction - Προληπτική Διόρθωση Λαθών). Η ARQ τεχνική είναι ένας ενεργητικός μηχανισμός συμφωνά με τον οποίο οι παραλήπτες ζητούν από τον

αποστολέα να ξαναμεταδώσει τα χαμένα πακέτα. Η FEC τεχνική είναι μια παθητική τεχνική, σύμφωνα με την οποία ο αποστολέας μεταδίδει πλεονάζουσα πληροφορία, την οποία χρησιμοποιεί ο παραλήπτης για να διορθώσει τα τυχόν λάθη.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται τεχνικές FEC, υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού χαρακτηριστικών προσαρμογής των πολυμέσων σε μια εφαρμογή μεταβάλλοντας την πλεονάζουσα πληροφορία η οποία μεταδίδεται. Σε ορισμένες περιπτώσεις το πλεονάζον φορτίο (overhead) του FEC είναι σημαντικό (σε ορισμένες δορυφορικές μεταδόσεις δεδομένων μπορεί να φτάσει και το 50% του διαθέσιμου εύρους ζώνης) οπότε έχει έννοια η παραπάνω τεχνική.

3.4 ΛΗΨΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Η ποιότητα αναπαραγωγής των πολυμέσων τα οποία μεταδίδει μια εφαρμογή πραγματικού χρόνου εξαρτάται από την απώλεια πακέτων και τη διακύμανση καθυστέρησης. Επίσης όταν παρουσιάζονται τα παραπάνω φαινόμενα τότε αποτελούν ένδειξη πως υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την μετάδοση των δεδομένων και αντιστοίχως πρέπει να ληφθούν μέτρα από την εφαρμογή ώστε να προσαρμόσει τα δεδομένα που μεταδίδει ώστε αυτά τα φαινόμενα να περιοριστούν. Θα πρέπει να τονιστεί ότι τόσο στην απώλεια πακέτων όσο και στην διακύμανση καθυστέρησης οι εφαρμογές έχουν κάποιο άνω όριο πέρα του οποίου η μετάδοση των πολυμεσικών δεδομένων δεν είναι εφικτή.

3.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ανάλογα με τον αριθμό των παραληπτών των πολυμεσικών δεδομένων η μετάδοση των πολυμεσικών δεδομένων μπορεί να διαχωριστεί στους παρακάτω τρόπους:

- **Unicast:** Σε αυτή την περίπτωση η επικοινωνία λαμβάνει χώρα από ένα σημείο (αποστολέας) προς ένα σημείο (παραλήπτης). Σε αυτή την περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανισμοί ελέγχου ροής και συμφόρησης για την μετάδοση της πολυμεσικής πληροφορίας οι οποίοι μοιάζουν με το TCP και ο παραλήπτης να μεταδίδει συχνά πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα της μετάδοσης στον αποστολέα και ο αποστολέας να προσαρμόζει αντίστοιχα την μετάδοση των πολυμεσικών δεδομένων.
- **Multicast:** Σε αυτή την περίπτωση η επικοινωνία λαμβάνει χώρα από ένα σημείο (αποστολέας) προς πολλά σημεία (παραλήπτες). Σε αυτή την περίπτωση δεν είναι (ειδικά όταν ο αριθμός των παραληπτών είναι μεγάλος) δυνατόν όλοι οι παραλήπτες να μεταδίδουν στον αποστολέα πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα της μετάδοσης γιατί η μετάδοση αυτών των πληροφοριών θα οδηγήσει σε συμφόρηση της σύνδεσης του αποστολέα. Επομένως κατά την multicast μετάδοση πολυμέσων θα πρέπει ο μηχανισμός ελέγχου συμφόρησης, ο οποίος χρησιμοποιείται, να χαρακτηρίζεται από δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability).

Οι μηχανισμοί μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων πάνω από το Διαδίκτυο μπορούν να χωριστούν ανάλογα με το που εκτελείται ο μηχανισμός, σε:

- **Μηχανισμούς οι οποίοι εκτελούνται στον αποστολέα:** Σε αυτούς τους μηχανισμούς ο αποστολέας υλοποιεί τον μηχανισμό ελέγχου ροής και συμφόρησης και προσαρμόζει τον ρυθμό μετάδοσης των πολυμέσων βασισμένος στις πληροφορίες

ανάδρασης τις οποίες λαμβάνει από τους παραλήπτες. Στην περίπτωση της multicast μετάδοσης δεδομένων πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή του φαινομένου της «πλημμύρας πληροφοριών ανάδρασης» (feedback implosion) στον αποστολέα των πολυμέσων. Για την αποφυγή τους προβλήματος αυτού έχουν προταθεί διάφορες εναλλακτικές τεχνικές οι οποίες στόχο έχουν να μειώσουν το μέγεθος των πληροφοριών ανάδρασης τις οποίες λαμβάνει ο αποστολέας λαμβάνοντας ένα αντιπροσωπευτικό υποσύνολο:

- Προσαρμοσμένος ρυθμός αποστολής πληροφοριών ανάδρασης: Σύμφωνα με αυτή την τεχνική οι παραλήπτες μειώνουν τον ρυθμό με τον οποίο αποστέλλουν πληροφορίες ανάδρασης στον αποστολέα όσο αυξάνεται ο αριθμός των παραληπτών ώστε ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης πληροφοριών ανάδρασης στον αποστολέα να μην αυξάνεται υπερβολικά. Το παραπάνω σκεπτικό χρησιμοποιείται στον μηχανισμό παροχής πληροφοριών ανάδρασης του RTCP.
 - Καταστολή αποστολής πληροφοριών ανάδρασης (suppression): Σύμφωνα με αυτή την τεχνική, οι παραλήπτες καθυστερούν για κάποια μελλοντική στιγμή την μετάδοση των πληροφοριών ανάδρασης που έχουν συλλέξει όταν αντιληφθούν ότι κάποιος άλλος παραλήπτης έχει μεταδώσει ήδη παρόμοιες πληροφορίες ανάδρασης με τις δικές τους. Με αυτό την μέθοδο μειώνεται ο αριθμός των παρόμοιων πληροφοριών ανάδρασης που λαμβάνει ο αποστολέας. Η τεχνική αυτή με την επιλογή κατάλληλων παραμέτρων μπορεί να παράγει εντυπωσιακά αποτελέσματα όσο αφορά την πρόληψη της «πλημμύρας πληροφοριών ανάδρασης».
 - Επιλογή αντιπροσώπου (representative): Σύμφωνα με αυτή την τεχνική ο αποστολέας επιλέγει ένα από τους παραλήπτες ως αντιπροσωπευτικό και λαμβάνει πληροφορίες ανάδρασης μόνο από αυτόν για να καθορίζει την προσαρμογή της μετάδοσης των πολυμεσικών δεδομένων. Στην τεχνική αυτή η επιλογή του αντιπροσωπευτικού παραλήπτη είναι η πιο δύσκολη και κρίσιμη απόφαση για την λειτουργία της τεχνικής.
 - Λήψη πληροφοριών ανάδρασης οδηγούμενη από τον αποστολέα (polling): Σύμφωνα με αυτή την τεχνική ο αποστολέας είναι αυτός ο οποίος ζητά πληροφορίες ανάδρασης από τους παραλήπτες με αποτέλεσμα να μπορεί να καθορίσει το μέγεθος των πληροφοριών ανάδρασης τις οποίες λαμβάνει. Στην τεχνική αυτή όμοια η επιλογή του αλγορίθμου επιλογής των παραληπτών προς συλλογή πληροφοριών ανάδρασης είναι η πιο δύσκολη και κρίσιμη απόφαση για την λειτουργία της τεχνικής.
- Μηχανισμούς οι οποίοι εκτελούνται στον παραλήπτη: Σε αυτούς τους μηχανισμούς (οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην multicast μετάδοση δεδομένων) ο αποστολέας μεταδίδει τα πολυμεσικά δεδομένα με κάποιο σταθερό ρυθμό μετάδοσης χρησιμοποιώντας κάποια τεχνική simulcast ή κωδικοποίησης σε στρώματα. Η προσαρμογή των δεδομένων γίνεται στην πλευρά των παραληπτών με το να αποφασίζουν οι παραλήπτες τον αριθμό των ροών δεδομένων τις οποίες λαμβάνουν (με το να εγγράφονται / διαγράφονται σε multicast συνόδους) και κατά συνέπεια το εύρος ζώνης το οποίο καταναλώνουν. Οι τεχνικές αυτές είναι ιδιαίτερα ελκυστικές για την μετάδοση πολυμέσων σε μεγάλο αριθμό παραληπτών λόγω του ότι κατανέμουν τον μηχανισμό ελέγχου ροής και συμφόρησης στους παραλήπτες. Το γεγονός ότι η αύξηση / μείωση του ρυθμού μετάδοσης που λαμβάνει κάθε παραλήπτης γίνεται με εγγραφή / διαγραφή σε multicast συνόδους οδηγεί σε σχετικά μεγάλες καθυστερήσεις από την στιγμή που ένας παραλήπτης αποφασίσει να

αυξήσει / μειώσει τον ρυθμό μετάδοσης που λαμβάνει μέχρι αυτή να υλοποιηθεί λόγω των καθυστερήσεων του IGMP πρωτοκόλλου στην μετάδοση των σχετικών μηνυμάτων στο δρομολογητή ο οποίος προωθεί την multicast κίνηση. Επιπλέον, μειονέκτημα αυτών των μηχανισμών είναι το γεγονός ότι η προσαρμογή των πολυμέσων στους παραλήπτες γίνεται σε σχετικά μεγάλα βήματα λόγω του ότι η προσαρμογή των πολυμέσων λαμβάνει χώρα με την λήψη ή απόρριψη μιας επιπλέον ροής δεδομένων. Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να εξαλειφθεί με την χρήση των υβριδικών μηχανισμών που παρουσιάζονται στην συνέχεια.

- Υβριδικούς μηχανισμούς (εκτελούνται τόσο στον αποστολέα όσο και στον παραλήπτη): Οι μηχανισμοί αυτοί αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω μηχανισμών και ο αλγόριθμος ελέγχου ροής και συμφόρησης εκτελείται κατανομημένα τόσο στον αποστολέα όσο και στον παραλήπτη. Στόχος αυτών των τεχνικών είναι να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα και να εξαλείψουν τα μειονεκτήματα τόσο των μηχανισμών οι οποίοι εκτελούνται στον αποστολέα όσο και των μηχανισμών οι οποίοι εκτελούνται στον παραλήπτη. Οι μηχανισμοί αυτοί λειτουργούν συνήθως ως εξής: Ο αποστολέας μεταδίδει τα πολυμεσικά δεδομένα χρησιμοποιώντας κάποια τεχνική simulcast ή κωδικοποίησης σε στρώματα. Οι παραλήπτες αποφασίζουν τον αριθμό των ροών δεδομένων τις οποίες λαμβάνουν (με το να εγγράφονται / διαγράφονται σε multicast συνόδους) και κατά συνέπεια το εύρος ζώνης το οποίο καταναλώνουν. Ταυτόχρονα, οι παραλήπτες μεταδίδουν πληροφορίες ανάδρασης στον αποστολέα (συνήθως χρησιμοποιώντας και ένα μηχανισμό αποφυγής της «πλημμυράς πληροφοριών ανάδρασης»). Ο αποστολέας χρησιμοποιώντας την πληροφορία ανάδρασης προσαρμόζει τον ρυθμό μετάδοσης κάθε ροής δεδομένων την οποία μεταδίδει ώστε να καλύπτει καλύτερα τις ανάγκες των παραληπτών. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει δυνατότητα κλιμάκωσης (λόγω του ότι ο μηχανισμός εκτελείται κατανομημένα) και η προσαρμογή των πολυμέσων μπορεί να γίνει ομαλά και όχι σε μεγάλα βήματα.

Οι μηχανισμοί μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων πάνω από το Διαδίκτυο μπορούν επίσης να χωριστούν σε:

- Μηχανισμούς από άκρο σε άκρο: Σε αυτή την περίπτωση ο μηχανισμός υλοποιείται μόνο στα τελικά συστήματα και δεν παρέχεται κάποια υποστήριξη από το δίκτυο.
- Μηχανισμούς υποστηριζόμενους από το Δίκτυο: Σε αυτή την περίπτωση στην υλοποίηση του μηχανισμού ελέγχου συμφόρησης συμμετέχουν και τα ενεργά στοιχεία του δικτύου (δρομολογητές κλπ.) συνήθως με το να συλλέγουν πληροφορίες και να τις αποστέλλουν στα τελικά συστήματα.

3.5.1 Μηχανισμοί για την Unicast και Multicast Μετάδοση Πολυμεσικών Δεδομένων

Το πρόβλημα της unicast μετάδοσης πολυμέσων με δυνατότητα προσαρμογής έχει απασχολήσει τους ερευνητές ανά τον κόσμο εδώ και αρκετά χρόνια και στην παγκόσμια βιβλιογραφία μπορεί να βρει κανείς αξιόλογες προτάσεις για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση μηχανισμών με δυνατότητα προσαρμογής της μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων.

Από την άλλη πλευρά, η multicast μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων πραγματικού χρόνου είναι ένα σημαντικό συστατικό πολλών υπαρχόντων όσο και αναδυόμενων μελλοντικών εφαρμογών του Διαδικτύου, όπως για παράδειγμα η τηλεδιάσκεψη, η

εκπαίδευση από απόσταση και το βίντεο κατά απαίτηση. Το ετερογενές περιβάλλον του Διαδικτύου έχει ως αποτέλεσμα η multicast μετάδοση δεδομένων πραγματικού χρόνου να αποτελεί μια πρόκληση. Οι διαφορετικοί παραλήπτες της ίδιας multicast ροής δεδομένων μπορεί να έχουν διαφορετικές δυνατότητες επεξεργασίας, διαφορετικές ανοχές στην απώλεια δεδομένων και διαφορετικό διαθέσιμο εύρος ζώνης στο δικτυακό μονοπάτι που τους συνδέει με τον αποστολέα της multicast ροής δεδομένων. Οι μηχανισμοί που προτείνονται για τη multicast μετάδοση δεδομένων ευαίσθητων σε χρονικές καθυστερήσεις όπως τα πολυμέσα στο Διαδίκτυο μπορούν γενικά να διαιρεθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τον αριθμό των multicast ροών δεδομένων που χρησιμοποιούνται:

- Ο αποστολέας χρησιμοποιεί μία multicast ροή δεδομένων για όλους τους παραλήπτες. Η μέθοδος αυτή έχει ως αποτέλεσμα την βέλτιστη χρήση των δικτυακών πόρων όμως έχει το μειονέκτημα της μη δίκαιης μεταχείρισης των παραληπτών των δεδομένων πραγματικού χρόνου, ιδιαίτερα στην περίπτωση που οι παραλήπτες έχουν σημαντικά διαφορετικές δυνατότητες. Το θέμα της μετάδοσης πολυμεσικής πληροφορίας πάνω από δίκτυα με την χρήση μιας multicast ροής δεδομένων έχει απασχολήσει ερευνητές σε όλο τον κόσμο. Κατά την μετάδοση πολυμεσικής πληροφορίας πάνω από δίκτυα με την χρήση μιας multicast ροής δεδομένων ο αποστολέας επιλέγει τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ο οποίος ικανοποιεί περισσότερο τους παραλήπτες με τις δεδομένες δικτυακές συνθήκες. Τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις αναφέρονται στην βιβλιογραφία όσο αφορά το πρωτόκολλο το οποίο διαχειρίζεται την μετάδοση της multicast ροής δεδομένων: χρήση αναλυτικών μοντέλων, ανάλυση των πληροφοριών τις οποίες μπορεί να συλλέξει κανείς από το δίκτυο ή ένας συνδυασμό των παραπάνω τεχνικών.
- Simulcast: Η πηγή μεταδίδει την ίδια πολυμεσική πληροφορία σε διαφορετικές ροές δεδομένων κωδικοποιημένες σε διαφορετική ποιότητα. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία ενός μικρού αριθμού multicast ροών δεδομένων με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης, με την κάθε μια υπεύθυνη για μια ομάδα παραληπτών με παρόμοιες δυνατότητες (η μέθοδος αυτή είναι γνωστή στην βιβλιογραφία με τον αγγλικό όρο simulcast). Οι διαφορετικές ροές δεδομένων μεταφέρουν την ίδια πολυμεσική πληροφορία η οποία έχει κωδικοποιηθεί σε διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης, ή ακόμα και σε διαφορετική κωδικοποίηση (για παράδειγμα MPEG, H.263, JPEG). Έτσι, κάθε παραλήπτης λαμβάνει την ροή δεδομένων που μεταφέρει τα πολυμέσα με ποιότητα της οποίας τις ανάγκες σε εύρος ζώνης μπορεί να καλύψει. Το κύριο μειονέκτημα σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι μεταδίδονται ταυτόχρονα στο δίκτυο αντίγραφα της ίδιας πολυμεσικής πληροφορίας.
- Η πηγή χρησιμοποιεί την τεχνική κωδικοποίησης των δεδομένων σε στρώματα σύμφωνα με την οποία τα πολυμέσα μπορούν να ανακατασκευαστούν από έναν αριθμό διακριτών στρωμάτων (ένα βασικό και περισσότερα επιπλέον στρώματα δεδομένων) και κάθε στρώμα μεταδίδεται σε διαφορετική multicast ροή δεδομένων. Οι παραλήπτες λαμβάνουν μία ή περισσότερες multicast ροές δεδομένων ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης στο δικτυακό μονοπάτι που τους συνδέει με τον αποστολέα. Τα πολυμέσα διαιρούνται σε ένα βασικό στρώμα (που όλοι πρέπει να λαμβάνουν) και περισσότερα επιπρόσθετα στρώματα. Το βασικό στρώμα παρέχει το βασικό επίπεδο ποιότητας, ενώ η ποιότητα αυξάνεται με κάθε ένα από τα επιπλέον στρώματα. Η υλοποίηση αυτής της τεχνικής απαιτεί πολύπλοκους κωδικοποιητές / αποκωδικοποιητές και επιπλέον οι παραλήπτες πρέπει να συγχρονίζουν τα διαφορετικά στρώματα προκειμένου να παρουσιάσουν την πολυμεσική πληροφορία στον τελικό χρήστη.

Οι τεχνικές multicast μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων με την χρήση μιας multicast ροής έχουν το μειονέκτημα ότι παραλήπτες με μικρό διαθέσιμο εύρος ζώνης θα λαμβάνουν ροές δεδομένων με μεγάλο ρυθμό μετάδοσης εάν οι περισσότεροι παραλήπτες συνδέονται στο δίκτυο με γραμμές υψηλής χωρητικότητας και το αντίστοιχο ισχύει στην αντίθετη περίπτωση. Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί με την χρήση των τεχνικών οι οποίες χρησιμοποιούν πολλαπλές multicast ροές δεδομένων. Οι τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούν μια multicast ροή δεδομένων έχουν το πλεονέκτημα της απλής υλοποίησης του κωδικοποιητή / αποκωδικοποιητή και της απλής λειτουργία του πρωτοκόλλου που διαχειρίζεται την μετάδοση των δεδομένων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυτές οι τεχνικές δεν απαιτούν κάποιο συγχρονισμό των δράσεων του αποστολέα (κάτι το οποίο είναι απαραίτητο στις τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούν πολλαπλές multicast ροές δεδομένων).

Η τεχνική κωδικοποίησης των δεδομένων σε στρώματα παρέχει την βέλτιστη χρήση των δικτυακών πόρων αλλά πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι κάτω από κάποιες συνθήκες η simulcast τεχνική μπορεί να συμπεριφέρεται καλύτερα από ότι η τεχνική κωδικοποίησης των δεδομένων σε στρώματα.

3.5.2 Κριτήρια Αξιολόγησης των Μηχανισμών

Όταν εφαρμόζεται ένας μηχανισμός ελέγχου ροής και συμφόρησης για μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων πάνω από το Διαδίκτυο έχει σαν σκοπό να αυξήσει την απόδοση του δικτύου σε σχέση με την περίπτωση στην οποία δεν εφαρμόζοταν κάποιος αντίστοιχος μηχανισμός. Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγησή αυτών των μηχανισμών.

3.5.2.1 Κατάσταση Συμφόρησης του Δικτύου

Στόχος των μηχανισμών ελέγχου ροής και συμφόρησης είναι να αυξήσουν την πραγματική χρήση του δικτύου και να μειώσουν τον ρυθμό απώλειας των πακέτων δεδομένων για όλες τις εφαρμογές του δικτύου.

3.5.2.2 Δυνατότητα Κλιμάκωσης

Με την χρήση του multicast μια εφαρμογή έχει την δυνατότητα να μεταδίδει πολυμέσα σε ένα μεγάλο αριθμό παραληπτών. Η απόδοση ενός μηχανισμού ελέγχου ροής και συμφόρησης δεν θα πρέπει να μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών που λαμβάνουν τα πολυμεσικά δεδομένα. Επιπλέον η πολυπλοκότητα και η απόδοση ενός μηχανισμού ελέγχου ροής και συμφόρησης θα πρέπει να είναι αποδεκτή ακόμη και για μεγάλο αριθμό παραληπτών της πολυμεσικής πληροφορίας.

3.5.2.3 Ταχύτητα Προσαρμογής

Με τον όρο ταχύτητα προσαρμογής εννοούμε τον χρόνο που απαιτείται από την έναρξη της μετάδοσης των δεδομένων μέχρι να αποκτήσει ο μηχανισμός ελέγχου ροής και συμφόρησης σταθερή συμπεριφορά. Όσο πιο μικρός είναι αυτός ο χρόνος τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του μηχανισμού.

3.5.2.4 Φιλικότητα προς το TCP

Σήμερα στο Διαδίκτυο το μεγαλύτερο μέρος της κίνησης αποτελείται από TCP κίνηση. Για το λόγο αυτό σημαντικό είναι ο μηχανισμός ελέγχου ροής και συμφόρησης για την μετάδοση πολυμέσων στο Διαδίκτυο να έχει φιλική προς το TCP συμπεριφορά.

Ένας μηχανισμός ελέγχου ροής και συμφόρησης μπορεί να χαρακτηριστεί φιλικός ως προς την TCP κίνηση, όταν δεν κυριαρχεί της TCP κίνησης αλλά επιτρέπει και την μετάδοση TCP κίνησης με ένα ικανοποιητικό ρυθμό μετάδοσης ταυτόχρονα με την μετάδοση των δεδομένων του. Με την αυστηρή έννοια του όρου «φιλική προς το TCP συμπεριφορά» εννοούμε πως ο μηχανισμός ελέγχου ροής και συμφόρησης θα πρέπει να καταναλώνει το ίδιο εύρος ζώνης με μια TCP σύνδεση η οποία μεταδίδεται στο ίδιο δικτυακό μονοπάτι με την πολυμεσική πληροφορία η οποία χρησιμοποιεί τον μηχανισμό ελέγχου ροής και συμφόρησης. Λόγω της διαφορετικής φύσης της πολυμεσικής πληροφορίας και της πληροφορίας η οποία συνήθως μεταδίδεται με το TCP, το ζητούμενο είναι ο μηχανισμός ελέγχου ροής και συμφόρησης να λαμβάνει το ίδιο εύρος ζώνης με την TCP κίνηση κατά μέσο όρο σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα και όχι κάθε δεδομένη χρονική στιγμή.

Επίσης σημαντικό είναι για ένα μηχανισμό ελέγχου ροής και συμφόρησης να έχει φιλική συμπεριφορά προς την UDP κίνηση. Με τον όρο «φιλική συμπεριφορά προς την UDP κίνηση» αναφερόμαστε σε ένα μηχανισμό ο οποίος συνεχίζει να μεταδίδει δεδομένα με ικανοποιητικό ρυθμό μετάδοσης κατά την παρουσία UDP κίνησης η οποία δεν εφαρμόζει κάποιο μηχανισμό αποφυγής συμφόρησης.

3.5.2.5 Ικανοποίηση του Χρήστη

Γενικά η ικανοποίηση του χρήστη είναι δύσκολο να μετρηθεί. Μελέτες που έχουν γίνει στην μετάδοση MPEG βίντεο έχουν δείξει ότι ένας ρυθμός απώλειας των πακέτων ακόμη και κατά 3% μπορεί να οδηγήσει στην μείωση της ποιότητας του βίντεο ως και 30%. Κατά συνέπεια, όσο αφορά την ικανοποίηση του τελικού χρήστη ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο χαμηλός ρυθμός απώλειας των πακέτων δεδομένων.

4 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

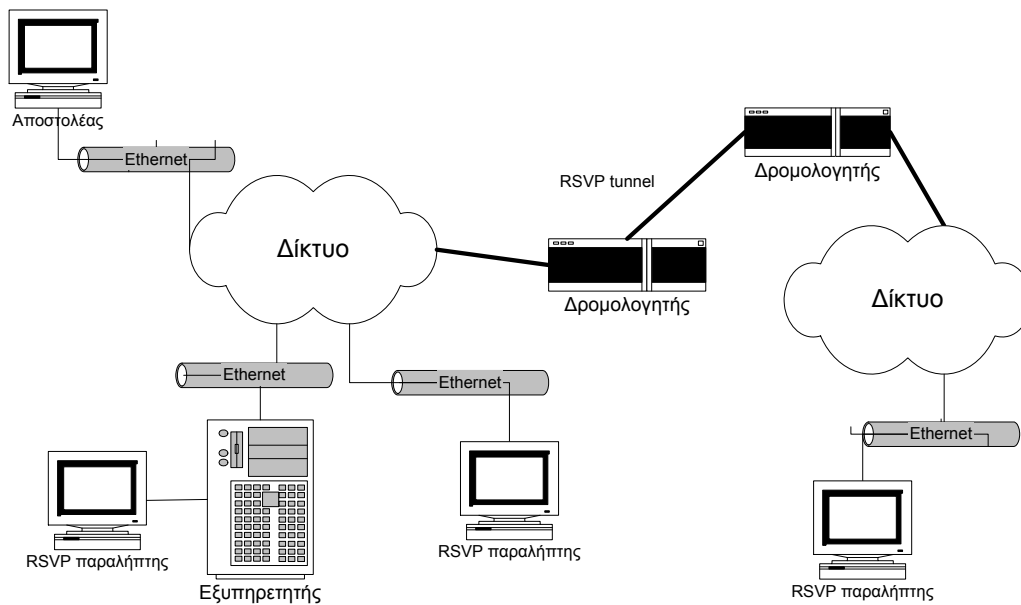
Τα τελευταία χρόνια έχει επικεντρωθεί η προσπάθεια της παροχής ποιότητας υπηρεσίας στο επίπεδο δικτύου με στόχο να εφαρμοστεί στο Διαδίκτυο. Έχουν προταθεί 2 αρχιτεκτονικές, η Integrated Services (IntServ) με χρήση του Resource Reservation Protocol (RSVP) και η Differentiated Services (DiffServ). Η διαφορά μεταξύ τους είναι στον τρόπο που προσεγγίζουν το θέμα καθώς η πρώτη προσπαθεί για κάθε ροή να κάνει την αντίστοιχη δέσμευση πόρων που απαιτείται. Αντίθετα, η DiffServ αρχιτεκτονική ομαδοποιεί σε κλάσεις κίνησης τις ροές και στη συνέχεια προσπαθεί να μεταχειριστεί διαφορετικά κάθε κλάση στις δικτυακές συσκευές. Στην περίπτωση αυτή, οι κλάσεις κίνησης που έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις απολαμβάνουν προνομιακή μεταχείριση από το δίκτυο. Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει αναλυτικά τις 2 αρχιτεκτονικές αναλύοντας τα πρωτόκολλα και τους μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται. Επίσης, περιγράφει υπηρεσίες που έχουν δοκιμαστεί και προτυποποιηθεί και αναμένεται να αποτελέσουν σύντομα υπηρεσίες παραγωγής.

4.2 INTSERV

4.2.1 Δέσμευση Δικτυακών Πόρων

Για την παροχή εγγυήσεων QoS, πρέπει να χρησιμοποιηθούν τεχνικές διαχείρισης πόρων. Χωρίς διαχείριση πόρων σε τελικά συστήματα (αποστολείς και παραλήπτες των δεδομένων), δίκτυα και δικτυακό εξοπλισμό, τα συστήματα πολυμέσων αδυνατούν να παρέχουν αξιόπιστη ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες. Μετάδοση δεδομένων πολυμέσων πάνω σε αδέσμευτους πόρους πολλές φορές οδηγεί σε καθυστερημένα και χαμένα πακέτα λόγω της μη διαθεσιμότητας των απαιτούμενων πόρων. Συνεπώς η διαχείριση πόρων παίζει σημαντικό ρόλο στα συστήματα επικοινωνίας πολυμέσων. Για το λόγο αυτό ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των συστημάτων επικοινωνίας πολυμέσων είναι το πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων στο επίπεδο δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων δεν κάνει καμία δέσμευση απαιτούμενων πόρων το ίδιο, αλλά αποτελεί απλώς ένα μέσο που μεταφέρει πληροφορίες σχετικά με τις απαιτήσεις πόρων και διαπραγματεύεται τις τιμές του QoS που επιθυμούν οι χρήστες για τις εφαρμογές τους από άκρο σε άκρο. Τα πρωτόκολλα δέσμευσης πόρων που βασίζονται σε συναρτήσεις διαχείρισης πόρων σε κάθε υποσύστημα για να επιτύχουν και να προγραμματίσουν προσβάσεις σε κατανεμημένους πόρους κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

Αν και η προσαρμογή των μέσων (adaptive media), η οποία ρυθμίζει την ποσότητα των πολυμεσικών δεδομένων σύμφωνα με τους πόρους του συστήματος που είναι κάθε στιγμή διαθέσιμοι, χρησιμοποιείται σε μερικά συστήματα, κάποια εγγύηση εξακολουθεί να απαιτείται από το σύστημα. Τα μέσα μπορούν να προσαρμοστούν μόνο μέχρι κάποιο ορισμένο βαθμό και όχι κατά βούληση. Τα συστήματα επικοινωνίας πολυμέσων πρέπει να συνδυάζουν τεχνικές διαχείρισης πόρων και προσαρμογής των μέσων για να πετύχουν την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών με μια συγκεκριμένη ποσότητα πόρων.



Σχήμα 4 Δικτυακό σχεδιάγραμμα συστημάτων που χρησιμοποιούν RSVP

4.2.1.1 Εισαγωγή στο πρωτόκολλο RSVP

Το πρωτόκολλο RSVP (Resource ReSerVation Protocol – Πρωτόκολλο Κράτησης Πόρων) αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης προσπάθειας να αξιοποιηθεί η υπάρχουσα υποδομή του Διαδικτύου προσφέροντας υποστήριξη για QoS (Ποιότητα Υπηρεσίας - Quality of Service) στις υπηρεσίες. Το πρωτόκολλο RSVP χρησιμοποιείται από ένα κόμβο-χρήστη προκειμένου να απαιτήσει από το δίκτυο συγκεκριμένη ποιότητα για ροή δεδομένων συγκεκριμένων εφαρμογών. Το RSVP χρησιμοποιείται από δρομολογητές ώστε αυτοί να μεταφέρουν τις συγκεκριμένες QoS απαιτήσεις σε όλους τους κόμβους του μονοπατιού της ροής των δεδομένων αλλά και να εξασφαλίσουν ότι όντως αυτές οι συγκεκριμένες απαιτήσεις πληρούνται.

Το RSVP αποτελεί ένα πρωτόκολλο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για unicast και multicast σηματοδότηση το οποίο σχεδιάστηκε για την εγκατάσταση και την συντήρηση σταθμών πληροφοριών σε κάθε δρομολογητή που βρίσκεται στο μονοπάτι μετάδοσης δεδομένων, κατά την μετάδοση δεδομένων. Το RSVP επιτρέπει στον παραλήπτη να ζητήσει μία ορισμένη από άκρο σε άκρο ποιότητα υπηρεσίας. Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου χρησιμοποιούν το RSVP για να δεσμεύσουν τους απαραίτητους πόρους στους δρομολογητές κατά μήκος του μονοπατιού μετάδοσης, έτσι ώστε να είναι διαθέσιμη το απαιτούμενο εύρος ζώνης όταν λάβει χώρα η μετάδοση των πολυμεσικών δεδομένων. Κατά συνέπεια, το RSVP είναι ένα πρωτόκολλο ελέγχου δικτύου που καθιστά τις Διαδικτυακές εφαρμογές ικανές να αποκτήσουν QoS χαρακτηριστικά. Το RSVP καταλαμβάνει τη θέση ενός πρωτοκόλλου μεταφοράς στο μοντέλο OSI των 7 επιπέδων, παρόλο που το ίδιο το RSVP δεν μεταφέρει τα δεδομένα.

Για τη μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων πάνω από ένα δίκτυο είναι αναγκαίο να ικανοποιούνται τρία βασικά χαρακτηριστικά :

1. Η μεταφορά των δεδομένων να γίνεται με όσο το δυνατό πιο γρήγορο τρόπο.
2. Να παρέχεται δυνατότητα multicast.

3. Να υπάρχει δυνατότητα για εξασφάλιση στην μεταφορά των δεδομένων με βάση τις απαιτήσεις που έχει ορίσει εκ των προτέρων ο χρήστης.

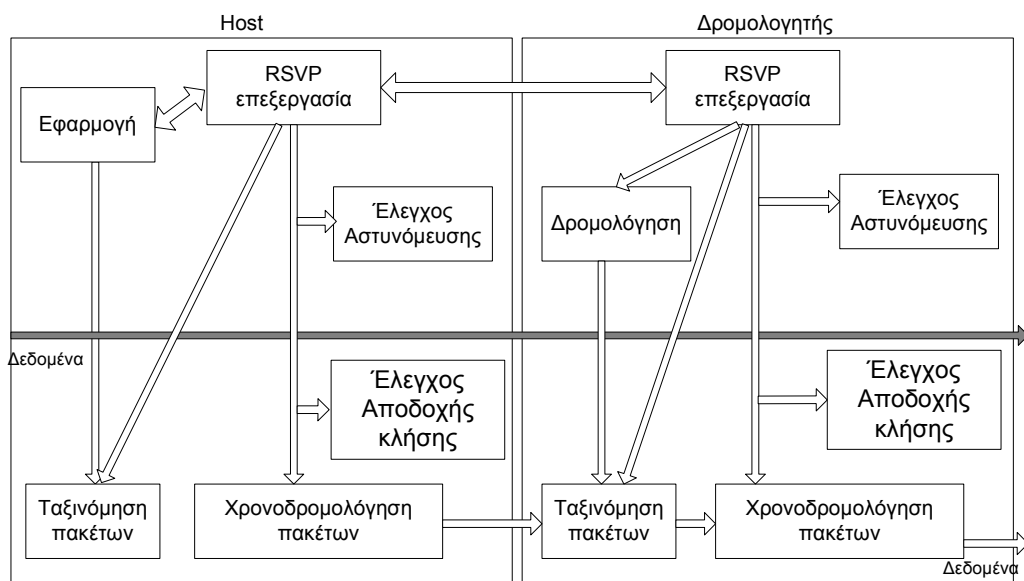
Τα δεδομένα πολυμέσων είναι μεγάλα σε όγκο και επομένως αποδοτικοί μηχανισμοί αποστολής τέτοιων δεδομένων πρέπει να παρέχονται. Το RSVP δείχνει περισσότερο ενδιαφέρον στη διατήρηση των παρεχόμενων πόρων και δεν μπορεί να επέμβει στη δρομολόγηση των δεδομένων που έχουν αποσταλεί.

Η πρώτη έκδοση του RSVP καθορίζεται από το RFC 2205. Το RSVP προέκυψε από τη συνεργασία μίας ομάδας ερευνητικών κέντρων: Xerox, Palo Alto Research Center (PARK), MIT, και του Information Sciences Institute of University California (ISI).

4.2.1.2 Αρχιτεκτονική του RSVP

Η παροχή του QoS στο RSVP, υλοποιείται για μια συγκεκριμένη ροή δεδομένων με μηχανισμούς ελέγχου κυκλοφορίας. Αυτοί οι μηχανισμοί περιλαμβάνουν τους παρακάτω μηχανισμούς:

- Έλεγχος αποδοχής: Ο μηχανισμός ελέγχου αποδοχής αποφασίζει αν ο κόμβος μπορεί να ικανοποιήσει το απαιτούμενο QoS.
- Έλεγχος πολιτικής: Ο μηχανισμός ελέγχου πολιτικής αποφασίζει αν ο χρήστης έχει την άδεια (π.χ. αν είναι διαχειριστής του δικτύου) να κάνει την δέσμευση.
- Χρονοδρομολογητής πακέτων: Ο χρονοδρομολογητής πακέτων καθορίζει τη κλάση του QoS, και πιθανόν τη δρομολόγηση, για κάθε πακέτο. Ο χρονοδρομολογητής πακέτων είναι αυτός που επιτυγχάνει το επιθυμητό επίπεδο QoS.
- Ταξινομητής πακέτων: Ο ταξινομητής πακέτων καθορίζει την κλάση QoS για κάθε πακέτο.



Σχήμα 5 Σχηματική αναπαράσταση αρχιτεκτονικής του RSVP

Οι μηχανισμοί του RSVP πρωτοκόλλου παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας και συντήρησης κατανεμημένης δέσμευσης κατά μήκος ενός μεγάλου αριθμού multicast και unicast μονοπατιών. Το RSVP μεταφέρει και χειρίζεται τις παραμέτρους του QoS και του ελέγχου πολιτικής σαν απλά δεδομένα μεταφέροντας τα στις αντίστοιχες

ρουτίνες του μηχανισμού για επεξεργασία. Καθώς είναι πολύ πιθανό, η συμμετοχή σε μια multicast ομάδα να αλλάζει με τη πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος, το RSVP υποστηρίζει, αν αυτό είναι επιθυμητό, την αποστολή περιοδικών μηνυμάτων προκειμένου να συντηρήσει την κατάσταση σε όλα τα δεσμευμένα μονοπάτια. Στο Σχήμα 5 φαίνεται η αρχιτεκτονική του RSVP.

4.2.1.3 Χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου RSVP

Το RSVP πρωτόκολλο έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Η ροή δεδομένων στο RSVP είναι μονής κατεύθυνσης. Το πρωτόκολλο διαχωρίζει τους αποστολείς από τους παραλήπτες. Παρόλο που σε πολλές περιπτώσεις ο αποστολέας μπορεί να είναι και παραλήπτης, το RSVP δεσμεύει πόρους μόνο προς τη μία κατεύθυνση.
- Το RSVP υποστηρίζει και multicast και unicast και προσαρμόζεται στις συνεχείς αλλαγές ενός δυναμικού περιβάλλοντος. Δηλαδή, επιτρέπεται η δυναμική σύνδεση και αποσύνδεση παραληπτών σε multicast σύνοδο. Παρέχει μια πληθώρα μοντέλων και «μορφών» (styles) ώστε να εξυπηρετεί μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών.
- Το RSVP είναι προσανατολισμένο προς τον αποδέκτη (receiver-oriented) και μπορεί να χειριστεί διαφορετικές κατηγορίες παραληπτών. Ο κάθε παραλήπτης είναι υπεύθυνος για να διαλέξει το δικό του επίπεδο QoS. Ο αποστολέας διαχωρίζει την κίνηση σε ξεχωριστές ροές, μία για κάθε διαφορετικό επίπεδο QoS.
- Το RSVP είναι συμπληρωματικό του IP ελέγχοντας τον τρόπο με τον οποίο το IP μεταδίδει τα πακέτα του. Προορίζεται κυρίως για έλεγχο των δεδομένων που αποστέλλονται και όχι για μεταφορά δεδομένων. Είναι αναγκαίο να υπάρχει ενημέρωση για τους διαθέσιμους πόρους πριν γίνουν αλλαγές στην δρομολόγηση.
- Χρησιμοποιώντας το RSVP, ένας αποστολέας δε γνωρίζει ποιοι παραλαμβάνουν τα δεδομένα που αποστέλλει.
- Το RSVP έχει καλή συμβατότητα και εκτελείτε πάνω από IPv4 και IPv6. Επίσης, λειτουργεί ακόμα και όταν ένας δρομολογητής στο μονοπάτι ροής δεδομένων δεν το υποστηρίζει με την χρήση τεχνικής tunnelling (απλά τα RSVP μηνύματα μεταδίδονται χωρίς να υπόκεινται σε επεξεργασία).

4.2.1.4 Τρόπος λειτουργίας του RSVP

Για να εγκαθιδρύσουμε μια RSVP multicast σύνοδο πρώτα «συνδέεται» ο παραλήπτης με τη multicast σύνοδο η οποία ορίζεται από μια IP διεύθυνση προορισμού κάνοντας χρήση του πρωτοκόλλου IGMP. Στην περίπτωση μιας unicast συνόδου, η unicast δρομολόγηση εξυπηρετεί τη λειτουργία του IGMP, σε συνδυασμό με το Protocol-Independent Multicast (PIM), εξυπηρετεί τις ανάγκες του multicast. Αφότου ο παραλήπτης συμμετέχει στην ομάδα, ένας δυνητικός αποστολέας αρχίζει να μεταδίδει RSVP μηνύματα μονοπατιού στην IP διεύθυνση προορισμού. Όταν η εφαρμογή, η οποία λαμβάνει τα μηνύματα, δέχεται ένα μήνυμα μονοπατιού αρχίζει να στέλνει κατάλληλα μηνύματα αίτησης-δέσμευσης καθορίζοντας τους επιθυμητούς περιγραφείς ροής που χρησιμοποιούν το RSVP. Αφού η εφαρμογή αποστολέας δεχτεί ένα μήνυμα αίτησης-δέσμευσης, ο αποστολέας ξεκινάει να στέλνει πακέτα δεδομένων.

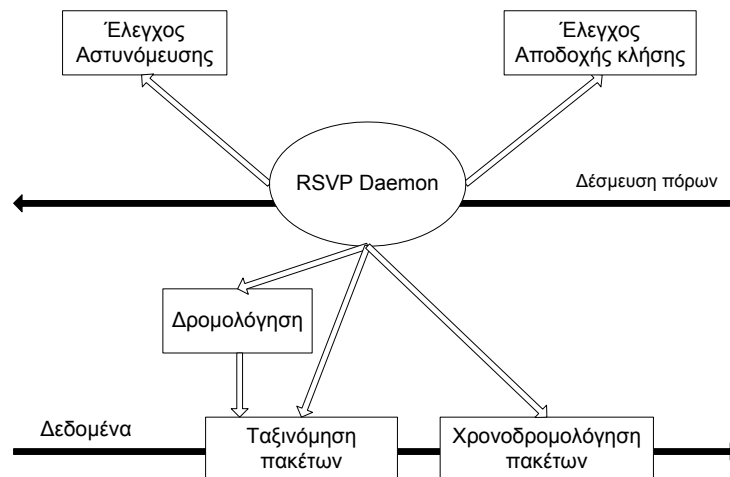
Όταν μία εφαρμογή απαιτεί μία συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας, χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο αυτό για να στείλει την απαίτηση της σε όλους τους δρομολογητές κατά

μήκος του μονοπατιού μετάδοσης. Αν δεσμευτούν οι κατάλληλοι πόροι, το RSVP είναι υπεύθυνο για διατήρηση των πόρων αυτών.

Ο έλεγχος πολιτικής καθορίζει αν ο χρήστης έχει το δικαίωμα να δεσμεύσει πόρους. Η διαδικασία αυτή θα περιλαμβάνει έλεγχο ταυτότητας, έλεγχο πρόσβασης και χρέωση. Ο έλεγχος αποδοχής ελέγχει τους πόρους και αποφασίζει για το αν ο κόμβος έχει αρκετούς πόρους για να υποστηρίξει την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS).

Ο RSVP «δαίμονας» (daemon - το πρόγραμμα που τρέχει στον κόμβο και υλοποιεί το RSVP πρωτόκολλο) πραγματοποιεί ελέγχους με βάση τις δύο αυτές διαδικασίες. Αν κάποιος από τους δύο ελέγχους αποτύχει, το RSVP πρόγραμμα επιστρέφει ένα μήνυμα λάθους στην εφαρμογή που έκανε την αίτηση. Αν και οι δύο έλεγχοι είναι επιτυχημένοι, ο RSVP δαίμονας θέτει παραμέτρους στον ταξινομητή πακέτων και στον χρονοδρομολογητή πακέτων έτσι ώστε να επιτευχθεί η ζητούμενη ποιότητα. Ο ταξινομητής πακέτων καθορίζει την κλάση QoS για κάθε πακέτο και ο χρονοδρομολογητής πακέτων καθορίζει τη μετάδοση των πακέτων με στόχο την επίτευξη της ζητούμενης QoS για κάθε ροή.

Ο RSVP «δαίμονας» επικοινωνεί επίσης με τη διαδικασία δρομολόγησης, για τον καθορισμό του μονοπατιού το οποίο θα ακολουθήσουν οι αιτήσεις δέσμευσης. Η δέσμευση γίνεται μέσω δύο τύπων μηνυμάτων του RSVP, τα PATH και τα RESV μηνύματα.



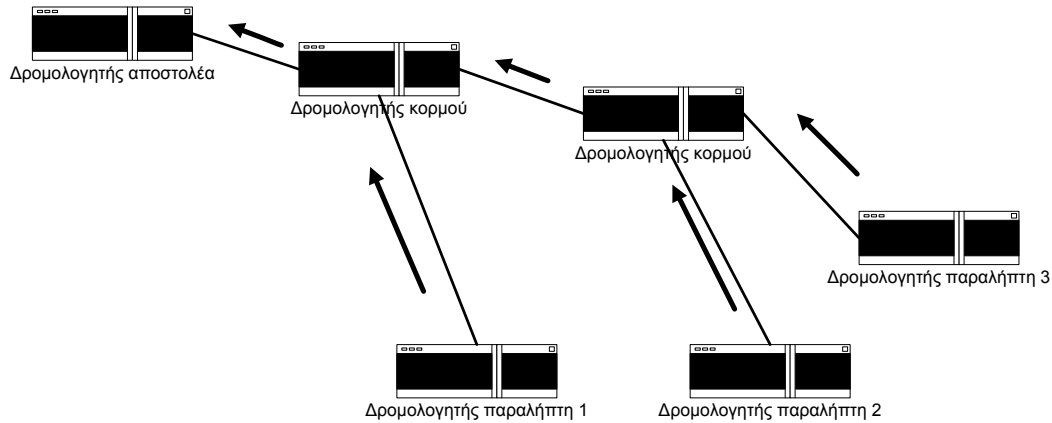
Σχήμα 6 Δέσμευση σε έναν κόμβο του μονοπατιού μετάδοσης των δεδομένων

Τα PATH μηνύματα στέλνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα από τον αποστολέα στους παραλήπτες και περιλαμβάνουν το προφίλ των δεδομένων (κωδικοποίηση των δεδομένων, διεύθυνση και θύρα αποστολέα) και άλλα χαρακτηριστικά για τη μεταφορά τους. Την πληροφορία αυτή χρησιμοποιούν οι παραλήπτες για να βρουν το αντίστροφο μονοπάτι προς τον αποστολέα και να προσδιορίσουν τους πόρους που πρέπει να δεσμευτούν.

Τα RESV μηνύματα δημιουργούνται από τους παραλήπτες και περιέχουν παραμέτρους για τη δέσμευση στις οποίες περιλαμβάνονται οι προδιαγραφή ροής (flow spec) και προδιαγραφή φίλτρου (filter spec). Η παράμετρος «προδιαγραφή φίλτρου» ορίζει ποια πακέτα πρέπει να χρησιμοποιηθούν από τον ταξινομητή πακέτων. Η παράμετρος «προδιαγραφή ροής» χρησιμοποιείται από τον χρονοδρομολογητή πακέτων. Τα RESV μηνύματα ακολουθούν το ακριβώς αντίθετο μονοπάτι των PATH μηνυμάτων.

Η δέσμευση που κάνει στους δρομολογητές το RSVP καλείται «μαλακής κατάστασης» (soft state). Ο RSVP «δαίμονας» πρέπει ανά τακτά χρονικά διαστήματα να ανανεώνει τα μηνύματα έτσι ώστε να διατηρούνται οι δεσμευμένοι πόροι. Το γεγονός όμως αυτό καθιστά πιο εύκολες τις αλλαγές που είναι δυνατό να προκύψουν σε ένα δυναμικό περιβάλλον.

Οι αιτήσεις για δέσμευση αρχικοποιούνται από τους παραλήπτες. Δε χρειάζεται όλες οι αιτήσεις να ταξιδέψουν όλη τη διαδρομή μέχρι τον αποστολέα. Αντί γι' αυτό, οι ροές που συναντώνται σε κάποιο κόμβο και κατευθύνονται στον ίδιο αποστολέα ενώνονται σε μία ροή, ενώνοντας και τις απαιτήσεις τους σε πόρους. Στο Σχήμα 7 φαίνεται πιο καλά η διαδικασία αυτή.



Σχήμα 7 Η ενοποίηση των αιτήσεων δέσμευσης

Το χαρακτηριστικό αυτό είναι και το πιο βασικό πλεονέκτημα του RSVP, που καλείται δυνατότητα κλιμάκωσης. Ένας μεγάλος αριθμός χρηστών μπορεί να ενωθεί σε μία multicast σύνοδο χωρίς αυτό να αυξάνει σημαντικά το φόρτο του δικτύου.

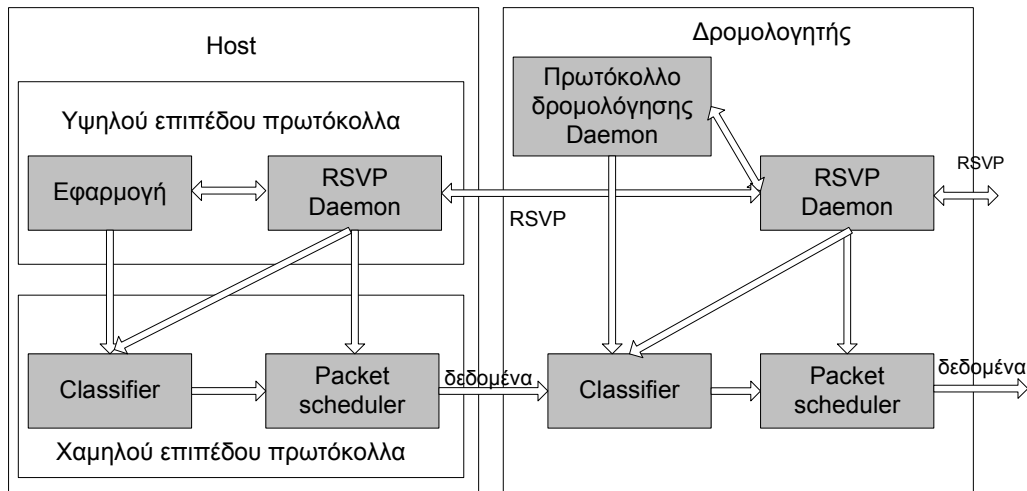
Η αποστολή των παραμέτρων δέσμευσης (reservation parameters) είναι μια διαδικασία διαφορετική από αυτή του προσδιορισμού των παραμέτρων αυτών. Το RSVP είναι υπεύθυνο μόνο για την αποστολή των παραμέτρων αυτών.

Ο τρόπος με τον οποίο το RSVP προσθέτει ή απομακρύνει παραλήπτες από μια multicast σύνοδο είναι ο ίδιος τρόπος σύνδεσης με αυτόν που παρέχει το IP-multicast. Δηλαδή, κάποιος που θέλει να παρακολουθήσει τη σύνοδο μπορεί να ζητήσει να συνδεθεί. Στην περίπτωση αυτή, ο παραλήπτης προστίθεται σε μία λίστα από παραλήπτες που ήδη παρακολουθούν τη σύνοδο αυτή. Ο αποστολέας διαδίδει ένα κατάλληλο μήνυμα στο οποίο περιγράφονται οι απαιτήσεις σε πόρους. Μόλις ένας κόμβος πάρει ένα τέτοιο μήνυμα πρέπει να απαντήσει με ένα αντίστοιχο μήνυμα. Έτσι, επιτυγχάνεται μία σύνδεση. Σε περίπτωση που κάποιος θέλει να αποχωρίσει από τη σύνοδο μπορεί απλά να το κάνει στέλνοντας ένα κατάλληλο μήνυμα. Το μήνυμα μπορεί να σταλεί είτε από το παραλήπτη που θέλει να φύγει είτε από τον αποστολέα που θέλει να «διώξει» κάποιον παραλήπτη.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα διαπραγμάτευσης του παρεχόμενου επιπέδου εξυπηρέτησης από πολλαπλούς αποστολείς σε πολλαπλούς παραλήπτες. Το RSVP δίνει τη δυνατότητα σε ένα παραλήπτη να διατηρήσει μόνο ένα σύνολο από πόρους που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλούς αποστολείς. Ο παραλήπτης προσδιορίζει ποια πακέτα και από ποιους παραλήπτες θα δεχθεί. Με το τρόπο αυτό, οι παραλήπτες μπορούν να «μεταπηδήσουν» από μία ροή δεδομένων σε μία άλλη.

Το RSVP δεν μπορεί να υποστηρίξει εγγυημένο επίπεδο υπηρεσιών αφού δεν υπάρχει κάποια σύνδεση ανάμεσα στο τρόπο δρομολόγησης, τη δέσμευση πόρων και τη μεταφορά των δεδομένων. Το RSVP, λόγω της δυνατότητας για μεταπήδηση από μία ροή σε κάποια άλλη, είναι ιδανικό για εφαρμογές που κάνουν μετάδοση δεδομένων σε πολλούς χρήστες, τους οποίους δε γνωρίζουν ούτε πόσοι είναι ούτε που είναι.

Το Σχήμα 8 απεικονίζει την αλληλουχία γεγονότων για την δέσμευση πόρων με την χρήση του πρωτοκόλλου αυτού.



Σχήμα 8 Αλληλουχία γεγονότων δέσμευσης πόρων με χρήση RSVP

4.2.1.4.1 Ροές Δεδομένων

Οι RSVP ροές δεδομένων χαρακτηρίζονται γενικά από συνόδους πάνω στις οποίες ρέουν πακέτα δεδομένων. Μια σύνοδος είναι ένα σύνολο από ροές δεδομένων unicast ή multicast και το RSVP διαχειρίζεται την κάθε σύνοδο ανεξάρτητα.

Η τριάδα διεύθυνση αποστολής, ID πρωτοκόλλου και θύρα αποστολέα καθορίζει ουσιαστικά μια σύνοδο. Η διεύθυνση αποστολής, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα μπορεί να είναι είτε μια multicast είτε μια unicast διεύθυνση, ενώ η τελευταία παράμετρος μπορεί να είναι η διεύθυνση μιας UDP ή TCP θύρας ή ακόμα και μια πληροφορία που απευθύνεται σε κάποιο παραπάνω επίπεδο (στο επίπεδο μεταφοράς ή και στο επίπεδο εφαρμογής ακόμα).

Διεύθυνση αποστολής	ID πρωτοκόλλου	Θύρα αποστολέα
---------------------	----------------	----------------

Σχήμα 9 Τα στοιχεία που ορίζουν μια RSVP σύνοδο

Το RSVP υποστηρίζει τρεις τύπους κυκλοφορίας: καλύτερης προσπάθειας, ευαίσθητης σε ρυθμό και ευαίσθητης σε καθυστέρηση. Ο τύπος της υπηρεσίας ροής δεδομένων που χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει αυτούς τους τύπους κυκλοφορίας εξαρτάται από το υλοποιημένο QoS.

Κάθε RSVP αποστολέας και παραλήπτης αντιστοιχεί σε ένα μοναδικό κόμβο-χρήστη του Διαδικτύου. Ένας απλός κόμβος-χρήστης, ωστόσο, μπορεί να περιέχει πολλαπλούς λογικούς αποστολείς και παραλήπτες, διακεκριμένους από διαφορετικές θύρες.

4.2.1.4.2 Το Μοντέλο Δέσμευσης

Ένα στοιχειώδες αίτημα δέσμευσης του RSVP αποτελείται από μια προδιαγραφή ροής και από μια προδιαγραφή φίλτρου. Όταν φτάνει σε κάποιο κόμβο, το αίτημα ενεργοποιεί τις ακόλουθες διαδικασίες:

- Πραγματοποιεί μια δέσμευση σε κάθε δικτυακό σύνδεσμο. Το αίτημα περνάει για επεξεργασία από τον έλεγχο αποδοχής και τον έλεγχο πολιτικής. Αν το αίτημα αποτύχει σε ένα από τους δύο ελέγχους, το αίτημα απορρίπτεται και στέλνεται μήνυμα λάθους στον αποστολέα. Αν περάσει τη φάση του ελέγχου ο κόμβος δίνει εντολή στο ταξινομητή πακέτων να επιλέξει τα πακέτα δεδομένων όπως καθορίζονται από την προδιαγραφή φίλτρου και επικοινωνεί με το επίπεδο σύνδεσης ώστε να πάρει και το επιθυμητό QoS που ορίζεται από την προδιαγραφή ροής.
- Το αίτημα προωθείται προς τους κατάλληλους «δαίμονες». Το αίτημα που προωθείται από ένα κόμβο μπορεί να διαφέρει από αυτό που έλαβε για δύο λόγους: Ο μηχανισμός ελέγχου κυκλοφορίας μπορεί να τροποποιεί το flow spec, καθώς επίσης και γιατί οι δεσμεύσεις από διαφορετικά «παρακλάδια» του multicast δέντρου προς τον ίδιο αποστολέα θα πρέπει να συγχωνεύονται καθώς η δέσμευση θα «κατευθύνεται» προς αυτόν.

Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι όταν ένας παραλήπτης απευθύνει ένα αίτημα δέσμευσης, μπορεί επίσης να ζητήσει ένα μήνυμα επιβεβαίωσης ότι το αίτημά του αυτό εγκαταστάθηκε στο δίκτυο. Η επιβεβαίωση αυτή όμως θα είναι μια αρκετά ισχυρή ένδειξη και όχι μια απόλυτη εγγύηση. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι ένα επιτυχές αίτημα δέσμευσης προωθείται μέσα στο multicast δέντρο έως ότου συναντήσει μια υπάρχουσα δέσμευση που να είναι ίση ή μεγαλύτερη από τη δική του. Όπως είναι φυσικό, τότε, το αίτημα δεν προωθείται παραπέρα καθώς το υπόλοιπο του μονοπατιού έχει λάβει ήδη την επιθυμητή δέσμευση.

Ένα σημείο το οποίο αξίζει να τονιστεί αποτελεί η παρατήρηση ότι η διαδικασία δέσμευσης είναι ενός περάσματος (one pass): κάθε κόμβος στο μονοπάτι είτε αποδέχεται είτε απορρίπτει το αίτημα. Αυτό όμως το μοντέλο δεν παρέχει έναν εύκολο τρόπο να γίνει γνωστό το αποτέλεσμα της υπηρεσίας από άκρο σε άκρο, γι' αυτό το RSVP προσφέρει επιπροσθέτως την δυνατότητα του OPWA (One Pass With Advertising – Ένα Πέρασμα Με Διαφήμιση). Με αυτή την υπηρεσία στέλνονται στους κόμβους πακέτα ελέγχου που μαζεύουν πληροφορία η οποία επιστρέφεται στους παραλήπτες και αξιοποιείται για τη διάγνωση του υπάρχοντος QoS από άκρο σε άκρο και τη δυναμική προσαρμογή των αιτημάτων δέσμευσης.

4.2.1.4.3 Μορφές δέσμευσης (Reservation Styles)

Εμβέλεια	Κρατήσεις	
	Μεμονωμένη	Διαμοιραζόμενη
Ρητή	Στυλ Fixed Filter (FF)	Στυλ ρητώς διαμοιραζόμενο Shared Explicit (SE)
Μεταβαλλόμενη (wildcard)	Μη ορισμένο	Στυλ Wildcard Filter (WF)

Πίνακας 1: Συνδυασμοί στυλ/ εμβέλειας δέσμευσης

Ένα αίτημα δέσμευσης περιλαμβάνει ένα σύνολο επιλογών το οποίο ονομάζεται και μορφή δέσμευσης (reservation style). Το RSVP υποστηρίζει δύο βασικές κατηγορίες μορφών δέσμευσης: μεμονωμένες και διαμοιραζόμενες δεσμεύσεις. Οι μεμονωμένες δεσμεύσεις εγκαθιστούν μια ροή για κάθε σχετικό αποστολέα σε κάθε σύνολο. Μια διαμοιραζόμενη δέσμευση χρησιμοποιείται από ένα σύνολο αποστολέων οι οποίοι δεν παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Ο Πίνακας 1 περιγράφει όλους τους υποστηριζόμενους από το πρωτόκολλο συνδυασμούς στυλ / εμβέλειας δέσμευσης.

Wildcard-Filter (WF)

Το Wildcard-Filter στυλ ορίζει διαμοιραζόμενη κράτηση με Wildcard εμβέλεια. Με μια κράτηση στυλ WF, δημιουργείται μια απλή κράτηση στην οποία αναμειγνύονται ροές από όλους τους αποστολείς. Μπορούμε να φανταστούμε τις κρατήσεις σαν ένα διαμοιραζόμενο σωλήνα του οποίου το μέγεθος είναι το μεγαλύτερο των απαιτήσεων πόρων για αυτή τη σύνδεση από όλους του παραλήπτες, ανεξάρτητα από τον αριθμό των αποστολέων.

Fixed-Filter (FF)

Το στυλ Fixed-Filter ορίζει μια μεμονωμένη κράτηση με ρητή εμβέλεια. Με μια κράτηση FF στυλ, δημιουργείται μια μεμονωμένη αίτηση κράτησης για πακέτα δεδομένων από συγκεκριμένο αποστολέα. Η εμβέλεια της κράτησης καθορίζεται από μια συγκεκριμένη λίστα αποστολέων. Η συνολική κράτηση σε μια σύνδεση για δεδομένη σύνοδο είναι το άθροισμα όλων των FF κρατήσεων για όλους τους αποστολείς. Τις FF κρατήσεις τις ζητούν διαφορετικοί παραλήπτες αλλά επιλέγουν τον ίδιο αποστολέα, ωστόσο, πρέπει να αναμειχθούν προκειμένου να διαμοιραστούν μια απλή κράτηση σε ένα δεδομένο κόμβο.

Shared-Explicit (SE)

Το στυλ κράτησης SE ορίζει ένα περιβάλλον διαμοιραζόμενης κράτησης με μια ρητή εμβέλεια κράτησης. Το SE στυλ δημιουργεί μια απλή κράτηση στην οποία αναμειγνύονται ροές από όλους τους αποστολείς. Όπως στην περίπτωση της FF κράτησης, το σύνολο των αποστολέων (και κατά συνέπεια η εμβέλεια) ορίζεται ρητά από τον παραλήπτη που κάνει την κράτηση.

4.2.1.4.4 RSVP Μαλακή Κατάσταση

Στο περιβάλλον ενός RSVP, μια μαλακή κατάσταση αναφέρεται σε κατάσταση δρομολογητών και τερματικών κόμβων οι οποίοι μπορούν να ενημερωθούν από ορισμένα RSVP μηνύματα. Το χαρακτηριστικό της μαλακής κατάστασης είναι ότι επιτρέπει σε ένα RSVP δίκτυο να υποστηρίζει δυναμικές αλλαγές στη ομάδα μελών και να προσαρμοστεί σε αλλαγές δρομολόγησης. Γενικά, η μαλακή κατάσταση υποστηρίζεται από ένα δίκτυο το οποίο βασίζεται στο RSVP ικανοποιώντας τις δικτυακές αλλαγές χωρίς προσφυγή στα τερματικά σημεία, σε αντίθεση με μια αρχιτεκτονική μεταγωγής κυκλώματος στην οποία το τερματικό σημείο εγκαθιστά μια κλήση και, σε περίπτωση αποτυχίας, εγκαθιστά μια νέα κλήση.

Οι μηχανισμοί του RSVP πρωτοκόλλου παρέχουν μια γενική διευκόλυνση στη δημιουργία και συντήρηση μιας κατανεμημένης κατάστασης κράτησης κατά μήκος των multicast δέντρων και unicast μονοπατιών μετάδοσης.

Για να συντηρήσει μια κατάσταση κράτησης, το RSVP ανιχνεύει μια μαλακή κατάσταση στους κόμβους-χρήστες και κόμβους δρομολόγησης. Η RSVP μαλακή

κατάσταση δημιουργείται και περιοδικά ανανεώνεται από μηνύματα μονοπατιού και αιτήσεων κράτησης. Η κατάσταση διαγράφεται αν δε φτάσει κάποιο μήνυμα ανανέωσης πριν τη λήξη του χρονικού διαστήματος καθαρισμού. Η μαλακή κατάσταση μπορεί επίσης να διαγραφεί σαν αποτέλεσμα ενός ρητού καταϊγιστικού μηνύματος. Το RSVP σαρώνει περιοδικά την μαλακή κατάσταση για να χτίσει και να προωθήσει μηνύματα ανανέωσης μονοπατιών και αιτήσεων κράτησης. Όταν μια διαδρομή αλλάζει, το επόμενο μήνυμα μονοπατιού αρχικοποιεί την κατάσταση μονοπατιού στο νέο μονοπάτι. Μελλοντικά μηνύματα αιτήσεων κράτησης εγκαθιστούν μια κατάσταση κράτησης.

4.2.1.4.5 *RSVP tunnelling*

Η καθολική χρησιμοποίηση του RSVP ή οποιουδήποτε καινούριου πρωτοκόλλου την ίδια στιγμή σε όλο το Διαδίκτυο δεν είναι ποτέ εφικτή. Στην πραγματικότητα το RSVP μπορεί να μη χρησιμοποιηθεί ποτέ παντού. Για αυτό και πρέπει να εξασφαλισθεί η σωστή λειτουργία του πρωτοκόλλου ακόμα και όταν δύο RSVP δρομολογητές ενώνονται μέσω ενός τυχαίου συνόλου δρομολογητών που δεν υποστηρίζουν το RSVP πρωτόκολλο. Ένα ενδιάμεσο σύνολο δρομολογητών που δεν υποστηρίζει RSVP είναι αδύνατο να πετύχει δέσμευση πόρων, οπότε δεν είναι δυνατό να δοθούν εγγυήσεις για τις παρεχόμενες υπηρεσίες. Αν ωστόσο, ένα τέτοιο σύνολο έχει αρκετή επιπλέον χωρητικότητα, μπορεί να παρέχει αποδεκτές και χρήσιμες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου.

Για να υποστηριχτεί η σύνδεση RSVP δικτύων μέσω δικτύων που δεν υποστηρίζουν το RSVP πρωτόκολλο, το RSVP παρέχει την δυνατότητα tunnelling, το οποίο πραγματοποιείται αυτόματα μέσα σε δίκτυα τα οποία δεν υποστηρίζουν RSVP. Το tunnelling απαιτεί από όλους τους δρομολογητές (είτε υποστηρίζουν RSVP είτε δεν υποστηρίζουν RSVP) να προωθούν τα μηνύματα μονοπατιού (path messages) προς την διεύθυνση προορισμού χρησιμοποιώντας έναν τοπικό πίνακα δρομολόγησης. Όταν ένα τέτοιο μήνυμα διασχίζει ένα δίκτυο το οποίο δεν υποστηρίζει RSVP, τα αντίγραφα του μηνύματος φέρουν την IP διεύθυνση του τελευταίου RSVP δρομολογητή που συνάντησαν στην πορεία τους. Τα μηνύματα αίτησης-δέσμευσης (reservation-request) προωθούνται, ακολουθώντας πορεία αντίθετη με αυτή της ροής δεδομένων, προς τον επόμενο RSVP δρομολογητή δηλαδή σε αυτόν του οποίου την διεύθυνση φέρουν τα μηνύματα μονοπατιού.

Υπάρχουν δύο επιχειρήματα για την υποστήριξη της υλοποίησης του tunnelling σε ένα RSVP περιβάλλον. Πρώτον, το RSVP θα χρησιμοποιηθεί σποραδικά και όχι καθολικά. Είναι απίθανο όλα τα δίκτυα και οι δρομολογητές του Διαδικτύου να υποστηρίζουν το RSVP πρωτόκολλο, οπότε θα υπάρχει η ανάγκη για το tunnelling. Δεύτερον, το tunnelling μπορεί να γίνει πιο αποτελεσματικό, αν υλοποιηθεί έλεγχος της συμφόρησης σε καταστάσεις υψηλού φόρτου κυκλοφορίας.

Η σποραδική εφαρμογή σημαίνει ότι μερικά τμήματα του δικτύου θα το υλοποιήσουν πριν από άλλα. Αν προκειμένου να υπάρξουν αποδεκτές και χρήσιμες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, το RSVP απαιτείται σε όλο το μήκος μιας διαδρομής, τότε κέρδος μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη σχεδόν καθολική εφαρμογή του πρωτοκόλλου, η οποία όμως είναι αδύνατη εκτός και αν πρόωμη εφαρμογή δώσει πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

4.2.1.5 Τύποι RSVP μηνυμάτων

Το RSVP υποστηρίζει τέσσερις βασικούς τύπους μηνυμάτων: μηνύματα αίτησης-δέσμευσης (reservation-request messages), μηνύματα μονοπατιού (path messages), μηνύματα λαθών-επιβεβαίωσης (error-confirmation messages) και μηνύματα κατεδάφισης (teardown messages). Παρακάτω δίνεται με συντομία η περιγραφή κάθε τύπου.

4.2.1.5.1 Μηνύματα Αίτησης-Δέσμευσης

Ένα μήνυμα αίτησης-δέσμευσης στέλνεται από κάθε παραλήπτη προς τους αποστολείς. Το μήνυμα αυτό κατευθύνεται προς τους αποστολείς ακολουθώντας αντίθετες πορείες από αυτές των πακέτων δεδομένων. Ένα μήνυμα αίτησης-δέσμευσης πρέπει να παραδοθεί στους αποστολείς ώστε αυτοί να μπορούν να θέσουν κατάλληλες παραμέτρους ελέγχου της κυκλοφορίας για την πρώτη μετάβαση.

4.2.1.5.2 Μηνύματα μονοπατιού

Ένα RSVP μήνυμα μονοπατιού στέλνεται από κάθε αποστολέα κατά μήκος των unicast μονοπατιών και multicast δέντρων που παρέχονται από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται. Ένα μήνυμα μονοπατιού χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσει την κατάσταση μονοπατιού σε κάθε κόμβο. Η κατάσταση μονοπατιού χρησιμοποιείται για να δρομολογήσει μηνύματα αίτησης-δέσμευσης προς την αντίθετη κατεύθυνση.

4.2.1.5.3 Μηνύματα λαθών και επιβεβαίωσης

Υπάρχουν τρεις μορφές μηνυμάτων λαθών και επιβεβαίωσης: μηνύματα λάθους μονοπατιού, μηνύματα λάθους αίτησης-δέσμευσης και μηνύματα αναγνώρισης αίτησης-δέσμευσης.

Τα μηνύματα λάθους μονοπατιού είναι αποτέλεσμα μηνυμάτων μονοπατιού και κινούνται προς τους αποστολείς. Τα μηνύματα λάθους μονοπατιού δρομολογούνται από κόμβο σε κόμβο χρησιμοποιώντας την κατάσταση μονοπατιού. Σε κάθε μετάβαση η IP διεύθυνση προορισμού είναι η unicast διεύθυνση της προηγούμενης μετάβασης.

Τα μηνύματα λάθους αίτησης-δέσμευσης είναι αποτέλεσμα των μηνυμάτων αίτησης-δέσμευσης και κινούνται προς τον παραλήπτη. Τα μηνύματα λάθους αίτησης-δέσμευσης δρομολογούνται από κόμβο σε κόμβο χρησιμοποιώντας την κατάσταση δέσμευσης. Σε κάθε μετάβαση, η IP διεύθυνση προορισμού είναι η unicast διεύθυνση του κόμβου της επόμενης μετάβασης. Η πληροφορία που μεταφέρεται στα μηνύματα λάθους μπορεί να περιέχει τα ακόλουθα:

- Αποτυχία αποδοχής (Admission failure).
- Μη διαθέσιμο εύρος ζώνης (Bandwidth unavailable).
- Η υπηρεσία δεν υποστηρίζεται (Service not supported).
- Λάθος προσδιορισμός ροής (Bad flow specification).
- Ασαφές μονοπάτι (Ambiguous path).

Τα μηνύματα αναγνώρισης αίτησης-δέσμευσης στέλνονται ως αποτέλεσμα της εμφάνισης ενός αντικειμένου επιβεβαίωσης-δέσμευσης μετά από ένα μήνυμα αίτησης-δέσμευσης. Το μήνυμα αναγνώρισης περιέχει ένα αντίγραφο του αντικειμένου επιβεβαίωσης-δέσμευσης. Ένα μήνυμα αναγνώρισης στέλνεται στην unicast διεύθυνση του παραλήπτη και η διεύθυνση συλλέγεται από το αντικείμενο επιβεβαίωσης-

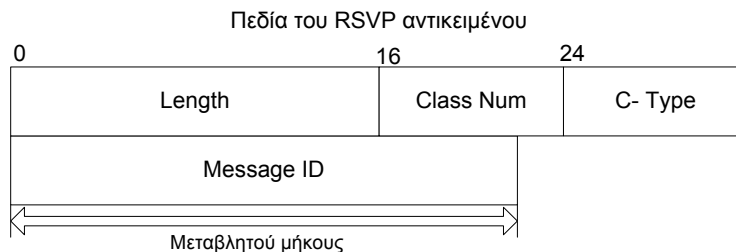
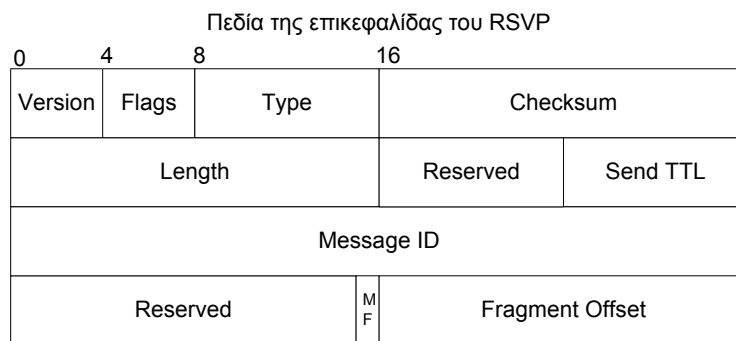
δέσμευσης. Ένα μήνυμα αναγνώρισης αίτησης δέσμευσης προωθείται από κόμβο σε κόμβο προς τον παραλήπτη (για να παρέχει τον hop-by-hop μηχανισμό ελέγχου ακεραιότητας).

4.2.1.5.4 Μηνύματα κατεδάφισης

Τα RSVP μηνύματα κατεδάφισης σβήνουν το μονοπάτι και την κατάσταση δέσμευσης χωρίς να περιμένουν την λήξη της περιόδου καθαρισμού (cleanup timeout). Τα μηνύματα κατεδάφισης μπορούν να ξεκινήσουν από μια εφαρμογή σε ένα σύστημα στα άκρα του μονοπατιού (αποστολέα ή παραλήπτη) ή ένα δρομολογητή ως αποτέλεσμα της λήξης κατάστασης. Το RSVP υποστηρίζει δύο είδη μηνυμάτων κατεδάφισης: μηνύματα κατεδάφισης μονοπατιού και μηνύματα κατεδάφισης αίτησης-δέσμευσης. Τα μηνύματα κατεδάφισης μονοπατιού σβήνουν την κατάσταση μονοπατιού (η οποία σβήνει και την κατάσταση δέσμευσης), κινούνται προς όλους τους παραλήπτες από το σημείο της εκκίνησης τους σύμφωνα με το ρεύμα ροής δεδομένων και δρομολογούνται όπως τα μηνύματα μονοπατιού. Τα μηνύματα κατεδάφισης αίτησης δέσμευσης σβήνουν την κατάσταση δέσμευσης. Αυτά κινούνται προς όλους τους αντίστοιχους αποστολείς από το σημείο εκκίνησης τους αντίθετα με το ρεύμα ροής δεδομένων και δρομολογούνται όπως τα αντίστοιχα μηνύματα αίτησης δέσμευσης.

4.2.1.6 Μορφή RSVP πακέτων

Το Σχήμα 10 παρουσιάζει την μορφή των RSVP πακέτων. Ακολουθούν περιληπτικές περιγραφές των πεδίων των επικεφαλίδων των μηνυμάτων καθώς και των πεδίων των αντικειμένων.



Σχήμα 10 Πεδία επικεφαλίδων RSVP μηνυμάτων

Τα πεδία των επικεφαλίδων των RSVP μηνυμάτων αποτελούνται από τα παρακάτω:

- Έκδοση (Version) - 4bit πεδίο που δείχνει την έκδοση του πρωτοκόλλου.

- Σημαίες (Flags) - πεδίο όπου προς το παρόν είναι απλώς δεσμευμένο χωρίς να ορίζονται σημαίες.
- Τύπος (Type) - 8bit πεδίο με 7 πιθανές (ακέραιες) τιμές, όπως δείχνει ο Πίνακας 2.
- Άθροισμα ελέγχου (Checksum) - 16bit πεδίο που αναπαριστά ένα κανονικό TCP/UDP checksum πάνω στα περιεχόμενα του RSVP μηνύματος, με το πεδίο checksum αντικαταστημένο από μηδέν.
- Μήκος (Length) - 16bit πεδίο που αναπαριστά το μήκος αυτού του RSVP πακέτου σε bytes λαμβάνοντας υπόψη και την κοινή επικεφαλίδα και τα μεταβλητού μήκους αντικείμενα που ακολουθούν. Αν η σημαία Επιπλέον Τμήματα (MF, More Fragments) είναι 1 ή αν το πεδίο Σχετική Θέση Τμήματος (Fragment Offset) είναι μη μηδενικό, τότε το πεδίο Μήκος περιέχει το μήκος αυτού του τμήματος ενός μεγαλύτερου μηνύματος (και όχι όλου του πακέτου).
- Send TTL - 8bit πεδίο που δείχνει τον IP χρόνο ζωής (TTL time-to-live) με τον οποίο έχει σταλεί το μήνυμα.
- Ταυτότητα μηνύματος (Message ID) - 32bit πεδίο που περιέχει μια επικεφαλίδα κοινή για όλα τα τμήματα ενός μηνύματος για μία δεδομένη RSVP μετάβαση.
- Σημαία επιπλέον τμημάτων (More Fragments (MF) Flag) - Το χαμηλότερης τάξης bit μιας λέξης μήκους 1 byte της οποίας τα υπόλοιπα 7 σημαντικότερης τάξης bit καθορίζονται ως δεσμευμένα (για μελλοντική υλοποίηση της χρήσης τους). Η σημαία MF έχει την τιμή 1 για όλα εκτός από το τελευταίο τμήμα ενός μηνύματος.
- Σχετική θέση τμήματος (Fragment Offset) - 24bit πεδίο που αναπαριστά τη σχετική θέση σε bytes του τμήματος αυτού ως προς όλο το μήνυμα, δηλαδή τη θέση του πρώτου byte του τμήματος μέσα στο μήνυμα.

ΤΙΜΗ	ΤΥΠΟΣ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ
1	Μονοπατιού
2	Αίτησης-Δέσμευσης
3	Λάθος μονοπατιού
4	Λάθος αίτησης-δέσμευσης
5	Κατεδάφιση μονοπατιού
6	Κατεδάφιση δέσμευσης
7	Αναγνώριση αίτησης δέσμευσης

Πίνακας 2 Τιμές πεδίου Τύπος των RSVP μηνυμάτων

4.2.1.7 Πεδία RSVP αντικειμένων

Τα πεδία των RSVP αντικειμένων αποτελούνται από τα παρακάτω:

- Μήκος (Length) - 16bit πεδίο που περιέχει το συνολικό μήκος του αντικειμένου σε bytes (πρέπει πάντα να είναι πολλαπλάσιο του 4 και να είναι τουλάχιστον 4).
- Αριθμός τάξης (Class-Num) - Δείχνει την τάξη του αντικειμένου. Κάθε τάξη αντικειμένων έχει ένα όνομα. Μια υλοποίηση του RSVP πρωτοκόλλου θα πρέπει να

αναγνωρίζει τις τάξεις που παρουσιάζει ο Πίνακας 3. Το υψηλότερης τάξης bit του αριθμού τάξης καθορίζει πως θα ενεργεί ένας κόμβος όταν δεν αναγνωρίζει τον αριθμό τάξης ενός αντικειμένου.

- C-Type - Τύπος αντικειμένου, μοναδικός μέσα σε κάθε αριθμό τάξης. Το μέγιστο μήκος των περιεχομένων ενός αντικειμένου είναι 65528 bytes. Τα πεδία Αριθμός Τάξης και C-Type (μαζί με το bit σημαίας) μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί ως ένας 16bit αριθμός για να ορίσουν ένα μοναδικό τύπο για κάθε αντικείμενο.
- Περιεχόμενα αντικειμένου (Object Contents) - Τα πεδία Μήκος, Αριθμός Τάξης και C-Type καθορίζουν τη μορφή των περιεχομένων του αντικειμένου. Ο πίνακας 2 περιέχει ορισμούς για τις τάξεις των αντικειμένων που μπορεί να εμφανίζονται στο πεδίο αυτό.

ΤΑΞΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Κενό (Null)	Έχει αριθμό τάξης μηδέν και το C-Type του αντικειμένου αγνοείται. Το μήκος του πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 αλλά μπορεί να είναι ένα οποιοδήποτε πολλαπλάσιο του 4. Ένα null αντικείμενο μπορεί να εμφανιστεί οποudήποτε σε μια ακολουθία αντικειμένων και τα περιεχόμενά του θα αγνοηθούν από τον παραλήπτη
Περιοχή (session)	Περιέχει την IP διεύθυνση προορισμού και πιθανώς μια γενικευμένη θύρα προορισμού για να καθορίσει μια συγκεκριμένη περιοχή για τα υπόλοιπα αντικείμενα που ακολουθούν (απαιτείται σε κάθε RSVP μήνυμα)
RSVP Μετάβαση (RSVP Hop)	Φέρει την IP διεύθυνση του RSVP-ικανού κόμβου που έστειλε αυτό το μήνυμα.
Χρονικές Τιμές (Time Values)	Αν υπάρχει, περιέχει τιμές για την περίοδο ανανέωσης και τον χρόνο ζωής της κατάστασης (state TTL) για να ανατραπούν οι προκαθορισμένες τιμές.
Μορφή (Style)	Καθορίζει την μορφή της δέσμευσης καθώς και ειδική για τη μορφή πληροφορία που δεν είναι ούτε αντικείμενο Καθορισμού Ροής ούτε αντικείμενο Καθορισμού Φίλτρου (περιλαμβάνονται σε ένα μήνυμα αίτησης-δέσμευσης)
Καθορισμός Ροής (Flow Specification)	Καθορίζει το επιθυμητό QoS (περιλαμβάνεται σε μήνυμα αίτησης-δέσμευσης)
Καθορισμός Φίλτρου (Filter Specification)	Καθορίζει ένα υποσύνολο από πακέτα δεδομένων περιοχής που πρέπει να φέρουν το επιθυμητό QoS (το οποίο καθορίζεται από ένα Flow Specification αντικείμενο μέσα στο μήνυμα αίτησης-δέσμευσης)
Πρότυπο Αποστολέα (Sender Template)	Περιέχει την IP διεύθυνση ενός αποστολέα και ίσως μερικές επιπρόσθετες πληροφορίες για αποπλέξιμο έτσι ώστε να αναγνωριστεί ο αποστολέας (περιέχεται σε ένα μήνυμα μονοπατιού)
TSPEC Αποστολέα (Sender TSPEC)	Καθορίζει τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας του ρεύματος δεδομένων ενός αποστολέα (περιλαμβάνεται σε ένα μήνυμα μονοπατιού)
Adspec	Φέρει διαφημιστικά δεδομένα μέσα σε ένα μήνυμα μονοπατιού
Καθορισμός Λάθους (Error Specification)	Καθορίζει ένα λάθος (περιέχεται σε μήνυμα λάθους μονοπατιού ή σε μήνυμα λάθους αίτησης-δέσμευσης)
Δεδομένα Πολιτικής (Policy Data)	Φέρει πληροφορίες που επιτρέπουν σε ένα τοπικό πρόγραμμα πολιτικής να αποφασίσει αν μια δέσμευση σχετιζόμενη με το τρέχον μήνυμα επιτρέπεται από τη διαχείριση (περιλαμβάνεται σε ένα μήνυμα μονοπατιού ή σε ένα μήνυμα αίτησης-δέσμευσης)
Ακεραιότητα (Integrity)	Περιέχει κρυπτογραφικά δεδομένα για να πιστοποιήσει την αυθεντικότητα του κόμβου,

	που έστειλε το μήνυμα αίτησης-δέσμευσης που περιέχει το αντικείμενο αυτό, και ίσως να επιβεβαιώσει τα περιεχόμενα του μηνύματος.
Εμβέλεια (Scope)	Ένας ρητός καθορισμός της εμβέλειας για την προώθηση ενός μηνύματος αίτησης-δέσμευσης.
Επιβεβαίωση Δέσμευσης (Reservation Confirmation)	Φέρει την IP διεύθυνση ενός παραλήπτη που ζήτησε επιβεβαίωση. Μπορεί να εμφανιστεί είτε σε μήνυμα αίτησης-δέσμευσης είτε σε μήνυμα αναγνώρισης αίτησης-δέσμευσης.

Πίνακας 3 Τάξεις των RSVP αντικειμένων

4.3 DIFFSERV

4.3.1 Εισαγωγή

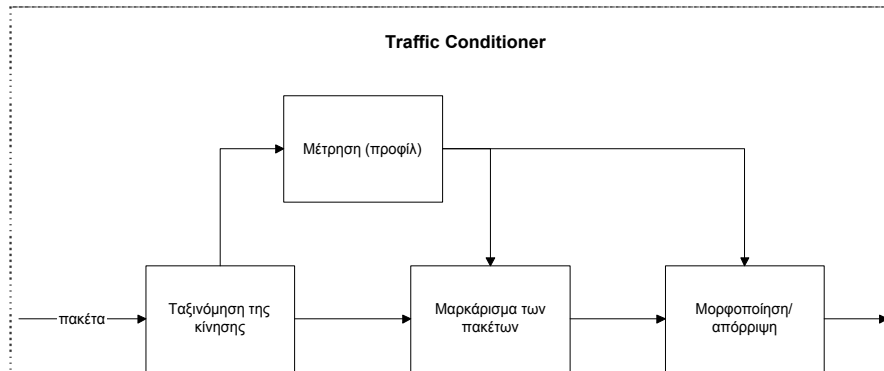
Προκειμένου να υλοποιηθεί μια υπηρεσία παροχής ποιότητας υπηρεσίας στο επίπεδο δικτύου και ειδικότερα ποιότητα υπηρεσίας με τη μέθοδο DiffServ, απαιτείται να λειτουργήσουν στο δίκτυο μια σειρά μηχανισμών. Αυτοί ενεργούν πάνω στις ροές και αναλυτικά είναι οι ακόλουθοι.

- Ταξινόμηση των πακέτων. Ο μηχανισμός αυτός ταξινομεί τα πακέτα που φτάνουν σε ένα κόμβο σε ροές ή συνενώσεις ροών ώστε στη συνέχεια αυτά να εξυπηρετηθούν κατάλληλα.
- Μαρκάρισμα (marking) των πακέτων. Με το μηχανισμό αυτό τα πακέτα μαρκάρονται ανάλογα με την κλάση στην οποία ανήκουν (προέκυψε από τον προηγούμενο μηχανισμό) είτε με βάση άλλα κριτήρια όπως τα χαρακτηριστικά της κίνησης που παρουσιάζουν κλπ.
- Μέτρηση (metering) της κίνησης. Στην προκειμένη περίπτωση ο μηχανισμός αυτός ελέγχει το προφίλ της κίνησης που δέχεται και το συγκρίνει με το προσυμφωνηθέν προφίλ κίνησης όπως προκύπτει από το ΣΔΕΠΥ (SLA) που έχει υπογράψει με τον διαχειριστή του δικτύου. Στη συνέχεια ο μηχανισμός αυτός διαχωρίζει τα πακέτα σε έναν αριθμό κατηγοριών (ανάλογα αν βρίσκονται στα νόμιμα πλαίσια ή όχι). Ο αριθμός των κατηγοριών αυτών εξαρτάται από τη συμφωνία που έχει γίνει με το πάροχο όπου επίσης καθορίζεται η μεταχείριση που θα έχουν τα πακέτα όλων των κατηγοριών.
- Μηχανισμός μορφοποίησης της κίνησης όπου τροποποιούνται τα χαρακτηριστικά της κίνησης που έλαβε ο κόμβος (δρομολογητής). Επίσης, αντί του μηχανισμού αυτού μπορεί να υπάρχει μηχανισμός απόρριψης των πακέτων.

Γενικά, η σειρά με την οποία συνήθως αυτοί χρησιμοποιούνται είναι και η σειρά με την οποία παρουσιάστηκαν. Πρέπει στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι είναι επίσης δυνατό οι μηχανισμοί μαρκάριατος και μέτρησης του προφίλ της κίνησης να εμφανίζονται αντίστροφα, δηλαδή πρώτα μέτρηση του προφίλ της κίνησης και ύστερα με βάση αυτό το κριτήριο μαρκάρισμα των πακέτων. Επίσης μετά από τη διαδικασία μέτρησης του προφίλ, σε ορισμένες «κατηγορίες» πακέτων (και κυρίως στα νόμιμα πακέτα) συνήθως δεν εφαρμόζεται κανένας περαιτέρω μηχανισμός και εισάγονται έτσι στο δίκτυο. Οι μηχανισμοί αυτοί και η σειρά με την οποία συνήθως εφαρμόζονται παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 11.

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να τονιστεί πως όλοι οι παραπάνω μηχανισμοί και λειτουργικότητες εφαρμόζονται στους συνοριακούς δρομολογητές (edge routers) σε ένα

DiffServ διαχειριστικό τμήμα. Αντίθετα, στους ενδιάμεσους δρομολογητές (core routers) η DiffServ αρχιτεκτονική προσδιορίζει πως οι παραπάνω μηχανισμοί δεν έχουν καμία εφαρμογή.



Σχήμα 11: Οι βασικοί μηχανισμοί data path και η σειρά με την οποία εκτελούνται

4.3.2 Ταξινόμηση της κίνησης

Η ταξινόμηση της κίνησης είναι το πρώτο σημείο στο οποίο βασίζεται η παροχή ποιότητας υπηρεσίας στην εξυπηρέτηση των πακέτων και για το λόγο αυτό αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα. Η ταξινόμηση των πακέτων προκειμένου να εξυπηρετηθούν κατάλληλα σε ένα δίκτυο που υποστηρίζει QoS γίνεται είτε σε επίπεδο ροών, είτε σε επίπεδο συνενώσεων ροών (aggregates). Η διαδικασία αυτή γίνεται κυρίως με τον έλεγχο της επικεφαλίδας κάθε πακέτου και την άντληση από εκεί κάποιας πληροφορίας με βάση την οποία γίνεται η ταξινόμηση. Γενικά ο μηχανισμός αυτός απαιτείται να είναι πολύ γρήγορος, ακολουθώντας το ρυθμό άφιξης των πακέτων, και ιδιαίτερα ακριβής.

Θεωρητικά οι ροές χαρακτηρίζονται από μια πεντάδα που αποτελείται από:

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

Κάνοντας τελικά ταξινόμηση ανά ροή με βάση αυτή την πεντάδα είναι μια διαδικασία αρκετά δύσκολη παρότι όλα αυτά τα πεδία υπάρχουν στην IP επικεφαλίδα. (στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι όλοι αυτοί οι μηχανισμοί λειτουργούν στο επίπεδο δικτύου του OSI μοντέλου). Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι απαιτείται η διαδικασία της ταξινόμησης να γίνεται άμεσα και συνεπώς ο έλεγχος τόσων πεδίων απαιτεί μεγάλη επεξεργαστική ισχύ. Η μέθοδος αυτή της ταξινόμησης εφαρμόζεται μόνο όταν θέλουμε απαραίτητα να κάνουμε ταξινόμηση με βάση ξεχωριστές ροές όπως θέλουμε να κάνουμε πολλές φορές στην DiffServ αρχιτεκτονική στα σημεία εισόδου της κίνησης σε DiffServ διαχειριστικά τμήματα. Τέλος αυτή η μέθοδος ονομάζεται «Ταξινόμηση Πολλαπλών Πεδίων» (Multifield classification).

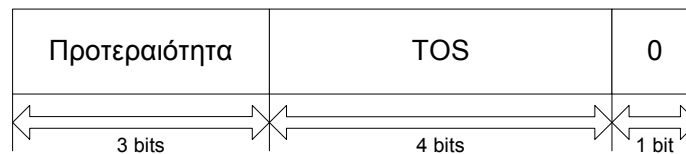
Αντίθετα στην περίπτωση όπου γίνεται ταξινόμηση σε συνενώσεις ροών τότε αρκεί να χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός των παραπάνω πεδίων της πεντάδας που

χαρακτηρίζει μια ροή, ή ακόμη και ένα μόνο πεδίο. Η περίπτωση αυτή είναι πιο εύκολη να γίνει και μπορεί τελικά να πραγματοποιείται ταχύτερα σε σύγκριση με τον έλεγχο όλης της πεντάδας.

Στην πραγματικότητα ισχύει πως η ταξινόμηση των πακέτων γίνεται σε έναν περιορισμένο αριθμό κατηγοριών (κλάσεων) και συνεπώς αρκεί να χρησιμοποιηθεί ένα σταθερό πεδίο στην επικεφαλίδα των πακέτων. Η μέθοδος αυτή είναι σαφώς απλούστερη και πιο αποδοτική. Στην περίπτωση της DiffServ αρχιτεκτονικής ονομάζεται «Ταξινόμηση Συμπεριφοράς Συνενώσεων» (behavior aggregate classification) και επιτυγχάνει ταξινόμηση σε επίπεδο συνενώσεων ροών.

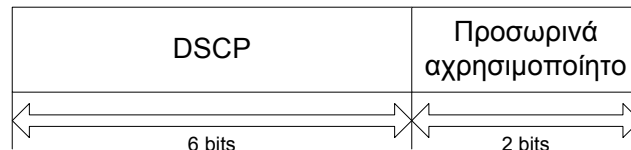
4.3.2.1 Ταξινόμηση με βάση την IPv4 επικεφαλίδα

Η Ταξινόμηση Συμπεριφοράς Συνενώσεων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μια οκτάδα από bits που υπάρχει την επικεφαλίδα των IPv4 πακέτων και η οποία ονομάζεται «TOS octet». Σε αυτή, τα τρία πρώτα bits δηλώνουν την προτεραιότητα κάθε πακέτου και συνεπώς υπάρχουν 8 διαφορετικές κλάσεις προτεραιότητας. Τα επόμενα 4 bits χαρακτηρίζουν το είδος της υπηρεσίας που επιθυμεί η εφαρμογή, δηλαδή ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης, η ελαχιστοποίηση της απώλειας πακέτων κλπ.



Σχήμα 12: Το TOS octet της IPv4 επικεφαλίδας

Ακόμη, πρόσφατα καθορίστηκε στο TOS octet τα 6 πιο σημαντικά bits να αναπαριστούν το DSCP (DiffServ Code Point) το οποίο ουσιαστικά δημιουργεί 64 δυνατές συνδυασμούς για τη διαχείριση ουρών και χρονοδρομολόγησης των IP πακέτων.

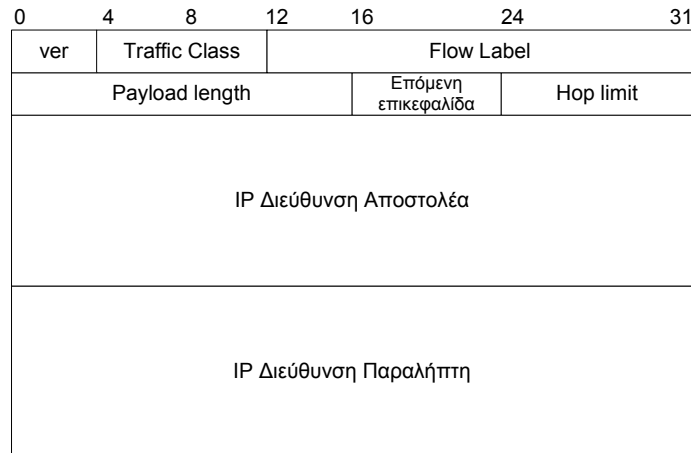


Σχήμα 13: Η IPv4 επικεφαλίδα σύμφωνα με την DiffServ αρχιτεκτονική

4.3.2.2 Ταξινόμηση με βάση την IPv6 επικεφαλίδα

Ομοίως στο IPv6 έχει οριστεί αντίστοιχο πεδίο για μαρκάρισμα κίνησης προκειμένου να δεχτεί ποιότητα εξυπηρέτησης. Το Σχήμα 14 παρουσιάζει τη δομή της βασικής επικεφαλίδας του IPv6. Ένα από τα πεδία, όπως φαίνεται παραπάνω ονομάζεται Τάξη Κυκλοφορίας (Traffic Class) και έχει μήκος 8 bits. Το πεδίο αυτό περιέχει το πεδίο DSCP (Differentiated Code Point) όπως το αντίστοιχο TOS του IPv4 και χρησιμοποιείται για μαρκάρισμα πακέτων προκειμένου να ανήκουν σε κάποια κλάση υπηρεσίας. Επίσης, το IPv6 πρωτόκολλο έχει εισάγει και ένα νέο πεδίο που ονομάζεται Ετικέτα Ροής (Flow Label) και έχει μήκος 20 bit. Αυτό χρησιμοποιείται για να γνωστοποιεί ποια πακέτα ανήκουν σε μια συγκεκριμένη ροή. Ένας κόμβος μπορεί να είναι η αφετηρία για πάνω από μια ροές ταυτόχρονα. Γι' αυτό η ετικέτα ροής σε

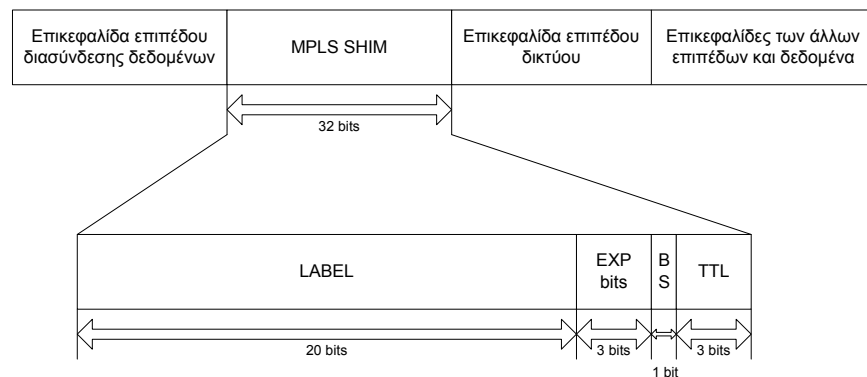
συνδυασμό με τη διεύθυνση της αφετηρίας μπορούν να αναγνωρίσουν μονοσήμαντα μια ροή. Γενικά πάντως τον Μάρτιο του 2004 εκδόθηκαν οι προδιαγραφές χρήσης του πεδίου αυτού [60].



Σχήμα 14: Η βασική IPv6 επικεφαλίδα

4.3.2.3 Ταξινόμηση με Βάση την MPLS Επικεφαλίδα

Το MPLS αποτελεί ένα σύγχρονο και δυναμικό πρωτόκολλο που τοποθετείται μεταξύ του επιπέδου 2 και του επιπέδου 3 του ISO/OSI μοντέλου. Το πρωτόκολλο αυτό τοποθετεί μια δική του επικεφαλίδα στα πακέτα (κάτω από την IP επικεφαλίδα) και προωθεί τα πακέτα με βάση τις πληροφορίες της ετικέτας αυτής. Συνεπώς, για να υποστηριχτεί Ποιότητα Υπηρεσίας σε MPLS δίκτυα είναι απαραίτητο το μαρκάρισμα να γίνεται στην MPLS επικεφαλίδα. Η διάταξη της MPLS ετικέτας φαίνεται στο Σχήμα 15.



Σχήμα 15: Η MPLS επικεφαλίδα

Η MPLS επικεφαλίδα περιλαμβάνει το πεδίο EXP (experimental), με μήκος 3 bits που χρησιμοποιείται για να καθοριστεί ο τύπος της μεταχείρισης. Ιδιαίτερη σημασία βέβαια πρέπει να δίνεται σε περιπτώσεις όπου πακέτα έχουν μαρκαρισμένο το DSCP πεδίο στο IP επίπεδο και εισέλθουν σε ένα MPLS διαχειριστικό τμήμα domain όπου η μεταγωγή γίνεται με έλεγχο της MPLS επικεφαλίδας αγνοώντας την IP επικεφαλίδα. Στο σημείο αυτό σχεδόν όλες οι εταιρίες παροχής δικτυακού εξοπλισμού έχουν προβλέψει και όταν ένα IP πακέτο εισέρχεται σε ένα MPLS διαχειριστικό τμήμα αντιγράφουν στο πεδίο EXP τα IP Precedence bits, δηλαδή τα 3 πιο σημαντικά bits του DSCP πεδίου. Βέβαια

υπάρχει και η πρόβλεψη να μπορεί ο διαχειριστής του δικτύου να μαρκάρει το πεδίο αυτό με άλλη τιμή (άσχετη με την τιμή του IP Precedence). Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι επειδή το EXP πεδίο έχει μήκος 3 bits, μόνο 8 διαφορετικές κλάσεις μπορούν να υποστηριχτούν σε ένα MPLS δίκτυο.

4.3.3 Μηχανισμοί μαρκαρίσματος, μέτρησης της κίνησης, μορφοποίησης και απόρριψης πακέτων

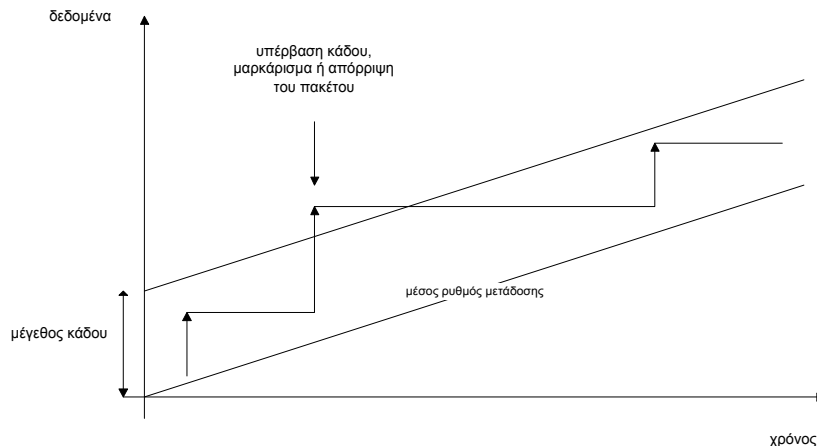
Γενικά οι μηχανισμοί μαρκαρίσματος των πακέτων, μέτρησης του προφίλ της κίνησης και μορφοποίησης ή απόρριψης της κίνησης ονομάζονται όλοι μαζί μηχανισμοί ελέγχου της κίνησης (traffic conditioning). Συνήθως οι μηχανισμοί αυτοί εφαρμόζονται στον αποστολέα, στα σημεία εισόδου της κίνησης σε κάποιο διαχειριστικό τμήμα. Εντούτοις, έχει αναφερθεί πως μπορεί ο μηχανισμός μέτρησης να βρίσκεται στον παραλήπτη με ορισμένες βέβαια προϋποθέσεις. Για να είναι αυτό εφικτό απαιτείται από το δίκτυο να υποστηρίζει σε όλους τους δρομολογητές του την λειτουργικότητα του ECN (Explicit Congestion Notification – Ρητή Ειδοποίηση Συμφόρησης) που είναι μια λειτουργία ελέγχου συμφόρησης. Στην πράξη το ECN είναι ένα bit στην επικεφαλίδα των πακέτων που τίθεται στην τιμή 1 όταν ανιχνεύσει στο δίκτυο συμφόρηση. Με τον τρόπο αυτό ενημερώνονται οι υπόλοιποι κόμβοι από τους οποίους περνά το συγκεκριμένο πακέτο πως σε κάποιο σημείο στο δίκτυο παρατηρήθηκε συμφόρηση. Αναλυτικότερα η λειτουργικότητα του ECN περιγράφεται στην ενότητα 4.3.5.1.

Οι μηχανισμοί ελέγχου της κίνησης που παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους της ενότητας υποθέτουν πως το μαρκάρισμα και η μέτρηση των πακέτων γίνεται στα σημεία εισόδου στο δίκτυο.

4.3.3.1 Αλγόριθμοι Κουβά με Κουπόνι (Token Bucket) και Κουβά με Διαρροή (Leaky Bucket)

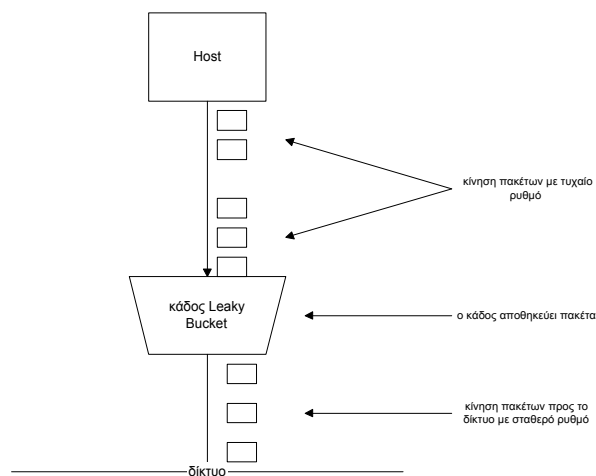
Ένας απλός μηχανισμός για τον έλεγχο της κίνησης, που διαχωρίζει τα πακέτα σε 2 κατηγορίες, σε αυτά που είναι εντός προφίλ και αντίστροφα σε όσα είναι εκτός προφίλ είναι η εφαρμογή κάποιου από τους αλγόριθμους «κουβά με κουπόνι» ή «κουβά με διαρροή». Η λειτουργία τους βασίζεται στην ίδια λογική αλλά επιτυγχάνουν διαφορετικά αποτελέσματα όπως θα παρουσιαστούν αμέσως.

Ο αλγόριθμος «κουβά με κουπόνι» καθορίζει 2 μεταβλητές, το μέσο ρυθμό αποστολής πακέτων r και το μέγιστο μέγεθος του κάδου b . Σε αυτόν παράγονται κουπόνια με ρυθμό ίσο με το μέσο ρυθμό που καθορίστηκε, και αν αυτά δεν χρησιμοποιούνται συσσωρεύονται στο κάδο μέχρι το πολύ b . Όταν φτάσει ένα πακέτο, αν υπάρχει ελεύθερο κουπόνι, τότε θεωρείται ότι το κουπόνι ανατίθεται στο πακέτο αυτό και το πακέτο χαρακτηρίζεται σαν εντός προφίλ. Αντίθετα αν φτάσει ένα πακέτο και δεν υπάρχει ελεύθερο κουπόνι, τότε το πακέτο μαρκάρεται ως εκτός προφίλ έτσι ώστε αργότερα να δεχτεί ανάλογη μεταχείριση, όπως εξυπηρέτηση με ελάχιστη ποιότητα ή ακόμη και απόρριψη ανάλογα με το ΣΔΕΠΥ (SLA) που έχει υπογραφεί. Συμπερασματικά λοιπόν ο αλγόριθμος «κουβά με κουπόνι» καθορίζει το μέσο ρυθμό μετάδοσης και επομένως επιτρέπει διακυμάνσεις του στιγμιαίου ρυθμού. Επίσης ο ρόλος του κάδου, που έχει μέγιστο μέγεθος b , είναι ιδιαίτερα σημαντικός αφού επιτρέπει να μαρκάρονται σαν κίνηση εντός προφίλ, εκρήξεις που δεν ξεπερνούν όμως την τιμή b .



Σχήμα 16: Η λειτουργία του μηχανισμού «κουβά με κουπόνι» (token bucket)

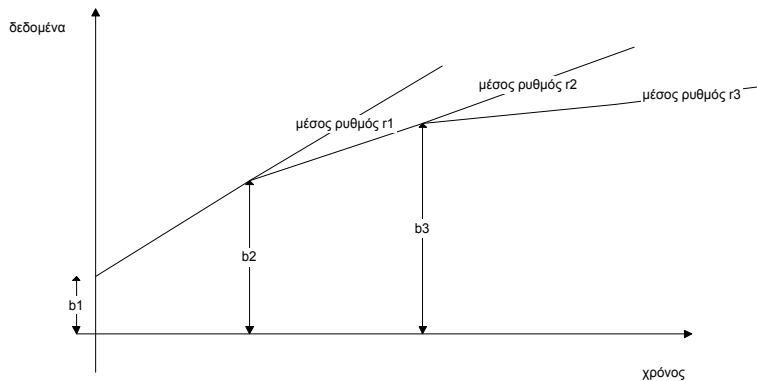
Παρόμοιος σε φιλοσοφία είναι και ο αλγόριθμος «κουβά με διαρροή» που καθορίζει αυστηρά το ρυθμό εξόδου των πακέτων από τον κάδο και είσοδό τους στο δίκτυο. Αν ο ρυθμός με τον οποίο καταφθάνουν τα πακέτα στον κάδο είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό με τον οποίο αυτά εξέρχονται από αυτόν, τότε συσσωρεύονται, μέχρι όμως μια τιμή που αποτελεί και το μέγιστο μέγεθος του κάδου. Ουσιαστικά λοιπόν ο αλγόριθμος αυτός οδηγεί τα πακέτα να εξέρχονται με σταθερό ρυθμό από τον κάδο και επιτρέπει αυτά να συσσωρεύονται στον κάδο εφόσον βέβαια υπάρχει διαθέσιμος χώρος. Τα πακέτα αυτά θεωρούνται ως νόμιμα (εντός προφίλ), ενώ αντίθετα όσα δεν εισέρχονται στον κάδο μαρκάρονται ως εκτός προφίλ και χειρίζονται σύμφωνα με ότι προβλέπει η συμφωνία που έχει υπογραφεί. Συμπερασματικά ο αλγόριθμος «κουβά με διαρροή» αποτελεί έναν πολύ καλό αλγόριθμο μορφοποίησης της κίνησης αφού σταθεροποιεί το ρυθμό μετάδοσης των πακέτων εξαλείφοντας εκρήξεις.



Σχήμα 17: Η λειτουργία του μηχανισμού «κουβά με διαρροή» (leaky bucket)

Επίσης, προκειμένου να επιτευχθεί ο έλεγχος της κίνησης σε περισσότερα από 2 επίπεδα τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιος από τους παραπάνω αλγορίθμους διαδοχικά. Έτσι τα πακέτα κατηγοριοποιούνται σε περισσότερα επίπεδα και μπορούν

στη συνέχεια τα πακέτα κάθε επιπέδου να μαρκάρονται και να εξυπηρετούνται ξεχωριστά.



Σχήμα 18: Ένας μηχανισμός κατηγοριοποίησης της κίνησης σε 3 επίπεδα

4.3.4 Αστυνόμευση (policing) της κίνησης

Η λειτουργία της αστυνόμευσης της κίνησης πραγματοποιείται επίσης στα σημεία εισόδου της κίνησης σε ένα DiffServ διαχειριστικό τμήμα. Η αστυνόμευση έχει την έννοια του ελέγχου της κίνησης με βάση ένα συγκεκριμένο προφίλ που έχει συμφωνηθεί και στη συνέχεια τη λήψη συγκεκριμένων αποφάσεων για τον χειρισμό της κίνησης που ξεφεύγει από το συμφωνηθέν προφίλ. Οι αποφάσεις αυτές μπορεί να είναι είτε μαρκάρισμα των πακέτων σε μικρότερη κλάση εξυπηρέτησης, να εξυπηρετηθούν χωρίς εγγυημένη ποιότητα ή τέλος στη χειρότερη περίπτωση να απορριφθούν. Οι αποφάσεις αυτές επίσης έχουν συμφωνηθεί εκ των προτέρων μεταξύ του πελάτη και του διαχειριστή του δικτύου (ΣΔΕΠΥ / SLA). Τα κριτήρια αστυνόμευσης που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι με βάση τη χρονική στιγμή στη διάρκεια της μέρας, βάση της πηγής και του προορισμού ή γενικότερα με βάση κάθε δεδομένο της κίνησης.

Παράλληλα η λειτουργία της μορφοποίησης της κίνησης που περιγράφηκε προηγουμένως επιτυγχάνει να διαμορφώνει την κίνηση εξαλείφοντας εκρήξεις και επίσης μπορεί να έχει προβλεφθεί τα πακέτα που κανονικά απορρίπτονται (πακέτα εκτός προφίλ) να αποθηκεύονται προσωρινά και να διοχετεύονται αργότερα στο δίκτυο και αφού έχει εξομαλυνθεί η εκρηκτικότητα της μετάδοσής τους. Επομένως είναι δυνατό οι μηχανισμοί αστυνόμευσης και μορφοποίησης της κίνησης να χρησιμοποιηθούν συνδυασμένα ώστε ένα μέρος των πακέτων που θεωρούνται εκτός προφίλ από τον μηχανισμό αστυνόμευσης να μορφοποιείται και να μεταδίδεται. Γενικά το πεδίο αυτό είναι ανοικτό και μπορούν να παρουσιαστούν διάφοροι μηχανισμοί που συνδυάζουν μηχανισμούς αστυνόμευσης και μορφοποίησης.

4.3.5 Διαχείριση ουρών

Το θέμα της διαχείρισης των ουρών αποτελεί ένα σημαντικό και κρίσιμο ζήτημα για το διαχειριστή του δικτύου προκειμένου να είναι σε θέση να προσφέρει ποιότητα υπηρεσίας στις διάφορες ροές όπως έχει συμφωνήσει. Επίσης η διαχείριση των ουρών είναι μια βασική προϋπόθεση για τη λειτουργία του μηχανισμού της χρονοδρομολόγησης που θα περιγραφεί στην επόμενη ενότητα. Προκειμένου το δίκτυο να ικανοποιήσει όλες τις εγγυήσεις παροχής ποιότητας υπηρεσίας πρέπει να χειρίζεται τα πακέτα κάθε κλάσης ποιότητας σε ξεχωριστή ουρά ώστε να μπορεί να εφαρμόζει τον

κατάλληλο μηχανισμό χρονοδρομολόγησης. Σε αντίθετη περίπτωση δεν είναι δυνατό ο μηχανισμός χρονοδρομολόγησης να διαχωρίσει τις διαφορετικές κλάσεις ποιότητας και να προσφέρει επομένως τις κατάλληλες εγγυήσεις στις αντίστοιχες ροές. Πιο αναλυτικά, αναφέροντας ένα παράδειγμα, αν δεν γίνει διαχωρισμός των κλάσεων ποιότητας σε διαφορετικές ουρές, θα συσσωρευτούν στην ίδια ουρά ροές με διαφορετικές απαιτήσεις με αποτέλεσμα είτε πακέτα να απορρίπτονται (αν γεμίσει η ουρά) είτε να παρουσιάζεται μεγάλη καθυστέρηση. Συνέπεια όλων αυτών είναι το δίκτυο να μην μπορεί να παρέχει τις καλύτερες εγγυήσεις και αντίστοιχα η απόδοση που επιτυγχάνουν οι εφαρμογές των πελατών να υποβαθμίζεται σημαντικά.

Οι κατεξοχήν λειτουργίες του διαχειριστή των ουρών παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω και επιγραμματικά συνοψίζονται στην σωστή λειτουργία των ουρών και στη χρήση μηχανισμών για τον έλεγχο τους.

- Είσοδος ενός πακέτου στη σωστή ουρά με βάση τη κατηγοριοποίηση του πακέτου από τον αντίστοιχο μηχανισμό.
- Απόρριψη ενός πακέτου στην περίπτωση που η ουρά που πρέπει να εισαχθεί είναι γεμάτη.
- Απομάκρυνση ενός πακέτου από την κορυφή της ουράς όταν το ζητήσει ο χρονοδρομολογητής προκειμένου να μεταδοθεί στον επόμενο κόμβο.
- Έλεγχος της κατάστασης της ουράς, δηλαδή της μέσης πληρότητάς της και ανάληψη πρωτοβουλιών ανάλογα με αυτή την τιμή, με στόχο τη διατήρηση της μέσης πληρότητας σε χαμηλά επίπεδα. Οι πρωτοβουλίες που μπορεί να αναλάβει είναι οι ακόλουθες:
 - Αφαίρεση ενός πακέτου από την ουρά και απόρριψή του στην περίπτωση που η ουρά έχει αρχίσει να γεμίζει.
 - Μαρκάρισμα ενός πακέτου όταν η ουρά παρουσιάζει μεγάλη πληρότητα (ECN).

Γενικά λοιπόν παρατηρείται ότι εκτός από τις κλασικές λειτουργίες υποδοχής και αποχώρησης ενός πακέτου, ο διαχειριστής μιας ουράς ενδιαφέρεται και την αποδοτική λειτουργία της που εξασφαλίζεται κυρίως μέσα από τη διατήρηση σε χαμηλά επίπεδα της μέσης πληρότητάς της. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι διατηρώντας χαμηλά τη μέση πληρότητα τότε οι ουρές μπορούν να απορροφούν εύκολα εκρήξεις της κίνησης. Αντίθετα, αν η μέση πληρότητα ήταν υψηλή τότε πλήθος πακέτων κατά τη διάρκεια εκρήξεων θα απορρίπτονταν. Επίσης, η μικρή πληρότητα μιας ουράς συνεπάγεται πως η μέση καθυστέρηση εξυπηρέτησης θα παραμένει χαμηλή, γεγονός που είναι ιδιαίτερα επιθυμητό.

Το θέμα της διαχείρισης των ουρών γίνεται ακόμα επιτακτικότερο και πιο κρίσιμο ειδικά σε καταστάσεις συμφόρησης του δικτύου όπου πρέπει πλέον οι ουρές να αντιδράσουν σωστά και άμεσα. Το κυριότερο πρόβλημα είναι πως να προσδιοριστούν συγκεκριμένες στρατηγικές αποφάσεις για την ανάληψη δράσεων. Μια από αυτές τις αποφάσεις είναι πότε αποφασίζεται να απορρίπτονται πακέτα, δηλαδή αν απορρίπτονται πακέτα μόλις φτάσουν στην ουρά ή επιτρέπεται να απορρίπτονται πακέτα που βρίσκονται μέσα στην ουρά προκειμένου να εξυπηρετηθούν άλλα, μεγαλύτερης προτεραιότητας. Επίσης κρίσιμη απόφαση είναι με βάση ποια κριτήρια και πληροφορίες απορρίπτονται τα πακέτα, αφού μπορεί να κρατούνται γενικές πληροφορίες για όλη την κίνηση ή αντίθετα για κάθε είδος κίνησης ξεχωριστά.

Συμπερασματικά, οι παραπάνω στρατηγικές αποφάσεις για τη λειτουργία της διαχείρισης ουρών επηρεάζουν άμεσα την απόδοση των ίδιων των ουρών και κατ' επέκταση όλου του δικτύου. Γενικό στόχο αποτελεί η δίκαια διαχείριση των ουρών για όλες τις κλάσεις ποιότητας χωρίς σε καμία περίπτωση να παραβιάζονται οι συμφωνίες που έχουν υπογραφεί με τους πελάτες του δικτύου.

Επιστρέφοντας στο θέμα της συμφόρησης πρέπει να τονιστεί πως η ύπαρξη συμφόρησης στο δίκτυο συνεπάγεται και αύξηση του μέσου μεγέθους των ουρών. Για την αποφυγή της συμφόρησης υπάρχουν συγκεκριμένοι μηχανισμοί από το πρωτόκολλο TCP στο επίπεδο μεταφοράς σύμφωνα με το OSI μοντέλο. Παράλληλα με αυτούς, οι διαχειριστές έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν και άλλους μηχανισμούς που θα παρουσιαστούν παρακάτω. Γενικά οι μηχανισμοί αυτοί προσπαθούν να βελτιώσουν το πρόβλημα της συμφόρησης που παρατηρείται στο δίκτυο και οφείλεται σε αποστολή πακέτων με ρυθμό υψηλότερο από αυτό που μπορεί να αντιμετωπίσει το δίκτυο και δεν οφείλεται σε μικροεκρήξεις παροδικού χαρακτήρα. Οι μηχανισμοί που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο διαχειριστής του δικτύου είναι:

- Απόρριψη των πακέτων. Ο μηχανισμός αυτός έχει διπλό αποτέλεσμα καθώς αφενός μειώνει άμεσα το φόρτο του δικτύου και αφετέρου ενημερώνει άμεσα το πρωτόκολλο TCP για συμφόρηση. Αυτό επιτυγχάνεται αφού το TCP θεωρεί ότι κάθε απώλεια πακέτου οφείλεται σε συμφόρηση και στη συνέχεια ενεργοποιεί αυτόματα το μηχανισμό του για την αποφυγή συμφόρησης.
- Μαρκάρισμα των πακέτων. Η δεύτερη αυτή μέθοδος είναι λιγότερο καταστροφική από την πρώτη αφού δεν απορρίπτει πακέτα αλλά και λιγότερο άμεσα αφού το δίκτυο δεν «αποφορτίζεται» άμεσα.

Στη συνέχεια περιγράφονται τεχνικές και μηχανισμοί που ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία.

4.3.5.1 Ρητή Ειδοποίηση Συμφόρησης (Explicit Congestion Notification - ECN)

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στα 2 αχρησιμοποιήτα bits του πεδίου DSCP (DiffServ Code Point), τα οποία πλέον ονομάζονται ECN Capable Transport (ECT) και Congestion Experienced (CE) αντίστοιχα. Αυτός ο μηχανισμός ελέγχεται από τα πρωτόκολλα του επιπέδου μεταφοράς και η λειτουργία του είναι απλή. Τα 2 αυτά bits επιτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες:

- Το bit ECT τίθεται στην τιμή 1 αν τα άκρα μιας ροής που μεταδίδεται κατανοούν την λειτουργία του bit CE και κατ' επέκταση του όλου αυτού μηχανισμού.
- Το bit CE τίθεται στην τιμή 1 όταν κάποιος δρομολογητής επιθυμεί να ειδοποιήσει για συμφόρηση και το bit ECT είναι ενεργοποιημένο.

Συνεπώς σε κάθε πακέτο το ECT είναι 1 όταν και οι 2 άκρες της ροής κατανοούν τη λειτουργία του μηχανισμού. Κάθε δρομολογητής αν θέλει να ειδοποιήσει για συμφόρηση θέτει το CE στην τιμή 1 αν το ECT είναι ενεργοποιημένο αλλιώς απορρίπτει το πακέτο. Ουσιαστικά με τη μέθοδο αυτή ειδοποιούνται τα πρωτόκολλα με μη καταστροφικό τρόπο αν κατανοούν τη μέθοδο αυτή και σε αντίθετη περίπτωση (δεν καταλαβαίνουν τη μέθοδο) κατανοούν τη συμφόρηση από την απόρριψη του πακέτου. Ένα κρίσιμο σημείο στη μέθοδο αυτή είναι τότε ο δρομολογητής αποφασίζει να ειδοποιήσει για συμφόρηση, αφού σε περιπτώσεις παροδικής συμφόρησης λόγω

μικροεκρήξεων της κίνησης, δεν είναι αποδοτικό να ειδοποιείται το πρωτόκολλο καθώς τότε θα υποβαθμιστεί η απόδοση του δικτύου χωρίς λόγο.

4.3.5.2 Μηχανισμός RED (Τυχαία Πρώιμη Ανίχνευση - Random Early Detection)

Ένας δεύτερος μηχανισμός που ειδοποιεί τα πρωτόκολλα για ενδεχόμενη συμφόρηση είναι ο RED. Στους μηχανισμούς αποφυγής συμφόρησης σημαντικό πρόβλημα αποτελεί ο καθορισμός πότε θα αποστέλλεται ειδοποίηση για συμφόρηση και πόσο έντονη αυτή θα είναι. Παράλληλα το θέμα αυτό σχετίζεται και με την διαμόρφωση των ουρών, πως έχουν δηλαδή οριστεί ώστε να είναι ξεχωριστές για κάθε ροή ή επιτρέπεται aggregates να περνούν από την ίδια ουρά.

Με το θέμα αυτό ασχολήθηκε για αρκετά χρόνια η IRTF (Internet Research Task Force – Ερευνητική Ομάδα Εργασίας Διαδικτύου) που κατέληξε να προτείνει τον μηχανισμό RED ο οποίος στέλνει ειδοποιήσεις για συμφόρηση τυχαία και η συχνότητα με την αυτές στέλνονται εξαρτάται από τη μέση πληρότητα της ουράς. Βασική παράμετρος με βάση την οποία αποφασίζει ο μηχανισμός αυτός είναι η μέση πληρότητα της ουράς. Ο τρόπος με τον οποίο ειδοποιεί τα πρωτόκολλα για συμφόρηση είναι έμμεσος καθώς αυτό γίνεται με απόρριψη πακέτων. Σε κάθε ουρά που εφαρμόζεται ο RED ορίζονται τρία μεγέθη:

- Το ελάχιστο κατώφλι (min threshold)
- Το μέγιστο κατώφλι (max threshold)
- Η μέγιστη πιθανότητα (max possibility)

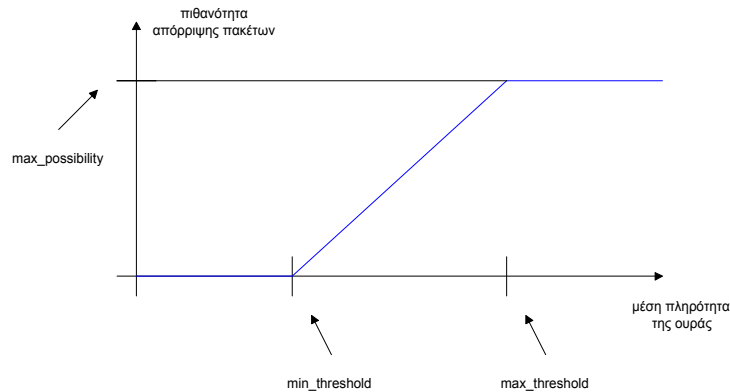
Έτσι ο μηχανισμός λειτουργεί ως εξής:

- Εάν η μέση πληρότητα είναι μικρότερη από την τιμή min_threshold τότε όλα τα πακέτα διέρχονται κανονικά και δεν έχουμε καμία απόρριψη.
- Εάν η μέση πληρότητα είναι μεγαλύτερη από την τιμή min_threshold και μικρότερη από την τιμή max_threshold τότε η πιθανότητα απόρριψης αυξάνει γραμμικά από 0 έως την τιμή max_possibility.
- Τέλος αν η μέση πληρότητα ξεπερνά την τιμή του max_threshold, τότε όλα τα πακέτα απορρίπτονται.

Οι τρεις αυτές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρίσκεται μια ουρά ονομάζονται αντίστοιχα κανονική, αποφυγής συμφόρησης και ελέγχου συμφόρησης. Κρίσιμο παράγοντα για τη λειτουργία του αλγορίθμου αποτελεί η σωστή εκτίμηση της μέσης πληρότητας της ουράς. Αυτή υπολογίζεται κάθε φορά που ένα πακέτο εισέρχεται στην ουρά, και ο υπολογισμός της γίνεται με τη χρήση ενός κατωπερατού φίλτρου. Επίσης ο RED έχει προβλέψει και την περίπτωση όπου να μεσολαβήσει μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ 2 απορρίψεων πακέτων και εν τω μεταξύ να έχει παρουσιαστεί συμφόρηση. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί εξαιτίας του γεγονότος ότι η απόρριψη πακέτων γίνεται πιθανοτικά. Λύση σε αυτό το θέμα δίνει ένας μετρητής που χρησιμοποιείται και μετρά τον αριθμό των πακέτων που πέρασαν από την ουρά χωρίς απόρριψη. Έτσι η πιθανότητα απόρριψης πολλαπλασιάζεται τώρα και με την ποσότητα $1/1-c$ όπου c ο μετρητής αυτός.

Γενικά ο μηχανισμός αυτός είναι ιδιαίτερα αποδοτικός, αλλά παρουσιάζει σημαντική δυσκολία στη ρύθμιση των παραμέτρων του. Επίσης, πρέπει να επιτρέπει να περνούν μικροεκρήξεις χωρίς απόρριψη πακέτων, ενώ αντίθετα θα πρέπει να αντιδρά άμεσα σε

περιπτώσεις παρατεταμένης αύξησης της μέσης πληρότητας της ουράς. Τέλος προκειμένου να είναι πραγματικά αποδοτικός ο αλγόριθμος πρέπει πραγματικά να απορρίπτει πακέτα (άρα και να ειδοποιεί για συμφόρηση) από τις ροές που δημιουργούν το πρόβλημα.

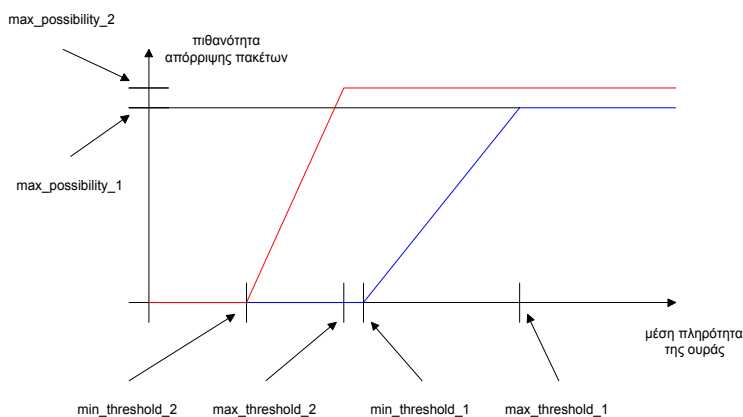


Σχήμα 19: Η λειτουργία του μηχανισμού RED

Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν διάφορες παραλλαγές του RED που προσπαθούσαν να εξαλείψουν ορισμένα μειονεκτήματά του. Τέτοιες ήταν ο Προσαρμοστικός (Adaptive) και ο Ροής (Flow) RED. Πάντως κυριότερη παραλλαγή του αποτελεί ο Weighted RED που περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

4.3.5.3 Μηχανισμός Ζυγισμένος (Weighted) RED

Ο ζυγισμένος RED αποτελεί μια σημαντική παραλλαγή του κλασσικού RED μηχανισμού αφού επιτρέπει να συμπεριφέρεται η ουρά με διαφορετικό τρόπο (εφαρμόζοντας διαφορετικά κριτήρια) στα πακέτα μιας ροής. Στην πραγματικότητα δίνει τη δυνατότητα να μεταχειρίζεται τα πακέτα της ίδιας ροής με διαφορετικό τρόπο μεταξύ τους ανάλογα βέβαια με κάποιο κριτήριο.



Σχήμα 20: Η λειτουργία του μηχανισμού ζυγισμένος (Weighted) RED

Ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί όπως ο απλός RED με τη διαφορά ότι σε αυτόν ορίζονται περισσότερες τριάδες μεταβλητών (Min_threshold, max_threshold, max_possibility), ίσες σε αριθμό με τον αριθμό των διαφορετικών τρόπων χειρισμού

πακέτων που ζητείται. Ένα παράδειγμα αποτελεί να οριστούν 2 επίπεδα τιμών, με το δεύτερο αυστηρότερο από το πρώτο και να διαχειρίζονται με βάση το πρώτο τα πακέτα που καταφθάνουν κανονικά στην ουρά, ενώ αντίθετα με το δεύτερο επίπεδο τιμών τα πακέτα που είχαν μαρκαριστεί εκτός προφίλ σε προηγούμενο δρομολογητή.

4.3.6 Χρονοδρομολόγηση

Το επόμενο σημαντικό ζήτημα στη προσπάθεια ενός δικτύου να παρέχει εγγυήσεις ποιότητας είναι το θέμα της χρονοδρομολόγησης. Αναλύοντας της έννοια αυτή, σημαίνει ο τρόπος με τον οποίο χειρίζεται το δίκτυο τις ουρές, δηλαδή ποια ουρά στέλνει δεδομένα και για πόσο χρόνο. Ουσιαστικά ο μηχανισμός αυτός έχει στην διάθεσή του το σύνολο των ουρών που έχει ένας δρομολογητής και αποφασίζει με ποια σειρά θα μεταδώσουν πακέτα και για πόσο διάστημα η καθεμία.

Ο ρόλος του χρονοδρομολογητή είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για ένα δίκτυο όταν επιθυμεί να προσφέρει και να παρέχει εγγυήσεις ποιότητας. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι η λειτουργία του δρομολογητή καθορίζει την καθυστέρηση σε κάθε ουρά και τον τρόπο που διαμοιράζεται η γραμμή μετάδοσης μεταξύ των ουρών. Στην πραγματικότητα ο μηχανισμός του χρονοδρομολογητή είναι αυτός που καθορίζει το είδος της ποιότητας που παρέχει το δίκτυο. Οι παράμετροι αναλυτικά που μπορεί και επηρεάζει είναι:

- Η χωρητικότητα κάθε ροής, αφού μπορεί και ελέγχει κάθε πότε η ροή αυτή θα μεταδίδει.
- Την καθυστέρηση κάθε ροής, αφού ελέγχει όπως αναφέρθηκε παραπάνω το ρυθμό με τον οποίο κάθε ροή μεταδίδει, άρα καθορίζει και το χρονικό διάστημα που τα πακέτα παραμένουν στην ουρά.
- Επίσης ο χρονοδρομολογητής καθορίζει και την διακύμανση καθυστέρησης.

Γενικά λοιπόν αυτοί είναι οι κύριοι παράμετροι που μπορεί να επηρεάσει ο χρονοδρομολογητής και συνεπώς προδιαγράφει την ποιότητα υπηρεσίας που μπορεί να παρέχει το δίκτυο. Επομένως εξαιτίας της σπουδαιότητας του μηχανισμού αυτού και του γεγονότος ότι οι μηχανισμοί χρονοδρομολόγησης που υπάρχουν είναι αρκετοί, είναι αναγκαίο η επιλογή του καταλληλότερου να γίνεται προσεκτικά και με βάση ορισμένα κριτήρια. Είναι απαραίτητο στην επιλογή του μηχανισμού χρονοδρομολόγησης να ελέγχεται πρώτα το είδος των εγγυήσεων που παρέχει και ο βαθμός επιτυχίας του, έτσι ώστε να ταιριάζει απόλυτα στη φύση των εφαρμογών που θα υποστηρίξει.

Στη συνέχεια της ενότητας παρουσιάζονται ορισμένοι τέτοιοι μηχανισμοί, ο τρόπος λειτουργίας τους, το είδος των εγγυήσεων που παρέχουν και τα μειονεκτήματά τους.

4.3.6.1 FIFO

Ο πρώτος μηχανισμός χρονοδρομολόγησης είναι ο λεγόμενος FIFO και είναι ο παλαιότερος που υπάρχει. Ο μηχανισμός αυτός υποθέτει ότι υπάρχει μόνο 1 ουρά και η λογική του είναι ότι εξέρχεται από την ουρά το πρώτο πακέτο που μπήκε, δηλαδή κάθε φορά το παλαιότερο πακέτο μέσα στην ουρά. Ο μηχανισμός αυτός όπως γίνεται σαφές αντιμετωπίζει όλα τα πακέτα όμοια και δεν χρησιμοποιεί καμία έννοια προτεραιότητας.

Ο μηχανισμός αυτός έχει ως πλεονέκτημά του μόνο την απλότητα του και μπορεί να βρει εφαρμογή σε περιπτώσεις γραμμών μετάδοσης πολύ μεγάλης ταχύτητας όπου δεν

υπάρχει καθόλου συμφόρηση, και ειδικότερα όταν η χρησιμοποίηση της γραμμής είναι πολύ χαμηλή. Αντιθέτως σε περιπτώσεις συμφόρησης έχει πολύ κακή απόδοση. Επίσης αντίστοιχα κακή απόδοση παρουσιάζει και στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν εφαρμογές με καταγισμούς που μπορεί να καταλαμβάνουν όλη την ουρά και να απορρίπτονται πακέτα άλλων εφαρμογών. Γενικά ο μηχανισμός αυτός είναι απλός και δεν ενδείκνυται για δρομολογητές που πρέπει να παρέχουν εγγυήσεις ποιότητας.

4.3.6.2 Μηχανισμός με Ουρές Προτεραιότητας (Priority Queueing - PQ)

Ένας δεύτερος μηχανισμός χρονοδρομολόγησης είναι ο Μηχανισμός με Ουρές Προτεραιότητας (PQ) ο οποίος σε αντίθεση με το μηχανισμό FIFO επιτρέπει διαφορετικές προτεραιότητες και μπορεί να χειριστεί πλήθος ουρών. Η λογική του είναι ότι μια ουρά έχει αυστηρή προτεραιότητα και πάντοτε εξυπηρετείται όταν έχει πακέτα σε βάρος των υπολοίπων ουρών. Ουσιαστικά λοιπόν ο μηχανισμός αυτός συμπεριφέρεται προνομιακά στην ουρά υψηλής προτεραιότητας αφού πάντοτε εκείνη μεταδίδει άμεσα και υποβαθμίζει τις υπόλοιπες.

Στην πράξη, τα πακέτα ανάλογα με την ταξινόμηση που έχουν δεχτεί εισέρχονται στην αντίστοιχη ουρά. Τότε ο PQ ελέγχει πάντοτε τις ουρές με τη σειρά, αρχίζοντας από την ουρά μεγαλύτερης προτεραιότητας και προχωρώντας προς την ουρά μικρότερης προτεραιότητας έως ότου βρει μια ουρά που έχει πακέτο και το μεταδίδει. Στη συνέχεια επαναλαμβάνει ξανά την ίδια διαδικασία.

Ο μηχανισμός αυτός εισάγει στο δίκτυο ένα είδος αδικίας καθώς ανάλογα με το ρυθμό που καταφτάνουν πακέτα στην ουρά υψηλής προτεραιότητας, μπορεί οι άλλες ουρές είτε να εξυπηρετούνται ελάχιστα είτε ακόμη και καθόλου. Το τελευταίο μπορεί να συμβεί αν ο ρυθμός με τον οποίο εισέρχονται πακέτα στην ουρά υψηλής προτεραιότητας ισούται με το ρυθμό μετάδοσης πάνω στο σύνδεσμο. Αυτό μπορεί να διορθωθεί είτε με αστυνόμευση, είτε εφαρμόζοντας μορφοποίηση στην κίνηση υψηλής προτεραιότητας σε κάποιο προηγούμενο σημείο της διαδρομής.

Επικεντρώνοντας τώρα στα θετικά σημεία αυτού του μηχανισμού πρέπει να αναφερθεί ότι μπορεί και προσφέρει πολύ χαμηλή καθυστέρηση στα πακέτα που ανήκουν στην ουρά υψηλής προτεραιότητας. Σε αυτή την περίπτωση αν η ουρά αυτή δεν έχει πακέτα, μόλις θα φτάσει ένα, τότε θα περιμένει μέχρι να μεταδοθεί το πακέτο που μεταδίδεται εκείνη τη στιγμή. Στη περίπτωση που η ουρά έχει πακέτα θα περιμένει μέχρι να σταλούν τα προηγούμενα, κάτι που εξαρτάται από το μέγεθος αυτών και το εύρος ζώνης του συνδέσμου.

4.3.6.3 Τροποποιημένος Ελλειμματικός (Modified Deficit) Round Robin (M-DRR)

Στη συνέχεια ένας άλλος μηχανισμός χρονοδρομολόγησης, με πολλές επιλογές χρήσης και ιδιαίτερα αποδοτικός είναι ο M-DRR. Αυτός στηρίζεται στη λογική του Ελλειμματικού (Deficit) Round Robin (DRR) και του Round Robin (RR), που περιγράφονται εν συντομία. Ο Round Robin αλγόριθμος χειρίζεται όλες τις ουρές όμοια και τις ελέγχει κυκλικά. Σε όποια βρει πακέτο στην αναμονή το μεταδίδει και συνεχίζει τον κυκλικό έλεγχο. Η μέθοδος συνεπώς αυτή έχει το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να παρέχει εγγυήσεις για την καθυστέρηση. Η μέθοδος DRR αποτελεί μια παραλλαγή της απλής μεθόδου Round Robin, όπου τώρα οι ουρές ελέγχονται ξανά κυκλικά αλλά προσπαθούν να διατηρούν σταθερό το μέσο ρυθμό μετάδοσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακόλουθη τεχνική, σε κάθε ουρά ορίζονται 2 ποσότητες, το κβάντο Q και το

έλλειμμα D. Το κβάντο είναι ο μέγιστος αριθμός bytes που μπορεί να μεταδώσει η ουρά κάθε φορά. Αν μεταδώσει λιγότερα τότε η διαφορά αποθηκεύεται στο έλλειμμα και προστίθεται στην μέγιστη τιμή bytes που θα μεταδώσει την αμέσως επόμενη φορά.

Ο μηχανισμός M-DRR λειτουργεί ουσιαστικά όπως ο DRR με τη διαφορά ότι εισάγει και μια ουρά προτεραιότητας ώστε να επιτυγχάνει χαμηλή καθυστέρηση. Οι υπόλοιπες ουρές εξυπηρετούνται με τη σειρά σύμφωνα με τον μηχανισμό DRR και η ουρά προτεραιότητας είτε εξυπηρετείται εναλλάξ με τις άλλες είτε κατά απόλυτη προτεραιότητα. Υπάρχουν 2 παραλλαγές του M-DRR όπου το σημείο που διαφέρουν είναι πόσο συχνά εξυπηρετείται η ουρά προτεραιότητας. Αναλυτικότερα αυτές είναι:

- **Εναλλακτική Προτεραιότητα (Alternate Priority).** Στη μέθοδο αυτή η ουρά προτεραιότητας εξυπηρετείται εκ περιτροπής με τις υπόλοιπες ουρές, οι οποίες εξυπηρετούνται με τη σειρά. Για παράδειγμα, εξυπηρετείται η ουρά προτεραιότητας, ύστερα η πρώτη από τις άλλες, μετά πάλι η ουρά προτεραιότητας, ύστερα η δεύτερη κ.ο.κ.
- **Αυστηρή Προτεραιότητα (Strict Priority).** Αντίθετα στη μέθοδο αυτή η ουρά προτεραιότητας εξυπηρετείται κατά απόλυτη προτεραιότητα για όσο διάστημα έχει πακέτα προς μετάδοση. Όταν δεν έχει, εξυπηρετούνται οι υπόλοιπες σύμφωνα με τον DRR μηχανισμό.

Γενικά λοιπόν η μέθοδος Τροποποιημένου Ελλειμματικού Round Robin είναι ευέλικτη και αποδοτική μόνο όμως σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει μεγάλη συμφόρηση. Γι' αυτό ακριβώς το λόγο προτείνεται να χρησιμοποιείται παράλληλα με ένα μηχανισμό διαχείρισης ουρών που προλαμβάνει τη συμφόρηση, όπως αυτοί που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

4.3.6.4 Μέθοδος Δίκαιης Ουράς (Fair Queueing) – Ζυγισμένης Δίκαιης Ουράς (Weighted Fair Queueing)

Η μέθοδος «δίκαιης ουράς» θεωρείται ως μια καλή παραλλαγή της μεθόδου Round Robin, όπου πλέον ο στόχος είναι να εξυπηρετεί όλες τις ουρές με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιείται μακροπρόθεσμα ο στόχος για ίσο μέσο εύρος ζώνης. Το ιδανικό για να ικανοποιηθεί ο στόχος είναι αν γινόταν η διαμοίραση σε επίπεδο bit (θα έστελνε η κάθε ουρά για σταθερό χρόνο $1/N$, ιδανική διαμοίραση χρόνου), οπότε μπορούσε να μετέδιδε από συγκεκριμένο αριθμό bits από κάθε ουρά, επιτυγχάνοντας πλέον ίσο μέσο εύρος ζώνης. Όμως επειδή η χρονοδρομολόγηση γίνεται σε επίπεδο πακέτου, το αποτέλεσμα είναι πλέον προσεγγιστικό και μακροπρόθεσμο. Ουσιαστικά, η μέθοδος αυτή χρονοδρομολογεί τις μεταδόσεις πακέτων από τις ουρές με την σειρά με τη σειρά με την οποία θα είχαν καταφτάσει στο άλλο άκρο της γραμμής μετάδοσης αν είχε χρησιμοποιηθεί ο ιδανικός χρονοδρομολογητής διαμοίρασης χρόνου. Η μέθοδος «δίκαιης ουράς» έχει 2 συγκεκριμένα μειονεκτήματα:

- Για να επιτύχει το στόχο της αυτή η μέθοδος χρονοδρομολόγησης πρέπει να σημαδεύει τα πακέτα και να υπολογίζει τον αναμενόμενο χρόνο αναχώρησής τους. Όμως, οι υπολογισμοί αυτοί είναι αρκετοί και χρονοβόροι με αποτέλεσμα τελικά να γίνονται προσεγγιστικά, γεγονός που οδηγεί σε βραχυπρόθεσμες αδικίες μερικές φορές.
- Η μέθοδος «δίκαιης ουράς» είναι σχεδιασμένη να εφαρμόζεται στη περίπτωση ξεχωριστών ουρών για κάθε ροή προκειμένου να επιτυγχάνει να μην επηρεάζεται

κάθε ροή από την ύπαρξη της άλλης. Η λογική αυτή όμως δεν μπορεί να λειτουργήσει με το μοντέλο της συγκέντρωσης ροών (aggregate classes).

Μια σημαντική παραλλαγή της μεθόδου «δίκαιης ουράς» αποτελεί η μέθοδος «ζυγισμένης δίκαιης ουράς». Στόχος της μεθόδου αυτής είναι να αποδίδει βάρη σε κάθε ουρά επιτρέποντας να διαφοροποιείται το μέσο εύρο ζώνης που κάθε μια αντιλαμβάνεται. Αν για παράδειγμα υπάρχουν N ουρές με πακέτα προς μετάδοση τότε κάθε ουρά M εξυπηρετείται έτσι ώστε να λαμβάνει ποσοστό W_M από το συνολικό ρυθμό της γραμμής. Σε περίπτωση που κάποιες από τις ουρές είναι άδειες τότε το επιπλέον εύρος ζώνης (που θα έπαιρναν οι ουρές αυτές) μοιράζεται αναλογικά στις υπόλοιπες ουρές με βάση πάντοτε τα βάρη τους.

4.3.7 Υπηρεσίες DiffServ

4.3.7.1 EF-βασισμένες (EF-based) υπηρεσίες

Οι υπηρεσίες βασισμένες σε EF έχουν σαν στόχο να προσομοιώσουν τις εικονικές μισθωμένες γραμμές για την εξυπηρέτηση κίνησης που προέρχεται από συνένωση ροών, όπως προκύπτει από την εφαρμογή των μηχανισμών ταξινόμησης και μαρκαρίσματος. Οι υπηρεσίες αυτές απευθύνονται σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου ευαίσθητες στην διακύμανση καθυστέρησης και στην απώλεια πακέτων που απαιτούν εγγυήσεις χωρητικότητας. Ο ορισμός τους βασίζεται στα ακόλουθα σημεία:

- Στον καθορισμό της διεπαφής μεταξύ DiffServ διαχειριστικών τμημάτων (DiffServ domains) έτσι ώστε και αυτό να εμφανίζει συμπεριφορά βασισμένη σε EF.
- Στον περιορισμό της χωρητικότητας που αφιερώνεται στην υπηρεσία για να αποφευχθεί αποκλεισμός της κίνησης καλύτερης προσπάθειας.
- Σε μια αρχική στατική ρύθμιση των δικτυακών συσκευών για την παροχή της υπηρεσίας.
- Στην ελαχιστοποίηση των μηχανισμών που χρησιμοποιούνται ανά κόμβο.

Τα παραπάνω σημεία αποτελούν ένα συνοπτικό ορισμό των EF-βασισμένων υπηρεσιών. Μια από αυτές είναι η IP Premium και παρέχεται σε συνενώσεις IP κίνησης. Οι μηχανισμοί που απαιτούνται για την υλοποίηση της είναι αρχικά ένας μηχανισμός αποδοχής κλήσης, όπου συνήθως η αποδοχή κλήσης γίνεται με βάση τις ΣΔΕΠΥ. Επίσης απαιτείται ένας μηχανισμός ταξινόμησης σε συνενώσεις όπου γίνεται με βάση τις διευθύνσεις πηγής και προορισμού. Σύμφωνα με τον ορισμό της IP Premium υπηρεσίας αν τα πακέτα περιέχουν διευθύνσεις που εξυπηρετούνται από την υπηρεσία αυτή εντάσσονται στο aggregate της κίνησης στην διεπαφή εισόδου του δρομολογητή. Στην συνέχεια και αφού απομακρύνονται τα πακέτα από την πηγή η ταξινόμηση γίνεται αποκλειστικά με βάση το DSCP στην επικεφαλίδα του πακέτου. Η τιμή για το DSCP που συνιστάται για την υπηρεσία IP Premium είναι η τιμή 101110. Τέλος αν εμφανίζονται κοντά στην πηγή τους πακέτα να περιέχουν το IP premium DSCP αλλά μη συμβατό ζεύγος πηγής προορισμού απορρίπτονται σαν μη νόμιμα.

Η συνένωση IP Premium ροής που μπαίνει σε ένα DiffServ διαχειριστικό τμήμα αρχικά υπόκειται σε μηχανισμό αστυνόμευσης. Αν η ροή βρίσκεται στο διαχειριστικό τμήμα του χρήστη, τότε η αστυνόμευση γίνεται με βάση έναν «κουβά κουπονιού» και τις παραμέτρους της ΣΔΕΠΥ μεταξύ του χρήστη και του δικτύου του πρόσβασης. Επίσης σε αυτό το σημείο ο χρήστης μπορεί να μορφοποιήσει και την κίνηση του αφού η υπηρεσία αυτή δεν επιτρέπει μορφοποίηση σε άλλο σημείο του δικτύου. Η διαδικασία

της μορφοποίησης θεωρείται σημαντική καθώς το μέγεθος της μνήμης προσωρινής αποθήκευσης στις δικτυακές συσκευές κατά μήκος του μονοπατιού που ακολουθείται είναι περιορισμένο με αποτέλεσμα αν δεν έχει μορφοποιηθεί επαρκώς η κίνηση, τότε να γεμίζουν και πακέτα να απορρίπτονται. Μια πρόταση που έχει παρουσιαστεί είναι να γίνεται μορφοποίηση από την ίδια την πηγή.

Επίσης στον ορισμό της IP Premium υπηρεσίας αναφέρεται ότι ο μηχανισμός αστυνόμευσης πρέπει να στηρίζεται σε έναν «κουβά κουπονιού» με βάθος μερικά πακέτα και χωρητικότητα ελαφρά μεγαλύτερη από αυτή που εγγυάται η υπηρεσία ότι θα εξυπηρετηθεί, προκειμένου να απορροφώνται και κάποιες μικρές αλλοιώσεις στα χαρακτηριστικά της κίνησης. Επειδή αποτελεί στόχο η ελαχιστοποίηση των μηχανισμών που χρησιμοποιούνται ανά κόμβο έχει προταθεί η αστυνόμευση να γίνεται μόνο στους κόμβους εισόδου σε DiffServ διαχειριστικά τμήματα. Επίσης αυτό μπορεί να αποφευχθεί αν η κίνηση προέρχεται από κάποιο άλλο «έμπιστο» διαχειριστικό τμήμα.

Για την υλοποίηση της IP Premium υπηρεσίας είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται αυστηρή κατά προτεραιότητα χρονοδρομολόγηση προκειμένου να επιτυγχάνεται η ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση των πακέτων των IP συνενώσεων. Επίσης η υπηρεσία αυτή δεν απαιτεί μηχανισμούς διαχείρισης ουρών αφού προφανώς έχουν πολύ μικρό μήκος. Τέλος απαραίτητοι θεωρούνται οι μηχανισμοί διάδοσης των κανόνων εφαρμογής της υπηρεσίας και οι μηχανισμοί παρακολούθησης και καταγραφής της λειτουργίας της υπηρεσίας.

Μια δεύτερη υπηρεσία βασισμένη σε EF είναι η λεγόμενη QBone Premium η οποία ορίστηκε από τη ομάδα QBone του Internet2. Η υπηρεσία αυτή έχει σαν στόχο την παροχή εγγυήσεων χωρητικότητας χωρίς απώλειες πακέτων, με την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση και jitter σε κίνηση με περιορισμένο μέγιστο ρυθμό που διατρέχει πολλαπλά διαχειριστικά τμήματα. Σε αυτή την υπηρεσία κρίσιμος παράγοντας αποτελεί επίσης η χρονοδρομολόγηση των πακέτων όπου πρέπει να είναι αυστηρής προτεραιότητας. Η πηγή καθορίζει 2 παραμέτρους, το μέγιστο ρυθμό και το μέγιστο μέγεθος έκρηξης και όταν η κίνηση ξεπερνά αυτό το προφίλ τότε τα πακέτα απορρίπτονται στο σημείο εισόδου που διαπιστώνεται η παράβαση.

Επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον στις διαφορές της QBone Premium υπηρεσίας σε σχέση με την IP Premium διαπιστώνεται ότι η κυριότερη διαφορά τους είναι το γεγονός ότι η QBone Premium απαιτεί οι συνοριακοί κόμβοι ενός domain να υποστηρίζουν την μορφοποίηση της συνένωσης ροών που εξέρχονται από αυτούς.

Γενικά όλες οι υπηρεσίες που βασίζονται στο μοντέλο DiffServ και επομένως και η IP Premium παρουσιάζουν μια σημαντική δυσκολία που συνίσταται στη μελέτη και ανάλυση της ποιότητας υπηρεσίας που παρέχουν. Όπως είναι γνωστό αφορούν συνενώσεις ροών που η μορφή και τα χαρακτηριστικά τους δεν μπορούν να προσεγγιστούν εύκολα, ενώ επίσης δέχονται και αλλοίωση από τα IP δίκτυα. Συνεπώς για να υλοποιηθεί μια τέτοια υπηρεσία πρέπει εκτός από τον καθορισμό των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω, να ακολουθηθεί και μια πειραματική διαδικασία σε συνθήκες πραγματικής λειτουργίας προκειμένου να ρυθμιστούν όλες οι παράμετροι του δικτύου και να προκύψει το αναμενόμενο αποτέλεσμα.

Συνολικά, έχουν παρουσιαστεί διάφορες έρευνες για την απόδοση των παραπάνω υπηρεσιών. Τα σημεία τα οποία εξετάζονται είναι η επίδραση του μεγέθους της ουράς στην οποία εισέρχονται τα EF πακέτα, του αλγόριθμου δρομολόγησης και του μεγέθους των πακέτων. Παράλληλα ελέγχεται η επίδραση της ύπαρξης ή όχι κίνησης καλύτερης προσπάθειας στην εγγυημένη, από την EF-βασισμένη υπηρεσία, ποιότητα. Από τη

διερεύνηση προέκυψε ότι όσο αφορά τη χρονοδρομολόγηση, η χρήση ουράς προτεραιότητας δίνει για κάθε μέγεθος πακέτου την ελάχιστη καθυστέρηση. Επίσης οι αλγόριθμοι Ουρών Προτεραιότητας (PQ) και Ζυγισμένων Ουρών Προτεραιότητας (WFQ) παρουσιάζουν παρόμοιες μέσες τιμές για τη διακύμανση καθυστέρησης ενώ ο PQ ενδεχομένως να ελαχιστοποιεί την διακύμανση καθυστέρησης σε σχέση με τον WFQ μόνο στην περίπτωση που ο WFQ έχει αριθμό ουρών μεγαλύτερο από 2. Τα συμπεράσματα αυτά επαληθεύτηκαν και στην περίπτωση όπου υπήρχε και κίνηση καλύτερης προσπάθειας. Ορισμένες επιπλέον παρατηρήσεις είναι ότι η μέση καθυστέρηση φαίνεται να αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση του μεγέθους του πακέτου, ενώ η αύξηση παρουσιάζεται περισσότερο απότομη με την απουσία κίνησης καλύτερης προσπάθειας. Στη συνέχεια και σε ότι αφορά τη διακύμανση καθυστέρησης, παρουσιάζεται κατά την απουσία κίνησης καλύτερης προσπάθειας να αυξάνεται γραμμικά ενώ με την παρουσία της παρουσιάζει μεταβολές χωρίς να ακολουθεί συγκεκριμένη μορφή.

Τέλος, έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες με μια σειρά πειραμάτων για την απόδοση που αντιλαμβάνεται η EF κίνηση κατά μήκος ενός DiffServ διαχειριστικού τμήματος όπου υπάρχουν πολλά σημεία συγκέντρωσης ροών και επομένως πιθανά σημεία συμφόρησης. Τα βασικά συμπεράσματα είναι ότι η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο είναι ανάλογη του αριθμού των σημείων που παρουσιάζουν συμφόρηση στη διαδρομή των πακέτων από την πηγή στον προορισμό. Παράλληλα οι καθυστερήσεις των EF πακέτων οφείλονται κυρίως στην καθυστέρηση στις ουρές. Επίσης η συνένωση πολλών ροών οδηγεί στην αύξηση της καθυστέρησης και της διακύμανσης καθυστέρησης και ιδίως στη δεύτερη περίπτωση η επίδραση του βαθμού συνένωσης είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους των EF πακέτων. Παράλληλα, διακύμανση καθυστέρησης εμφανίζεται ακόμη και στις περιπτώσεις όπου δεν έχουμε κίνηση καλύτερης προσπάθειας αλλά υπάρχουν συνενώσεις EF κίνησης. Το γεγονός αυτό μάλλον οφείλεται στη συγκέντρωση πακέτων στις ουρές της EF κίνησης καθώς απομακρύνονται από την είσοδο του DiffServ διαχειριστικού τμήματος.

Ανακεφαλαιώνοντας, στην υλοποίηση EF-βασισμένων υπηρεσιών πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για την εξάλειψη των παρενεργειών στην απόδοση εξαιτίας της δημιουργίας συνενώσεων καθώς η EF κίνηση διατρέχει ένα διαχειριστικό τμήμα με ενεργοποιημένους τους DiffServ μηχανισμούς. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να διατηρείται το φορτίο σε χαμηλά επίπεδα προκειμένου να μπορεί το δίκτυο να απορροφά τις εκρήξεις χωρίς επιβάρυνση της απόδοσης. Συνεπώς η σωστή υλοποίηση μιας EF-βασισμένης υπηρεσίας πρέπει να επιτυγχάνει 2 στόχους:

- Να έχουν ρυθμιστεί οι μνήμες προσωρινής αποθήκευσης να έχουν τόσες θέσεις ώστε να απορροφούν τις εκρήξεις και συνάμα
- Το μέγεθος των μνημών προσωρινής αποθήκευσης να μην προκαλεί αύξηση της καθυστέρησης από άκρο σε άκρο λόγω παρατεταμένης παραμονής σε αυτούς πακέτων.

Επίσης σημαντικό παράγοντα αποτελεί και ο αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης που θα επιλεγεί.

4.3.7.2 AF βασισμένες Υπηρεσίες

Οι υπηρεσίες αυτές βασίζονται στην Εξασφαλισμένης Προώθησης (Assured Forwarding) ανά κόμβο συμπεριφορά του δικτύου (PHB) και στόχο τους αποτελεί να εγγυηθούν την εξυπηρέτηση μιας ροής που εναρμονίζεται με το συμφωνηθέν προφίλ με

πολύ μεγάλη πιθανότητα και αντίστοιχα κίνηση που βρίσκεται εκτός προφίλ με μικρότερη πιθανότητα. Γενικά οι υπηρεσίες αυτές βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο και αποτελεί θέμα διερεύνησης ο ακριβής καθορισμός τους και η λεπτομερειακή μελέτη της απόδοσης που μπορεί να επιτύχουν. Οι γενικοί κανόνες του AF PHB που χρησιμοποιούνται προκειμένου να οριστούν οι υπηρεσίες αυτές είναι οι ακόλουθοι:

- Δεν πρέπει να γίνεται συνένωση των ροών 2 διαφορετικών AF κλάσεων.
- Σε κάθε κλάση πρέπει να παρέχεται συγκεκριμένη ποσότητα πόρων και η κλάση πρέπει να επιτυγχάνει το ρυθμό της τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα.
- Η πιθανότητα εξυπηρέτησης ενός πακέτου πρέπει να είναι αντιστρόφως ανάλογη της προτεραιότητας εξυπηρέτησής του.
- Κάθε κόμβος πρέπει να δέχεται πακέτα των κλάσεων και πρέπει να τα εξυπηρετεί με τουλάχιστον 2 διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας.
- Κάθε κόμβος πρέπει να διατηρεί αναλλοίωτη τη σειρά των πακέτων που ανήκουν στην ίδια ροή και στην ίδια κλάση AF.

Για να εφαρμοστεί μια AF-βασισμένη υπηρεσία, στο σημείο εισόδου του διαχειριστικού τμήματος γίνεται πρώτα σύγκριση της πραγματικής συνένωσης κίνησης με τα προκαθορισμένα και συμφωνημένα χαρακτηριστικά που θα έπρεπε να έχει. Έτσι η κίνηση εντός προφίλ μαρκάρεται με προτεραιότητα 1 (πράσινα πακέτα), κίνηση εκτός προφίλ αλλά εντός ενός ορίου σαν προτεραιότητας 2 (κίτρινα πακέτα) και τέλος η υπόλοιπη σαν προτεραιότητας 3 (κόκκινα πακέτα). Η διαδικασία αυτή συνήθως γίνεται με τη χρήση 2 συνεχόμενων «κάδων με διαρροή» που λειτουργούν όμως και σαν μορφοποιητές. Στη συνέχεια μέσα στο δίκτυο κάθε AF κλάση διαχειρίζεται διαφορετικά όσο αφορά το θέμα της απόρριψης πακέτων από τους μηχανισμούς διαχείρισης ουρών.

Μια πρώτη παρατήρηση για τις AF- βασισμένες υπηρεσίες είναι ότι παρουσιάζουν ορατή βελτίωση στην ποιότητα εξυπηρέτησης μόνο στην περίπτωση που το δίκτυο βρίσκεται σε συμφόρηση. Επίσης ένα μειονέκτημα τους είναι το γεγονός ότι είναι προσανατολισμένες στους αποστολείς και όχι στους παραλήπτες. Έτσι, στην ειδική περίπτωση που ο παραλήπτης πρέπει να λαμβάνει πληροφορία με συγκεκριμένο ρυθμό, αυτό δεν είναι εφικτό διότι η συνένωση ροών που φτάνουν στον παραλήπτη μπορεί να προέρχονται από διαφορετικά σημεία εισόδου στο DiffServ διαχειριστικό τμήμα.

Γενικά οι AF- βασισμένες υπηρεσίες δεν παρέχουν συγκεκριμένες εγγυήσεις για την καθυστέρηση και τη διακύμανση καθυστέρησης, αφού κάτι τέτοιο αναιρεί τη δυνατότητα που έχουν οι συνενώσεις ροών να καταλαμβάνουν περισσότερους πόρους από όσους συμφωνήθηκαν, αν αυτοί είναι διαθέσιμοι. Συγκεκριμένα για την παροχή εγγυήσεων από τις AF- βασισμένες υπηρεσίες ισχύουν:

- Για την εξασφάλιση χωρητικότητας σε over-provisioned δίκτυα (δίκτυα όπου υπάρχει αφθονία εύρους ζώνης για τις ανάγκες και δυνατότητες των υπάρχοντων πελατών) είναι εφικτή η εγγύηση ρυθμού που αφορά όμως μόνο την βασική πρόσβαση στους πόρους του δικτύου και όχι στην παροχή εγγυήσεων για χωρητικότητα που μπορεί να είναι αδιάθετη.
- Η πιθανότητα απόρριψης πακέτων μπορεί να είναι εγγυημένη μόνο όταν πρόκειται για ΣΔΕΠΥ μεταξύ 2 διαχειριστικών τμημάτων ενώ είναι δύσκολο και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή η εγγύηση της από άκρο σε άκρο πιθανότητας απόρριψης.

- Τέλος για την καθυστέρηση ισχύουν ακριβώς τα ίδια όπως και στην περίπτωση της απόρριψης πακέτων.

Μια παραλλαγή των AF- βασισμένων υπηρεσιών είναι οι Assured Data όπου χρησιμοποιούνται AF PHB και PDB όχι για τη διασφάλιση του ρυθμού αλλά για την διασφάλιση μετάδοσης συγκεκριμένων πακέτων. Για παράδειγμα ο μηδενισμός της πιθανότητας απόρριψης πράσινων πακέτων.

4.3.8 Υπηρεσία Λιγότερο από Καλύτερη Προσπάθεια (Less Than Best Effort)

Παράλληλα με την υπηρεσία IP Premium που έχει υλοποιηθεί και δοκιμαστεί πειραματικά, έχει προταθεί και μια υπηρεσία που παρέχει εξυπηρέτηση πακέτων χειρότερη από καλύτερης προσπάθειας. Η υπηρεσία αυτή ονομάζεται «λιγότερο από καλύτερη προσπάθεια» και προσανατολίζεται για χρήση από εφαρμογές που δεν ενδιαφέρονται για βέβαια μετάδοση πακέτων καθώς δεν είναι κρίσιμες. Τέτοια παραδείγματα είναι εφαρμογές ftp mirroring, GRID μεταφορά δεδομένων, δικτυακή κράτηση αντιγράφων ασφαλείας (backups) ή πειραματική μεταφορά δεδομένων. Ο στόχος της υπηρεσίας αυτής είναι να μεταφέρει πακέτα που προέρχονται από εφαρμογές που δεν ενδιαφέρονται άμεσα για την αποστολή και αυτά μεταδίδονται όταν υπάρχει διαθέσιμο εύρος ζώνης (δεν υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο).

Η υπηρεσία «λιγότερο από καλύτερη προσπάθεια» χρησιμοποιεί το Differentiated Code Point 001000 και για την ομαλή λειτουργία έχουν προκύψει ορισμένοι κανόνες:

- Τα πακέτα που ανήκουν στην κλάση αυτή πρέπει να χρησιμοποιούν ξεχωριστή ουρά, χωρίς να μπλέκονται με πακέτα άλλων κλάσεων.
- Στους δρομολογητές που υλοποιούν την υπηρεσία πρέπει να χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός χρονοδρομολόγησης (WFQ, WRR) όπου θα δίνουν απειροελάχιστο εύρος ζώνης σε αυτά.
- Σε δρομολογητές όπου δεν υλοποιούν την υπηρεσία πρέπει η μετάδοση των πακέτων που ανήκουν στην κλάση αυτή να γίνεται διάφανα, δηλαδή σαν να ανήκουν στην καλύτερης προσπάθειας υπηρεσία και δεν επιτρέπεται σε κανένα σημείο να τους αλλάζουν την τιμή του DSCP πεδίου.

Η υπηρεσία έχει ήδη δοκιμαστεί σε αρκετές περιπτώσεις και πλέον θα αποτελεί υπηρεσία παραγωγής των σύγχρονων δικτύων.

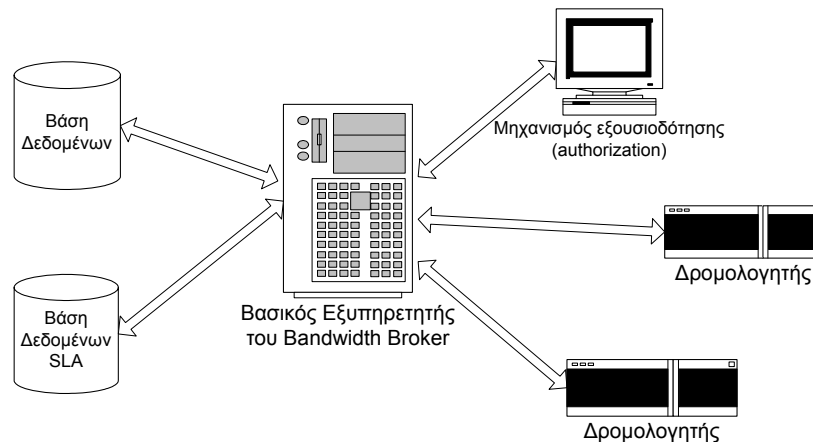
4.4 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ QoS ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ IPv6 ΔΙΚΤΥΑ

Τα επόμενα χρόνια το πρωτόκολλο IPv6 αναμένεται να κυριαρχήσει στα δίκτυα επικοινωνιών καθώς η αύξηση χρήσης του Διαδικτύου σε συνδυασμό με τον περιορισμένο αριθμό IPv4 διευθύνσεων αναμένεται να καθιερώσει το IPv6. Στην περίπτωση αυτή ένα σημαντικό θέμα αποτελεί η δυνατότητα παροχής των υπαρχόντων υπηρεσιών QoS στο νέο αυτό περιβάλλον. Όπως περιγράφηκε και σε προηγούμενη ενότητα, έχει προβλεφθεί στην IPv6 επικεφαλίδα πεδίο για μαρκάρισμα της κίνησης αντίστοιχο με της IPv4 επικεφαλίδας. Η παροχή μιας ολοκληρωμένης υπηρεσίας είναι στην πραγματικότητα διάφανη αφού ο μεγαλύτερος αριθμός των μηχανισμών που χρησιμοποιούνται είναι ανεξάρτητος από το IPv6 πρωτόκολλο. Στην πράξη όμως παρουσιάζονται τεχνικές δυσκολίες καθώς πολλοί από τους μηχανισμούς αυτούς δεν είναι υλοποιημένοι στις εκδόσεις λογισμικού των δρομολογητών που υποστηρίζουν

IPv6. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα αρχικό εμπόδιο, αλλά αναμένεται πως όσο το IPv6 πρωτόκολλο εξαπλώνεται, όλο και περισσότεροι μηχανισμοί, σχετικοί με την παροχή ποιότητας υπηρεσιών, θα ενσωματώνονται στα λογισμικά αυτά. Τέλος, αναμένεται πως το IPv6 ίσως επεκτείνει τις δυνατότητες παροχής Ποιότητας Υπηρεσίας κάνοντας χρήση του καινοτόμου πεδίου Ετικέτα Ροής (Flow Label).

4.5 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ BANDWIDTH BROKERS

Η παροχή υπηρεσιών Ποιότητας Εξυπηρέτησης σε ένα σύγχρονο δίκτυο είναι αρκετά δύσκολη προσπάθεια καθώς απαιτεί την εμπλοκή πολλών ατόμων για την αποδοχή των αιτημάτων παροχής της υπηρεσίας και την αντίστοιχη διαμόρφωση του δικτύου. Η διαδικασία αυτή έχει γίνει προσπάθεια να αυτοματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό με την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος που λέγεται «Bandwidth Broker». Η προσπάθεια αυτή είναι ακόμη σε ερευνητικό στάδιο αλλά αναμένεται τελικά να αυτοματοποιήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό την παροχή υπηρεσιών QoS. Ένας bandwidth broker αποτελείται από πολλές οντότητες που συνεργάζονται μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 21.



Σχήμα 21: Η αρχιτεκτονική ενός Bandwidth Broker

Αρχικά ο bandwidth broker έχει μια πλήρη καταγραφή του δικτύου και πρόσβαση στις ΣΔΕΠΥ που έχουν υλοποιηθεί στο δίκτυο. Επίσης, διατηρεί όλη την τοπολογία καθώς και τους δια-συνδεδεμένους φορείς που μπορούν να χρησιμοποιούν μια υπηρεσία QoS. Στη συνέχεια, ο bandwidth broker έχει κατάλληλες διεπαφές για καταγραφή αιτημάτων τα οποία και επεξεργάζεται με την εκτέλεση αλγορίθμων ελέγχου αποδοχής (admission control). Η λειτουργία των αλγορίθμων αυτών είναι να ελέγχουν τα αποθηκευμένα στοιχεία στη βάση δεδομένων και να αποκρίνονται αν το κάθε αίτημα μπορεί να γίνει αποδεκτό. Στη συνέχεια ο bandwidth broker αποθηκεύει στην βάση δεδομένων του τα αιτήματα και τις απαντήσεις τους και ξεκινά την διαδικασία για ενημέρωση των δρομολογητών ώστε τα αποδεκτά αιτήματα να εξυπηρετηθούν. Η επικοινωνία μεταξύ του Bandwidth broker και των δρομολογητών γίνεται συνήθως μέσω ειδικού σκοπού interfaces.

Η λειτουργία ενός bandwidth broker σε ένα σύγχρονο δίκτυο αποτελεί ένα πολύ σημαντικό αυτοματοποιημένο εργαλείο διαχείρισης. Η επιτυχία στην δημιουργία ενός τέτοιου μηχανισμού έγκειται κυρίως στο πόσο έξυπνα είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να υποστηρίξει πολλαπλές ΣΔΕΠΥ οι οποίες μπορούν να μεταβάλλονται. Επίσης, πολύ σημαντικό ζήτημα αποτελεί η δυνατότητα διασύνδεσής του με

αντίστοιχους bandwidth brokers που λειτουργούν σε γειτονικά διαχειριστικά τμήματά του. Τέλος, οι μέθοδοι που εφαρμόζει για την παροχή υπηρεσιών QoS αφού συγκεκριμένα αιτήματα έχουν γίνει αποδεκτά ανήκουν στις γενικότερες τεχνικές παροχής ποιότητας υπηρεσίας και ειδικότερα συνήθως στην αρχιτεκτονική DiffServ.

5 ΘΕΜΑΤΑ ΧΡΕΩΣΗΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

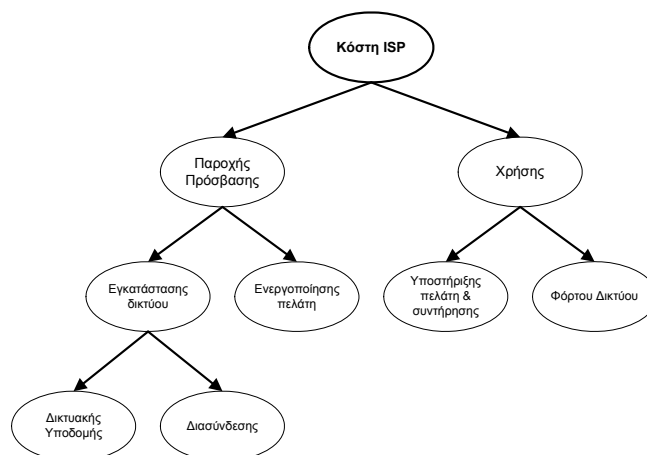
Το κεφάλαιο αυτό επιχειρεί να προσδιορίσει την έννοια της πολιτικής χρέωσης δικτυακών υπηρεσιών. Συγκεκριμένα εξηγεί αρχικά τι είναι μια πολιτική χρέωσης και αποδεικνύει πως πρόκειται για μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία. Στη συνέχεια παρουσιάζει θεωρητικά ποια είναι τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός σχήματος τιμολόγησης και συγκεκριμένα ποιες είναι οι απαιτήσεις των παρόχων (ISPs) και ποιες αυτές των χρηστών από ένα σχήμα τιμολόγησης, ώστε να είναι ικανοποιημένοι από αυτό.

5.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΜΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΧΡΕΩΣΗΣ

Πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε συζήτηση περί χρέωσης είναι αναγκαίο να περιγραφεί τι ακριβώς σημαίνει ο όρος «πολιτική χρέωσης» δικτυακών υπηρεσιών. Οι πολιτικές ή σχήματα χρέωσης δεν είναι τίποτα άλλο παρά μέθοδοι σύμφωνα με τις οποίες ένας πάροχος (Internet Service Provider ή γενικότερα ένας Network Service Provider) κατανέμει το κόστος (έξοδα) του δικτύου μεταξύ των χρηστών του με απώτερο σκοπό την κάλυψη του κόστους αυτού (cost recovery), καθώς και τη δημιουργία κάποιων κερδών αν πρόκειται για εμπορικό πάροχο που δεν έχει μόνο ακαδημαϊκούς ή ερευνητικούς στόχους (οπότε δεν επιδιώκονται κέρδη). Δηλαδή οι πολιτικές χρέωσης είναι μέθοδοι που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα μοιραστούν οι χρήστες μεταξύ τους τα διάφορα έξοδα του δικτύου. Η ανάλυση της δομής των εξόδων αυτών γίνεται στην επόμενη παράγραφο.

5.3 ΔΟΜΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΚΑΠΟΙΟΝ ΠΑΡΟΧΟ (ISP COST STRUCTURE)

Γενικά ένας Internet Service Provider υφίσταται δυο είδη-γενικές κατηγορίες κόστων: τα κόστη παροχής πρόσβασης (access costs) και τα κόστη χρήσης (usage costs). Στο Σχήμα 22 φαίνεται και σχηματικά η δομή του κόστους για έναν ISP.



Σχήμα 22: Δομή κόστους ISP

Όλα αυτά τα έξοδα καλείται να καλύψει μέσω ενός σχήματος τιμολόγησης ο πάροχος διαμοιράζοντάς τα κατάλληλα μεταξύ των συνδρομητών του.

5.3.1 Κόστη παροχής πρόσβασης (*access costs*)

Τα κόστη παροχής πρόσβασης περιλαμβάνουν τα κόστη της εγκατάστασης δικτύου (*installation costs*) και τα κόστη ενεργοποίησης πελάτη (*customer activation costs*) και περιγράφονται ακολούθως.

5.3.1.1 Κόστη εγκατάστασης δικτύου (*installation costs*)

Αυτά αναφέρονται σε όλα εκείνα τα έξοδα που υφίσταται ο πάροχος για να εγκαταστήσει το δίκτυό του σε λειτουργία και περιλαμβάνουν και επενδύσεις σε υποδομή δικτύου τόσο σε υλικό (*hardware*) όσο και σε λογισμικό (*software*). Πρόκειται για σημαντικότατο μέρος των συνολικών εξόδων και γενικά σε πρώτη φάση καλύπτονται συνήθως με δάνεια. Είναι κόστη σταθερά και μη επαναλαμβανόμενα, δηλαδή πληρώνονται «μια φορά», προκειμένου ο πάροχος να επέλθει σε κατάσταση λειτουργίας. Τα κόστη αυτά μπορούν περαιτέρω να διακριθούν σε δυο υποκατηγορίες:

- κόστη δικτυακής υποδομής (*network infrastructure costs*) και
- κόστη διασύνδεσης (*interconnection costs*).

Βραχυπρόθεσμα και τα δυο είδη κοστών αυτά, δεν εξαρτώνται από τη χρήση (*non usage-sensitive*), όμως σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες θα τείνουν να αυξάνονται με τον αριθμό των χρηστών και το μέγιστο απαιτούμενο εύρος ζώνης αυτών.

Συγκεκριμένα τα κόστη δικτυακής υποδομής περιλαμβάνουν τα έξοδα για όλα τα απαραίτητα μέσα ώστε να τεθεί ο πάροχος σε λειτουργία, όπως οπτικές ίνες, δρομολογητές, άδειες προγραμμάτων και λοιπά απαραίτητα για να είναι σε θέση ο πάροχος να παρέχει υπηρεσίες Διαδικτύου. Στα πρώτα χρόνια της παροχής υπηρεσιών Διαδικτύου, οι απαιτήσεις σε χωρητικότητα δικτύου καλύπτονταν από το περίσσειμα των δικτύων φωνής των διαφόρων τηλεφωνικών οργανισμών (στη χώρα μας βέβαια υπήρχε μόνο η επιλογή του Ο.Τ.Ε.). Καθώς όμως οι εφαρμογές απαιτούσαν διαρκώς περισσότερο εύρος ζώνης και ο αριθμός των χρηστών αυξανόταν, οι πάροχοι έπρεπε να χτίσουν τα δικά τους ιδιόκτητα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων, να έχει δηλαδή ο καθένας τη δική του δικτυακή υποδομή.

Εξάλλου, τα έξοδα διασύνδεσης έχουν να κάνουν με τις οικονομικές συμφωνίες μεταξύ των διασυνδεδεμένων παρόχων για τη μεταφορά δεδομένων. Για παράδειγμα αν ένας μικρός πάροχος θέλει να μπει στην αγορά και για τη μεταφορά των δεδομένων των χρηστών του θέλει να χρησιμοποιεί συχνά το δίκτυο ενός μεγαλύτερου παρόχου θα αναγκαστεί να πληρώνει συνήθως σε αυτόν ένα σταθερό ποσό ανά μια χρονική περίοδο, π.χ. ανά έτος. Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή υφίσταται τιμολόγηση ενιαίου-τέλους μεταξύ διασυνδεδεμένων παρόχων. Αν βέβαια διαπιστωθεί ότι δυο πάροχοι επωφελούνται το ίδιο ο καθένας από τη χρήση του δικτύου του άλλου, τότε συμφωνούν να μην πληρώνει κανένας τέλη στον άλλο, αλλά να μπορεί να γίνει χρήση του άλλου δικτύου ελεύθερα. Το θέμα των συμφωνιών μεταξύ διασυνδεδεμένων παρόχων είναι αρκετά πιο περίπλοκο και θα αναλυθεί εκτενέστερα σε ξεχωριστό σημείο στην παράγραφο 5.3.3.

5.3.1.2 Κόστη ενεργοποίησης πελάτη (customer activation costs)

Τα κόστη ενεργοποίησης πελάτη περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων το υλικό, το λογισμικό, τα τέλη και την καλωδίωση για την ενεργοποίηση του πελάτη, δηλαδή για να του δοθεί η δυνατότητα να συνδεθεί με τον πάροχο. Εξαρτώνται άμεσα και μεταβάλλονται ανάλογα με το αν ο πελάτης έχει επιλέξει μια άμεση σύνδεση με χρήση μισθωμένης γραμμής (leased line, direct connection) ή μια dial-up σύνδεση. Η πρώτη περίπτωση είναι φυσικά και ακριβότερη, αλλά και εκεί υπάρχουν διακυμάνσεις ανάλογα με την ταχύτητα σύνδεσης.

5.3.2 Κόστη χρήσης (usage costs)

Αυτά τα κόστη αυξάνονται με τη χρήση του δικτύου που κάνει ο πελάτης (μέγιστο απαιτούμενο εύρος ζώνης) τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Υπάρχουν δυο είδη κοστών χρήσης: τα κόστη υποστήριξης πελάτη & συντήρησης και τα κόστη φόρτου δικτύου.

5.3.2.1 Κόστη υποστήριξης πελάτη & συντήρησης (customer support & maintenance)

Τα κόστη αυτά αναφέρονται σε έξοδα που υφίσταται ο πάροχος εξαιτίας της χρήσης του δικτύου από έναν πελάτη του. Ειδικότερα ενώ βρίσκεται σε λειτουργία, ο πάροχος υφίσταται τα κόστη για να παράσχει τεχνική υποστήριξη και βοήθεια στους πελάτες του. Τα κόστη αυτά συνήθως είναι διαφορετικά για κάθε περίπτωση, καθώς κάποιιοι χρήστες θα ζητήσουν προφανώς περισσότερη βοήθεια για εγκατάσταση του εξοπλισμού τους και συντήρηση από άλλους. Έτσι, το ιδανικό θα ήταν να μη χρεώνονται βάσει ενός σταθερού ενιαίου-τέλους (flat fee).

5.3.2.2 Κόστη φόρτου δικτύου (network load costs)

Τα κόστη αυτά αναφέρονται στο ποσό της κυκλοφορίας που το δίκτυο ενός παρόχου μπορεί να σηκώσει σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή από όλες τις συνδέσεις των χρηστών. Τα κόστη φόρτου δικτύου αφορούν κυρίως τη χρήση της χωρητικότητας και του εύρους ζώνης του εξυπηρετητή (server) και πρόκειται για κόστη μεταφοράς των IP πακέτων. Είναι αρκετά ιδιαίζουσα η περίπτωση των κοστών αυτών, διότι στην παρούσα φάση λόγω των ενιαίων τελών διασύνδεσης (flat interconnection rates) μεταξύ παρόχων, αυτά τα κόστη είναι μηδέν για έναν πάροχο είτε το δίκτυό του είναι σε κατάσταση συμφόρησης είτε όχι. Για τον πελάτη βέβαια αυτά τα κόστη είναι σημαντικά και τα υφίσταται με τη μορφή καθυστερήσεων στη μετάδοση των πακέτων του σε περίπτωση συμφόρησης. Διαφορετικά όταν υπάρχει επιπλέον χωρητικότητα είναι μηδέν και για αυτόν. Για το λόγο αυτό προτείνεται συχνά τα κόστη φόρτου δικτύου να τιμολογούνται ανάλογα με το φόρτο που υποβάλει κάθε στιγμή ένας πελάτης στο δίκτυο αλλά και στους άλλους συνδρομητές του παρόχου (κάτι που δε συμβαίνει φυσικά με την τιμολόγηση ενιαίου-τέλους). Μάλιστα από αρκετούς υποστηρίζεται πως αυτή η πρακτική πρέπει να εφαρμόζεται όχι μόνο σε τελικούς χρήστες αλλά και στους ίδιους τους παρόχους, εφόσον και αυτοί αποτελούν πελάτες μεγαλύτερων παρόχων. Να σημειωθεί πως όταν αναφέρεται φόρτος ή κόστη που υποβάλει ένας χρήστης στους άλλους πελάτες ενός παρόχου, εννοείται πως μετά από κάποιο σημείο, σε περίοδο συμφόρησης οπότε το δίκτυο δεν έχει χώρο για περισσότερες αιτήσεις εξυπηρέτησης, όλοι οι χρήστες, ανεξαρτήτως χρήσης,

υποβάλλουν κόστη ο ένας στον άλλο υπό τη μορφή καθυστερήσεων που συμβαίνουν στη μετάδοση των πακέτων τους.

Συνοψίζοντας, τα κόστη φόρτου δικτύου είναι εκ πρώτης όψεως μηδέν για έναν πάροχο είτε το δίκτυο είναι σε συμφόρηση είτε όχι, λόγω του σχήματος ενιαίας τιμολόγησης μεταξύ διασυνδεδεμένων παρόχων. Έμμεσα όμως «επιστρέφουν» στον πάροχο ύστερα από κάποιο διάστημα με τη μορφή παραπόνων των συνδρομητών του λόγω της συμφόρησης και ως πειστική ανάγκη για αναβάθμιση του δικτύου με επέκταση της χωρητικότητάς του, προκειμένου να ικανοποιήσει και να διασφαλίσει τους πελάτες του. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί βέβαια πως η οικονομική θεωρία προτείνει πως ο κατάλληλος χρόνος για επέκταση της χωρητικότητας ενός δικτύου είναι όταν το οριακό κόστος στέγασης (εξυπηρέτησης) ενός πακέτου είναι μικρότερο από το οριακό κέρδος από τη χρέωση αυτού του πακέτου και όχι σε αντίθετη περίπτωση.

5.3.3 Συμφωνίες μεταξύ παρόχων (ISP peerings)

Στην παράγραφο αυτή αναλύονται εκτενέστερα τα κόστη διασύνδεσης που όπως αναφέρθηκε αποτελούν μέρος των κοστών εγκατάστασης δικτύου ενός παρόχου (Σχήμα 22).

Οι πάροχοι κυρίως συμφωνούν να ανταλλάσσουν αμοιβαία κυκλοφορία δεδομένων χωρίς χρηματικούς διακανονισμούς (settlement-free peerings). Παρ' όλα αυτά, τέτοιες συμφωνίες χωρίς διακανονισμούς παρεμποδίζονται συνήθως από το γεγονός ότι τα οφέλη δεν είναι απολύτως ισορροπημένα μεταξύ των δυο μερών, δηλαδή ένας από τους δυο θα κέρδιζε από την συμφωνία περισσότερο από τον άλλο. Ένας πάροχος που πιστεύει ότι μια τέτοια συμφωνία θα επέφερε πιο πολλά κέρδη στο άλλο μέρος, κάνοντας τον άλλο πάροχο περισσότερο ανταγωνιστικό στην αγορά με δικό του κόστος, θα θεωρούσε μια τέτοιου είδους συμφωνία αντιπαραγωγική για τον ίδιο. Σε τέτοιες περιπτώσεις τα συμφωνούνται μέρη συνήθως διαπραγματεύονται κάποιο είδος αποζημίωσης, όπως την πληρωμή όλης της γραμμής που συνδέει τα δίκτυα των δυο παρόχων μόνο από μέρους του ενός, ή την παροχή δωρεάν μεταφοράς από τον ένα πάροχο σε κάποιο τρίτο δίκτυο για χάρη του άλλου. Σε περιπτώσεις βέβαια όπου διαπιστώνεται πως τα οφέλη που θα αποκομίσουν οι πάροχοι από μια συμφωνία είναι πολύ διαφορετικά μεταξύ τους, πιθανώς ο πάροχος που πιστεύει ότι θα έχει τα πιο λίγα κέρδη να μην μπει καν στη διαδικασία σύναψης της συμφωνίας με το άλλο μέρος.

Η αξιολόγηση των αμοιβαίων οφελών από υπάρχουσες συμφωνίες συχνά γίνεται όταν πρέπει να διαπραγματευτούν αναβαθμίσεις. Η μετρική που χρησιμοποιείται για αυτό το σκοπό τις πιο πολλές φορές είναι το ποσό της κυκλοφορίας δεδομένων που κινείται στις δυο κατευθύνσεις. Η κίνηση που στέλνεται από έναν πάροχο A σε έναν πάροχο B θεωρείται γενικά ωφέλιμη για τον πάροχο B, διότι πιθανότατα αντιπροσωπεύει δεδομένα που έχουν ζητήσει οι πελάτες του. Αυτό το μέτρο, αν και φαινομενικά είναι κάπως γενικό, ανταποκρίνεται σχετικά ικανοποιητικά στους επικρατούντες τρόπους που χρησιμοποιείται το Διαδίκτυο σήμερα. Να σημειωθεί βέβαια πως δεν είναι άριστο, αλλά η ορθότητά του μπορεί να αμφισβητηθεί για πληροφορία που έρχεται χωρίς προηγούμενη αίτηση ενός χρήστη (αυτόκλητη), όπως η μαζική αποστολή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (bulk-email) ή οι διάφορες πληρωμένες διαφημίσεις.

5.4 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΧΡΕΩΣΗΣ

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται γενικά ποια είναι θεωρητικά τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός σχήματος τιμολόγησης. Είναι επίσης βέβαιο πως ένας κατάλληλος τρόπος τιμολόγησης αποτελεί την πιο ελπιδοφόρα και φιλόδοξη λύση στην αντιμετώπιση της συμφόρησης στο Διαδίκτυο.

Παραδοσιακά οι οικονομολόγοι βλέπουν την τιμολόγηση από μια κάπως αφηρημένη οπτική γωνία και δεν ενδιαφέρονται τόσο για την υπολογιστική εφικτότητα των μηχανισμών χρέωσης που προτείνουν. Επίσης, η πολυπλοκότητα και το μέγεθος του Διαδικτύου θα οδηγήσουν στο μέλλον να υπάρχουν περισσότερα του ενός σχήματα χρέωσης (μάλλον αρκετά). Συνεπώς, για τους παραπάνω λόγους και προκειμένου να υπάρχει μια ελάχιστη συμβατότητα, προτείνονται τα ακόλουθα οκτώ χαρακτηριστικά ως επιθυμητά και απαραίτητα για οποιοδήποτε σχήμα χρέωσης σε ένα μελλοντικό, πολλαπλών κλάσεων υπηρεσιών (multiple service class), περιβάλλον δικτύου:

1. Οι τιμές πρέπει να ωθούν τους χρήστες να χρησιμοποιούν το δίκτυο όταν είναι λιγότερο συμφορημένο μεταθέτοντας τις αιτήσεις τους στο πεδίο του χρόνου.
2. Οι τιμές πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τους το αντίκτυπο του δικτυακού φόρτου κάθε στιγμή πάνω στη μελλοντική ζήτηση εξυπηρέτησης από τους χρήστες.
3. Κατά προτίμηση η τιμολόγηση πρέπει να γίνεται σε επίπεδο ανώτερο από το επίπεδο του πακέτου ώστε να είναι ευκολότερη και φθηνότερη στην υλοποίηση.
4. Οι τιμές πρέπει να αντικατοπτρίζουν την κατάσταση φόρτου στους πόρους του δικτύου (δρομολογητές, πύλες).
5. Το μοντέλο χρέωσης πρέπει να υλοποιείται με έναν τελείως απόκεντρικοποιημένο τρόπο. Για παράδειγμα, ζητώντας πληροφορίες επίδοσης σε έναν κόμβο ώστε να θέσει τις τιμές στον κόμβο αυτό να μην απαιτείται οποιαδήποτε καθολική για το σύστημα (global, system-wide) πληροφορία. Διαφορετικά, τα γενικά έξοδα υπολογισμού των τιμών μπορεί να ακυρώνουν οποιαδήποτε οφέλη αποκομίζονται εφαρμόζοντας τη μέθοδο χρέωσης.
6. Οι τιμές πρέπει να αποφέρουν αποδοτική διαχείριση φόρτου (load management) επανα-κατανέμοντας τον φόρτο από τους υψηλά στους ελαφρώς φορτωμένους κόμβους του δικτύου.
7. Πρέπει να υπάρχουν πολλαπλές προτεραιότητες (priority class) για να μπορεί το σχήμα χρέωσης να λαμβάνει υπόψιν του τα διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας (QoS levels) που απαιτούνται από διαφορετικές εφαρμογές και χρήστες. Να σημειωθεί ότι δεν είναι ανάγκη να υπάρχουν ακριβώς τόσες κλάσεις προτεραιότητας όσοι οι διαφορετικοί τύποι απαιτήσεων ποιότητας υπηρεσίας, αλλά ορισμένες διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας μπορούν να ικανοποιούνται από μια μοναδική κλάση προτεραιότητας.
8. Το σχήμα χρέωσης πρέπει να υλοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε οι χρήστες να έχουν κίνητρα να λαμβάνουν αποφάσεις βασισμένοι στην τιμή που πληρώνουν και παράλληλα οι φορείς παροχής υπηρεσιών (NSPs) να έχουν κίνητρα να παρέχουν την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) με βάση τα κέρδη που αποκομίζουν από τις μεθόδους τιμολόγησης.

Βασικός ρόλος ενός σχήματος χρέωσης δεν πρέπει να είναι μόνο να καλύπτει τα έξοδα ενός παρόχου και να του αποφέρει και ορισμένα κέρδη (αν είναι εμπορικός), αλλά επίσης να επηρεάσει τον τρόπο που οι πελάτες (χρήστες) χρησιμοποιούν το δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται όταν κάθε μεμονωμένος χρήστης ενεργεί με στόχο την μείωση της χρέωσής του. Η πολιτική χρέωσης πρέπει να δίνει στους χρήστες τα σωστά κίνητρα για να διαλέξουν τις υπηρεσίες που καλύτερα καλύπτουν τις ανάγκες τους. Αν τελικά γίνεται αυτό από τους χρήστες, πρέπει από την άλλη πλευρά να έχει σαν αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται το δίκτυο με τρόπο που να αυξάνει τη συνολική απόδοσή του. Στην περίπτωση αυτή, με όρους της οικονομίας, λέγεται ότι η πολιτική χρέωσης διαθέτει την ιδιότητα της συμβατότητας κινήτρων (incentive compatibility). Συνεπώς, προτείνεται πέρα από την κάλυψη των εξόδων ενός παρόχου, ο ρόλος ενός σχήματος χρέωσης να επεκτείνεται και στην αντιμετώπιση της συμφοράρησης, μέσω της ιδιότητας της συμβατότητας κινήτρων που αποφέρει πιο οικονομικά αποδοτική χρήση του δικτύου.

Γενικότερα λοιπόν προτείνεται οι πολιτικές χρέωσης να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, που διαχωρίζονται σε αυτά που ενδιαφέρουν τους χρήστες και αυτά που ενδιαφέρουν άμεσα έναν φορέα παροχής δικτυακών υπηρεσιών:

- Για τους χρήστες
 - **Προβλεψιμότητα:** να γνωρίζει ο χρήστης εκ των προτέρων τι ακριβώς πρόκειται να πληρώσει. Πρόκειται για μια πολύ βασική και λογική απαίτηση των χρηστών. Κανένα σχήμα χρέωσης που καθιστά αβέβαιο τον χρήστη για το ποσό που πρόκειται να πληρώσει, δεν έχει πιθανότητες επιβίωσης.
 - **Απλότητα / Φιλικότητα Χρήστη:** ο τρόπος χρέωσης πρέπει να είναι απόλυτα κατανοητός από τον χρήστη. Για παράδειγμα ο χρήστης πρέπει να μπορεί να συμπεράνει την επίπτωση που θα έχει στην χρέωσή του κάποια μείωση της κυκλοφορίας του.
 - **Δικαιοσύνη:** οι τιμές πρέπει να αντικατοπτρίζουν τη σχετική χρήση πόρων των χρηστών, έτσι ώστε παρόμοιες υπηρεσίες να χρεώνονται το ίδιο, ενώ ένας χρήστης που κάνει μικρότερη (μεγαλύτερη) χρήση του δικτύου αναλόγως να χρεώνεται και λιγότερο (περισσότερο).
 - **Διαφάνεια:** πρέπει η υλοποίηση του σχήματος χρέωσης να μην «φαίνεται» στον πελάτη ενός παρόχου και να μην τον «ενοχλεί» με διάφορους τρόπους κατά τη χρήση των δικτυακών υπηρεσιών που του προσφέρονται. Πρέπει το όλο σχήμα λοιπόν να είναι «σαν να μην υπάρχει» για τον συνδρομητή του παρόχου, όταν αυτός κάνει χρήση του δικτύου.
- Για τους φορείς παροχής δικτυακών υπηρεσιών
 - **Κάλυψη εξόδων και δημιουργία κερδών:** όπως αναφέραμε πρόκειται για πρωταρχική απαίτηση των παρόχων.
 - **Χαμηλό κόστος υλοποίησης του συστήματος λογιστικής, δηλαδή υπολογισμού των τιμών (low accounting overhead costs):** πρόκειται επίσης για πολύ σημαντική απαίτηση. Διαφορετικά, τα κέρδη που αποκομίζονται από την εφαρμογή της μεθόδου χρέωσης θα αναιρούνται από τα υψηλά κόστη υλοποίησης και ο πάροχος συνολικά θα ζημιώνεται
 - **Κίνητρα στους χρήστες για αποτελεσματική, από οικονομική άποψη, χρήση των πόρων του δικτύου:** αυτή η απαίτηση θα ικανοποιείται αν το σχήμα χρέωσης έχει την ιδιότητα της συμβατότητας κινήτρων όπως ήδη περιγράφηκε.

- **Ευελιξία:** να μπορεί να χρησιμοποιείται το σχήμα χρέωσης για υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας εξυπηρέτησης (QoS requirements).

5.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΧΡΕΩΣΗΣ

Ενώ το θέμα της χρέωσης των δικτυακών υπηρεσιών ακούγεται εκ πρώτης όψεως απλό και κατανοητό, ο πραγματικά μεγάλος όγκος εργασιών που έχει γίνει και κυρίως οι διαφορετικές υποθέσεις που γίνονται και η διαφορετική οπτική γωνία από την οποία βλέπει καθένας στην εργασία του τη χρέωση, είναι πολύ πιθανό να δημιουργήσουν την εντύπωση πως κάθε μια, από τις πραγματικά πάρα πολλές εργασίες-προτάσεις, αποτελεί από μόνη της και μια σχεδόν ειδική, τελείως ανεξάρτητη, περίπτωση. Στην πράξη όμως κάθε πρόταση εντάσσεται στα πλαίσια κάποιας ολοκληρωμένης κατηγορίας μοντέλων χρέωσης, στην οποία αμέσως θα πρέπει να κατηγοριοποιείται. Γνωρίζοντας λοιπόν πού περίπου ανήκει το κάθε προτεινόμενο σχήμα χρέωσης θα μπορέσει να το κατανοήσει ευκολότερα και σε περισσότερο βάθος, συγκρίνοντάς το ανάλογα με άλλες προτάσεις που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

Οι κατηγορίες μοντέλων χρέωσης πρέπει να είναι όσο γίνεται πλήρεις, δηλαδή κάθε μοντέλο χρέωσης να εντάσσεται τουλάχιστον σε μια από αυτές. Επιπλέον δεν πρέπει να είναι τόσο γενικές και απλοϊκές ώστε κάθε κατηγορία να περιλαμβάνει ένα τεράστιο αριθμό προτάσεων με πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Αυτές οι απαιτήσεις, αν και εύλογες, οπωσδήποτε δεν μπορούν να εκπληρωθούν σε ιδανικό βαθμό.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται δυο διαφορετικές προσεγγίσεις ταξινόμησης των μοντέλων χρέωσης σε κατηγορίες. Η πρώτη, που είναι και η πιο απλοϊκή, κατηγοριοποιεί τα μοντέλα στις 2 ακόλουθες κατηγορίες:

1. Χρέωση βασισμένη στη χρήση (usage-based), και
2. Χρέωση ενιαίου-τέλους (flat-rate).

Η ακόλουθη ενότητα αναλώνεται στην παρουσίαση της κατηγοριοποίησης αυτής και επιπλέον στη συγκριτική ανάλυση, σε αρκετά μεγάλη έκταση, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε κατηγορίας, κάνοντας τελικά και μια συνολική κριτική της κατηγοριοποίησης.

Η δεύτερη προσέγγιση ταξινόμησης των μοντέλων χρέωσης είναι πιο σύνθετη αφού ορίζονται κάποιες «διαστάσεις» με βάση τις οποίες πρέπει να κατηγοριοποιηθούν, να χαρακτηριστούν και να διαχωριστούν μεταξύ τους τα διάφορα προτεινόμενα σχήματα. Η ταξινόμηση αυτή είναι σαφώς πληρέστερη, προχωράει σε μεγαλύτερο βάθος αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να αποδειχθεί πως είναι η ιδανική.

5.5.1 1^η προσέγγιση: Χρέωση βασισμένη στη χρήση - Χρέωση ενιαίου-τέλους

Σύμφωνα με αυτή την απόπειρα ταξινόμησης, υπάρχουν οι ακόλουθες γενικές κατηγορίες πολιτικών χρέωσης:

1. **Τιμολόγηση ενιαίου-τέλους (flat-rate pricing):** Πρόκειται για τον τρόπο με τον οποίο κυρίως χρεώνονται οι υπηρεσίες Διαδικτύου σήμερα. Οι χρήστες πληρώνουν ένα σταθερό ενιαίο για όλους ποσό (συνδρομή) ανά μια χρονική περίοδο για να συνδεθούν στο Διαδίκτυο, ανάλογα με την ταχύτητα πρόσβασης και ανεξάρτητα από το ποσό των δεδομένων που στέλνουν ή λαμβάνουν.

2. **Τιμολόγηση εξαρτώμενη από τη χρήση (usage-sensitive pricing):** Στην περίπτωση αυτή συνήθως τα τέλη που πληρώνουν οι χρήστες αποτελούνται από δυο μέρη, εκ των οποίων το ένα εξαρτάται από την ταχύτητα σύνδεσης και το δεύτερο είναι μεταβλητό και εξαρτάται (με διάφορους τρόπους) από το ποσό των δεδομένων που στάλθηκαν και (ή) λήφθηκαν. Το οριακό κόστος (marginal cost) της αποστολής ή λήψης ενός επιπλέον bit δεν είναι μηδέν τουλάχιστον για κάποια χρονική περίοδο.
3. **Τιμολόγηση που βασίζεται στο είδος της συναλλαγής (transaction-based pricing):** Όπως και στην χρέωση που εξαρτάται από τη χρήση, το οριακό κόστος της αποστολής (λήψης) ενός επιπλέον bit δεν είναι μηδέν. Παρ' όλα αυτά, οι τιμές καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε συναλλαγής και όχι από τον αριθμό των bits.

Η δεύτερη και τρίτη κατηγορία μπορούν να ενταχθούν στη γενικότερη κατηγορία της **τιμολόγησης βάσει της χρήσης (usage-based pricing)**. Γενικά η προσέγγιση αυτή της κατηγοριοποίησης στις 2 αυτές κατηγορίες είναι αρκετά απλή. Ουσιαστικά οι 2 αυτές κατηγορίες (χρέωση βασισμένη στη χρήση, χρέωση ενιαίου τέλους) μοιάζουν περισσότερο για δυο πολύ γενικές φιλοσοφίες-προσεγγίσεις στο θέμα της τιμολόγησης δικτυακών υπηρεσιών, παρά για δυο ακριβείς μεθόδους χρέωσης (ειδικά αυτό ισχύει για τη δεύτερη προσέγγιση που βασίζεται στη χρήση).

Οι 2 αυτές κατηγορίες έχουν έναν μεγάλο αριθμό υποστηρικτών, οι οποίοι βρίσκονται σε διαμάχη μεταξύ τους για τον ορθότερο τρόπο χρέωσης. Τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί πλήθος εργασιών στην επιστημονική κοινότητα που ασχολούνται με την διαμάχη μεταξύ των 2 αυτών κατηγοριών χρέωσης. Αυτό ξεκίνησε από τη στιγμή που άρχισε να διατυπώνεται μια κριτική για το υπάρχον σχήμα τιμολόγησης του Διαδικτύου, οπότε αυτόματα δημιουργήθηκαν δυο ομάδες στην επιστημονική κοινότητα. Η κάθε μία υποστήριζε σθεναρά μια από τις δυο προσεγγίσεις και παρουσίαζε με επιχειρήματα τα μειονεκτήματα της άλλης. Αν και η μακροχρόνια αυτή διαμάχη δεν κατέληξε σε ένα σαφές τελικό συμπέρασμα αποδεκτό από όλους, υπήρξε ως ένα βαθμό αρκετά χρήσιμη γιατί έδωσε τα κίνητρα για αναλυτικότερη έρευνα και καλύτερη κατανόηση του όλου επιστημονικού πεδίου της τιμολόγησης δικτυακών υπηρεσιών. Οι επόμενες ενότητες παρουσιάζουν ορισμένα από τα επιχειρήματα των υποστηρικτών κάθε κατηγορίας και στο τέλος υπάρχει και μια συγκριτική τους μελέτη.

5.5.1.1 Μειονεκτήματα του μοντέλου χρέωσης ενιαίου τέλους

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται τα κυριότερα σημεία στα οποία υστερεί το μοντέλο χρέωσης ενιαίου-τέλους, σύμφωνα με τους υποστηρικτές του μοντέλου χρέωσης με βάση τη χρήση. Επίσης αναλύεται και ένα μοντέλο ζήτησης του καταναλωτή (model of consumer demand), το οποίο αποδεικνύει θεωρητικά τρία σοβαρά μειονεκτήματα της χρέωσης ενιαίου-τέλους.

Τον τελευταίο καιρό υπάρχει μια ισχυρή κίνηση προς αλλαγή του κυρίαρχου σχήματος πάγιας μηνιαίας χρέωσης καθώς και της ισοδύναμης αντιμετώπισης όλων των πακέτων από το Διαδίκτυο. Και οι δυο αυτές καταστάσεις θεωρούνται μη αποτελεσματικές πλέον από πολλούς. Η βασική αιτιολόγηση πίσω από αυτό είναι οι παρακάτω διαπιστώσεις:

Παρ' όλο που τα σταθερά, ενιαία τέλη (flat fees) συνεχίζουν να είναι η κυρίαρχη μορφή βάσει της οποίας πωλείται η πρόσβαση στο Διαδίκτυο, η μορφή αυτή δεν είναι βιώσιμη.

Η τιμολόγηση ενιαίου-τέλους ενθαρρύνει τη σπατάλη και απαιτεί το 20% των χρηστών, που είναι υπεύθυνοι για το 80% της κυκλοφορίας, να επιχορηγούνται από τους άλλους χρήστες και από άλλους τύπους εσόδων. Επιπρόσθετα, η τιμολόγηση ενιαίου-τέλους δεν είναι συμβατή με υπηρεσίες διαφοροποιημένες ως προς την ποιότητα εξυπηρέτησης (quality-differentiated services).

Στην πράξη, οι μικροί (κάτω του μέσου όρου) χρήστες μέσω της πάγιας χρέωσης επιχορηγούν τους μεγαλύτερους χρήστες, καθώς όλα τα κόστη καλύπτονται από το ενιαίο για όλους σταθερό τέλος σύνδεσης, που αποτελεί τρόπον τινά ένα μέσο όρο μεταξύ όλων των χρηστών. Αυτό το αναμφισβήτητο γεγονός υποδηλώνει πως η πάγια χρέωση στερείται της βασικής ιδιότητας της δικαιοσύνης μη λαμβάνοντας υπόψιν της την διαφορετική πραγματική χρήση.

Εξάλλου, η τρέχουσα τεχνολογία του Διαδικτύου χρησιμοποιεί ως επί το πλείστον δυο μηχανισμούς κατανομής πόρων (resource allocation mechanisms): την Τυχαιότητα (Randomization) και την FIFO (First-In-First-Out) εξυπηρέτηση στις ουρές. Η Τυχαιότητα εμμέσως αποδίδει σε όλα τα πακέτα την ίδια πιθανότητα να διαδοθούν στο δίκτυο ή να απορριφθούν. Η FIFO εξυπηρέτηση συνεπάγεται ως γνωστό την τοποθέτηση των πακέτων σε ουρές αναμονής σε κάθε κόμβο με βάση τη σειρά άφιξής τους. Και οι δυο μηχανισμοί θεωρούνται αναποτελεσματικοί καθώς η καθυστέρηση εκ φύσεως κοστίζει περισσότερο για μερικά πακέτα απ' ότι για κάποια άλλα. Επίσης η Τυχαιότητα και το FIFO σύστημα εξυπηρέτησης δεν λαμβάνουν υπόψιν διαφορετικούς τύπους απαιτήσεων για εξυπηρέτηση και συνεπώς συμβάλλουν στην αναποτελεσματικότητα του όλου σχήματος. Επομένως η τιμολόγηση ενιαίου-τέλους μειονεκτεί σοβαρά στο ότι δεν επιτρέπει στους χρήστες να γνωστοποιήσουν τις προτιμήσεις τους. Τους αντιμετωπίζει όλους το ίδιο, τη στιγμή που διαφορετικοί χρήστες μπορεί να δίνουν διαφορετική αξία στην ίδια υπηρεσία.

Τέλος, το σχήμα της πάγιας χρέωσης δε λαμβάνει καθόλου υπόψιν του την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου και δεν βοηθάει στον περιορισμό της συμφόρησης. Στην πράξη δεν δίνει στους χρήστες τα κίνητρα να χρησιμοποιήσουν μικρότερη χωρητικότητα από αυτή της σύνδεσής τους και επομένως δικαίως, μάλλον θεωρείται από πολλούς ως η βασική αιτία της συμφόρησης στο Διαδίκτυο σήμερα. Αντιθέτως, ένα σχήμα τιμολόγησης με βάση τη χρήση (κατάλληλης μορφής) θα έδινε στους χρήστες το κίνητρο να μειώσουν την κυκλοφορία τους ώστε να μειωθεί αντίστοιχα και η τιμή που θα πληρώσουν. Έτσι, θα βοηθούσε στον περιορισμό της συμφόρησης και στην οικονομικά αποδοτική λειτουργία του δικτύου.

Συνοψίζοντας και με βάση και τις επιθυμητές ιδιότητες των σχημάτων χρέωσης, θα έλεγε κανείς πως η τιμολόγηση ενιαίου-τέλους στερείται των πολύ σημαντικών ακόλουθων ιδιοτήτων:

- Δικαιοσύνης
- Συμβατότητας κινήτρων και
- Ευελιξίας

Συνεπώς, υστερεί σαφώς από ένα σχήμα τιμολόγησης βάσει της χρήσης με τις παραπάνω ιδιότητες, αρκεί βέβαια το τελευταίο να μην έχει άλλα σοβαρότερα μειονεκτήματα.

5.5.1.2 Μειονεκτήματα του μοντέλου χρέωσης βασισμένη στη χρήση

Ύστερα από τη συζήτηση της προηγούμενης παραγράφου, κάποιος μπορεί να κατέληγε στο συμπέρασμα πως η χρέωση ενιαίου-τέλους είναι πραγματικά μια πολύ κακή ιδέα αφού αποδεδειγμένα είναι η αιτία δυσάρεστων καταστάσεων. Ίσως λοιπόν να του προκαλούσε μεγάλη έκπληξη το γεγονός πως παρ' όλο που ακούγονται αυτά τα επιχειρήματα για πολύ καιρό, δεν έχει γίνει ακόμη η «πολυπόθητη» αλλαγή, ώστε να επικρατήσει στις δικτυακές υπηρεσίες και ειδικά στο Διαδίκτυο η χρέωση που βασίζεται στη χρήση.

Μια πολύ συχνή εξήγηση που δίνεται στο γεγονός της παραμονής σε σχήματα πάγιας χρέωσης και της μη μετάβασης στην χρέωση που βασίζεται στη χρήση, είναι τα υψηλά κόστη της δεύτερης προσέγγισης. Είναι πολύ συνηθισμένο να παρατίθεται το παράδειγμα της τηλεφωνίας, στην οποία η κοστολόγηση (billing) κοστίζει παραπάνω από το ίδιο το δίκτυο. Αν και υπάρχει μια μεγάλη δόση αλήθειας σε αυτό, κάποιος θα μπορούσε να αμφισβητήσει τη σχέση που έχει αυτό με το Διαδίκτυο και να υποστηρίξει πως δεν είναι ανάγκη να συμβεί το ίδιο.

Πραγματικά τα κόστη της συναλλαγής (transaction costs) μπορούν να μειωθούν σε σημαντικό βαθμό και υπάρχουν παραδείγματα σχημάτων χρέωσης βάσει της χρήσης που χρησιμοποιούνται κυρίως για συνδέσεις επιχειρήσεων στο Διαδίκτυο και τα οποία λειτουργούν αποδοτικά. Επομένως, τα κόστη λογιστικής διαχείρισης και μέτρησης κυκλοφορίας (accounting and traffic measurement costs) μπορεί να μην είναι τόσο μεγάλα όπως συχνά λέγεται ειδικά για απλά σχήματα χρέωσης βασισμένης στη χρήση (και συγκεκριμένα στον όγκο κυκλοφορίας) στα οποία η τιμολόγηση δεν χρησιμοποιείται για έλεγχο συμφόρησης πραγματικού χρόνου (real-time congestion control). Δηλαδή έχουμε χαμηλά κόστη λογιστικής κυρίως σε σχήματα στα οποία η χρέωση βασίζεται σε απλή μέτρηση bytes. Τέτοια χρησιμοποιούνται ως ένα βαθμό κυρίως σε χώρες στις οποίες πληρώνεται μια πανάκριβη γραμμή προς την Αμερική. Εύλογα θα αναρωτιόταν κάποιος αφού η χρέωση ενιαίου-τέλους έχει τόσα μειονεκτήματα και αυτά τα σχήματα που βασίζονται σε μετρήσεις της χρήσης δεν έχουν μεγάλα κόστη λογιστικής, γιατί τότε δεν διαδόθηκαν περισσότερο;

Αρκετοί απαντούν σε αυτό ότι η απλή χρέωση με βάση τα μετρούμενα bytes κυκλοφορίας, είναι αρκετά άδικη για το χρήστη. Για να φανεί αυτό, παρατίθενται τα ακόλουθα παραδείγματα:

- Έστω ότι κατεβάζει κάποιος εικόνες ιατρικού περιεχομένου από το Διαδίκτυο,. Αν η εικόνα είναι κωδικοποιημένη σε τέτοια μορφή (format) που το μέγεθός της είναι τεράστιο, τότε η χρέωση βάσει του όγκου θα είναι αδικαιολόγητα υψηλή για το χρήστη, ενώ θα μπορούσε να είναι πολύ μικρότερη αν γινόταν μια εξυπνότερη επιλογή μορφής κωδικοποίησης (format) της εικόνας.
- Αν κατά την ηλεκτρονική πληρωμή μέσω Διαδικτύου ο χρήστης χρειαστεί να κάνει επανειλημμένως πιστοποίηση της ταυτότητάς του για τεχνικούς λόγους που δεν τον αφορούν (αυτός απλά θέλει να κάνει την συναλλαγή του), τότε θα χρεωθεί πιο πολύ χωρίς λόγο. Αν μάλιστα για διάφορους λόγους δεν γίνει η συναλλαγή, αυτός θα πληρώσει για δεδομένα που δεν του ήταν καθόλου χρήσιμα.
- Για την αποστολή /λήψη X bytes χρήσιμης πληροφορίας ο χρήστης μεταδίδει /λαμβάνει στην πράξη Y>X bytes. Οι φορείς παροχής δικτυακών υπηρεσιών με μεγάλους ρυθμούς λαθών και απωλειών, θα έχουν και μεγάλη διαφορά μεταξύ Y

και X. Έτσι, ο χρήστης θα χρεώνεται για πληροφορία που δεν ήθελε ο ίδιος να δημιουργήσει (τα Y-X bytes).

Αν και λογικά αυτά τα επιχειρήματα, στην πράξη δεν είναι τόσο σημαντικά που να αποτελούν το μοναδικό λόγο για τον οποίο εξακολουθεί να γνωρίζει ευρεία διάδοση μόνο η χρέωση ενιαίου-τέλους (flat-rate charging). Στην πραγματικότητα βέβαια υπάρχουν και άλλα ισχυρά επιχειρήματα υπέρ της χρέωσης ενιαίου-τέλους, τα οποία αναλύονται αμέσως παρακάτω και αποτελούν τα κύρια εμπόδια της μετάβασης προς σχήματα χρέωσης βασισμένα στη χρήση.

Υψηλά έσοδα ενιαίου-τέλους χρέωσης ως μορφής πακεταρίσματος (bundling)

Η διατήρηση της χρέωσης ενιαίου-τέλους αποφέρει στους φορείς παροχής δικτυακών υπηρεσιών σε σύγκριση με άλλα σχήματα υψηλότερα κέρδη. Αυτό συμβαίνει διότι τα ενιαία τέλη στη χρέωση αποτελούν μια μορφή πακεταρίσματος υπηρεσιών (bundling of services). Το πακετάρισμα είναι μια στρατηγική που προσφέρει διάφορα προϊόντα ή υπηρεσίες σε μια μοναδική τιμή για όλο το πακέτο και είναι σε κοινή χρήση και σε άλλες αγορές εκτός αυτής των δικτυακών υπηρεσιών. Προφανώς αυτό ακούγεται βολικό για τους χρήστες οι οποίοι με ένα μοναδικό ποσό και με μια συναλλαγή, αγοράζουν μαζί πολλές υπηρεσίες. Θα περίμενε κάποιος πως για αυτό το λόγο όλο το πακέτο των υπηρεσιών θα έπρεπε να κοστίζει παραπάνω από το άθροισμα των τιμών των μεμονωμένων υπηρεσιών που το αποτελούν. Στην πράξη όμως τα πακέτα αυτά χρεώνονται σε χαμηλότερες τιμές.

Ο πραγματικός λόγος που οι φορείς παροχής υπηρεσιών προσφέρουν τέτοια πακέτα στους πελάτες τους δεν είναι η βολικότητα, αλλά τα υψηλότερα έσοδα που τους αποφέρει αυτή η στρατηγική. Αυτό συμβαίνει γιατί το πακετάρισμα εκμεταλλεύεται τις ανόμοιες προτιμήσεις που υπάρχουν μεταξύ των χρηστών για τα διάφορα συστατικά του πακέτου για να μειώσει έτσι την υπεραξία του καταναλωτή (consumer surplus). Αυτό φαίνεται και στο ακόλουθο παράδειγμα.

Παράδειγμα 1: Έστω ότι μια εταιρία έχει δυο πελάτες, *Π1* και *Π2*, που ενδιαφέρονται για δυο υπηρεσίες που αυτή προσφέρει, τις *Y1* και *Y2*. Η εταιρία θέλει να αποκομίσει τα περισσότερα οφέλη χρεώνοντας ξεχωριστά την κάθε υπηρεσία. Θεωρούμε ότι δεν μπορεί να διακρίνει μεταξύ των χρηστών κατά τη χρέωση. Έστω ότι ο *Π1* είναι πρόθυμος να πληρώσει το μήνα €15 για την *Y1* και €25 για την *Y2*, ενώ ο πελάτης *Π2* είναι πρόθυμος να πληρώσει €20 για την *Y1* και €10 για την *Y2*. Η εταιρία για μέγιστα κέρδη υπό αυτές τις υποθέσεις θα πρέπει να χρεώσει για €15 την *Y1* και για €25 την *Y2*. Τότε ο *Π1* θα αγόραζε και τις δυο υπηρεσίες (=€40), ενώ ο *Π2* μόνο την *Y1* (=€15) γιατί η *Y2* θα του φαινόταν ακριβή. Άρα η εταιρία θα έπαιρνε το άθροισμα αυτών, δηλαδή €55. Έστω ότι η εταιρία πακετάρει τις δυο υπηρεσίες σε μια νέα υπηρεσία-πακέτο (bundle) *B* που τη χρεώνει για €30 το μήνα, ενώ εξακολουθεί να προσφέρει και τις άλλες ξεχωριστές επιλογές. Τότε οι πελάτες *Π1* και *Π2* θα προτιμήσουν και οι δυο να προμηθευθούν το πακέτο *B* για €30, γιατί και για τους δυο τα €30 δεν υπερβαίνουν το άθροισμα των χρημάτων που είναι πρόθυμοι να πληρώσουν για τις δυο υπηρεσίες. Με αυτό τον τρόπο τα έσοδα της εταιρίας γίνονται €60, δηλαδή περισσότερα από πριν κατά €5.

Το πακετάρισμα που έχει μελετηθεί εκτενώς στα οικονομικά, δεν είναι πάντα επικερδέστερο από την γνωστή πώληση ανεξάρτητων υπηρεσιών. Για τις πιο πολλές όμως λογικές κατανομές ζήτησης πελατών, το πακετάρισμα υπηρεσιών / προϊόντων αποφέρει πιο πολλά στον φορέα που τις παρέχει. Να σημειωθεί πως καλό είναι παράλληλα να διατίθενται και ξεχωριστά οι υπηρεσίες του πακέτου. Επίσης, το κέρδος

από το πακετάρισμα είναι γενικά μεγαλύτερο για μεγαλύτερο αριθμό συστατικών του πακέτου.

Προκειμένου να αναδειχθεί καλύτερα γιατί η ενιαίου-τέλους χρέωση αποτελεί μία μορφή πακεταρίσματος υπηρεσιών, παρατίθεται το επόμενο παράδειγμα.

Παράδειγμα 2: Έστω ότι στοιχειώδης υπηρεσία είναι η πρόσβαση σε έναν δικτυακό τόπο (web-site). Επίσης, θεωρείται ότι ένας χρήστης ενδιαφέρεται από τα εκατοντάδες εκατομμύρια web-sites μόνο για 10 και θέλει να λαμβάνει από καθένα 2MB το μήνα. Έστω επίσης ότι τα ποσά που είναι πρόθυμος να πληρώσει ανά μήνα για κάθε web-site, είναι αυτά που φαίνονται στον Πίνακα 4:

SITE #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
€ / μήνα	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	€22

Πίνακας 4: Τιμολόγηση ενιαίου-τέλους ως μορφή πακεταρίσματος

Από την τελευταία στήλη του πίνακα προκύπτει ότι ο χρήστης θα ήταν πρόθυμος να πληρώσει μια μηνιαία συνδρομή €22 για όλα τα web-sites. Αν υπήρχε μόνο δυνατότητα τιμολόγησης με βάση τη χρήση και συγκεκριμένα χρέωση ανά MB, τότε ο χρήστης σύμφωνα με τη δεύτερη σειρά του πίνακα και δεδομένου ότι θέλει να λαμβάνει 2MB το μήνα από κάθε web-site, θα ήταν πρόθυμος να δώσει €0.2/MB για το web-site 1, €0.4/MB για το 2, και λοιπά, ως το web-site 10 για το οποίο θα έδινε μέχρι €2/MB. Αν τώρα ο πάροχος χρέωνε €1/MB, ο χρήστης θα πλήρωνε την πρόσβαση μόνο για τα sites 5 έως 10 για τα οποία είναι πρόθυμος να δώσει ποσό μεγαλύτερο ή ίσο από την τιμή που έθεσε ο πάροχος, δηλαδή το €1/MB. Για τα άλλα η χρέωση θα του φαινόταν ακριβή. Αυτό θα απέφερε στον ISP συνολικά €12 το μήνα από το χρήστη, για τα 2MB που θα κατεβάσει στον υπολογιστή του από καθένα των 6 sites. Αν ο ISP έθετε την τιμή στα €1.2/MB τότε θα είχε τα ίδια έσοδα, ενώ για κάθε άλλη τιμή θα είχε λιγότερα έσοδα από το χρήστη.

Στο παράδειγμα τα έσοδα από την τιμολόγηση ενιαίου-τέλους είναι 83% περισσότερα από την χρέωση βάσει του όγκου. Αυτό ισχύει μόνο αν θεωρηθεί πως το κόστος της μεταφοράς της επιπλέον κυκλοφορίας στην περίπτωση του ενιαίου τέλους είναι αμελητέο και αν ο πάροχος μπορεί να μαντέψει το μέγιστο ποσό που είναι πρόθυμος να πληρώσει ο χρήστης, δηλαδή τα €22. Στο παράδειγμα αυτό προφανώς η ενιαίου-τέλους χρέωση αποτελεί ένα πακέτο των στοιχειωδών υπηρεσιών πρόσβασης σε καθένα από τα εκατομμύρια web-sites ανά τον κόσμο. Το μοντέλο αυτό είναι απλοποιημένο (αφού στην πράξη το πακέτο περιλαμβάνει και πολλά άλλα πράγματα) αλλά αρκετό για να περιγραφεί ως πακετάρισμα η ενιαίου-τέλους χρέωση.

Γενικά λοιπόν, έστω ότι η παροχή της επιπρόσθετης υπηρεσίας που η χρέωση ενιαίου-τέλους προκαλεί, επιφέρει αμελητέα οριακά κόστη στον φορέα παροχής. Έστω ακόμη ότι, όπως στο παράδειγμα, οι χρήστες γνωρίζουν την ωφέλεια που αποκομίζουν από κάθε bit που λαμβάνουν ή στέλνουν. Υπό αυτές τις συνθήκες, το αν ένας φορέας παροχής υπηρεσιών έχει περισσότερα κέρδη από μια τιμολόγηση ενιαίου-τέλους ή από μια με βάση τη χρήση, εξαρτάται από τις κατανομές της ζήτησης μεταξύ των εν δυνάμει χρηστών.

Η ένθερμη προτίμηση του κοινού

Ένα δεύτερο πολύ ισχυρό επιχείρημα υπέρ της τιμολόγησης ενιαίου-τέλους είναι το εξής: παρά το γεγονός πως η βασισμένη στη χρήση χρέωση έχει αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα (όπως περιγράφηκαν σε προηγούμενη παράγραφο), δεν αρέσει στους χρήστες. Αυτοί φαίνονται διατεθειμένοι ακόμη και να πληρώσουν περισσότερα για να την αποφύγουν. Πράγματι όταν οι χρήστες έχουν να επιλέξουν ένα σχήμα τιμολόγησης (σε περίπτωση που τους προσφέρονται διάφορες πολιτικές χρέωσης για να διαλέξουν), συχνά πληρώνουν περισσότερα για ένα σχήμα ενιαίου-τέλους (flat-rate scheme) από όσα θα πλήρωναν αν επέλεγαν να χρεωθούν σύμφωνα με τη χρήση. Πολλοί πάροχοι προσφέρουν στην πράξη σχήματα ωριαίας χρέωσης (per-hour pricing) που είναι προφανώς ειδική μορφή χρέωσης με βάση τη χρήση) τα οποία σε τυπικές περιπτώσεις θα ήταν πιο οικονομικά για πολλούς από τους πελάτες τους. Οι τελευταίοι όμως δείχνουν μια προθυμία να πληρώσουν περισσότερα αρκεί να αποφύγουν οποιαδήποτε μορφή μετρούμενης χρήσης στα σχήματα με τα οποία τους χρεώνουν.

Η μεγάλη προτίμηση του κοινού για την χρέωση ενιαίου-τέλους είναι από μόνη της ένα σημαντικό πλεονέκτημα που έχει σε σύγκριση με τη χρέωση βάσει της χρήσης. Όμως, και οι λόγοι για τους οποίους υπάρχει αυτή η προτίμηση αποτελούν επιπλέον επιχειρήματα υπέρ της ενιαίου-τέλους χρέωσης. Αυτοί συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Αίσθημα ασφάλειας – προβλεψιμότητα: Η χρέωση ενιαίου-τέλους παρέχει μια προστασία από απρόβλεπτους υψηλούς λογαριασμούς. Αυτό δίνει ένα αίσθημα ασφάλειας στους χρήστες που πάντα θέλουν να αποφεύγουν το ρίσκο. Για παράδειγμα, τα σχήματα αυτά συνήθως προτιμώνται από οικογένειες ή κυρίως από ερευνητικά και εκπαιδευτικά ιδρύματα. Ειδικότερα για τα τελευταία όπου διαθέτουν περιορισμένους και σαφώς καθορισμένους πόρους (δημόσια χρηματοδότηση), όπως και για βιομηχανίες, πρέπει να μένουν μέσα στα όρια σταθερών ετήσιων προϋπολογισμών και κατά συνέπεια, έχουν πρόβλημα με κόστη που δεν είναι σαφώς προβλέψιμα κατά την διάρκεια κάθε έτους.
- Ικανοποίηση της συνήθους υπερεκτίμησης της χρήσης: Οι πελάτες τυπικά υπερεκτιμούν το πόσο χρειάζονται να χρησιμοποιήσουν μια υπηρεσία, με τον λόγο της εκτιμώμενης προς την πραγματική χρήση να ακολουθεί μια λογαριθμική-κανονική κατανομή. Για αυτό και οι χρήστες γενικά αισθάνονται πως με τη χρέωση ενιαίου-τέλους ικανοποιείται η υπερεκτιμημένη (από τους ίδιους) ανάγκη τους για τις δικτυακές υπηρεσίες. Απόδειξη αυτού αποτελεί το ότι είναι πρόθυμοι να πληρώσουν περισσότερα για μια σταθερή μηνιαία συνδρομή που θα τους εξασφαλίζει απεριόριστη χρήση, παρ' όλο που την ίδια στιγμή ένα πολύ μεγάλο ποσοστό τους θα γλίτωνε αρκετά στην πράξη, αν χρεωνόταν για παράδειγμα ανά ώρα χρήσης.
- Αποφυγή πρόσθετης ενόχλησης και άγχους: Σε ένα σχήμα τιμολόγησης σύμφωνα με τη χρήση, οι χρήστες τυπικά ανησυχούν για κάθε σύνδεσή τους αν αξίζει πραγματικά τα λεφτά που κοστίζει. Δηλαδή νιώθουν πως πρέπει να έχουν συνεχώς τεταμένη την προσοχή τους για κάθε τι που κάνουν και να εξετάζουν αν τους συμφέρει ή όχι να το κάνουν.
- Απλότητα στην κατανόηση / Φιλικότητα: Είναι γεγονός πως κάποια από τα σχήματα χρέωσης που προτείνονται απαιτούν από τους χρήστες να έχουν πλήρη γνώση του περίπλοκου μερικές φορές τρόπου που λειτουργούν. Απαιτείται λοιπόν από τον χρήστη να γνωρίζει πώς ακριβώς χρεώνεται για να νιώθει και ο ίδιος ασφαλής, αλλά και να ξέρει πώς οι ενέργειές του θα επηρεάσουν την τιμή που θα

κληθεί να πληρώσει. Αυτό είναι ένα επιπλέον αξιόλογο κάποιες φορές κόστος για το χρήστη, που το υφίσταται κυρίως για περίπλοκα σχήματα χρέωσης βασισμένα στη χρήση. Η χρέωση ενιαίου-τέλους αντιθέτως είναι απλούστατη και άμεσα κατανοητή από όλους. Δεν απαιτεί λοιπόν καμιά προσπάθεια για να αντιληφθεί ο χρήστης τον τρόπο λειτουργίας της, δεδομένου μάλιστα ότι οι χρήστες την έχουν συνηθίσει τόσα χρόνια.

5.5.1.3 Η άποψη των παρόχων (ISPs) για την ενιαίου-τέλους χρέωση

Πέρα από την λειτουργία της ενιαίου-τέλους χρέωσης σαν μια μορφή πακεταρίσματος πράγμα που γενικά αποφέρει πιο πολλά στους παρόχους, και συζητήθηκε ήδη σε προηγούμενη παράγραφο, υπάρχουν και άλλοι λόγοι που οι πάροχοι δείχνουν να προτιμούν αυτή την πολιτική:

- Δραματικές επιπτώσεις της χρέωσης με βάση τη χρήση πάνω στην ίδια τη χρήση: Η χρέωση σύμφωνα με τη χρήση αποτελεί αποδεδειγμένα τον πιο σίγουρο τρόπο για να μειωθεί η χρήση. Αυτό είναι κοινά αποδεκτό και φαίνεται από διάφορα περιστατικά. Είναι αρκετά γνωστό το παράδειγμα της μειωμένης χρήσης που παρουσίαζαν οι συνδρομητές της AOL (America-On-Line, από τους πιο δημοφιλείς ISPs στις Η.Π.Α. και όχι μόνο) μέχρι το 1996. Στο δεύτερο και τρίτο τέταρτο του 1996 οι πελάτες της AOL παρέμεναν αντίστοιχα 13 και 14 λεπτά την ημέρα κατά μέσο όρο συνδεδεμένοι στο Διαδίκτυο. Αυτό συνέβαινε διότι η AOL χρέωνε ως τότε τους συνδρομητές της ανά ώρα σύνδεσης. Όταν τον Οκτώβριο του 1996 στράφηκε προς την πολιτική χρέωσης ενιαίου-τέλους, η χρήση τριπλασιάστηκε ανά συνδρομητή περίπου σε ένα χρόνο.
- Απλότητα στην υλοποίηση: Η χρέωση ενιαίου-τέλους είναι μακράν η απλούστερη ως προς την υλοποίηση πολιτική χρέωσης. Τα κόστη υλοποίησης που υφίσταται ο πάροχος είναι ανύπαρκτα, κάτι που για ορισμένα «βαριά» σχήματα χρέωσης με βάση τη χρήση δεν ισχύει.
- Η αναποτελεσματικότητά της δεν είναι και τόσο μεγάλη: Η κοινά αποδεκτή αναποτελεσματικότητα των σχημάτων χρέωσης ενιαίου-τέλους, όπως περιγράφηκε παραπάνω, σε ότι αφορά την οικονομικά αποδοτική χρήση του δικτύου, περιορίζεται κάπως από άλλους παράγοντες και δεν είναι τελικά τόσο μεγάλη όσο υποστηρίζεται. Συγκεκριμένα, αν είναι κάποιος συνδεδεμένος σε δίκτυο όπως το Διαδίκτυο, μπορεί να διανείμει περιεχόμενο στο δίκτυο και να είναι προσβάσιμος από άλλους χρήστες. Επίσης είναι πιο πιθανό να δοκιμάσει νέες τεχνολογίες και νέα προϊόντα ενώ είναι online. Έτσι η παρουσία του κάνει το δίκτυο πιο πολύτιμο για άλλους χρήστες. Κατά συνέπεια κάποια από τα κόστη της χρήσης του μπορεί δικαιολογημένα να κατανεμηθούν μεταξύ άλλων συμμετεχόντων στο δίκτυο. Αυτό κάνει τις απώλειες στην απόδοση από τα ενιαία τέλη μικρότερες από όσο φαίνεται εκ πρώτης όψεως, ενώ τα οφέλη από την αυξημένη χρήση που προκαλείται γίνονται μεγαλύτερα.
- Ευκολότερα ωθεί τους χρήστες σε ακριβότερες συνδέσεις: Η υποστήριξη σχημάτων χρέωσης ενιαίου-τέλους από έναν πάροχο, μπορεί να τον βοηθήσει σημαντικά περισσότερο σε έναν βασικό του στόχο: καθώς εξελίσσονται οι δικτυακές τεχνολογίες, να ωθεί τους συνδρομητές του σε υψηλότερης ταχύτητας και ακριβότερες συνδέσεις. Αυτό, όπως αντιλαμβάνεται κανείς, είναι πολύ πιο εύκολο να επιτευχθεί μέσω τέτοιων σχημάτων πάγιας χρέωσης, ιδιαίτερα αν η πάγια χρέωση ισχύει και για την πρόσβαση στο Διαδίκτυο, δηλαδή υπάρχουν σχήματα

σταθερής μηνιαίας συνδρομής για διάφορες υπηρεσίες και για την πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

- Για αποφυγή του ρίσκου χαμηλών εσόδων: Εισάγοντας ένα σχήμα πάγιας χρέωσης ένας πάροχος εξασφαλίζει, ανάλογα με τον αριθμό των συνδρομητών του, ένα γνωστό εκ των προτέρων σύνολο εσόδων. Αποφεύγει έτσι το ρίσκο που θα εισήγαγε μια πολιτική χρέωσης βάσει της χρήσης για υπερβολικά μειωμένη χρήση από τους συνδρομητές, κάτι που σύμφωνα με την προηγούμενη ανάλυση (για τη δραματική μείωση χρήσης) είναι πιθανό.

5.5.1.4 Συμπεράσματα – κριτική προσέγγιση των 2 κατηγοριών

Η παρουσίαση των επιχειρημάτων υπέρ της ενιαίου-τέλους χρέωσης που μόλις προηγήθηκε, θα οδηγούσε κάποιον που άκουγε μόνο αυτά εύλογα να συμπεράνει ότι αυτή η πολιτική τιμολόγησης είναι ιδανική αφού αφήνει τους πάντες ευχαριστημένους, χρήστες και φορείς παροχής δικτυακών υπηρεσιών. Αυτό φαίνεται από όλη την προηγηθείσα ανάλυση των λόγων που κάνουν αυτό το σχήμα ελκυστικό τόσο για τους χρήστες όσο και για τους φορείς παροχής. Το παράξενο και συγχρόνως εντυπωσιακό είναι πως στο ίδιο ακριβώς συμπέρασμα είχαν φτάσει και οι υποστηρικτές της άλλης πλευράς για την χρέωση που βασίζεται στην χρήση! Ότι δηλαδή μια κατάλληλη χρέωση με τη χρήση είναι πολύ ελκυστική και συμφέρουσα τόσο για τους χρήστες όσο και για τους φορείς παροχής, σε αντίθεση με την ενιαίου-τέλους χρέωση που έχει τόσα μειονεκτήματα.

Άρα όπως φαίνεται η διαμάχη μεταξύ των δυο προσεγγίσεων στην τιμολόγηση δικτυακών υπηρεσιών, δεν έβγαλε ξεκάθαρο νικητή για το ποια είναι τελικά η ιδανική χρέωση, τουλάχιστον για την υπάρχουσα κατάσταση του Διαδικτύου. Αντίθετα οδήγησε στην διεξαγωγή περισσότερης έρευνας και συνέβαλε στην καλύτερη κατανόηση της έννοιας της τιμολόγησης. Το σίγουρο όμως είναι πως και οι 2 προσεγγίσεις έχουν θετικά στοιχεία και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται. Είναι αναμφισβήτητη η προτίμηση του κοινού ως τώρα για την πάγια χρέωση, αλλά και η αναποτελεσματικότητά της αναφορικά με την οικονομικά αποδοτική λειτουργία του δικτύου, που βελτιώνεται με μια πολιτική χρέωσης βασισμένη στη χρήση.

Σε διάφορες ερευνητικές εργασίες εκφράζεται η άποψη πως αυτά τα δυο γενικά σχήματα δεν είναι απολύτως διαφορετικά και αναγκαστικά συγκρουόμενα, αλλά μάλλον και τα δυο τοποθετούνται μέσα στην ενιαία και συνεχή «σειρά» των πολιτικών τιμολόγησης που περιορίζουν την χρήση (usage-constraining pricing policies). Και ενώ αυτό είναι εμφανές για την χρέωση βάσει χρήσης, η χρέωση ενιαίου-τέλους θεωρείται πως περιορίζει τη χρήση καθώς επιτρέπει την πρόσβαση μόνο μέχρι μιας μέγιστης τιμής ταχύτητας σύνδεσης (από την οποία εξαρτάται και το τέλος για πληρωμή), αποτελεί δηλαδή περιορισμό στον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για τον χρήστη (user's peak rate). Επομένως, δεν υπάρχει ένα ιδανικό σχήμα χρέωσης και πιθανότατα στο μέλλον και οι δυο πολιτικές, μαζί με πολλά ενδιάμεσα μικτά (υβριδικά) σχήματα θα προσφέρονται στους χρήστες από τους τοπικούς παρόχους. Ο λεπτομερής σχεδιασμός του κάθε μοντέλου χρέωσης που θα χρησιμοποιηθεί σε τοπικό επίπεδο, καλό είναι να αφεθεί μόνο στα τμήματα μάρκετινγκ των διαφόρων παρόχων. Τελικά, υποστηρίζεται η άποψη πως καμιά συγκεκριμένη πολιτική χρέωσης δεν πρέπει να ενσωματωθεί στην αρχιτεκτονική του Διαδικτύου, αλλά πρέπει απλά η ερευνητική κοινότητα σχεδιασμού δικτύων, να παράσχει μια κατανοητή αρχιτεκτονική τιμολόγησης δικτύου, που θα

επιτρέπει στους μεμονωμένους παρόχους να κάνουν τις προσωπικές τους επιλογές για τον τρόπο χρέωσης που θα εφαρμόσουν σε τοπικό επίπεδο.

5.5.2 2^η προσέγγιση: Κατηγοριοποίηση των μοντέλων χρέωσης με βάση «διαστάσεις»

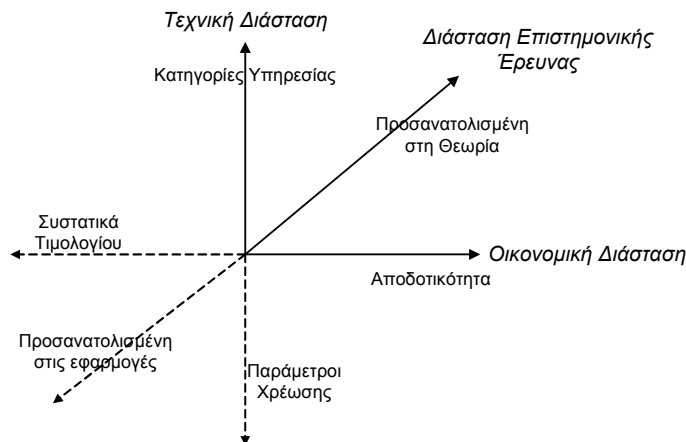
Ο αυξημένος πλέον αριθμός των προτεινόμενων μοντέλων τιμολόγησης επιβάλλει μια καλύτερη – με πιο σύνθετα κριτήρια (διαστάσεις) - μέθοδο κατηγοριοποίησης αυτών, τέτοια που να καθιστά ευκολότερη την μεμονωμένη ανάλυσή τους καθώς φυσικά και τη σύγκριση μεταξύ τους. Για τον σκοπό αυτό, μια προτεινόμενη κατηγοριοποίηση των μοντέλων χρέωσης θα πρέπει να παρέχει τα ακόλουθα:

- Μια ξεκάθαρη εξάρτηση από το μοντέλο υπηρεσίας (υπό την έννοια του ειδικού τύπου του δικτύου).
- Μια κατάλληλη διάκριση των συστατικών της τιμής, που χρειάζεται να ληφθούν υπόψιν για τα διάφορα μοντέλα τιμολόγησης.
- Μια επιλογή τεχνικών παραμέτρων κατάλληλων για τη χρέωση.
- Την αναγνώριση των στόχων της τιμολόγησης.

Προκειμένου λοιπόν να επιτευχθεί η κατηγοριοποίηση, ο σαφής διαχωρισμός και ο χαρακτηρισμός των μοντέλων χρέωσης δικτυακών υπηρεσιών που ερευνώνται, προτείνονται οι τρεις ακόλουθες διαστάσεις:

- Τεχνική Διάσταση
- Οικονομική Διάσταση
- Διάσταση της Επιστημονικής Έρευνας

Έχει διαπιστωθεί πως κάθε μια από αυτές αποτελείται επιπλέον από δυο επίπεδα: το ένα υψηλότερο υπό την έννοια ότι εκφράζει μια πιο αφηρημένη οπτική γωνία στο θέμα της τιμολόγησης και το άλλο χαμηλότερο υπό την έννοια ότι καταπιάνεται με πιο χειροπιαστά και πρακτικά θέματα της τιμολόγησης. Οι τρεις διαστάσεις όπως περιγράφηκαν μαζί με τα δυο επίπεδα που αποτελούν την καθεμιά, φαίνονται στο Σχήμα 23, όπου η διακεκομμένη γραμμή παριστά το χαμηλότερο επίπεδο κάθε διάστασης και η κανονική (συνεχόμενη) το υψηλότερο.



Σχήμα 23: Διαστάσεις για την κατηγοριοποίηση των μοντέλων χρέωσης

Γενικά, οι διαστάσεις αυτές που προτείνονται, μπορούν να θεωρηθούν ανεξάρτητες, δηλαδή ορθογώνιες μεταξύ τους όπως φαίνεται και στο σχήμα. Έτσι, μέσω των διαστάσεων ορίζεται το πεδίο μέσα στο οποίο κάθε συζήτηση για τιμολόγηση και κοστολόγηση πρέπει να τοποθετηθεί.

5.5.2.1 Η Τεχνική Διάσταση

Περιλαμβάνει δυο επίπεδα (Σχήμα 23), τις Κατηγορίες Υπηρεσίας που είναι το υψηλότερο (πιο αφηρημένο) επίπεδο και τις Παραμέτρους Χρέωσης (χαμηλότερο, πιο πρακτικό).

- **Κατηγορίες Υπηρεσίας:** Ανάμεσα στις υπάρχουσες προτάσεις πολιτικών χρέωσης υπάρχει μια εμφανής διάκριση μεταξύ των προσεγγίσεων που είναι προσανατολισμένες στη σύνδεση και αυτών που δεν είναι προσανατολισμένες στη σύνδεση. Πιο συγκεκριμένα, κάποιος μπορεί να κάνει μια διάκριση ανάμεσα στα μοντέλα χρέωσης σε-επίπεδο-πακέτου, στην προσέγγιση των Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services) και σε αυτή των Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services). Στην ιστορία της τιμολόγησης του Διαδικτύου, τα μοντέλα επιπέδου-πακέτου ήταν τα πρώτα που έκαναν τον διαχωρισμό ανάμεσα σε διάφορες ποιότητες υπηρεσίας, εστιάζοντας κυρίως στα μεμονωμένα πακέτα. Στα μοντέλα αυτά, τα Επίπεδα Ποιότητας-Εξυπηρέτησης σχεδιάζονται μόνο υπό τη μορφή σχετικών κλάσεων υπηρεσίας καλύτερης-προσπάθειας.

Η προσθήκη εγγυήσεων στις κλάσεις Ποιότητας-Εξυπηρέτησης (QoS classes) οδήγησε στην προσέγγιση της αρχιτεκτονικής Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών. Στο πλαίσιο αυτής, η χρέωση εστιάζει σε κλάσεις υπηρεσιών που χαρακτηρίζονται από παραμέτρους εγγύησης, ενώ εγκαταλείπεται η θεώρηση ανά-πακέτο των μοντέλων επιπέδου-πακέτου.

- **Παράμετροι Χρέωσης:** Το χαμηλότερο επίπεδο της Τεχνικής Διάστασης είναι οι Παράμετροι Χρέωσης και φαίνεται με την αντίστοιχη διακεκομμένη γραμμή της διάστασης αυτής στο Σχήμα 23. Αφορά τις τεχνικές εκείνες παραμέτρους που είναι, ή που πρέπει να είναι, διαθέσιμες για χρήση από τους μηχανισμούς χρέωσης. Αυτές ποικίλλουν και περιλαμβάνουν σημαίες προτεραιότητας (priority flags), τοποθέτηση ετικετών σε πακέτα πάνω από μια κορυφαία τιμή (packet tagging over peak), το ονομαστικό bit (nominal bit), τους μέσους ρυθμούς ροής (average flow rates), το ισοδύναμο εύρος ζώνης (effective bandwidth) και το κόστος συμφόρησης. Επίσης άλλες προσπάθειες χρέωσης μπορεί να θεωρήσουν τεχνικές παραμέτρους όπως η καθυστέρηση, η διακύμανση καθυστέρησης ή ο ρυθμός λαθών σαν τα κύρια χαρακτηριστικά βάσει των οποίων γίνεται η χρέωση (οι παράμετροι αυτοί μπορούν να βρουν εφαρμογή και σε περιπτώσεις κίνησης πραγματικού-χρόνου). Όμως, η καταλληλότητα αυτών των παραμέτρων για μηχανισμούς τιμολόγησης περιορίζεται από τεχνικά πρακτικά ζητήματα όπως η μέτρηση και η παρακολούθησή τους. Τελικά, μόνο εκείνες οι παράμετροι που μπορούν να αποκτηθούν και να καταγραφούν με αποδοτικό τρόπο θα επιβιώσουν σε μελλοντικά σχήματα τιμολόγησης.

5.5.2.2 Η Οικονομική Διάσταση

Συνίσταται από το υψηλότερο επίπεδο της Αποδοτικότητας και το χαμηλότερο (και πιο πρακτικό) επίπεδο των Συστατικών Τιμολογίου, όπως αυτά φαίνονται στο Σχήμα 23.

- **Αποδοτικότητα:** Στο επίπεδο αυτό της οικονομικής διάστασης ερευνάται ο στόχος του σχήματος χρέωσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λόγους αποδοτικότητας δικτύου, δηλαδή για μεγιστοποίηση της χρησιμοποίησης των δικτυακών πόρων (όπως εύρος ζώνης, χώρος ενδιάμεσης αποθήκευσης) ή για λόγους οικονομικής αποδοτικότητας. Άρα, η τιμολόγηση μεγιστοποιεί είτε τα έσοδα του φορέα παροχής μέσω αποδοτικής διαμοίρασης πόρων και ελέγχου πρόσβασης είτε την ικανοποίηση των χρηστών. Βεβαίως, αξίζει εδώ να τονιστεί πως οι δυο αυτοί τύποι αποδοτικότητας δεν είναι αναγκαστικά «ορθογώνιοι» (αντικείμενοι) ο ένας στον άλλο, δηλαδή μπορεί να υπάρξουν πολιτικές που να υποστηρίζουν τόσο την δικτυακή όσο και την οικονομική αποδοτικότητα. Όμως, παρ' όλα αυτά, αντιπροσωπεύουν δυο διαφορετικές προσεγγίσεις που πρέπει να διαχωριστούν μεταξύ τους. Στο επίπεδο αυτό επίσης, ένα επιπλέον θέμα που πρέπει να ληφθεί υπόψιν, είναι η ιδιότητα της συμβατότητας κινήτρων (incentive compatibility).
- **Συστατικά Τιμολογίου:** Η τιμολόγηση κοινών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αποτελείται από τρία βασικά μέρη: τα τέλη πρόσβασης (access fees), τα τέλη εγκατάστασης (setup fees) και τα τέλη χρήσης (usage fees). Συνδυασμένη θεώρηση αυτών των τριών μερών οδηγεί σε μια κατηγοριοποίηση σε διάφορα σχήματα, όπως χρέωση σταθερού ενιαίου-τέλους, χρέωση βασισμένη στη χρήση, σε δεσμεύσεις, στον όγκο δεδομένων, στην κλάση υπηρεσίας, στο εύρος ζώνης και λοιπά. Κατά ανάλογο τρόπο, υπάρχουν κάποιες βασικές προσεγγίσεις στην τιμολόγηση υπηρεσιών Διαδικτύου που μπορούν να διαχωριστούν στα πλαίσια του επιπέδου αυτού της Οικονομικής Διάστασης, όπως: η ενιαίου-τέλους, η βασισμένη στη χρήση ή στον όγκο τιμολόγηση, η τιμολόγηση με βάση το προφίλ του χρήστη ή της υπηρεσίας, η τιμολόγηση στα άκρα του δικτύου, η αντικείμενη αυτής τιμολόγηση που βασίζεται σε συμβόλαια πολλαπλών μερών (multilateral contracts), και λοιπά.

5.5.2.3 Η Διάσταση της Επιστημονικής Έρευνας

Η τελευταία αυτή διάσταση αναφέρεται στο αν η επιστημονική έρευνα διεξάγεται από μια περισσότερο θεωρητική ή περισσότερο πρακτική και προσανατολισμένη στις εφαρμογές οπτική γωνία (είναι τα δυο «επίπεδα» της Διάστασης στο Σχήμα 23, με κανονική και διακεκομμένη γραμμή αντίστοιχα). Πολλές φορές, οι ερευνητικές προσπάθειες των οικονομολόγων (πολλοί από τους οποίους έχουν ασχοληθεί με την τιμολόγηση του Διαδικτύου τα τελευταία χρόνια) έχουν μια πιο θεωρητική άποψη επί του θέματος και αρκετές φορές δεν λαμβάνουν υπόψιν τους την πρακτική εφικτότητα των όσων προτείνουν. Αντίθετα, οι προτάσεις για χρέωση που προέρχονται από άλλα είδη επιστημονικών ερευνητών όπως οι διαχειριστές δικτύων, είναι συχνά πιο κοντά στον πραγματικό κόσμο και έτσι πιο εφικτές αναφορικά με την δυνατότητα πρακτικής τους εφαρμογής. Και οι δυο αυτοί τύποι επιστημονικής έρευνας μπορούν να προσφέρουν σημαντικές γνώσεις και δεδομένα, ειδικά για την ανάπτυξη μιας αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου αρκετά γενικής για την υλοποίηση διαφορετικών μηχανισμών χρέωσης σε τοπικό επίπεδο. Αυτό το τελευταίο πρέπει να αποτελεί έναν ξεκάθαρο και αναγνωρισμένο στόχο για οποιαδήποτε εργασία γίνεται στο αντικείμενο της χρέωσης υπηρεσιών, καθώς οι τιμές που θα χρεωθούν και ο τρόπος προσδιορισμού τους αποτελούν μια σημαντική επιλογή σε επίπεδο επιχείρησης (ISP), η οποία πιθανότατα σε ένα μελλοντικό μοντέλο του Διαδικτύου θα διαφέρει μεταξύ διαφορετικών παρόχων.

5.5.3 Το σχήμα χρέωσης «Τιμολόγηση στα άκρα»

Ένα ενδεικτικό σχήμα τιμολόγησης που ακολουθεί την παραπάνω φιλοσοφία για ανεξαρτησία των παρόχων στην επιλογή του κόστους (χρέωσης) είναι το λεγόμενο «τιμολόγηση στα άκρα» (edge pricing). Το σχήμα αυτό αποτελεί μια γενική πολιτική τιμολόγησης που μπορεί εσωτερικά και σε τοπικό επίπεδο (για κάθε ξεχωριστό φορέα παροχής) να φιλοξενεί διάφορες μορφές σχημάτων χρέωσης. Η λειτουργία του βασίζεται στις 3 ακόλουθες θέσεις:

- Τα οριακά κόστη συμφόρησης δεν έχουν άμεση σχέση με τους στόχους της τιμολόγησης. Για παράδειγμα είναι υπό αμφισβήτηση το αν οι τιμές για τα οριακά κόστη καλύπτουν τα συνολικά κόστη λειτουργίας ενός δικτύου.
- Τα οριακά κόστη συμφόρησης δεν είναι καν διαθέσιμα και προσβάσιμα στους χρήστες ή στους διαχειριστές του δικτύου. Είναι θεμελιωδώς αδύνατο να γνωρίζουμε την ακριβή υποβάθμιση της εξυπηρέτησης που προκύπτει ως αποτέλεσμα μιας άλλης συγκεκριμένης ενέργειας στο δίκτυο, ούτε την απώλεια στην πλευρά του χρήστη εξαιτίας αυτής της υποβάθμισης.
- Η βελτιστοποίηση που διαρκώς επιδιώκεται θα πρέπει να πάψει να αποτελεί τον μοναδικό στόχο των σχημάτων τιμολόγησης, αλλά η ερευνητική προσπάθεια θα πρέπει να στραφεί σε άλλα θέματα π. χ. αναφορικά με την σχέση αρχιτεκτονικής του δικτύου και τιμολόγησης.

Η προσπάθεια προσέγγισης των οριακών κοστών συμφόρησης οδηγεί στο προτεινόμενο σχήμα για την «τιμολόγηση στα άκρα». Η πρώτη προσέγγιση των κοστών συμφόρησης αποτελείται από μια αντικατάσταση των τρεχουσών συνθηκών συμφόρησης από αναμενόμενες συνθήκες συμφόρησης, κάτι που βασικά οδηγεί σε ένα είδος τιμολόγησης που εξαρτάται από την Ποιότητα Εξυπηρέτησης και τον χρόνο. Στην περίπτωση αυτή, βραχυπρόθεσμες περιόδοι με μικρότερη της αναμενόμενης συμφόρησης, αντιμετωπίζονται με αλλαγή της κλάσης εξυπηρέτησης από τους χρήστες αντί για αλλαγές της τιμής. Η δεύτερη προσέγγιση αντικαθιστά το κόστος της πραγματικής διαδρομής με το κόστος της αναμενόμενης διαδρομής, ανεξάρτητα από τη συγκεκριμένη διαδρομή που τελικά ακολουθείται. Συνδυάζοντας τις δυο αυτές προσεγγίσεις, η τιμή βασίζεται στην αναμενόμενη συμφόρηση και το αναμενόμενο μονοπάτι που είναι κατάλληλο για την μετάδοση του πακέτου από την πηγή προς τον προορισμό. Για αυτό το λόγο οι τιμές που προκύπτουν μπορούν να καθοριστούν και τα αντίτιμα που χρεώνονται να αξιολογηθούν τοπικά στο σημείο πρόσβασης (δηλαδή στο άκρο του δικτύου του φορέα παροχής όπου εισάγεται το πακέτο του χρήστη), παρά να υπολογιστούν με έναν καταναμημένο τρόπο κατά μήκος όλης της διαδρομής. Οι τιμές που χρεώνονται στα ακραία σημεία (ή σημεία πρόσβασης) μπορεί να εξαρτώνται από πληροφορίες που λαμβάνονται και από άλλα μέρη του δικτύου, αλλά ο συνολικός υπολογισμός της τιμής γίνεται στα σημεία πρόσβασης. Σύμφωνα με την παραπάνω περιγραφή γίνεται φανερό πλέον γιατί το σχήμα αυτό ονομάζεται Τιμολόγηση στα Άκρα.

Η τιμολόγηση αυτού του είδους έχει το πολύ σημαντικό πλεονέκτημα πως όλη η χρέωση γίνεται σε τοπικό επίπεδο. Ο χρήστης χρεώνεται μόνο από τον πρώτο φορέα παροχής εξυπηρέτησης κατά μήκος μιας διαδρομής δεδομένων, τα οποία μπορεί να εξυπηρετούνται και από άλλους φορείς παροχής. Το πληρωτέο ποσό περιλαμβάνει έξοδα για όλους τους διαφορετικούς παρόχους που χειρίζονται τα μεταδιδόμενα δεδομένα. Έτσι, τα πολυπλευρικά συμβόλαια ελαττώνονται σε μια ακολουθία δυ πλευρικών και η πολυπλοκότητα μειώνεται σημαντικά. Η τιμολόγηση στα άκρα

περιγράφει το μέρος του δικτύου στο οποίο πρέπει να εφαρμόζεται η χρέωση αλλά είναι τελείως ουδέτερη ως προς την ακριβή φύση αυτών των χρεώσεων. Μπορούν να φιλοξενηθούν λοιπόν σε τοπικό επίπεδο τόσο τα ακραία σχήματα της τιμολόγησης ενιαίου-τέλους και της τιμολόγησης βάσει της χρήσης, καθώς και όλα τα ενδιάμεσα (υβριδικά) σχήματα.

6 ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ - ΣΔΕΠΥ (SERVICE LEVEL AGREEMENTS - SLA)

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα σύγχρονα δίκτυα υπολογιστών για να λειτουργούν ικανοποιητικά κάποιες νέες προηγμένες εφαρμογές εμφανίζεται συχνά η ανάγκη εγγυημένης απόδοσης του δικτύου και εγγυημένης τιμής για ορισμένες παραμέτρους του δικτύου. Έτσι όταν συμφωνείται η παροχή και λήψη δικτυακών υπηρεσιών καθορίζονται και αντίστοιχες προδιαγραφές για το επίπεδο ποιότητας των προσφερομένων και λαμβανομένων υπηρεσιών.

Ο καθορισμός κατάλληλων προδιαγραφών για το επίπεδο λαμβανομένων υπηρεσιών είναι γενικότερα ένας πολύ καθοριστικός παράγοντας για την επιτυχημένη λήψη δικτυακών υπηρεσιών από εξωτερικούς παρόχους. Για το απλό παράδειγμα της διασύνδεσης με το Διαδίκτυο, είναι πολύ σημαντικό οι προδιαγραφές να καθορίζουν την ελάχιστη εγγυημένη χωρητικότητα της διασύνδεσης (που έχει επίπτωση στην ταχύτητα), τη διαθεσιμότητα της διασύνδεσης, και άλλες παραμέτρους που επιδρούν στο χρόνο απόκρισης των δικτυακών εφαρμογών, ώστε οι χρήστες να μην αντιμετωπίζουν συνεχή και μεγάλα προβλήματα.

Δυστυχώς, αρκετοί οργανισμοί διερευνούν την αγορά υπηρεσιών χωρίς πρώτα να έχουν καθορίσει τις επιθυμητές προδιαγραφές για το επίπεδο των υπηρεσιών. Όμως έτσι ανατρέπουν τις ίδιες τους τις προσπάθειες πριν καν τις μεταφέρουν τις δραστηριότητες σε εξωτερικούς παροχείς.

Με τις προδιαγραφές για το επίπεδο των υπηρεσιών ο αγοραστής των υπηρεσιών καθορίζει τα αποτελέσματα που θέλει να έχει, αλλά δεν καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο ο προμηθευτής (πάροχος) της υπηρεσίας θα λειτουργεί την υπηρεσία. Ο αγοραστής που προσπαθεί να ορίσει τον τρόπο με τον οποίο ο πάροχος θα λειτουργεί την υπηρεσία ακυρώνει το συγκριτικό πλεονέκτημα του παρόχου αφού δεν τον αφήνει να εκμεταλλευτεί την εξειδίκευσή του.

Οι προδιαγραφές του επιπέδου υπηρεσιών παίζουν δύο σημαντικούς ρόλους: εξασφαλίζουν την ευθύνη από πλευρά παρόχου και καθορίζουν το αντίτιμο για την παρεχόμενη υπηρεσία.

Σε περιπτώσεις που ο αγοραστής εκχωρήσει τη λειτουργία κάποιων δραστηριοτήτων σε εξωτερικό πάροχο (outsourcing), ο μόνος τρόπος για να εξασφαλιστεί ικανοποιητικό επίπεδο υπηρεσιών για τον αγοραστή είναι να καθοριστεί το απαιτούμενο επίπεδο ποιότητας των υπηρεσιών και στη συνέχεια να μετριέται τακτικά η απόδοση του παρόχου (σε σχέση με την υπηρεσία) ώστε να καθοριστεί εάν η υπηρεσία παρέχεται σε ικανοποιητικά επίπεδα και να εξασφαλιστεί ότι ο αγοραστής λαμβάνει το επίπεδο υπηρεσιών για το οποίο πληρώνει.

Οι προδιαγραφές επηρεάζουν και το κόστος παροχής των υπηρεσιών. Αγοραστές που επιθυμούν πολύ υψηλά επίπεδα υπηρεσιών δημιουργούν μεγαλύτερες ανάγκες σε πόρους του παρόχου και επομένως αυξάνουν το κόστος των υπηρεσιών. Για τους παραπάνω λόγους ο καθορισμός προδιαγραφών για το επίπεδο των υπηρεσιών είναι πολύ σημαντικός.

6.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΜΙΑ ΣΔΕΠΥ (SLA)

Μια Σύμβαση Διασφάλισης Επιπέδου Ποιότητας Υπηρεσιών (ΣΔΕΠΥ) είναι ένα νομικό κείμενο που περιλαμβάνεται (ή επισυνάπτεται) σε ένα γενικότερο συμβόλαιο για μια συμφωνία ανάθεσης δραστηριοτήτων σε εξωτερικό συνεργάτη (outsourcing). Μία ΣΔΕΠΥ περιλαμβάνει περιγραφή των υπηρεσιών που θα παρέχονται και καθορίζει επίσης τις προδιαγραφές για το επίπεδο των υπηρεσιών, που περιγράφουν ξεκάθαρα το επίπεδο της απόδοσης και τα αποτελέσματα που ο αγοραστής αναμένει να λαμβάνει από τον πάροχο των υπηρεσιών. Ο πάροχος πρέπει να φθάσει ή και να ξεπεράσει αυτά τα επίπεδα απόδοσης.

Αν και ΣΔΕΠΥ μπορούν να καθοριστούν για ένα ευρύτερο φάσμα υπηρεσιών, είναι σημαντικό να τονιστεί οι ΣΔΕΠΥ βρίσκουν ευρεία αποδοχή και χρήση στον τομέα της παροχής και λήψης δικτυακών υπηρεσιών.

6.2.1 *Είδη ΣΔΕΠΥ*

Οι ΣΔΕΠΥ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Οι πιο σημαντικοί και γνωστοί από αυτούς είναι:

- ως προς τις υπηρεσίες, αντικείμενο της ΣΔΕΠΥ
- ως προς το πότε αντιδρά ο πάροχος για τη παροχή της υπηρεσίας
- ως προς το αν ο πάροχος είναι εντός ή εκτός οργανισμού, κ.λπ.

6.2.1.1 **Κατηγοριοποίηση ως προς τις υπηρεσίες, αντικείμενο της ΣΔΕΠΥ**

Οι ΣΔΕΠΥ χωρίζονται, με βάση τις υπηρεσίες, αντικείμενο τους σε πάρα πολλές κατηγορίες. Για την περίπτωση των ΣΔΕΠΥ για υπηρεσίες που αφορούν ή χρησιμοποιούν Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) ενδεικτικές κατηγορίες ΣΔΕΠΥ είναι:

- Τεχνικής υποστήριξης (technical support)
- Δικτύωση (networking)
- Παροχή υποδομής (systems infrastructure)
- Περιβάλλοντα ανάπτυξης (development environment)
- Εφαρμογές (applications)
- Περιεχόμενο (content)
- Υποστήριξη διαδικασιών (process support)
- Ανάλυση διαδικασιών (process execution)

Το κάθε είδος ΣΔΕΠΥ έχει και το αντίστοιχο αντικείμενο.

Από τις παραπάνω κατηγορίες οι πιο διαδεδομένες είναι οι ΣΔΕΠΥ τεχνικής υποστήριξης, παροχής υπηρεσιών δικτύωσης, και εκτέλεσης εφαρμογών.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναφερόμαστε σε ΣΔΕΠΥ παροχής υπηρεσιών δικτύωσης και παροχής δικτυακών υπηρεσιών. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι

- διασύνδεση με το Διαδίκτυο
- διασύνδεση μεταξύ τους παραρτημάτων του οργανισμού
- λειτουργία, διαχείριση και συντήρηση τοπικού δικτύου
- φιλοξενία δικτυακού τόπου
- χρήση εξυπηρετητών για δικτυακές εφαρμογές (π.χ. MCU (Multipoint Control Unit) για τηλεδιάσκεψη, εξυπηρετητές δεδομένων ροής (streaming server) για μετάδοσης δεδομένων ροής κ.λπ.)
- εκτέλεση εφαρμογών κατ' απαίτηση (AoD – Application on Demand), κ.λπ.

6.2.1.2 Κατηγοριοποίηση ως προς το χρόνο αντίδρασης του πάροχου

Οι ΣΔΕΠΥ χωρίζονται, με βάση το πότε αντιδρά ο πάροχος για τη παροχή της υπηρεσίας, σε τρεις κατηγορίες:

- Συνεχούς παροχής υπηρεσιών (performance)
- Απόκρισης σε συμβάντα (reactive)
- Πρόληψης (proactive)

ΣΔΕΠΥ παροχής υπηρεσιών δικτύωσης και παροχής δικτυακών υπηρεσιών, μπορούν να εντάσσονται σε οποιαδήποτε από τις παραπάνω κατηγορίες. Μπορεί επίσης μία ΣΔΕΠΥ να προβλέπει και συνεχή παροχή κάποιων υπηρεσιών (π.χ. διασύνδεσης) και υπηρεσίες απόκρισης σε συγκεκριμένα συμβάντα (π.χ. ενίσχυση αδύναμων σημείων στην ασφάλεια ενός δικτύου που αποκαλύπτονται μετά από διάδοση ιών) και υπηρεσίες πρόληψης (π.χ. ελέγχου και αναβάθμισης των δικτυακών συσκευών).

6.2.1.2.1 ΣΔΕΠΥ συνεχούς παροχής υπηρεσιών

Οι ΣΔΕΠΥ συνεχούς παροχής υπηρεσιών (performance SLAs) αφορούν υπηρεσίες που παρέχονται συνεχώς. Αυτές οι ΣΔΕΠΥ ορίζουν το επίπεδο ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών βασισμένες σε αντικειμενικές μετρήσεις και σε προκαθορισμένα όρια τιμών που καθορίζουν το αποδεκτό επίπεδο υπηρεσιών.

Τυπικό παράδειγμα τέτοιας ΣΔΕΠΥ είναι ΣΔΕΠΥ για παροχή υπηρεσίας φιλοξενίας δικτυακού τόπου (web hosting). Σε μια τέτοια ΣΔΕΠΥ, μετρήσεις του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας αφορούν το χρόνο λειτουργίας του εξυπηρετητή, την απόδοση της υπηρεσίας, τη διασυνδεσιμότητα με το Διαδίκτυο κλπ.

Ένα θέμα με το οποίο πρέπει να απασχολείται κάθε τέτοια ΣΔΕΠΥ είναι αυτό του ελέγχου του επιπέδου ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών, ώστε να εξασφαλίζεται ότι η υπηρεσία παρέχεται στα προσυμφωνημένα επίπεδα ποιότητας.

6.2.1.2.2 ΣΔΕΠΥ απόκρισης σε συμβάντα

Οι ΣΔΕΠΥ απόκρισης σε συμβάντα (reactive SLAs) αφορούν την παροχή υπηρεσιών ως αποτέλεσμα κάποιου γεγονότος ή αιτήματος από τον οργανισμό και η κύρια μετρούμενη ποσότητα είναι ο χρόνος.

Υπάρχουν δύο κύρια θέματα που σχετίζονται με τις ΣΔΕΠΥ απόκρισης σε συμβάντα και αυτά είναι:

- η κατηγοριοποίηση των συμβάντων και
- ο καθορισμός του βαθμού στον οποίο είναι υπεύθυνος ο πάροχος για την επίλυση των προβλημάτων.

Τα συμβάντα θα πρέπει να κατηγοριοποιούνται ανάλογα με δύο κριτήρια: την σοβαρότητά του (severity) και την προτεραιότητα επίλυσης τους (priority). Η σοβαρότητα χαρακτηρίζει το πρόβλημα και η προτεραιότητα χαρακτηρίζει την επίλυσή του.

Ενδεικτική κατηγοριοποίηση με βάση τη σοβαρότητα είναι:

- επικίνδυνο (critical): Κάποια υπηρεσία δεν παρέχεται ή το επίπεδο παροχής δεν είναι αποδεκτό
- επείγον (urgent): Η υπηρεσία παρέχεται κανονικά αλλά κάποιο τμήμα της χρειάζεται άμεση αποκατάσταση προκειμένου να αποφευχθεί πρόβλημα
- συνηθισμένο (routine): Η υπηρεσία παρέχεται και το επίπεδο είναι ικανοποιητικό αλλά υπάρχει ένα θέμα που χρήζει αντιμετώπισης

Τυπικό παράδειγμα τέτοιας ΣΔΕΠΥ είναι ΣΔΕΠΥ για παροχή υπηρεσίας υποστήριξης (support). Σε μια τέτοια ΣΔΕΠΥ, μετρήσεις του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας αφορούν το χρόνο απόκρισης στα αιτήματα, το χρόνο αποκατάστασης κ.λπ.

6.2.1.2.3 ΣΔΕΠΥ πρόληψης

Οι ΣΔΕΠΥ πρόληψης (proactive SLAs) αφορούν την παροχή υπηρεσιών που στοχεύουν στην πρόληψη προβλημάτων.

Τυπικό παράδειγμα τέτοιας ΣΔΕΠΥ είναι ΣΔΕΠΥ που αφορούν λειτουργίες όπως:

- Λήψη αντιγράφων ασφαλείας (backup),
- Τακτικός έλεγχος αρχείων log,
- Τακτικός έλεγχος δικτυακών συσκευών,
- Εγκατάσταση νέων εκδόσεων λογισμικού κ.λπ.

6.2.1.3 Κατηγοριοποίηση ως προς τη σχέση του πάροχου με τον οργανισμό

Αν και αρχικά οι ΣΔΕΠΥ συνάπτονταν μεταξύ ενός οργανισμού–λήπτη των υπηρεσιών και ενός εξωτερικού πάροχου, η πρακτική αυτή άρχισε να χρησιμοποιείται και για τον καθορισμό του επιπέδου των υπηρεσιών που παρέχουν διάφορα τμήματα ενός οργανισμού σε άλλα τμήματα του ίδιου οργανισμού (δηλ. εσωτερικά στον οργανισμό). Ενδεικτικό παράδειγμα είναι η παροχή δικτυακών υπηρεσιών από τη σχετική διεύθυνση ή το σχετικό τμήμα ενός οργανισμού προς τις υπόλοιπες διευθύνσεις και τμήματα.

Έτσι οι ΣΔΕΠΥ με βάση το ποιος είναι ο πάροχος χωρίζονται σε:

- Εσωτερικές: Ο πάροχος είναι τμήμα του οργανισμού, του οποίου άλλα τμήματα είναι οι λήπτες των υπηρεσιών. Οι όποιες ΣΔΕΠΥ είναι εσωτερικό θέμα του οργανισμού και οι σχετικές ΣΔΕΠΥ είναι απλούστερες αφού δεν χρειάζεται να είναι αυστηρές ως προς το νομικό τμήμα τους. Το θέμα των πληρωμών αλλά και των αποζημιώσεων είναι συνήθως λογιστικό (αφού δεν έχει νόημα η πληρωμή ή η αποζημίωση).

- Εξωτερικές: Ο πάροχος είναι εξωτερικός και δεν σχετίζεται με τον οργανισμό ο οποίο είναι λήπτης των υπηρεσιών. Οι όποιες ΣΔΕΠΥ πρέπει να είναι ξεκάθαρες σε όλα τα θέματα και για το λόγο αυτό είναι συνήθως πιο περίπλοκες.

6.3 ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΣΔΕΠΥ

Οι ΣΔΕΠΥ «γεννήθηκαν» ταυτόχρονα με την τάση για εκχώρηση (μη βασικών για τον οργανισμό) λειτουργιών σε εξωτερικούς παρόχους (outsourcing). Έτσι η χρήση των ΣΔΕΠΥ σχετίζεται λίγο ή πολύ με την εκχώρηση λειτουργιών σε εξωτερικούς παρόχους και την επακόλουθη λήψη υπηρεσιών από αυτούς. Στην περίπτωση των δικτυακών υπηρεσιών, ένας οργανισμός εκχωρεί ολόκληρη ή μέρος της δημιουργίας και λειτουργίας του δικτύου του σε εξωτερικό πάροχο τηλεπικοινωνιακών και δικτυακών υπηρεσιών και λαμβάνει από αυτόν τις υπηρεσίες διασύνδεσης.

Για την επιτυχημένη συνεργασία θα πρέπει να γίνει προσεκτική εκπόνηση των σχετικών ΣΔΕΠΥ. Η διαδικασία εκπόνησης μίας ΣΔΕΠΥ είναι αρκετά σύνθετη και πολύπλοκη και απαιτεί αρκετή μελέτη προκειμένου το αποτέλεσμα να είναι ικανοποιητικό και να καθορίζει με ορθό τρόπο τις σχετικές προδιαγραφές. Η εκπόνηση μιας ΣΔΕΠΥ μπορεί να ξεκινήσει είτε από τον οργανισμό-λήπτη είτε από τον πάροχο.

Εάν η διαδικασία γίνει από τον οργανισμό-λήπτη τότε υπάρχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- ο οργανισμός μπορεί να καθορίσει με ακρίβεια τις επιθυμητές προδιαγραφές, και
- μπορεί να καθορίσει τη μέθοδο παρακολούθησης και ελέγχου του επιπέδου ποιότητας των υπηρεσιών

Τα μειονεκτήματα όμως είναι:

- συνήθως οι οργανισμοί που λαμβάνουν δικτυακές υπηρεσίες δεν έχουν την τεχνική γνώση για να καθορίσουν μόνες τους τις προδιαγραφές
- οι πάροχοι μπορεί να μην προσφέρουν εγγυήσεις για όλες τις παραμέτρους που επιθυμεί ο εκάστοτε οργανισμός.

Εάν η διαδικασία γίνει από τον πάροχο τότε υπάρχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- υπάρχουν έτοιμα υποδείγματα ΣΔΕΠΥ για να διαλέξει ο κάθε οργανισμός αυτό που του ταιριάζει
- ο πάροχος εκπονεί μια σειρά από ΣΔΕΠΥ που επαναχρησιμοποιούνται από τους οργανισμούς-χρήστες και δεν χρειάζεται εκπόνηση νέας ΣΔΕΠΥ για κάθε νέα σύμβαση
- ο πάροχος δημιουργεί ενιαίο μηχανισμό ελέγχου για όλες τις ΣΔΕΠΥ που προσφέρει

Τα μειονεκτήματα όμως είναι:

- τα έτοιμα υποδείγματα ΣΔΕΠΥ μπορεί να μην είναι και τα πλέον κατάλληλα για τις ανάγκες του οργανισμού

Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι καλύτερο να χρησιμοποιείται συνδυασμός των παραπάνω (δηλαδή, χρήση υποδείγματος ΣΔΕΠΥ που προσφέρει κάποιος πάροχος με εξειδικεύσεις ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε οργανισμού), για να επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζεται η διαδικασία εκπόνησης μιας ΣΔΕΠΥ από την πλευρά του οργανισμού λήπτη. Η διαδικασία για την εκπόνηση από πλευράς πάροχου είναι αντίστοιχη με την διαφορά ότι ο πάροχος δεν εξετάζει τι χρειάζεται αλλά τι μπορεί να προσφέρει. Και στις δύο περιπτώσεις θα πρέπει να υπάρχει γνώση της γενικότερης προσφοράς και της ζήτησης, ώστε να μην προσφέρονται πράγματα που δεν ζητούνται και να μην ζητούνται πράγματα που δεν προσφέρονται.

6.3.1 Αντικείμενο μιας ΣΔΕΠΥ

Οι ΣΔΕΠΥ είναι κείμενα που καθορίζουν λεπτομερώς ποιες υπηρεσίες (και σε ποιο βαθμό / ποιότητα) θα παρέχει ο πάροχος, ποιο θα είναι το κόστος για τον οργανισμό και τι θα γίνει αν τα πράγματα δεν πάνε καλά (π.χ. αν κάποιες φορές η υπηρεσία δεν παρέχεται στο επιθυμητό επίπεδο). Οι ΣΔΕΠΥ θέτουν τις προσδοκίες ανάμεσα στον οργανισμό και τον πάροχο.

Οι ΣΔΕΠΥ είναι ότι ακριβώς περιγράφει το όνομά τους: *συμβάσεις* μεταξύ του οργανισμού και του πάροχου, για τις *υπηρεσίες* που θα παρέχονται και για το *μετρήσιμο επίπεδο ποιότητας* που αναμένεται να διασφαλίσει ο πάροχος.

Οι ΣΔΕΠΥ δεν είναι, συνήθως, αυτόνομες συμβάσεις, αλλά αποτελούν, τις περισσότερες φορές, τμήματα ή παραρτήματα γενικότερων συμβολαίων / συμβάσεων. Φυσικά ως τέτοια τμήματα είναι το ίδιο δεσμευτικά για τα συμβαλλόμενα μέρη.

Το παραπάνω σημαίνει ότι μια σειρά από γενικούς (αλλά και ειδικούς) όρους (που συνήθως είναι τυποποιημένοι) δεν αποτελούν αντικείμενο της / των ΣΔΕΠΥ αλλά εξετάζονται στο γενικότερο συμβόλαιο / σύμβαση.

Μια καλή ΣΔΕΠΥ αντιμετωπίζει τα εξής θέματα:

- τι υπόσχεται ο πάροχος
- πως ο πάροχος θα εκπληρώσει τις υποσχέσεις του
- ποιος και πως θα μετρά την απόδοση
- τι συμβαίνει όταν ο πάροχος δεν επιτυγχάνει την υποσχεθείσα απόδοση
- πως η ΣΔΕΠΥ αλλάζει με το χρόνο (εάν αυτό είναι επιθυμητό και δυνατό)

Ειδικότερα, μια καλή ΣΔΕΠΥ δίνει απάντηση στα εξής ερωτήματα:

- ποια ακριβώς είναι η υπηρεσία που θα παρέχεται
- ποιο είναι το επίπεδο ποιότητας που αναμένεται να πετύχει ο πάροχος
- ποιες είναι οι ευθύνες (και των δύο μερών) σχετικά με αυτή την υπηρεσία
- πως θα μετρηθεί η ποιότητα της υπηρεσίας
- πως θα δίνεται αναφορά για την απόδοση που επιτυγχάνεται
- ποιες διορθωτικές κινήσεις θα γίνονται από τον πάροχο εάν δεν επιτυγχάνεται το επιθυμητό επίπεδο υπηρεσιών
- τι θα πληρώνει ο οργανισμός για την υπηρεσία
- πως θα αποζημιώνεται οικονομικά ο οργανισμός όταν δεν επιτυγχάνονται τα επίπεδα ποιότητας που έχουν οριστεί και πληρωθεί

Προκειμένου να εκπονηθεί μία ΣΔΕΠΥ που να αντιμετωπίζει τα παραπάνω θέματα πρέπει να γίνει μία σειρά από βήματα και η περιγραφή να οργανωθεί σε μία δομή. Στη συνέχεια δίνεται περιγραφή των πιο σημαντικών βημάτων που μπορούν να ακολουθηθούν και μία δυνατή δομή οργάνωσης της ΣΔΕΠΥ μαζί με ενδεικτικές περιγραφές για διάφορα σημεία.

6.3.2 Φάσεις εκπόνησης ΣΔΕΠΥ

6.3.2.1 Περιγραφή της υπηρεσίας

Πριν ο οργανισμός ορίσει τις απαιτήσεις για το επίπεδο υπηρεσιών πρέπει πρώτα να ξεκαθαρίσει / αποφασίσει τα αποτελέσματα που θέλει να προμηθευτεί καθώς και το γενικότερο στόχο (π.χ. μείωση κόστους, αύξηση απόδοσης, αύξηση ευελιξίας, αύξηση των επιλογών που έχουν οι χρήστες κ.λπ.). Οι μετρικές που θα οριστούν για τις απαιτήσεις του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας διαφέρουν κατά πολύ ανάλογα με τον επιθυμητό στόχο. Επίσης, ο οργανισμός θα πρέπει να καθορίσει ξεκάθαρα την εμβέλεια και τα όρια της υπηρεσίας που επιθυμεί να λαμβάνει. Αυτό σημαίνει ότι ο οργανισμός θα πρέπει να ξεκαθαρίσει εκτός του τι περιλαμβάνει μια ΣΔΕΠΥ και τι είναι εκτός ορίων και δεν περιλαμβάνεται στην υπηρεσία που θα λαμβάνει.

Κάθε μια από τις παραπάνω αποφάσεις επηρεάζει τις προδιαγραφές που θα τεθούν και κατά συνέπεια το κόστος της υπηρεσίας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η περιγραφή της υπηρεσίας θα πρέπει να συγκεντρώνεται μόνο στο τι είναι αυτό που λαμβάνει ο οργανισμός και όχι στο πως αυτό υλοποιείται από τον πάροχο. Ο πάροχος με την ειδική τεχνογνωσία του θα υλοποιήσει την υπηρεσία με όποιο τρόπο αυτός θεωρεί καλύτερο (ο πάροχος ξέρει περισσότερα από τον οργανισμό σε αυτό το θέμα). Παρεμβάσεις του οργανισμού στον τρόπο υλοποίησης της υπηρεσίας μπορούν να οδηγήσουν σε όχι καλό τρόπο υλοποίησης και σε αυξημένο κόστος.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση λήψης υπηρεσίας διασύνδεσης μεταξύ δύο σημείων ο οργανισμός θα πρέπει να καθορίσει, ανάλογα με τις ανάγκες του, παραμέτρους όπως η χωρητικότητα της σύνδεσης, ο μέγιστος ρυθμός λαθών, ο χρόνος μετάδοσης μετά επιστροφή κ.λπ. Ο οργανισμός δεν θα πρέπει να καθορίσει το πως θα επιτευχθεί η διασύνδεση, π.χ. το αν θα είναι ενσύρματη ή ασύρματη, αν θα είναι απευθείας ή με ενδιάμεσους κόμβους, τι πρωτόκολλα χαμηλών επιπέδων θα χρησιμοποιεί κ.λπ.

Παρόλα αυτά, ο τρόπος υλοποίησης επηρεάζει το μέγιστο δυνατό επίπεδο ποιότητας που μπορεί να προσφερθεί (π.χ. για να επιτευχθεί πολύ υψηλή διαθεσιμότητα είναι απαραίτητη η ύπαρξη πλεονάζοντος εξοπλισμού). Είναι λογικό λοιπόν ο οργανισμός στη φάση της διερεύνησης να ζητά στοιχεία σχετικά με την υλοποίηση και στη φάση της αξιολόγησης προσφορών να εξετάζει αν η περιγραφόμενη υλοποίηση μπορεί να υποστηρίξει τα επιθυμητά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας. Όμως σε καμία περίπτωση ο οργανισμός δεν θα πρέπει να επιβάλλει συγκεκριμένη υλοποίηση.

6.3.2.2 Δείκτες

Αφού περιγραφεί η επιθυμητή υπηρεσία, στη συνέχεια καθορίζεται το τι θα μετριέται για να ελέγχεται το επίπεδο ποιότητας της υπηρεσίας. Κατ' αρχάς καθορίζονται τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της υπηρεσίας με βάση τους αντικειμενικούς στόχους του οργανισμού. Π.χ. αν ο στόχος είναι η εκτέλεση των διαδικασιών γρήγορα και καλά, τότε είναι καλό να μετρηθούν χαρακτηριστικά όπως ταχύτητα και ποιότητα αποτελέσματος.

Η απόφαση για τα χαρακτηριστικά που ορίζουν το επίπεδο ποιότητας της υπηρεσίας και που θα μετρούνται είναι πολύ σημαντική και εξαρτάται πάρα πολύ από τις εκάστοτε συνθήκες (στόχους του οργανισμού, προσδοκίες των χρηστών κ.λπ.). Δυστυχώς δεν υπάρχει «μαγική συνταγή» που να εφαρμόζεται σε όλες τις περιπτώσεις.

Επίσης, είναι συχνό το φαινόμενο η υπηρεσία να παρέχεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές και οι χρήστες να μην είναι ικανοποιημένοι από το επίπεδο ποιότητας. Αυτό σημαίνει ότι τα χαρακτηριστικά που καταμετρούνται δεν είναι περιγραφικά του τι είναι αποδεκτό. Η απόφαση, λοιπόν, για τα μετρούμενα χαρακτηριστικά (τους δείκτες) πρέπει να παρθεί με μεγάλη προσοχή.

Ένας τρόπος για να προληφθεί το παραπάνω πρόβλημα είναι για κάθε τμήμα της υπηρεσίας να καθορίζονται περισσότερα του ενός (τουλάχιστον τρία) χαρακτηριστικά και συνακόλουθα να μετριοούνται περισσότεροι δείκτες. Έτσι είναι δυνατόν ακόμη και εάν ένα χαρακτηριστικό δεν επιλεγεί ορθά η έννοια της «απαιτούμενης ποιότητας» να «σπλλαμβάνεται» από τις άλλες μετρικές. Για προφανείς λόγους, είναι πολύ σημαντικό τα χαρακτηριστικά που θα επιλεγούν να είναι μετρήσιμα.

Έπειτα, καθορίζεται η ακρίβεια με την οποία θα γίνεται η μέτρηση των τιμών των χαρακτηριστικών. Πολλές φορές η καταμέτρηση με πολύ μεγάλη ακρίβεια δεν είναι εύκολη ή κοστίζει αρκετά. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι βολικότερο οι μετρήσεις να γίνονται με λιγότερη ακρίβεια.

Μερικές φορές που δεν είναι δυνατόν (ή επιθυμητό) να γίνεται μέτρηση κάποιου χαρακτηριστικού σε όλες τις περιπτώσεις (π.χ. απόκριση ενός εξυπηρετητή στα αιτήματα που λαμβάνει) μπορεί να γίνει δειγματοληπτικός έλεγχος και από τα αποτελέσματα του δειγματοληπτικού ελέγχου να υπολογιστούν (με τεχνικές από τη στατιστική) οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για το έλεγχο του επιπέδου ποιότητας της υπηρεσίας.

6.3.2.3 Όρια τιμών για τους δείκτες

Στη συνέχεια, καθορίζονται οι αποδεκτές τιμές για τα χαρακτηριστικά αυτά. Για να καθοριστούν τα όρια αυτά θα πρέπει να γίνει μέτρηση των αντίστοιχων τιμών για την τρέχουσα κατάσταση (η υπηρεσία να παρέχεται εσωτερικά από τον οργανισμό) καθώς και το σχετικό κόστος. Επίσης, μπορεί να γίνει αναζήτηση των σχετικών στοιχείων στη βιβλιογραφία ή από την εμπειρία άλλων αντίστοιχων οργανισμών.

Οι τιμές αυτές και το κόστος θα συγκριθούν με τα επίπεδα και τα κόστη που προσφέρει η αγορά. Τότε μπορεί να καθοριστεί πόση βελτίωση είναι αναγκαία ή επιθυμητή (λαμβάνοντας πάντα υπόψη και το κόστος). Εδώ είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αν κάποιες μετρούμενες τιμές είναι στατιστικές τότε θα πρέπει να καθορίζεται η περίοδος πάνω στην οποία γίνεται ο υπολογισμός τους. Για παράδειγμα ο απαιτούμενος μέσος χρόνος απόκρισης μπορεί να προδιαγράφεται σε επίπεδο ημέρας ή σε επίπεδο εβδομάδας. Είναι σημαντικό, για να αποφευχθούν περιπτώσεις που η υπηρεσία παρέχεται σύμφωνα με τις στατιστικές απαιτήσεις αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις είναι εκτός ορίων να δίνονται και όρια (ελαστικότερα από τα στατιστικά) και για τις επιμέρους περιπτώσεις. Για τις αποδεκτές τιμές ορίζονται συνήθως δύο επίπεδα:

- ένα επίπεδο κάτω από το οποίο η παροχή της υπηρεσίας δεν θεωρείται αποδεκτή και αν παραβιαστεί θα πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα (όπως η αποζημίωση του οργανισμού και η υποχρέωση του πάροχου να βελτιώσει την υπηρεσία), και
- ένα άλλο, το οποίο δεν θα πρέπει να παραβιαστεί ποτέ, και αν παραβιαστεί θα θεωρηθεί ότι ο πάροχος δεν είναι σε θέση να παρέχει την υπηρεσία σε αποδεκτά

επίπεδα και αυτό επισύρει δραστικά μέτρα (όπως τερματισμό της σύμβασης, αναθεώρηση της οικονομικής συμφωνίας κ.λπ.)

Τα όρια που θα επιλεγούν πρέπει να είναι πολύ κοντά στο να εκφράζουν τι είναι αποδεκτό και τι όχι, και θα πρέπει να είναι ρεαλιστικά. Πολύ μεγάλα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας μπορεί να μην είναι αναγκαία, κοστίζουν ακριβά και μπορούν να δημιουργούν πολλές περιπτώσεις παραβίασης που επιφέρουν, χωρίς ουσιαστικό λόγο, φόρτο εργασίας τόσο στον πάροχο όσο και στον οργανισμό. Για τον παραπάνω λόγο είναι πολύ σημαντικό να γίνει μέτρηση των τιμών των δεικτών στην εκάστοτε παρούσα κατάσταση και της αποδοχής τους από τους χρήστες, ώστε τα όρια που θα τεθούν να είναι τα σωστά.

6.3.2.4 Αποζημιώσεις

Επειδή, είναι απίθανο (αν όχι αδύνατο) μία υπηρεσία να παρέχεται πάντα στα συμφωνηθέντα επίπεδα ποιότητας, είναι λογικό να αναμένονται περιπτώσεις παραβίασης των προδιαγραφών. Για τις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να προβλεφθούν αποζημιώσεις για τον οργανισμό τόσο γιατί στις συγκεκριμένες περιπτώσεις δεν έλαβε αυτό που έπρεπε (και άρα δεν πρέπει να το πληρώσει) όσο και γιατί ο πάροχος παραβίασε τη ΣΔΕΠΥ και θα πρέπει να «τιμωρηθεί» για αυτό. Οι αποζημιώσεις αυτές θα πρέπει να είναι λογικές. Ούτε πολύ μεγάλες γιατί δεν θα υπάρχει ενδιαφέρον από την αγορά αλλά και ούτε πολύ μικρές έτσι ώστε ο πάροχος να έχει συμφέρον να παρέχει τα συμφωνηθέντα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας.

Συνήθως, οι αποζημιώσεις καθορίζονται ως ποσοστό της αμοιβής του πάροχου. Για παράδειγμα, σε ΣΔΕΠΥ για υποστήριξη, αδυναμία του πάροχου να αποκριθεί στα ορισμένα χρονικά όρια μπορεί να επιφέρει αποζημίωση ίση με το αντίστοιχο της αμοιβής του για την παροχή των υπηρεσιών για μία ημέρα.

Συνεχείς ή πολλαπλές παραβιάσεις της ΣΔΕΠΥ έστω και αν αποζημιώνονται δεν είναι επιθυμητές. Για να αποφευχθούν τέτοιο φαινόμενα θα πρέπει να τεθούν όρια στο αριθμό των παραβιάσεων της ΣΔΕΠΥ που μπορούν να γίνουν σε δεδομένη χρονική περίοδο και αν αυτά τα όρια δεν τηρηθούν να επέλθουν δραστικά μέτρα (π.χ. τερματισμός της σύμβασης).

6.3.2.5 Μετρήσεις

Το επόμενο βήμα είναι να καθοριστεί πώς θα γίνεται η μέτρηση των δεικτών (χαρακτηριστικών), ποιος θα την κάνει και πώς θα αναφέρει τα αποτελέσματα στον αντισυμβαλλόμενο. Εδώ υπάρχουν δύο κύρια προβλήματα για να αντιμετωπιστούν:

- η τεχνική με την οποία θα γίνονται οι μετρήσεις
- η αποδοχή των αποτελεσμάτων από τον αντισυμβαλλόμενο

Η κυριότερη αιτία για τα παραπάνω προβλήματα είναι ότι ο οργανισμός εκχωρώντας τη σχετική λειτουργία στον πάροχο δεν χρειάζεται τη σχετική τεχνογνωσία και ως αποτέλεσμα πολλές φορές δεν έχει την τεχνική γνώση για να υλοποιήσει ένα σύστημα καταμέτρησης. Επίσης, θα πρέπει το σύστημα καταμέτρησης να είναι αποδεκτό από τον πάροχο και τα στοιχεία που δίνει ως αποτελέσματα να γίνονται δεκτά ως αληθή. Από την άλλη πλευρά εάν το σύστημα καταμέτρησης υλοποιηθεί από τον πάροχο θα πρέπει να υπάρχουν οι εγγυήσεις ότι τα στοιχεία που παράγονται από το σύστημα καταμέτρησης είναι αληθή.

Τα παραπάνω δημιουργούν ένα περίπλοκο πρόβλημα εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Ενδεικτικοί τρόποι να αντιμετωπιστεί είναι:

- Ο οργανισμός διατηρεί μέρος της τεχνογνωσίας που του επιτρέπει να υλοποιήσει και να χρησιμοποιεί ένα σύστημα καταμέτρησης των δεικτών.
- Το σύστημα καταμέτρησης υλοποιείται και χρησιμοποιείται από κοινού από τον οργανισμό και τον πάροχο.
- Ο οργανισμός και ο πάροχος τηρούν ανεξάρτητα συστήματα καταμέτρησης (και έτσι ελέγχουν ο ένας την αξιοπιστία του άλλου). Σε περίπτωση όμως διαφωνίας των τηρούμενων στοιχείων υπάρχει πρόβλημα να βρεθεί τι πραγματικά συμβαίνει.
- Η καταμέτρηση των δεικτών γίνεται από τρίτο που είναι κοινά αποδεκτός από τους αντισυμβαλλόμενους.
- Η υλοποίηση του συστήματος καταμέτρησης γίνεται από τρίτο που είναι κοινά αποδεκτός από τους αντισυμβαλλόμενους, Το σύστημα είναι αυτοματοποιημένο και παράγει τα απαιτούμενα στοιχεία χωρίς παρεμβάσεις.
- Η καταμέτρηση γίνεται από τον πάροχο, ο οποίος όμως ελέγχεται από εμπειρογνώμονα τρίτο (auditor) που είναι ορισμένος από τον οργανισμό.

Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τις τεχνικές δυνατότητες του οργανισμού αλλά και από τη γενικότερη στρατηγική του. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να αποφασιστεί και να περιγραφεί η πηγή των στοιχείων, και το ποιος τα συλλέγει και τα επεξεργάζεται. Τα στοιχεία θα χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία αναφορών (προς τον οργανισμό αλλά και τον πάροχο) που θα περιέχουν τις μετρήσεις που έγιναν και τα αποτελέσματα τους, τα σημεία στα οποία υπήρξε (αν υπήρξε) παραβίαση της ΣΔΕΠΥ και τις συνέπειες που αυτή επιφέρει, τα μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν για την μελλοντική αποφυγή παραβιάσεων, και άλλες προτάσεις. Για τις αναφορές αυτές θα πρέπει να καθοριστεί πόσο συχνά θα γίνονται, από ποιον και πως θα διακινούνται. Επίσης καλό είναι να καθοριστεί για αυτές μια προκαθορισμένη δομή και μορφή.

6.3.2.6 Διαδικασίες επικοινωνίας οργανισμού – πάροχου

Εκτός από τα παραπάνω, θα πρέπει να καθοριστεί η διαδικασία με την οποία θα γίνεται η επίσημη επικοινωνία μεταξύ οργανισμού και πάροχου και το τηρούμενο πρωτόκολλο. Ο ορισμός των διαδικασιών αυτών είναι σημαντικός τόσο για να μην δημιουργηθούν παρανοήσεις όσο και για να εξασφαλιστεί ότι σε περιπτώσεις προβλημάτων θα υπάρχει σαφής διαδικασία για την αναφορά τους και την ενημέρωση για την αποκατάστασή τους. Επίσης, τα τηρούμενα στο πρωτόκολλο στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταμέτρηση δεικτών όπως ο χρόνος απόκρισης ή / και ο χρόνος αποκατάστασης προβλημάτων.

6.3.2.7 Άλλα θέματα

Τέλος θα πρέπει να διερευνηθεί αν η ΣΔΕΠΥ θα πρέπει να καλύπτει και άλλα θέματα που είναι εξειδικευμένα στην εκάστοτε περίπτωση. Εάν υπάρχουν τέτοια θέματα θα πρέπει να καταγραφούν και να περιγραφεί η ευθύνη του κάθε αντισυμβαλλόμενου για το κάθε θέμα.

6.3.3 Τμήματα της ΣΔΕΠΥ

Τα αποτελέσματα των παραπάνω βημάτων θα πρέπει να καταγραφούν σε μία σειρά από τμήματα / σημεία που θα πρέπει να περιέχονται στη ΣΔΕΠΥ. Τα πιο σημαντικά τέτοια τμήματα είναι

- Ορισμός της υπηρεσίας: Περιγραφή της υπηρεσίας με ακριβή ορισμό της έκτασής της και του τύπου της.
- Ορισμοί όρων που σχετίζονται με την υπηρεσία: Προκειμένου να αποφευχθούν παρανοήσεις είναι απαραίτητα να δίνονται ορισμοί των όρων που χρησιμοποιούνται (ειδικά όταν οι όροι αυτοί δεν είναι σαφώς καθορισμένοι και γενικά αποδεκτοί).
- Προδιαγραφές υπηρεσίας και επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας: Λεπτομερής ορισμός της υπηρεσίας με τρόπο που να επιτρέπει την επαλήθευση του επιπέδου ποιότητας. Περιγραφή των παραμέτρων που σχετίζονται με την υπηρεσία (π.χ. δυνατότητα πρόσβασης ως ποσοστό του χρόνου, χρόνος απόκρισης κ.λπ.)
- Μέθοδος με την οποία γίνονται οι μετρήσεις, χρησιμοποιούμενα εργαλεία και υπολογισμός τιμών: Περιγραφή του τρόπου με τον οποίο γίνονται οι μετρήσεις, των χρησιμοποιούμενων εγκαταστάσεων, του τρόπου που υπολογίζονται ποσότητες που δεν είναι άμεσα μετρήσιμες, του τρόπου υπολογισμού των στατιστικών στοιχείων, και του τρόπου ερμηνείας των αποτελεσμάτων.
- Αποζημιώσεις και άλλα μέτρα: Τύποι και ύψη προστίμων για μη επίτευξη των επιθυμητών επιπέδων ποιότητας, άλλα πιο δραστηρικά μέτρα όταν τα επίπεδα είναι πολύ χαμηλά ή όταν η παραβίαση των επιπέδων γίνεται συνεχώς ή πολύ συχνά.
- Ευθύνες, εξαιρέσεις και όρια στην υπευθυνότητα: Ευθύνες των αντισυμβαλλομένων σε σχέση με την υπηρεσία και εξαιρέσεις από τις ευθύνες για ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. όταν πιθανά προβλήματα οφείλονται σε τρίτους). Επίσης, όρια στις αποζημιώσεις που μπορούν να καταβληθούν.
- Αναφορές και τύποι εγγράφων: Δομή και μορφή για όλα τα τυποποιημένα έγγραφα που θα χρησιμοποιούνται για την τεκμηρίωση της υπηρεσίας, αλλά και τον έλεγχο της.
- Διαδικασίες επικοινωνίας και επίλυσης θεμάτων: Περιγραφή όλων των διαδικασιών επικοινωνίας μεταξύ οργανισμού και πάροχου και των σχέσεων μεταξύ τους. Ορισμός του τρόπου με τον οποίο επιλύονται τα διάφορα θέματα.
- Τιμές - Κόστος: Το κόστος μπορεί να δίνεται είτε συνολικά (πακέτο) είτε κατά μονάδα για ξεχωριστές λειτουργίες (π.χ. κόστος απόκρισης σε ένα αίτημα παροχής υποστήριξης). Μπορεί να υπάρχει και συνδυασμός τους.

Όλα τα παραπάνω σημεία / θέματα πρέπει να οργανωθούν σε ένα κείμενο που θα αποτελεί τη ΣΔΕΠΥ. Για κάθε περίπτωση οι συντάκτες της ΣΔΕΠΥ μπορούν να αποφασίσουν για τον καλύτερο τρόπο με τον οποίο θα οργανωθούν όλα τα θέματα που εξετάζονται.

6.3.4 Ενδεικτικοί δείκτες για διάφορες υπηρεσίες

Επειδή ένα από τα πιο σημαντικά σημεία στην εκπόνηση μιας ΣΔΕΠΥ είναι η επιλογή των δεικτών, των ορίων που καθορίζουν το επίπεδο ποιότητας και του τρόπου μέτρησης στη συνέχεια δίνονται ορισμένα ενδεικτικά παραδείγματα.

Οι δείκτες αυτοί είναι αρκετά γενικοί και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες υπηρεσίες (εάν βέβαια έχει νόημα η εφαρμογή τους). Σε κάθε περίπτωση η εφαρμογή τους ή μη θα πρέπει να γίνει με τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν και τα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας να καθοριστούν ανάλογα με τις ανάγκες.

Ενδεικτικοί δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας είναι:

- **Διαθεσιμότητα:** Η διαθεσιμότητα είναι το ποσοστό του χρόνου που η υπηρεσία είναι προσβάσιμη. Είναι πολύ συνηθισμένος δείκτης τόσο για υπηρεσίες δικτυακής σύνδεσης όσο και άλλων δικτυακών υπηρεσιών. Ενδεικτικά όρια του επιθυμητού επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας είναι 98% – 100%. Ενδεικτικά όρια κάτω από τα οποία μπορεί να ληφθούν δραστικά μέτρα είναι 2–3 ποσοστιαίες μονάδες κάτω από τα παραπάνω ποσοστά (π.χ. 95% – 98%). Για να αποφευχθούν παρατεταμένες περίοδοι μη διαθεσιμότητας ο υπολογισμός του ποσοστού θα πρέπει να γίνεται για σύντομες χρονικές περιόδους (π.χ. σε ημερήσια βάση) ή / και να τίθενται συγκεκριμένα όρια σε κάθε περίοδο μη διαθεσιμότητας (π.χ. ανώτατο όριο μη διαθεσιμότητας μισής ώρας). Ενδεικτικό τρόπος μέτρησης της διαθεσιμότητας είναι με σύστημα που αυτοματοποιημένα ελέγχει την πρόσβαση στην υπηρεσία (π.χ. για ένα δικτυακό τόπο είναι τα τακτικά αιτήματα για σελίδες του δικτυακού τόπου, για υπηρεσία διασύνδεσης ο τακτική αποστολή μικρού μηνύματος και η επιβεβαίωση λήψης του, κ.λπ.). Ενδεικτική σχετική διαδικασία είναι η άμεση ενημέρωση (π.χ. σε 5 λεπτά) του οργανισμού (με τηλέφωνο ή e-mail) εάν η υπηρεσία δεν είναι διαθέσιμη για σημαντικό χρόνο (π.χ. για πάνω από 2 λεπτά) και η άμεση ενημέρωση όταν γίνει η αποκατάσταση. Ας σημειωθεί ότι παρόλο που η διαθεσιμότητα μιας δικτυακής υπηρεσίας εξαρτάται συνήθως και από την διαθεσιμότητα του σχετικού εξυπηρετητή αλλά και τη διαθεσιμότητα του δικτύου, η ΣΔΕΠΥ δεν διαχωρίζει τις περιπτώσεις, αφού θέμα είναι η συνολική διαθεσιμότητα της υπηρεσίας άσχετα από το πως υλοποιείται και από τι εξαρτάται. Προσοχή πρέπει να δοθεί στη θέση του συστήματος ελέγχου / μέτρησης. Αν είναι εκτός δικτύου του πάροχου το σύστημα ελέγχου μπορεί να μην έχει πρόσβαση στην υπηρεσία από πρόβλημα εκτός ευθύνης του πάροχου. Εάν είναι μέσα στο δίκτυο του πάροχου μπορεί να μην «συλλαμβάνει» προβλήματα μη διαθεσιμότητας του δικτύου αυτού. Για το λόγο αυτό το σύστημα ελέγχου πρέπει να τοποθετηθεί στα όρια του δικτύου του πάροχου.
- **Χωρητικότητα:** Η χωρητικότητα είναι το μέγεθος της γραμμής που χρησιμοποιείται σε κάποια υπηρεσία διασύνδεσης. Είναι πολύ συνηθισμένος δείκτης και αποτελεί έναν τρόπο περιγραφής της ταχύτητας που μπορεί να επιτύχει μια γραμμή διασύνδεσης. Όμως πολλές φορές δεν γίνεται ορθή χρήση του, αφού δεν είναι η μόνη παράμετρος που επηρεάζει την ταχύτητα. Έτσι, μπορεί να καθοριστεί ικανή χωρητικότητα διασύνδεσης χωρίς όμως να υπάρχει το επιθυμητό αποτέλεσμα της ικανοποιητικής ταχύτητας. Επιπλέον, θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι στην περίπτωση διασύνδεσης με το Διαδίκτυο, η χωρητικότητα αυτή αφορά μόνο το δίκτυο του πάροχου. Ο πάροχος δεν έχει έλεγχο πάνω στο υπόλοιπο Διαδίκτυο. Έτσι μπορεί η επικοινωνία με κόμβους εκτός του δικτύου του πάροχου να μην είναι σε αποδεκτά επίπεδα, παρά τη μεγάλη χωρητικότητα διασύνδεσης, για λόγους που βρίσκονται έξω από τον έλεγχο του πάροχου.
- **Αριθμός αλλαγών (π.χ. αλλαγών στις σελίδες ενός δικτυακού τόπου):** Ο αριθμός αλλαγών καθορίζει πόσες φορές είναι υποχρεωμένος ο πάροχος να προβεί σε αιτούμενες αλλαγές σε περιεχόμενο που σχετίζεται με την υπηρεσία (π.χ. στις

σελίδες ενός δικτυακού τόπου). Εναλλακτικός δείκτης μπορεί να είναι ο ρυθμός των αιτούμενων αλλαγών. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να ορίζεται το σχετικό χρονικό διάστημα. Ενδεικτικός τρόπος μέτρησης είναι μέσω των καταγεγραμμένων στο πρωτόκολλο αιτημάτων και αποκρίσεων.

- Χρόνος απόκρισης της υπηρεσίας: Ο χρόνος απόκρισης είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή που κάποιος χρήστης θα ζητήσει κάτι από τον εξυπηρετητή (π.χ. μία σελίδα ενός δικτυακού τόπου) μέχρι τη στιγμή που θα δει ορατά αποτελέσματα της αίτησής του. Επειδή δεν μπορεί να μετρηθεί η απόκριση για κάθε αίτηση, δείκτης πρέπει να είναι ο μέσος χρόνος απόκρισης (και πιθανά η διασπορά του). Εναλλακτικά, δείκτης μπορεί να είναι ο χρόνος απόκρισης για ένα μεγάλο ποσοστό των αιτήσεων (που καθορίζεται στη ΣΔΕΠΥ). Ενδεικτικά όρια του επιθυμητού επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας είναι 10 δευτερόλεπτα – 1 δευτερόλεπτο (με ακρίβεια που μπορεί να μετριέται και σε χιλιοστά του δευτερόλεπτου). Ενδεικτικό τρόπος μέτρησης της διαθεσιμότητας είναι με σύστημα που αυτοματοποιημένα και στατιστικά υποβάλλει αιτήματα στον εξυπηρετητή (π.χ. ανακαλεί σελίδες ενός δικτυακού τόπου) και υπολογίζει το (μέσο) χρόνο απόκρισης. Ενδεικτική σχετική διαδικασία είναι η άμεση ενημέρωση του οργανισμού (όπως παραπάνω), εάν η απόκριση είναι εκτός ορίων και όταν γίνει αποκατάσταση
- Αριθμός αιτήσεων προς τον εξυπηρετητή: Ο αριθμός αυτός είναι ο αριθμός των αιτήσεων που γίνονται προς τον εξυπηρετητή (π.χ. αριθμός σελίδων που ζητούνται από τον εξυπηρετητή ενός δικτυακού τόπου) σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο (π.χ. ανά ώρα, ανά μέρα, ανά εβδομάδα κ.λπ.) και που πρέπει να εξυπηρετούνται με το επίπεδο ποιότητας που καθορίζουν οι άλλοι δείκτες. Ανάλογα με την υπηρεσία, την αναμενόμενη χρήση της υπηρεσίας, και τον χρονικό διάστημα για το οποίο ορίζονται, οι ενδεικτικές τιμές μπορούν να είναι από λίγες εκατοντάδες έως πάρα πολλές χιλιάδες. Η μέτρηση μπορεί να γίνει από επεξεργασία του log του εξυπηρετητή. Οι παραπάνω δείκτες ή άλλοι παρόμοιοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για περιπτώσεις παροχής άλλων υπηρεσιών. Για παράδειγμα, ο χρόνος απόκρισης σε αιτήματα και ο αριθμός αιτημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περιπτώσεις παροχής υπηρεσιών τεχνικής υποστήριξης (όπου βέβαια τα αιτήματα εξυπηρετούνται από ανθρώπους και όχι από υπολογιστικά συστήματα).

6.3.5 Παρατηρήσεις

Προκειμένου να εκπονηθεί μια επιτυχημένη ΣΔΕΠΥ θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη οι παρακάτω παρατηρήσεις

- Στην εκπόνηση μιας ΣΔΕΠΥ είναι σημαντικό να γίνουν ρεαλιστικές αλλά και μετρήσιμες δεσμεύσεις για το επίπεδο της υπηρεσίας.
- Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι είναι μεν σημαντικό να επιτυγχάνεται το υποσχεθέν επίπεδο ποιότητας για την υπηρεσία, αλλά ακόμη πιο σημαντικό είναι η καλή συνεννόηση και ταχεία επίλυση των διαφόρων θεμάτων όταν αυτά προκύπτουν
- Υπάρχει μία άμεση σχέση ανάμεσα στην χρησιμοποιούμενη υποδομή και στο μέγιστο του επιπέδου ποιότητας που μπορεί να παρασχεθεί. Αυτό σημαίνει ότι μία ΣΔΕΠΥ πρέπει να ορίζεται με γνώση των ορίων που μπορεί να θέσει η χρησιμοποιούμενη υποδομή (αυτό αφορά κύρια τον πάροχο). Η ΣΔΕΠΥ δεν πρέπει να καθορίζει τον τρόπο υλοποίησης της υπηρεσίας. Όμως, η περιγραφή της υλοποίησης της υπηρεσίας μπορεί να ζητηθεί από τον οργανισμό και να

χρησιμοποιηθεί για να αξιολογηθεί αν με την υλοποίηση αυτή μπορούν να επιτευχθούν τα απαιτούμενα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας.

- Εξαιτίας του παραπάνω υπάρχει μια εκθετική σχέση ανάμεσα στο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας και το κόστος (το κόστος αυξάνει εκθετικά με το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας, όταν το επίπεδο υπηρεσίας είναι υψηλό, απαίτηση για μικρή αύξηση του επιπέδου μπορεί να σημαίνει πολύ μεγάλη αύξηση στο κόστος) Έτσι οι απαιτήσεις για μεγαλύτερη ποιότητα υπηρεσίας θα πρέπει να «ζυγίζονται» προσεκτικά ως προς το αν είναι απαραίτητες και αν αξίζουν το παραπάνω κόστος.

6.3.6 Ενδεικτικό παράδειγμα ΣΔΕΠΥ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται σε συντομία οι τεχνικές λεπτομέρειες (και όχι οι νομικές) που είναι απαραίτητες για την εκπόνηση μιας ΣΔΕΠΥ μέσω ενός παραδείγματος. Συγκεκριμένα, θεωρείται πως ο πάροχος δικτυακών υπηρεσιών έχει υλοποιήσει και παρέχει μια υπηρεσία Ποιότητας Εξυπηρέτησης (ΕΦ βασισμένη υπηρεσία) που ονομάζεται Α και απευθύνεται σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Στη συνέχεια, ένας πελάτης του παρόχου ενδιαφέρεται να «αγοράσει» την υπηρεσία αυτή και επιθυμεί να συνάψει μια ΣΔΕΠΥ με τον πάροχο για να διασφαλίσει το επίπεδο της ποιότητας παροχής της υπηρεσίας. Σε αυτή την περίπτωση τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την υπηρεσία που έχει υλοποιήσει ο πάροχος είναι το εύρος ζώνης που παρέχεται στον χρήστη, η καθυστέρηση μετάδοσης που αντιλαμβάνονται τα πακέτα του, η διακύμανση καθυστέρησης και τέλος ο ρυθμός απώλειας πακέτων. Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει ενδεικτικές τιμές που μπορεί να έχουν οι μετρικές αυτές, για την σωστή λειτουργία της υπηρεσίας και διασφάλιση του πελάτη.

Χαρακτηριστικό	Μετρική	Μέθοδος μέτρησης	Ανεκτά επίπεδα μετρικής	Επιβεβαίωση ειδοποίησης τυχόν προβλήματος	Χρόνος απόκρισης στο πρόβλημα
Εύρος ζώνης	kbps	Σύστημα ελέγχου δικτύου	290 – 300kbps	10 λεπτά / ηλεκτρονικό ταχυδρομείο	Λιγότερο από 1 ώρα
Καθυστέρηση μετάδοσης	ms	PING μηνύματα	30- 50 msec	10 λεπτά / ηλεκτρονικό ταχυδρομείο	Λιγότερο από 1 ώρα
Διακύμανση καθυστέρησης	ms	RTCP στατιστικά & σύστημα ελέγχου δικτύου	5- 10 msec	10 λεπτά / ηλεκτρονικό ταχυδρομείο	Λιγότερο από 1 ώρα
Απώλεια πακέτων	Ποσοστό επί τοις εκατό σε περιόδους των 5 λεπτών	RTCP στατιστικά & σύστημα ελέγχου δικτύου	0-1 %	10 λεπτά / ηλεκτρονικό ταχυδρομείο	Λιγότερο από 1 ώρα
Διαθεσιμότητα	Ποσοστό επί τοις	RTCP στατιστικά	98 –	10 λεπτά / ηλεκτρονικό	Λιγότερο

υπηρεσίας	εκατό σε περιόδους 1 ημέρας	& σύστημα ελέγχου δικτύου	100%	ταχυδρομείο	από 1 ώρα
-----------	-----------------------------------	---------------------------------	------	-------------	-----------

Πίνακας 5: Παράδειγμα ΣΔΕΠΥ

Τα στοιχεία αυτά θα πρέπει να ενσωματωθούν κατάλληλα στο πλήρες κείμενο της ΣΔΕΠΥ, που τα τμήματά της παρουσιάζονται στην ενότητα 6.3.2, συμπληρώνοντας εκτός από τις νομικές πληροφορίες και τις αντίστοιχες ρήτρες για κάθε περίπτωση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Albuquerque C., Vickers B., Suda T., "Credit-based source-adaptive multilayered video multicast", *Performance Evaluation* 40 (1 - 3): pp. 135 - 159 (2000).
- [2]. Amir E., McCanne S., Katz R., "Receiver-driven bandwidth adaptation for light - weight sessions", in *Proc. ACM Intl. Multimedia Conf. '97*, Seattle, WA., Nov. 1997, pp. 415 - 26.
- [3]. Bolot J., Fosse-Parisis S., Towsley D., "Adaptive FEC-based error control for Internet Telephony", *Proc. of Infocom'99*, Mar. 1999.
- [4]. Bolot J., Turletti T., "A rate control mechanism for packet video in the Internet", In *IEEE Infocom'94*, volume 3, pp. 1216 - 1223, Toronto, Canada, June 1994.
- [5]. Bolot J., Turletti T., Wakeman I., "Scalable feedback control for multicast video distribution in the Internet", In *Proceedings of SIGCOMM 1994*, pp. 139 - 146, London, England, August 1994. ACM SIGCOMM.
- [6]. Bouras C., Campanella M., Przybylski M., Sevasti A., "QoS and SLA aspects across multiple management domains: The SEQUIN approach", *Future Generation Computer Systems* 19 (2003) 313-326
- [7]. Boyce J. M., Gaglianella R., "Packet Loss Effects on MPEG Video Sent Over The Public Internet", *ACM Multimedia*, Bristol, UK, 1998, pp. 181 - 190.
- [8]. Campanella M., "Implementation Architecture specification for the Premium IP service", Deliverable D2.1-Addendum 1, SEQUIN Project (IST-1999-20841)
- [9]. Chahed T., "IP QoS Parameters", private communication to TF-NGN November 2000
- [10]. Chang Y., Messerschmitt D. G., "Adaptive layered video coding for multi - time scale bandwidth fluctuations", submitted to *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*.
- [11]. Cocchi R., Estrin D., Shenker S., Zhang L., "Pricing in Computer Networks: Motivation, Formulation, and Example", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 1, No. 6, pp. 614 - 627, December 1993.
- [12]. Courcoubetis C., Weber R., "Pricing Communication Networks", John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, 2003
- [13]. Davies D., "Pricing Networks or Who Pays for the String?", DANTE, TERENA Networking Conference, Lisbon, May 2000.
- [14]. Dermler G., Gunter M., Braun T., Stiller B., "Towards a scalable system for per-flow charging in the Internet", Switzerland, 2000.
- [15]. Diot C., "On QoS & Traffic Engineering and SLS-related Work by Sprint", Workshop on Internet Design for SLS Delivery, Tulip Inn Tropen, Amsterdam, The Netherlands, 25 - 26 January 2001.
- [16]. Fankhauser G., Schweikert D., Plattner B., "Service Level Agreement Trading for the Differentiated Services Architecture"

- [17]. Fishburn P. C., Odlyzko A. M., Siders R. C., "Fixed fee versus unit pricing for information goods: competition, equilibria, and price wars", *First Monday*, vol. 2, no. 7 (July 1997). Also to appear in "Internet Publishing and Beyond: The Economics of Digital Information and Intellectual Property", B. Kahin and H. Varian, editions MIT Press, 2000.
- [18]. Floyd S., Fall K., "Promoting the Use of End-to-End Congestion Control in the Internet", *IEEE / ACM Transactions on Networking*, 1998.
- [19]. Floyd S., Jacobson V., "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance", *IEEE / ACM Transactions on Networking*, vol. 1,4: pp. 397 - 413, 1993.
- [20]. Fluckiger F., "Understanding Networked Multimedia", Prentice Hall, ISBN 0 - 13 - 190992 - 4.
- [21]. Ford M., Lew H. K., Spanier S., Stevenson T., "Internetworking Technologies Handbook", Cisco Press, ISBN:1 - 56205 - 603 - 4.
- [22]. Goolsby K., "A Guide for Establishing Service Level Specifications for Outsourcing Relationships", White Paper, Everest Group, December 2001
- [23]. Goyal P., Vin H., Shen C., Shenoy P., "A Reliable Adaptive Network Protocol for Video Transport", Technical Report UTEXAS CS CSTR - 95 - 18, The University of Texas at Austin, Department of Computer Sciences, July 1995.
- [24]. Jacobs S., Eleftheriadis A., "Adaptive Video Applications for Non - QoS Networks", Proc. 5th International Workshop on Quality of Service (IWQoS'97), Columbia University, New York, USA, pp. 161 - 165.
- [25]. Jiang T., Ammar M. H., Zegura E. W., "Inter - Receiver Fairness: A Novel Performance Measure for Multicast ABR Sessions", *SIGMETRICS 1998*: pp. 202 - 211.
- [26]. Jiang T., Zegura E. W., Ammar M., "Inter - receiver fair multicast communication over the Internet", In Proceedings of the 9th International Workshop Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV), pp. 103 - 114, June 1999.
- [27]. Kilkki K., Kalevro M., Ruutu J., "Internet Charging Reconsidered", 5th Annual Network and Interop Engineers Conference (Interop '98), Las Vegas, Nevada, U.S.A., May 1998.
- [28]. Legout A., Biersack E., "PLM: Fast convergence for cumulative layered multicast transmission schemes", In Proceedings of ACM SIGMETRICS'2000, Santa Clara, CA, USA, June 2000.
- [29]. Li X., Ammar M., Paul S., "Layered video multicast with retransmission (LVMR): Evaluation of hierarchical rate control", Proc. IEEE Infocom, March 1998.
- [30]. Li X., Ammar M., Paul S., "Video Multicast over the Internet", *IEEE Network Magazine*, April 1999.
- [31]. McCanne S., Jacobson V., "Receiver-driven layered multicast", 1996 ACM Sigcomm Conference, pp. 117 - 130, August 1996.
- [32]. McKnight L., Bailey J. (eds.), "Internet Economics", MIT Press, Cambridge, Massachusetts, U.S.A., 1997.

- [33]. Odlyzko A., "Internet Pricing and the History of Communications", AT&T Labs – Research, 2000.
- [34]. Rejaie R., Estrin D., Handley M., "Quality Adaptation for Congestion Controlled Video Playback over the Internet" in Proc. of ACM SIGCOMM '99, Cambridge, Sept. 1999.
- [35]. RFC 1075: D. Waitzman, C. Partridge, S. Deering, "Distance vector multicast routing protocol (DVMRP) ", IETF.
- [36]. RFC 1101 P.V. Mockapetris, "DNS encoding of network names and other types", IETF.
- [37]. RFC 1112, S. E. Deering, "Internet Group Management Protocol - IGMP", IETF.
- [38]. RFC 1305, D. Mills, "Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation", IETF.
- [39]. RFC 1585, J. Moy, "MOSPF Analysis and Experience", IETF.
- [40]. RFC 1633, R. Braden, D. Clark, S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview", IETF.
- [41]. RFC 1771, Y. Rekhter, T. Li, "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4) ", IETF.
- [42]. RFC 1889, H. Shulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real - Time Applications", IETF.
- [43]. RFC 1890, H. Shulzrinne, S. Casner, "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control", IETF.
- [44]. RFC 2001, W. Stevens, "TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit and Fast Recovery Algorithms", IETF.
- [45]. RFC 2018, M. Mathis, J. Mahdavi, S. Floyd, A. Ramanow, "TCP Selective Acknowledgement Options", IETF.
- [46]. RFC 2205, R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification", IETF.
- [47]. RFC 2211, J.Wroclawski, "Specification of the Controlled-Load Network Element Service", IETF
- [48]. RFC 2212, S.Shenker, R.Guerin, "Specification of the Guaranteed Quality of Service", IETF
- [49]. RFC 2328, J. Moy, "OSPF Version 2", IETF.
- [50]. RFC 2362, D. Estrin, D. Farinacci, A. Helmy, D. Thaler, S. Deering, M. Handley, V. Jacobson, C. Liu, P. Sharma, L. Wei, "Protocol independent multicast sparse - mode (PIM - SM): Protocol speciation", IETF.
- [51]. RFC 2453, G. Malkin, "RIP Version 2", IETF.
- [52]. RFC 2460, D. R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", IETF.
- [53]. RFC 2474, K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black, "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", IETF.

- [54]. RFC 2481, K.Ramakrishnan and S.Floyd, "A proposal to Add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", IETF
- [55]. RFC 2597, J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss, J. Wroclawski, "Assured Forwarding PHB Group", IETF
- [56]. RFC 2598, V. Jacobson, K. Nicholsm K.Poduri, "An Expedited Forwarding PHB", IETF
- [57]. RFC 2697, J. Heinanen, R. Guerin, "A single rate three color marker", IETF
- [58]. RFC 2698, J. Heinanen, R. Guerin, "A Two Rate Three Color Marker", IETF
- [59]. RFC 2857, W. Fang, N. Seddigh, "A Time Sliding Window Three Color Marker (TSWTCM) ", IETF
- [60]. RFC 3697, J. Rajahalme, A. Conta, B. Carpenter and S. Deering, " IPv6 Flow Label Specification ", IETF
- [61]. RFC 768, J. Postel, "User Datagram Protocol", IETF.
- [62]. RFC 791, J. Postel, "Internet Protocol", IETF.
- [63]. RFC 792, J. Postel, "Internet Control Message Protocol", IETF.
- [64]. RFC 793, J. Postel, "Transmission Control Protocol", IETF.
- [65]. Smith H., Mutka M., Rover D., "A Feedback based Rate Control Algorithm for Multicast Transmitted Video Conferencing", In the Journal of High Speed Networks.
- [66]. Stallings W., "Data and Computer Communications", Fifth Edition, Prentice Hall International Editions, ISBN 0 - 13 - 571274 - 2.
- [67]. Stevens W., "TCP / IP Illustrated", Volume 1: The Protocols. Addison - Wesley, Reading, MA, USA, 1994.
- [68]. Stiller B., Reichl P., Leinen S., "Pricing and Cost Recovery for Internet Services: Practical Review, Classification, and Application of Relevant Models", version published in Netnomics, Vol. 2, No. 1, January 2000.
- [69]. Sturm R., Morris W., Jander M., "Foundations of Service Level Management", Sams, Indianapolis, Indiana, U.S.A., 2000
- [70]. Szuprowicz B., "Multimedia Networking", McGraw - Hill, Inc., ISBN: 0 - 07 - 063108 - 5.
- [71]. Szymczyk P., "Developing Service Level Agreement for Outsourced Processes and Systems", International Carpathian Control Conference 2002, Malenovice, Czech Republic, May 2002
- [72]. Tanenbaum A., "Computer Networks, 4th Edition", Publisher: Prentice Hall, ISBN: 0-13-066102-3, 2003.
- [73]. The Queensland Government Guide to Best Practice in IT Outsourcing: Module 1 Making the Decision
- [74]. The Queensland Government Guide to Best Practice in IT Outsourcing: Module 2 Establishing the Arrangement
- [75]. The Queensland Government Guide to Best Practice in IT Outsourcing: Module 1 Implementing and Managing the Arrangement

- [76]. Vandalore B., Feng W., Jain R., Fahmy S., "A Survey of Application Layer Techniques for Adaptive Streaming of Multimedia", Journal of Real Time Systems (Special issue on Adaptive Multimedia), April 99.
- [77]. Vegesna S., "IP Quality of Service: the complete resource for understanding and deploying IP quality of service for Cisco networks", Cisco Press, 2001
- [78]. Vickers B., Albuquerque C. V. N., Suda T., "Adaptive Multicast of Multi-Layered Video: Rate - Based and Credit Based Approaches", Proc. of IEEE Infocom, March 1998.
- [79]. Widmer J., Handley M., "Extending Equation-based Congestion Control to Multicast Applications", Proc. ACM SIGCOMM (San Diego, CA), Aug. 2001.
- [80]. Wustenhoff E., "Service Level Agreement in the Data Center", Sun BluePrints OnLine, April 2002

WEB SITES

- [1]. CISCO MBGP information,
http://www.cisco.com/en/US/tech/tk365/tk859/tech_protocol_family_home.html
- [2]. CISCO Quality of Service Web page
http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/qos.htm
- [3]. CORBA web site, <http://www.corba.org/>
- [4]. First-in, First-out (FIFO) Queuing:
http://www.juniper.net/techcenter/techpapers/200020_01.html
- [5]. Global Positioning System - GPS, <http://www.gpsworld.com/gpsworld/>
- [6]. GPRS Platform: <http://www.gsmworld.com/technology/gprs/index.shtml>
- [7]. IEEE 802.11 Planet <http://www.80211-planet.com/>
- [8]. Java Media Framework: <http://java.sun.com/products/java-media/jmf/index.html>
- [9]. MBONE tools, <http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/>
- [10]. RSVP ReSerVation Protocol: <http://www.isi.edu/div7/rsvp/rsvp.html>
- [11]. The TCP - Friendly Website:
http://www.psc.edu/networking/tcp_friendly.html
- [12]. The Official Bluetooth® Wireless Info Site: <http://www.bluetooth.com/>
- [13]. UMTS Forum <http://www.umts-forum.org/>
- [14]. Xerox Network Systems
http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/xns.htm
- [15]. Cisco 12000 Series Internet Router: Frequently Asked Questions,
http://www.cisco.com/warp/public/63/gsrfaq_11085.shtml