

## 5. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

### 5.1 Εισαγωγή

Η ραγδαία εξάπλωση του Διαδικτύου τροφοδοτεί την ανάπτυξη καινούργιων εφαρμογών που επιθυμούν να το χρησιμοποιήσουν σαν μέσο μεταφοράς των δεδομένων τους. Η οικογένεια δικτυακών πρωτοκόλλων με την οποία είναι χτισμένο το διαδίκτυο, (TCP/IP, βλέπε Κεφ. 1 και 2), δεν παρέχει τις δυνατότητες και τις εγγυήσεις που χρειάζονται οι νέες εφαρμογές για να λειτουργήσουν ικανοποιητικά. Συγκεκριμένα η υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (best effort) που παρέχει ο αρχικός σχεδιασμός του διαδικτύου επιτρέπει στις συνολικές, απ' άκρο σ' άκρο (end-to-end) καθυστερήσεις να αυξάνονται απεριόριστα εξαιτίας του φαινομένου της συμφόρησης. Εφαρμογές μεταφοράς ήχου ή video πραγματικού χρόνου (real-time) απαιτούν καλύτερης ποιότητας υπηρεσία (Quality of Service, QoS) από το διαδίκτυο. Για να είναι λοιπόν σε θέση ένας παροχέας υπηρεσιών διαδικτύου να παρέχει υπηρεσίες που οι πελάτες του μπορούν να εμπιστευθούν, χρειάζεται ένα δίκτυο με δυνατότητες QoS. Οι δύο αρχιτεκτονικές QoS που έχουν ορισθεί από την Internet Engineering Task Force (IETF) για να επιλύσουν τα παραπάνω προβλήματα είναι η Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Service Architecture, Int-Serv) και το μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Service Framework, Diff-Serv). Η κάθε μία έχει το ρόλο της και ένα σύστημα που θα συνδύαζε και τις δύο προσφέροντας τα συμπληρωματικά πλεονεκτήματά τους και αλληλοεξουδετερώνοντας τα μειονεκτήματά τους θα αποτελούσε μία πολύ καλή λύση στον τομέα της QoS.

Στης μέρες μας στο Internet κάθε στοιχείο δικτύου, το οποίο παρεμβάλλεται στην διαδρομή ενός πακέτου IP δε κάνει τίποτα περισσότερο από μια βέλτιστη προσπάθεια να προωθήσει το πακέτο προς τον προορισμό του. Αν σε ένα δρομολογητή η ουρά είναι υπερφορτωμένη, ορισμένα πακέτα απορρίπτονται χωρίς διάκριση μεταξύ χαμηλής προτεραιότητας κίνηση και υψηλής προτεραιότητας κίνηση. Αυτή είναι γνωστή ως υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (best-effort).

Για την σωστή λειτουργία, πολλές προηγμένες εφαρμογές απαιτούν εγγύηση του ελάχιστου εύρους ζώνης και της μέγιστης καθυστέρησης πακέτου (latency) τα οποία τα δίκτυα βέλτιστης προσπάθειας είναι ανίκανα να παρέχουν. Για παράδειγμα, απομακρυσμένα εργαλεία αλληλεπίδρασης (interactive) συνήθως έχουν απαιτήσεις που πηγάζουν από ιδιότητες των ανθρώπινων αισθήσεων δίνοντας έτσι αυστηρές απαιτήσεις σε εύρο ζώνης και καθυστέρησης πακέτου. Η αποτυχία να υλοποιηθούν οι παραπάνω απαιτήσεις οδηγεί την εφαρμογή στο να μη δουλεύει σωστά. Επιπλέον, ορισμένες σημαντικές προηγμένες εφαρμογές, όπως απομακρυσμένα ιατρεία ή απομακρυσμένα όργανα ελέγχου, έχουν απαιτήσεις οι οποίες αν δεν ικανοποιηθούν έχουν επιπτώσεις στον πραγματικό κόσμο όπως απώλεια ζωής ή βλάβη στα ακριβά απομακρυσμένα μηχανήματα.

## 5.2 Απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσίας στο Διαδίκτυο

Μεγάλο μέρος της έρευνας για το Διαδίκτυο στρέφεται στο να εντοπιστούν και να προδιαγραφούν οι απαιτήσεις ώστε οι επόμενες υλοποιήσεις του Διαδικτύου να προσφέρουν ποιότητα υπηρεσίας, διαφορετική από αυτή που υπάρχει μέχρι σήμερα. Έτσι μια λύση που θα επέτρεπε την ύπαρξη QoS στο Διαδίκτυο για να είναι επιτυχημένη θα πρέπει:

- Να εξυπηρετεί προηγμένες εφαρμογές.
- Να μπορεί να εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα και να είναι κλιμακούμενη.
- Να είναι εύκολη η διαχείριση των δικτύων που θα προκύψουν.
- Να είναι δυνατή η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών υλοποιήσεων τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού όσο και στο επίπεδο δικτύων (clouds).
- Να μπορεί να υποστηριχτεί από διαφορετικά λειτουργικά συστήματα και μεσισμικό (middleware).

Στη συνέχεια δίνονται περισσότερες λεπτομέρειες για τις παραπάνω απαιτήσεις.

### 5.2.1 Εξυπηρέτηση απαιτητικών εφαρμογών

Η συνήθης απάντηση των προγραμματιστών στην ερώτηση "τι QoS χρειάζονται από το δίκτυο", είναι ότι χρειάζονται όσο περισσότερο εύρος ζώνης γίνεται, ελάχιστη καθυστέρηση και διακύμανση καθυστέρησης (jitter) και τις μικρότερες κατά το δυνατόν απώλειες πακέτων. Η απάντηση αυτή αν και κοινότυπη είναι αποτέλεσμα της σημερινής πραγματικότητας, η οποία αναγκάζει τους προγραμματιστές δικτυακών εφαρμογών στο να γράφουν εφαρμογές, που να μπορούν να προσαρμόζονται σε μεγάλα εύρη ρυθμού διέλευσης πακέτων (throughput). Δηλαδή η βασική τους μέριμνα είναι να φτιάχνουν εφαρμογές τέτοιες ώστε να λειτουργούν σωστά και προβλέψιμα κάτω από τις αντίξοες συνθήκες συμφόρησης, που δημιουργεί η μοναδική σήμερα υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας του Internet.

Για να υποστηριχθεί η ανάπτυξη προχωρημένων δικτυακών εφαρμογών τα κύρια πρωτόκολλα του στρώματος μεταφοράς του Internet με πρώτο το TCP, σχεδιάστηκαν και βελτιστοποιήθηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελαττώνουν την κίνηση που παράγουν στην περίπτωση συμφόρησης και φυσικά να την μεγιστοποιούν στην περίπτωση απουσίας συμφόρησης και διάθεσης εύρους ζώνης. Στην σημερινή υλοποίηση του Internet κάθε νέα σύνδεση γίνεται πάντοτε δεκτή και ποτέ ένα δίκτυο βέλτιστης προσπάθειας δε αρνείται την εξυπηρέτησή της. Με αυτόν τον τρόπο κάθε νέα σύνδεση επιβαρύνει την επίδοση των ήδη εγκατεστημένων συνδέσεων, δίνοντας την εντύπωση στον χρήστη ότι ένα δίκτυο βέλτιστης

προσπάθειας δεν είναι ποτέ πλήρως κατειλημμένο, αντίθετα με αυτό που συμβαίνει στ συνήθη τηλεφωνικά δίκτυα.

Σε αντίθεση με το κλασικό Internet, ένας χρήστης δικτύου που υποστηρίζει QoS αντιλαμβάνεται ένα μοντέλο υπηρεσίας παρόμοιο με αυτό ενός τηλεφωνικού δικτύου. Έτσι σε πρώτη φάση λαμβάνει χώρα μία διαδικασία παρόμοια με αυτή της εγκατάστασης κλήσης, όπου ο χρήστης προσπαθεί να αρχικοποιήσει μια σύνδεση και να δεσμεύσει τους απαραίτητους πόρους. Υποθέτοντας ότι η κλήση έχει γίνει δεκτή, ο χρήστης έχει στην διάθεση του έναν καθαρό τηλεπικοινωνιακό δίαυλο. Στην αντίθετη περίπτωση, ο χρήστης λαμβάνει ένα σήμα κατειλημμένου, που τον ειδοποιεί ότι η αίτησή του για σύνδεση με την συγκεκριμένη ποιότητα δεν έγινε δεκτή. Το παραπάνω παράδειγμα καταδεικνύει την ανάγκη για σημαντικές αλλαγές στο τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται οι εφαρμογές σήμερα, ώστε να προσαρμόζονται αλλά και να εκμεταλλεύονται στο έπακρο τις νέες προσφερόμενες δικτυακές υπηρεσίες με ποιότητα.

Οι μελέτες διάφορων ερευνητικών κέντρων πάνω στο θέμα των δικτυακών απαιτήσεων των εφαρμογών οδήγησε σε κάποια συμπεράσματα για τις παραμέτρους κίνησης, αλλά ακόμη το πεδίο είναι ανοιχτό για περαιτέρω έρευνα ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο συγκεκριμένα. Το κύριο θέμα των απαιτήσεων για ποιότητα υπηρεσίας ανεξαρτήτως της είναι η διασφάλιση (assurance) ορισμένων παραμέτρων κίνησης. Από τις παραμέτρους κίνησης αυτές που αναφέρονται συχνότερα είναι το εύρος ζώνης και η καθυστέρηση. Προβλέπεται ότι για τις εφαρμογές που θα αναπτυχθούν στο κοντινό μέλλον θα χρειάζεται εύρος ζώνης μερικών megabits ανά δευτερόλεπτο (<10Mbps) και καθυστέρηση που θα κυμαίνεται μεταξύ 30 και 500ms. Μερικές εφαρμογές απαιτούν επίσης αυστηρά όρια για τη διακύμανση καθυστέρησης, αλλά τα προβλήματα αυτά συνήθως μπορούν να αντιμετωπιστούν με play-back ενταμιευτές εγκατεστημένους στους παραλήπτες των πακέτων.

### 5.2.2 Κλιμάκωση

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στο σχεδιασμό του Διαδικτύου είναι η παροχή ποιότητας υπηρεσίας από άκρη σε άκρη για μεγάλο αριθμό ενεργών συνδέσεων και παράλληλα η διασφάλιση της βέλτιστης εκμετάλλευσης των πόρων του διαδικτύου από τις εφαρμογές. Λύσεις στο πρόβλημα της ποιότητας υπηρεσίας, οι οποίες απαιτούν μεγάλο όγκο πληροφορίας για την κατάσταση κάθε ροής πακέτων και μεγάλη υπολογιστική ισχύ από τις μηχανές προώθησής τους, δεν μπορούν να δώσουν μια πραγματική απάντηση, καθώς ο αριθμός των χρηστών που απαιτούν QoS αυξάνεται συνεχώς. Το πρόβλημα γίνεται πιο έντονο στα σημεία συγκέντρωσης της κίνησης του δικτύου, όπως είναι οι δρομολογητές πυρήνα (core routers) του Διαδικτύου, που είναι αναγκασμένοι να προωθούν χιλιάδες ροές με υψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων (Resource Reservation Protocol, RSVP), που παρουσιάζεται στην §5.4, αποτελεί μία λύση

τέτοιου τύπου, η οποία όπως έχει αποδειχτεί δε μπορεί να κλιμακωθεί και κατά συνέπεια οδηγούμαστε σε εναλλακτικές λύσεις όπως αυτή των Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ) της §5.5.

### 5.2.3 Εύκολη διαχείριση και Παρακολούθηση χρήσης πόρων

Όπως σε κάθε δίκτυο με περιορισμένους πόρους έτσι και στο Διαδίκτυο απαιτούνται μηχανισμοί για την σωστή διαχείριση και χρέωση τους. Οι μηχανισμοί αυτοί πρέπει να λειτουργούν με αποδοτικό τρόπο ώστε να δίνουν στους τελικούς χρήστες όλα όσα υπόσχεται ένα ικανό δίκτυο QoS, χωρίς να δημιουργούνται επιπρόσθετα προβλήματα στο σχεδιασμό του δικτύου και στην διαχείριση του (από τηλεπικοινωνιακής άποψης). Επίσης οι μηχανισμοί αυτοί θα πρέπει να επιτρέπουν ένα ελαστικό σετ από πολιτικές και να αποτρέπουν προσπάθειες εξαπάτησης από πλευράς χρηστών των υπηρεσιών QoS του δικτύου.

Η παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας όπως είναι και το πιο πιθανό θα χρεώνεται ανάλογα. Για αυτό τον λόγο θα πρέπει να δίνεται η δυνατότητα και στους τελικούς χρήστες αλλά και στους λειτουργούς των δικτύων να μετρούν και να ελέγχουν την απόδοση του δικτύου και των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η ανάγκη για παρακολούθηση του δικτύου προϋποθέτει όχι μόνο την ύπαρξη εργαλείων παρακολούθησης, αλλά και την ύπαρξη κατανόησης για το τι θα πρέπει να παρακολουθείται.

### 5.2.4 Διαφορετικές υλοποιήσεις και λειτουργικά συστήματα

Κάθε προσπάθεια και προτεινόμενη λύση για QoS στο Internet οφείλει να επιτρέπει την ύπαρξη πολλαπλών υλοποιήσεων των βασικών λειτουργικών οντοτήτων (προωθητές πακέτων, ταξινομητές πακέτων, έλεγχος αποδοχής), που θα μπορούν όμως να συνεργάζονται μεταξύ τους.

Διαλειτουργικότητα σε επίπεδο υλικού: Η ανάπτυξη τόσο λογισμικού όσο και υλικού για την καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας στο Internet κάνουν επιτακτική την ανάγκη για νέα πρωτόκολλα. Η ανάγκη των παραπάνω οδηγούν στην τυποποίηση (standard) και ένας από τους φορείς που δραστηριοποιείται έντονα πάνω σε αυτό το θέμα είναι το IETF. Σήμερα βλέπουμε ότι οι κατασκευαστές όχι μόνο προσπαθούν να ακολουθήσουν πιστά τα Standard του IETF αλλά και να συμβάλουν σε αυτά.

Διαλειτουργικότητα Διαφορετικών - Ανομοιογενών δικτύων (network clouds): Μεταξύ διαφορετικών δικτύων μπορούμε να ανοίξουμε ένα κανάλι ροών μέσω σηματοδότησης και να ορίσουμε μέσω ειδικών πρωτοκόλλων την ποιότητα υπηρεσίας. Με αυτά τα πρωτόκολλα γίνονται οι διαπραγματεύσεις μεταξύ αυτόνομων δικτύων σύμφωνα με τις απαιτήσεις που έχουμε όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσίας. Οι εσωτερικά υλοποιημένες ποιότητες υπηρεσίας είναι εξαρτώμενες από τις υφιστάμενες τεχνολογίες, εσωτερικές πολιτικές και αποφάσεις για τον τρόπο διαχείρισης του δικτύου.

Αυτά όλα κάνουν επιτακτική την ανάγκη για την δημιουργία προτύπων ώστε να βοηθηθεί η επικοινωνία και η διαπραγμάτευση μεταξύ ξένων δικτύων. Υποστήριξη από λειτουργικά συστήματα: Τα τερματικά συστήματα (hosts) πρέπει να είναι σε θέση να εγκαταστήσουν αιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας για τις ροές τους. Τα τερματικά συστήματα πρέπει να είναι σε θέση να ορίσουν κατάλληλα στο δίκτυο τους εαυτούς τους ή τους χρήστες με αντικειμενικό σκοπό την εξακρίβωση της γνησιότητας του χρήστη (authentication), την εξουσιοδότηση (authorization) και τον λογιστικό έλεγχο (accounting). Επιπλέον, για την παροχή αληθινής ποιότητας υπηρεσίας από άκρη σε άκρη στο δίκτυο, τα λειτουργικά συστήματα θα χρειαστούν να υποστηρίξουν ροές που απαιτούν QoS. Αυτού του είδους η πραγματικού χρόνου λειτουργικότητα (real-time functionality) δεν υπάρχει στα περισσότερα σημερινά τερματικά συστήματα, όπου πακέτα μπορούν να υποστούν συμφόρηση λόγω της στοίβας δικτύου στο λειτουργικό σύστημα, μνήμης του συστήματος ή χρόνου επεξεργασίας.

### 5.3 Ενοποιημένες υπηρεσίες (Integrated Services)

Όπως είναι γνωστό, τα δίκτυα που βασίζονται στο πρωτόκολλο IP είναι δίκτυα μεταγωγής πακέτου και ως εκ τούτου δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν εφαρμογές που απαιτούν συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δρομολογητές του Διαδικτύου δεν γνωρίζουν αν τα πακέτα που δρομολογούν ανήκουν σε κάποια χρονικά ευαίσθητη υπηρεσία όπως είναι η φωνή ή αν προέρχονται από πηγές οι οποίες δεν θέτουν στο δίκτυο κανένα περιορισμό ως προς το χρόνο παράδοσης, όπως είναι η μεταφορά αρχείων και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Για αυτό το λόγο η πολιτική διαχείριση των ενταμιευτών (buffer management) στους σημερινούς δρομολογητές του Διαδικτύου είναι χωρίς προτεραιότητες και εξυπηρετείται πρώτος αυτός που έφτασε πρώτος στη συγκεκριμένη θύρα (First-in-First-out, FIFO). Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της έλλειψης ποιότητας υπηρεσίας, η IETF δημιούργησε το μοντέλο Ενοποιημένων Υπηρεσιών Διαδικτύου (Internet Integrated Services, IntServ). Μέσα στο μοντέλο αυτό ορίζονται πολλαπλές κατηγορίες τηλεπικοινωνιακής κίνησης (traffic classes), οι οποίες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από το δίκτυο, όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσίας. Έτσι πέραν της υπάρχουσας κλάσης βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort Service) ορίζονται δυο νέες κατηγορίες κίνησης: η κλάση ελεγχόμενου φορτίου (Controlled Load Service) και η κλάση εγγυημένης υπηρεσίας (Guaranteed Service).

#### 5.3.1 Η κλάση ελεγχόμενου φορτίου

Η κλάση ελεγχόμενου φορτίου παρέχει σχεδόν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας τόσο κάτω από συνθήκες υπερφόρτωσης δικτύου όσο και κάτω από συνθήκες ελαφριάς κίνησης στο δίκτυο. Η βασική διαφορά σε σχέση με την υπάρχουσα κλάση βέλτιστης προσπάθειας του Διαδικτύου είναι ότι

η αύξηση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης μέσα στο δίκτυο δεν επιδεινώνει την ποιότητα υπηρεσίας των ροών που υπόκεινται στη κλάση ελεγχόμενου φορτίου. Αντίθετα, μια ροή που υπόκειται στην κλάση βέλτιστης προσπάθειας θα υπόκειντο σε συνεχή και σταδιακή χειροτέρευση της προσφερόμενης ποιότητας υπηρεσίας με την αύξηση του φόρτου του δικτύου.

Η κατηγορία ελεγχόμενου φορτίου είναι κατάλληλη για υπηρεσίες πολυμέσων, οι οποίες μπορούν να ανεχθούν μικρές απώλειες πακέτων και καθυστερήσεις, αρκεί αυτό να γίνεται μέσα σε ένα λογικό πλαίσιο. Για παράδειγμα, η υπηρεσία κινούμενης εικόνας κατά απαίτηση (Video On Demand) θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τη συγκεκριμένη κλάση, αρκεί το τερματικό του δέκτη να έχει το κατάλληλο μέγεθος ενταμιευτή, ώστε να μπορεί να κρατήσει ψηφιακά δεδομένα, το χρονικό μήκος των οποίων πρέπει να είναι μεγαλύτερο από τη μέγιστη καθυστέρηση που μπορεί να εισάγει το δίκτυο. Μια τέτοιους είδους υπηρεσία πολυμέσων πραγματικού χρόνου ονομάζεται προσαρμοζόμενη υπηρεσία πραγματικού χρόνου (adaptive real-time application). Αντίθετα, για την υπηρεσία μετάδοσης φωνής μεταξύ δύο συνομιλητών, όπου η μέγιστη διαφορά φάσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 125ms, η κατηγορία ελεγχόμενου φορτίου είναι ακατάλληλη.

Μια περιγραφή των χαρακτηριστικών της κίνησης που παράγει μια εφαρμογή πολυμέσων, που θέλει να χρησιμοποιήσει την υπηρεσία ελεγχόμενου φορτίου, πρέπει πάντοτε να στέλνεται στο δίκτυο. Αν μια αίτηση για μια νέα ροή ελεγχόμενου φορτίου γίνει αποδεκτή από το δίκτυο, τότε οι δρομολογητές του δικτύου δεσμεύοντας τους κατάλληλους πόρους, διασφαλίζουν ότι τα πακέτα της συγκεκριμένης ροής θα απολαμβάνουν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας ανεξάρτητα από το φόρτο του δικτύου. Σε συνθήκες χαμηλού φόρτου τα πακέτα της ροής αυτής απολαμβάνουν ουσιαστικά την ίδια ποιότητα υπηρεσίας με ροές που ανήκουν στη κλάση βέλτιστης προσπάθειας.

### 5.3.2 Η κλάση εγγυημένης υπηρεσίας

Τα πακέτα μιας ροής που υπόκεινται στη κλάση εγγυημένης υπηρεσίας φθάνουν στον προορισμό τους μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, ενώ παράλληλα δεν πρόκειται να απορριφθούν λόγω υπερχειλίσης των ενταμιευτών στους δρομολογητές του δικτύου. Τα παραπάνω βέβαια ισχύουν εφόσον η πηγή της συγκεκριμένης ροής στέλνει πακέτα στο δίκτυο σύμφωνα με τις παραμέτρους κίνησης που έχουν συμφωνηθεί με το δίκτυο. Ωστόσο, η κλάση εγγυημένης υπηρεσίας δεν ελέγχει την ελάχιστη ή την μέση καθυστέρηση μιας ροής, ούτε ελαχιστοποιεί τη διακύμανση της μέσης χρονικής απόστασης μεταξύ διαδοχικών πακέτων της συγκεκριμένης ροής (jitter). Η κλάση εγγυημένης υπηρεσίας προορίζεται για υπηρεσίες πολυμέσων με αυστηρότατες απαιτήσεις όσο αφορά το χρόνο παράδοσης των ψηφιακών δεδομένων. Τέτοιες εφαρμογές είναι ορισμένες εφαρμογές μεταφοράς ήχου ή κινούμενης εικόνας όπου το μέγεθος των ενταμιευτών στους

αποκωδικοποιητές είναι σταθερό και μικρό και έτσι κάθε καθυστερημένο πακέτο απορρίπτεται.

### 5.3.2.1 Διαχείριση κίνησης στο μοντέλο ενοποιημένων υπηρεσιών Διαδικτύου

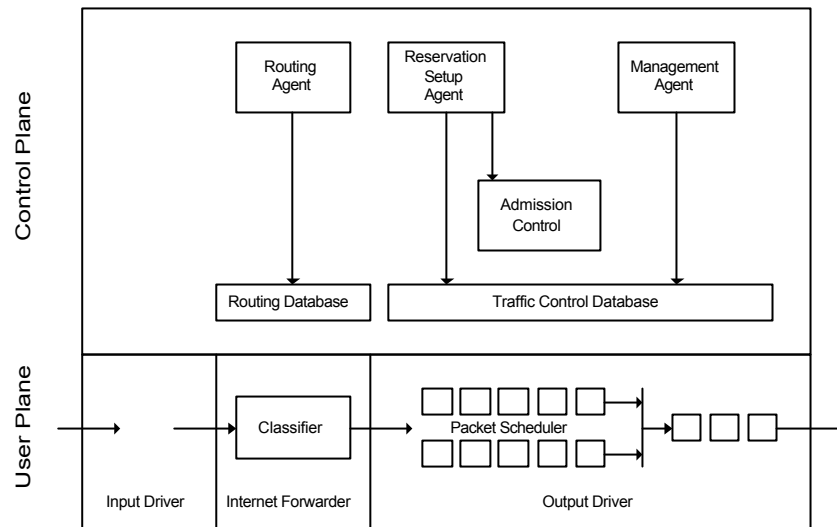
Στο Σχήμα 5.1 βλέπουμε το μοντέλο αναφοράς δρομολογητή ενοποιημένων υπηρεσιών. Παρατηρούμε ότι πέραν των κλασικών λειτουργιών δρομολόγησης, ορίζονται και οι λειτουργίες επεξεργασίας μηνυμάτων έναρξης δέσμευσης πόρων (Reservation Setup Agent), αποδοχής κλήσης (Admission Control), ταξινόμησης πακέτων (Classifier) και χρονοδρομολόγησης πακέτων (Packet Scheduler).

Η μονάδα επεξεργασίας σηματοδosis λαμβάνει αιτήσεις από το χρήστη για εγκατάσταση νέων ροών ή κατάργηση παλαιών και τις προωθεί στις άλλες εσωτερικές μονάδες του δρομολογητή. Κατά συνέπεια η μονάδα επεξεργασίας σηματοδosis υλοποιεί το πρωτόκολλο σηματοδosis που στη περίπτωση των ενοποιημένων υπηρεσιών Διαδικτύου είναι το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων (Resource Reservation Protocol, RSVP) (βλέπε §5.4).

Η μονάδα αποδοχής κλήσης αποφασίζει αν μια νέα αίτηση εγκατάστασης ροής μπορεί να γίνει αποδεκτή ή όχι. Συνήθως αυτός ο έλεγχος γίνεται σε δυο φάσεις. Στη πρώτη φάση ελέγχεται αν ο χρήστης που ζητάει να γίνει η συγκεκριμένη δέσμευση έχει και την ανάλογη άδεια (Policy Control). Στη δεύτερη φάση συγκρίνονται οι παράμετροι της κίνησης της νέας ροής με τους διαθέσιμους πόρους του δρομολογητή. Μόνο αν ο χρήστης έχει το δικαίωμα να κάνει τη συγκεκριμένη δέσμευση και υπάρχουν και οι ανάλογοι πόροι στο σύστημα η αίτηση γίνεται αποδεκτή. Σε αυτή την περίπτωση ενημερώνεται και η τοπική βάση δεδομένων που φυλάει τις ενεργές ροές με τις παραμέτρους κίνησης τους.

Η μονάδα αναγνώρισης ροής αναλαμβάνει να βρίσκει την ροή στην οποία ανήκει κάθε εισερχόμενο πακέτο και να το τοποθετεί στην αντίστοιχη ουρά του χρονοδρομολογητή πακέτων. Η εύρεση της ροής στην οποία ανήκει ένα συγκεκριμένο πακέτο γίνεται βάσει της διεύθυνσης προορισμού, της διεύθυνσης πηγής, της θύρας πηγής (source port number), της θύρας προορισμού (destination port number) καθώς και του ενδείκτη πρωτοκόλλου μεταφοράς (Protocol ID). Αν ένα πακέτο δεν ανήκει σε καμία ενεργή ροή τότε αυτό χειρίζεται ως πακέτο κλάσης βέλτιστης προσπάθειας. (Φυσικά τα πακέτα της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας αντιμετωπίζουν τη χειρότερη συμπεριφορά σε σχέση με τα πακέτα των υπόλοιπων κλάσεων).

Η μονάδα χρονοδρομολόγησης πακέτων διατηρεί μια ξεχωριστή ουρά πακέτων για κάθε ενεργή ροή. Η λειτουργία της χωρίζεται σε δύο φάσεις. Αρχικά κάθε μια ροή ελέγχεται κατά πόσο είναι σύμφωνη με το αρχικό προφίλ κίνησης που είχε ζητήσει από το δίκτυο. Πακέτα που δεν είναι σύμφωνα με το αρχικό προφίλ κίνησης απορρίπτονται. Στη συνέχεια η μονάδα χρονοδρομολόγησης αδειάζει μια μια τις ουρές πακέτων εξυπηρετώντας πρώτα εκείνη με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα.



Σχήμα 5.1

Μοντέλο αναφοράς δρομολογητή ενοποιημένων υπηρεσιών Διαδικτύου

#### 5.4 Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων (Resource Reservation Protocol, RSVP)

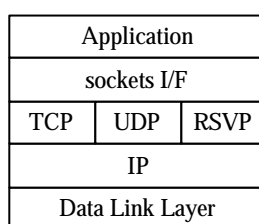
Το μοντέλο ενοποιημένων υπηρεσιών του Διαδικτύου διαχωρίζει το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για μεταφορά αιτήσεων δέσμευσης πόρων δικτύου από το μηχανισμό ελέγχου και περιγραφή της κίνησης του χρήστη (QoS control). Στη παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε κυρίως στη περιγραφή του πρωτοκόλλου μεταφοράς αιτήσεων δέσμευσης πόρων δικτύου.

Το RSVP διαφέρει σε αρκετά σημεία από άλλα πρωτόκολλα σηματοδότησης που έχουν αναπτυχθεί για δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος. Χαρακτηριστικότερη διαφορά είναι η υποστήριξη ετερογενών δεσμεύσεων μέσα σε μια σύνοδο πολλαπλών μερών προς πολλαπλά μέρη, που σημαίνει ότι διαφορετικοί δέκτες της ίδιας συνόδου μπορούν να ζητήσουν διαφορετική ποιότητα υπηρεσίας. Αυτή η δυνατότητα δίνεται είτε γιατί οι δέκτες δεν έχουν όλοι την ίδια δικτυακή υποδομή (π.χ. ένας δέκτης μπορεί να λαμβάνει μέρος σε μια υπηρεσία τηλεδιάσκεψης μέσω ενός απλού modem στα 56kbps ενώ ένας άλλος να είναι συνδεδεμένος σε ένα LAN των 10Mbps), είτε γιατί δεν επιθυμούν όλοι οι δέκτες να επιβαρυνθούν οικονομικά το ίδιο. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου RSVP είναι η υποστήριξη για δυναμική μεταβολή της ποιότητας υπηρεσίας μια δεδομένης ροής πακέτων. Ανά πάσα στιγμή ο κάθε δέκτης μπορεί να μεταβάλλει τις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας μιας ροής χωρίς να είναι απαραίτητο να γίνει πρώτα προσωρινή κατάργησή της και εκ νέου επανεγκατάστασή της. Ένα άλλο μοναδικό χαρακτηριστικό που συναντάμε στο RSVP είναι ότι η δέσμευση των πόρων του δικτύου γίνεται



από τον δέκτη της πληροφορίας και όχι από τον πομπό. Μάλιστα, ο δέκτης της πληροφορίας μπορεί να ζητήσει από το δίκτυο να δεσμευτούν λιγότεροι πόροι από ό,τι ορίζεται στο προφίλ κίνησης του πομπού. Αυτό είναι απαραίτητο για την υποστήριξη ετερογενών δεσμεύσεων μέσα στην ίδια σύνοδο. Ακόμη, το γεγονός ότι η δέσμευση πόρων γίνεται από το δέκτη της πληροφορίας διευκολύνει την ύπαρξη συνόδων με πολύ μεγάλο αριθμό μελών.

Το πρωτόκολλο RSVP τοποθετείται ακριβώς πάνω από το πρωτόκολλο IP στη στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP καταλαμβάνοντας τη θέση πρωτοκόλλου μεταφοράς (Σχήμα 5.2). Ωστόσο, το RSVP παρέχει υπηρεσίες επιπέδου συνόδου εφόσον δε μεταφέρει δεδομένα εφαρμογής.



Σχήμα 5.2

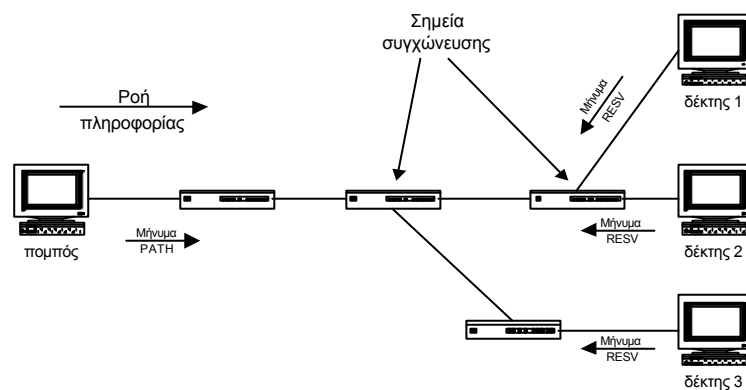
Στοίβα πρωτοκόλλων τερματικού Διαδικτύου

Η δέσμευση πόρων δικτύου γίνεται από το δέκτη της πληροφορίας και όχι από τον πομπό. Ωστόσο, για να μπορέσει ο δέκτης να δεσμεύσει πόρους του δικτύου θα πρέπει να ξέρει τα χαρακτηριστικά της κίνησης (μέσο και μέγιστο εύρος ζώνης, μέγιστη χρονική καθυστέρηση κλπ.) που πρόκειται να αρχίσει να λαμβάνει. Γι' αυτό το λόγο, προτού ο δέκτης κάνει οποιαδήποτε ενέργεια για δέσμευση πόρων, ο πομπός στέλνει ένα ειδικό μήνυμα, ονομαζόμενο PATH message, με σκοπό να ενημερώσει το δέκτη αλλά και τους ενδιαμέσους δρομολογητές, για τα χαρακτηριστικά της κίνησης που πρόκειται να αρχίσει να εκπέμπει. Το μήνυμα PATH μέχρι να φτάσει στο δέκτη (ή στους δέκτες αν η διεύθυνση προορισμού είναι διεύθυνση πολλαπλών δεκτών, multicast IP address) περνάει μέσα από έναν ή περισσότερους δρομολογητές. Κάθε ενδιαμέσος δρομολογητής που λαμβάνει ένα μήνυμα PATH ελέγχει αρχικά αν είναι έγκυρο ή όχι το περιεχόμενο του. Αν κατά τη διάρκεια επεξεργασίας του διαπιστωθεί κάποιο λάθος, τότε ο ενδιαμέσος δρομολογητής στέλνει ένα ειδικό μήνυμα λάθους στον πομπό έτσι ώστε να παρθούν οι κατάλληλες ενέργειες. Αν το περιεχόμενο μηνύματος PATH είναι έγκυρο, τότε αυτό φυλάσσεται σε μια τοπική βάση δεδομένων, τίθεται ο χρονιστής επανεκκίνησης για τη συγκεκριμένη ροή και τέλος αποστέλλεται στον επόμενο δρομολογητή.

Ο λόγος που οι ενδιαμέσοι δρομολογητές αποθηκεύουν τα περιεχόμενα των μηνυμάτων PATH είναι ο εξής: για κάθε μήνυμα PATH ένας δρομολογητής δέχεται μία ή περισσότερες αιτήσεις για δέσμευση εσωτερικών πόρων (RESV message). Αν κάποια στιγμή ο πομπός αποφασίσει να σταματήσει να στέλνει δεδομένα, τότε όλοι οι ενδιαμέσοι

δρομολογητές θα πρέπει να καταργήσουν αυτομάτως και όλες τις δεσμεύσεις πόρων που έχουν γίνει για τη συγκεκριμένη ροή πακέτων. Επιπλέον, ο χρονιστής τίθεται για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του δικτύου: αν για χρονικό διάστημα ίσο με την περίοδο του χρονιστή, ο ενδιαμέσος δρομολογητής δε λάβει μήνυμα ανανέωσης από τον πομπό της πληροφορίας, τότε το δίκτυο θεωρεί ότι ο πομπός της πληροφορίας σταμάτησε να εκπέμπει κίνηση στο δίκτυο και άρα όλες οι συσχετιζόμενες δεσμεύσεις πρέπει να καταργηθούν. Μηνύματα ανανέωσης είναι υποχρεωμένοι να τα στέλνουν τόσο οι πομποί όσο και οι δέκτες σε τακτά χρονικά διαστήματα μικρότερα των αντίστοιχων χρονιστών που τίθενται στους ενδιαμέσους δρομολογητές.

Όταν το μήνυμα PATH περάσει μέσα από όλους τους ενδιαμέσους δρομολογητές και φτάσει τελικά στο δέκτη (ή δέκτες) της πληροφορίας, τότε αυτός στέλνει στο δίκτυο το κατάλληλο μήνυμα RSVP, που ονομάζεται RESV message, για τη δέσμευση των αντιστοιχών πόρων. Το μήνυμα RESV περιέχει το ποσό των πόρων που θέλει ο συγκεκριμένος δέκτης να δεσμεύσει από το δίκτυο για την ροή πακέτων που περιγράφεται από το PATH μήνυμα που έλαβε. Είναι αρκετά πιθανό το ποσό του εύρους ζώνης που ζητάει ένας δέκτης να δεσμεύσει από το δίκτυο να είναι μικρότερο από την αντίστοιχη τιμή που υπάρχει στο μήνυμα PATH. Στο Σχήμα 5.3 βλέπουμε την πορεία των βασικών μηνυμάτων του πρωτοκόλλου του Διαδικτύου.



Σχήμα 5.3  
Ροή μηνυμάτων πρωτοκόλλου σηματοδosis Διαδικτύου

Η επεξεργασία του μηνύματος RESV στους ενδιαμέσους δρομολογητές περιλαμβάνει δύο ελέγχους. Ο πρώτος έλεγχος αποσκοπεί στην εξακρίβωση της ταυτότητας του δέκτη αλλά και στο αν του παρέχεται το δικαίωμα για να κάνει τη συγκεκριμένη δέσμευση πόρων από το δίκτυο (Policy Control). Ο δεύτερος έλεγχος αποσκοπεί στο να εξακριβωθεί αν υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι εσωτερικοί πόροι για την εξυπηρέτηση της συγκεκριμένης δέσμευσης (Flow Admission Control). Αν έστω και ένας από τους δύο ελέγχους αποτύχει, στέλνεται το κατάλληλο μήνυμα λάθους

(RESV\_ERR) στο δέκτη που ζήτησε να γίνει η συγκεκριμένη δέσμευση. Στη αντίθετη περίπτωση ενημερώνεται η μονάδα χρονοδρομολόγησης πακέτων του δρομολογητή για τη νέα ροή και το RESV μήνυμα αποστέλλεται στον επόμενο δρομολογητή.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το ίδιο μήνυμα PATH μπορεί να κατευθύνεται σε περισσότερους από ένα δέκτες. Σε αυτή τη περίπτωση, κάθε ένας δέκτης θα απαντήσει στέλνοντας ένα μήνυμα RESV, οι παράμετροι του οποίου, όσον αφορά το εύρος ζώνης που επιθυμεί να δεσμεύσει από το δίκτυο, μπορεί να διαφέρουν από τις παραμέτρους των μηνυμάτων RESV των υπολοίπων δεκτών. Κατά συνέπεια, θα υπάρξουν κάποιοι δρομολογητές οι οποίοι θα δεχθούν περισσότερα από ένα μήνυμα RESV για το ίδιο μήνυμα PATH (σημείο συγχώνευσης). Σε αυτή τη περίπτωση ο δρομολογητής θα στείλει στον επόμενο δρομολογητή ένα μόνο μήνυμα RESV του οποίου η τιμή για το εύρος ζώνης που πρέπει να δεσμευθεί θα είναι η μεγαλύτερη από τα μηνύματα RESV που έλαβε ο συγκεκριμένος δρομολογητής και έγιναν αποδεκτά.

#### 5.4.1 Πλεονεκτήματα του μοντέλου IntServ - RSVP

Η αρχιτεκτονική που προέρχεται από το IntServ έχει ένα αριθμό από οφέλη. Πρώτα από όλα, το μοντέλο σχεδιάστηκε να παρέχει απόλυτη εγγύηση υπηρεσίας. Η συμπεριφορά του μοντέλου προδιαγράφηκε με αρκετή λεπτομέρεια ώστε να επιτρέπει στους RSVP clients να προδιαγράψουν κάθε κατηγορία υπηρεσίας λεπτομερώς. Επειδή το RSVP τρέχει σε κάθε δρομολογητή από την πηγή έως τον προορισμό, κάθε ροή μπορεί να παρακολουθηθεί ώστε να αποτραπεί από το να καταναλώσει περισσότερους πόρους από αυτούς που αρχικά είχε ζητήσει, δεσμεύσει και προφανώς πληρώσει.

Ένα άλλο όφελος του RSVP είναι ότι χρησιμοποιεί τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης ώστε να ορίσει το μονοπάτι της ροής μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Περιοδικά επαναμεταδίδονται τα μηνύματα PATH και RESV, το πρωτόκολλο μπορεί και αντιδρά στην αλλαγή της τοπολογίας του δικτύου. Ακριβώς αυτά τα ανανεωμένα PATH και RESV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξουν το μονοπάτι της δεσμευμένης ροής. Η απώλεια αυτών των μηνυμάτων μπορεί να βοηθήσει επίσης στην ανακάλυψη ότι η ο αποστολέας ή ο παραλήπτης δεν είναι πλέον ενεργός. Όταν ο δρομολογητής ανακαλύψει αυτή την απώλεια, αποδεσμεύει τους πόρους που σχετίζονται με την δέσμευση.

Ένας από τους πρωταρχικούς σκοπούς του IntServ ήταν να κατασκευάσει QoS που να δουλεύει για ροές από μια πηγή σε ένα προορισμό (unicast) και από μια πηγή σε πολλαπλούς προορισμούς (multicast). Το πρωτόκολλο RSVP σχεδιάστηκε να επιτρέπει μηνύματα PATH να αναγνωρίζουν όλα τα τερματικά σημεία μιας ροής πολλαπλών προορισμών και να στέλνουν το μήνυμα PATH σε κάθε αποδέκτη. Επίσης επιτρέπει τα μηνύματα RESV από κάθε αποδέκτη να μπορούν να συνδυάζονται σε μόνο μια αίτηση στα σημεία του δικτύου όπου ροή

πολλαπλών προορισμών θα έστελνε την ίδια ροή σε δύο διαφορετικά κανάλια.

#### 5.4.2 Μειονεκτήματα του μοντέλου IntServ - RSVP

Ως η κυριότερη αδυναμία του IntServ μοντέλου μπορεί να θεωρηθεί το γεγονός ότι οι στόχοι που θέτει είναι πολύ φιλόδοξοι. Το να απαιτείς από όλους τους δρομολογητές να παίρνουν μέρος στην δέσμευση πόρων είναι μια διαδικασία η οποία απαιτεί από τον κάθε δρομολογητή να αποθηκεύει και να συντηρεί μεγάλο όγκο πληροφορίας και να έχει μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Αυτό το μοντέλο δεν είναι πρακτικά χρησιμοποιήσιμο για ροές που διαρκούν λίγο γιατί το τίμημα για την δέσμευση των πόρων είναι μεγαλύτερο ακόμα και από την επεξεργασία όλων των πακέτων της ροής. Πρέπει να τονιστεί ότι η πλειονότητα της κίνησης στο Internet αποτελείται από ροές μικρής διάρκειας. Έτσι, σε περιπτώσεις όπου απαιτείται έστω και ελάχιστη QoS από ροές μικρής διάρκειας, το μοντέλο IntServ θα απαιτούσε πολύ κόπο (από πλευράς δικτύου) σε σχέση με το αποτέλεσμα.

Το μοντέλο IntServ απαιτεί ένα μεγάλο όγκο πληροφορίας για την κατάσταση της ροής. Η κατάσταση περιλαμβάνει πληροφορία για τον προσδιορισμό της ταυτότητας της ροής, και των πόρων που καταναλώνει. Επίσης πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα αστυνόμευσης της κίνησης και προγραμματισμού της σύμφωνα με τις υποχρεώσεις που προκύπτουν από την προκαθορισμένη δέσμευση πόρων. Ο πυρήνας του δικτύου θα μπορούσε να περιέχει εκατομμύρια τέτοιες συνδέσεις. Χειροτερεύοντας ακόμα το σενάριο, αν η τοπολογία του δικτύου άλλαζε όλες αυτές οι συνδέσεις θα έπρεπε να διαπραγματευθούν ξανά ταυτοχρόνως. Όλα αυτά καθιστούν σχεδόν αδύνατη την εφαρμογή του RSVP σε μεγάλη κλίμακα.

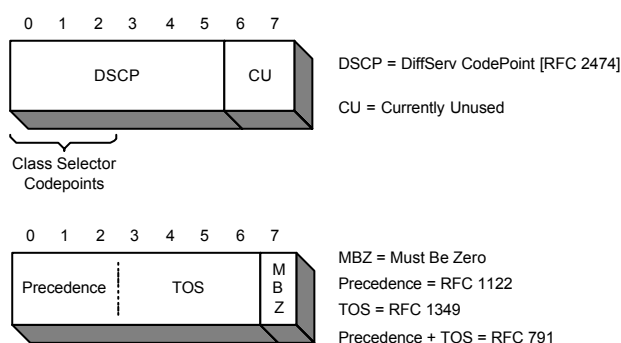
#### 5.5 Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες, Μεσίτης Εύρους Ζώνης (Differentiated Services, Bandwidth Broker)

Το μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services, DiffServ) είναι μία τεχνολογία που ορίστηκε από την IETF προτείνοντας μία επεκτάσιμη λύση (δεν χρειάζεται η ανά ροή διατήρηση πληροφοριών σε κάθε κόμβο του δικτύου) για την εισαγωγή ποιότητας υπηρεσίας στο IP. Οι Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες ελαχιστοποιούν τη σηματοδότηση και επικεντρώνονται σε συσσωρευμένες ροές (aggregate) και συμπεριφορές προώθησης ανά κόμβο (Per-Hop Behaviour, PHB) που εφαρμόζονται σε σύνολο κλάσεων κίνησης μέσα στο δίκτυο. Οι ροές ταξινομούνται ανάλογα με προκαθορισμένους κανόνες, έτσι ώστε πολλές ροές εφαρμογών να συγκεντρώνονται σε ένα περιορισμένο σύνολο κλάσεων ροών. Το μυστικό είναι ο συνδυασμός μικρού αριθμού απλών χειρισμών συλλογικών πακέτων με ένα μεγαλύτερο αριθμό πολιτικών ανά ροή για την παροχή μιας ευρείας και εύκαμπτης περιοχής υπηρεσιών.

Το πλήθος των ροών, που απαιτούν συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας, συγκεντρώνονται σε διαφορετικές κλάσεις ανάλογα με το επίπεδο ποιότητας που ζητούν. Το πλήθος των διαφορετικών κλάσεων κρατείται μικρό και η κάθε κλάση έχει διαφορετική μεταχείριση από το δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο το δίκτυο DiffServ δεν είναι αναγκασμένο να αναγνωρίζει κάθε σύνδεση ξεχωριστά και να κρατά μεγάλο όγκο πληροφορίας για αυτές. Αυτό αποτελεί και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του DiffServ έναντι του IntServ και του RSVP, αφού μπορεί εύκολα να κλιμακωθεί.

Η αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών επιτυγχάνει να λύσει το πρόβλημα της επεκτασιμότητας με τον προσδιορισμό ενός μικρού αριθμού απλών, διαφοροποιημένων χειρισμών προώθησης πακέτων (differentiated packet forwarding treatments), γνωστών με το όνομα Συμπεριφορά Προώθησης Ανά-Κόμβο (Per-Hop Behavior, PHB). Μεμονωμένα δικτυακά στοιχεία υλοποιούν τις PHBs με μία πληθώρα μηχανισμών και κανόνων αναμονής και εξυπηρέτησης (queuing disciplines). Η ουσία των Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών είναι ο συνδυασμός αυτών των PHBs με προσεκτικά ρυθμισμένους μηχανισμούς πολιτικών κίνησης στα άκρα του δικτύου για την παροχή διάφορων υπηρεσιών. Επιβάλλοντας λειτουργίες ελέγχου πολιτικών στα άκρα και παρέχοντας απλή μεταχείριση συσσωρευμένων δεδομένων στον πυρήνα του δικτύου, μπορούν να διασφαλιστούν νέες υπηρεσίες IP χωρίς υπερβολική αποθήκευση πληροφορίας κατάστασης ή ακριβών αποφάσεων προώθησης στους δρομολογητές του δικτύου πυρήνα.

Κάθε πακέτο που εισέρχεται στο δίκτυο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών μαρκάρεται με ένα κωδικό σημείο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ Code Point, DSCP) σε ένα καινούριο πεδίο της επικεφαλίδας IP, το πεδίο DS, για να δηλώσει ποια PHB πρέπει να λάβει το πακέτο, βλέπε Σχήμα 5.4. Όλα τα πακέτα με το ίδιο DSCP ανήκουν σε μία συσσωρευμένη συμπεριφορά (behaviour aggregate) και λαμβάνουν την ίδια μεταχείριση PHB, ανεξάρτητα από την μικρο-ροή στην οποία ανήκουν.



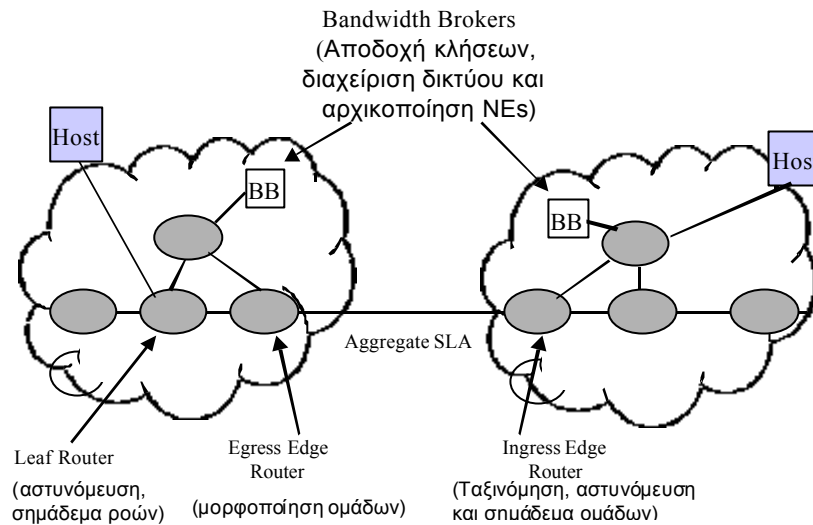
Σχήμα 5.4  
Πεδίο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών, DS field

Η ανά ροή αστυνόμευση και σημάδεμα γίνονται στον πρώτο δρομολογητή εμπιστοσύνης που συναντά η κίνηση από τον αποστολέα, τον δρομολογητή πρόσβασης.

Μετά από αυτόν τον δρομολογητή κάθε ροή DiffServ αναμιγνύεται με άλλες ροές με παρόμοια χαρακτηριστικά και απαιτήσεις. Σαν αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία κλάσεων ροών. Όλες οι διαδικασίες προώθησης και αστυνόμευσης στους εσωτερικούς δρομολογητές γίνεται πλέον στο επίπεδο των κλάσεων.

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι απλοποιεί και τις επιχειρησιακές σχέσεις μεταξύ διαφορετικών παροχών υπηρεσιών Internet (Internet Service Provider, ISP), ώστε να μπορούν να συνεργαστούν με αποδοτικό τρόπο και να δημιουργήσουν υπηρεσίες από άκρη σε άκρη που διασχίζουν διαφορετικά δίκτυα. Στο μοντέλο DiffServ κάθε δίκτυο συνάπτει συμφωνίες (συμβόλαια) με τα γειτονικά του δίκτυα για να προσφέρει διαφοροποιημένες υπηρεσίες για διαφορετικές ομάδες ροών. Όπως και στα συμβόλαια που αφορούν κάθε ροή ξεχωριστά έτσι και εδώ τα συμβόλαια χαρακτηρίζονται από ορισμένες ιδιότητες (profiles). Εφαρμόζοντας με αυστηρότητα τα συμβόλαια κίνησης των ομαδοποιημένων ροών και εξασφαλίζοντας ότι καινούριες συνδέσεις που θα επηρέαζαν αρνητικά την απόδοση του δικτύου δε γίνονται δεκτές, το μοντέλο DiffServ εξασφαλίζει μια καλά ορισμένη υπηρεσία από άκρη σε άκρη για μια αλυσίδα διασυνδεδεμένων δικτύων. Τα συμβόλαια αυτά αφορούν κίνηση μεταξύ των ορίων ξένων δικτύων και αποτελούνται από ένα σύνολο απλών συμφωνιών επιπέδου υπηρεσίας (Service Level Agreements, SLAs). Κάτι τέτοιο είναι πολύ κοντά και στην σημερινή πραγματικότητα και το γεγονός αυτό βοηθά στην ευκολότερη κατανόηση και αποδοχή του.

Όσον αφορά τις οντότητες, που πρέπει να υπάρχουν σε ένα δίκτυο για να μπορεί αυτό να υποστηρίξει DiffServ, αυτές περιλαμβάνουν: δρομολογητές με ικανότητα DiffServ, ταξινομητές πακέτων (classifiers), μηχανισμούς αστυνόμευσης (policers), σημαδευτές πακέτων (markers) και ένα καινούργιο είδος στοιχείου δικτύου τον Μεσίτη Εύρους Ζώνης (Bandwidth Broker, BB), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5  
Μεσίτης Εύρους Ζώνης (BB)

Πακέτα διαφορετικών υπηρεσιών έχουν διαφορετικές προτεραιότητες και φυσικά αντιμετωπίζονται και με διαφορετικό τρόπο. Κατά συνέπεια, οι δρομολογητές κάνουν διάκριση των πακέτων βάσει της υπηρεσίας (δηλ. της κλάσης) στην οποία ανήκουν και όχι βάσει της ροής. Επειδή δε, ο αριθμός των διακριτών υπηρεσιών που μπορεί να υπάρχουν σε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτου είναι γενικά μικρός και ανεξάρτητος του αριθμού των χρηστών που εξυπηρετεί το δίκτυο (σε αντίθεση με τις ενεργές ροές), η αρχιτεκτονική των διαφοροποιημένων υπηρεσιών είναι επεκτάσιμη. Η κλάση ενός πακέτου (δηλαδή σε ποια διαφοροποιημένη υπηρεσία ανήκει) καθορίζεται από την τιμή του πεδίου DiffServ Code Point (DSCP) που βρίσκεται στην επικεφαλίδα του. Κατά συνέπεια, όταν ένας χρήστης κάνει χρήση μιας χρονικά ευαίσθητης υπηρεσίας, όπως είναι η μεταφορά φωνής, δεν έχει παρά να σηματοδέψει τα πακέτα του με τέτοιο τρόπο ώστε αυτά να τύχουν και της ανάλογης αντιμετώπισης από το δίκτυο. Εναλλακτικά, η ταξινόμηση των πακέτων ενός χρήστη μπορεί να γίνεται στον πρώτο δρομολογητή με τον οποίο συνδέεται άμεσα ο συγκεκριμένος χρήστης. Σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται να προδιαγραφούν τα κριτήρια για την ταξινόμηση των πακέτων π.χ. όλα τα πακέτα με ένα συγκεκριμένο Port Number που χρησιμοποιείται από μια εφαρμογή μεταφοράς φωνής, να ταξινομούνται στη κλάση μέγιστης προτεραιότητας. Αυτή η λύση είναι προτιμότερη γιατί δεν χρειάζεται να γίνει καμία αλλαγή στη στοίβα πρωτοκόλλου των τερματικών. Ωστόσο, η αρχιτεκτονική των διακριτών υπηρεσιών δεν περιορίζεται αποκλειστικά στον τελικό χρήστη για την ταξινόμηση των πακέτων που στέλνει στο δίκτυο. Είναι φανερό ότι σε μια τέτοια περίπτωση κάθε χρήστης θα σημάδευε όλα τα πακέτα του ως πακέτα μέγιστης προτεραιότητας και κατά συνέπεια το τελικό αποτέλεσμα

θα ήταν το ίδιο με την παρούσα κατάσταση. Για αυτό το λόγο η αρχιτεκτονική των διακριτών υπηρεσιών προσθέτει επιπλέον λειτουργίες στους δρομολογητές που βρίσκονται στα άκρα του δικτύου, όπου το φορτίο είναι σχετικά μικρό, οι οποίες αποσκοπούν στον έλεγχο της κίνησης που εισάγει ένας χρήστης στο δίκτυο. Αν ένας συνδρομητής εισάγει περισσότερη κίνηση για μια συγκεκριμένη κλάση από αυτή που του αναλογεί, τότε η επιπλέον κίνηση είτε απορρίπτεται είτε υποβιβάζεται σε μια άλλη κλάση χαμηλότερης προτεραιότητας. Συνοψίζοντας, οι βασικές αρχές της αρχιτεκτονικής των διακριτών ή διαφοροποιημένων υπηρεσιών είναι:

- Περιορισμός της πολυπλοκότητας στο πυρήνα του δικτύου έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο επεκτάσιμο.
- Τοποθέτηση εργασιών (έλεγχος κίνησης, χρέωση κλπ) που είναι απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία του δικτύου στα άκρα του όπου το τηλεπικοινωνιακό φορτίο είναι μικρό.

Στη συνέχεια θα δοθεί η περιγραφή λειτουργίας ενός δικτύου μεταγωγής πακέτου το οποίο υποστηρίζει την αρχιτεκτονική των διακριτών υπηρεσιών. Πέραν της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας, το δίκτυο υποστηρίζει δυο επιπλέον διακριτές υπηρεσίες: την Εξαιρετική (Premium) και την Εγγυημένη (Assured).

Η κλάση Premium υλοποιεί μια υπηρεσία που έχει συγκεκριμένο μέγιστο εύρος ζώνης (Peak Bandwidth), ασήμαντη αναμονή στις ουρές των δρομολογητών, δεν δανείζεται εύρος ζώνης από άλλες υπηρεσίες και μπορεί να υλοποιηθεί αρκετά εύκολα. Αυτή η κλάση είναι κατάλληλη για εμπορικές εφαρμογές που δεν έχουν μεγάλη εκρηκτικότητα αλλά είναι αρκετά ευαίσθητες στις χρονικές καθυστερήσεις (π.χ. φωνή, video). Από την άλλη μεριά, η Assured υπηρεσία έχει χρονικές καθυστερήσεις παρόμοιες με αυτές που έχει η υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας όταν το δίκτυο είναι χωρίς υψηλό φορτίο. Ροές πακέτων που χρησιμοποιούν την Εγγυημένη υπηρεσία μπορούν να δανείζονται εύρος ζώνης από άλλες κλάσεις χαμηλότερης προτεραιότητας (ή και από κλάσεις υψηλότερης προτεραιότητας όταν αυτές έχουν μικρή κίνηση) όταν αυτό είναι απαραίτητο. Για αυτό το λόγο η συγκεκριμένη υπηρεσία είναι κατάλληλη για εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου με υψηλή εκρηκτικότητα (π.χ. World Wide Web).

Η υιοθέτηση των δυο παραπάνω υπηρεσιών στο ίδιο δίκτυο έχει μερικά επιπλέον οφέλη. Καταρχήν, η Premium κλάση κάνει σπάταλη στη δέσμευση των πόρων του δικτύου (αφού η δέσμευση των πόρων του δικτύου γίνεται με μόνο μια παράμετρο που είναι το μέγιστο εύρος ζώνης). Ωστόσο, λόγω της ύπαρξης επιπλέον κλάσεων στο ίδιο δίκτυο, το εύρος ζώνης που δε χρησιμοποιείται από την Premium κλάση μπορεί να δανειστεί στη κλάση εγγυημένης υπηρεσίας. Όλοι οι δρομολογητές που υιοθετούν και τις δυο υπηρεσίες πρέπει να εφαρμόζουν βέβαια και την ανάλογη πολιτική διαχείρισης στις ουρές τους. Αν για παράδειγμα η συγκεκριμένη πολιτική είναι ο αλγόριθμος Τυχαίας Έγκαιρης Ανίχνευσης (Random Early Detection – RED) (βλέπε §7.3.1) τότε προκύπτει πώς ένα έμμεσο αποτέλεσμα της πολύπλεξης κίνησης διαφόρων υπηρεσιών είναι η

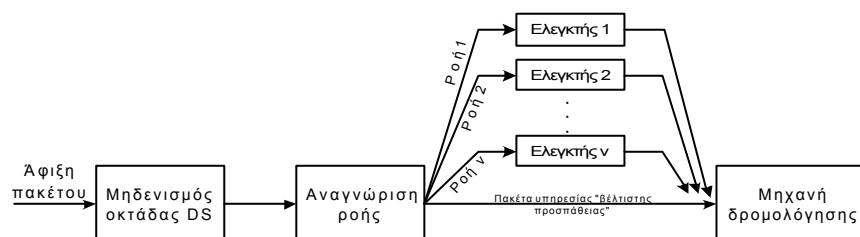


μείωση της εκρηκτικότητας της κίνησης βέλτιστης προσπάθειας. Στη συνέχεια θα δοθεί μια γενική περιγραφή των μηχανισμών που πρέπει να υιοθετηθούν τόσο στις εισόδους όσο και στις εξόδους ενός δρομολογητή για την υποστήριξη των διακριτών υπηρεσιών.

Οι μηχανισμοί προώθησης πακέτων μπορούν να χωρισθούν σε δυο κατηγορίες: σε εκείνους που προηγούνται της διαδικασίας δρομολόγησης πακέτων και σε εκείνους που λαμβάνουν χώρα μετά τη δρομολόγηση του πακέτου. Είναι σημαντικό να τονισθεί, και θα γίνει αντιληπτό παρακάτω, ότι οι ενδιαμέσοι δρομολογητές (στους οποίους συσσωρεύεται και μεγάλο φορτίο) χρειάζεται να υλοποιήσουν μόνο τους μηχανισμούς που λαμβάνουν χώρα μετά τη δρομολόγηση πακέτου. Αντίθετα οι δρομολογητές απόληξης πρέπει να υλοποιήσουν τόσο τους «πριν» όσο και τους «μετά» μηχανισμούς δρομολόγησης.

### 5.5.1 Λειτουργίες προ δρομολόγησης (Δρομολογητές απόληξης)

Ένας δρομολογητής απόληξης είναι ενημερωμένος για όλες τις ροές πακέτων που επιθυμούν ένα συγκεκριμένο επίπεδο υπηρεσίας (Premium, Assured). Το πως ενημερώνεται ο δρομολογητής απόληξης είναι κάτι που δεν απασχολεί τις Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες. Αυτό μπορεί να γίνεται μέσω κάποιου πρωτοκόλλου σηματοδότησης όπως είναι το RSVP ή μέσω διαχείρισης. Στο Σχήμα 5.6 βλέπουμε τι συμβαίνει σε ένα νέο εισερχόμενο πακέτο προτού αυτό υποστεί τη διαδικασία της δρομολόγησης. Αρχικά η οκτάδα στην επικεφαλίδα του πακέτου που υποδηλώνει την τάξη του πακέτου (Premium, Assured) μηδενίζεται. Κατά αυτό τον τρόπο το πακέτο σημειώνεται ως πακέτο της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας. Αν το πακέτο δεν ανήκει σε καμία προ-εγγεγραμμένη ροή πακέτων τότε αυτό στέλνεται κατευθείαν στη μηχανή δρομολόγησης. Σε αντίθετη περίπτωση, το πακέτο περνάει μέσα από τον ελεγκτή κίνησης της συγκεκριμένης ροής.



Σχήμα 5.6  
Λειτουργίες προ-δρομολόγησης

Ο ελεγκτής κίνησης επιτελεί δύο βασικές λειτουργίες:

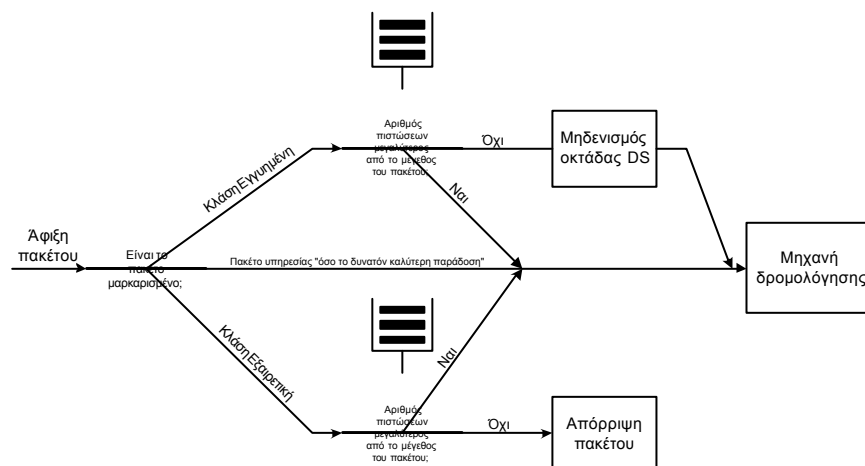
**Λειτουργία ελέγχου:** Με αυτή τη λειτουργία ελέγχεται κατά πόσο το συγκεκριμένο πακέτο είναι σύμφωνο με το προφίλ κίνησης της συγκεκριμένης ροής. Κατά συνέπεια, ο ελεγκτής κίνησης πρέπει να είναι ενήμερος τόσο για το προφίλ της συγκεκριμένης ροής πακέτων το οποίο

ορίζεται από τη δυάδα μέγιστου ρυθμού εκπομπής, μέγιστου ορίου εκπομπής στο μέγιστο ρυθμό, όσο και για το πρόσφατο παρελθόν της συγκεκριμένης ροής.

**Λειτουργία μαρκαρίσματος:** Με αυτή τη λειτουργία ο ελεγκτής κίνησης μαρκάρει τα πακέτα ως πακέτα Premium ή Assured κλάσης ανάλογα με την κλάση της ροής που ανήκει το συγκεκριμένο πακέτο. Αυτό βέβαια γίνεται μόνο για πακέτα που πέρασαν επιτυχώς τη λειτουργία ελέγχου. Σε αντίθετη περίπτωση το πακέτο είτε κόβεται είτε δε μαρκάρεται καθόλου οπότε στη συνέχεια μεταχειρίζεται ως πακέτο της βέλτιστης προσπάθειας κλάσης.

Η λειτουργία ελέγχου στηρίζεται συνήθως στον αλγόριθμο διαρρέοντος δοχείου. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, ένα πακέτο γίνεται αποδεκτό αν το δοχείο περιέχει αριθμό πιστώσεων μεγαλύτερο από το μέγεθος του πακέτου. Το δοχείο γεμίζει με πιστώσεις με ρυθμό ίσο με το ρυθμό εκπομπής της συγκεκριμένης ροής, ενώ αδειάζει σε κάθε άφιξη (αποδεκτού) πακέτου κατά τόσες πιστώσεις όσο είναι και το μήκος του πακέτου σε οκτάδες. Ωστόσο, το δοχείο έχει μια μέγιστη χωρητικότητα πέρα από την οποία δε μπορεί να δεχτεί άλλες πιστώσεις. Η μέγιστη χωρητικότητα του δοχείου εκφράζει το μέγιστο επιτρεπτό όριο εκπομπής στο μέγιστο ρυθμό (Μέγιστο Μήκος Έκρηξης, Maximum Burst Size).

Η εσωτερική λειτουργία του ελεγκτή κίνησης διαφοροποιείται ελαφρά ανάλογα με το αν ελέγχεται κίνηση Premium ή Assured κλάσης. Στην πρώτη περίπτωση, αν το πακέτο δεν είναι σύμφωνο με το συμβόλαιο της συγκεκριμένης ροής τότε αυτό υποβιβάζεται και από πακέτο Assured κλάσης γίνεται πακέτο της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας. Στη δεύτερη περίπτωση, τα πακέτα της Premium κλάσης που δεν είναι σύμφωνα με το συμβόλαιο κίνησης απορρίπτονται. Αυτό, όπως θα φανεί και παρακάτω, είναι απολύτως απαραίτητο γιατί σε διαφορετική περίπτωση τα πακέτα της Premium κλάσης θα μονοπωλούσαν τη ζεύξη εκτοπίζοντας τα πακέτα των άλλων κλάσεων.

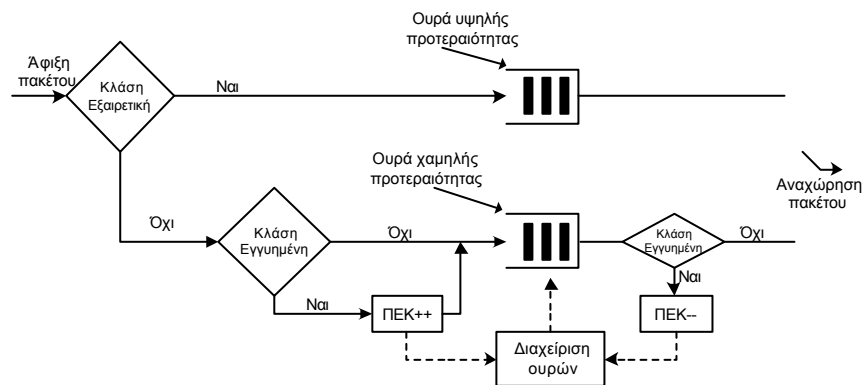


Σχήμα 5.7  
Εσωτερική λειτουργία ελεγκτή κίνησης

### 5.5.2 Λειτουργίες μετα-δρομολόγησης (Δρομολογητές απόληξης και πυρήνα)

Κάθε θύρα εξόδου ενός δρομολογητή πρέπει να έχει δύο ουρές απλής προτεραιότητας (First-In-First-Out, FIFO) και ένα κατάλληλο μηχανισμό διαχείρισης για αυτές. Κάθε νέο πακέτο ελέγχεται για το αν ανήκει στην Premium κλάση ή όχι. Αν το πακέτο ανήκει στην Premium κλάση τότε αυτό τοποθετείται στη ουρά υψηλής προτεραιότητας. Αντιστοίχως, αν το πακέτο ανήκει στις κλάσεις Εγγυημένη ή βέλτιστης προσπάθειας, τότε αυτό τοποθετείται στην ουρά χαμηλής προτεραιότητας. Αν το μέγεθος της ουράς χαμηλής προτεραιότητας περάσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι τότε πακέτα της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας αρχίζουν να απορρίπτονται. Αν το μέγεθος της ουράς χαμηλής προτεραιότητας εξακολουθεί να μεγαλώνει και ο αριθμός των πακέτων που ανήκουν στη Assured κλάση ξεπεράσει ένα δεύτερο κατώφλι τότε απορρίπτονται και πακέτα της Assured κλάσης.

Η ουρά υψηλής προτεραιότητας δεν πρόκειται να υπερχειλίσει ποτέ αφού ο αριθμός των πακέτων της Premium κλάσης ελέγχεται με αυστηρά κριτήρια στην είσοδο του δρομολογητή. Για τον ίδιο λόγο, τα πακέτα της Premium κλάσης δεν πρόκειται ποτέ να καταλάβουν όλο το εύρος του διαύλου αλλά μόνο ένα κλάσμα αυτού. Ωστόσο, το πλεονέκτημα του παραπάνω μηχανισμού είναι ότι αφενός μεν μπορεί να δοθεί ποιότητα υπηρεσίας (π.χ. κλάση Premium) και αφετέρου το εύρος του διαύλου που έχει δεσμευθεί για κλάσεις υψηλής προτεραιότητας και το οποίο δεν χρησιμοποιείται στιγμιαίως μπορεί να δοθεί στις κλάσεις χαμηλότερης προτεραιότητας. Έτσι, επιτυγχάνεται παράλληλα και υψηλή χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου.



Σχήμα 5.8  
Λειτουργίες μετά τη δρομολόγηση

Για να υλοποιηθούν οι μηχανισμοί αποδοχής κλήσεων και να αρχικοποιηθούν τα στοιχεία του δικτύου τόσο αυτά που είναι υπεύθυνα για τους απλούς χρήστες, όσο και αυτά που επικοινωνούν με ομότιμα γειτονικά δίκτυα θα πρέπει κάθε δίκτυο να εξοπλιστεί με έναν Μεσίτη Εύρους Ζώνης (Bandwidth Broker, BB).

Ο BB είναι υπεύθυνος για τη διασφάλιση των πόρων στο δίκτυο και για την προστασία των γραμμών γειτονικών ISPs. Όταν ο αποστολέας επικοινωνεί με τον τοπικό BB για την εγκατάσταση μίας σύνδεσης, εξακριβώνεται η γνησιότητα του χρήστη και η αίτηση του χρήστη προωθείται σε έναν μηχανισμό ελέγχου αποδοχής. Ο μηχανισμός αυτός παίρνει τις αποφάσεις του εφαρμόζοντας προκαθορισμένες πολιτικές (policy based). Στη συνέχεια, ο BB προωθεί την αίτηση του χρήστη στο γειτονικό BB μέχρι να φτάσει η αίτηση στον ISP προορισμού. Ο BB προορισμού επεξεργάζεται την αίτηση και την προωθεί στον παραλήπτη, ο οποίος αποκρίνεται ανάλογα. Αν η αίτηση γίνει δεκτή από τον BB κάθε δικτύου, ο BB θα πρέπει να ρυθμίσει τους δρομολογητές της περιοχής αρμοδιότητας της οποίας είναι υπεύθυνος, ώστε να υποστηρίξει το ζητούμενο περίγραμμα υπηρεσίας (service profile). Οι μηχανισμοί του BB έχουν περιγραφεί ήδη από το RFC2638 όμως δεν έχουν τυποποιηθεί, αντίθετα αποτελούν πεδίο συνεχιζόμενης έρευνας.

Οι Μεσίτες Εύρους Ζώνης αντιπροσωπεύουν όλα τα δίκτυα από τα οποία θα χρειαστεί να διοχετευτεί η συγκεκριμένη ροή. Η οντότητα του Μεσίτη Εύρους Ζώνης δίνει μια αφαιρετική εικόνα για τα δίκτυα που αντιπροσωπεύει και επιτρέπει στους διαχειριστές στους να διαλέξουν τον δικό τους τρόπο που θα τα διαχειριστούν.

### 5.5.3 Αξιολόγηση του μοντέλου διαφοροποιημένων υπηρεσιών

Για να μπορέσει κάποιος να κρίνει το DiffServ μοντέλο θα πρέπει να έχει στο μυαλό του τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4.2 και στη συνέχεια να διερευνήσει κατά πόσο αυτά ικανοποιούνται.

#### 5.5.3.1 Υποστήριξη απαιτητικών εφαρμογών

Το κυριότερο κριτήριο για να εκτιμηθεί αν η προσέγγιση DiffServ μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες και των πιο απαιτητικών εφαρμογών είναι η φύση των παραμέτρων του συμβολαίου κίνησης που μπορεί να υποστηρίξει. Θα υποθέσουμε τέσσερα είδη DiffServ υπηρεσιών τα οποία φαίνεται ότι καλύπτουν σε μεγάλο μέρος τις απαιτήσεις των εφαρμογών.

- Premium. Εξομοιώνει την χρήση μισθωμένης γραμμής με εξασφαλισμένο εύρος ζώνης, ελάχιστη καθυστέρηση, απώλειες και διακύμανση καθυστέρησης. Η υπηρεσία αυτή είναι ιδανική για εφαρμογές με σκληρές απαιτήσεις στις παραμέτρους κίνησης τους (multimedia, remote sensing).
- Assured. Η υπηρεσία αυτή εξομοιώνει ένα ελαφρά φορτωμένο δίκτυο και ικανοποιεί μεγάλο φάσμα εφαρμογών (ftp, -email, telnet).

- Class of Service (CoS). Είναι η υπηρεσία που ξεχωρίζει τις ροές και τις διαφοροποιεί μεταξύ τους ως προς την ποιότητα εξυπηρέτησης που θα λάβουν, χωρίς να τις εξασφαλίζει με απόλυτο τρόπο.
- Βέλτιστης Προσπάθειας (Best-effort).

Η υπηρεσία Premium για να υλοποιηθεί χρειάζεται μια Per-Hop-Behaviour (PHB) ισοδύναμη με μια ουρά αυστηρής προτεραιότητας και έναν μηχανισμό αποδοχής κλήσεων ο οποίος φροντίζει ώστε η χωρητικότητα της υπηρεσίας να μη φτάνει ποτέ στα όρια της (oversell) σε κανέναν δρομολογητή σε όλη την ακολουθούμενη διαδρομή. Οι μηχανισμοί αστυνόμευσης απορρίπτουν όλα τα πακέτα (ξεχωριστών ροών και ομάδων) που δεν συμμορφώνονται με τα συμφωνημένα προφίλ.

Με την υπηρεσία Assured οι χρήστες συμφωνούν σε ένα συμβόλαιο κίνησης και περιμένουν από το δίκτυο να εξυπηρετήσει όλη την κίνηση τους, που υπακούει στο συμβόλαιο, σαν να ήταν ελαφρά φορτωμένο, ακόμη και στην περίπτωση συμφόρησης. Πακέτα που ικανοποιούν το συμβόλαιο εξυπηρετούνται από μια PHB η οποία υποδεικνύει ότι θα πρέπει να απορριφθούν τελευταία, αν αυτό είναι αναπόφευκτο. Τα υπόλοιπα μαρκάρονται ώστε να έχουν την best-effort PHB. Υπηρεσίες σαν αυτήν είναι σχετικά πιο εύκολο να αναπτυχθούν από την Premium και φαίνεται ότι μπορούν να ικανοποιήσουν ευρεία γκάμα εφαρμογών, που δεν απαιτούν αυστηρά όρια στην απώλεια πακέτων αλλά απαιτούν κάποιες χαλαρές εγγυήσεις στην μετάδοση των δεδομένων που αφορούν κυρίως μέσες τιμές μεγεθών για ορισμένα χρονικά διαστήματα.

Υποστηρίζοντας QoS δίνεται η δυνατότητα στο δίκτυο απλά και μόνο να βλέπει διαφορετικές κλάσεις χρηστών και να τους εξυπηρετεί ανάλογα. Αν όμως η κίνηση του δικτύου αυξηθεί πριν μπορέσει κάποιος να το αναβαθμίσει (κάτι το οποίο είναι σύνηθες φαινόμενο), τότε η προσέγγιση αυτή δεν θα μπορέσει να ικανοποιήσει τις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες πολλών εφαρμογών.

### 5.5.3.2 Δυνατότητα Κλιμάκωσης

Η αρχιτεκτονική DiffServ από την αρχή έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί εύκολα να κλιμακωθεί και έχει δύο επίπεδα.

Αποδοχή μεγάλου αριθμού συνδέσεων: Οι δρομολογητές πυρήνα που βρίσκονται στο εσωτερικό ενός δικτύου (core routers) πρέπει να ασχολούνται και να προωθούν χιλιάδες συνδέσεις, μην έχοντας έτσι την δυνατότητα για πρακτικούς λόγους να ασχολούνται και με άλλες διαδικασίες. Στο DiffServ έχει γίνει προσπάθεια να απομακρυνθεί η όποια πολυπλοκότητα από αυτούς τους δρομολογητές και να μεταφερθεί σε εξωτερικούς (leaf), όπου οι απαιτήσεις σε ταχύτητα προώθησης είναι μικρότερες όπως επίσης και ο αριθμός των ροών, που πρέπει να εξυπηρετηθούν. Οι δρομολογητές αυτοί μπορούν να διαθέσουν την απαραίτητη υπολογιστική ισχύ, για να ικανοποιήσουν τις διαδικασίες DiffServ.

Υψηλές ταχύτητες: Όσο θα υπάρχει η ανάγκη να κρατηθούν οι PHB απλές, έτσι ώστε οι ομαδοποιημένες ροές να εξυπηρετούνται με μεγάλες ταχύτητες, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ανάγκη και για πιο γρήγορη

εξυπηρέτηση των ξεχωριστών ροών. Αυτό συνήθως ισχύει στην πράξη, όπου η αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης δημιουργεί την ψευδαίσθηση ότι είναι και απεριόριστο. Έτσι δημιουργείται ένα είδος θετικής ανάδρασης που εμπνέει νέα ήδη εφαρμογών με ακόμη σκληρότερες τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις. Όταν τέτοιες εφαρμογές γίνουν πραγματικότητα αργά ή γρήγορα θα φέρουν και πάλι την συμφόρηση στο δίκτυο, οπότε θα γίνει ακόμη πιο επιτακτική η ανάγκη για QoS μηχανισμούς ικανούς να αποδίδουν με μεγάλες ταχύτητες, ακόμη και τέτοιες QoS απαιτήσεις. Η προσπάθεια που γίνεται να πάει η πολυπλοκότητα όσο πιο κοντά γίνεται στον χρήστη και έξω από το δίκτυο, δίνει την καλύτερη προοπτική για να επιτευχθούν υψηλές ταχύτητες προώθησης πολλών ροών.

**Εύκολη διαχείριση:** Το μοντέλο της αρχιτεκτονικής DiffServ επιτρέπει στους παροχείς του δικτύου να ορίσουν οι ίδιοι τον τρόπο με τον οποίο θα διαχειρίζονται τα δίκτυά τους. Αυτό με την προϋπόθεση ότι η διαχείριση θα είναι τέτοια που θα φροντίζει για την τήρηση συμβολαίων κίνησης με άλλα συνεργαζόμενα δίκτυα. Οι εσωτερικές πολιτικές και διαδικασίες παίζουν καθοριστικό ρόλο και στον τρόπο διαχείρισης του δικτύου, γι' αυτό υπάρχει η απαίτηση από κάθε δίκτυο να μπορεί να έχει τον δικό του ξεχωριστό τρόπο ιδιαίτερα όταν περιλαμβάνει και τελικούς χρήστες. Η παροχή QoS από τα δίκτυα αναπόφευκτα θα δημιουργήσει και την ανάγκη για έλεγχο της πρόσβασης σε αυτά σύμφωνα πάντα με την ισχύουσα πολιτική των διαχειριστών τους. Ο διάλογος μεταξύ των τελικών χρηστών και του τοπικού Μεσίτη Εύρους Ζώνης φαίνεται σαν ο ιδανικός τρόπος για την επιβολή και τήρηση τοπικών κανόνων και πολιτικών. Ο Μεσίτης Εύρους Ζώνης δείχνει να είναι η ιδανική οντότητα για να επιτελεί πιστοποίηση ταυτότητας, έλεγχο δικαιώματος πρόσβασης και χρέωση (Authentication, Authorization, και Accounting, AAA).

**Παρακολούθηση χρήσης πόρων:** Το DiffServ επιτρέπει συμφωνηθέντα προφίλ QoS υπηρεσιών να μπορούν να συγκριθούν με καλά ορισμένα μέτρα απόδοσης IP δικτύων (IP performance metrics). Ακόμη και απλοί χρήστες εφοδιασμένοι με τα κατάλληλα εργαλεία παρακολούθησης θα μπορούν να ελέγχουν κατά πόσο αυτό που τους προσφέρει το δίκτυο είναι το συμφωνηθέν για το οποίο προφανώς πληρώνουν. Με τον ίδιο τρόπο θα μπορούσε να γίνεται έλεγχος και στα σύνορα των δικτύων. Τέτοια εργαλεία παρακολούθησης μπορούν να φανούν χρήσιμα ακόμη και στο σχεδιασμό, στη σωστή διαστασιολόγηση και αντιμετώπιση διάφορων τεχνικών δυσκολιών και προβλημάτων ενός δικτύου. Μια καλή συνέπεια του σχεδιασμού του DiffServ είναι ότι πολλά δεδομένα για μετρήσεις μπορούν να εξαχθούν από τους ταξινομητές πακέτων και τους μηχανισμούς αστυνόμευσης.

**Πολλαπλές υλοποιήσεις:** Η διαλειτουργικότητα των στοιχείων του δικτύου βασισμένη στην τυποποίηση βασικών λειτουργιών ήταν από τις πρωταρχικές σχεδιαστικές αρχές του DiffServ. Το IETF προς το παρόν έχει εντοπίσει την δουλειά του στην παραγωγή standards για τις PHB και πώς αυτές θα κωδικοποιούνται στις επικεφαλίδες των πακέτων IP. Αυτό προσφέρει την δυνατότητα διαλειτουργικότητας στο κατώτερο επίπεδο. Συνεργασία μεταξύ ξένων δικτύων θα επιτευχθεί με την τυποποίηση

καθολικών PHB και δημιουργία απλών διμερών SLAs, που η συνένωσή τους θα οδηγήσει στην δημιουργία ενοποιημένων υπηρεσιών.

Πέρα από την πρόοδο που έχει ήδη γίνει στο IETF θα πρέπει να τυποποιηθούν και πρωτόκολλα για το πώς τα τερματικά θα στέλνουν τις αιτήσεις τους στον αντίστοιχο Μεσίτη Εύρους Ζώνης, πώς οι Μεσίτες Εύρους Ζώνης θα αναγνωρίζουν τους χρήστες, πώς οι διαφορετικοί Μεσίτες Εύρους Ζώνης θα επικοινωνούν μεταξύ τους, πώς θα επικοινωνούν οι Μεσίτες Εύρους Ζώνης και οι leaf routers για την αρχικοποίηση των τελευταίων και την συνεχή ενημέρωσή τους για τα νέα δεδομένα του δικτύου.

Υποστήριξη από λειτουργικά συστήματα: Μια αρχιτεκτονική DiffServ μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας την εφαρμογή QoS μαζί με απλές αιτήσεις ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (e-mail). Αυτό που πρέπει να γίνει είναι μια γρήγορη ανάπτυξη ενός τέτοιου λογισμικού για εφαρμογές οι οποίες θα είναι ικανές να κάνουν Σηματοδοσία για τις ανάγκες τους σε QoS, δυναμικά με την υποστήριξη κατάλληλου Application Protocol Interface (API) και μεσισμικού (Middleware).

Το RSVP είναι όλο και περισσότερο διαθέσιμο στα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρωτόκολλο σηματοδοσίας μεταξύ τερματικών μηχανημάτων και τοπικά ως bandwidth broker. Αρχιτεκτονικές για το RSVP στο DiffServ έχουν περιγραφεί σε πρόσφατα Internet draft.

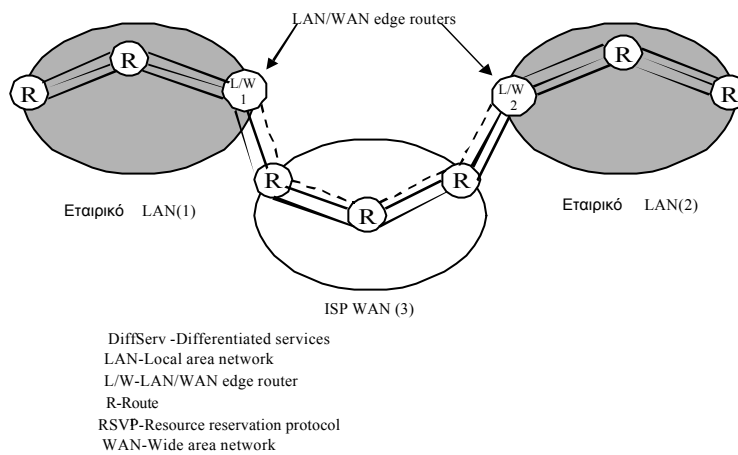
Οι διάφορες ομάδες που ασχολούνται με τις Internet εφαρμογές, για να προωθήσουν την ανάπτυξη του DiffServ ώστε να καταστήσει ικανές τις εφαρμογές να δουλεύουν με αυτό, έχουν προτείνει ότι διαφορές μεταξύ των υπάρχοντων APIs και μεταξύ των λειτουργικών συστημάτων που αφορούν τα πρωτόκολλα σηματοδοσίας για QoS οδηγούν στην δημιουργία ενός νέου API και κατάλληλου middleware.

## 5.6 Εισαγωγή IntServ και DiffServ στο Διαδίκτυο

Το πιο πιθανό είναι ότι το IntServ δεν θα αναπτυχθεί σε δίκτυα ευρείας περιοχής (WANs) λόγω του ότι δεν είναι ένα κλιμακούμενο μοντέλο. Στην πραγματικότητα οι περισσότεροι παροχείς υπηρεσιών αναμένουν ότι το DiffServ θα ικανοποιήσει όλες τις ανάγκες τους για QoS. Σε αντίθεση το IntServ προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί κυρίως σε μικρά εταιρικά δίκτυα. Ήδη πολλές εφαρμογές για αυτά τα δίκτυα είναι σε κάποιο βαθμό IntServ. Έτσι το ερώτημα τίθεται ως εξής: αν το δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN) είναι βασισμένο σε DiffServ και το τοπικό δίκτυο (LAN) είναι μια μίξη από DiffServ και IntServ πως μπορεί να προσφερθεί QoS από άκρη σε άκρη όταν ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη παρεμβάλλονται πόροι που ανήκουν σε LAN και WAN.

Αν το τερματικό χρησιμοποιεί DiffServ για τον καθορισμό του QoS της ροής τότε το πρόβλημα είναι σχετικά εύκολο. Αν όμως το τερματικό χρησιμοποιεί IntServ και οι ISPs χρησιμοποιούν DiffServ τότε υπάρχει πρόβλημα. Η κύρια στρατηγική που μπορεί να ακολουθηθεί είναι να χρησιμοποιηθεί IntServ για την δέσμευση πόρων στο LAN και ύστερα να

μετατραπούν τα RSVP μηνύματα PATH και RESV σύνορο L/W1 (Σχήμα 5.9) ώστε οι δρομολογητές του WAN να αγνοήσουν την όποια RSVP πληροφορία στα πακέτα. Όταν τώρα τα πακέτα φτάσουν στο άλλο σύνορο L/W2 επαναφέρονται στην αρχική τους μορφή και το IntServ συνεχίζει την εξέλιξή του στο άλλο τώρα τοπικό δίκτυο. Όταν ένα πακέτο φτάνει στο σύνορο L/W1 τότε ο δρομολογητής του βάζει την κατάλληλη τιμή στο πεδίο που καθορίζει την PHB η οποία είναι ικανή να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της ροής. Στο άλλο σύνορο γίνεται η αντίστροφη διαδικασία έτσι ώστε το πακέτο να επεξεργαστεί σύμφωνα με αυτά που ορίζει το RSVP.



Σχήμα 5.9  
 LAN-WAN