

**Τ.Ε.Ι. ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ: ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ: ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**  
**ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ**  
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Β. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ

---

# Quality of Service

Μια παρουσίαση των τεχνολογιών για την  
εξασφάλιση της ποιότητας υπηρεσιών στο  
διαδίκτυο

ΠΕΡΙΚΛΕΟΥΣ ΣΤΡΑΤΟΝΙΚΗ



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>4</b>
<b>ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ QoS.....</b>	<b>4</b>
<i>Καλέσματα και Διασυνδέσεις.....</i>	<i>5</i>
<i>Ρυθμοαπόδοση.....</i>	<i>7</i>
<b>ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ QoS.....</b>	<b>7</b>
<b>ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ QoS.....</b>	<b>8</b>
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ QoS.....</b>	<b>8</b>
<b>ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΟΥ QoS.....</b>	<b>9</b>
<b>ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ QoS.....</b>	<b>10</b>
<b>ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΟ INTERNET.....</b>	<b>12</b>
<b>ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....</b>	<b>12</b>
<b>ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ QoS ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ OSI ΜΟΝΤΕΛΟ.....</b>	<b>13</b>
<i>Μηχανισμοί για QoS στο φυσικό επίπεδο.....</i>	<i>13</i>
<i>Διαφοροποίηση φυσικών μονοπατιών.....</i>	<i>14</i>
<i>Δρομολόγηση βάση του προορισμού και επιλογή μονοπατιού.....</i>	<i>15</i>
<i>TCP και συμμετρική επιλογή μονοπατιού.....</i>	<i>15</i>
<i>Μηχανισμοί για QoS στο επίπεδο σύνδεσης.....</i>	<i>16</i>
<b>ATM.....</b>	<b>16</b>
<i>Σηματοδότηση και δρομολόγηση στο ATM.....</i>	<i>16</i>
<i>Η προστασία των απαιτήσεων των εφαρμογών από το ATM.....</i>	<i>17</i>
<i>Παράμετροι κίνησης πηγής στο ATM.....</i>	<i>19</i>
<i>QoS παράμετροι της απόδοσης στα ATM δίκτυα.....</i>	<i>21</i>
<i>Κατηγορίες Υπηρεσιών του ATM.....</i>	<i>22</i>
<b>Constant Bit Rate-CBR.....</b>	<b>24</b>
<b>Real -Time Variable Bit Rate-rt- VBR.....</b>	<b>24</b>
<b>Non-Real-Time Variable Bit Rate-nrt-VBR.....</b>	<b>24</b>
<b>Available Bit Rate-ABR.....</b>	<b>25</b>
<b>Unspecified Bit Rate-UBR.....</b>	<b>25</b>
<i>Τάξεις QoS στα ATM δίκτυα.....</i>	<i>25</i>
<i>Εφαρμογή της QoS στα ATM δίκτυα.....</i>	<i>27</i>
<i>Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις παραμέτρους QoS στο ATM.....</i>	<i>28</i>
<i>Συμπεράσματα για την QoS στο ATM.....</i>	<i>28</i>
<b>Frame relay.....</b>	<b>31</b>
<i>Δομές έλεγχου διαχειρίσεις του Frame Relay ρυθμού.....</i>	<i>31</i>
<i>Το Frame Relay και η ποιότητα υπηρεσιών στο Internet.....</i>	<i>32</i>
<b>IEEE 802. 1p.....</b>	<b>33</b>

<b>Μηχανισμοί για QoS στα επίπεδα δικτύου και μεταφοράς .....</b>	<b>34</b>
<b>Εισαγωγικά.....</b>	<b>34</b>
<b>Differentiated Services(DS).....</b>	<b>36</b>
<b>Integrated services με χρήση του Resource Reservation Protocol ....</b>	<b>38</b>
Υποστήριξη του RSVP για πολλαπλές QoS control services.....	40
<b>Multiprotocol Label Switching (MPLS).....</b>	<b>41</b>
QoS και MPLS.....	43
<b>QoS Routing.....</b>	<b>44</b>
Στόχοι.....	44
Intradomain routing requirements.....	45
Interdomain Routing.....	46
<del>Interdomain QoS-based routing μοντέλο.....</del>	<del>46</del>
QoS- based multicast routing.....	46
QoS- based routing πρωτοκόλλα και πρωτοκόλλα δέσμευσης πόρων.....	47
<b>POLICY-ENABLED QoS.....</b>	<b>48</b>
<b>ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ POLICY-ENABLED QoS.....</b>	<b>48</b>
<b>ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ.....</b>	<b>49</b>
<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΜΙΑΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ.....</b>	<b>50</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>51</b>
<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ-ΑΝΟΙΧΤΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>52</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>	<b>55</b>

## **ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

<i>Εικόνα 1: Δομή του OSI μοντέλου όπως θα εξεταστεί από την QoS άποψη.....</i>	<i>13</i>
<i>Εικόνα 2: Παράδειγμα διαφοροποίησης φυσικών μονοπατιών.....</i>	<i>14</i>
<i>Εικόνα 3: Token bucket filter.....</i>	<i>19</i>
<i>Εικόνα 4: Virtual paths και virtual circuits σε δίκτυα ATM.....</i>	<i>28</i>
<i>Εικόνα 5: Λειτουργίες διαφοροποιημένων υπηρεσιών.....</i>	<i>38</i>
<i>Εικόνα 6: Εισαγωγή μιας MPLS επικέτας.....</i>	<i>42</i>
<i>Εικόνα 7: Η διαδικασία label swapping.....</i>	<i>43</i>
<i>Εικόνα 8: CoS bits που μεταφέρονται στην MPLS επικέτα.....</i>	<i>44</i>
<i>Εικόνα 9: Interdomain QoS-based routing μοντέλο.....</i>	<i>46</i>
<i>Εικόνα 10: Το πλαίσιο εργασίας-Policy Framework.....</i>	<i>50</i>

---

## **ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ**

<i>Πίνακας 1-1: Αντίληψη καταναλωτή περί των λειτουργιών του QoS.....</i>	<i>10</i>
<i>Πίνακας 1: Κατηγορίες QoS υπηρεσιών στο ATM.....</i>	<i>23</i>
<i>Πίνακας 2: Παράγοντες που επηρεάζουν τις παραμέτρους QoS στο ATM.....</i>	<i>29</i>
<i>Πίνακας 3: Προτεραιότητες στο πρωτόκολλο 802.1p.....</i>	<i>34</i>

---

## Εισαγωγή

Τα δίκτυα IP έχουν γίνει το αδιαμφισβήτητο standard όσον αφορά την δικτύωση μεταξύ απομακρυσμένων ή μη υπολογιστικών συστημάτων για την διακίνηση δεδομένων για πάνω από 20 χρόνια. Στα IP δίκτυα μέχρι πρόσφατα παρέχονταν μόνο μια υπηρεσία, η επονομαζόμενη best – effort, κατά την οποία όλα τα πακέτα που εισέρχονται στο δίκτυο τυγχάνουν ισοδύναμης μεταχείρισης. Με βάση αυτήν την υπηρεσία, όλα τα πακέτα που εισέρχονται στο δίκτυο προωθούνται ανάλογα με την διεύθυνση προορισμού τους στον παραλήπτη τους μέσα από μια σειρά ενδιάμεσων κόμβων. Όταν εισέρχεται ένα πακέτο σε κάποιον κόμβο, αφού αποφασιστεί προς ποια διεπαφή προορίζονται, το πακέτο εισέρχεται στην ανάλογη ουρά αναμονής, έως ότου ελευθερωθεί ο δίαυλος που αντιστοιχεί σε αυτήν, και τότε μεταδίδεται μέσω του διαύλου προς τον επόμενο κόμβο. Εάν κατά τη στιγμή της εισόδου τους στο δίκτυο η ουρά αναμονής στην οποία πρέπει να εισέλθει το πακέτο είναι πλήρης τότε το πακέτο απορρίπτεται. Τα πακέτα μεταδίδονται με τη σειρά με την οποία εισέρχονται στον δίαυλο. Δεν γίνεται κανένας διαχωρισμός ανάμεσα στα πακέτα, και όλα καθυστερούν ή απορρίπτονται με την ίδια προτεραιότητα. Ο έλεγχος ροής (flow control) καθώς και εξασφάλιση ορθής λήψης του κάθε πακέτου επαφίεται στα ανώτερα στρώματα (π.χ. TCP).

Αυτό το μοντέλο, αν και έχει αποδειχθεί πολύ ικανοποιητικό για την επικοινωνία δεδομένων, όπως π.χ. για τη μεταφορά αρχείων, για την αποστολή μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, για την πλοήγηση στο www κτλ, δεν είναι ικανοποιητικό για εφαρμογές όπως η μεταφορά φωνής ή πολυμέσων πραγματικού χρόνου κτλ. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν ένα σταθερό ή ένα ελάχιστο εύρος ζώνης, και μια καθορισμένη μέγιστη καθυστέρηση, κάτι το οποίο δεν εξασφαλίζεται από τα κλασικά IP δίκτυα. Για το σκοπό αυτό έχουν προταθεί πολλές αρχιτεκτονικές επέκτασης των IP δικτύων για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας, οι επικρατέστερες των οποίων είναι οι Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες (Integrated Services) και οι διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (Differentiated Services). Αυτές οι αρχιτεκτονικές αναφέρονται στο επίπεδο δικτύου (Layer 3 του OSI) Παραπέρα, στα σύγχρονα δίκτυα υπάρχει ανάγκη για μεταφερσιμότητα (portability) και για κινητικότητα (mobility) των χρηστών του δικτύου.

### Ορισμός του QoS

Είναι γνωστό ότι το Internet για να μπορέσει να αναπτυχθεί, χρειάζεται ποιότητα στην παροχή υπηρεσιών (QoS). Το πρόβλημα είναι ότι κανένας δεν γνωρίζει τι ακριβώς είναι το QoS – και ειδικότερα οι κατασκευαστές που ισχυρίζονται ότι μπορούν να το προσφέρουν. Το σίγουρο όμως είναι ότι σήμερα κανένα από τα σχήματα που προωθούνται δεν παρέχει ποιότητα στην υπηρεσία. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι δεν μπορούμε να προσθέσουμε ποιότητα υπηρεσίας στα δίκτυα.

Πριν όμως αναλυθεί το θέμα ποιότητα υπηρεσίας είναι καλό να δοθεί ένας ορισμός: Το QoS καθιστά ικανό το δίκτυο να μεταφέρει δεδομένα από άκρο σε άκρο (end to end) με εγγυημένη μέγιστη καθυστέρηση και εγγυημένο ρυθμό μεταφοράς (rate) που βασίζεται

στις ανάγκες της διεργασίας του χρήστη (πάντοτε με καθορισμένα συμφωνημένα όρια λάθους).

Το QoS περιγράφεται ως εξής :

“Η συλλογική συνέπεια της ποιότητας υπηρεσίας, η οποία καθορίζει τον βαθμό ικανοποίησης του χρήστη ως προς την υπηρεσία“. Αυτός ο ορισμός συνδέει το QoS με την υπηρεσία που παρέχεται στους χρήστες. Εντούτοις βλέποντας το από την οπτική γωνία ενός δικτύου που παρέχει υπηρεσίες, υπάρχουν συγκεκριμένα σημαντικά ποσοτικά χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να ελεγχθούν έτσι ώστε να παρέχονται συγκεκριμένα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας. Αυτά είναι τα πιο κάτω :

#### Καλέσματα και διασυνδέσεις (Calls and Connections)

---

Η καθυστέρηση που υφίστανται τα πακέτα λόγω της κίνησης στο δίκτυο είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει αισθητά το QoS. Διάφοροι παράγοντες καθυστέρησης, έχουν διαφορετική επίδραση σε διαφορετικά είδη υπηρεσιών :

- **End-to-end delay:** είναι το χρονικό διάστημα της μεταφοράς του πακέτου από τον αποστολέα στον παραλήπτη, μέσω του δικτύου. Όσο πιο μεγάλο είναι το delay, τόσο πιο μεγάλη είναι η πίεση που υποβάλλεται στο πρωτόκολλο μεταφοράς για να λειτουργήσει αποδοτικά. Για το πρωτόκολλο TCP, τα ψηλά επίπεδα καθυστέρησης υπονοούν μεγαλύτερα ποσά δεδομένων που κρατούνται στο δίκτυο εν αναμονή, πράγμα που σημαίνει ότι θα υπάρχει πίεση στους timers και στους counters που σχετίζονται με το πρωτόκολλο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το TCP είναι ένα πρωτόκολλο με “αυτορυθμιζόμενο ρολόι“. Ο ρυθμός μετάδοσης του αποστολέα προσαρμόζεται δυναμικά με την ροή των σημάτων πληροφορίας που έρχονται από τον παραλήπτη, μέσω της αντίστροφης κατεύθυνσης των acknowledgments (ACK), που ειδοποιούν τον αποστολέα ότι τα δεδομένα έχουν παραλειφθεί επιτυχώς. Όσο πιο μεγάλη είναι η καθυστέρηση μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη, τόσο πιο μη ευαίσθητο είναι το πρωτόκολλο σε μικρού χρονικού διαστήματος, δυναμικές αλλαγές στην φόρτιση του δικτύου. Σε εφαρμογές με interactive ήχο και video, η ύπαρξη καθυστέρησης, προκαλεί μη ανταπόκριση από το σύστημα.
- **Delay variation or jitter:** αναφέρεται στην ποικιλία της χρονικής διάρκειας μεταξύ όλων των πακέτων της ίδιας ακολουθίας που ακολουθούν τον ίδιο router. Με μαθηματικούς όρους, το jitter μετρείται σαν η απόλυτη τιμή της πρώτης παραγώγου της ακολουθίας των ατομικών μέτρων καθυστέρησης. Πολύ ψηλά επίπεδα του jitter, προκαλεί την δημιουργία πολύ συντηρητικών υπολογισμών του round trip time από το πρωτόκολλο TCP. Το πρωτόκολλο δηλαδή δεν λειτουργεί αποδοτικά όταν επανέρχεται σε time out για να ξανά-εγκαθιδρύσει την ροή δεδομένων. Ψηλά επίπεδα jitter, δεν μπορούν να γίνουν αποδεκτά σε εφαρμογές που βασίζονται στο UDP και είναι εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως για παράδειγμα το audio ή το video signal.

Οι διαλογικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Interactive Real Time applications), όπως για παράδειγμα η μεταφορά ήχου, είναι ευαίσθητες στο end-to-end delay και στο jitter. Οι μεγάλες καθυστερήσεις έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της διαλογικότητας στην επικοινωνία. Μη διαλογικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου (non-interactive real time applications), όπως για παράδειγμα εκπομπή μονής κατεύθυνσης (one-way broadcast), δεν είναι ευαίσθητες ως προς το end-to-end delay αλλά επηρεάζονται από το jitter. Το jitter συνήθως διευθετείται με την χρησιμοποίηση ενός buffer στον παραλήπτη, όπου αποθηκεύονται τα παραλαμβανόμενα πακέτα και “παίζονται” (εκτελούνται) στην κατάλληλη χρονική μετατόπιση (time offset). Η χρονική μετατόπιση – που ονομάζεται επίσης και “playback point” – καθορίζεται σύμφωνα με το μέγιστο jitter. Εφαρμογές οι οποίες μπορούν να προσαρμόσουν το “playback point” βασισμένες στις αλλαγές της τιμής του jitter ονομάζονται προσαρμοζόμενες εφαρμογές (adaptive applications). ένα παράδειγμα είναι το vat. Πακέτα που φτάνουν στον παραλήπτη αφού περάσει το “playback point” που τους αντιστοιχεί, δεν είναι χρήσιμα ως προς την εφαρμογή.

Οι εφαρμογές που δεν είναι πραγματικού χρόνου, συνήθως δεν επηρεάζονται από τυχόν καθυστερήσεις. Εντούτοις, επειδή αυτές οι εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιήσουν την καθυστέρηση ως μέτρο για να ελέγξουν τα ποσοστά της κίνησης στο δίκτυο (π.χ. TCP), ή μπορεί να χρειαστεί να φυλάξουν προσωρινά δεδομένα μέχρι αυτά να γίνουν acknowledged (π.χ. FTP), γι’ αυτό μεγάλες καθυστερήσεις μπορούν επίσης να επηρεάσουν το QoS των εφαρμογών αυτών.

Υπάρχουν διάφοροι παράμετροι που επηρεάζουν το end-to-end delay :

- Καθυστέρηση Μετάδοσης (Transmission Delay): Ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταφέρουμε όλα τα bits του πακέτου πάνω στην σύνδεση.
- Καθυστέρηση Μεταφοράς (Propagation Delay): Ο χρόνος που χρειάζεται ένα bit για να διασχίσει την σύνδεση μέσω της οποίας γίνεται η μεταφορά δεδομένων.
- Καθυστέρηση Επεξεργασίας (Processing Delay): Ο χρόνος που χρειάζεται για επεξεργασία πακέτου και μετατροπή του σε στοιχείο δικτύου (network element).
- Καθυστέρηση Ουράς (Queuing Delay): Ο χρόνος που πρέπει να περιμένει το πακέτο στην ουρά πριν να προγραμματιστεί η μετάδοση του.

Το QoS δεν δημιουργεί bandwidth. Είναι αδύνατο για κάποιο δίκτυο να δώσει κάτι που δεν έχει, έτσι το bandwidth availability είναι σημείο αναφοράς. Το QoS διαχειρίζεται το bandwidth ανάλογα με τις απαιτήσεις κάποιας εφαρμογής και τα settings κάποιου δικτύου. Το bandwidth που κρατείται για κάποια εφαρμογή δεν είναι πλέον ελεύθερο για τις best effort υπηρεσίες. Η προτεραιότητα των QoS σχεδιαστών ήταν να διασφαλίσουν ότι το best effort traffic δεν θα παρουσιάζει φαινόμενα παρατεταμένης στέρξης μετά τις κρατήσεις που έχουν γίνει. Η χειρότερη περίπτωση

πρέπει να είναι οι υπηρεσίες με low priority στις οποίες απλά θα προσφέρονται λιγότερες υπηρεσίες μεν, αλλά θα τους προσφέρονται.

### Ρυθμοαπόδοση (Throughput)

Το bandwidth είναι σημαντικός παράγοντας για το throughput. Αυτό καθορίζει πόση κίνηση μπορεί να ανεχτεί η εφαρμογή μέσα στο δίκτυο. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες είναι τα λάθη – που συνήθως σχετίζονται με το link error rate – και οι απώλειες – που συνήθως σχετίζονται με την χωρητικότητα του buffer. Ορισμένες εφαρμογές, μπορούν να μειώσουν το ποσοστό της κίνησης όταν υπάρχουν ενδείξεις ότι το throughput βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Τέτοιες εφαρμογές ονομάζονται rate adaptive. Το εύρος ζώνης εξαρτάται από τα ακόλουθα :

- Χαρακτηριστικά σύνδεσης: bandwidth, error rate
- Χαρακτηριστικά κόμβου: buffer, processing power

Αξιοπιστία μπορεί να θεωρηθεί σαν ο μέσος όρος σφάλματος στο μέσο. Η αξιοπιστία μπορεί να θεωρηθεί ότι παράγεται από το switching system υπό την έννοια ότι αν το τελευταίο έχει φτωχή διαμόρφωση ή φτωχή εκτέλεση, τότε μπορεί να αλλάξει την σειρά των πακέτων που μεταφέρονται, και να τα παραδώσει στον παραλήπτη με διαφορετική σειρά από αυτή που πραγματικά τα μετέδωσε ο αποστολέας ή μπορεί ακόμη να χαθούν πακέτα κατά την μεταφορά τους από τον ένα router στον άλλο. Η αναξιπιστία μπορεί να προκαλέσει την αναμετάδοση των πακέτων. Το TCP δεν μπορεί να διακρίνει αν ένα πακέτο χάθηκε λόγω διακοπής στην μεταφορά ή λόγω της συμφόρησης στο δίκτυο. Γι' αυτό όταν χυθεί ένα πακέτο λόγω διακοπής, ο αποστολέας συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο που συμπεριφέρεται όταν υπάρχει συμφόρηση. Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων του αποστολέα δηλαδή μειώνεται με την ενεργοποίηση των αλγορίθμων αποφυγής συμφόρησης, παρόλο που δεν παρατηρήθηκε συμφόρηση στο δίκτυο.

### Σκοπός του QoS

Ο άνθρωπος ως ον ερευνητικό, αναζητά τη βελτίωση όλων των τομέων, είτε για πρακτικούς λόγους π.χ. καλύτερευση καθημερινών αναγκών, είτε για λόγους ανταγωνιστικότητας και αυτή η αναζήτηση είναι περισσότερο από εμφανής στην εποχή μας.

Η ποιότητας της υπηρεσίας είναι το αποτέλεσμα του προγραμματισμού, σχεδίασης, κατασκευής, λειτουργίας, υποστήριξης και διαχείρισης των υπηρεσιών ενός δικτύου απαλλαγμένο από τη χρήση του δικτύου και τη προμήθεια πόρων από τον ανθρώπινο παράγοντα. Εξαρτάται από τις τεχνικές προδιαγραφές των διάφορων τμημάτων ενός δικτύου όπως η κίνηση του δικτύου, η προσιτότητα, η καθυστέρηση και διάφορες συναρτήσεις διαχείρισης. Η ITU-T ορίζει την ποιότητα των υπηρεσιών σαν: “Τη συλλογική προσπάθεια για απόδοση της υπηρεσίας που καθορίζει το βαθμό ικανοποίησης του χρήστη για όλες τις υπηρεσίες”. Ο βαθμός ικανοποίησης του καταναλωτή επιτρέπει μια απευθείας σχέση της ποιότητας της υπηρεσίας όπου η



καλή ποιότητα της υπηρεσίας οδηγεί σε ικανοποίηση του καταναλωτή ενώ μια κακή ποιότητα της υπηρεσίας οδηγεί σε απογοήτευση του καταναλωτή.

Η ποιότητα υπηρεσίας όπως την αντιλαμβάνεται ένας πελάτης της υπηρεσίας εξαρτάται κατά μεγάλο βαθμό από την:

- Απόδοση της υπηρεσίας υποστήριξης: Ικανότητα του χειριστή να παρέχει υπηρεσία και διατήρηση (εξασφάλιση των υπηρεσιών, χρέωση κ.λ.π.)
- Απόδοση της λειτουργικότητας της υπηρεσίας: Φιλικότητα της υπηρεσίας, απλότητα και ευκολία χρήσης
- Απόδοση πληρότητας της υπηρεσίας: Απόδοση της μετάδοσης με βάση τα προεγκατεστημένα κριτήρια απόδοσης
- Απόδοση εξυπηρέτησης: Προσιτότητα, διατήρηση και γνωστοποίηση αξιοπιστίας, δηλαδή μετά από κάποια αντίστοιχη αίτηση διάθεση των υπηρεσιών στους πελάτες και δυνατότητα αυτής της διάθεσης χωρίς διακοπή των υπηρεσιών του δικτύου.

#### **Αναγκαιότητα του QoS**

Μέχρι πρόσφατα τα IP δίκτυα στηρίζονταν στην υπηρεσία χωρίς σύνδεση, όπου δεν υπήρχε καμία εγγύηση σχετικά με την ποιότητα υπηρεσίας. Ενώ οι κλασικές εφαρμογές του Internet, π.χ. TELNET, FTP, WWW, SMTP, δεν έχουν κάποια απαίτηση για ποιότητα υπηρεσίας, και μπορούν να λειτουργήσουν ορθά σχεδόν υπό οποιοσδήποτε συνθήκες, κάποιες νέες εφαρμογές όπως το voice over IP, και η μετάδοση συρμών πολυμέσων (ήχου ή / και εικόνας) μέσω διαδικτύου έχουν δημιουργήσει την απαίτηση για παροχή ποιότητας υπηρεσίας από τα IP δίκτυα.

Επίσης η εφαρμογή μεθόδων ποιότητας υπηρεσίας σε αυτά τα δίκτυα μπορεί να ανοίξει νέους δρόμους στα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (VPN), καθώς και να επιτρέψει την ολοκλήρωση των IP δικτύων με τα υπόλοιπα δίκτυα (PSTN, ISDN, GSM, ...).

#### **Εφαρμογές QoS**

Σήμερα το Internet το μόνο που μπορεί να προσφέρει είναι best-effort υπηρεσίες. Η κίνηση (traffic) μπορεί να εξυπηρετηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα χωρίς όμως καμία εγγύηση. Με τη συνεχή ανάπτυξη και μετεξέλιξη του Internet σε εμπορικό μέσο, οι απαιτήσεις για ποιότητα στην εξυπηρέτηση έχουν αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό.

Είναι φανερό ότι ζητούνται διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών. Τα δίκτυα που υποστηρίζουν QoS μπορούν να υποστηρίξουν εφαρμογές που απαιτούν αναμενόμενη εξυπηρέτηση από το δίκτυο. Αυτές οι εταιρίες είναι διατεθειμένες να πληρώσουν ένα συγκεκριμένο κόστος για να κάνουν τις υπηρεσίες τους αξιόπιστες και να δώσουν στους πελάτες του τη δυνατότητα γρήγορης πρόσβασης στο Web site της εταιρίας τους. Τα επίπεδα υπηρεσιών που μπορεί να

προσφέρει ένα δίκτυο μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την προτεραιότητά τους:

- Gold υπηρεσία
- Silver υπηρεσία
- Bronze υπηρεσία με μειωμένη ποιότητα

Προφανώς κάποιες υπηρεσίες δεν αρκούνται στο να έχουν μία συγκεκριμένη προτεραιότητα αλλά απαιτούν και κάποια συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως low-delay και low-jitter (π.χ. σε εφαρμογές όπως τηλέφωνο πάνω από δίκτυο μετάδοσης δεδομένων και τηλεδιάσκεψη). Για παράδειγμα συμφέρει τις εταιρείες να επενδύσουν αρκετά χρήματα για υψηλής ποιότητας τηλεδιάσκεψη ώστε να έχουν λιγότερα έξοδα ταξιδιών.

Τελικά θα παρέχεται και η υπηρεσία του best effort δικτύου για εκείνους τους πελάτες που το μόνο που χρειάζονται είναι η σύνδεση για απλές εφαρμογές (email, ftp). Μία τέτοια σύνδεση θα είναι χαμηλού κόστους και φυσικά δεν θα παρέχει εγγυήσεις εξυπηρέτησης.

#### **Επίπεδα QoS**

Όταν παρατηρούμε τους παράγοντες που καθορίζουν αν ένας πελάτης θα προτιμήσει μια τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία και θα παραμείνει σε αυτή, υπάρχουν τουλάχιστον τρεις διαφορετικές αλλά αλληλεξαρτούμενες διαβαθμίσεις της ποιότητας της υπηρεσίας που είναι:

- Η πρώτη ονομάζεται σαν ενδογενής / πραγματική (intrinsic) ποιότητα υπηρεσίας. Η πραγματική ποιότητα επιτυγχάνεται με:

1. Τον τεχνικό σχεδιασμό της μετάδοσης και το τερματισμό του δικτύου, που καθορίζει τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης και

2. Προμήθευση για τη πρόσβασης στο δίκτυο και το τερματισμό τη πρόσβασης αυτής που καθορίζει αν το δίκτυο θα έχει επαρκή χωρητικότητα για να χειριστεί την προσδοκώμενη απαίτηση.

Εφόσον ο στόχος είναι η εφαρμογή των υπηρεσιών της τηλεπικοινωνίας η πραγματική υπηρεσία βασικά μετριέται με βάση τιμές που έχουν βγει από μετρήσεις και στατιστική ανάλυση αυτών.

- Η δεύτερη διαβάθμιση είναι η αντιλαμβανόμενη (perceived) ποιότητα υπηρεσίας. Η αντιλαμβανόμενη ποιότητα υπηρεσίας είναι εκείνη που λαμβάνεται σαν αποτέλεσμα όταν εφαρμοστεί η ποιότητα υπηρεσίας, και οι

χρήστες δοκιμάσουν την σχεδιαζόμενη, από πριν, ενδογενή ποιότητα υπηρεσίας.

- Η τρίτη διαβάθμιση ονομάζεται ως εκτιμώμενη (assessed) ποιότητα μιας ιδιαίτερης υπηρεσίας, που καθορίζεται ουσιαστικά από το χρήστη. Αυτό λαμβάνεται από το αν ο χρήστης αποφασίσει να συνεχίσει τη χρήση της υπηρεσίας ή αν αυτή έχει καλυφθεί από τις προσδοκίες του.

Τα κριτήρια της ποιότητας βασίζονται πάνω στην ταχύτητα, ακρίβεια, απλότητα, διαθεσιμότητα, ασφάλεια και την ελαστικότητα μια εφαρμογής στο δίκτυο. Η ποιότητα της υπηρεσίας αντιλαμβάνεται από το πελάτη σαν εξάρτηση της απόδοσης του δικτύου και δίνεται στο παρακάτω πίνακα.

Λειτουργικότητα Δικτύου	Καθιέρωση Σύνδεσης	Ποιότητα Μετάδοσης	Διατήρηση	Πληρότητα
Κριτήριο Ποιότητας				
Ταχύτητα	Καθυστερήση Ήχου Ακουστικού Καθυστερήση Μετά την Κλήση	Ηχώ ----- Καθυστερήση	Καθαρότητα Ήχου	
Ακρίβεια	Λάθος Αριθμοπληκτρολόγηση	Θόρυβος ----- Ευκρίνεια Ενίσχυση(Ήχου)		Ρυθμός Ολοκλήρωσης Κλήσεων
Εγκυρότητα	Απώλεια Λόγω Συμφόρησης ----- Απώλεια Σύνδεσης ----- Χωρίς Ήχο Ακουστικού			

Πίνακας 1-1: Αντίληψη καταναλωτή περί των λειτουργιών του QoS

#### Στόχοι του QoS

Το QoS εμφανίστηκε για να παρέχει στους χρήστες την δυνατότητα να επιλέξουν μεταξύ μετρήσιμων εγγυήσεων εκτέλεσης. Από αυτόν τον ορισμό, πολλοί από τους υπάρχοντες μηχανισμούς είναι χρήσιμοι αλλά όχι επαρκείς για να παρέχουν QoS. Για παράδειγμα, τα δίκτυα κυκλωμάτων δεν έχουν την δυνατότητα να διαχειριστούν διαφορετικούς χρήστες καθώς το weighted fair queuing (WFQ) μπορεί να προσφέρει προστασία μεταξύ κλάσεων υπηρεσιών, αλλά δεν προσφέρει ποσοτική ή από άκρο σε άκρο εγγυήσεις. Κάτι παραπάνω χρειαζόνταν.

Για αυτό έχουν προταθεί και υλοποιηθεί πολλές αρχιτεκτονικές για παροχή QoS. Μια επιτυχής QoS αρχιτεκτονική περιέχει γενικά συστατικά για παρακολούθηση των χρησιμοποιημένων πόρων, σηματοδότηση των QoS απαιτήσεων, και την εκτέλεση ελέγχου αποδοχών, πολιτικής και χρονοπρογραμματισμού. Επίσης μπορεί να περιέχει

εγκαταστάσεις όπως διαμόρφωση της κίνησης, διαχείριση του buffer, έγγριση, έλεγχο πρόσβασης και τιμολόγηση. Οι παράμετροι που ενδιαφέρουν όταν παρέχονται QoS σε πελάτες περιέχουν το throughput, την καθυστέρηση, το jitter, το χάσιμο και την διαθεσιμότητα. Βέβαια δεν υπάρχει τέτοια απαίτηση αν τα επίπεδα είναι ορθογώνια – π.χ. να επιτρέπουν στους χρήστες να επιλέξουν μεταξύ της χαμηλής καθυστέρησης και του υψηλού throughput. Ακόμα και ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλωμάτων, όπως το Διαδίκτυο που δεν θεωρείτε ότι παρέχει QoS, είναι ακόμα ένα σύστημα υπό ανάπτυξη: οι παροχές το σχεδίασαν για πετύχουν συγκεκριμένους στόχους.

Δρομολογητές, μονοπάτια και καλώδια εγκαθίστανται για να διασφαλίσουν την αξιοπιστία, εγγυόμενα τουλάχιστον κάποια επίπεδα συνδεσιμότητας και throughput για την αντιμετώπιση λαθών του εξοπλισμού, και τα δίκτυα πυρήνα εφοδιάζονται με επαρκής χωρητικότητα και FIFO buffering για να επιτύχουν αναλογία απώλειας στόχων θεωρώντας έναν συγκεκριμένο πίνακα κίνησης. Οι διαδρομές, βρέθηκε, ότι χρησιμοποιούν μια μορφή του αλγόριθμου του συντομότερου μονοπατιού όπου η μετρική που χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί το «συντομότερο» είναι το throughput ή η καθυστέρηση. Αφού η καθυστέρηση εξαρτάτε από το φορτίο, οι αποφάσεις δρομολόγησης που βασίζονται σε μετρήσεις σύντομου χρόνου θα οδηγήσουν σε μη σταθερές διαδρομές οπότε είναι άχρηστες. Γι' αυτό η διαδρομή βασίζεται σε μακροχρόνιες μετρήσεις χρονοδιαγράμματος και συνδιαζεται με το domain of traffic engineering, το οποίο παίρνει θέση στα χρονοδιαγράμματα εφοδιασμού των δικτύων. Παράλληλα οι χρήστες επιδιώκουν στόχους: ως εκ τούτου πρωτόκολλα όπως το TCP τα οποία προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν όλο τη διαθέσιμη χωρητικότητα με ορισμένα κριτήρια δικαιοσύνης.

Σε μια άλλη προσέγγιση, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο στόχος είναι να διαιρεθεί ένας κοινός πόρος, που ανήκει σε ένας ή περισσότερους προμηθευτές, μεταξύ των χρηστών που δεν συνεργάζονται.

---

## Ποιότητα υπηρεσιών στο Internet

Στο μέρος αυτό θα γίνει εκτενής αναφορά στις δυνατότητες για εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών στο Internet, ξεκινώντας από την περιγραφή τεσσάρων βασικών μετρικών ποιότητας για κάθε κατηγορία κίνησης στο Internet, η διαφοροποίηση σε μια ή περισσότερες από τις οποίες αποτελεί την διαφοροποίηση σε ποιότητα υπηρεσιών.

### Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα υπηρεσιών

Delay: Πρόκειται για τον χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο για να φτάσει μέσω του δικτύου από τον αποστολέα στον παραλήπτη του. Όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις για την αποδοτική λειτουργία του πρωτοκόλλου μεταφοράς. Για το TCP πρωτόκολλο, υψηλά επίπεδα καθυστέρησης υπονοούν μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων που βρίσκονται σε διαδικασία μεταφοράς μέσα στο δίκτυο, όποτε οι μετρητές και οι timers που σχετίζονται με το πρωτόκολλο επιβαρύνονται. Εξάλλου το TCP είναι ένα "self-clocking" πρωτόκολλο, όπου ο ρυθμός μετάδοσης του αποστολέα προσαρμόζεται δυναμικά στην πληροφορία σηματοδότησης που επιστρέφεται από τον παραλήπτη, μέσω των αντίθετης κατεύθυνσης acknowledgments (ACK's) που ειδοποιούν τον αποστολέα για επιτυχημένη λήψη των δεδομένων. Όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη, τόσο πιο "αδρανές" γίνεται αυτό το loop ανατροφοδότησης και επομένως το πρωτόκολλο γίνεται περισσότερο "αδρανές" σε δυναμικές αλλαγές του φόρτου του δικτύου. Για αλληλεπιδραστικές εφαρμογές ήχου και κινούμενης εικόνας, η εισαγωγή καθυστερήσεων έχει ως αποτέλεσμα το σύστημα να εμφανίζεται αδρανές σε αλλαγές φόρτου.

Jitter: είναι η διακύμανση στην από άκρο σε άκρο καθυστέρηση μεταφοράς δεδομένων (με μαθηματικούς όρους είναι μετρήσιμη σαν απόλυτη τιμή της πρώτης παραγώγου της ακολουθίας των επιμέρους καθυστερήσεων). Υψηλά επίπεδα jitter έχουν ως αποτέλεσμα την συντηρητική εκτίμηση του Round Trip Time (RTT) από το TCP πρωτόκολλο και επομένως την μη-αποδοτική λειτουργία του πρωτοκόλλου με τη διαδικασία εισαγωγής timeouts προκειμένου να αποκαταστήσει τη ροή δεδομένων. Εξάλλου υψηλά επίπεδα jitter σε UDP εφαρμογές είναι μη αποδεκτά στις περιπτώσεις όπου οι εφαρμογές είναι real-time, όπως σήματα ήχου ή κινούμενης εικόνας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το jitter έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση του σήματος, έτσι ώστε να μπορεί να ανακτηθεί μόνο μέσω της αύξησης της ουράς του παραλήπτη. Η αύξηση αυτή επηρεάζει την καθυστέρηση του σήματος και καθιστά τη διατήρηση τέτοιων αλληλεπιδραστικών εφαρμογών πολύ επιβαρυντική για το δίκτυο.

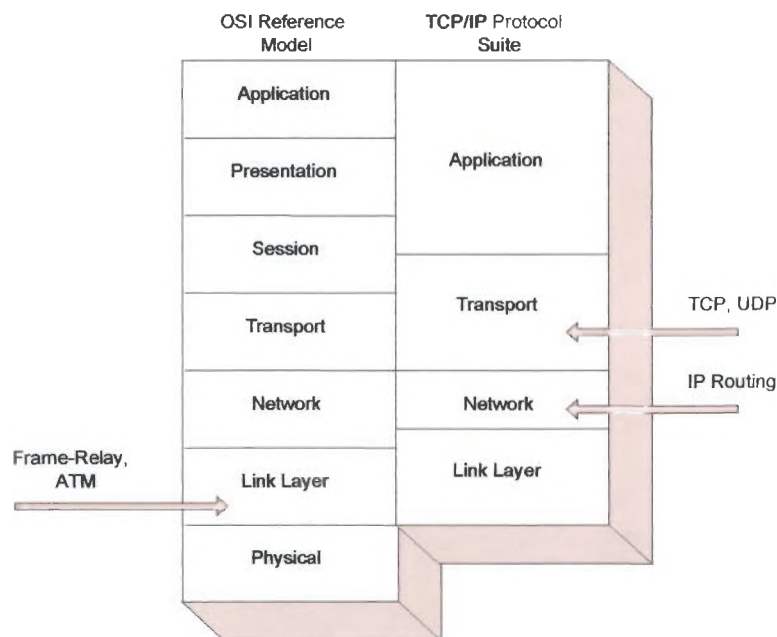
Bandwidth: είναι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να διατηρηθεί μεταξύ δύο σημείων του δικτύου. Ο παράγοντας αυτός περιορίζεται τόσο από τη φυσική διαμόρφωση του μονοπατιού κίνησης των δεδομένων (που επιφέρει ένα άνω όριο στο διαθέσιμο εύρος ζώνης) όσο και από τον αριθμό των μονοπατιών που μοιράζονται το ίδιο link του φυσικού μέσου με κάθε τμήμα του συγκεκριμένου μονοπατιού.

Reliability: αναφέρεται ως ένα από τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος μετάδοσης και μετράει τον μέσο ρυθμό λαθών που οφείλονται στο μέσο μετάδοσης. Η αξιοπιστία μπορεί

να θεωρηθεί σαν ένα αποτέλεσμα της λάθος ρύθμισης ή της χαμηλής απόδοσης του switching του συστήματος, οπότε η σειρά των μεταδιδόμενων πακέτων μπορεί να αλλοιωθεί εφόσον η άφιξη των πακέτων στον δέκτη γίνεται με άλλη σειρά από αυτή που μεταδόθηκαν αρχικά από τον αποστολέα ή κάποια πακέτα απορρίπτονται λόγω προσωρινών loops. Μη αξιόπιστα ή επιρρεπή σε λάθη μονοπάτια μετάδοσης σε ένα δίκτυο επιφέρουν την επαναμετάδοση των χαμένων πακέτων. Το TCP δεν μπορεί να διακρίνει μεταξύ των απωλειών λόγω καταστροφής των πακέτων και των απωλειών λόγω συμφόρησης, οπότε η απώλεια πακέτων προκαλεί την ίδια συμπεριφορά από τον αποστολέα: την προσπάθεια για αποφυγή συμφόρησης, δηλαδή την μείωση των ρυθμών μετάδοσης του αποστολέα μέσω της ενεργοποίησης αλγορίθμων αποφυγής συμφόρησης, παρ' όλο που στο δίκτυο τελικά μπορεί να μην υπάρχει συμφόρηση. Στις UDP βασισμένες εφαρμογές ήχου και κινούμενης εικόνας, η έλλειψη αξιοπιστίας προκαλεί παραμόρφωση του αρχικού αναλογικού σήματος στον παραλήπτη.

## Μηχανισμοί για QoS σύμφωνα με το OSI μοντέλο

Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί και αρχιτεκτονικές για την διαφοροποίηση της κίνησης στο Internet. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε



• Εικόνα 1: Δομή του OSI μοντέλου όπως θα εξεταστεί από την QoS άποψη

τρεις βασικές κατηγορίες που αντιστοιχούν στα τρία επίπεδα του OSI μοντέλου (βλ. Εικόνα 1): το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο σύνδεσης και το επίπεδο δικτύου.

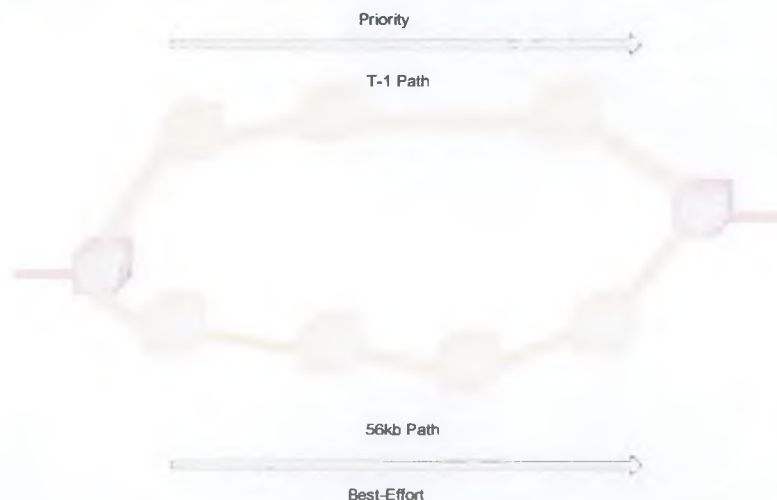
### Μηχανισμοί για QoS στο φυσικό επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο αποτελείται από τη φυσική καλωδίωση (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 links στις περιπτώσεις που το πρωτεύων φυσικό μονοπάτι χαθεί για κάποιο λόγο. Ωστόσο πολλές φορές η χρήση όλου του διαθέσιμου εύρους τόσο από το πρωτεύων όσο και από τα backup μονοπάτια φαίνεται ελκυστική. Στις περιπτώσεις αυτές η απόδοση μπορεί να γίνει προβληματική, όταν 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 backup μονοπάτι το οποίο μπορεί να έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά εύρους ζώνης και καθυστέρησης. Μια τέτοια ρύθμιση οδηγεί σε μειωμένη reliability και αυξημένο jitter, εκτός εάν το πρωτόκολλο δρομολόγησης έχει σχεδιαστεί προσεχτικά έτσι ώστε να σταθεροποιεί την τμηματοποίηση της κίνησης μεταξύ των δύο μονοπατιών.

### Διαφοροποίηση φυσικών μονοπατιών

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



• Εικόνα 2: Παράδειγμα διαφοροποίησης φυσικών μονοπατιών

Στην Εικόνα 2 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 της μεγαλύτερης καθυστέρησης δορυφορικού μονοπατιού, ενώ η κίνηση υψηλότερης προτεραιότητας δρομολογείται μέσω του συστήματος επίγειων καλωδίων. Η παραπάνω προσέγγιση είναι πρωτόγονη και έχει πολλά μειονεκτήματα.

### *Δρομολόγηση βάση του προορισμού και επιλογή μονοπατιού*

Η μέθοδος σύμφωνα με την οποία τα IP πακέτα δρομολογούνται στο Internet βασίζεται στην πληροφορία για τον προορισμό τους που περιλαμβάνεται στην επικεφαλίδα του κάθε πακέτου. Αυτή η μέθοδος καλείται 'Δρομολόγηση βάση του προορισμού' και λόγω του ότι τα πακέτα δρομολογούνται βάση 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 βάση της IP πηγής της. Συνεπώς είναι δύσκολο να γίνει η επιλογή μονοπατιού βάση των χαρακτηριστικών της πηγής της κυκλοφορίας, αφού η επιλογή μονοπατιού γίνεται βάση της ταυτότητας του παραλήπτη.

*Βάση 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 βάση του προορισμού δεν μπορεί να ρυθμίσει τα QoS μονοπάτια τόσο της εισερχόμενης όσο και της εξερχόμενης προς ένα οποιοδήποτε προορισμό κυκλοφορίας. Κάθε QoS μονοπάτι καθορίζεται βάση 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.*

Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό θέμα για τις διπλής κατεύθυνσης UDP-based ροές κυκλοφορίας, όπου ο δέκτης ελέγχει το επίπεδο ποιότητας της μετάδοσης και όχι ο παραλήπτης. Είναι επίσης σημαντικό για το TCP, όπου η ροή δεδομένων και η αντίθετη κατεύθυνσης ACK ροή μπορεί να ακολουθήσουν μονοπάτια διαφορετικής ποιότητας. Δεδομένου ότι ο αποστολέας προσαρμόζει το ρυθμό μετάδοσής του μέσω σηματοδότησης, που διανύει όλο το round trip, η προκύπτουσα ποιότητα της συνολικής ροής επηρεάζεται από το χαμηλότερο από τα δύο επίπεδα ποιότητας το μονοπατιού προς τον προορισμό και του αντίθετου μονοπατιού προς τον αποστολέα.

### *TCP και συμμετρική επιλογή μονοπατιού*

Η αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων (TCP) απαιτεί ροή δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις-κάθε μετάδοση που αρχικοποιείται από έναν συγκεκριμένο host (αποστολέα) γενικά απαιτεί την αποστολή κυκλοφορίας ελέγχου από τον παραλήπτη. Αυτή η αντίστροφη ροή δεδομένων χρησιμοποιείται για να καθορίσει την επιτυχία της μετάδοσης, την ενδεχομένως μη ταξινομημένη παραλαβή 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 προώθησης των δεδομένων στον παραλήπτη, δίνοντάς του τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσει το ρυθμό ροής δεδομένων προκειμένου να κάνει βέλτιστη χρήση του μεριδίου του στο μέσο προς τον προορισμό. Επομένως για μια αξιόπιστη ροή κυκλοφορίας που μεταδίδεται κατά μήκους 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 Internet αποτελούν έναν προβληματικό παράγοντα σε συνάρτηση με την ευαίσθητη σε προκαλούμενη 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 domains δια μέσω των οποίων η κυκλοφορία διακινείται στο Internet. Είναι μη ρεαλιστική η απαίτηση για δρομολόγηση συμμετρικών μονοπατιών στο Internet, 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.

### ***Μηχανισμοί για QoS στο επίπεδο σύνδεσης***

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 και του ATM στα LANs.

### **ATM**

Το ATM είναι μια από τις λίγες τεχνολογίες μετάδοσης που παρέχουν ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων μεγαλύτερες των 155Mbps σήμερα. Εκτός από τους υψηλής ταχύτητας ρυθμούς bits, το ATM παρέχει ένα πολύπλοκο υποσύνολο από μηχανισμούς διαχείρισης της κυκλοφορίας, αποκατάστασης Virtual Circuits (VCs) και συσχετισμού των παραμέτρων για QoS με τα VCs αυτά. Ωστόσο οι υποβόσκοντες μηχανισμοί QoS μεταδόσεων δεν χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία των οργανισμών που χρησιμοποιούν το ATM σαν εργαλείο μετάδοσης δεδομένων για Internet δίκτυα. Το ATM χρησιμοποιείται κυρίως λόγω των μεγάλων ταχυτήτων μετάδοσης που υποστηρίζει και της ευελιξίας για πολύπλεξη που παρέχεται στις διάφορες ATM υλοποιήσεις.

### ***Σηματοδосία και δρομολόγηση στο ATM***

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι σηματοδοσίας στα ATM δίκτυα: το User-to-Network Interface (UNI) και το Network-to-Network Interface (NNI), που ορισμένες φορές αναφέρεται σαν Network-to-Node Interface. Η UNI σηματοδοσία χρησιμοποιείται μεταξύ τελικών συστημάτων συνδεδεμένων μεταξύ τους με ATM, όπως είναι οι δρομολογητές και προσαρτημένοι σε δίκτυο ATM σταθμοί εργασίας. Η σηματοδοσία NNI χρησιμοποιείται μεταξύ switches μέσα στο ίδιο διαχειριστικό ATM switch δίκτυο. Η σηματοδοσία UNI μετατρέπεται από το ATM switch εισόδου σε NNI σηματοδοσία, και στη συνέχεια μετατρέπεται αντίστροφα από NNI σε UNI στο ATM switch εξόδου.

Το PNNI είναι ένα δυναμικό πρωτόκολλο σηματοδοσίας και δρομολόγησης που τρέχει στα ATM δίκτυα και αρχικοποιεί τα SVCs (Switched Virtual Circuits). Χρησιμοποιεί έναν πολύπλοκο αλγόριθμο για τον καθορισμό του καλύτερου μονοπατιού μέσα από τα switches του ATM και για την επαναδρομολόγηση στις περιπτώσεις που ένα VC αποτυγχάνει. Ο καθορισμός του καλύτερου μονοπατιού γίνεται με υπολογισμούς

βασισμένους στα κόστη που αποδίδονται στα links μεταξύ δύο switches. Τα κόστη αυτά μπορούν να διαμορφωθούν από το διαχειριστή του δικτύου προκειμένου να καθοριστούν προτιμώμενα links στη συγκεκριμένη τοπολογία switches.

Το PNNI παρέχει από μόνο του μια έννοια QoS στα ATM δίκτυα, αφού σε αντίθεση με άλλα link-state πρωτόκολλα δρομολόγησης, το PNNI όχι μόνο 'γνωστοποιεί' τις μετρικές των links στο ATM δίκτυο, αλλά επίσης 'γνωστοποιεί' πληροφορία και για τους κόμβους του δικτύου, όπως την εσωτερική κατάσταση κάθε switch και τη συμπεριφορά της μεταφερόμενης κίνησης μεταξύ των switches του δικτύου.

#### *Η προστασία των απαιτήσεων των εφαρμογών από το ATM*

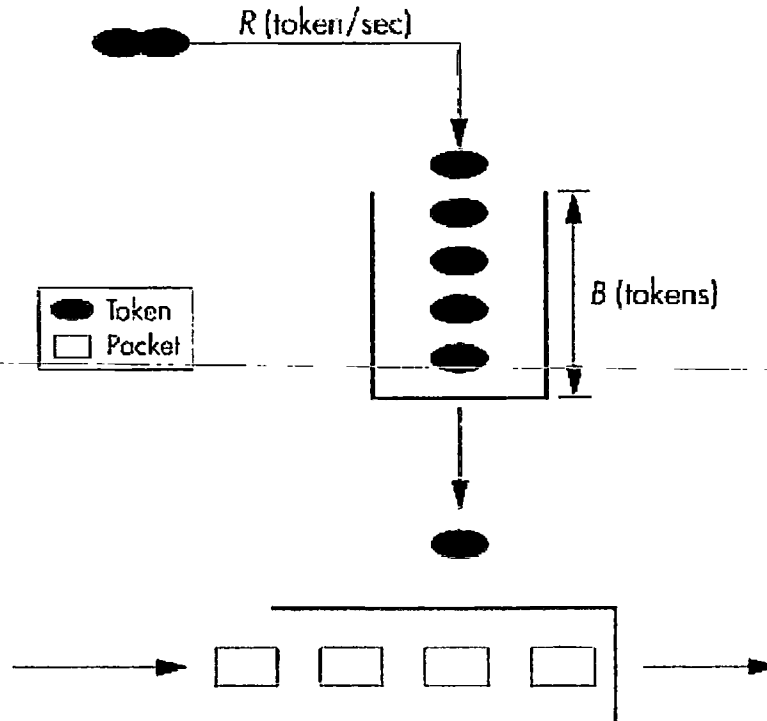
Οι μηχανισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται από το δίκτυο ATM για να εξασφαλίσουν στις εφαρμογές την ποιότητα υπηρεσίας που απαιτούν από το δίκτυο είναι οι εξής:

- **Connection Admission Control (CAC):** Είναι η διαδικασία που ακολουθεί ένα switch στο άκρο του virtual circuit που ζητείται να δημιουργηθεί, προκειμένου να αποφασίσει αν η αίτηση για SVC ή PVC θα εξυπηρετηθεί, θα διαπραγματευτεί ή θα απορριφθεί. Το δίκτυο αν έχει τους αναγκαίους πόρους δέχεται τη σύνδεση, ειδάλως την απορρίπτει. Επειδή τα δίκτυα ATM είναι προσανατολισμένα στη σύνδεση (connection oriented), κάθε φορά που γίνεται αποδεκτή μια σύνδεση δεσμεύονται πόροι κατά μήκος του μονοπατιού που συνδέει τα δύο άκρα της. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για να κάνουν δέσμευση πόρων πρέπει να ικανοποιούν δύο αντικρουόμενους στόχους. Πρέπει φυσικά να προστατεύουν τις ήδη υπάρχουσες συνδέσεις και να μην επιτρέπουν νέες συνδέσεις όταν είναι δυνατό να παραβιαστούν οι απαιτήσεις μιας ήδη υπάρχουσας σύνδεσης. Επίσης θα πρέπει να μεγιστοποιούν τον αριθμό των συνδέσεων που θα γίνουν αποδεκτές, διότι έτσι θα χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικότερα το δίκτυο.
- **Usage Parameter Control (UPC):** Ο βασικός στόχος του UPC είναι να προστατέψει το δίκτυο από εσκεμμένη ή κατά λάθος παρέμβαση (από πραγματικούς χρήστες ή προσκείμενα υποδίκτυα) στην κατανομή των πόρων, είτε λόγω κάποιου προβλήματος, είτε κακοπροαίρετα. Και στις δύο περιπτώσεις το δίκτυο πρέπει να προστατεύσει τις υπόλοιπες συνδέσεις και γι' αυτό ενεργοποιούνται οι μηχανισμοί ελέγχου της κίνησης. Ελέγχεται η εγκυρότητα των VPI και/ή VCI τιμών και η κίνηση που εισέρχεται στο δίκτυο προκειμένου να διαπιστωθεί να συμμορφώνεται με το προκαθορισμένο συμβόλαιο κίνησης (traffic contract). Όταν το δίκτυο ανιχνεύσει ότι παραβιάζεται το συμβόλαιο κίνησης, τότε μπορεί είτε να απορρίψει κάποια cell, είτε να τους αλλάξει το πεδίο προτεραιότητας (CLP: Cell Loss Priority) έτσι ώστε αν κάποιος άλλος κόμβος του δικτύου παρουσιάσει πρόβλημα συμφόρησης να απορρίψει πρώτα αυτά τα cell.
- **Cell Loss Priority Control:** Κάθε εφαρμογή έχει τη δυνατότητα να κατηγοριοποιήσει την κίνηση που δίνει στο δίκτυο σε δύο επίπεδα

προτεραιότητας, ένα χαμηλό και ένα υψηλό. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στην εφαρμογή να ζητήσει από το δίκτυο κάποια ποιότητα υπηρεσίας που απαιτείται από τη ροή πληροφορίας υψηλής προτεραιότητας (έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές που διαχωρίζουν την πληροφορία ανάλογα με τη σπουδαιότητά της με κυριότερο εκπρόσωπο την κωδικοποίηση video σύμφωνα με το πρότυπο MPEG-2) και φυσικά να πληρώσει για την υπηρεσία αυτή, αλλά ταυτόχρονα να εκμεταλλευτεί το δίκτυο όταν δεν υπάρχει κίνηση για να επιτύχει καλύτερη ποιότητα στέλνοντας επιπλέον πληροφορία. Αν το δίκτυο δεν έχει τη δυνατότητα να προωθήσει την επιπλέον πληροφορία τότε θα την απορρίψει. Με αυτό τον τρόπο γίνεται επίσης καλύτερη χρήση των δικτυακών πόρων. Το δίκτυο προστατεύει την κίνηση υψηλής προτεραιότητας χρησιμοποιώντας διαφορετικούς μηχανισμούς για τα δύο είδη κίνησης.

- **Traffic Shaping:** Οι traffic shaping μηχανισμοί χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ποσότητας και του όγκου της κίνησης που αποστέλλεται σε ένα δίκτυο και του ρυθμού με τον οποίο αυτή η κίνηση αποστέλλεται. Πολλές φορές απαιτείται ο καθορισμός traffic flows στα σημεία εισόδου της κίνησης στο δίκτυο, έτσι ώστε να μπορέσει ο μηχανισμός traffic shaping ελέγχου να διαιρέσει την κίνηση σε ξεχωριστές ροές και να τις διαμορφώσει κατάλληλα. Άλλες φορές, αν ένα cell φθάσει σε μικρό χρονικό διάστημα από το προηγούμενο cell, τότε αποθηκεύεται σε ένα buffer και μεταδίδεται αργότερα έτσι ώστε ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών cell να συμφωνεί με αυτόν που είχε ζητηθεί από το δίκτυο. Έτσι αλλάζουν τα χαρακτηριστικά της κίνησης ώστε να μην υπάρχει αντίθεση με το traffic contract. Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι για την εφαρμογή traffic shaping, κάθε μια από τις οποίες έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και χρησιμοποιείται για διαφορετικό σκοπό: η leaky-bucket υλοποίηση και η token-bucket υλοποίηση (βλ. Εικόνα 3).
- **Network Resource Management (NRM):** Ρύθμιση της λειτουργίας των δικτυακών συσκευών ώστε να συμπεριφέρονται διαφορετικά ανάλογα με την υπηρεσία που έχει ζητηθεί. Έτσι για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί μηχανισμοί για τη χρονοδρομολόγηση των πακέτων και τη δέσμευση των πόρων, ώστε να προστατεύονται οι συνδέσεις μιας κατηγορίας υπηρεσίας από μια άλλη.
- **Απόρριψη στο επίπεδο frame:** Τα υψηλότερα από το ATM επίπεδα ορίζουν πλαίσια πληροφορίας (frames) που είναι αρκετά μεγαλύτερα από το μέγεθος των cell και τα οποία στη συνέχεια για να μεταδοθούν χωρίζονται στο υποεπίπεδο SAR (Segmentation And Reassemble) σε cells. Αν απορριφθεί κάποιο cell του frame, τότε όλο το frame είναι άχρηστο και πρέπει να επαναμεταδοθεί. Άρα, αν μια δικτυακή συσκευή απορρίψει cell κάποιου frame, τότε την επόμενη φορά που θα αναγκαστεί να απορρίψει ξανά ένα cell είναι προτιμότερο το cell αυτό να είναι του ίδιου frame. Έτσι ένα δίκτυο σε συμφόρηση μπορεί να απορρίψει ένα τμήμα της κίνησης στο AAL (ATM Adaptation Layer), αντί για το

επίπεδο cell, προκειμένου να μεγιστοποιήσει την αποτελεσματικότητα των απορρίψεων.



• Εικόνα 3: Token bucket filter: Η ροή των πακέτων μέσα από το δρομολογητή υλοποιείται με την εισαγωγή ενός 'bucket' βάθους  $B$  που τροφοδοτείται με tokens με ένα ρυθμό των  $R$  tokens ανά δευτερόλεπτο, η ποσότητα των οποίων καθορίζει την πολιτική απέναντι σε κάθε ροή δεδομένων

- **Available Bit Rate Flow Control:** Το πρωτόκολλο ελέγχου ροής ABR επιτρέπει στις εφαρμογές να μαθαίνουν την κατάσταση του δικτύου και μπορούν να προσαρμόσουν τον ρυθμό με τον οποίο εισάγουν cell στο δίκτυο, ώστε να αποφευχθούν καταστάσεις συμφόρησης και να μοιραστεί δίκαια το bandwidth μεταξύ των χρηστών. Παρέχεται επίσης ένας crankback μηχανισμός για την επαναδρομολόγηση της κίνησης μακριά από έναν συγκεκριμένο κόμβο όταν προκύψουν απώλειες ή συμφόρηση, ή όταν υπάρχει κίνδυνος να παραβιαστεί το traffic contract λόγω μιας τοπικής CAC απόφασης. Με τον μηχανισμό αυτό, ένας κόμβος ειδοποιεί τον κόμβο από τον οποίο προέρχεται η πληροφορία ότι δεν θα συνεχίσει να συμμετέχει στην υπάρχουσα σύνδεση και δεν μπορεί να ακολουθήσει τις προϋποθέσεις για QoS.

#### Παράμετροι κίνησης πηγής στο ATM

Στα ATM δίκτυα κάθε κίνηση που προέρχεται από μια πηγή πληροφορίας χαρακτηρίζεται με τη βοήθεια κάποιων παραμέτρων οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια:

- **Peak Cell Rate (PCR):** Χαρακτηρίζει το μέγιστο ρυθμό με τον οποίο μπορεί η πηγή να εισάγει πληροφορία στο δίκτυο. Η ακριβής σημασία της

εξαρτάται από την κατηγορία υπηρεσίας που χρησιμοποιείται. Στην περίπτωση της υπηρεσίας CBR (Constant Bit Rate) ορίζει τον ρυθμό με τον οποίο παράγονται cell. Στην περίπτωση του rt-VBR ή του nrt-VBR ορίζει το ρυθμό με τον οποίο παράγονται cell για μικρά όμως χρονικά διαστήματα (δηλαδή σποραδικά η πηγή μπορεί να παράγει σε αυτό το ρυθμό). Στην περίπτωση του ABR καθορίζει το μέγιστο ρυθμό που εισάγονται cell, ο οποίος όμως μπορεί και να μην επιτευχθεί διότι δεν το επιτρέπει το δίκτυο. Πρέπει να παρατηρηθεί ότι στα δίκτυα ATM ο ρυθμός αυτός δεν είναι το αντίστροφο του ελάχιστου χρόνου μεταξύ διαδοχικών cell. Γενικά στα δίκτυα ATM, η τιμή του PCR, μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή.

- **Sustainable Cell Rate (SCR):** Στην περίπτωση των υπηρεσιών rt-VBR και nrt-VBR καθορίζει το μέσο ρυθμό με τον οποίο παράγει η πηγή cell σε ένα μεγάλο παράθυρο χρόνου.
- **Maximum Burst Size (MBS):** Στην περίπτωση των υπηρεσιών rt-VBR και nrt-VBR καθορίζει τη μέγιστη διάρκεια κατά την οποία η πηγή μπορεί να παράγει cell με τιμή κοντά στο PCR.
- **Minimum Cell Rate (MCR):** Καθορίζει τον ελάχιστο ρυθμό που πρέπει να εξυπηρετήσει το δίκτυο σε μια σύνδεση που ανήκει στην κατηγορία ABR.

Οι παραπάνω παράμετροι ονομάζονται παράμετροι κίνησης πηγής και μαζί με μια άλλη παράμετρο που καλείται CDTV (Cell Delay Variation Tolerance) καθώς και τη μέθοδο που καθορίζει αν κάποιο cell ικανοποιεί τα χαρακτηριστικά κίνησης για τα οποία έχει δεσμευθεί το δίκτυο ότι θα εξυπηρετήσει, αποτελούν τον connection traffic descriptor.

Η παράμετρος Cell Delay Variation Tolerance (CDVT) είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι αποτελεί ένα άνω φράγμα στη διακύμανση που μπορεί να έχει ο χρόνος επεξεργασίας ενός cell. Κάθε φορά που πρέπει να γίνει επεξεργασία και μετάδοση ενός cell εισάγονται σε αυτό τυχαίες καθυστερήσεις, οι οποίες μπορεί να οφείλονται στο ότι κάποιο cell από άλλη σύνδεση χρησιμοποιεί το φυσικό μέσο, ή διότι μεταδίδονται cell διαχείρισης (ειδικά cell που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφορίας που αφορά την κατάσταση των δικτυακών συσκευών και των δύο άκρων της σύνδεσης). Οι τυχαίες αυτές καθυστερήσεις επηρεάζουν την ποιότητα της σύνδεσης με διάφορους τρόπους. Ο πιο χαρακτηριστικός είναι το ότι εξαιτίας μεγάλης καθυστέρησης το cell μπορεί πλέον να μην έχει καμιά χρησιμότητα (έχει εκπνεύσει ο χρόνος που θα έπρεπε να είχε φτάσει στον παραλήπτη). Η παράμετρος CDVT καθορίζει ένα άνω όριο στο πόση καθυστέρηση μπορεί να εισαχθεί.

Οι παραπάνω παράμετροι ισχύουν για τις διάφορες κατηγορίες υπηρεσιών στα ATM δίκτυα, όπως θα περιγραφούν στη συνέχεια. Βέβαια δεν συμμετέχουν όλες οι παραπάνω παράμετροι σε κάθε κατηγορία υπηρεσιών. Κάθε φορά που ένα τελικό σύστημα ζητά την δημιουργία ενός ATM SVCs (Switched Virtual Connection), καθορίζει στο switch σύνδεσης με το ATM δίκτυο τον τύπο της υπηρεσίας που απαιτεί, τις παραπάνω παραμέτρους κίνησης για τη ροή δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις και τις QoS παραμέτρους για τη σύνδεση όπως αυτές ορίζονται στην επόμενη παράγραφο.

### QoS παράμετροι της απόδοσης στα ATM δίκτυα

Στο σημείο αυτό και πριν αναφερθούν οι κατηγορίες υπηρεσιών του ATM χρειάζεται να αναφερθούν οι QoS παράμετροι της απόδοσης στα ATM δίκτυα όπως ορίστηκαν από το ATM Forum's Traffic Management Specification 4.0.

Η ποιότητα της υπηρεσίας που παρέχει ένα δίκτυο ATM μετράται με ένα σύνολο από παραμέτρους που χαρακτηρίζουν την απόδοση της σύνδεσης στο επίπεδο ATM. Τρεις από αυτές τις παραμέτρους είναι διαπραγματεύσιμες μεταξύ του συστήματος πρόσβασης στο δίκτυο και του δικτύου και μια ή περισσότερες παράμετροι μπορούν να προσφερθούν μεμονωμένα κατά σύνδεση. Οι διαπραγματεύσιμες παράμετροι είναι:

- **Peak-to-peak Cell Delay Variation (Peak-to-Peak CDV):** Η διακύμανση από την καθυστέρηση μετάδοσης (peak-to-peak CDV) ορίζεται ως τη διαφορά μεταξύ της χειρότερης καθυστέρησης που μπορεί να έχει ένα cell ώστε να θεωρείται έγκυρο, (ή με άλλα λόγια του maxCTD), και της καλύτερης, που ισούται με τον ελάχιστο χρόνο για τη μετάδοση από άκρο σε άκρο.
- **Maximum Cell Transfer Delay (maxCTD):** Ο χρόνος που χρειάζεται για τη μεταφορά ενός cell ορίζεται ως ο χρόνος από τη στιγμή ενός γεγονότος αναχώρησης, από το σημείο μέτρησης της αφετηρίας, μέχρι το γεγονός εισόδου στο σημείο μέτρησης του προορισμού. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται Cell Transfer Delay (CTD) και είναι το άθροισμα των χρόνων που χρειάζεται για να μεταφερθεί το cell σε γειτονικές δικτυακές συσκευές, καθώς και ο χρόνος που δαπανά σε κάθε δικτυακή συσκευή (χρόνος επεξεργασίας του cell και προώθησής του). Ο μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος για την μετάδοση ενός cell μετρημένος σε milliseconds ονομάζεται maxCTD και καθορίζει το χρόνο πέρα από τον οποίο αν ληφθεί το cell τότε θεωρείται εκπρόθεσμο και πρέπει να απορριφθεί. Θεωρείται τοπολογική μετρική για τις κατηγορίες υπηρεσιών CBR, rt-VBR και nrt-VBR του ATM, ενώ δεν χρησιμοποιείται για τις UBR και ABR.
- **Cell Loss Ratio (CLR):** Η παράμετρος αυτή ισούται με το λόγο των κελιών που είτε έχουν χαθεί και άρα δεν έφθασαν στον προορισμό, είτε καθυστέρησαν περισσότερο από maxCTD, προς το συνολικό αριθμό πακέτων που μεταδόθηκαν. Στον υπολογισμό αυτό δεν πρέπει να υπολογίζονται τα πακέτα τα οποία ανήκουν σε ομάδα N πακέτων που παρουσιάστηκαν πολλά προβλήματα (δηλαδή περισσότερα από M χαμένα ή καθυστερημένα πακέτα ή πακέτα που έλαβε το ένα άκρο της σύνδεσης χωρίς να έχουν σταλεί από το άλλο). Στην περίπτωση που η εφαρμογή καθορίζει ότι υπάρχουν δύο κατηγορίες πακέτων (υψηλής και χαμηλής προτεραιότητας ανάλογα αν το Cell Loss Priority bit είναι 0 ή 1), ορίζονται δύο CLR, το ένα για τα πακέτα με υψηλή προτεραιότητα και το άλλο για το σύνολο των πακέτων.

Δύο από αυτές τις διαπραγματεύσιμες παραμέτρους καλούνται παράμετροι καθυστέρησης (οι CDV και maxCTD), ενώ η τρίτη καλείται παράμετρος αξιοπιστίας (CLR).

Οι επόμενες τρεις παράμετροι θεωρούνται μη διαπραγματεύσιμες:

- Cell Error Ratio (CER): ορίζεται ως ο αριθμός των πακέτων που περιέχουν λάθος είτε στα περιεχόμενα, είτε στις επικεφαλίδες τους προς το συνολικό αριθμό των πακέτων που μεταδόθηκαν. Ομοίως, σε αυτή τη περίπτωση δεν πρέπει να υπολογιστούν τα πακέτα τα οποία ανήκουν σε ομάδα N πακέτων που παρουσιάστηκαν πολλά προβλήματα (δηλαδή περισσότερα από M χαμένα ή καθυστερημένα πακέτα ή πακέτα που έλαβε το ένα άκρο της σύνδεσης χωρίς να έχουν σταλεί από το άλλο).

$$CER = \frac{\text{Errored cells}}{\text{Successfully Transferred Cells}} + \text{errored cells}$$

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

$$SECBR = \frac{\text{Severely Errored Cell Blocks}}{\text{Total Transmitted Cell Blocks}}$$

- Cell Misinsertion Rate (CMR): Ο αριθμός των πακέτων που ενώ λήφθηκαν από το ένα άκρο δεν είχαν αποσταλεί από το άλλο. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται ως ο λόγος του αριθμού αυτών των πακέτων προς το χρονικό διάστημα που παρατηρήθηκαν. Και σε αυτή την περίπτωση δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο υπολογισμό τα cell που μετρήθηκαν στο SECBR.

$$CMR = \frac{\text{Misinserted Cells}}{\text{Time Interval}}$$

#### *Κατηγορίες Υπηρεσιών του ATM*

Ένα από τα πιο ανεκμετάλλευτα χαρακτηριστικά του ATM είναι η δυνατότητα που παρέχει για διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης ενός virtual circuit, το οποίο εξάλλου μπορεί να μετατραπεί σε PVC της ίδιας τάξης κίνησης. Ωστόσο ο δυναμικός χαρακτήρας των SVCs είναι πιο ελκυστικός από τη στατική ρύθμιση των PVCs. Παρόλο που τα PVCs χρειάζεται να ρυθμιστούν χειροκίνητα προκειμένου να παρέχουν κάποιο επίπεδο εξυπηρέτησης, το φαινόμενο αυτό συναντάται και σε πολλές περιπτώσεις SVCs. Παρ' όλο που είναι δυνατόν να επιτραπεί στο PNNI να επιλέξει τα καλύτερα από άκρο σε άκρο μονοπάτια για VCs μέσα στο ATM δίκτυο, είναι σύνηθες για τους διαχειριστές των δικτύων να ορίζουν οι ίδιοι διαχειριστικές παραμέτρους

για τις συνδέσεις, που ονομάζονται *administrative weights* προκειμένου να οδηγήσουν το PNNI να αποφασίσει υπέρ ενός link αντί για κάποιο άλλο.

Στη συνέχεια θα εξεταστεί κάθε μια από τις κατηγορίες υπηρεσιών. Στον Πίνακα 1 φαίνονται ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά τους καθώς και η αντιστοιχία τους με τις ATM Transfer Capabilities όπως ορίζονται από την ITU-T I.371.

ATM Forum Traffic Management 4.0	ITU-T I.371	
ATM Service Category	ATM Transfer Capability	Τυπική χρήση
Constant Bit Rate (CBR)	Deterministic Bit Rate (DBR)	Real-time εφαρμογές, εγγύηση QoS
Real-Time Variable Bit Rate (rt-VBR)	(θα μελετηθεί)	Στατιστική πολύπλεξη, real-time εφαρμογές
Non-Real-Time Variable Bit Rate (nrt-VBR)	Statistical Bit Rate	Στατιστική πολύπλεξη
Available Bit Rate (ABR)	Available Bit Rate (ABR)	Resource exploitation, έλεγχος ανατροφοδότησης
Unspecified Bit Rate (UBR)	Δεν υπάρχει αντιστοιχία	Υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας, χωρίς εγγυήσεις
Δεν υπάρχει αντιστοιχία	ATM Block Transfer	Επίπεδο ριπής και έλεγχος ανατροφοδότησης

• Πίνακας 1:Κατηγορίες QoS υπηρεσιών στο ATM

Σε κάθε μία από τις κατηγορίες υπηρεσιών, οι παράμετροι που καθορίζουν το ζητούμενο QoS της εφαρμογής είναι αυτές που ορίστηκαν σαν οι διαπραγματεύσιμες παράμετροι απόδοσης στα ATM δίκτυα: *maxCTD*, *peak-to-peak CDV* και *CLR*. Οι πέντε υπάρχουσες κατηγορίες υπηρεσιών όπως ορίζονται από το ATM Forum είναι:

- Constant Bit Rate – CBR
- Real-Time Variable Bit Rate – rt-VBR
- Non-Real-Time Variable Bit Rate – nrt-VBR
- Available Bit Rate – ABR
- Unspecified Bit Rate – UBR



### **Constant Bit Rate – CBR**

Η CBR υπηρεσία χρησιμοποιείται για υπηρεσίες που απαιτούν bandwidth σταθερό κατά τη διάρκεια της σύνδεσης. Το ποσό του bandwidth δίνεται από την τιμή της παραμέτρου PCR, που εκφράζει πόσο συχνά μπορεί να γίνει είσοδος πακέτων στο δίκτυο.

Η δέσμευση του δικτύου στις εφαρμογές τύπου CBR, είναι ότι αν η εφαρμογή εισάγει cell στο δίκτυο με ρυθμό ίσο ή μικρότερο του PCR, τότε το δίκτυο θα έχει δεσμεύσει τους απαραίτητους πόρους ώστε να μεταφερθούν χωρίς προβλήματα τα cell. Από το γεγονός αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η κατηγορία αυτή χρησιμοποιείται από εφαρμογές πραγματικού χρόνου που έχουν αυστηρές απαιτήσεις από το δίκτυο και απαιτούν ο ρυθμός παράδοσης cell στον προορισμό να μην μεταβάλλεται αρκετά από το PCR. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η μετάδοση φωνής, video, αλλά και η εξομοίωση μιας μισθωμένης σύνδεσης. Στην υπηρεσία αυτή η εφαρμογή πρέπει να καθορίσει την ποιότητα που απαιτεί από το δίκτυο με τη βοήθεια των maxCTD, peak-to-peak CDV και CLR.

### **Real-Time Variable Bit Rate – rt-VBR**

Η κατηγορία αυτή απευθύνεται σε υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, δηλαδή υπηρεσίες που θέτουν αυστηρούς περιορισμούς στο χρόνο μεταφοράς των cell και τη διακύμανση του χρόνου αυτού. Έχει το χαρακτηριστικό ότι η εφαρμογή δεν μεταδίδει πακέτα με σταθερό ρυθμό. Για μεγάλα χρονικά διαστήματα ο ρυθμός μεταφοράς πληροφορίας είναι σταθερός και δίνεται από την παράμετρο Sustainable Cell Rate (SCR). Σποραδικά όμως και για διαστήματα που δεν υπερβαίνουν το Maximum Burst Size (MBS) ο ρυθμός μεταφοράς πληροφορίας μπορεί να υπερβαίνει το SCR, αλλά δεν πρέπει να ξεπερνά το PCR.

Η κατηγορία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από εφαρμογές που εκμεταλλεύονται τα χαρακτηριστικά και το είδος της πηγής για να μειώσουν το ρυθμό πληροφορίας που εισάγουν στο δίκτυο χρησιμοποιώντας τεχνικές συμπίεσης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μετάδοση video κωδικοποιημένου κατά MPEG-2. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτείται η μετάδοση πληροφορίας από πολλές πηγές πραγματικού χρόνου οι οποίες πολυπλέκονται στο χρόνο.

Και σε αυτή την υπηρεσία η εφαρμογή πρέπει να καθορίσει την ποιότητα που απαιτεί από το δίκτυο με τη βοήθεια των maxCTD, peak-to-peak CDV και CLR.

### **Non-Real-Time Variable Bit Rate – nrt-VBR**

Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιείται από εφαρμογές μη-πραγματικού χρόνου που εισάγουν δεδομένα στο δίκτυο με τη μορφή καταγισμού (δηλαδή σε μεγάλα χρονικά διαστήματα παράγεται μικρός ρυθμός πληροφορίας, αλλά υπάρχουν και διαστήματα στα οποία ο ρυθμός αυτός είναι πολύ μεγάλος). Τα χαρακτηριστικά κίνησης των εφαρμογών που χρησιμοποιούν την υπηρεσία αυτή είναι ίδια με αυτά της προηγούμενης υπηρεσίας και γι' αυτό εκφράζονται με τη βοήθεια των παραμέτρων PCR, SCR και MBS. Αυτό που διαφέρουν οι δύο κατηγορίες είναι οι απαιτήσεις ως προς το QoS που απαιτούν από το δίκτυο. Η κατηγορία αυτή δεν θέτει όρια στον μέγιστο επιτρεπόμενο χρόνο για τη μεταφορά του cell από άκρο σε άκρο, ούτε στη διακύμανση του χρόνου αυτού. Απαιτεί όμως, όπως και η προηγούμενη, μικρή πιθανότητα για απώλεια cell.

### **Available Bit Rate – ABR**

Και αυτή η κατηγορία απευθύνεται σε εφαρμογές μη-πραγματικού χρόνου. Η ειδοποιός διαφορά της σε σχέση με τις προηγούμενες κατηγορίες είναι ότι τα χαρακτηριστικά της κίνησης που εισάγεται στο δίκτυο από την πηγή μπορεί να αλλάξουν κατά τη διάρκεια της σύνδεσης. Αυτό σημαίνει για παράδειγμα ότι αλλάζει ο ρυθμός εισαγωγής πληροφορίας στο δίκτυο. Το δίκτυο, ανάλογα με την κατάστασή του, ενημερώνει την πηγή και καθορίζει το μέγιστο ρυθμό με τον οποίο μπορούν να παραχθούν cell. Ο μηχανισμός με τον οποίο ενημερώνεται η πηγή στηρίζεται σε κάποια ειδικά cells, που ονομάζονται Resource Management Cells (RM-cells). Τα cell αυτά φυσικά μπορούν να υπάρχουν και στις προηγούμενες κατηγορίες, αλλά δεν ορίζεται ένας μηχανισμός που να τα αξιοποιεί. Αν υπάρχουν τότε είναι στην ευθύνη των εφαρμογών να αποκωδικοποιήσουν την πληροφορία που μεταφέρουν. Οι εφαρμογές οι οποίες προσαρμόζουν το ρυθμό με τον οποίο παράγουν πληροφορία σε σχέση με τη γνώση που παίρνουν από το δίκτυο, αναμένεται ότι θα έχουν μικρή πιθανότητα για απώλεια cell και ότι θα μοιραστούν δίκαια τους πόρους του δικτύου. Η εφαρμογή δεν καθορίζει τα χαρακτηριστικά QoS που απαιτεί από το δίκτυο (παρότι το CLR θα είναι μικρό αν προσαρμόζεται στην κατάσταση του δικτύου). Καθορίζει όμως χαρακτηριστικά κίνησης που έχουν σχέση με το ρυθμό που μπορεί να εισαχθεί πληροφορία. Έτσι καθορίζουν ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο ρυθμό που αναπαρίστανται με τις παραμέτρους PCR και MCR. Ο ρυθμός μεταφοράς θα είναι μικρότερος του PCR αλλά δεν μπορεί να είναι μικρότερος του MCR.

### **Unspecified Bit Rate – UBR**

Χρησιμοποιείται και αυτή η κατηγορία από εφαρμογές μη-πραγματικού χρόνου. Το δίκτυο δεν δεσμεύεται να υποστηρίξει τα χαρακτηριστικά της κίνησης της εφαρμογής και γι' αυτό η εφαρμογή δεν καθορίζει παραμέτρους όπως είναι το PCR ή το SCR. Παρόλα αυτά, το δίκτυο μπορεί να καθορίσει το PCR που θα επιβάλλει στην εφαρμογή (το μέγιστο δηλαδή επιτρεπόμενο ρυθμό) και παράλληλα η εφαρμογή θα πρέπει να είναι σε θέση να μάθει την τιμή αυτή για να ρυθμίσει το ρυθμό που εισάγει κίνηση στο δίκτυο. Επίσης το δίκτυο δεν δεσμεύεται για τα χαρακτηριστικά του QoS που θα προσφέρει στην εφαρμογή, όπως είναι ο χρόνος μεταφοράς της πληροφορίας ή η πιθανότητα απώλειας cell. Άρα το δίκτυο θα προσπαθήσει να εξυπηρετήσει την εφαρμογή αλλά δεν δεσμεύεται από κανένα μέτρο. Έχει δηλαδή η κατηγορία αυτή τα χαρακτηριστικά του best-effort και γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές επικοινωνίας υπολογιστών όπως είναι η μεταφορά αρχείων και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Πρωτόκολλα υψηλότερων επιπέδων στα άκρα της σύνδεσης θα πρέπει να προσαρμόζουν τη λειτουργία της πηγής σύμφωνα με τις δυνατότητες του δικτύου εφαρμόζοντας αλγορίθμους ελέγχου ροής.

### *Τάξεις QoS στα ATM δίκτυα*

Υπάρχουν δύο τάξεις QoS στο ATM:

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

Οι τάξεις του QoS αφορούν κάθε μεμονωμένη σύνδεση και ορίζουν μια σειρά από παραμέτρους απόδοσης και αντικειμενικές τιμές για κάθε παράμετρο απόδοσης που

ορίζεται. Παραδείγματα τέτοιων παραμέτρων είναι οι CDV, CTD και CLR που έχουν ήδη περιγραφεί.

Ένα δίκτυο ATM μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές τάξεις QoS, ωστόσο μόνο μια από αυτές μπορεί να είναι unspecified. Είναι επίσης λογικό οι απόδοση του δικτύου να είναι τουλάχιστον ίση με αυτή που ζητήθηκε από κάποιο τερματικό σημείο ενός ATM δικτύου. Κάθε σύνδεση ATM δηλώνει την απαιτούμενη QoS με τον ορισμό μιας συγκεκριμένης τάξης. Στα PVCs το σύστημα διαχείρισης δικτύου (NMS) χρησιμοποιείται για να υποδεικνύει τις τάξεις του QoS μέσω της UNI σηματοδοσίας. Στα SVCs χρησιμοποιούνται τα τμήματα της πληροφορίας του πρωτοκόλλου σηματοδοσίας για να περάσει στο δίκτυο μέσω του UNI η QoS τάξη.

Ένας συνδυασμός από τάξεις QoS 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 προσανατολισμένη στη σύνδεση
- Κατηγορία Υπηρεσίας Δ. Μεταφορά δεδομένων χωρίς σύνδεση

Στις μέρες μας έχουν οριστεί οι παρακάτω τάξεις QoS:

- 1η Τάξη QoS: Υποστηρίζει QoS που απαντά στις απαιτήσεις της Κατηγορίας Υπηρεσίας Α. Έχει απόδοση παρόμοια με αυτή των ψηφιακών ιδιωτικών γραμμών.
- 2η Τάξη QoS: Υποστηρίζει QoS 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 QoS: Υποστηρίζει QoS που απαντά στις απαιτήσεις της Κατηγορίας Υπηρεσίας Γ. Μπορεί να υποστηρίξει πρωτόκολλα όπως το Frame Relay.
- 4η Τάξη QoS: Υποστηρίζει QoS που απαντά στις απαιτήσεις της Κατηγορίας Υπηρεσίας Δ. Μπορεί να υποστηρίξει πρωτόκολλα όπως το IP.

Η βασική διαφορά μεταξύ των specified και unspecified τάξεων είναι ότι στις unspecified 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 QoS.

## Εφαρμογή της QoS στα ATM δίκτυα

Από τη στιγμή που για κάποια σύνδεση έχουν δεσμευθεί τα άκρα της και το δίκτυο για κάποιο συμβόλαιο κίνησης, τότε πρέπει να αναπτυχθούν μηχανισμοί που να ελέγχουν αν ικανοποιείται το συμβόλαιο αυτό. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν να βοηθήσουν το χρήστη να διαφοροποιήσει τα χαρακτηριστικά της κίνησης που εισάγει στο δίκτυο (traffic shaping) και το δίκτυο να προστατευθεί από χρήστες οι οποίοι παραβιάζουν το συμβόλαιο κίνησης ηθελημένα ή όχι.

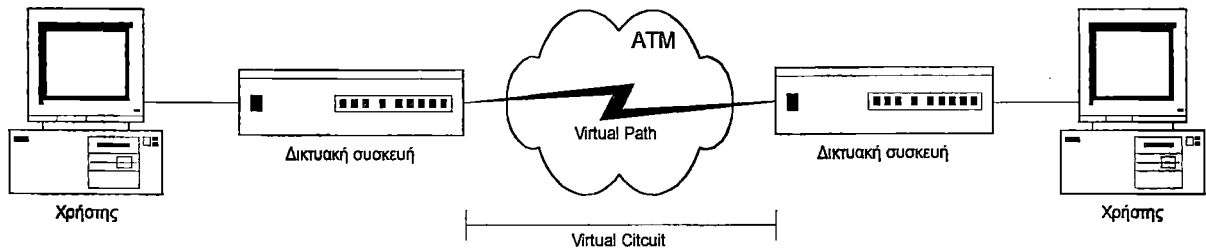
Ο μηχανισμός ο οποίος ελέγχει το ρυθμό ροής των cell, ονομάζεται γενικός αλγόριθμος ρυθμού cell (Generic Cell Rate Algorithm – GCRA). Ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόζεται σε κάθε cell και αποφασίζει αν ικανοποιείται το συμβόλαιο κίνησης. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να εφαρμοστεί από τις λειτουργίες ελέγχου κίνησης (UPC) για να ανιχνευτούν τα cell 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 cell που εισάγεται στο δίκτυο να ελέγχεται αν ικανοποιεί το συμβόλαιο κίνησης και αν όχι να γίνονται οι απαραίτητες ενέργειες. Όλο αυτό το σύνολο λειτουργιών που είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο θα δημιουργούσε τεράστιο πρόβλημα στα στοιχεία του δικτύου και ιδιαίτερα εκείνα μέσω των οποίων διέρχονται πολλές κλήσεις. Αν κάθε δικτυακή συσκευή υλοποιούσε αυτές τις λειτουργίες τότε θα μπορούσε να εξυπηρετήσει μόνο λίγες κλήσεις.

Για να επιλυθεί το πρόβλημα αυτό τα δίκτυα ATM ορίζουν δύο επίπεδα σύνδεσης, το επίπεδο νοητού μονοπατιού (virtual path) και το επίπεδο νοητού κυκλώματος (virtual circuit). 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 στην Εικόνα 4. 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 cell του VP χωρίς να ενδιαφέρονται σε ποιο VC ανήκουν.



• Εικόνα 4: 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 VP για να αποκατασταθεί η σύνδεση και άρα το VC. Μόνο αυτές οι δικτυακές συσκευές, που είναι στα άκρα των VP, γνωρίζουν την ύπαρξη του VC. Η τεχνική αυτή του καθορισμού των VP, διευκολύνει αρκετά τη δημιουργία μεγάλων δικτύων στα οποία για όλες τις συνδέσεις ικανοποιείται ένα συμβόλαιο κίνησης.

#### Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις παραμέτρους QoS στο ATM

Είναι πολύ σημαντικό να ληφθούν υπ' όψη παράγοντες που μπορούν να έχουν αντίκτυπο στις παραμέτρους QoS και οφείλονται σε ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά δημόσιων ή ιδιωτικών ATM δικτύων. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους η QoS μπορεί να υποβαθμιστεί και διάφορες δικτυακές λειτουργίες που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ικανότητα του δικτύου να παρέχει αξιόλογη QoS.

Ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους η παροχή QoS μπορεί να υποβαθμιστεί είναι η ίδια η αρχιτεκτονική των ATM switches. Ο σχεδιασμός του switching πίνακα μπορεί να μην είναι βέλτιστος ή η στρατηγική buffering μπορεί να μοιράζεται σε πολλά ports, σε αντίθεση με την παροχή buffering ανά port ή ανά VC. Επομένως η δυνατότητα για buffering μπορεί να γίνει ανεπαρκής και να προκύψουν συνθήκες συμφόρησης στο δίκτυο. Άλλες πηγές υποβάθμισης της QoS είναι λάθη που οφείλονται στο μέσο μετάδοσης, υπερβολικός φόρτος κίνησης, δέσμευση υπερβολικής χωρητικότητας για ένα συγκεκριμένο σύνολο συνδέσεων και απώλειες λόγω διακοπής λειτουργίας port, link ή switch. Ο πίνακας 2 παραθέτει τις παραμέτρους QoS σε σχέση με συγκεκριμένα σενάρια υποβάθμισης.

#### Συμπεράσματα για την QoS στο ATM

Η ενότητα αυτή διαπραγματεύεται τα προβλήματα που σχετίζονται με την ανάθεση εξ' ολοκλήρου στο ATM της εξασφάλισης QoS σε ένα δίκτυο. Τις περισσότερες φορές, λόγω της πολυπλοκότητας των μηχανισμών επίτευξης QoS και των αλληλεπιδράσεών τους με τα πρωτόκολλα και τις εφαρμογές των ανώτερων επιπέδων, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η σημασία ορισμένων παραγόντων.

Στην πραγματικότητα, η εγγενής πολυπλοκότητα του ATM και των σχετικών QoS μηχανισμών, αποτελούν τον βασικό λόγο για τον οποίο αποφεύγεται η χρήση των μηχανισμών αυτών. Ωστόσο η πολυπλοκότητα του ATM έχει κάποιο στόχο: την παροχή προνοητικών υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, όπως η δυναμική δέσμευση πόρων, η εγγύηση πόρων, η επαναδρομολόγηση των virtual circuits και η δημιουργία virtual circuit paths που να πληρούν τις προϋποθέσεις για QoS των συνδρομητών.

Παράγοντας	CER	SECBR	CLR	CMR	CTD	CDV
Propagation delay					X	
Λάθη του μέσου μετάδοσης	X	X	X	X		
Αρχιτεκτονική των switch			X		X	X
Χωρητικότητα buffer		X	X		X	X
Αριθμός διαδοχικών κόμβων	X	X	X	X	X	X
Φόρτος κίνησης			X	X	X	X
Απώλειες (port, link, switch)	X	X	X			
Κατανομή πόρων			X		X	X

• Πίνακας 2. Παράγοντες που επηρεάζουν τις παραμέτρους QoS στο ATM

Έχει παρατηρηθεί ότι τα πρωτόκολλα των υψηλότερων επιπέδων, όπως το TCP/IP, παρέχουν από άκρο σε άκρο μεταφορά στις περισσότερες περιπτώσεις και παρ' όλο που είναι δυνατόν να υλοποιηθούν QoS υπηρεσίες σε χαμηλότερα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων, όπως στο ATM, αυτές οι υπηρεσίες μπορεί να καλύπτουν μόνο ένα τμήμα του από άκρο σε άκρο μονοπατιού. Αυτό είναι και το βασικό πρόβλημα για την εξασφάλιση QoS μέσω ATM, όταν ο από άκρο σε άκρο φορέας της υπηρεσίας δεν είναι αποκλειστικά ATM. Τα αποτελέσματα της λήψης μέτρων για QoS σε αυτές τις περιπτώσεις μετριάζονται από την παραμόρφωση της κίνησης που προκαλείται στο τμήμα του μονοπατιού εκτός ATM, οπότε το συνολικό αποτέλεσμα είναι ανεπαρκές. Η παραμόρφωση αυτή προκαλείται από τις συσκευές προώθησης της κίνησης στο ATM δίκτυο και τα πρωτόκολλα των ανώτερων επιπέδων όπως το IP, TCP, UDP και άλλα.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι οι QoS δεσμεύσεις στο ATM είναι εκτιμήσεις και σκοπεύουν σε μια πρώτη προσέγγιση της απόδοσης που το δίκτυο αναμένεται να προσφέρει κατά τη διάρκεια της ATM σύνδεσης. Και αυτό διότι το ATM είναι ικανό να προσφέρει QoS όσον αφορά αμιγώς cell-based κίνηση, αλλά η εισαγωγή packet-based κίνησης (π.χ. IP) και συσκευών προώθησης της κίνησης στο 3ο OSI επίπεδο (π.χ. δρομολογητών) μπορεί να έχει αντίθετα αποτελέσματα στην δυνατότητα του ATM δικτύου να παρέχει QoS.

Με βάση τα παραπάνω μένει να απαντηθεί το ερώτημα “Τι είδους QoS μπορεί να προσφερθεί συγκεκριμένα από το ATM σε ένα ετερογενές δίκτυο όπως το Internet, που χρησιμοποιεί μερικώς ATM στο επίπεδο μεταφοράς;”

Η βασική διαφορά στο σχεδιασμό ATM και IP γίνεται φανερή, με βάση την παραπάνω ερώτηση. Η βασική φιλοσοφία στο σχεδιασμό Internet είναι να προσφέρει συνοχή σε υπηρεσίες μεταφοράς από άκρο σε άκρο που δεν εξαρτώνται από κάποια συγκεκριμένη τεχνολογία μεταφοράς και μπορούν να λειτουργήσουν πάνω σε ένα μονοπάτι που χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνολογίες μεταφοράς. Για να επιτευχθεί αυτή η λειτουργία ο βασικός μηχανισμός σηματοδότησης του TCP/IP χρησιμοποιεί δύο βασικές παραμέτρους για χαρακτηρισμό από άκρο σε άκρο: έναν δυναμικό υπολογισμό του από άκρο σε άκρο round trip χρόνου (RTT) και η απώλεια πακέτων. Αν το δίκτυο παρουσιάσει μια συμπεριφορά που δημιουργεί συμφόρηση σε ένα παράθυρο RTT, η από άκρο σε άκρο σηματοδότηση μπορεί να εντοπίσει και να προσαρμοστεί στη δυναμική συμπεριφορά του δικτύου.

Το ATM, όπως πολλές τεχνολογίες μεταφοράς του επιπέδου σύνδεσης, χρησιμοποιεί ένα πολύ πιο πλούσιο σύνολο από μηχανισμούς σηματοδότησης. Η πρόθεση εδώ είναι να υποστηριχθεί ένα ευρύτερο σύνολο εφαρμογών μεταφοράς δεδομένων, οι οποίες περιλαμβάνουν μια μεγάλη ποικιλία από εφαρμογές πραγματικού χρόνου αλλά και άλλες παραδοσιακές ασύγχρονες εφαρμογές. Αυτή η εμπλουτισμένη δυνατότητα σηματοδότησης υπάρχει λόγω της ομογενούς φύσης των ATM δικτύων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει μια μεγάλη ποικιλία από προδιαγραφές διαμόρφωσης της κίνησης που είναι διαθέσιμες στα ATM switches. Παρ’ όλα, αυτό το εμπλουτισμένο περιβάλλον σηματοδότησης μαζί με τη χρήση προδιαγραφών προσαρμοσμένων σε κίνηση πραγματικού χρόνου με μικρή jitter ανοχή, μπορούν να δημιουργήσουν μια διαφορετική περίπτωση συμφόρησης. Για κίνηση πραγματικού χρόνου, η αντίδραση στη συμφόρηση είναι η άμεση μείωση του φόρτου, με βάση το γεγονός ότι η τοποθέτηση των δεδομένων σε ουρές μπορεί να αυξήσει δραματικά το jitter καθώς επίσης και το χρόνο συμφόρησης. Ο στόχος του σχεδιασμού σε ένα περιβάλλον πραγματικού χρόνου είναι η άμεση απόρριψη cells προκειμένου να διακοπεί η συμφόρηση. Έχοντας σαν δεδομένο ότι η αξιοπιστία δεδομένων πραγματικού χρόνου έχει οικονομικό αντίκτυπο, τα δεδομένα που απαιτούν αξιοπιστία θα χρησιμοποιήσουν σηματοδότηση από άκρο σε άκρο για να εντοπιστούν και επαναμεταδοθούν τα χαμένα.

Το αποτέλεσμα αυτού του σχεδιασμού είναι ότι οι συμφορήσεις σε ένα περιβάλλον ATM προκύπτουν και εξαλείφονται μεταξύ διαστημάτων χρόνου ίσων με το χρόνο που απαιτείται για ένα από άκρο σε άκρο IP round trip. Έτσι, όταν το ATM switch απορρίπτει cells για να εξάλειψη την υπερχειλίση τοπικών ουρών, η σηματοδότηση της απώλειας IP πακέτων προς το σύστημα προορισμού που προκύπτει διαρκεί για ένα χρονικό διάστημα ίσο με το RTT. Μέχρι τη στιγμή που μια TCP σύννοδος θα μειώσει το παράθυρο μετάδοσης αντιδρώντας σε αυτή τη σηματοδότηση, η συμφόρηση στο ATM έχει εξαλειφθεί. Η παρατήρηση που προκύπτει δείχνει ότι ο καθορισμός των χαρακτηριστικών της διαμόρφωσης κίνησης για μονοπάτια δεδομένων IP over ATM, έτσι ώστε οι από άκρη σε άκρη σύννοδοι TCP να διατηρήσουν μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, είναι μια σχεδιαστική πρόκληση. Το γεγονός αυτό με τη σειρά του έχει αντίκτυπο στην αντίληψη ότι το ATM μπορεί να προσφέρει αυξημένη αποτελεσματικότητα κόστους μέσα

από τη δυνατότητά του να πολυπλέκει διαφορετικές ροές δεδομένων πάνω από ένα switching περιβάλλον.

Ο στόχος του QoS για δίκτυα παρόμοια στη φύση με το Internet βασίζεται κυρίως στο να μεταβάλλει την switching συμπεριφορά του δικτύου στο IP επίπεδο έτσι ώστε μερικά IP πακέτα να καθυστερούν ή να απορρίπτονται στην περίπτωση συμφόρησης προκειμένου να καθυστερεί η επίδραση της συμφόρησης σε άλλες τάξεις IP κίνησης. Παρατηρώντας το IP over ATM, το βασικό θέμα είναι ότι δεν υπάρχει μηχανισμός αντιστοίχισης τέτοιων οδηγιών του επιπέδου IP στο επίπεδο ATM. Κάτι τέτοιο δεν είναι ούτε επιθυμητό αν λάβουμε υπ' όψη το μικρό μέγεθος των ATM cells και την απαίτηση που αυτό δημιουργεί για γρήγορη επεξεργασία ή απόρριψη. Η προσπάθεια για αύξηση της πολυπλοκότητας των μηχανισμών απόρριψης των ATM cells, έτσι ώστε να διατηρηθούν οι αρχικές IP QoS προδιαγραφές με την αντιστοίχιση τους μέσα στο ATM cell, είναι αντιπαραγωγική.

Έτσι, φαίνεται ότι η εξ' ορισμού προσέγγιση του IP QoS ταιριάζει καλύτερα στο IP over ATM. Είναι επίσης λογικό ότι αν το ATM δίκτυο είναι επαρκώς προσαρμοσμένο έτσι ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει ριπές φόρτου χωρίς την απαίτηση για εκτενή αποφυγή συμφόρησης στο ATM layer, δεν υπάρχει η ανάγκη να χρησιμοποιηθούν μηχανισμοί αποφυγής συμφόρησης στο IP επίπεδο.

### **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 σηματοδότηση στο επίπεδο μεταφοράς, προκειμένου να εκτελέσει το πρωτόκολλο δρομολόγησης τις παραπάνω λειτουργίες. Τα switches του δικτύου προωθούν τα frames δεδομένων χωρίς να περιμένουν θετική αναγνώριση από το επόμενο switch, οπότε τα switches μπορούν να λειτουργήσουν με λιγότερη μνήμη και να οδηγήσουν γρηγορότερα τα κυκλώματα με τη μειωμένη switching λειτουργικότητα που απαιτεί το Frame Relay.

#### *Δομές ελέγχου διαχείρισης του Frame Relay ρυθμού*

Το Frame Relay είναι ένα πρωτόκολλο του επιπέδου σύνδεσης που στοχεύει στην παροχή ενός απλού μηχανισμού για την αντιμετώπιση της υπερκάλυψης του δικτύου. Το Frame Relay αποσυνδέει τα χαρακτηριστικά του link πρόσβασης στο δίκτυο από τα χαρακτηριστικά των virtual circuits που συνδέουν το σύστημα πρόσβασης με το υπόλοιπο δίκτυο. Κάθε virtual circuit ρυθμίζεται σε ένα συνδεδεμένο με την κίνηση ρυθμό πληροφορίας (committed information rate-CIR), ο οποίος υπακούει στην δέσμευση για παράδοση της κίνησης στο συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου. Ωστόσο κάθε virtual circuit μπορεί να αποδεχθεί επιπλέον επίπεδα κίνησης- ριπές δεδομένων που μεταδίδονται με ρυθμούς μέχρι το όριο ρυθμού μετάδοσης του link πρόσβασης. Αυτή η επιπλέον κίνηση σηματοδεύεται από την πύλη του δικτύου πρόσβασης με ένα bit που τίθεται στην επικεφαλίδα του πλαισίου στο Frame Relay, που ονομάζεται 'Discard Eligible' (DE) bit.

Στο εσωτερικό του δικτύου χρησιμοποιούνται τρία βασικά επίπεδα καταφυγίων για τη διαχείριση της συμφόρησης στις ουρές των switches. Στο πρώτο επίπεδο καταφυγίου



ουράς, το δίκτυο αρχίζει να μαρκάρει τα πλαίσια με Explicit Congestion Notification (ECN) bits. Ο έλεγχος συμφόρησης του Frame Relay διενεργείται με δύο τρόπους: αποφυγή συμφόρησης και αποκατάσταση συμφόρησης. Η αποφυγή συμφόρησης αποτελείται από ένα Backward Explicit Congestion Notification (BECN) bit και από ένα Forward Explicit Congestion Notification (FECN) bit, τα οποία περιλαμβάνονται στην επικεφαλίδα του πλαισίου στο Frame Relay. Το BECN bit παρέχει σε κάθε switch στο δίκτυο frame relay ένα μηχανισμό για να ενημερώνει τον αρχικό κόμβο (αποστολέα) για πιθανή συμφόρηση όταν υπάρχει αύξηση της κίνησης στην ουρά του switch. Με τον τρόπο αυτό ενημερώνεται ο αποστολέας ότι η μετάδοση επιπλέον πληροφορίας (πλαισίων) πρέπει να περιοριστεί.

Το FECN bit ειδοποιεί τον κόμβο παραλήπτη για μελλοντικές καθυστερήσεις και τον προτρέπει να χρησιμοποιήσει πιθανούς μηχανισμούς που προσφέρονται από ένα πρωτόκολλο υψηλότερου επιπέδου προκειμένου να ειδοποιηθεί ο αποστολέας κόμβος να περιορίσει την ροή των frames. Η σημασία της σηματοδότησης ειδοποίησης συμφόρησης έγκειται στο ότι ειδοποιεί αποστολείς και παραλήπτες να μειώσουν τους ρυθμούς μετάδοσης τους στα επίπεδα CIR, χωρίς όμως να τους αναγκάζει. Στο δεύτερο επίπεδο κατωφλίου ουράς, τα switches απορρίπτουν τα πακέτα που είναι μαρκαρισμένα ως DE, λειτουργώντας έτσι προς όφελος εκείνων των ειδών κίνησης που συμμορφώνονται με τους διαθέσιμους ρυθμούς μετάδοσης σε κάθε κύκλωμα.

Η βασική προϋπόθεση λειτουργίας στα Frame Relay δίκτυα είναι η λειτουργία των switches έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν όλα τα είδη κίνησης που δεν προκαλούν επιβάρυνση. Αν η συνθήκη αυτή δεν ισχύει και παρά την απόρριψη των πλαισίων της κίνησης που ευθύνεται για τη συμφόρηση, οι συνθήκες που προκαλούν συμφόρηση στα switches δεν εξαλειφθούν, τότε τα switches περνούν στο τρίτο επίπεδο του κατωφλίου ουράς και απορρίπτουν πλαίσια που αποτελούν τμήματα της ροής που δεν ευθύνεται για τη συμφόρηση.

Το Frame Relay επιτρέπει ένα βασικό επίπεδο υπερ-κάλυψης των βασικών point-to-point virtual circuits, σύμφωνα με το οποίο οι μεμονωμένες ροές μπορούν να αυξήσουν το ρυθμό μετάδοσής τους, αξιοποιώντας χωρητικότητα μετάδοσης που παραμένει αχρησιμοποίητη από άλλα virtual circuits που μοιράζονται το ίδιο μονοπάτι. Όταν ο αποστολέας δεν χρησιμοποιεί όλο το ρυθμό μετάδοσης που του αναλογεί σε οποιοδήποτε από τα υπάρχοντα virtual circuits, άλλα virtual circuits μπορούν να εκμεταλλευτούν το διαθέσιμο εύρος μετάδοσης.

Το Frame Relay καθιστά δυνατή την παροχή ορισμένων δομών για βασική ποιότητα υπηρεσιών, με πρόσθετη τη δυνατότητα επέκτασης της υπερδέσμευσης καναλιών μετάδοσης, χρησιμοποιώντας ένα πολύ μικρό σύνολο σηματοδότησης στο επίπεδο σύνδεσης: τα DE, FECN και BECN bits.

### *To Frame Relay και η ποιότητα υπηρεσιών στο Internet*

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 QoS στο Internet 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 session. Σαν αποτέλεσμα αυτού του δεδομένου, 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 πανάκεια αφού δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σηματοδосία από άκρο σε άκρο. Ο κάθε δρομολογητής εφαρμόζει συχνά ενσωμάτωση των IP πακέτων στο Frame Relay. 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 στο πρώτο switch του Frame Relay υποδικτύου. Το switch αυτό μπορεί στη συνέχεια να επιβεβαιώσει ή να καθαρίσει το DE bit σύμφωνα με την τοπική πολιτική ρύθμισης της κυκλοφορίας, η οποία σχετίζεται με το ανά virtual circuit CIR.

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

#### **IEEE 802.1p**

Οι μηχανισμοί για την διαφοροποίηση μεταξύ διαφορετικών ειδών κίνησης και την εξασφάλιση κάποιας ποιότητας επικοινωνίας από δίκτυο που είναι βασισμένο στο IP, εφαρμόζονται σε δικτυακές συσκευές επιπέδου δικτύου (δηλαδή δρομολογητές). Ωστόσο τα σύγχρονα δίκτυα ως επί το πλείστον αποφεύγουν τη χρήση τέτοιων συσκευών και βασίζονται στη μεταγωγή πακέτου στο δεύτερο επίπεδο του μοντέλου αναφοράς ISO/OSI (δηλαδή switches). Οι μηχανισμοί αυτοί επομένως στα περισσότερα σύγχρονα δίκτυα δεν εγγυώνται ότι από τη στιγμή που θα φτάσει ένα πακέτο σε έναν δρομολογητή και το οποίο ικανοποιεί τη ποιότητα που είχε ζητηθεί, θα φτάσει επίσης στον τελικό χρήστη ικανοποιώντας τη ποιότητα αυτή. Ένα παράδειγμα παραβίασης της ζητούμενης ποιότητας μπορεί να προκύψει από το γεγονός ότι ο χρόνος παραμονής στους buffers κάποιου switch

μπορεί να μεγαλώσει το συνολικό χρόνο τόσο πολύ ώστε το πακέτο να φθάσει εκπρόθεσμο στον τελικό χρήστη.

Η ΙΕΕΕ για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό στα τοπικά δίκτυα που στηρίζονται στην οικογένεια πρωτοκόλλων 802, δημιούργησε ένα πρότυπο που καθορίζει προτεραιότητες και εγγυάται ότι κάποιες κατηγορίες κίνησης θα λάβουν προτεραιότητα και θα ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ποιότητας που αυτές έχουν από το δίκτυο. Το πρότυπο αυτό είναι το 802.1p, το οποίο καθορίζει μια 'τιμή προτεραιότητας' που ανατίθεται σε κάθε πλαίσιο. Η τιμή αυτή μεταδίδεται δια μέσου κάθε είδους υποδικτύου με μια κοινή μεθοδολογία για Ethernet, token ring και άλλα MAC-επιπέδου είδη μετάδοσης, χρησιμοποιώντας ένα εκτεταμένο format για τα πλαίσια.

Αυτή η 'τιμή προτεραιότητας' χρησιμοποιεί 3-bit που καθορίζουν την προτεραιότητα του πακέτου, και παίρνει τιμές από 0 έως 7. Η τιμή 0 έχει την χαμηλότερη προτεραιότητα και η τιμή 7 την υψηλότερη. Η πρόταση της ΙΕΕΕ για το 802.1p δεν αναφέρει λεπτομερώς πώς η 'τιμή προτεραιότητας' μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το δικτυακά υποσυστήματα. Υπαγορεύει μόνο πως οι συσκευές που υλοποιούν αυτό το πρωτόκολλο πρέπει να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της κατηγορίας που έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα.

Υπάρχει ωστόσο μια πρόταση στην οποία περιγράφεται πώς οι 802.1p τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνεργασία με τον Subnet Bandwidth Manager (SBM), οπότε επιτρέπεται στους LAN switches να συμμετέχουν σε RSVP σηματοδότηση και δέσμευση πόρων. Ακολουθεί ένας πίνακας στο οποίο φαίνεται μια πρόταση που έχει γίνει για την αντιστοιχία των τιμών του πεδίου 'τιμής προτεραιότητας' με την αντιμετώπιση των πακέτων που φέρουν την κάθε τιμή.

Τιμή Προτεραιότητας	Είδος Εξυπηρέτησης
0	Χειρότερη από best-effort
1	Best-effort
2	Δεν χρησιμοποιείται
3	Δεν χρησιμοποιείται
4	Συνθήκες χαμηλού φορτίου στο δίκτυο
5	Εγγυημένα μεταφορά πληροφορίας σε λιγότερο από 1000ms
6	Εγγυημένα μεταφορά πληροφορίας σε λιγότερο από 100ms
7	Δεν χρησιμοποιείται

• Πίνακας 3: Προτεραιότητες στο πρωτόκολλο 802.1p

### Μηχανισμοί για QoS στα επίπεδα δικτύου και μεταφοράς

#### Εισαγωγικά

Στο μεγαλύτερο τμήμα του Internet 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 QoS, φαίνεται να οδηγεί σε μια μεγαλύτερη πιθανότητα για την επιτυχή παροχή πραγματικής QoS 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 είναι η υπηρεσία από άκρου σε άκρο μεταφοράς 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 ατελείς 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 Internet 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 links που δεν μπορούν να παρέχουν κανενός είδους διαφοροποίηση υπηρεσιών στο επίπεδο διασύνδεσης, οπότε η παροχή QoS καθίσταται ανεπαρκής.

Πρέπει να αναφερθεί ότι το Internet μεταφέρει τρεις διαφορετικές κατηγορίες κίνησης και κάθε QoS περιβάλλον θα πρέπει να τις αναγνωρίζει και να προσαρμόζεται σε αυτές. Η πρώτη είναι η κατηγορία long held adaptive reliable traffic flows όπου ο από άκρο σε άκρο ρυθμός ροής προσαρμόζεται από τα τερματικά σημεία ανάλογα με τη συμπεριφορά του δικτύου και όπου ο ρυθμός αυτός προσπαθεί να βελτιστοποιηθεί προκειμένου να αποκτήσει το κατάλληλο μερίδιο από τους διαθέσιμους πόρους στο από άκρο σε άκρο μονοπάτι. Συνήθως αυτή η κατηγορία κυκλοφορίας αφορά μακράς διάρκειας TCP ροές κίνησης. Η δεύτερη κατηγορία κίνησης, short duration reliable transactions, είναι μια οροθετημένη περίπτωση του πρώτου είδους, όπου οι ροές δεδομένων είναι μικρής διάρκειας και η προσαρμογή του ρυθμού δεν γίνεται κατά τη διάρκεια της ροής, αλλά ο ρυθμός δεδομένων καθορίζεται μόνο κατά την διαδικασία αποκατάστασης του TCP adaptive flow control πρωτοκόλλου. Η τρίτη κατηγορία κίνησης αφορά την externally controlled load unidirectional traffic ροή, η οποία είναι συνήθως αποτέλεσμα συμπίεσης ενός σήματος video ή ήχου πραγματικού χρόνου, όπου ο μέγιστος ρυθμός ροής μπορεί να ισούται με το βασικό ρυθμό σήματος της πηγής ενώ ο μέσος ρυθμός ροής είναι συνάρτηση του επιπέδου της συμπίεσης σήματος που χρησιμοποιείται, και ο μηχανισμός μεταφοράς είναι μια μη αξιόπιστη ροή κίνησης με ένα UDP unicast μοντέλο ροής.

Στα περισσότερα Internet δίκτυα σήμερα, τα πακέτα που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία κίνησης αποτελούν το 1% του συνολικού αριθμού πακέτων, αλλά καθώς τα πακέτα

δεδομένων είναι συνήθως μεγάλα, αυτές οι εφαρμογές αποτελούν το 20% του συνολικού όγκου των μεταδιδόμενων δεδομένων. Η δεύτερη κατηγορία κίνησης προκαλείται συνήθως από World Wide Web εξυπηρετητές που χρησιμοποιούν το HTTP/1.0 πρωτόκολλο εφαρμογών και σ' αυτήν ανήκει το 60% του συνολικού αριθμού πακέτων και μια ανάλογη ποσότητα του συνολικού όγκου των μεταφερόμενων δεδομένων. Στην τρίτη κατηγορία ανήκει το 10% των πακέτων και καθώς το μέσο μέγεθος πακέτου είναι λιγότερο από το 1/3 των μεγεθών στις δύο πρώτες κατηγορίες, τα δεδομένα που μεταφέρονται είναι το 5% του συνολικού όγκου.

Προκειμένου να παρέχεται εξίσου QoS στα τρία αυτά βασικά είδη κίνησης, υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις που πρέπει να ακολουθηθούν. Η εξασφάλιση αποτελεσματικής μεταφοράς long held high volume TCP ροών, απαιτεί από το δίκτυο την παροχή σηματοδοσίας στον αποστολέα σχετικά με την έναρξη της αποχώρησης της συμφόρησης στο δίκτυο. Για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική μεταφορά short duration TCP κίνησης, απαιτείται από το δίκτυο να αποφεύγει την αποστολή σημάτων συμφόρησης στα άκρα του μονοπατιού ροής δεδομένων. Δεδομένου ότι αυτές οι ροές είναι μικρής διάρκειας και χαμηλού ρυθμού μεταφοράς, οποιαδήποτε τέτοια σηματοδοσία δεν θα επιτύχει αξιόλογη εξισορρόπηση του φόρτου, αλλά θα αυξήσει σημαντικά το χρόνο για τον οποίο η ροή δεδομένων διατηρείται ενεργός, με αποτέλεσμα την χαμηλή ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας χωρίς αξιόλογη αλλαγή στην σχετική ανάθεση των δικτυακών πόρων στους χρήστες. Η εξασφάλιση αποτελεσματικής μετάδοσης της externally clocked UDP κίνησης απαιτεί από το δίκτυο να έχει τη δυνατότητα, σε κάποιο ελάχιστο βαθμό, να τμηματοποιεί τη διαχείριση των ουρών αυτού του είδους κίνησης και να αντικαθιστά ενδεχομένως την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης με ειδοποίηση και αλληλεπίδραση. Αυτό το μοντέλο ειδοποίησης και αλληλεπίδρασης επιτρέπει στην πηγή να καθορίζει εκ των προτέρων το είδος της κίνησης που θα μεταδώσει και στο δίκτυο να απαντήσει είτε με τη δέσμευση για τη μεταφορά αυτού του είδους κίνησης είτε με την ένδειξη ότι δεν έχει τους απαιτούμενους πόρους για να εκπληρώσει αυτή τη μεταφορά.

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 QoS δίκτυο 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 QoS. Τα πιο σημαντικά μοντέλα είναι :

- Differentiated Services (DS)
- Integrated services με χρήση του Resource Reservation Protocol (RSVP)
- Multiprotocol Label Switching (MPLS)
- QoS Routing

#### **Differentiated Services (DS)**

Η διαφοροποίηση υπηρεσιών είναι η σύγχρονη αντιμετώπιση στο πρόβλημα της υποστήριξης QoS πάνω από δίκτυα IP. Υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός παραγόντων

που οδήγησαν σε αυτή την αντιμετώπιση. Αρχικά η λύση που θα αντιμετώπιζε το πρόβλημα θα έπρεπε να είναι κλιμακωτή. Για να γίνει αυτό εφικτό θα έπρεπε μικρού μεγέθους host-to-host ροές δεδομένων, να συγκεντρώνονται σε μια μεγαλύτερη συνολική ροή η οποία να αντιμετωπίζεται με ειδικό τρόπο από το δίκτυο. Η διαδικασία αυτή μοιάζει με την διαδικασία που ακολουθείται από ένα δρομολογητή του δικτύου όταν προωθεί όλα τα πακέτα με τον ίδιο προορισμό στον ίδιο επόμενο δρομολογητή του δικτύου. Η λύση θα πρέπει επίσης να είναι εφαρμόσιμη σε όλες τις εφαρμογές χωρίς να απαιτεί την ύπαρξη ενός άλλου πρωτοκόλλου ή κάποιο νέο περιβάλλον προγραμματισμού.

Οι τεχνολογίες των δρομολογητών και των switch έχουν κάνει τεράστιες προόδους τα τελευταία χρόνια. Οι ταχύτητες που μπορούν πια να εξυπηρετηθούν είναι της τάξης των 2.4 Gbit με προοπτικές για 10 Gbit. Είναι λογικό λοιπόν να μην επιβαρύνουμε ακόμα περισσότερο τις συσκευές αυτές με πολιτικές ειδικής αντιμετώπισης ροών ή πελατών. Είναι λογικότερο να ακολουθήσουμε μια πολιτική ειδικής αντιμετώπισης ανά τάξη ή ανά υπηρεσία. Εξάλλου, οι ISP θέλουν επιτακτικά να προσφέρουν νέες υπηρεσίες στους πελάτες τους όπως αυτή του QoS, για τις οποίες οι χρήστες θα πρέπει να πληρώνουν. Οι παραπάνω ανάγκες οδήγησαν στην εφαρμογή των διαφοροποιημένων υπηρεσιών.

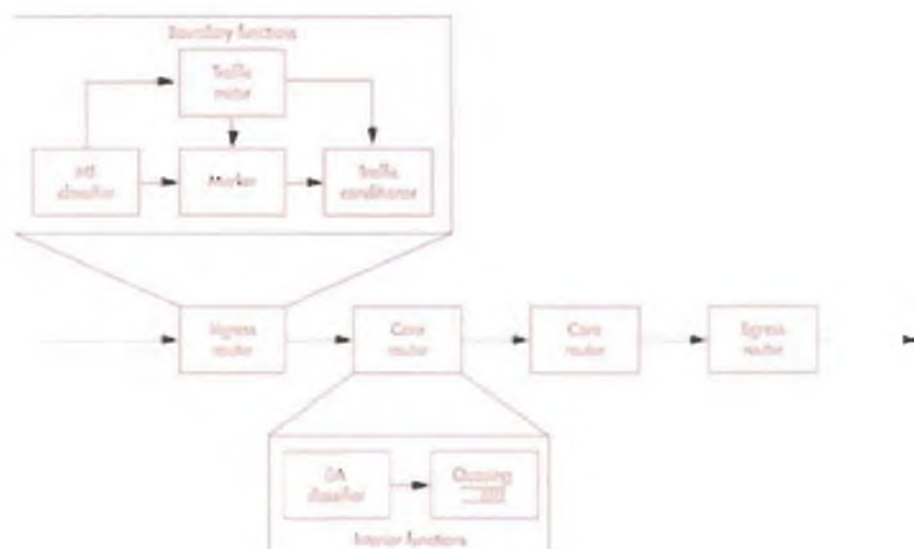
Η λύση αυτή κατηγοριοποιεί ανεξάρτητες μικρο-ροές στις άκρες ενός δικτύου σε διαφορετικές τάξεις υπηρεσίας (gold, silver και bronze) και στη συνέχεια χρησιμοποιεί μια πολιτική ανά τάξη στο εσωτερικό του δικτύου. Η κατηγοριοποίηση πραγματοποιείται στις εισόδους του δικτύου βασισμένη στην ανάλυση ενός ή περισσότερων πεδίων του πακέτου. Στη συνέχεια αφού ένα πακέτο επιλεγεί, σημειώνεται (μέσω κάποιων πεδίων στην επικεφαλίδα του) ότι αυτό ανήκει σε κάποια τάξη υπηρεσίας και στη συνέχεια διοχετεύεται μέσα στο δίκτυο. Από εκεί και πέρα οι δρομολογητές του δικτύου αναλύουν την επικεφαλίδα κάθε πακέτου και καταλαβαίνουν σε ποια τάξη ανήκει και έτσι το μεταχειρίζονται ανάλογα.

Για να πραγματοποιηθούν όλα τα παραπάνω η αρχιτεκτονική των διαφοροποιημένων υπηρεσιών ορίζει ορισμένα δομικά στοιχεία:

- Το πεδίο που εξυπηρετεί διαφοροποιημένες υπηρεσίες (DS field) είναι μια αλληλουχία από bits που αποθηκεύονται στην επικεφαλίδα του κάθε πακέτου, και δηλώνει το είδος της υπηρεσίας σύμφωνα με την οποία το πακέτο πρέπει να χειριστεί. Στην έκδοση IPv4 το πεδίο των DS είναι το πεδίο Type of Service (TOS) και στην έκδοση IPv6 το πεδίο είναι το πεδίο που καθορίζει την τάξη μεταφοράς (traffic class). Και τα δύο αυτά πεδία είναι μήκους 8bits αλλά μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνται μόνο τα 6.
- Η συμπεριφορά ανά hop (Per Hop Behaviour - PHB) ορίζει την υπηρεσία που εξυπηρετεί το πακέτο σε κάθε κόμβο του δικτύου. Ένα PHB μπορεί να οριστεί σχετικά, με βάση άλλα PHBs ή απόλυτα με τιμές για το εύρος ζώνης ή την καθυστέρηση μετάδοσης.
- Μια ομάδα πακέτων με την ίδια συμπεριφορά (BA) είναι μια ομάδα πακέτων με την ίδια τιμή στο DS field. Σε κάθε μια από αυτές τις ομάδες δίνεται ένα PHB.

- Ένας boundary δρομολογητής υπάρχει στις άκρες κάθε δικτύου που μπορεί να προσφέρει διαφοροποιημένες πληροφορίες. Η συσκευή αυτή είναι υπεύθυνη για την κατηγοριοποίηση των πακέτων, τις μετρήσεις, τη σημείωση των πακέτων και πιθανώς τον έλεγχο της κίνησης, στα άκρα του δικτύου. Οι διαχειριστές του δικτύου είναι υπεύθυνοι για την ρύθμιση του κατηγοριοποιητή πακέτων που ορίζει τα πεδία που ελέγχονται σε κάθε πακέτο και για κάθε άλλη απαιτούμενη για την εξυπηρέτηση του χρήστη ενέργεια. Οι λειτουργίες που ορίζονται για έναν boundary δρομολογητή μπορούν να εκτελεστούν από έναν δρομολογητή, firewall ή απλό host.
- Interior nodes: Εσωτερικοί κόμβοι μπορεί να είναι switches ή δρομολογητές που μπορούν να παρέχουν το PHB βασισμένα στο πεδίο DS field. Οι συσκευές αυτές συνήθως χρησιμοποιούν μια τεχνική διαχείρισης ουρών και προγραμματισμού για να εξυπηρετήσουν την υπηρεσία.

Στην Εικόνα 5 φαίνονται οι λειτουργίες των διαφοροποιημένων υπηρεσιών που πραγματοποιούνται στις άκρες και στο εσωτερικό του δικτύου.



• Εικόνα 5: Λειτουργίες διαφοροποιημένων υπηρεσιών

### Integrated services με χρήση του Resource Reservation Protocol (RSVP)

Το πλαίσιο εργασίας των προηγμένων υπηρεσιών Internet παρέχει την δυνατότητα για τις εφαρμογές να επιλέξουν μεταξύ πολλαπλών, ελεγχόμενων επιπέδων της παρεχόμενης υπηρεσίας για τα πακέτα δεδομένων τους. Για την υποστήριξη της δυνατότητας αυτής υπάρχουν δύο απαιτήσεις:

- Τα ανεξάρτητα στοιχεία δικτύου (υποδίκτυα και IP δρομολογητές) κατά μήκος του μονοπατιού, που ακολουθούνται από τα πακέτα δεδομένων μιας εφαρμογής, πρέπει να υποστηρίζουν μηχανισμούς για τον έλεγχο της ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχονται σε αυτά τα πακέτα.

- Πρέπει να παρέχεται ένας τρόπος για την επικοινωνία των απαιτήσεων των εφαρμογών σε στοιχεία δικτύου κατά μήκος του μονοπατιού και για την μεταφορά της πληροφορίας διαχείρισης του QoS μεταξύ των στοιχείων δικτύου και της εφαρμογής.

Στο πλαίσιο εργασίας των προηγμένων υπηρεσιών Internet η πρώτη λειτουργία παρέχεται από QoS control services όπως για παράδειγμα Controlled-Load (RFC 2211) και Guaranteed (RFC 2212). Η δεύτερη λειτουργία μπορεί να προσφερθεί με διάφορους τρόπους, αλλά συνήθως υλοποιείται ένα πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων όπως το RSVP (RFC 2205).

Επειδή το RSVP έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιείται με διάφορες QoS control services, και επειδή οι QoS control services έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούνται με διάφορους μηχανισμούς εγκατάστασης, υπάρχει ένας λογικός διαχωρισμός μεταξύ των δύο προδιαγραφών. Οι προδιαγραφές του RSVP δεν καθορίζουν το εσωτερικό format των πεδίων ή αντικειμένων του RSVP που σχετίζονται με τις υλοποιημένες QoS control services. Αντιθέτως το RSVP αντιμετωπίζει αυτά τα αντικείμενα σαν αδιαφανή. Τα αντικείμενα μπορούν να μεταφέρουν διαφορετική πληροφορία για να ικανοποιήσουν διαφορετικές εφαρμογές και διαφορετικές απαιτήσεις των QoS control services.

Ομοίως, τα interfaces στις QoS control services καθορίζονται σε ένα γενικό format, έτσι ώστε οι υπηρεσίες να μπορούν να χρησιμοποιούνται με διάφορους μηχανισμούς εγκατάστασης.

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί, το RSVP και το πλαίσιο εργασίας προηγμένων υπηρεσιών των QoS control services.

Διάφοροι τύποι δεδομένων πρέπει να μεταφέρονται μεταξύ των στοιχείων του δικτύου και των εφαρμογών για την σωστή υποστήριξη των QoS control services. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν:

- Πληροφορία που δημιουργείται από κάθε δέκτη περιγράφοντας την επιθυμητή QoS control service, μια περιγραφή της ροής της κυκλοφορίας στην οποία θα εφαρμοστεί η δέσμευση των πόρων και οποιεσδήποτε παράμετροι απαιτούνται για την υποστήριξη της υπηρεσίας. Αυτή η πληροφορία μεταφέρεται από τους δέκτες στα ενδιάμεσα στοιχεία του δικτύου και την (τις) πηγή(ές) από τα RSVP FLOWSPEC objects. Η πληροφορία που μεταφέρεται σε ένα FLOWSPEC object μπορεί να αλλάξει σε ενδιάμεσα σημεία του δικτύου εξαιτίας της κοινής δέσμευσης και άλλων παραγόντων.
- Πληροφορία που δημιουργείται σε κάθε πηγή περιγράφοντας την κυκλοφορία δεδομένων που προέρχονται από την συγκεκριμένη πηγή. Αυτή η πληροφορία μεταφέρεται από την πηγή στα ενδιάμεσα στοιχεία του δικτύου και τον (τους) δέκτη(ες) από το RSVP. Αυτή η πληροφορία μεταφέρεται σε RSVP SENDER\_TSPEC objects.



- Πληροφορία που μεταφέρεται ή τροποποιείται στο δίκτυο και χρησιμοποιείται στους δέκτες για να πάρουν τις αποφάσεις για δέσμευση. Αυτή η πληροφορία μπορεί να περιλαμβάνει διαθέσιμες υπηρεσίες, εκτιμήσεις για το delay και το bandwidth και παραμέτρους λειτουργίας που χρησιμοποιούνται από καθορισμένες QoS control services. Η πληροφορία αυτή συλλέγεται από στοιχεία του δικτύου και μεταφέρεται στους δέκτες με τα RSVP ADSPEC objects. Αντίθετα με την μεταφορά της πληροφορίας από κάθε ενδιάμεσο κόμβο ξεχωριστά στους δέκτες, η πληροφορία στο ADSPEC αναπαριστά μια περίληψη, που υπολογίζεται καθώς το ADSPEC περνά κάθε hop. το μέγεθος αυτής της περιλήψης παραμένει (περίπου) σταθερό καθώς το ADSPEC μεταφέρεται στο δίκτυο.

#### *Υποστήριξη του RSVP για πολλαπλές QoS control services*

Ο σχεδιασμός που περιγράφεται στην συγκεκριμένη παράγραφο υποστηρίζει RSVP συνόδους στις οποίες οι δέκτες επιλέγουν μια QoS control service σε runtime.

Για να υλοποιηθεί το παραπάνω, ο δέκτης πρέπει να έχει όλη την απαιτούμενη πληροφορία για να επιλέξει μια ειδική υπηρεσία πριν κάνει την επιλογή. Αυτό σημαίνει ότι τα RSVP SENDER\_TSPEC και ADSPEC objects πρέπει να παρέχουν τους δέκτες με πληροφορία για όλες τις υπηρεσίες που θα μπορούσαν να επιλέξουν.

Το SENDER\_TSPEC που χρησιμοποιείται από δύο πρόσφατα καθορισμένες QoS control services είναι ο ίδιος. Αυτό απλοποιεί το RSVP SENDER\_TSPEC object, που χρειάζεται να μεταφέρει μόνο μια απλή TSPEC δομή δεδομένων σε αυτό το διαμοιραζόμενο format. Αυτό το κοινό SENDER\_TSPEC μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε με Guaranteed είτε με Controlled-Load service.

Το RSVP ADSPEC μεταφέρει την απαιτούμενη πληροφορία από τους δέκτες για να επιλέξει μια υπηρεσία και να προσδιορίσει τις παραμέτρους δέσμευσης. Αυτό περιλαμβάνει:

- Αν υπάρχει ή όχι ένα non-RSVP hop κατά μήκος του μονοπατιού. Αν υπάρχει, η κυκλοφορία της εφαρμογής θα δεχθεί μια best-effort, χωρίς δέσμευση εξυπηρέτηση σε τουλάχιστον ένα σημείο του μονοπατιού.
- Αν έχει υλοποιηθεί ή όχι ένα QoS control service σε κάθε hop κατά μήκος του μονοπατιού.
- Προκαθορισμένες ή γενικές τιμές που περιγράφουν ιδιότητες του μονοπατιού.
- Διάφορες άλλες τιμές.

Τα δεδομένα στο ADSPEC διαίρονται σε blocks ή τεμάχια (fragment), καθένα από τα οποία σχετίζεται με μια καθορισμένη υπηρεσία. Αυτό επιτρέπει στο ADSPEC να μεταφέρει πληροφορία από πολλαπλές υπηρεσίες, επιτρέπει σε νέες υπηρεσίες να αναπτυχθούν χωρίς να απαιτείται άμεση αλλαγή του υπάρχοντος κώδικα, και επιτρέπει

μια εφαρμογή που δεν θα χρησιμοποιήσει ποτέ μια συγκεκριμένη υπηρεσία να παραλείπει τα ADSPEC δεδομένα για αυτή την υπηρεσία.

Μια πηγή μπορεί να υποδείξει ότι μια συγκεκριμένη QoS control service δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται από δέκτες που συμμετέχουν σε μια RSVP σύνοδο. Αυτό γίνεται παραλείποντας όλα όσα αναφέρονται για την συγκεκριμένη υπηρεσία από το ADSPEC. Κατά την άφιξη στον δέκτη, η απουσία ενός ADSPEC fragment για μια συγκεκριμένη υπηρεσία υποδεικνύει στους δέκτες ότι η υπηρεσία δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

### **Multiprotocol Label Switching (MPLS)**

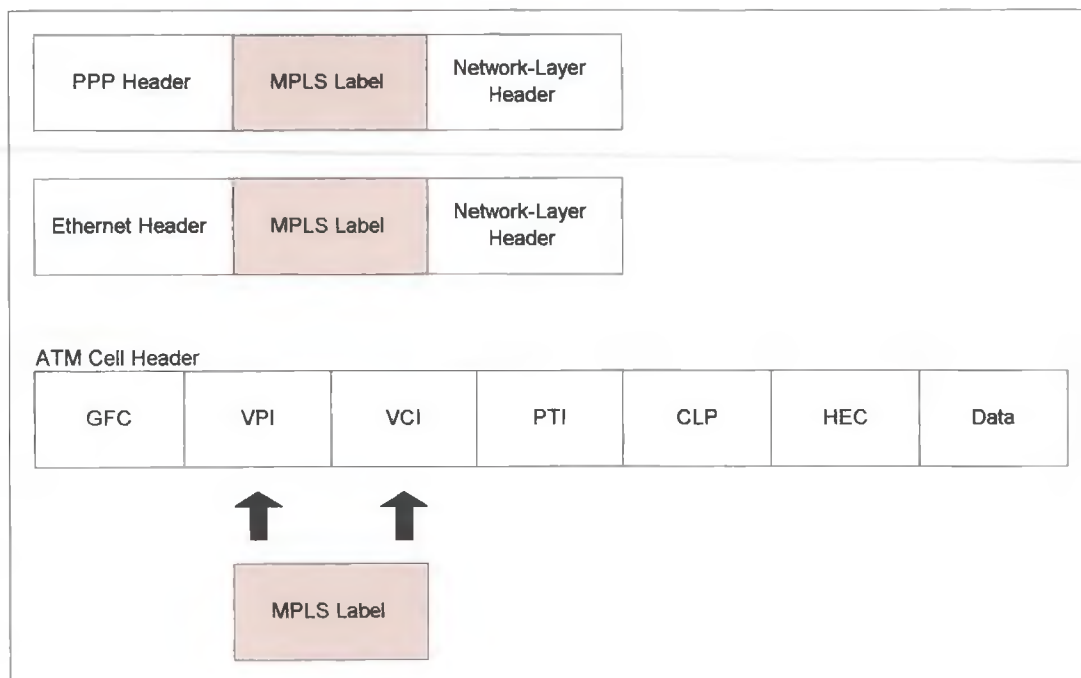
Το MPLS χρησιμοποιείται για να δώσει σε IP δίκτυα τα χαρακτηριστικά ενός connection-oriented δικτύου, με ό,τι πλεονεκτήματα αυτό συνεπάγεται.

Ο τίτλος MPLS περιγράφει μια συνδυασμένη προσπάθεια στην IETF για να ενοποιήσει τις καλύτερες από παρόμοιες έννοιες σε ένα τυποποιημένο πλαίσιο εργασίας και σε μια οικογένεια πρωτοκόλλων. Το IETF draft framework document αναφέρει ότι το MPLS σαν « ... βασική τεχνολογία (label swapping) που αναμένεται να βελτιώσει την τιμή/απόδοση στο network layer routing, να βελτιώσει την scalability του network layer και να παρέχει περισσότερη ευελιξία στην παροχή (νέων) υπηρεσιών δρομολόγησης (επιτρέποντας την προσθήκη νέων υπηρεσιών δρομολόγησης χωρίς κάποια αλλαγή στο forwarding παράδειγμα).» Όμως το MPLS δεν έχει πολλές πιθανότητες για την κυριαρχία του QoS.

Οι όροι label switching ή label swapping είναι μια προσπάθεια για την μεταφορά μιας πολύ απλής έννοιας. Για την κατανόηση της έννοιας του label swapping πρέπει να εξεταστεί το τρέχον longest-match routing και το forwarding παράδειγμα που χρησιμοποιείται σήμερα. Η τρέχουσα μέθοδος σε routing και forwarding αναφέρεται σαν longest match επειδή ένας δρομολογητής αναφέρεται σε έναν πίνακα δρομολόγησης με προθέματα μεταβλητού μήκους και εγκαθιστεί το “longest” ή το πιο συγκεκριμένο πρόθεμα σαν προτίμηση για επακόλουθους forwarding μηχανισμούς. Θεωρούμε ένα παράδειγμα όπου ένας δρομολογητής δέχεται ένα πακέτο που προορίζεται για την διεύθυνση 199.1.1.1. Υποθέτουμε ότι ο δρομολογητής έχει καταχωρήσεις στον πίνακα δρομολόγησης για τα 199.1.0.0/24 και 199.1.0.0/16. Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει έλεγχος διαχείρισης και που θα μπορούσε να συγκρουέται με την βασική συμπεριφορά της δυναμικής δρομολόγησης, ο δρομολογητής θα επιλέξει να προωθήσει το πακέτο σε ένα output interface κοντά στον next-hop δρομολογητή από τον οποίο δέχθηκε μια ανακοίνωση για 199.1.0.0/24, επειδή είναι ένα πιο “longer” και συγκεκριμένο πρόθεμα από το 199.1.0.0/16.

Αρχικά η σημασία αυτού του παραδείγματος δεν φαίνεται σημαντική. Πάντως, δεδομένου ενός αριθμού από προθέματα σε όλο το Internet και γνωρίζοντας ότι η τάση ανάπτυξης πιθανότατα θα συνεχίσει να αυξάνει, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο χρόνος και οι πόροι που απαιτούνται για να κάνουν τους υπολογισμούς για τα μονοπάτια είναι ανάλογα με τον ρυθμό των προθεμάτων και των πιθανών μονοπατιών. Ένα από τα αναμενόμενα αποτελέσματα του label swapping είναι η μείωση του χρόνου και των πόρων που απαιτούνται για να τους υπολογισμούς αυτούς.

Η έννοια του label swapping περιλαμβάνει την αντικατάσταση της ανάγκης να γίνεται longest-match (σε μια προκαθορισμένη έκταση), εισάγοντας μια ετικέτα (label) σταθερού μήκους, μεταξύ του network-layer header (Layer 3) και του link-layer header (Layer 2), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποφάσεις σχετικά με το μονοπάτι και την προώθηση (βλ. Εικόνα 6: Εισαγωγή μιας MPLS ετικέτας). Προσδιορίζοντας το καλύτερο μονοπάτι βασιζόμενοι σε ένα σύνολο από τιμές σταθερού μήκους, σε αντίθεση με τον ίδιο αριθμό τιμών μεταβλητού μήκους, είναι υπολογιστικά λιγότερο απαιτητικό με αποτέλεσμα να απαιτεί και λιγότερο χρόνο.



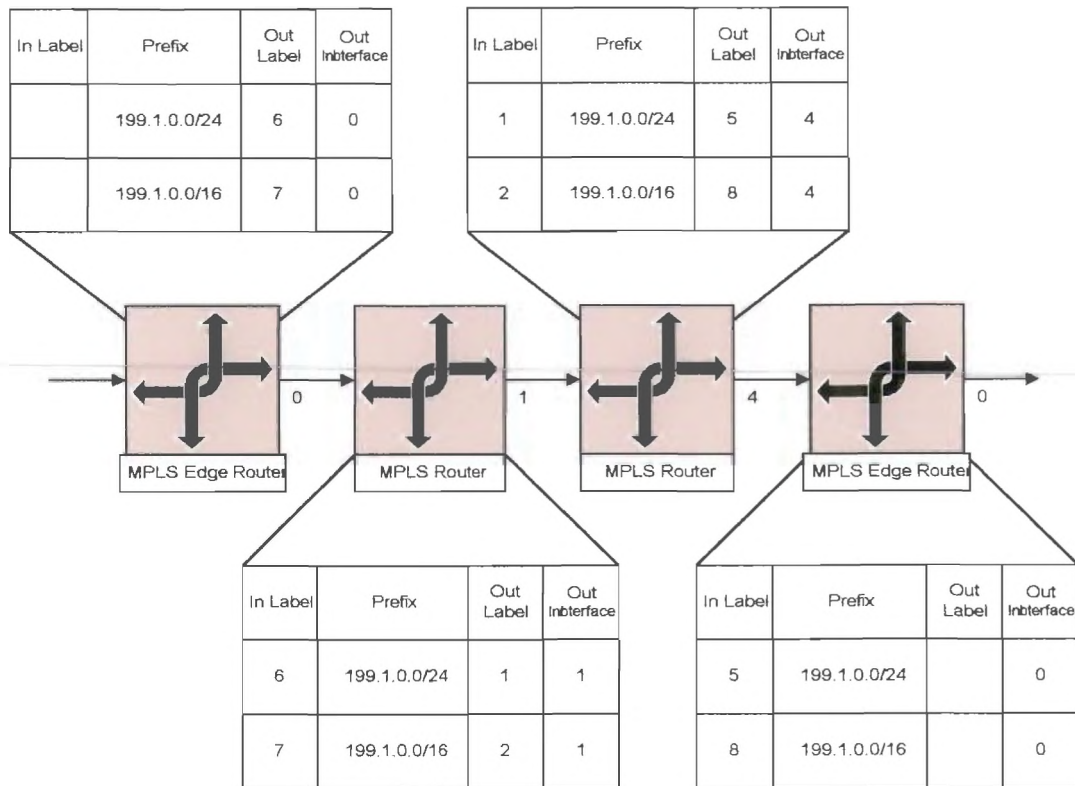
• Εικόνα 6: Εισαγωγή μιας MPLS ετικέτας

Το MPLS αναφέρεται και Layer 2.5 λόγω του ότι δεν είναι ούτε Layer 3 ούτε Layer 2 αλλά εισάγεται κάπου μεταξύ του network layer και του link-layer. Το network layer θα μπορούσε να είναι ουσιαστικά οποιοδήποτε από τα διάφορα δίκτυα που χρησιμοποιούνται σήμερα, όπως IP, IPX, AppleTalk κ.λπ. και αυτή είναι η σπουδαιότητα του multiprotocol στο MPLS technology framework. Εξαιτίας της μεγάλης ανεπτυγμένης βάσης σε όλο το Internet και της αναπτυσσόμενης βάσης σε IP δίκτυα παντού, η πρώτη και πιο σπουδαία υπόθεση και εφαρμογή για αυτή την τεχνολογία είναι να προσαρμόσει το IP πρωτόκολλο.

Εναλλακτικά, το MPLS μπορεί να υλοποιηθεί σε ATM switching hardware, όπου οι ετικέτες αντικαθιστώνται από τους VP/VC Identifiers.

Βασικά, οι ετικέτες διανέμονται στο MPLS δίκτυο από ένα δυναμικό label-distribution protocol, και οι ετικέτες περιορίζονται σε ένα πρόθεμα ή σε ένα σύνολο από προθέματα. Ο σύνδεσμος και η prefix-to-tag σύνδεση γίνονται από έναν edge node του MPLS δικτύου (είναι ένας δρομολογητής που αλληλεπιδρά με άλλους κόμβους που δεν είναι MPLS-capable). Ο MPLS edge node ανταλλάσσει πληροφορία για δρομολόγηση με non-MPLS-

capable κόμβους, τοπικά συνδέει και ενοποιεί προθέματα που προέρχονται από το Layer 3 routing σε MPLS ετικέτες, και κατανέμει τις ετικέτες σε MPLS peers (βλ. Εικόνα 7)



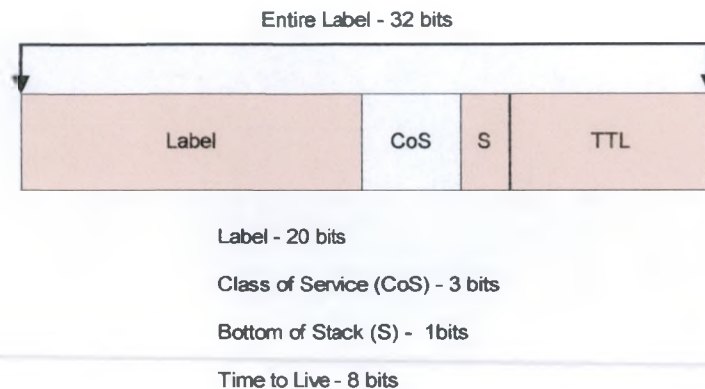
• Εικόνα 7: Η διαδικασία label swapping

### Qos και MPLS

Το QoS έχει διάφορες μελλοντικές δυνατότητες με το MPLS. Ένα από τα πιο άμεσα είναι το direct mapping των 3 bits που μεταφέρονται στην IP προτεραιότητα των εισερχόμενων επικεφαλίδων των IP πακέτων σε ένα Label CoS πεδίο, που προτάθηκε από την Cisco Systems σαν Tag Switching. Για όλους τους στόχους και σκοπούς οι όροι tag και label μπορούν να θεωρηθούν σαν εναλλακτικοί. Καθώς τα IP πακέτα εισέρχονται σε ένα MPLS domain ο edge MPLS δρομολογητής είναι υπεύθυνος (εκτός από τις παραπάνω λειτουργίες) για το mapping των bit settings στην επικεφαλίδα του IP πακέτου στο CoS πεδίο στην MPLS επικεφαλίδα όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.

Μια από τις χρήσεις του MPLS είναι η δυνατότητα για την δημιουργία explicit label-switched paths από την μια άκρη του MPLS δικτύου στην άλλη. Τα label-switched paths μπορούν να καθοριστούν και πιθανότατα να σχεδιαστούν με μια συλλογή από traffic engineering tools τα οποία πιθανώς βρίσκονται και μετά φορτώνονται στις συσκευές δικτύου. Αυτή είναι μια σημαντική ιδιότητα για traffic engineering σκοπούς, αφού δίνει στους διαχειριστές του δικτύου την δυνατότητα να καθορίσουν explicit paths σε ένα MPLS δίκτυο βασισμένοι σε αυθαίρετα κριτήρια. Traffic engineering λειτουργίες όπως η παραπάνω μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά για να αναβαθμίσουν την ποιότητα των

υπηρεσιών. Σαν αποτέλεσμα, κάποιες μέθοδοι για να προσφέρουν differentiated services είναι πιθανές.



• Εικόνα 8: CoS bits που μεταφέρονται στην MPLS ετικέτα

Διάφορα παράλληλα μονοπάτια μπορούν να υπάρχουν από την μια άκρη ενός MPLS δικτύου σε μια άλλη, για παράδειγμα, κάθε ένα με διαφορετικό bandwidth και χρησιμοποίηση. Είναι βέβαια πιθανό ότι explicit από-είσοδο-σε-έξοδο μονοπάτια μπορούν να επιλεγθούν για κάθε ειδικό CoS τύπο, και κάθε μονοπάτι να προσφέρει ένα ξεχωριστό differentiated χαρακτηριστικό. Η κυκλοφορία που περιγράφεται με μεγαλύτερες CoS τιμές μπορεί να προωθηθεί με μεγαλύτερη ταχύτητα και μικρότερη καθυστέρηση μονοπατιού, ενώ η κυκλοφορία που περιγράφεται με μικρότερες CoS τιμές μπορεί να προωθηθεί με μικρότερη ταχύτητα και μεγαλύτερη καθυστέρηση μονοπατιού. Αυτό το παράδειγμα δείχνει μια μέθοδο για την παροχή differentiated services με MPLS. Βεβαίως υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις. Στην πραγματικότητα το traffic engineering μπορεί να εκτελεστεί χωρίς να ληφθεί υπόψη ο ολικός CoS προσδιορισμός. Μπορεί να βασιστεί σε άλλα κριτήρια, όπως είναι η διεύθυνση της πηγής, η διεύθυνση του δέκτη ή per-flow χαρακτηριστικά. Ακόμη μπορεί να είναι σε αντιστοιχία με τα RSVP μηνύματα.

### QoS Routing

QoS Routing είναι ένας μηχανισμός δρομολόγησης με τον οποίο τα μονοπάτια για τις ροές καθορίζονται με βάση κάποια γνώση για την διαθεσιμότητα των πόρων στο δίκτυο καθώς επίσης και για τις QoS απαιτήσεις των ροών.

#### Στόχοι

Οι κύριοι στόχοι του QoS Routing είναι:

- 1) Δυναμικός καθορισμός των εφικτών μονοπατιών. Το QoS Routing μπορεί να καθορίσει ένα μονοπάτι μεταξύ πολλών άλλων. Η επιλογή ενός εφικτού μονοπατιού είναι θέμα πολιτικής όπως κόστος μονοπατιού, επιλογή παροχέα, κ.λπ.

- 2) Βελτιστοποίηση της χρήσης των πηγών: Μια μέθοδος για network state-dependent QoS Routing μπορεί να βοηθήσει για αποτελεσματική εκμετάλλευση των πόρων του δικτύου, αναβαθμίζοντας το ολικό throughput του δικτύου.
- 3) Ευέλικτη υποβάθμιση της απόδοσης: Η δρομολόγηση βάση της κατάστασης αντισταθμίζει προσωρινές ανεπάρκειες του δικτυακού εξοπλισμού (π.χ. κατά τη διάρκεια συνθηκών υπερφόρτωσης), δίνοντας καλύτερο throughput και πιο ευέλικτη υποβάθμιση της απόδοσης σε σύγκριση με σχήματα δρομολόγησης που δεν λαμβάνουν υπ' όψη τις αλλαγές κατάστασης.

### *Intradomain routing requirements*

Στο intradomain επίπεδο, ο στόχος είναι να δοθεί όσο το δυνατό μεγαλύτερη έκταση στα προαναφερθέντα ζητήματα του QoS Routing. Πράγματι, υπάρχουν πολλές ιδέες για το πως QoS Routing υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται σε ASs<sup>1</sup> (Autonomous Systems). Αυτές ποικίλουν από υπολογισμό μονοπατιών κατά απαίτηση, βασισμένη στην τρέχουσα πληροφορία μέχρι στατιστικά παρεχόμενα μονοπάτια που υποστηρίζουν λίγες κατηγορίες υπηρεσιών.

Ένα ακόμη θέμα που μπορεί να προκαλέσει διαφορετικές λύσεις είναι η βελτιστοποίηση της απόδοσης. Ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται για αυτό, το intradomain routing μπορεί να είναι πολύ σύνθετο ή απλό. Τέλος οι κατηγορίες των υποστηριζόμενων υπηρεσιών, καθώς επίσης και η συγκεκριμένη QoS τεχνική για μια κατηγορία υπηρεσιών, μπορεί να διαφέρουν από AS σε AS. Για παράδειγμα κάποια AS μπορεί να υποστηρίζουν εγγυημένες υπηρεσίες ενώ άλλα όχι. Έτσι λοιπόν απαιτείται αρκετή σκέψη για τον καθορισμό υψηλού επιπέδου απαιτήσεων για intradomain routing που θα υποστηρίζει και την καθολική άποψη για QoS routing στο Internet και ταυτόχρονα θα επιτρέπει μέγιστη αυτονομία στις αναπτυσσόμενες λύσεις.

Οι πιο σημαντικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται από το intradomain routing έτσι ώστε αυτό να είναι κατάλληλο για QoS routing είναι οι παρακάτω:

- Η τεχνική δρομολόγησης πρέπει να δρομολογεί την ροή σε ένα μονοπάτι που μπορεί να εξυπηρετεί τις QoS απαιτήσεις του, ή να δηλώνει ότι η ροή δεν πρέπει να γίνει αποδεκτή σύμφωνα με την QoS που απαιτείται.
- Η τεχνική δρομολόγησης πρέπει να δηλώνει παραβιάσεις στην τρέχουσα κατεύθυνση της ροής εξαιτίας αλλαγών στην τοπολογία.
- Η τεχνική δρομολόγησης πρέπει να εξυπηρετεί best – effort ροές χωρίς απαιτήσεις για δέσμευση πόρων

---

<sup>1</sup> Ένα πεδίο δρομολόγησης (routing domain) που έχει κοινή κυριότητα σχετικά με την διαχείριση και συναφή εσωτερική παλπική δρομολόγησης. Ένα AS μπορεί να χρησιμοποιήσει πολλαπλά intradomain πρωτόκολλα δρομολόγησης εσωτερικά και αλληλεπιδρά με άλλα ASs μέσω ενός κοινού interdomain πρωτοκόλλου δρομολόγησης.

- Η τεχνική δρομολόγησης πρέπει να υποστηρίζει προαιρετικά QoS-based multicasting με ετερογενείς δέκτες και διαφορετικά είδη δέσμευσης.

Επιπλέον προτείνεται να υπάρχουν και οι παρακάτω δυνατότητες:

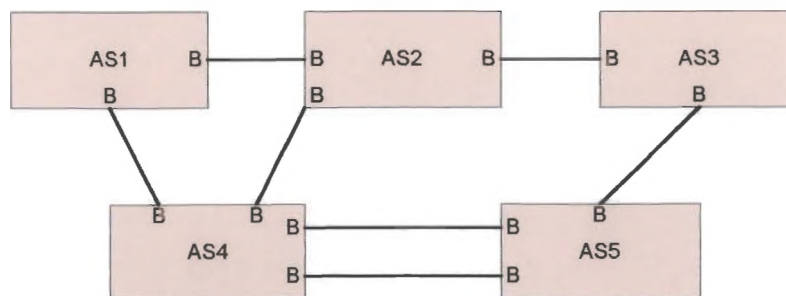
- Δυνατότητες για βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων
- Υλοποίηση ενός υψηλότερου επιπέδου διαδικασιών admission control για τον περιορισμό της ολικής εκμετάλλευσης των πόρων από ξεχωριστές ροές.

### *Interdomain Routing*

Η βασική απαίτηση στο interdomain QoS-based routing είναι η scalability. Αυτό υπονοεί ότι το interdomain routing δεν μπορεί να βασίζεται σε πληροφορία για την δυναμική κατάσταση του δικτύου. Αντίθετα αυτού του είδους η δρομολόγηση πρέπει να υποστηριχθεί από σταθερές τεχνικές δικτύου και σχετικά λίγη πληροφορία αλληλεπίδρασης μεταξύ ανεξάρτητων πεδίων δρομολόγησης. Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να υλοποιηθεί από άμεσες προεκτάσεις του τρέχοντος Internet interdomain μοντέλου δρομολόγησης. Μια σειρά από ζητήματα για την επίτευξη των παραπάνω πρέπει να εκπληρωθούν. Το πιο βασικό ζήτημα είναι το interdomain QoS-based routing μοντέλο που αναφέρεται στην επόμενη παράγραφο.

### **Interdomain QoS-based routing μοντέλο**

Το interdomain QoS-based routing μοντέλο παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 9. Όπως φαίνεται στην εικόνα τα ASs μεταφέρουν πληροφορία για δρομολόγηση μέσω των συνοριακών κόμβων B. Στο μοντέλο αυτό κάθε AS μπορεί να αποτελείται από ένα σύνολο διασυνδεδεμένων ASs, με τυποποιημένη αλληλεπίδραση για δρομολόγηση. Αυτό συνεπάγεται ότι το interdomain QoS-based routing μοντέλο είναι ιεραρχικό.



• Εικόνα 9: Interdomain QoS-based routing μοντέλο

### *QoS-based multicast routing*

Οι στόχοι του QoS-based multicast routing είναι οι παρακάτω:

- Scalability σε μεγάλες ομάδες με δυναμικό σώμα μελών (membership)

- Robustness ακόμη και σε ύπαρξη αλλαγών στην τοπολογία
- Υποστήριξη σε receiver-initiated, ετερογενής δεσμεύσεις
- Υποστήριξη σε διαμοιραζόμενα είδη δεσμεύσεων
- Υποστήριξη για «σφαιρικό» admission control

Το RSVP multicast flow model είναι το ακόλουθο: Ο αποστολέας μιας multicast ροής ανακοινώνει τα χαρακτηριστικά της κίνησης περιοδικά στους δέκτες. Σε απόδειξη της ανακοίνωσης ο δέκτης μπορεί να δημιουργήσει ένα μήνυμα για να δεσμεύσει πόρους κατά μήκος του μονοπατιού της ροής από τον αποστολέα. Οι δεσμεύσεις των δεκτών μπορεί να είναι ετερογενής. Τότε πρέπει να θεωρηθούν άλλα multicast μοντέλα.

Η multicast μέθοδοι για δρομολόγηση προσπαθούν να καθορίσουν ένα μονοπάτι από τον αποστολέα σε κάθε δέκτη το οποίο υποστηρίζει την απαίτηση για δέσμευση. Η μέθοδος δρομολόγησης προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την εκμετάλλευση των πόρων του δικτύου, ελαχιστοποιώντας το ολικό bandwidth που καταχωρείται στην multicast ροή ή βελτιστοποιώντας κάποια άλλη μετρική.

#### *QoS-based routing πρωτόκολλα και πρωτόκολλα δέσμευσης πόρων*

Πρέπει να υπάρχει ένα καλά καθορισμένο interface μεταξύ των πρωτοκόλλων δρομολόγησης και των πρωτοκόλλων δέσμευσης πόρων. Η φύση αυτού του interface και η αλληλεπίδραση ανάμεσα στην δρομολόγηση και στη δέσμευση πόρων πρέπει να καθοριστεί προσεκτικά για να αποφευχθούν ασυμβατότητες. Η σπουδαιότητα αυτή μπορεί να εύκολα να φανεί στην περίπτωση του RSVP.

Το RSVP έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί ανεξάρτητα από την υποκείμενη μέθοδο δρομολόγησης. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, RSVP PATH messages εγκαθιστούν το αντίστροφο μονοπάτι για RESV messages. Στην ουσία, αυτό το μοντέλο δεν είναι συμβατό με μεθόδους για QoS-based routing που υπολογίζουν μονοπάτια αφού έχουν δεχθεί τις δεσμεύσεις από τους δέκτες. Αν και αυτή η ασυμβατότητα μπορεί να επιλυθεί με έναν εύκολο τρόπο για unicast ροές, το multicast με απαιτήσεις από ετερογενείς δέκτες είναι μια πιο δύσκολη περίπτωση. Για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητη η εναρμόνιση ανάμεσα στα RSVP και τα QoS-based routing μοντέλα. Μια τέτοια εναρμόνιση, πάντως, μπορεί να απαιτεί κάποιες αλλαγές στο RSVP μοντέλο σε σχέση με το QoS-based routing μοντέλο. Από την άλλη πλευρά οι QoS-based routing μέθοδοι πρέπει να είναι συμβατές με το RSVP. Τέλος, πρέπει να ληφθεί υπόψη το πώς αυτό επηρεάζει τη scalability και τις άλλες μετρικές απόδοσης.



---

## Policy-enabled QoS

### *Ανάγκη για Policy-enabled QoS*

Ένα από τα πιο βασικά θέματα που σχετίζονται με την εφαρμογή QoS είναι ο καθορισμός του συνόλου των εφαρμογών και των χρηστών που επιτρέπεται να έχουν ιδιαίτερη πρόσβαση στους δικτυακούς πόρους. Τα διαχειριστικά κριτήρια όσον αφορά την πρόσβαση στους πόρους του δικτύου αποτελούν τις δικτυακές πολιτικές. Μία πολιτική μπορεί να καθορίσει ποιες αιτήσεις θα δεχτούν καλύτερη μεταχείριση κατά τη διαδικασία ενός πρωτοκόλλου σηματοδότησης όπως το DiffServ, και να καθορίσει τις κλάσεις υπηρεσίας και τους χρήστες που πρόκειται να λάβουν μία συγκεκριμένη υπηρεσία-DiffServ.

Παρόλο που οι νέες υπηρεσίες που έχουν αναπτυχθεί σήμερα δημιουργούν μηχανισμούς για την εφαρμογή QoS, πρέπει να αναπτυχθεί και μία ρυθμιστική υποδομή έτσι ώστε οι διαχειριστές των δικτύων να μπορούν να ρυθμίζουν ποιοι χρήστες και εφαρμογές έχουν πρόσβαση σε ποιους πόρους/υπηρεσίες και υπό ποιες συνθήκες. Το RSVP επηρεάζει την εκχώρηση δικτυακών πόρων σύμφωνα με μία ανά-ροή τακτική ανάλογα με τις ποσοτικές απαιτήσεις των εφαρμογών, ενώ το DiffServ προσθέτει σημάδια στην επικεφαλίδα των IP πακέτων για να επιτρέψει την επιβολή προτεραιοτήτων σε συναθροίσματα κίνησης (δηλαδή «κλάσεις» από πολλαπλές ροές). Η εφαρμογή τέτοιων υπηρεσιών εξαρτάται πάρα πολύ από την ευρεία υποδομή πολιτικής προτεραιοτήτων, η οποία θα επιτρέψει στους ISPs και στους διαχειριστές των δικτύων να ρυθμίζουν το δίκτυο παρά να διαμορφώνουν τις δικτυακές συσκευές.

Για παράδειγμα, ένας ISP μπορεί να θέλει να εξασφαλίσει ότι η voice-over-IP ανατίθεται στην μικρής απώλειας, μικρής καθυστέρησης κλάση υπηρεσία, ενώ ταυτόχρονα να μειώνεται το πλήθος των ταυτόχρονα εξυπηρετούμενων voice-over-IP εφαρμογών. Να μεταφέρει τις κρατήσεις από συγκεκριμένες πηγές κατά τη διάρκεια της ημέρας σε ένα συγκεκριμένο ρυθμό, και ακόμα να περιορίζει το εύρος ζώνης αυτών των ροών. Σε τέτοια παραδείγματα, η ωφελιμότητα μίας QoS υπηρεσίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους διαχειριστικούς μηχανισμούς ρύθμισης της πρόσβασης στους δικτυακούς πόρους, βάσει ορισμένων κριτηρίων, όπως είναι οι χρήστες, οι εφαρμογές, οι λογαριασμοί, κ.α..

Καθώς η εφαρμογή QoS σε ένα IP δίκτυο σημαίνει ότι κάποιοι χρήστες θα λάβουν καλύτερη δικτυακή εξυπηρέτηση από κάποιους άλλους, δημιουργεί κάποια κίνητρα για εκμετάλλευση πόρων. Κάποιοι χρήστες θέλουν οπωσδήποτε την καλύτερη υπηρεσία, αλλά δεν έχουν τη διάθεση να πληρώσουν τα, πιθανόν, μεγαλύτερα κόστη που αυτή η υπηρεσία θα έχει. Για το λόγο αυτό υπάρχει ανάγκη για πιστοποίηση εκείνων που αιτούνται τα επίπεδα καλύτερης υπηρεσίας, και για να γίνει αυτό απαιτείται η πιστοποίηση των traffic “owners” («ιδιοκτητών» της κίνησης) με μία ανά πακέτο τακτική.

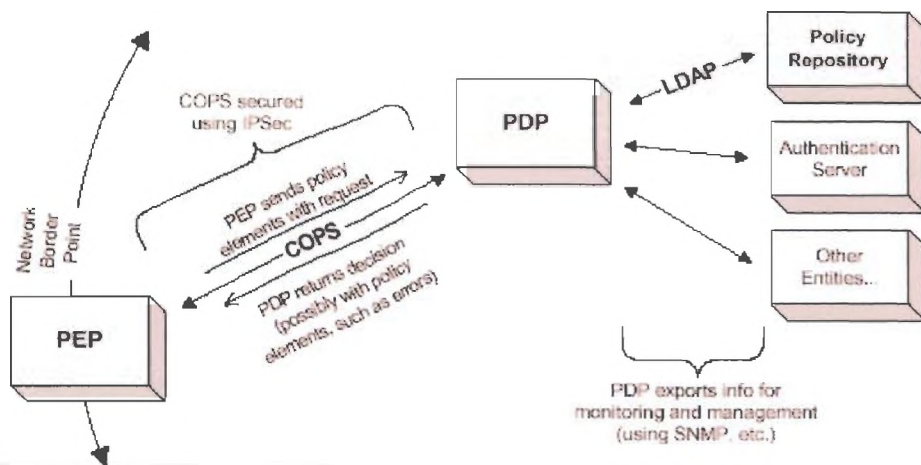
Εφόσον υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου οι traffic “owners” -όπως οι τελικοί χρήστες, εφαρμογές, ISPs, εταιρείες κτλ.- έχουν το δικαίωμα της υπηρεσίας που ζητούν, είναι ανάγκη να υπάρχουν κανόνες, ανάγκη για «πολιτική» η οποία θα επιβάλει αυτούς τους κανόνες, και ανάγκη για «κριτές» οι οποίοι θα αποφασίζουν για το πότε θα πρέπει να εφαρμοστούν οι κανόνες. Οι κανόνες, η πολιτική και οι κριτές μαζί σχηματίζουν ένα σύστημα πολιτικής το οποίο είναι απαραίτητο σε ένα QoS-enabled σύστημα.

Πολιτική είναι ένας ή περισσότεροι κανόνες οι οποίοι περιγράφουν τις ενέργειες οι οποίες πρέπει να γίνουν όταν υπάρξουν συγκεκριμένες συνθήκες, δηλαδή **CONDITION**→ **ACTION**. Ένας κανόνας συχνά θα αποτελείται από πολλούς κανόνες, οπότε θα μπορούσαμε να πούμε ότι «οι πολιτικές αποτελούνται από πολιτικές». Ωστόσο, είναι απαραίτητη η ανάγκη ύπαρξης ιεραρχίας, καθώς επιτρέπει πολύπλοκες πολιτικές να δημιουργηθούν από απλές πολιτικές, και απλοποιεί αρκετά τη διαχείρισή τους.

Οι κανόνες μίας πολιτικής -συνθήκες και ενέργειες- πρέπει να είναι ξεκάθαροι και πιστοποιήσιμοι. Θα πρέπει να υπάρχει ένας μόνο σωστός κανόνας για κάποιο συγκεκριμένο σετ συνθηκών. Δηλαδή οι κανόνες θα πρέπει να αποτελούν μία μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων. Επιπλέον, τα κριτήρια απόφασης της πολιτικής θα πρέπει να μπορούν είναι ορθώς ορισμένα, ούτως ώστε να μπορούν να γίνουν κατανοητά και να εφαρμοστούν κατά μήκος των διαχειριστικών συνόρων. Δηλαδή, η διαδικασία της απόφασης για το ποιες συνθήκες ισχύουν και ποιες ενέργειες πρέπει να ακολουθήσουν, πρέπει να στηρίζονται σε αλγορίθμους εκτίμησης συνολικών κριτηρίων τα οποία δεν αλλάζουν μεταξύ των περιοχών εφαρμογής της ίδιας πολιτικής. Αυτή είναι μία βασική απαίτηση για τη σωστή λειτουργία των συστημάτων πολιτικής.

#### **Αρχιτεκτονική και πλαίσιο πολιτικής**

Το Working Group για RSVP Admission Policy (Rap) στο IETF είχε ως αρχικό στόχο να «δημιουργήσει ένα μοντέλο ελέγχου πολιτικής με δυνατότητες κλιμάκωσης» για το RSVP πρωτόκολλο και τις IntServ υπηρεσίες οι οποίες εξυπηρετούνται από αυτό. Το πλαίσιο πολιτικής που σχεδιάσανε μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλες QoS τεχνολογίες, όπως είναι οι DiffServ που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το πλαίσιο αυτό είναι πολύ απλό, και αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία. Αποτελείται από ένα Policy Enforcement Point (PEP) και από ένα Policy Decision Point (PDP), εκ των οποίων το πρώτο στοιχείο είναι εκείνο που εφαρμόζει την πολιτική και το δεύτερο είναι εκείνο που κρίνει, που παίρνει τις αποφάσεις βάσει των πολιτικών που ανακτά από το χώρο «διατήρησης» των πολιτικών, και ακόμα από άλλες τοποθεσίες, όπως server πιστοποίησης. Αυτό το πλαίσιο εργασίας φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



• Εικόνα 10: Το πλαίσιο εργασίας – Policy Framework

Η διαχώριση του PEP από το PDP γίνεται για λόγους λειτουργικότητας, αλλά δεν είναι απαραίτητα μία φυσική διαχώριση. Επομένως, η διαχώρισή τους δεν αποκλείει την δυνατότητα αυτά τα στοιχεία να βρίσκονται στην ίδια συσκευή. Συγκεκριμένα, το Policy Framework (πλαίσιο εργασίας της πολιτικής) περιγράφει ένα υπο-στοιχείο του PEP που ονομάζεται «Local PDP» (LPDP - τοπικό PDP), και το οποίο δίνει τη δυνατότητα κάποιο μέρος της απόφασης να γίνεται στο PEP. Όμως για την αποφυγή παραβίασης της ασφάλειας, ένα PEP πρέπει πάντα να στέλνει μία αίτηση στο PDP για την τελική απόφαση της πολιτικής.

#### Λειτουργίες μίας πολιτικής

Εκτός από τις λειτουργίες απόφασης και εφαρμογής, έχει ανατεθεί στους PDP και PEP άλλη μία πολύ σημαντική λειτουργία, η μέτρηση. Ακολουθεί μία περιγραφή των τριών βασικών λειτουργιών ενός policy-enabled συστήματος:

- **Λήψη απόφασης:** Η λειτουργία αυτή των PDPs περιλαμβάνει ανάκτηση πολιτικής, επεξήγηση πολιτικής, αναγνώριση συγκρούσεων στην πολιτική, την ανάληψη αιτήσεων για απόφαση και συνθηκών (conditions) από τους PEPs, προσδιορισμός για το ποια πολιτική είναι η σχετική, εφαρμογή της πολιτικής και επιστροφή των αποφάσεων. Ακόμα περιλαμβάνει και την ασύγχρονη αποστολή κάποιων στοιχείων για την πολιτική στα PEPs, βάσει ανανεώσεων που συνέβησαν στην πολιτική από εξωτερικούς παράγοντες. Γι' αυτό το σκοπό δημιουργήθηκε το μήνυμα COPS «Policy Provisioning Client», και αποστέλλει μία κωδικοποιημένη υπόδειξη πολιτικής, που ονομάζεται PIB, προς εγκατάσταση στο PEP.
- **Εφαρμογή:** Αυτή η λειτουργία περιλαμβάνει την εφαρμογή ενεργειών από τους PEP σύμφωνα με τις αποφάσεις των PDP και βάσει σχετικών πολιτικών και προσωρινών δικτυακών συνθηκών (που μπορεί να είναι στατικοί- όπως οι διευθύνσεις και τα port πηγής και προορισμού- και/ή δυναμικά -όπως η συγκεκριμένη διαθεσιμότητα εύρους ζώνης ή η ώρα της ημέρας).

- **Μέτρηση:** Αυτή είναι μία ενεργητική ή παθητική εξέταση του δικτύου και των στοιχείων του για τη δικτυακή κατάσταση, για έλεγχο του κατά πόσον ικανοποιούνται οι πολιτικές, και για το αν οι πελάτες μπορούν να λαμβάνουν σωστή υπηρεσία από το δίκτυο. Η λήψη απόφασης από τους PDPs χρησιμοποιεί στατική ή δυναμική πληροφορία για τον καθορισμό του κατά πόσον ένας τύπος πολιτικής ικανοποιείται, και αν όχι, ποια βήματα πρέπει να γίνουν ούτως ώστε να ικανοποιηθεί η πολιτική. Αυτή η λειτουργία χαρακτηρίζεται και ως *policing*, παρόλο που ο όρος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για αναφορά σε ενεργή μορφοποίηση κίνησης ή απόρριψη πακέτων.

#### **Συμπεράσματα**

Βλέπουμε λοιπόν ότι αυτό που χρειάζεται για να είναι ολοκληρωμένη η εφαρμογή QoS στα σημερινά δίκτυα, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα αποδοτικό, policy-based σύστημα το οποίο να βοηθάει στον καλύτερο έλεγχο του δικτύου, και στην εφαρμογή πολιτικών οι οποίες αυτόματα θα μπορούν να αλλάζουν ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου και τις διαχειριστικές απαιτήσεις.

Για τη διαχείριση των σημερινών εφαρμογών, το δίκτυο πρέπει να είναι αξιόπιστο. Πρέπει ακόμα να είναι προβλέψιμο. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι ανάγκη η ύπαρξη μιας καθολικής end-to-end στρατηγικής, η οποία θα μπορεί να συσχετίζει το δίκτυο με τις όλες τις ενέργειες που λαμβάνουν χώρα σε αυτό. Αυτή η policy-based δικτυακή υποδομή αντανακλά τους στόχους και της διαδικασίες που σχετίζονται με την ανάπτυξη ενός δικτύου.

---

## Επίλογος – Ανοιχτά Ζητήματα

Συνοψίζοντας, πρέπει να τονίσουμε τη σπουδαιότητα της ποιότητας υπηρεσίας στα σημερινά δίκτυα και της ανάπτυξης μηχανισμών.

Καθώς εμφανίζονται συνεχώς νέες δικτυακές εφαρμογές και συνεπώς νέες δικτυακές υπηρεσίες, η διαφοροποίηση των υπηρεσιών κρίνεται πλέον απαραίτητη για την ικανοποίηση της ποικιλίας και του πλήθους των απαιτήσεων σε ποιότητα υπηρεσίας. Το ξεχωριστό, λοιπόν, χαρακτηριστικό ενός multiservice δικτύου είναι η ικανότητά του να προσφέρει μία ποικιλία δικτυακών υπηρεσιών στις διάφορες δικτυακές εφαρμογές, μαζί με συμφωνίες οι οποίες αντανακλούν το επίπεδο στο οποίο παρέχεται η υπηρεσία. Υπάρχουν, ως γνωστό, πολλές διαφορετικές τεχνολογικές επιλογές για την υποδομή ολοκληρωμένων υπηρεσιών, οι οποίες έχουν δυνατότητες για ικανοποίηση των παραπάνω απαιτήσεων, όπως είναι και εκείνες οι οποίες συναντώνται σε εφαρμογές ενός ιδεατού ιδιωτικού δικτύου (VPN). Η ανάλυση αυτών, προκύπτει από θεωρήσεις των IP και ATM δικτύων, καθώς και της συνεργασίας αυτών, όπως στην MPLS (πολλαπλών πρωτοκόλλων μεταγωγή ετικέτας) και στην MPOA (πολλαπλά πρωτόκολλα πάνω από ATM) προσέγγιση.

Παράλληλα, το Internet μεταβαίνει από ένα best-effort μοντέλο υπηρεσίας, όπου όλες οι μεταδόσεις θεωρούνται ισάξιες και δεν υπάρχουν εγγυήσεις μεταφοράς, σε ένα μοντέλο ικανό να παρέχει προβλεπόμενα και εγγυημένα επίπεδα υπηρεσίας για συγκεκριμένες QoS απαιτήσεις. Η μετάβαση αυτή οδηγείται τόσο από τις ποιοτικά διαφορετικές απαιτήσεις των εμφανιζόμενων εφαρμογών, όσο και από την ώθηση της αγοράς για διαφοροποίηση των υπηρεσιών. Ποικίλοι μηχανισμοί και πρωτόκολλα που έχουν προταθεί για ολοκληρωμένες (integrated) και διαφοροποιημένες (differentiated) υπηρεσίες προσπαθούν να παρέχουν αλληλεπιδραστικές και προσαρμόσιμες λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα δίκτυο. Αυτές οι λύσεις εμπεριέχουν τη συμμετοχή διαφορετικών τύπων δικτυακού εξοπλισμού: end-hosts, δρομολογητές πρόσβασης στο δίκτυο, backbone δρομολογητές, και μεταγωγείς. Η παρουσία αυτών των υπηρεσιών υποδηλώνει ότι οι δικτυακές συσκευές πρέπει να διαχωρίζουν τα διαφορετικά πακέτα, σε αντίθεση με τα υπάρχοντα best-effort δίκτυα, τα οποία μεταχειρίζονται τα πακέτα ισάξια. Το μεγάλο ενδιαφέρον πάνω στο θέμα της QoS στην κοινωνία του Internet αποδεικνύεται από την απότομη ανάπτυξη, κατά τα τελευταία χρόνια, δύο IP standards, της προσέγγισης RSVP (InteServ/RSVP) και των διαφοροποιημένων υπηρεσιών, που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

Οι μηχανισμοί, μέσω της παροχής QoS, αποβλέπουν στο να:

- Ελέγχουν την ανταπόκριση του δικτύου έτσι ώστε αυτή να είναι προβλέψιμη
- Παρέχουν ένα επίπεδο υπηρεσίας ίσο με ή μεγαλύτερο από ένα ελάχιστο όριο εγγύησης

- Ελέγχουν τη συμφόρηση για τους δικτυακούς πόρους
- Ελέγχουν τον ανταγωνισμό για τους δικτυακούς πόρους έτσι ώστε να αποφευχθεί η άδικη κατανομή των πόρων
- Παρέχουν μια ικανοποιητική συνολική χρησιμοποίηση των δικτυακών πόρων

Όπως είδαμε, γίνονται πολλές προσπάθειες για την εφαρμογή QoS στα σημερινά δίκτυα μέσω διαφόρων τεχνολογικών καινοτομιών και βελτιώσεων των υπαρχόντων. Η ανάγκη για έναν αποδοτικό τρόπο διαχείρισης της χωρητικότητας, και για παροχή υπηρεσιών με εγγυήσεις ποιότητας, αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα που προκύπτει από το συνεχώς αυξανόμενο αριθμό χρηστών και εφαρμογών, γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική. Ο συνδυασμός των προτεινόμενων μεθόδων και η εκμετάλλευση των δυνατοτήτων των δικτύων υψηλών ταχυτήτων, πιθανόν να οδηγήσει στην πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση του προβλήματος.

Ωστόσο, παραμένουν κάποια ανοιχτά ζητήματα όσον αφορά την εφαρμογή της QoS στα σημερινά δίκτυα. Δύο από τα σημαντικότερα είναι η QoS κοστολόγηση και θέματα ασφάλειας.

Είναι λογικό η εφαρμογή μηχανισμών για την παροχή QoS να αναμένεται να προκαλέσει μια αύξηση στην τιμή αντίστοιχων δικτυακών υπηρεσιών. Η παροχή μιας ξεχωριστής υπηρεσίας συνεπάγεται την ύπαρξη επιπρόσθετων δικτυακών πόρων για να υποστηρίξουν την υπηρεσία, και συνεπώς η χρέωση θα πρέπει να αντικατοπτρίζει αυτή τη νέα κατανομή των πόρων. Μια τέτοια αύξηση στη χρέωση μετατοπίζει το επιπλέον κόστος σε εκείνους τους πελάτες που απαιτούν ένα δυσανάλογο ποσό δικτυακών πόρων και παράλληλα παρέχει ένα μέσο για να ελέγχεται το επίπεδο της ζήτησης για υψηλά επίπεδα υπηρεσίας.

Έτσι, στην περίπτωση που επιβληθούν αυξημένες τιμές στη χρήση των QoS υπηρεσιών, κρίνεται απαραίτητη κάποιου είδους κοστολόγησης που να συσχετίζει τη χρήση της υπηρεσίας με ένα συγκεκριμένο πελάτη. Μέχρι αυτή τη στιγμή δεν έχει καθοριστεί κάποιο μοντέλο χρέωσης ή κάποιος τρόπος συγκέντρωσης των δεδομένων που απαιτούνται για την υποστήριξη μιας λειτουργίας τιμολόγησης των πόρων. Το πιο σύνηθες μοντέλο και στο δημόσιο internet και στα δίκτυα των επιχειρήσεων είναι αυτό στο οποίο η χρέωση των χρηστών βασίζεται στα χαρακτηριστικά της πρόσβασής τους στις υπηρεσίες, και όχι στην πραγματική χρησιμοποίηση της υπηρεσίας. Η εισαγωγή των QoS υπηρεσιών δίνει μια δυνατή ώθηση προς τη usage-based χρέωση, όπου οι χρήστες χρεώνονται βάσει του επιπέδου της χρησιμοποίησης των δικτυακών πόρων.

Το δεύτερο μεγάλο ανοιχτό ζήτημα είναι το θέμα της ασφάλειας. Η παροχή QoS, καθώς θα συνοδεύεται από ένα σχήμα τιμολόγησης, απαιτεί την ύπαρξη ελέγχου πιστοποίησης και πρόσβασης των χρηστών. Ένας διαμοιραζόμενος πόρος Δε θα πρέπει να εκθέτει φανερά το επίπεδο της χρησιμοποίησης των πόρων από ένα χρήστη σε οποιονδήποτε άλλον, έτσι ώστε να υπάρχει ένα επίπεδο μυστικότητας. Με έναν

τέτοιο μηχανισμό πιστοποίησης θα αποφευχθεί και μια πιθανή “κλοπή” των πόρων μετά από μια μη εξουσιοδοτημένη αποδοχή κυκλοφορίας. Τα QoS πρωτόκολλα σηματοδότησης που πραγματοποιούν διαχείριση των πόρων και έλεγχο αποδοχής απαιτούν τη χρήση ταυτότητας εξουσιοδότησης και προστασίας της ακεραιότητας έτσι ώστε να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν το φαινόμενο της “κλοπής”.

Σχετικά με τα δύο αυτά ανοιχτά ζητήματα έχει πραγματοποιηθεί πρόσφατα αρκετή ερευνητική εργασία, αλλά απομένουν ακόμα σημαντικά βήματα μέχρι την επιτυχή εφαρμογή τέτοιου είδους μηχανισμών στα δίκτυα επικοινωνιών.

Συμπερασματικά, μπορούμε να θεωρήσουμε την παροχή της QoS σαν ένα μέσο για την εξάσκηση ελέγχου στην κατανομή των δικτυακών πόρων. Διότι στην περίπτωση που συμβεί μια απότομη αλλαγή στη διαθεσιμότητα των πόρων, ένα ανεπιθύμητο αποτέλεσμα θα ήταν οι εναπομείναντες πόροι να κατανεμηθούν ολοκληρωτικά σε μια μόνο κλάση υπηρεσίας αποκλείοντας την εξυπηρέτηση όλων των υπολοίπων. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε άρνηση υπηρεσίας, ενώ οι QoS μηχανισμοί θα είχαν τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν αυτού του είδους τα προβλήματα δίνοντας τη δυνατότητα στο δίκτυο να παρέχει στους χρήστες υπηρεσίες με εγγύηση ποιότητας.

---

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] IETF Internet Draft, "End-to-End Traffic Issues in IP/ATM Internetworks," draft-jagan-e2e-traf-mgmt-00.txt, S. Jagannath, S. Yin, August 1997.
- [2] "MAC Bridges," ISO/IEC 10038, ANSI/IEEE Std. 802.1D, 1993.
- [3] "Supplement to MAC Bridges: Traffic Class Expediting and Dynamic Multicast Filtering," IEEE P802.1p/D6, May 1997.
- [4] IETF Internet Draft, "Integrated Service Mappings on IEEE 802 Networks," draft-ietf-issll-is802-svc-mapping-01.txt, M. Seaman, A. Smith, E. Crawley, November 1997.
- [5] IETF Internet Draft, "SBM (Subnet Bandwidth Manager): A Proposal for Admission Control over IEEE 802-style networks," draft-ietf-issll-is802-bm-05.txt, R. Yavatkar, F. Baker, D. Hoffman, Y. Bernet, November 1997.
- [6] "Oscillating Behavior of Network Traffic: A Case Study Simulation," L. Zhang, D. Clark, *Internetwork: Research and Experience*, Volume 1, Number 2, John Wiley & Sons, 1990, pages 101-112.
- [7] "Congestion Avoidance and Control," V. Jacobson, *Computer Communication Review*, vol. 18, no. 4, pp. 314-329, Aug. 1988.
- [8] "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance," S. Floyd, V. Jacobson, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, v.1, n.4, August 1993.
- [9] "Understanding TCP Dynamics in an Integrated Services Internet," W. Feng, D. Kandlur, D. Saha, K. Shin, *NOSSDAV '97*, May 1997.
- [10] "Queuing Systems, Volume 2: Computer Applications," L. Kleinrock, Wiley Interscience, 1975.
- [11] "An Engineering Approach to Computer Networking," S. Keshav, Addison-Wesley, 1997.
- [12] "Design and Analysis of a Fair Queuing Algorithm," A. Demera, S. Keshav, and S. Shenker, *ACM SIGCOMM'89*, Austin, September 1989.
- [13] "Dynamics of Random Early Detection," D. Lin and R. Morris (Harvard University), a proposal & overview of Fair Random Early Drop (FRED). Presented at *ACM SIGCOMM 1997*.



- [14] RFC1633, "Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview," R. Braden, D. Clark, S. Shenker, June 1994.
- [15] RFC2205, "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification," R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, September 1997.
- [16] RFC2208, "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Version 1 Applicability Statement, Some Guidelines on Deployment," A. Mankin, F. Baker, R. Braden, S. Bradner, M. O'Dell, A. Romanow, A. Weinrib, L. Zhang, September 1997.
- [17] The IETF RSVP Admission Policy (rap) working group charter can be found at: <http://www.ietf.org/html.charters/rap-charter.html>
- [18] Internet Research Task Force draft, "Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet," draft-irtf-e2e-queue-mgt-recs.ps, R. Braden, D. Clark, J. Crowcroft, B. Davie, D. Estrin, S. Floyd, V. Jacobson, G. Minshall, C. Partridge, L. Peterson, K. Ramakrishnan, S. Shenker, J. Wroclawski, L. Zhang, March 1997.
- [19] Differential Service for the Internet, <http://diffserv.lcs.mit.edu/>
- [20] IETF internet Draft, "A Framework for Multiprotocol Label Switching", draft-ietf-mpls-framework-00.txt, R. Callon, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, G. Swallow, A. Viswanathan, May 1997
- [21] Allot Communications, «Policy-Based Network Architecture», December 13, 2000, [http://www.allot.com/html/products\\_white.shtm](http://www.allot.com/html/products_white.shtm)
- [22] Allot Communications, «A Policy Framework for Integrated and Differentiated Service in the Internet», December 13 2000, [http://www.allot.com/html/products\\_white.shtm](http://www.allot.com/html/products_white.shtm)

