

Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service)

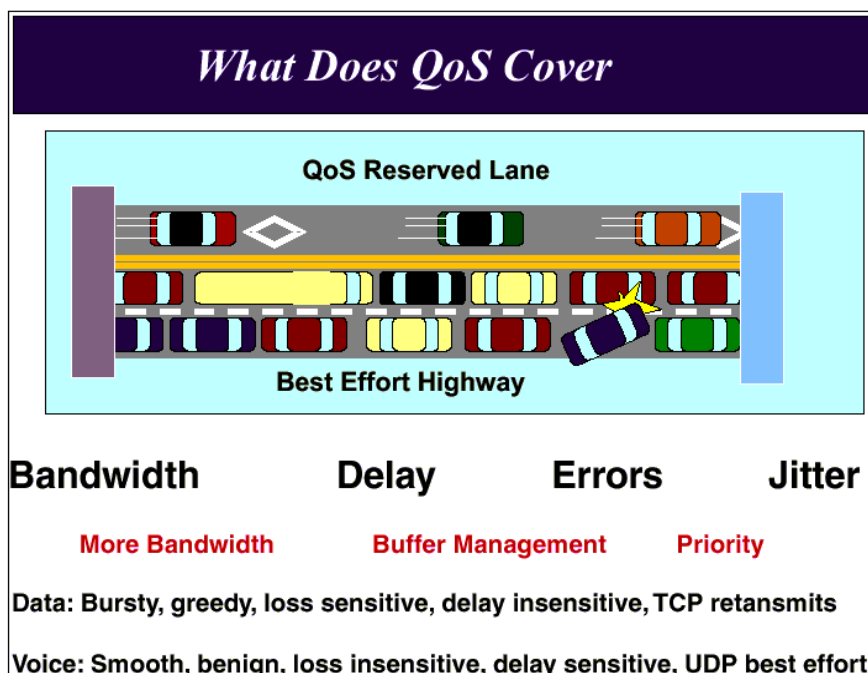
Εισαγωγή - Βασικές έννοιες

Τί είναι Ποιότητα

Με τον όρο ποιότητα εννοούμε την διαδικασία της παράδοσης δεδομένων με έναν αξιόπιστο τρόπο ή με κάποιο τρόπο καλύτερο από τον κανονικό. Ο ορισμός αυτός ενσωματώνει τις έννοιες της απώλειας δεδομένων (data loss), ελάχιστης ή καθόλου καθυστέρησης ή αργοπορίας (latency), παραμόρφωσης (jitter) καθώς επίσης την δυνατότητα να προσδιοριστεί η πιο αποδοτική χρήση των πόρων του δικτύου (για παράδειγμα με την μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο τελικών σημείων ή την μέγιστη αποδοτικότητα του bandwidth του κυκλώματος). Υπό μια άλλη οπτική γωνία ο όρος ποιότητα περιλαμβάνει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ή ιδιαίτερες δικτυακές εφαρμογές και πρωτόκολλα. [BIB2]

Τί είναι Υπηρεσία

Ο όρος υπηρεσία μπορεί να πάρει διάφορα νοήματα ανάλογα με τις απαιτήσεις του τελικού χρήστη. Γενικά ως υπηρεσία περιγράφεται οτιδήποτε προσφέρεται στους τελικούς χρήστες ενός δικτύου όπως για παράδειγμα end to end επικοινωνίες ή εφαρμογές client-server. Οι υπηρεσίες μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ νοητικό φάσμα που ξεκινάει από ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και μπορεί να καταλήξει μέχρι desktop video και άλλες multimedia εφαρμογές. Σε ένα άλλο νοητικό επίπεδο οι υπηρεσίες μπορούν να θεωρηθούν και να μελετηθούν κατά πρωτόκολλο ή και κατά είδος πρωτοκόλλου μέσα σε μία συγκεκριμένη ακολουθία πρωτοκόλλων. [BIB2]



Τί είναι Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service)

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω μπορεί να οριστεί ευκολότερα το κατά τ' άλλα χαοτικό θέμα της ποιότητας υπηρεσίας. Το QoS (συντομογραφία του αγγλικού όρου Quality of Service) είναι μια συγκεντρωτική μέτρηση του επιπέδου υπηρεσιών που παρέχονται στο χρήστη του δικτύου. Το QoS μπορεί να χαρακτηριστεί από διάφορα βασικά κριτήρια απόδοσης που περιλαμβάνουν την διαθεσιμότητα, την απόδοση λάθους, τον χρόνο απόκρισης και διαπέρασης (throughput) του δικτύου, τις χαμένες κλήσεις ή μεταδόσεις που οφείλονται σε δικτυακή συμφόρηση, το χρόνο εγκατάστασης της σύνδεσης και τέλος την ταχύτητα ανίχνευσης λαθών και διόρθωσης.

Οι Service Providers μπορούν να εγγυηθούν ένα ιδιαίτερο επίπεδο QoS στους πελάτες τους ορισμένο από μία συμφωνία επιπέδου υπηρεσίας (Service Level Agreement - SLA). Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναλυθεί περαιτέρω η έννοια του SLA. Η συμφωνία λοιπόν αυτή είναι ένα συμβόλαιο που μεταξύ ενός service provider και του πελάτη (οργάνωση ή domain) που ορίζει τις υπευθυνότητες του provider σε όρους επιπέδου δικτύου (ποσό των δεδομένων από πηγή σε προορισμό σε μια χρονική στιγμή, ρυθμός απώλειας, καθυστερήσεις, παραμορφώσεις, κλπ) καθώς και τους χρόνους διαθεσιμότητας, τις μεθόδους μέτρησης, τις συνέπειες αν τα επίπεδα της παρεχόμενης υπηρεσίας δεν επιτευχθούν ή αν τα επίπεδα κυκλοφορίας ξεπεραστούν από τον πελάτη και όλα τα κόστη που εμπλέκονται. Το SLA πρέπει να περιλαμβάνει επίσης μια σειρά από κανόνες συνθηκών κυκλοφορίας. [INT1]

Ιστορική αναδρομή

Στα πρώτα χρόνια χρησιμοποίησης των δικτύων δεν υπήρχε η σκέψη για ποιότητα υπηρεσίας. Η πρώτη και μοναδική ανησυχία όσων ασχολούνταν με τα δίκτυα ήταν να πηγαίνουν τα πακέτα στον προορισμό τους. Η ανησυχία αυτή με τον καιρό έγινε η πηγή από την οποία δημιουργήθηκε σε πρώιμο στάδιο η ανάγκη για ποιότητα στις υπηρεσίες. Αρχικά λοιπόν δημιουργήθηκαν μηχανισμοί για τον προσδιορισμό των χαμένων πακέτων ή την διακύμανση της συνδεσιμότητας μεταξύ συνδεδεμένων κόμβων στο δίκτυο. Αργότερα και συγκεκριμένα στις αρχές της δεκαετίας του 90 τα θέματα της διαχείρισης της συμφόρησης και της διαφοροποίησης των υπηρεσιών ήρθαν στο προσκήνιο. Έγινε τώρα σημαντικότερη η διατήρηση της ροής της κυκλοφορίας καθώς και των συνδέσεων και γενικότερα η σταθερότητα του συστήματος δρομολόγησης (routing).

Όλα τα παραπάνω δεν θα είχαν κανένα πεδίο αναφοράς αν δεν συνοδεύονταν από αυτήν την εκρηκτική ανάπτυξη που παρουσίασαν τα δίκτυα τα τελευταία χρόνια. Πράγματι αν το πρόβλημα για παράδειγμα του περιορισμένου εύρους ζώνης υπήρχε στα πλαίσια ενός τοπικού δικτύου ενός οργανισμού ή μιας επιχείρησης η λύση αρχικά θα ήταν η αύξηση του εύρους ζώνης με το αντίστοιχο χαμηλό οικονομικό κόστος. Όμως σε πιο σύνθετα προβλήματα δικτύωσης που περιλαμβάνουν συνδέσεις με WAN και καλύπτουν πολλά χιλιόμετρα δικτύου, το κόστος πολλαπλασιάζεται απαγορευτικά. Αν και η ισορροπία του ποσοστού 80/20 της σχέσης κυκλοφορίας LAN/WAN αρχίζει να αλλάζει προς την πλευρά των WAN, η αυξανόμενη

δυνατότητα απόκτησης εύρους ζώνης (bandwidth) στα τοπικά δίκτυα εντείνει την δημιουργία μπουτιλιαρίσματος (bottleneck) στο σημείο σύνδεσης τους με τα WAN.

Από την άλλη πλευρά η εκμετάλλευση των οπτικών ινών φτάνει στα όρια της. Η ζήτηση σε bandwidth έχει γίνει τόσο μεγάλη που η υφιστάμενη υποδομή σε οπτικές ίνες φαίνεται να μην επαρκεί. Επιπλέον οι συσκευές των δικτύων συνέχεια βελτιώνονται μα ακόμα και αυτές οι βελτιώσεις οδηγούν αλυσιδωτά σε νέες απαιτήσεις για υψηλότερες ταχύτητες. Έτσι αυτός ο φαύλος κύκλος της προσφοράς και της ζήτησης πόρων και δυνατοτήτων τεχνολογίας οδηγεί σε μονόδρομο. Την εφαρμογή των τεχνολογιών ποιότητας υπηρεσιών. [BIB2]

Αναπόφευκτα λοιπόν δημιουργείται η ανάγκη για βελτιστοποίηση των μηχανισμών δικτύωσης έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η σχέση κόστους-ωφέλειας για τον τελικό χρήστη. Αρκετές μελέτες έχουν γίνει πάνω σ' αυτό το πολύ ενδιαφέρον θέμα, αλλά οι στόχοι της εργασίας αυτής αποτρέπουν περαιτέρω ανάλυση.

Στόχοι - Διαστάσεις Ποιότητας Υπηρεσίας

Στόχοι της Ποιότητας Υπηρεσίας

Οι μηχανισμοί διασφάλισης της ποιότητας υπηρεσίας σε ένα δίκτυο μεταξύ των άλλων εφαρμόζονται με σκοπό:

- Να εμποδίσουν κάποιον χρήστη ή εφαρμογή να καταναλώσει όλους τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου για μια αμφιβόλου χρησιμότητας εφαρμογή.
- Να επιτρέψουν σε έναν χρήστη που επιθυμεί να απασχολήσει πόρους του δικτύου για κάποια σημαντική εφαρμογή.
- Να ισορροπήσει την άμεση σχέση αριθμού χρηστών με εύρος ζώνης:

Ενδεικτικό εύρος για κάθε χρήστη = Διαθέσιμο εύρος ζώνης / αριθμός χρηστών

Πρόκειται δηλαδή από μια οπτική γωνία για μηχανισμούς δικαιοσύνης και βελτιστοποίησης της χρησιμότητας και αποδοτικότητας της δικτυακής υποδομής.[BIB2]

Πεδία εφαρμογής Ποιότητας Υπηρεσίας

Η έννοια του QoS όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι απλή από μόνη της. Οι διαστάσεις της όμως και τα πεδία εφαρμογής της αναφέρονται σε έννοιες που κάνουν την μελέτη του αντικειμένου πολύπλοκη. Κρίνεται έτσι σκόπιμο να γίνει καταρχήν η διάκριση ανάμεσα στα πεδία εφαρμογής των QoS τα οποία είναι:

- QoS μέσα σε ένα απλό δικτυακό στοιχείο (εφαρμογή, δρομολογητή, γέφυρα κ.α) ή ένα απλό hop μέσα στο δίκτυο. Αυτά μπορεί να αφορούν εργαλεία σχηματισμού ουράς, προγραμματισμού και σχηματοποίησης κυκλοφορίας.
- QoS για τεχνικές σηματοδοσίας από άκρη σε άκρη του δικτύου και ανάμεσα σε δικτυακά στοιχεία. Μια από αυτές είναι η RSVP η οποία θα αναλυθεί παρακάτω.
- QoS πολιτικές, διαχείριση και λογιστικές λειτουργίες για τον έλεγχο και τη διοίκηση της κυκλοφορίας κατά μήκος του δικτύου (traffic engineering).[AP2]

Τεχνολογίες Ποιότητας Υπηρεσίας

Μια άλλη διάσταση των QoS είναι οι σχετικές με αυτά τεχνολογίες που εφαρμόζονται και έχουν σαν στόχο την συνεχώς βελτίωση των μηχανισμών και των λύσεων που θα παρέχουν στον χρήστη ποιότητα υπηρεσία υψηλού επιπέδου. Η παγκοσμίου φήμης οργάνωση για τα θέματα ποιότητας υπηρεσίας QoSForum έχει αναφερθεί πρόσφατα στις παρακάτω τεχνολογίες QoS:

- Διαφοροποιημένες υπηρεσίες DIFFSERV (Differentiated services)
- Ολοκληρωμένες υπηρεσίες RSVP/Integrated services
- Λύσεις hardware και software για τη δημιουργία ουρών και προγραμματισμού κυκλοφορίας
- Τεχνολογίες επιπέδου σύνδεσης του OSI. Για παράδειγμα 802.1p και 802.1q
- Πρωτόκολλα υψηλότερων επιπέδων OSI όταν κρίνονται αναγκαία.
- Μεταγωγή ετικετών πολλαπλών πρωτόκολλο (Multi-Protocol Label Switching)
- Μηχανισμοί πολιτικής. Για παράδειγμα COPS και LDAP
- Εργαλεία μέτρησης απόδοσης. [INT2]

Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) ή Κλάση Υπηρεσίας (CoS);

Μια συγγενής με το QoS αλλά όχι ταυτόσημη έννοια είναι αυτή της κλάσης υπηρεσίας (Class of Service) και κατ' επέκταση της διαφοροποίησης. Διαφοροποίηση ποιότητας υπηρεσίας σημαίνει την τμηματοποίηση σε κλάσεις της δικτυακής κυκλοφορίας και του είδους της υπηρεσίας κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο χρήστης να μπορεί να συμπεριφερθεί στην κάθε μία από τις κλάσεις αυτές της κυκλοφορίας διαφορετικά. Η έννοια της διαφοροποίησης λοιπόν, αφορά την λειτουργική διάσταση των κλάσεων υπηρεσίας. Σύμφωνα με αυτή τη διάσταση QoS είναι κάθε μηχανισμός που παρέχει διάκριση μεταξύ των ειδών κυκλοφορίας που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και να διαχειριστούν διαφορετικά κατά το πέρασμα της κυκλοφορίας τους από το δίκτυο.[BIB2]

<i>Service Requirements</i>				
	Voice	Video	Data (Best-Effort)	Mission-Critical Data
Bandwidth	Low to Moderate	Moderate to High	Moderate to High	Low to Moderate
Random Drop Sensitivity	Low	Low	Moderate to High	High
Delay Sensitivity	High	High	Low	Moderate to High
Jitter Sensitivity	High	High	Low	Low to Moderate

Μία σημαντική εφαρμογή των κλάσεων είναι ότι κάνουν προβλέψιμη την μεταχείριση του συγκεκριμένου είδους κίνησης σε σχέση με θέματα όπως end to end

χρόνο απόκρισης, καθυστέρηση ουράς, διαθέσιμο εύρος ζώνης κ.α. Κάποια από αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να είναι πιο προβλέψιμα από άλλα ανάλογα με την εφαρμογή, το είδος της κίνησης, τα χαρακτηριστικά της ουράς και του buffering, των συσκευών του δικτύου και γενικότερα της αρχιτεκτονικής σχεδίασης του δικτύου. [BIB2]

Επίπεδα Ποιότητας Υπηρεσίας

Τα επίπεδα της ποιότητας υπηρεσιών αναφέρονται σε πραγματικές end to end δυνατότητες δηλαδή την ικανότητα του δικτύου να παρέχει υπηρεσίες που χρειάζεται κάθε ιδιαίτερη κατηγορία κυκλοφορίας από άκρη σε άκρη του δικτύου. Έτσι λοιπόν οι υπηρεσίες μπορούν να διαφοροποιηθούν με βάση τα επίπεδα της "αυστηρότητας των QoS" που περιγράφονται από το κατά πόσο μια κυκλοφορία μπορεί να περιοριστεί από συγκεκριμένο bandwidth, καθυστέρηση, παραμορφώσεις και απώλειες. Με βάση τα παραπάνω σχηματοποιούνται τρία επίπεδα QoS τα οποία είναι:

- **Υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας (Best-effort service):** Σημαίνει την έλλειψη των QoS και δεν παρέχει καμία εγγύηση παρά μόνο την βασική συνδεσιμότητα.
- **Διαφοροποιημένη υπηρεσία (Differentiated service ή Soft QoS):** Κάποια κυκλοφορία μπορεί να έχει καλύτερη μεταχείριση από μια άλλη (γρηγορότερη χειραγώγηση, περισσότερο bandwidth κατά μέσο όρο, λιγότερο μέσο όρο απωλειών). Αυτή είναι μία στατιστική προτίμηση και όχι μια αυστηρά εγγυημένη ποιότητα.
- **Εγγυημένη υπηρεσία (Guaranteed Service ή Hard QoS):** Μια απόλυτη προστασία των δικτυακών πόρων για μια συγκεκριμένη κυκλοφορία. Εγγυημένη υπηρεσία σημαίνει όχι μόνο ότι δεν υπάρχει καθόλου απώλεια δεδομένων αλλά επιπλέον ότι η απόδοση του δικτύου είναι συνεπής, συνεχής και προβλέψιμη. Και αυτό είναι ένα από τις μεγαλύτερες σχεδιαστικές προκλήσεις. [AP2]

Παράγοντες επιλογής Επιπέδου Υπηρεσίας

Τα παραπάνω επίπεδα υπηρεσίας επηρεάζονται κατά κύριο λόγο από τους εξής παράγοντες:

- Κάθε ένα από τα επίπεδα του QoS είναι κατάλληλο για ορισμένες εφαρμογές. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής ή του προβλήματος του χρήστη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας βέλτιστος συνδυασμός QoS.
- Ο βαθμός στον οποίο ο χρήστης μπορεί ρεαλιστικά να αναβαθμίσει την υποδομή. Υπάρχει δηλαδή ένα φυσικό μονοπάτι βελτίωσης με βάση την υπάρχουσα τεχνολογία που περιορίζει τις προσπάθειες για ολοκληρωτικά εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών.
- Τέλος το κόστος της εφαρμογής εγγυημένων υπηρεσιών είναι πιθανόν να είναι μεγαλύτερο από αυτό των διαφοροποιημένων υπηρεσιών. [AP2]

Αρχιτεκτονικές-Μοντέλα Διαχείρισης του Μηχανισμού Κυκλοφορίας

Οι αρχιτεκτονικές διαχείρισης του μηχανισμού κυκλοφορίας (traffic engineering) αντιστοιχεί στα επίπεδα της υπηρεσίας που παρέχεται και κατηγοριοποιείται όπως παρακάτω: [INT5]

- **Κατόπιν πρόβλεψης (Over provision).** Μια ακραία λύση είναι η δημιουργία δικτύων όπου μπορούν να ανταπεξέλθουν κάθε στιγμή στη ζήτηση των περιόδων αιχμής. Με οικονομικούς όρους όμως αυτή η ιδέα θα ήταν πανάκριβη και υπερβολικά σπάταλη για τις περιόδους κανονικής κυκλοφορίας. Ένα παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι οι υπηρεσίες best-effort.
- **Reservation based - Integrated Services architecture (IntServ)** Ο σκοπός των hard QoS είναι να δημιουργήσει ένα δίκτυο που να μπορεί να διαχειριστεί όλες τις μορφές μεταφοράς δεδομένων. Οι εφαρμογές μπορούν με την χρήση του πρωτοκόλλου RSVP να διασφαλίσουν bandwidth στέλνοντας την απαιτούμενη πληροφορία στους δρομολογητές. Ο δρομολογητής στην συνέχεια μπορεί να προσδιορίσει πως η εφαρμογή θα προγραμματιστεί. Αυτό εξαρτάται από το σε ποια ροή (μιας κατεύθυνσης data stream) ανήκει η εφαρμογή. Ένα πλεονέκτημα των IntServ είναι ότι αρκετές εφαρμογές εγγυούνται ένα συγκεκριμένο αριθμό πόρων στο δίκτυο. Έτσι μπορεί να γίνει πιο εύκολα ο προγραμματισμός. Όμως υπάρχουν και μειονεκτήματα της χρήσης IntServ. Αυτά είναι: α) υπάρχει αρκετή αργοπορία λόγω reservation, β) κατάλληλη μέθοδος μόνο για προβλέψιμη κυκλοφορία ενώ για κυκλοφορία burst θα ήταν μη αποδοτική, γ) πολυπλοκότητα στα θέματα πολιτικής που αφορούν το ποιος κάνει την διασφάλιση πόρων, δ) δυσκολία αναγνώρισης των χρηστών για λόγους λογιστικούς, τιμολόγησης και χρέωσης για τους πόρους που χρησιμοποιούν, ε) προβλήματα στη διαπεδιακή (cross-domain) κατανομή πόρων, στ) θέματα κλιμάκωσης για συστατικά του πυρήνα του δικτύου, εξαιτίας της ανάγκης για αποθήκευση της πληροφορίας για την κάθε κατάσταση per-flow. [AP5]
- **Prioritisation (reservation-less) - Differentiated Services Framework (DiffServ):** Είναι ένα παράδειγμα soft QoS και ήρθε στο προσκήνιο αφότου η σηματοδότηση των IntServ δεν ταίριαζε σε όλα τα περιβάλλοντα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την πρόβλεψη δικτύου. Είναι μια πιο απλή προσέγγιση από τα IntServ. Στα DiffServ ένα byte του IP header ενός πακέτου κρατάει πληροφορία για τα QoS και χρησιμοποιείται για να διαφοροποιήσει τα επίπεδα υπηρεσίας. Τα πακέτα μπορεί να χειραγωγηθούν με διαφορετικό τρόπο. Πλεονεκτήματα είναι η απλούστερη αρχιτεκτονική και η ευκολία της κλιμάκωσης (scalability) αφού οι δρομολογητές δεν χρειάζεται να γνωρίζουν όλα τα είδη της per hop συμπεριφοράς. Από την άλλη πλευρά τα DiffServ προσπαθούν να λύσουν κάποια από τα παραπάνω θέματα. Αρχικά την απαίτηση για τήρηση πληροφορίας στα στοιχεία του πυρήνα (core) του δικτύου σχετικά με το per-flow state. Αθροίζοντας την κυκλοφορία σε domain boundaries το θέμα της κλιμάκωσης γίνεται βατό. Επιπλέον τα θέματα διαπεδίων (cross-domain) μπορούν να μετατραπούν σε ένα πρόβλημα πολιτικής 2 μερών όπου ένα απλό Service Level Agreement να δίνει την λύση. Ένα μειονέκτημα των diffServ είναι ότι δεν υπάρχει εγγύηση για από άκρη σε άκρη QoS αφού τα QoS που παρέχονται είναι περιορισμένα και όχι ολοκληρωμένα. [INT9+BIB2]
- **MPLS (Multi-Protocol Label Switching)** είναι το πιο πρόσφατο standard που έχει οριστεί για το traffic engineering. Το όνομα του έρχεται από την σύγκλιση πολλών δημοφιλών πρωτοκόλλων όπως το IP, το ATM κλπ. Χρησιμοποιώντας το επιταχύνεται η προώθηση πακέτων μέχρι να εγκαθιδρύσει ρητά δρομολόγια μέσα στο δίκτυο. Μιλώντας με επίπεδα του OSI τα πακέτα προωθούνται κανονικά στο επίπεδο του δικτύου όπου γίνεται η δρομολόγηση. Το πρωτόκολλο αυτό επιτρέπει τα πακέτα να προωθηθούν στο data link layer. Μια ετικέτα που αφορά κάθε ένα από τα ρητά δρομολόγια τοποθετείται σε κάθε ένα από τα πακέτα. Αυτό βοηθάει

στην εξοικονόμηση χρόνου δρομολόγησης αφού δεν χρειάζεται να αναζητήσει την διεύθυνση του επόμενου κόμβου για να προωθηθεί το πακέτο. Πολλοί αναφέρονται στα MPLS ως την λύση των IP QoS αλλά είναι πιθανό να ολοκληρωθούν ταυτόχρονα τα MPLS και τα diffserv σε ένα δίκτυο.

- **Γλώσσα μοντελοποίησης ποιότητας (Quality Modelling Language):** Τέλος έχει προταθεί να ολοκληρωθούν τα QoS σε ένα επίπεδο σχεδίασης όπου τυπικά μόνο τα λειτουργικά θέματα των συστημάτων θα μπορούν να αναλυθούν. Η προσέγγιση αυτή αφορά μια γενική γλώσσα QoS που λέγεται QML(μια επέκταση της Unified Modelling Language). Η νέα αυτή γλώσσα θα μεταχειρίζεται τα θέματα του QoS σαν κλάσεις. Για παράδειγμα μια κλάση ServerFailure θα χαρακτηρίζει το αντίστοιχο γεγονός της πτώσης του server. Στη συνέχεια θα καλείται η κλάση Halt που με την σειρά της θα επαναφέρει στο InitialState. Πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι τα QoS θα πάρουν μια ακόμα μεγαλύτερη δυναμική αφού θα πρέπει να αναζητηθούν εξ αρχής για κάθε δίκτυο και όχι να διορθώνονται και να βελτιστοποιούνται στην πορεία. Θα υπάρχει δηλαδή μια υποδομή QoS που θα επιτρέπει εύκολα αλλαγές σε αυτά χωρίς λειτουργικές συνέπειες στο δίκτυο. Ένα πιθανό μειονέκτημα θα ήταν ότι χρησιμοποιώντας η γλώσσα αυτή δεν θα μας επέτρεπε να προσαρμόσουμε τις υπηρεσίες ανάλογα με το περιβάλλον τους.

Εργαλεία-μηχανισμοί Ποιότητας Υπηρεσίας

Αυτό που χρειάζεται για την ποιότητα της υπηρεσίας είναι για παράδειγμα η προνομιακή μεταχείριση μιας κλάσης κυκλοφορίας και η καλύτερη δυνατή προσπάθεια για μία άλλη. Για να βελτιστοποιηθούν τα αποτελέσματα της επιτυχίας των QoS σημαντικά εργαλεία-μηχανισμοί είναι:

1. **Μορφοποίηση της κυκλοφορίας (Traffic shaping):** Χρησιμοποιώντας το μοντέλο του leaky bucket για να περιγράψουμε την κυκλοφορία σε ιδιαίτερες ουρές εξόδου έτσι ώστε να δημιουργήσουμε κάποιας μορφής προσομοίωση της προβλεπόμενης συμπεριφοράς. Αυτό μπορεί να γίνει στο επίπεδο του IP και σε χαμηλότερο επίπεδο στο επίπεδο του ATM.
2. **Έλεγχος αποδοχής (Admission control):** Χρονίζοντας ένα κύκλωμα σε ένα συγκεκριμένο data rate περιορίζουμε φυσικά της ταχύτητα σύνδεσης ή χρησιμοποιώντας ένα token bucket περιορίζουμε τεχνητά (βίαια) την εισερχόμενη κυκλοφορία. Η εφαρμογή του token bucket μπορεί να είναι μόνη της ή κομμάτι της αρχιτεκτονικής Integrated Services του IETF. Επίσης όταν ζητείται σύνδεση ο έλεγχος αποδοχής μπορεί να προσδιορίσει κατά πόσο θα την επιτρέψει. Τα κυριότερα κριτήρια γι' αυτό είναι η τρέχουσα φόρτωση της κυκλοφορίας, τα τρέχοντα QoS, το τίμημα (pricing) το μέγεθος της πολυπλεξίας κλπ.[INT5]
3. **Προτεραιότητα IP (IP precedence):** Χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο IP τα πρώτα bits της κεφαλής (header) του IP παρέχουν 8 κλάσεις υπηρεσιών.
4. **Διαφοροποιημένη διαχείριση συμφόρησης (Differential congestion management):** Σε περιόδους συμφόρησης παρέχεται προνομιακή μεταχείριση σε ορισμένες κλάσεις υπηρεσίας. [BIB2]
5. **Σχηματισμός ουρών (Queueing):** Αλγόριθμοι για τον σχηματισμό ουρών χρειάζονται έτσι ώστε να μην μπορεί κάποια εφαρμογή να τιμωρήσει τις άλλες παίρνοντας πολύτιμο bandwidth. Αυτός είναι ένας τρόπος για την παροχή per-hop QoS. Μερικά παραδείγματα ουρών είναι:

- *CFQ (Class-based Fair Queuing)* τα πακέτα είναι μοιρασμένα σε κλάσεις από κριτήρια όπως πρωτόκολλα, λίστες ελέγχου πρόσβασης κλπ. Μια ουρά παρέχεται για κάθε κλάση.
- *WFQ (Weighted Fair Queuing)* Οι ελαφροί χρήστες (αυτοί που χρειάζονται λίγο bandwidth παίρνουν από τους βαρείς χρήστες ότι απομένει. Η κίνηση χαμηλού bandwidth όμως έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα.
- *SFQ (Stochastic Fair Queuing)* Μία λειτουργία ανάμιξης χρησιμοποιείται για να τακτοποιήσει με τυχαίο τρόπο την κίνηση στις ουρές. [INT5]

Πολιτικές Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS Policies)

Τί είναι Πολιτικές

Τα πρωτόκολλα που υποστηρίζουν QoS παρέχουν μηχανισμούς που έχουν ως στόχο την διαφοροποίηση της κυκλοφορίας. Οι πολιτικές από τη μεριά τους ορίζουν τρόπους για το πως θα χρησιμοποιηθούν αυτά τα πρωτόκολλα. Καθορίζουν επίσης τους κανόνες που προσδιορίζουν πως, πότε και που θα εφαρμοστούν τα QoS σε ποικίλες δικτυακές κυκλοφορίες. Μια διάσταση του QoS όπως αναφέρθηκε παραπάνω αφορά την κατηγοριοποίηση των πακέτων με σκοπό την μεταχείριση ορισμένων κλάσεων ή ροών από πακέτα με έναν ιδιαίτερο τρόπο σε σύγκριση με άλλα πακέτα. Ιδανικά αυτό σημαίνει ότι ή άλλοτε απρόβλεπτη υπηρεσία της μεταφοράς δεδομένων μέσα στο δίκτυο γίνεται πλέον προβλέψιμη.

Για να γίνουν εφικτά τα QoS απαιτείται η χρήση πρωτοκόλλων όπως το RSVP το οποίο παρέχει σηματοδοσία που απαιτείται για ολοκληρωμένες υπηρεσίες και το DiffServ για διαφοροποιημένες υπηρεσίες. Έτσι λοιπόν το RSVP επηρεάζει την κατανομή των δικτυακών πόρων σε μια per-flow βάση σύμφωνα με τις ποσοτικές απαιτήσεις των εφαρμογών ενώ τα diffserv παρέχουν σημάδια με τα οποία οι κεφαλές (headers) στα IP πακέτα επιτρέπουν την προτεραιότητα των αθροιστικών κυκλοφοριών.

Επιπλέον από την πλευρά των χρηστών υπάρχουν αρκετοί που θέλουν καλύτερη υπηρεσία από άλλους και για αυτό πρέπει να πληρώσουν ανάλογα. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για αναγνώριση της ταυτότητας των κατόχων της κυκλοφορίας σε μια per-packet βάση. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν πολιτικές, κανόνες και κριτές οι οποίοι αποτελούν συστατικά ενός ευρύτερου συστήματος γνωστό με την γενική ονομασία σύστημα πολιτικών. Το σύστημα αυτό θεμελιώνει και εγκαθιδρύει τα QoS ενός δικτύου.

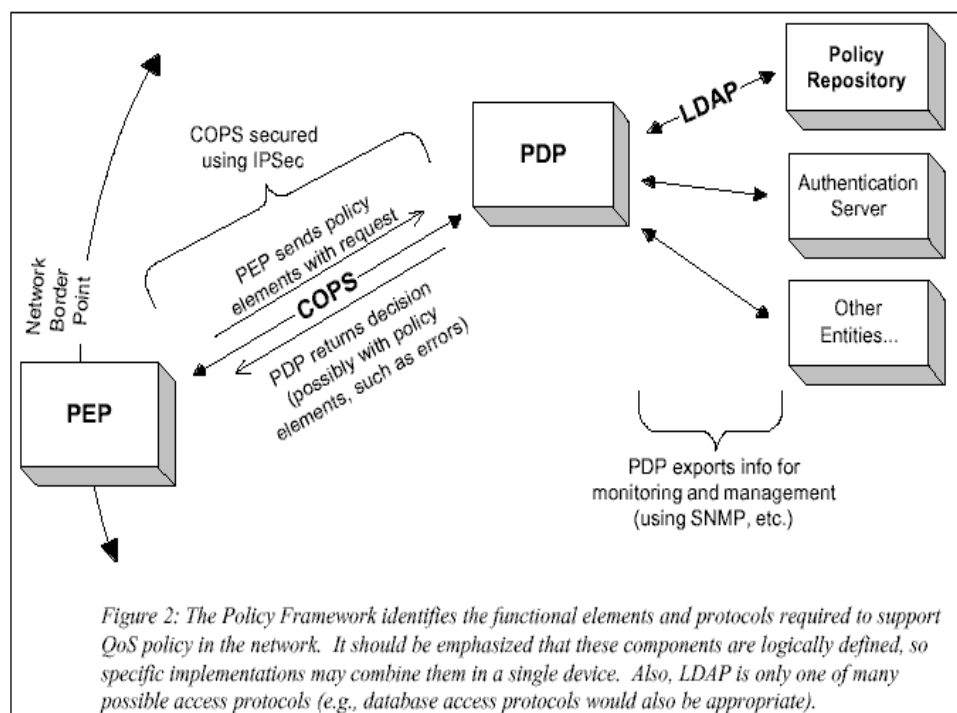
Με απλά λόγια λοιπόν, πολιτική (policy) είναι ένας ή περισσότεροι κανόνες που περιγράφουν τις ενέργειες που συμβαίνουν όταν συγκεκριμένες συνθήκες επικρατούν. Σκοπός τους είναι αφενός να ορίσουν ένα standard που να επιτρέπει τον ορισμό υψηλού επιπέδου πολιτικών που ανταποκρίνονται στις συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών (SLA) και αφετέρου αυτά τα αντικείμενα υπηρεσιών να μπορούν να συναλλαχτούν μεταξύ των providers και των πελατών τους. Ως αποτέλεσμα μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν σε μια συγκεκριμένη δικτυακή συσκευή ή τοπολογία με την μετάφραση τους σε χαμηλού επιπέδου πολιτικές. [INT4]

Πλαίσιο εργασίας για την δημιουργία Πολιτικών

Το πλαίσιο εργασίας για την δημιουργία πολιτικών περιλαμβάνει τα εξής θεμελιώδη στοιχεία:

- **Σημείο ενδυνάμωσης πολιτικών (Policy Enforcement Point - PDP)**
- **Σημείο απόφασης πολιτικής (Policy Decision Point - PEP)**

Τα στοιχεία αυτά με την πιο απλοϊκή σχηματοποίηση παίρνουν την έννοια του αστυνομικού και του δικαστή. Ο PDP παίρνει αποφάσεις βασιζόμενος στις πολιτικές που εμπεριέχονται στο policy repository και στους authentication servers. Ο δε PEP είναι το σημείο όπου οι αποφάσεις αυτές εφαρμόζονται. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το πλαίσιο εργασίας αυτό:



Λειτουργίες Πολιτικής

Τα στοιχεία του πλαισίου εργασίας πολιτικών έχουν το καθένα κάποιες αρμοδιότητες και ρόλους να επιτελέσουν οι οποίοι είναι:

- **Λήψη αποφάσεων:** Ο ρόλος αυτός του PDP περιλαμβάνει τις λειτουργίες της ανάκτησης πολιτικής, μετάφρασης πολιτικής, εξακρίβωσης συγκρουόμενων πολιτικών, λήψη περιγραφών διεπαφών, αιτήσεις για πολιτικές απόφασης και στοιχεία πολιτικών (συνθήκες). Επίσης περιλαμβάνει αποστολή στοιχείων πολιτικών στους PEP.
- **Ενδυνάμωση (Enforcement):** Εμπεριέχει τις εφαρμοσμένες ενέργειες του PEP σύμφωνα με τις αποφάσεις του PDP που βασίζονται σε σχετικές πολιτικές καθώς και στις υφιστάμενες συνθήκες του δικτύου που μπορεί να είναι στατικές ή δυναμικές.

- **Μέτρηση (Metering):** Αυτή είναι μια συνεχής ενεργητική και παθητική εξέταση του δικτύου και των συσκευών του, για τον έλεγχο της κατάστασης του, του κατά πόσο οι πολιτικές λειτουργούν ικανοποιητικά και κατά πόσο οι πελάτες λαμβάνουν άδικο πλεονέκτημα επί των δικτυακών υπηρεσιών. [INT4]

Διαχείριση Πολιτικών (Policy Management) για την Ποιότητα Υπηρεσίας

Οι πολιτικές για να εφαρμοστούν και να ελεγχθούν αποδοτικά μέσα σε ένα σύστημα προϋποθέτουν την εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης πολιτικών (policy management). Όταν υπάρχουν αυτοί οι μηχανισμοί δίνουν στο δίκτυο την δυνατότητα να:

- Επιλέγει ποιοι χρήστες έχουν πρόσβαση σε ποιους δικτυακούς πόρους
- Δίνει προτεραιότητα στις κρίσιμες εφαρμογές
- Διανέμει στρωματοποιημένο bandwidth και διαφοροποιημένες υπηρεσίες σε κάθε πελάτη σύμφωνα με τις ανάγκες του.
- Διαχειρίζεται τη ζήτηση για voice, video και data στα πλαίσια ενός LAN ή WAN
- Διαχειρίζεται την συνολική ροή της κυκλοφορίας [AP3]

Τρόποι Μέτρησης της Ποιότητας Υπηρεσίας

Μετά την παραπάνω ανάλυση γίνεται φανερό ότι μια από τις πιο σημαντικές προκλήσεις που αφορούν το θέμα της ποιότητας υπηρεσιών είναι αυτό της μέτρησης τους σε ένα δίκτυο. Κι αυτό, γιατί είναι σημαντικό να παρέχονται υπηρεσίες ταξινόμησης στην κυκλοφορία με προνομιακή μεταχείριση (guaranteed) και στην κυκλοφορία που χαρακτηρίζεται ως best-effort. Επιπλέον είναι σημαντικό η οργάνωση που παρέχει την υπηρεσία να γνωρίζει θέματα που σχετίζονται με την δυναμικότητα του backbone της έτσι ώστε να μπορεί να καταλάβει την διαφορά μεταξύ της κυκλοφορίας best effort και της κυκλοφορίας που είναι σχεδιασμένης για QoS.

Υπάρχουν δύο τρόποι για την μέτρηση της κυκλοφορίας σε ένα δίκτυο που είναι οι εξής:

- **Η μέθοδος μη παρεισφρητικών μετρήσεων (nonintrusive measurements)** μετράει την συμπεριφορά του δικτύου παρατηρώντας τον ρυθμό άφιξης των πακέτων στο τελικό σύστημα και βγάζει ένα πόρισμα για την αποδοτικότητα των QoS με βάση αυτές τις παρατηρήσεις. Η μέθοδος αυτή απαιτεί βαθιά γνώση της εφαρμογής που δίνει τις ροές δεδομένων έτσι ώστε το εργαλείο μέτρησης να μπορεί να διακρίνει τις ασυνήθιστες εφαρμογές που μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την συμπεριφορά του υπάρχοντος καθεστώτος του δικτύου. Αυτές οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται από τις δύο πλευρές του δικτύου, δηλαδή από την πλευρά του πομπού και από την πλευρά του δέκτη των δεδομένων έτσι ώστε να υπάρχει αξιόπιστη μετάφραση των αποτελεσμάτων που θα δείχνουν τελικά την διαθέσιμη δυνατότητα για κυκλοφορία δεδομένων από το μονοπάτι αυτό.
- **Η μέθοδος παρεισφρητικών μετρήσεων (intrusive measurements)** αναφέρεται στη ελεγχόμενη ώθηση πακέτων στο δίκτυο και την επακόλουθη συλλογή των πακέτων αυτών. Στέλνοντας ακολουθίες πακέτων από μια γεννήτρια δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα ένας σταθμός μέτρησης μπορεί να μετρήσει παραμέτρους όπως την ικανότητα να φτάσουν (reachability), την μετάδοση του Round Trip Time και την πρόβλεψη για απώλεια δεδομένων στο Round Trip

μονοπάτι. Με αυτό τον τρόπο και κάνοντας κάποιες δευτερεύουσες υποθέσεις μπορεί να μετρηθεί το διαθέσιμο bandwidth και το επίπεδο συμφόρησης μεταξύ δύο σημείων του δικτύου. Με επανάληψη της μέτρησης μετά την είσοδο QoS στο δίκτυο και σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μετρήσεων βγαίνει ένα συμπέρασμα για την αποδοτικότητα των QoS.

Και οι δύο παραπάνω μέθοδοι μέτρησης είναι στατικές και δεν συνιστούνται για δυναμική μέτρηση της ποιότητας των υπηρεσιών ενός πολύπλοκου δικτύου. Κατά συνέπεια η προσδιοριστικότητα της απόδοσης των QoS είναι ακόμα μια σκοτεινή περιοχή. Οι μελέτες που γίνονται προς αυτή την κατεύθυνση έχουν ως στόχο την διευκρίνιση της σχέσης κόστους - απόδοσης για την εφαρμογή των QoS. Το κόστος ως ένα βαθμό είναι δεδομένο αλλά η απόδοση είναι ένας παράγοντας με πολλές διαστάσεις που οφείλουν να μελετηθούν ξεχωριστά. [BIB2]

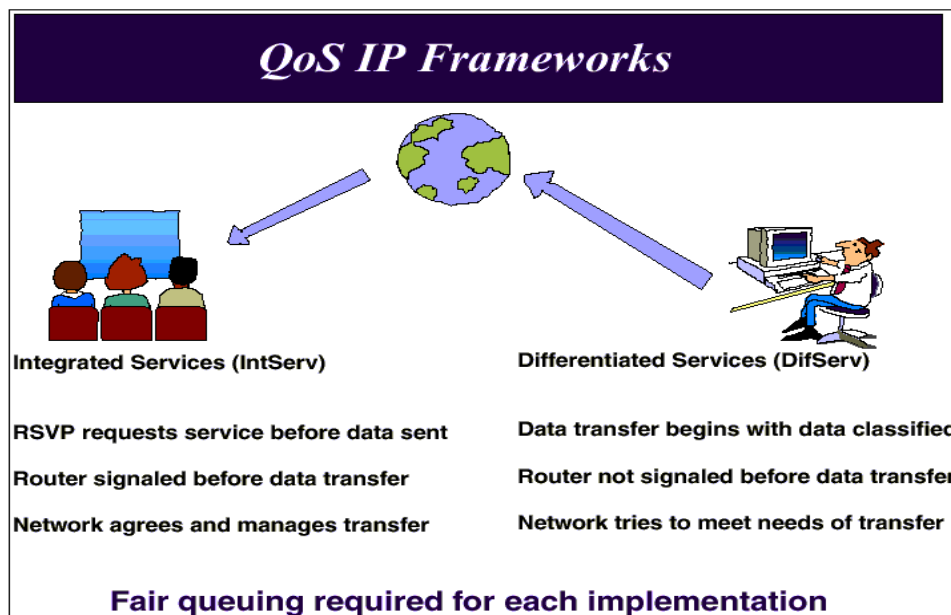
Ποιότητα Υπηρεσίας σε IP δίκτυα

Γενικά

Το Internet πρωτόκολλο (IP) χαρακτηρίζεται ως το πιο ευέλικτο και πανταχού παρόν πρωτόκολλο, αφού μπορεί να τοποθετηθεί πάνω από σχεδόν οποιαδήποτε τεχνολογία δικτύου. Η ραγδαία ανάπτυξη του Διαδικτύου, τα τελευταία χρόνια αποτελεί τη μεγαλύτερη απόδειξη. Η ανάπτυξη αυτή συνοδεύεται από νέες εφαρμογές, κυρίως πολυμεσικού χαρακτήρα, οι οποίες αυξάνουν την κίνηση του δικτύου (απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης) και θέτουν αυστηρές χρονικές απαιτήσεις για την εξυπηρέτησή τους.

Η παραπάνω αύξηση της κίνησης συντελεί κατά κύριο λόγο στην αύξηση των καθυστερήσεων (delays) πολλών εφαρμογών και όταν υπερβαίνει τα αντίστοιχα όρια του εύρους ζώνης παρατηρείται συμφόρηση (congestion), η οποία πρακτικά αδρανοποιεί τμήματα του Διαδικτύου. Έτσι το μοντέλο υπηρεσίας καλύτερης προσπάθειας (best effort) που χαρακτηρίζει το IP δίκτυο – παρέχει ομοιόμορφα επίπεδα υπηρεσίας σε κάθε χρήστη – κρίνεται ανεπαρκές.

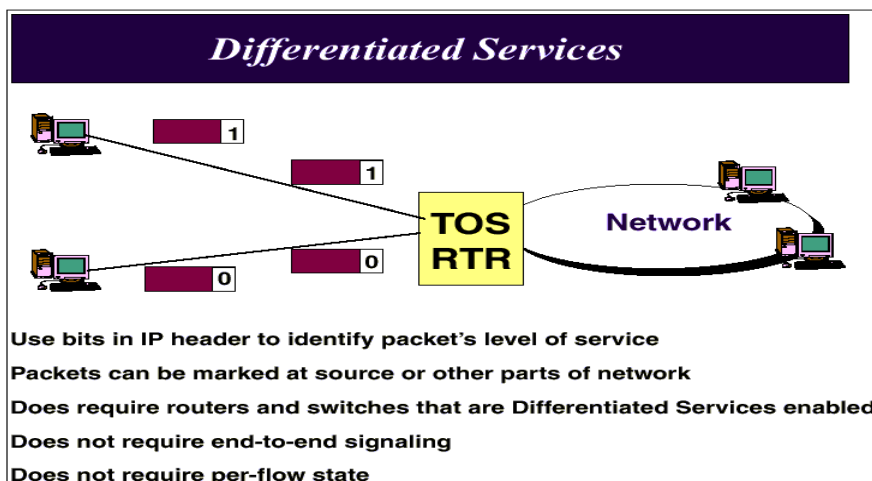
Προκειμένου να υποστηριχθούν οι παραπάνω νέες απαιτήσεις σχεδιάστηκαν υπηρεσίες – μηχανισμοί QoS, οι οποίες ξεχωρίζουν την κίνηση ανάλογα με τις χρονικές απαιτήσεις της και τη διαχειριστική πολιτική του δικτύου και έχουν ως κύρια μέριμνά τους την ικανοποίηση των απαιτήσεων των εφαρμογών του δικτύου από άκρη σε άκρη. [AP4+INT15]



Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες στα IP δίκτυα (DifServ)

Αποτελεί QoS μηχανισμό διαχείρισης κίνησης μέσω ανάθεσης προτεραιοτήτων, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ελάχιστα για πολλά χρόνια και τελευταία ανακινήθηκε ξανά το ενδιαφέρον για τις λειτουργίες του.

Ορίζει ένα πεδίο στην επικεφαλίδα του IP πακέτου στο 3^ο επίπεδο του μοντέλου αναφοράς OSI, το οποίο ονομάζεται DiffServ CodePoint (DSCP). Το πεδίο DSCP κατηγοριοποιεί το επίπεδο εξυπηρέτησης του κάθε πακέτου. Περιέχει 6 bits (αντικαθιστά την οκτάδα ToS στην επικεφαλίδα του IPv4 και την Class οκτάδα της επικεφαλίδας IPv6 αλλά χρησιμοποιεί μόνο 6 bits), άρα επιτρέπει 64 διαφορετικές κωδικοποιήσεις. Κατά κανόνα οι κεντρικοί υπολογιστές (hosts) ή οι δρομολογητές (routers – απαιτείται η συμβατότητά τους με το DiffServ), που στέλνουν την κίνηση σ' ένα δίκτυο που έχει τον μηχανισμό DiffServ, σημαδεύουν κάθε μεταδιδόμενο πακέτο με το κατάλληλο DSCP κωδικό. Οι δρομολογητές που βρίσκονται στο εσωτερικό του δικτύου αυτού ταξινομούν – κατηγοριοποιούν τα πακέτα σύμφωνα με το πεδίο DSCP και εφαρμόζουν συγκεκριμένη συμπεριφορά (γνωστή ως per hop behaviour) η οποία προκύπτει από το αποτέλεσμα της κατηγοριοποίησης. Η κίνηση που προέρχεται από πολλές ροές (flows) και η οποία έχει τις ίδιες απαιτήσεις QoS χαρακτηρίζεται από την ίδια τιμή στο πεδίο DSCP, με αποτέλεσμα να συναθροίζονται (aggregating) όλες οι ροές σε μια προγραμματισμένη συμπεριφορά.



Η παραπάνω διαχείριση ροών κίνησης που χαρακτηρίζει το μηχανισμό DiffServ είναι ανάλογη με τη διαχείριση των επιβατών ενός αεροπλάνου. Τυπικά, κάθε επιβάτης χαρακτηρίζεται από την κλάση στην οποία ταξιδεύει, π.χ. πρώτη κλάση (1st class), επιχειρηματική κλάση (business class) ή κανονική κλάση. Όλοι οι επιβάτες της ίδιας κλάσης αντιμετωπίζονται με στο σύνολό τους με πανομοιότυπο τρόπο. Ο μηχανισμός DiffServ αποτελεί ένα aggregate μηχανισμό για τη διαχείριση της κίνησης. [INT11]

Αφού οριστούν τα πεδία DSCPs ενεργοποιούνται κάποιες υπηρεσίες QoS, όπως η Weighted Fair Queuing (WFQ) και Weighted Random Early Detection (WRED), οι οποίες αποτελούν έξυπνους μηχανισμούς ελέγχου συμφόρησης και εφαρμόζονται σε κάθε δρομολογητή κατά μήκος του μονοπατιού μεταφοράς. Τυπικά, τα πεδία DSCPs διαμορφώνονται στην άκρη του δικτύου. Τότε τα δεδομένα εισάγονται στην ουρά αναμονής σύμφωνα με την προτεραιότητά τους. Ο μηχανισμός WFQ μπορεί να επιταχύνει τη διαχείριση κάποιας συγκεκριμένης ροής κίνησης σε σημεία συμφόρησης. Ο μηχανισμός WRED μπορεί να διαβεβαιώσει ότι μια κίνηση με συγκεκριμένη προτεραιότητα έχει χαμηλότερο ρυθμό απωλειών κατά τη διάρκεια συμφορήσεων από ότι μια οποιαδήποτε άλλη κίνηση. [AP7]

Είναι γνωστό ότι οι per hop behaviours (PHBs) παρέχουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο εξυπηρέτησης (κατανομή εύρους ζώνης, τεχνικές αναμονής και πολιτικές απόρριψης) σε συμφωνία με την πολιτική του δικτύου. Όσο πιο μικρός είναι ο αριθμός των PHBs και όσο πιο απλές είναι οι συμπεριφορές αυτές τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα με την οποία δρομολογούνται τα δεδομένα. [INT10]

Παράδειγμα per hop behaviour αποτελεί η *Expedited Forwarding per hop behaviour (EF PHB)*. Αυτή η συμπεριφορά παρέχει υψηλό επίπεδο QoS, αφού φροντίζει να μεταδίδονται τα πακέτα από την είσοδο στην έξοδο του δικτύου με πολύ μικρή καθυστέρηση. Όταν μια κίνηση ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο (threshold) τότε απορρίπτεται.

Ένα άλλο παράδειγμα συμπεριφοράς αποτελεί η *Assured Forwarding per hop behaviour (AF PHB)*. Χωρίζει τα IP πακέτα σε τέσσερις διαφορετικές κλάσεις PHB. Σε κάθε μία κλάση αποδίδεται συγκεκριμένο εύρος ζώνης και ενδιάμεση μνήμη (buffer). Όταν μία κίνηση ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο αποκτά χαμηλή προτεραιότητα, χωρίς όμως να απορρίπτεται. [INT1]

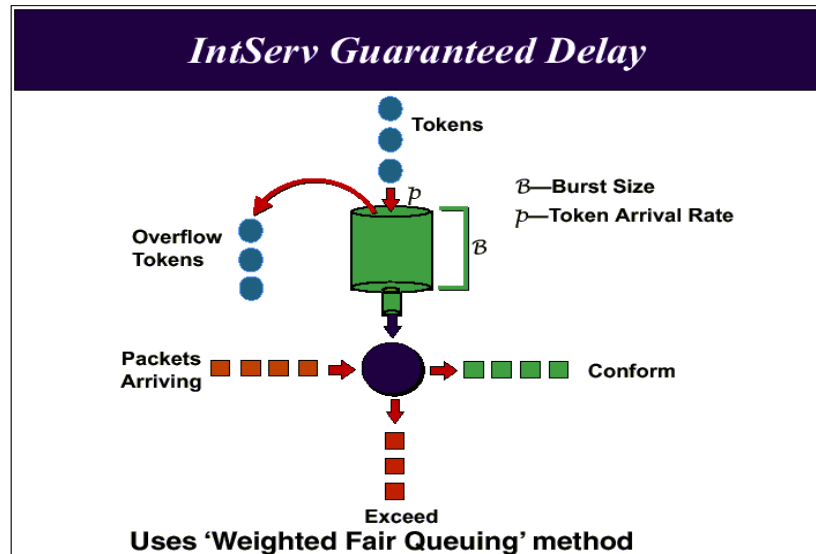
Ο μηχανισμός DiffServ, ομαδοποιώντας διαφορετικές ροές σε λίγα μόλις επίπεδα υπηρεσιών, μειώνει την επιβάρυνση των συσκευών των δικτύων και προάγει την ανάπτυξη του δικτύου. Η συμβατότητα του DiffServ με το πεδίο προτεραιότητας ToS του 3^ο επιπέδου επιτρέπει στους διαχειριστές των δικτύων την ανάμειξη συσκευών συμβατών με το DiffServ με υπάρχον ToS εξοπλισμό. Ο DiffServ επεκτείνει το σχήμα προτεραιότητας του ToS και επιτρέπει οι αποφάσεις που έπονται να βασίζονται σε πολιτικές δικτύων που είναι διαφορετικές από την προτεραιότητα της κίνησης. Η χρήση του DiffServ επιτρέπει την αναβάθμιση των υπηρεσιών του δικτύου προς την κατεύθυνση του QoS, χωρίς να επιβαρύνει το δίκτυο τόσο τεχνικά (φορτίοδιαχείρισης) όσο και οικονομικά (ακριβές αναβαθμίσεις συστημάτων). [INT10]

Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες (IntServ) στα IP δίκτυα

Οι ολοκληρωμένες υπηρεσίες (IntServ) παρέχουν σηματοδосία για παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας στο 3^ο επίπεδο του μοντέλου αναφοράς OSI. Η αρχιτεκτονική των ολοκληρωμένων υπηρεσιών (IntServ) έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να επεκτείνει το μοντέλο καλύτερης προσπάθειας (best effort), το οποίο συναντάται σε IP δίκτυα. Μέσω των ολοκληρωμένων υπηρεσιών παρέχεται ειδική μεταχείριση σε συγκεκριμένους τύπους κίνησης. [BIB2]

Όσο αφορά τις ολοκληρωμένες υπηρεσίες (IntServ), οι οποίες είναι διαθέσιμες μέσω του πρωτοκόλλου RSVP, αυτές διακρίνονται σε δύο είδη:

- Εγγυημένες (Guaranteed) : αποτελούν υπηρεσίες οι οποίες υπόσχονται να μεταφέρουν τμήματα της κίνησης με ελάχιστη καθυστέρηση. Αφορούν κυρίως εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως η τηλεσυνδιάσκεψη και δεσμεύουν κυρίως εύρος ζώνης για να επιβεβαιώσουν ότι συγκεκριμένες υπηρεσίες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα επίπεδα εξυπηρέτησης.



- Control Load : Αποτελεί μια προσέγγιση της καλύτερης δυνατής υπηρεσίας (best effort) σε συνθήκες μη συμφόρησης. Είναι μια υψηλού επιπέδου υπηρεσία η οποία όμως δεν παρέχει εγγυήσεις. Η υπηρεσία αυτή σχεδιάστηκε κυρίως για την υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών για τις οποίες η χρονική καθυστέρηση δεν είναι τόσο σημαντική όσο είναι η ποιότητα τη υπηρεσίας. Αφορά εφαρμογές όπως η μονόδρομη μετάδοση φωνής ή βίντεο, αλλά όχι εφαρμογές πραγματικού χρόνου. [INT1+INT16]

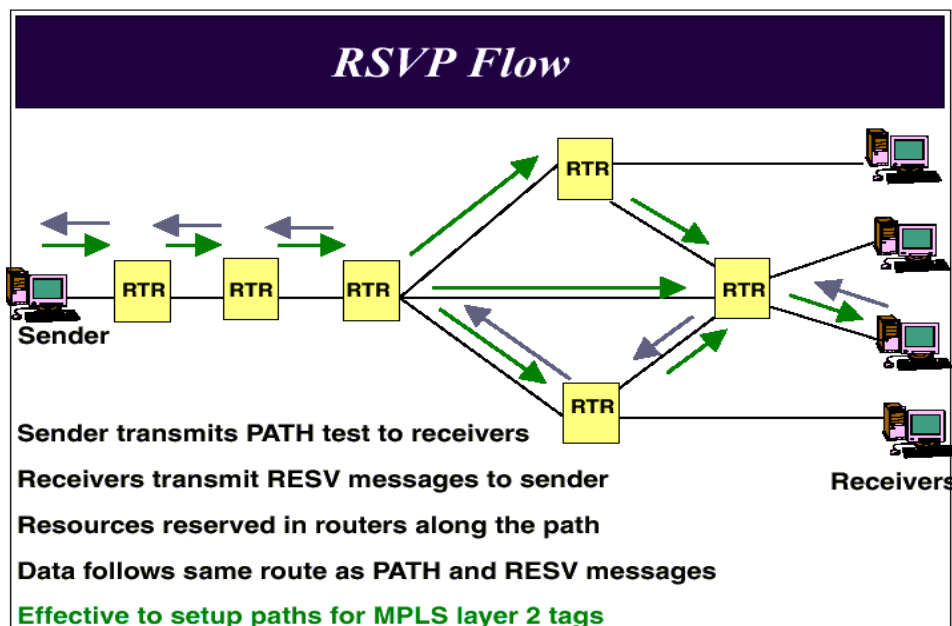
Πρωτόκολλο Διασφάλισης Πόρων (Resource Reservation Protocol - RSVP)

Το RSVP αποτελεί πρωτόκολλο σηματοδότησης στο 3^ο επίπεδο και χρησιμοποιείται για την υποστήριξη QoS, παρέχοντας έλεγχο κράτησης πόρων, σε IP δίκτυα. Το πρωτόκολλο αυτό διαβεβαιώνει ότι κάθε κόμβος κατά μήκος ενός μονοπατιού, από την πηγή έως τον προορισμό, δεσμεύει τους απαιτούμενους πόρους και είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητο από της πλατφόρμες πάνω στις οποίες λειτουργεί.

Χαρακτηρίζεται από δύο είδη μηνυμάτων, τα PATH μηνύματα και τα RESV μηνύματα. Τα μηνύματα PATH κινούνται από τους αποστολείς προς τους αποδέκτες, περιγράφουν τα δεδομένα που πρόκειται να μετακινηθούν, και ακολουθούν το μονοπάτι που θα ακολουθήσουν στη συνέχεια τα δεδομένα. Όταν το μήνυμα PATH φτάνει στον αποδέκτη αυτός ανταποκρίνεται στέλνοντας στον αποστολέα ένα RESV μήνυμα, προκειμένου να κάνει κράτηση πόρων και χαρακτηρίζει τον τύπο της ολοκληρωμένης υπηρεσίας (IntServ) που απαιτεί (εγγυημένης -Guaranteed ή Control Load). Το μήνυμα RESV επιστρέφει στον αποστολέα, ακολουθώντας το ίδιο μονοπάτι που ακολούθησε το PATH μήνυμα, προκειμένου να επιβεβαιώσουν όλες οι συσκευές με το RSVP συσκευές (δρομολογητές) ότι μπορούν να εξασφαλίσουν τους αναγκαίους πόρους για να καλύψουν τις απαιτήσεις QoS που έχουν ζητηθεί. Αν κάποια από τις συσκευές αυτές δεν μπορεί να παρέχει τους αναγκαίους πόρους απορρίπτει το μήνυμα RESV και ενημερώνεται ο αποδέκτης για την απόρριψη.

Αντίθετα, αν όλες οι συσκευές του δικτύου μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής τότε γίνεται η λεγόμενη εγκατάσταση της κράτησης πόρων (reservation) και το RESV μήνυμα επιστρέφει ως επιβεβαίωση – έγκριση στον αποστολέα. Η διαδικασία της έγκρισης ή της απόρριψης των μηνυμάτων RSVP είναι γνωστή ως έλεγχος αποδοχής (admission control) και αποτελεί κλειδί για την αντίληψη QoS.

Καθεμιά από τις ολοκληρωμένες υπηρεσίες ορίζουν αλγόριθμους ελέγχου αποδοχής, οι οποίοι καθορίζουν πόση κίνηση μπορεί να γίνει δεκτή για μία κλάση ολοκληρωμένης υπηρεσίας σε μία συγκεκριμένη συσκευή δικτύου, χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα της υπηρεσίας. [INT3+AP1]



Integrated Services Over Slow Link Layers (ISSLOW)

Αποτελεί ένα ακόμη μηχανισμό διαχείρισης της κίνησης ο οποίος καταταμίζει τα πακέτα IP στο 2^ο επίπεδο για να επιτύχει τη μετάδοσή τους πάνω σε αργές συνδέσεις (π.χ. dial-up modems), έτσι ώστε τα κομμάτια αυτής της κατάτμησης να μη απασχολούν τη σύνδεση περισσότερο από ένα χρονικό κατώφλι. Όταν ήχος και δεδομένα αναμειγνύονται πάνω σε τέτοιες συνδέσεις, οι καθυστερήσεις ήχου επηρεάζουν αρνητικά την εφαρμογή. Η ενεργοποίηση του μηχανισμού ISSLOW σ' αυτές τις εφαρμογές μειώνουν σημαντικά τις καθυστερήσεις ήχου. [INT3+INT11]

Μεταγωγή Ετικετών Πολλαπλών Πρωτοκόλλων (Multi-Protocol Label Switching - MPLS)

Είναι κοινός τόπος αρκετών επιστημόνων των δικτύων ότι το πρωτόκολλο αυτό αναφέρεται ως επίπεδο 2.5 του OSI, διότι δεν τοποθετείται ούτε στο επίπεδο 3

(επίπεδο δικτύου), ούτε στο επίπεδο 2 (επίπεδο γραμμής δεδομένων) του OSI αλλά κάπου ενδιάμεσα. Είναι ανεξάρτητο από εφαρμογές και πλατφόρμες, αφού αποτελεί χαρακτηριστικό των δρομολογητών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με άλλα πρωτόκολλα εκτός του IP. Εξαιτίας όμως της τεράστιας ανάπτυξης που εμφανίζουν τα IP δίκτυα το κυριότερο ενδιαφέρον είναι η προσαρμογή του στο πρωτόκολλο IP. [BIB2]

Οι συμβατικοί δρομολογητές, χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα 3^{ου} επιπέδου χωρίς σύνδεση (connectionless), προωθούν τα πακέτα έως να φτάσουν στον τελικό τους προορισμό. Κάθε δρομολογητής κατά μήκος ενός μονοπατιού κίνησης ελέγχει την επικεφαλίδα του πακέτου και αποφασίζει για την κατάλληλη προώθηση του πακέτου με βάση αλγόριθμους δρομολόγησης που ενεργοποιούνται στο εσωτερικό του. Η συμβατική αυτή διαδικασία δρομολόγησης αποδεικνύεται ανεπαρκής όσο αφορά τις ολόένα αυξανόμενες απαιτήσεις των δικτύων, αφού οι δρομολογητές μετατρέπονται σε στενά περάσματα (bottlenecks) και προκαλούν προβλήματα στην κίνηση του δικτύου.

Το MPLS πρωτόκολλο ακολουθεί μια διαφορετική προσέγγιση προκειμένου να απλοποιήσει και να βελτιώσει τη διαδικασία προώθησης πακέτων και παρέχει ικανοποιητική εγγύηση για την υποστήριξη της επιθυμητής ποιότητας υπηρεσίας. Στα πρωτόκολλα 3^{ου} επιπέδου χωρίς σύνδεση προστίθενται μηχανισμοί προσανατολισμένοι στη σύνδεση, ενώ ταυτόχρονα προσθέτονται εργαλεία για τη διαχείριση της κίνησης. Οι μηχανισμοί που είναι προσανατολισμένοι στη σύνδεση αναγνωρίζουν μονοπάτια κατά μήκος του δικτύου ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε σημεία. Κάθε μονοπάτι ονομάζεται μονοπάτι αλλαγής ετικέτας (Label Switch Path- LSP) και αντιστοιχίζεται σ' αυτό μοναδική ετικέτα. Όμοια, κάθε ακραίος δρομολογητής στα σημεία εισόδου του δικτύου ονομάζεται ακραίος δρομολογητής ετικέτας (Label Edge Router- LER) ενώ οι δρομολογητές που βρίσκονται στο εσωτερικό του δικτύου ονομάζονται δρομολογητές αλλαγής ετικέτας. (Label Switch Router- LSR) Ο LER είναι υπεύθυνος για την ανάγνωση της επικεφαλίδας IP προκειμένου να καθορίσει το κατάλληλο LSP μονοπάτι που θα ακολουθήσει το πακέτο, τοποθετώντας ταυτόχρονα στο πακέτο μία επικεφαλίδα MPLS στην οποία περιέχεται η πληροφορία της ετικέτας την οποία και θα χρησιμοποιήσουν οι δρομολογητές LSR. Μέσω της ετικέτας αυτής οι LSR δρομολογητές καθορίζουν για την προώθηση του πακέτου στο κατάλληλο μοναδικό μονοπάτι, φροντίζοντας όμως πρώτα να τοποθετήσουν νέα ετικέτα στο πεδίο MPLS.

Επιπλέον το πρωτόκολλο MPLS ορίζει ένα μηχανισμό προκειμένου να αναγνωρίζει τα όρια διαχωρισμού των περιοχών του δικτύου. Ο μηχανισμός αυτός χαρακτηρίζει τα LSP ως μονοπάτια που διέρχονται εξ' ολοκλήρου από μία περιοχή ή ως μονοπάτια που διέρχονται από δύο τουλάχιστον περιοχές (τα πρώτα μονοπάτια περιέχονται στα δεύτερα). Έτσι, ένα πακέτο που προωθείται μέσω των μονοπατιών αυτών περιέχει στη επικεφαλίδα του πεδίου MPLS δύο ετικέτες που αντιστοιχούν στα δύο είδη μονοπατιών. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η κυκλοφορία του δικτύου αφού μειώνεται ο χρόνος που απαιτείται για τη δρομολόγηση πακέτων.

Το πρωτόκολλο MPLS καταφέρνει να συνδυάσει την τεχνολογία μεταγωγής του 2^{ου} επιπέδου με τις υπηρεσίες του 3^{ου} επιπέδου, απαλείφοντας την

πολυπλοκότητα, ενώ μπορεί να λειτουργήσει και πάνω από πλατφόρμες όπως το Sonet και το ATM.[INT12]

Διαχείριση Εύρους Ζώνης Υποδικτύων (Subnet Bandwidth Management -SBM)

Αποτελεί ένα ακόμη προτεινόμενο πρότυπο διαχείρισης όσο αφορά την κράτηση πόρων σε διαμοιραζόμενα δίκτυα (shared networks) ή τμήματα μεταγωγικών δικτύων τοπικής περιοχής (switched LANs) και στηρίζεται σε μία βελτίωση του πρωτοκόλλου RSVP.

Στα τελευταία αυτά δίκτυα (2^ο επιπέδου) το πρωτόκολλο RSVP κρίνεται ανεπαρκές, διότι υπάρχουν συσκευές οι οποίες δεν είναι συμβατές με αυτό. Αυτό σημαίνει ότι οι συσκευές (hosts και δρομολογητές) που είναι συμβατές με το RSVP αποδέχονται ή απορρίπτουν ροές κίνησης βασιζόμενοι στη διαθεσιμότητα των δικών τους πόρων και όχι στη διαθεσιμότητα των συνολικών πόρων των διαμοιραζόμενων δικτύων. Αυτό που ακολουθεί ως συνέπεια είναι η υπερβολική δέσμευση πόρων στα διαμοιραζόμενα υποδίκτυα.

Μέσω του SBM ενεργοποιούνται έξυπνες συσκευές που τοποθετούνται στο διαμοιραζόμενο δίκτυο και οι οποίες, με τη βοήθεια μιας μεταξύ τους διαδικασίας, ορίζουν μια ή περισσότερες κατάλληλες συσκευές τις οποίες ονομάζουν designated SBM(s) (DSBM). Ως αποτέλεσμα οι hosts και οι δρομολογητές, που αποστέλλουν μηνύματα στο διαμοιραζόμενο δίκτυο, εντοπίζουν τις συσκευές (DSBM) και δρομολογούν όλα τα μηνύματα του πρωτοκόλλου RSVP διαμέσου των συσκευών αυτών. Έτσι οι DSBM συσκευές ενημερώνονται για όλα τα μηνύματα τα οποία επηρεάζουν τους πόρους των διαμοιραζόμενων δικτύων και παρέχουν έλεγχο αποδοχής. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ότι το επίπεδο του OSI που βρίσκεται κάτω από την εφαρμογή υποστηρίζει διαδικασίες QoS.[INT3]

Ποιότητα Υπηρεσίας σε ATM δίκτυα

Γενικά

Το πρωτόκολλο ATM παρέχει υψηλής ποιότητας διαχείριση κίνησης στο 2^ο επίπεδο του μοντέλου αναφοράς του OSI. Η βασική μονάδα στο ATM είναι η κυψελίδα., η οποία αποτελείται από 53 οκτάδες, ή 53 bytes. Από αυτά τα 48 bytes αποτελούν το πεδίο δεδομένων – πληροφοριών, ενώ τα υπόλοιπα 5 bytes ανήκουν στην επικεφαλίδα της κυψελίδας, η οποία περιγράφει το νοητό μονοπάτι (Virtual Path- VP) που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τη δρομολόγηση της κυψελίδας κατά μήκος του δικτύου. Το εικονικό μονοπάτι ορίζει τις συνδέσεις, διαμέσου των οποίων δρομολογείται η κυψελίδα για να φτάσει στον προορισμό της. [BIB1 + BIB2]

Η βασική υπηρεσία των δικτύων ATM είναι η σειριακή μεταφορά κυψελίδων από άκρο σε άκρο. Η υπηρεσία αυτή πραγματοποιείται κάθε φορά που η κλήση του χρήστη γίνεται αποδεκτή. Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς των κυψελίδων μέσα στο δίκτυο είναι δυνατό να σημειωθούν καθυστερήσεις ή και απώλειες κυψελίδων.

Παράμετροι Ποιότητας Υπηρεσίας στα ATM δίκτυα

Προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) στο δίκτυο ATM, όσο αφορά την κίνηση, την τοπολογία και τις υπηρεσίες- απόδοση του δικτύου, ορίζεται ένα σύνολο από παραμέτρους όπως :

- **Μέγιστος επιτρεπόμενος ρυθμός (Peak Cell Rate - PCR):** Είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος ρυθμός με τον οποίο οι κυψελίδες μπορούν να μεταφέρονται κατά μήκος μιας σύνδεσης στα ATM δίκτυα. Αποτελεί παράγοντα που καθορίζει πόσο συχνά στέλνονται κυψελίδες σε σχέση με το χρόνο σε μία προσπάθεια ελαχιστοποίησης της μεταβολής καθυστερήσεων που μπορεί να ανεχθεί μία εφαρμογή (jitter). Η παράμετρος PCR συνδυάζεται με την παράμετρο **Ανεκτικότητα Μεταβολής Καθυστερήσεων (Cell Delay Variation Tolerance – CDVT)** η οποία υποδεικνύει πόση μεταβολή- διακύμανση καθυστερήσεων είναι επιτρεπτή.
- **Ρυθμός κυψελίδων που μπορεί να γίνει δεκτός (Sustainable Cell Rate-SCR):** Αποτελεί υπολογισμό του μέσου επιτρεπτού, μακροπρόθεσμου ρυθμού μετάδοσης κυψελίδων για μία συγκεκριμένη σύνδεση.
- **Μέγιστο μέγεθος καταιγισμού (Maximum Burst Size-MBS) :** Το μέγιστο επιτρεπτό μέγεθος καταιγισμού κυψελίδων που μπορεί να μεταδοθεί συνεχόμενα σε μία σύνδεση.
- **Ελάχιστος ρυθμός κυψελίδων (Minimum Cell Rate-MCR):** Ο ελάχιστος επιτρεπόμενος ρυθμός με τον οποίο μπορούν να μεταφερθούν οι κυψελίδες.
- **Μεταβολή Καθυστερήσεων (Cell Delay Variation-CDV):** Εκφράζει τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας μίας ομάδας μετρήσεων καθυστέρησης.
- **Maximum Cell Transfer Delay (maxCTD):** Μία συνολική περίληψη της καθυστέρησης των κυψελίδων που παρατηρείται μεταξύ δύο συσκευών

υπεύθυνων για τη μεταγωγή κυψελίδων (switches) για μία συγκεκριμένη σύνδεση και μετρείται σε msec.

- **Καθυστέρηση μεταφοράς κυψελίδας (Cell Transfer Delay):** Ορίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο μίας κυψελίδας από δύο σημεία μέτρησης.
- **Μέση καθυστέρηση μεταφοράς κυψελίδων (Mean Cell Transfer Delay):** Δίνει το μέσο όρο ενός συγκεκριμένου αριθμού μετρήσεων καθυστερήσεων για μία ή περισσότερες συνδέσεις.
- **Λόγος απώλειας κυψελίδων (Cell Loss Ratio- CLR):** Εκφράζεται από το λόγο των χαμένων κυψελίδων προς τις μεταδιδόμενες κυψελίδες.
- **Administrative Weight (AW):** Αποτελεί μία ομάδα τιμών του διαχειριστή δικτύου η οποία εκφράζει τη σχετική προτίμηση για κάποια σύνδεση ή κόμβο.
- **Λόγος εσφαλμένων κυψελίδων (Cell Error Ratio- CER):** Εκφράζεται από το άθροισμα του λόγου των εσφαλμένων κυψελίδων προς τις κυψελίδες που έχουν μεταφερθεί επιτυχώς και των εσφαλμένων κυψελίδων.
- **Λόγος μπλοκ κυψελίδων με σοβαρά σφάλματα (Severely Errored Cell Block Ratio-SECBR):** Όταν σε μία σύνδεση μεταδίδεται μία ακολουθία κυψελίδων (μπλοκ) και στην ακολουθία αυτή ο αριθμός των εσφαλμένων, χαμένων ή λάθος εισαγμένων κυψελίδων ξεπερνάει κάποιο συγκεκριμένο αποδεκτό όριο, τότε η ακολουθία χαρακτηρίζεται ως μπλόκ κυψελίδων με σοβαρά σφάλματα. Η παράμετρος SECBR εκφράζει τ λόγος αυτών των μπλοκ προς το συνολικό αριθμό των μπλοκ που μεταδίδονται.
- **Λόγος λανθασμένης εισαγωγής κυψελίδων (Cell Misinsertion Rate-CMR):** Ορίζεται ως ο λόγος των κυψελίδων που έχουν λανθασμένα εισαχθεί ανά χρονικό διάστημα.
- **Μέγιστος Ρυθμός Κυψελίδων (Maximum Cell Rate-maxCR):** Αποτελεί τη μέγιστη χωρητικότητα που διατίθεται στη σύνδεση, ανάλογα με την κατηγορία υπηρεσίας που υποστηρίζεται.
- **Διαθέσιμος Ρυθμός Κυψελίδων (Available Cell Rate-AvCR):** Ορίζεται ως ο διαθέσιμος ρυθμός κυψελίδων που διατίθεται στη σύνδεση, ανάλογα με την κατηγορία υπηρεσίας που υποστηρίζεται.
- **Cell Rate Margin (CRM):** Αποτελεί μία ένδειξη για το περιθώριο ασφαλείας που κατανέμεται πάνω από το Ρυθμό κυψελίδων που μπορεί να γίνει δεκτός (SCR).
- **Παράγοντας διακύμανσης-μεταβλητότητας (Variance Factor):** Αποτελεί μέτρο διακύμανσης και υπολογίζεται από το τετράγωνο του ρυθμού μετάδοσης των κυψελίδων, κανονικοποιημένο από τη διακύμανση του αθροίσματος των ρυθμών μετάδοσης των κυψελίδων για όλες τις υπάρχουσες συνδέσεις. [BIB3 + BIB4]

Κατηγορίες Μεταφορικών Υπηρεσιών στα ATM δίκτυα

Το ATM Forum έχει ορίσει 5 διαφορετικούς τύπους μεταφορικών υπηρεσιών. Ομαδοποιούνται σε μεταφορικές υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και μη πραγματικού χρόνου, ανάλογα με το είδος των εφαρμογών που μπορούν να εξυπηρετήσουν. Οι υπηρεσίες αυτές χαρακτηρίζονται από παραμέτρους που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου είναι:

- **Constant Bit Rate (CBR):** Η κατηγορία αυτή είναι κατάλληλη για συνδέσεις στις οποίες η κίνηση μεταφέρεται με σταθερό-συνεχή ρυθμό και χαρακτηρίζεται από αμοιβαία εμπιστοσύνη σε θέματα συγχρονισμού μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Η κατηγορία αυτή είναι κατάλληλη για δεδομένα για τα οποία τα τελικά συστήματα του δικτύου (end systems) απαιτούν προβλεπόμενο χρόνο αντίδρασης και σταθερή ποσότητα εύρους ζώνης, συνεχώς διαθέσιμη για ολόκληρη τη διάρκεια της σύνδεσης. Χρησιμοποιείται για προσομοίωση κυκλώματος και υποστηρίζει εφαρμογές όπως η τηλεσυνδιάσκεψη και η τηλεφωνία. Χαρακτηρίζεται από παραμέτρους όπως η PCR.
- **Real Time Variable Bit Rate (rt-VBR):** Η κατηγορία αυτή είναι κατάλληλη για συνδέσεις στις οποίες η κίνηση μεταφέρεται με μεταβλητούς ρυθμούς και στηρίζεται στον ακριβή συγχρονισμό μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Ο ρυθμός μετάδοσης διαφέρει ως προς το χρόνο (η κίνηση αυτή χαρακτηρίζεται ως καταγωγιστική). Χρησιμοποιείται για πολυμεσικές εφαρμογές οι οποίες μπορούν να ανεχθούν μια μικρή ποσότητα χαμένων κυψελίδων, χωρίς να κινδυνεύει να υποβαθμιστεί η εφαρμογή. Χαρακτηρίζεται από παραμέτρους όπως οι PCR, SCR και MBS.

<i>Rate Type</i>	<i>Descriptions</i>
Stream	Predictable delivery at a relatively constant bit rate (CBR). For example, although their rates often fluctuate, audio and video data streams are considered CBR because they have a quantifiable upper bound.
Burst	Unpredictable delivery of "blocks" of data at a variable bit rate (VBR). Applications like file transfer move data in bulk that can increase data rate to use all available bandwidth (no upper bound).

Table 1: Terms to characterize application data rates in terms of relative predictability.

Οι υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου είναι:

- **Non -Real Time Variable Bit Rate (nrt-VBR):** Η κατηγορία αυτή είναι κατάλληλη για συνδέσεις στις οποίες η κίνηση μεταφέρεται με μεταβλητούς ρυθμούς και δεν χαρακτηρίζεται από αμοιβαία εμπιστοσύνη σε θέματα συγχρονισμού μεταξύ της πηγής και του προορισμού, αλλά υπάρχει η ανάγκη για μία προσπάθεια απόδοσης εγγυήσεων όσο αφορά το εύρος ζώνης ή την καθυστέρηση. Χρησιμοποιείται για εφαρμογές προσανατολισμένες στις συναλλαγές, όπως τα συστήματα κρατήσεων και χαρακτηρίζεται από παραμέτρους όπως η maxCTD και η CLR.
- **Available Bit Rate (ABR):** Η κατηγορία αυτή είναι κατάλληλη για συνδέσεις στις οποίες η κίνηση μεταφέρεται με μεταβλητούς ρυθμούς, δεν χαρακτηρίζεται από αμοιβαία εμπιστοσύνη σε θέματα συγχρονισμού μεταξύ της πηγής και του προορισμού και δεν απαιτεί εγγυήσεις όσο προς το εύρος ζώνης ή την καθυστέρηση. Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά κίνησης που δεν απαιτεί εγγυήσεις υπηρεσίας και δεν είναι ευαίσθητη ως προς τα χρονικά περιθώρια. Αποτελεί τη μεταφορική υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας (best effort), στην οποία χρησιμοποιούνται μηχανισμοί ελέγχου της ροής της κίνησης προκειμένου να διευθετηθεί δυναμικά το εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο για κάθε χρήστη. Παρέχει τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου με ρυθμό που να μην υπερβαίνει τον Μέγιστο Επιτρεπόμενο Ρυθμό (Peak Cell Rate).

- **Unspecified Bit Rate (UBR):** Και η κατηγορία αυτή είναι κατάλληλη για συνδέσεις στις οποίες η κίνηση μεταφέρεται με μεταβλητούς ρυθμούς, δεν χαρακτηρίζεται από αμοιβαία εμπιστοσύνη σε θέματα συγχρονισμού μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Η διαφορά της με την προηγούμενη κατηγορία οφείλεται στην έλλειψη μηχανισμών ελέγχου κίνησης. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη μεταφορά κίνησης που αφορά εφαρμογές οι οποίες είναι πολύ ανεκτικές σε καταστάσεις όπως η καθυστέρηση κυψελίδων ή η απώλεια αυτών. Εφαρμόζεται σε δίκτυα Ευρείας και Τοπικής περιοχής (WAN και LAN) στο Internet και υποστηρίζει εφαρμογές όπως η μεταφορά αρχείων και το e-mail. [BIB3]

Κλάσεις Ποιότητας Υπηρεσίας σε ATM δίκτυα

Υπάρχουν δύο τύποι κλάσεων QoS στα ATM δίκτυα: εκείνες που καθορίζουν ρητά παραμέτρους απόδοσης (καθορισμένες QoS κλάσεις) και εκείνες που δεν καθορίζουν παραμέτρους απόδοσης (μη καθορισμένες QoS κλάσεις). Παραδείγματα τέτοιων παραμέτρων είναι οι CTD, CDV και CLR που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Κάθε καθορισμένη QoS κλάση χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες τιμές για κάθε παράμετρο που χρησιμοποιεί, ενώ για τις μη καθορισμένες QoS κλάσεις δεν υπάρχουν συγκεκριμένες και σταθερές τιμές παραμέτρων, αλλά ο παροχέας δικτυακών υπηρεσιών καθορίζει ένα εσωτερικό σύνολο επιθυμητών τιμών για τις παραμέτρους απόδοσης.

Η συσχέτιση ανάμεσα στις κλάσεις υπηρεσιών και τις κλάσεις QoS είναι η ακόλουθη:

	Υπηρεσία	QoS
ΚΛΑΣΗ Α	για προσομοίωση κυκλώματος και Constant Bit Rate υπηρεσίες.	απόδοση συγκρίσιμη με τις ψηφιακές ιδιωτικές γραμμές.
ΚΛΑΣΗ Β	για VBR βίντεο και φωνή.	απόδοση που ικανοποιεί πολυμεσικές εφαρμογές και τηλεσυνδιάσκεψη.
ΚΛΑΣΗ Γ	για μεταφορά δεδομένων προσανατολισμένα στις συνδέσεις.	απόδοση που υποστηρίζει πρωτόκολλα όπως το Frame Relay.
ΚΛΑΣΗ Δ	για μεταφορά δεδομένων χωρίς σύνδεση	απόδοση που υποστηρίζει πρωτόκολλα όπως το IP.

Ο διαχωρισμός της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε κλάσεις διευκολύνει τη συνολική λειτουργία του δικτύου, αφού έτσι το δίκτυο δεν αναγκάζεται να υποστηρίζει τις πιο αυστηρές απαιτήσεις για το σύνολο της κίνησης. Οι επιμέρους απαιτήσεις μίας κίνησης ικανοποιούνται με ευέλικτο και βέλτιστο τρόπο. [BIB3]

Μηχανισμοί διαχείρισης κίνησης στα ATM δίκτυα

Ο έλεγχος της κίνησης στα ATM δίκτυα αποτελεί μείζονος σημασίας ενέργεια και αποσκοπεί στην επιτυχή παροχή διαφοροποιημένων QoS στα ποικίλα είδη εφαρμογών που απαιτούν τέτοιες υπηρεσίες. Η σημαντικότερη δραστηριότητα ενός μηχανισμού διαχείρισης κίνησης είναι η προαγωγή της αποδοτικότητας του δικτύου και η αποφυγή καταστάσεων συμφόρησης, έτσι ώστε να προάγεται η συνολική απόδοση του δικτύου. Η βελτιστοποίηση των διεργασιών που αφορούν την κίνηση

στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι η μεταφορά δεδομένων μίας συγκεκριμένης εφαρμογής δεν επιδρά αρνητικά στην μεταφορά δεδομένων μίας οποιασδήποτε άλλης εφαρμογής.

Οι παρακάτω μηχανισμοί δουλεύουν ανεξάρτητα ή σε συνεργασία μεταξύ τους, έχοντας ως κύριο στόχο τη διαχείριση της κίνησης και τον έλεγχο των πόρων του δικτύου.

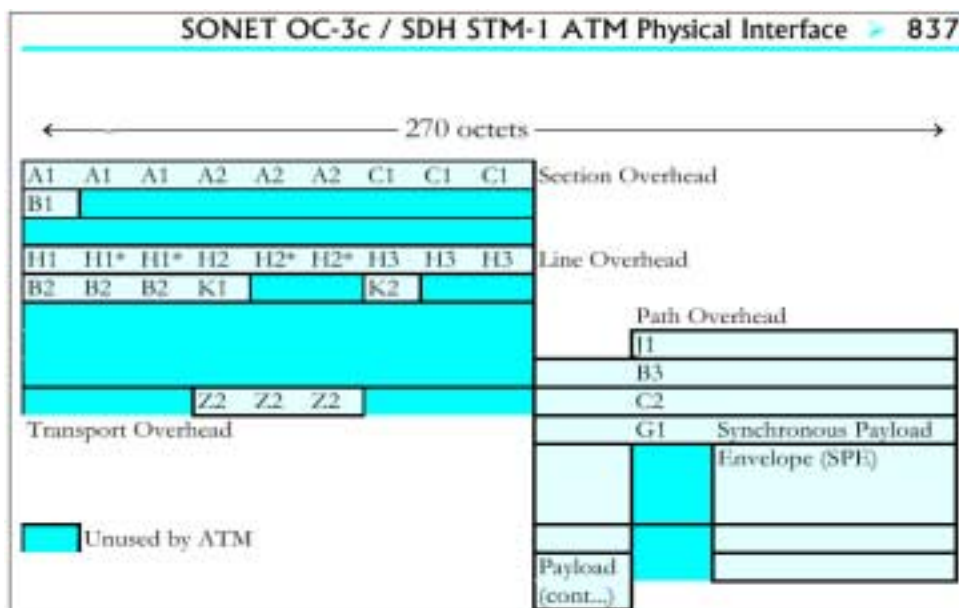
- **Connection Admission Control (CAC):** Ο μηχανισμός ελέγχου αποδοχής σύνδεσης εκτελεί κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης της σύνδεσης ενέργειες που έχουν ως σκοπό να εγκρίνουν ή να απορρίψουν αιτήσεις σύνδεσης. Ο CAC αποδέχεται μία αίτηση, μόνο αν μπορεί να εξασφαλίσει στην σύνδεση ότι θα προσφέρει την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας και εφόσον η αποδοχή της συγκεκριμένης σύνδεσης δεν επιβαρύνει την ποιότητα υπηρεσίας όλων των προηγούμενων συνδέσεων. Η απόφαση του CAC βασίζεται σε πολλές παραμέτρους όπως η κατηγορία της υπηρεσίας, η συμφωνία που χαρακτηρίζει την κίνηση και οι απαιτούμενοι QoS παράμετροι.
- **Usage Parameter Control (UPC):** Ο μηχανισμός αυτός είναι υπεύθυνος για την επίβλεψη και τον έλεγχο της κίνησης καθώς και για τον καθορισμό της εγκυρότητας των συνδέσεων. Πρωταρχικός σκοπός του είναι η προστασία του δικτύου από τα λάθη κίνησης μίας συγκεκριμένης σύνδεσης, τα οποία συχνά είναι σε θέση να επιδράσουν αρνητικά στην ποιότητα υπηρεσίας (QoS) που αποδίδεται στις άλλες συνδέσεις. Ο μηχανισμός UPC εντοπίζει τέτοια σφάλματα και αντιδρά τοποθετώντας στο πεδίο CLP (Cell Loss Priority-αποτελείται από 1 bit, δηλαδή παίρνει δύο τιμές 0 και 1) των κυψελίδων τη μονάδα ή απορρίπτοντας όλες μαζί τις κυψελίδες.
- **Cell Loss Priority control (CLP):** Με τη χρήση αυτού του πεδίου εφαρμόζονται διάφορες στρατηγικές για την κατανομή των διαθέσιμων πόρων του δικτύου. Το δίκτυο έχει τη δυνατότητα να απορρίπτει κυψελίδες με $CLP = 1$, σε μία προσπάθεια να προστατέψει την κίνηση κελιών με μεγαλύτερη προτεραιότητα $CLP = 0$.
- **Traffic shapping:** Προκειμένου να ελέγχεται ο φόρτος της κίνησης εφαρμόζονται μέθοδοι όπως η μορφοποίηση της κίνησης με χρήση του διαρρέοντος κουβά (leaky bucket – η καταγιστική κίνηση που εισέρχεται στον κουβά ομαλοποιείται), με σκοπό τον έλεγχο του ρυθμού με τον οποίο μεταδίδεται η κίνηση στο εσωτερικό του δικτύου. Ο αλγόριθμος που παρέχει αυτή τη λειτουργία ονομάζεται Αλγόριθμος Γενικευμένου Ρυθμού Κυψελίδων (Generic Cell Rate Algorithm-GCRA).
- **Network resource Management:** Επιτρέπει το λογικό διαχωρισμό των συνδέσεων με βάση το νοητό μονοπάτι (VP) σύμφωνα με τα κριτήρια των υπηρεσιών που απαιτούνται.
- **Frame discard:** Ο μηχανισμός απόρριψης πλαισίου είναι υπεύθυνος για την απόρριψη πλαισίων της κίνησης στο ATM Adaptation Layer, έχοντας ως κύριο στόχο την μεγιστοποίηση της ικανότητας απόρριψης.
- **Available Bit Rate flow control:** Ο μηχανισμός αυτός είναι υπεύθυνος για την προσαρμογή των ρυθμών κίνησης των διαφόρων συνδέσεων, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων του δικτύου. Επιπλέον, ο ABR flow control παρέχει μία λειτουργία η οποία επαναδρομολογεί την κίνηση γύρω από κάποιο συγκεκριμένο κόμβο, όταν προκαλείται συμφόρηση ή απώλεια κυψελίδων ή όταν υπάρχει κίνδυνος παραβίασης της συμφωνίας που περιγράφει

την κίνηση από τον μηχανισμό ελέγχου αποδοχής κίνησης (CAC). Μέσω της λειτουργίας αυτής, ένας ενδιάμεσος κόμβος στέλνει σήμα στον αρχικό κόμβο ότι δεν είναι πλέον εφικτή η συγκεκριμένη σύνδεση και επομένως δεν μπορεί να αποδώσει QoS.

Ποιότητα Υπηρεσίας στα Synchronous Optical Network (SONET)

Γενικά

Με τον όρο SONET εννοούμε ένα standard μεταφοράς για τα οπτικά δίκτυα με ταχύτητες από περίπου 52 Mb/s (OC-1) ως και 10 Gb/s (OC-192). Τα standards αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με ATM αφορούν μετάδοση ταχυτήτων πολλαπλάσιων των 51.840 Mb/s σε πλαίσιο STS-1. Το πλαίσιο αυτό αποτελείται από οκτάδες ύψους 8 σειρών και πλάτους 90 γραμμών. Οι τελευταίες 3 γραμμές χρησιμοποιούνται για το overhead μεταφοράς και περιέχουν στοιχεία για την πλαισιοποίηση, ανίχνευση λάθους καθώς και πληροφορίες για την διαχείριση και την δεικτοδότηση φορτίου. Τα δεδομένα χρησιμοποιούν 87 στήλες όπου η πρώτη έχει το overhead του μονοπατιού. Σε επέκταση του STS-1 αναφέρονται ενδεικτικά το OC-3 και STM-1 που αφορούν ρυθμούς 155.520 Mb/s. (βλέπε σχήμα) [INT6+INT18]



Multiple Access Protocol over SONET (MAPOS)

Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών ποιότητας όσον αφορά την δυνατότητα πολλαπλής πρόσβασης σε δίκτυο SONET. Παρέχει την δυνατότητα για κλιμάκωση του SONET σε συνδυασμό με ένα ομοιογενές δικτυακό περιβάλλον. Το MAPOS είναι connectionless και ταιριάζει καλύτερα σε κυκλοφορία IP. Επιπλέον παρέχει δυνατότητες απλής και πολλαπλής μετάδοσης. Ένας αποδοτικός και απλός μηχανισμός προώθησης το κάνει μια άριστη λύση για υψηλής ταχύτητας δίκτυα σε όλα τα επίπεδα: SONET LAN, SONET backbone για campus, SONET

backbone για Internet και συναλλαγές Internet με SONET WAN. Υποστηρίζει πλαίσιο τύπου HDLC και ένα ευρύ πλαίσιο ρυθμών από 155 Mbps ως 10 Gbps με δυνατότητα αναβάθμισης στο μέλλον. [INT19]

Ποιότητα Υπηρεσίας σε Wavelength Division Multiplexing (WDM) δίκτυα

Γενικά

Το WDM αποτελεί ένα μηχανισμό που επιτρέπει πολλαπλά σήματα να κωδικοποιούνται σε πολλαπλά μήκη κύματος. Τα πλεονεκτήματα των δικτύων WDM σε σχέση με τα συμβατικά δίκτυα είναι το μεγάλο εύρος ζώνης, η μικρή απώλεια ισχύος, η αξιοπιστία, η ασφάλεια, καθώς και η ταχύτητα και διαφάνεια των πρωτοκόλλων.

Καθώς τα WDM διαμορφώνονται ως η κύρια επικοινωνιακή τεχνολογία, τα SONET που αναλύθηκαν προηγουμένως αρχίζουν να εξαφανίζονται για πολλά δίκτυα που επιθυμούν να τρέχουν με πιο φυσικό τρόπο απευθείας πάνω από WDM. Τα φωτόνια μπορούν να μετακινηθούν από την πηγή προς τον προορισμό τους χωρίς την ανάγκη για ηλεκτρονική μετατροπή και επεξεργασία. Αφήνοντας το πλαίσιο των SONET και βάζοντας το IP απευθείας πάνω από την οπτική ίνα φαίνεται να είναι ο πιο αποδοτικός τρόπος. Αυτό ελαχιστοποιεί το overhead και κάνει την δικτύωση πιο οικονομική. [INT7]

Latency vs Bandwidth σε WDM περιβάλλον

Ένα μεγάλο θέμα που πρωταγωνιστεί στον κόσμο των gigabit και της τεχνολογίας WDM είναι αυτό της καθυστέρησης (latency) ενάντια στο εύρος ζώνης (bandwidth). Το μεγαλύτερο εύρος ζώνης φαίνεται να εγγυάται ότι μπορούμε να βελτιώσουμε (συντομεύσουμε) το χρόνο αντίδρασης της κίνησης-κυκλοφορίας που αφορά τις εφαρμογές (πραγματικού και μη-πραγματικού χρόνου) και η οποία μεταδίδεται μέσα στα σύγχρονα δίκτυα.

Σε ταχύτητες επιπέδου gigabit και μεγαλύτερες η βελτίωση που αναμένουμε πρόκειται να είναι σημαντική. Παρόλα αυτά μερικοί ερευνητές ισχυρίζονται ότι η πραγματικότητα είναι διαφορετική, αφού η καθυστέρηση αποτελεί ένα σοβαρό περιορισμό εξαιτίας της ταχύτητας του φωτός. Ισχυρίζονται ότι η μείωση του χρόνου καθυστέρησης της μετάδοσης, με τη χρήση επιπρόσθετης χωρητικότητας περιορίζεται από την πολλαπλασιαζόμενη καθυστέρηση που οφείλεται στην πεπερασμένη ταχύτητα του φωτός.

Παρόλο που ο μηχανισμός WDM παρέχει πολλαπλά μονοπάτια μετάδοσης, οι εργασίες των ερευνητών καταδεικνύουν ότι και στα συστήματα WDM, που βασίζονται σε διαχείριση πακέτων, υπάρχει ένα αυστηρό όριο πέρα από το οποίο το σύστημα περιορίζεται λόγω της καθυστέρησης. Όπως και στην περίπτωση ενός απλού μονοπατιού μετάδοσης, υπάρχει, για το κανάλι μετάδοσης, ένα κρίσιμο επίπεδο εύρους ζώνης πέρα από το οποίο μία αύξηση στη χωρητικότητα του δικτύου δε θα μειώσει το χρόνο καθυστέρησης των δεδομένων. Μεγάλη συνέπεια για τα

συστήματα WDM αποτελεί το γεγονός ότι υπάρχει επίσης και ένας κρίσιμος αριθμός μηκών κύματος, πέρα από τον οποίο μία αύξηση στα μήκη κύματος του δικτύου δε θα μειώσει το χρόνο καθυστέρησης των δεδομένων. [AP8]

Πρωτόκολλο SR³

Ένα από τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα που παρέχουν ποιότητα υπηρεσίας στα WDM δίκτυα είναι το SR³. Αυτό το πρωτόκολλο πρόσβασης είναι σχεδιασμένο για όλα τα δίκτυα οπτικών πακέτων βασισμένο στις πολυκαναλικές τοπολογίες δακτυλίου του WDM που αφιερώνουν ένα λογικό κανάλι για μεταδόσεις προς κάθε κατεύθυνση. Προσφέρει αποδοτική εκμετάλλευση του διαθέσιμου bandwidth και μία εγγυημένα δίκαιη πρόσβαση σε κάθε κυκλοφορία από κόμβο σε κόμβο. Το SR³ εισάγει ένα νέο σχήμα εξασφάλισης σχισμής (slot) που επιτρέπει στους κόμβους να κατανέμουν δυναμικά μια αναλογία διαθέσιμου bandwidth και να μπορούν να παρέχουν εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας για υποστήριξη multimedia εφαρμογών.

Το ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου αυτού είναι ότι παρά την απλοϊκή κατάσταση λειτουργίας του για πρόβλεψη για connectionless υπηρεσίες καλύτερης-προσπάθειας, οι connection-oriented εγγυημένες υπηρεσίες του υποστηρίζονται φυσικά χωρίς να επηρεάζονται οι βασικοί μηχανισμοί πρόσβασης. Το bandwidth που μένει αχρησιμοποίητο από τις εγγυημένες υπηρεσίες μπορεί να μοιραστεί πολύ αποδοτικά από την κυκλοφορία καλύτερης προσπάθειας με πλήρη εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που παρέχει η στατιστική πολυπλεξία.

Ακόμα και για την βασική υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας που δεν απαιτεί εγγύηση υπηρεσίας, το σχήμα αυτό της εξασφάλισης πόρων μπορεί να είναι ευεργετικό. Οι μέσοι όροι και οι διακυμάνσεις των καθυστερήσεων πρόσβασης μειώνονται σημαντικά όταν οι σχισμές είναι εξασφαλισμένες και οδηγούν σε βελτιωμένη απόδοση και δικαιοσύνη.[INT8]

Παράμετροι Μέτρησης Ποιότητας Υπηρεσίας στα WDM

Οι κυριότερες νέες απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών στα WDM δίκτυα θα πρέπει να χαρακτηριστούν και να μετρηθούν με διαφορετικές παραμέτρους που θα λαμβάνουν υπόψη τους την διάσταση του μήκους κύματος (wavelength). Οι κυριότερες παράμετροι είναι:

- **Signal-to-noise ratio:** Είναι ο καλύτερος δείκτης της συνολικής απόδοσης του καναλιού.
- **Channel power:** Οπτική ισχύς σε κάθε κανάλι. Πιστοποιεί την ισόνομη διανομή της ισχύος πάνω στο bandwidth των οπτικών ενισχυτών που χρησιμοποιούνται.
- **Channel center wavelength and spacing:** Επικεντρώνει το μήκος κύματος του κάθε καναλιού. Προσδιορίζει τις ταχύτητες ροής στις πηγές laser.
- **Crosstalk:** Το επίπεδο του μη επιθυμητού σήματος (θόρυβος και συνεισφορά από άλλα κανάλια) στην ζώνη περάσματος του ελεγχόμενου καναλιού.
- **Total optical power:** Αρνητικές επιδράσεις των μη γραμμικών φαινομένων στις οπτικές ίνες εξαρτώνται από την συνολική ισχύς που μεταφέρεται. Εδώ πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή επειδή οι μετρητές οπτικής ισχύος που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι βελτιστοποιημένοι για χαμηλά επίπεδα ισχύος που αφορούν απλά

κανάλια (+6dBm). Τα συστήματα WDM ενισχύουν ταυτόχρονα πολλά οπτικά ρεύματα. Έτσι ένας γνωστός εξασθενητής (attenuator) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

- **Chromatic Dispersion:** Ιόν μεταβλητής τιμής του δείκτη διάθλασης της ίνας με το μήκος κύματος. Χρειάζεται για τον έλεγχο της διαπερατότητας του οπτικού μονοπατιού.
- **Polarization Mode Dispersion:** Διάφορες καταστάσεις πόλωσης του οπτικού σήματος εκπέμπονται σε διαφορετικές ταχύτητες. Η παράμετρος αυτή επηρεάζει την ποιότητα μετάδοσης διαχέοντας οπτικούς παλμούς και αυξάνοντας το ρυθμό εσφαλμένων bit (bit error rate).

Αυτές οι παράμετροι θα πρέπει να ελεγχθούν μετά την εγκατάσταση επειδή οι ίνες μπορεί να σπασούν, να διπλώσουν, να λυγίσουν ή να διασκορπιστούν με οποιαδήποτε τρόπο. Επίσης πρέπει να γίνεται περιοδικός έλεγχος μπορεί να αλλάξει κάτι στο σύστημα εξαιτίας της θερμοκρασίας, της έντασης και άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων. [INT7]

Ποιότητα Υπηρεσίας σε Mobile Ad-hoc Networks (MANET)

Γενικά

Ένα Mobile Ad-hoc δίκτυο (Κινητό Δίκτυο συγκεκριμένου σκοπού) αποτελεί μία οργάνωση από κινητούς κόμβους οι οποίοι συνεργάζονται μεταξύ τους με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών. Ως κόμβοι ορίζονται διάφορων ειδών κινητές πλατφόρμες (π.χ. ένας δρομολογητής με πολλούς hosts και ασύρματες επικοινωνιακές συσκευές), οι οποίες μπορούν να κινούνται αυθαίρετα. Οι κόμβοι αυτοί μπορούν να είναι τοποθετημένοι πάνω σε αεροπλάνα, αυτοκίνητα, φορητά, πλοία ή ίσως και σε ανθρώπους σε πολύ μικρές συσκευές και μπορούν σε ένα δρομολογητή να αντιστοιχούν περισσότεροι του ενός hosts.

Τα MANET δίκτυα διακρίνονται για τις δυναμικές του τοπολογίες, αφού οι κόμβοι τους μπορεί συνεχώς να μεταβάλλουν τις θέσεις τους κατά απρόβλεπτο τρόπο και οι συνδέσεις μπορεί να είναι μονόδρομες ή αμφίδρομες. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από συνδέσεις ποικίλης χωρητικότητας και περιορισμένου εύρους ζώνης, με αποτέλεσμα η συμφόρηση να αποτελεί μία περίπου συνηθισμένη κατάσταση την οποία προσπαθεί να αντιμετωπίσει το δίκτυο. Ο σκοπός των δικτύων αυτών είναι η υποστήριξη δυναμικών λειτουργιών, ενσωματώνοντας τεχνικές λειτουργικής δρομολόγησης στους κινητούς κόμβους του δικτύου.

Η ραγδαία ανάπτυξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου εντατικοποίησε τις προσπάθειες υποστήριξης QoS και για τα δίκτυα MANET, δεδομένου ότι η τεχνολογία αυτή είναι βασισμένη στην τεχνολογία του IP και αποτελεί μια βελτιωμένη πρόταση στο χώρο των αυτόνομων ασύρματων δικτύων. Οι προσπάθειες που γίνονται αφορούν τόσο προτάσεις για κατανομή πόρων σε ατομικές ροές (individual flows) όσο και συνολική αύξηση του εύρους ζώνης κατά μήκος του δικτύου.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ένα χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών, το οποίο αναμφισβήτητα επηρεάζει την υποστήριξη QoS, είναι το περιορισμένο εύρος ζώνης, ενώ το διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου επηρεάζεται από την εξασθένιση καναλιών. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η εξασθένιση αυτή χρησιμοποιούνται διάφορες μεθόδους όπως η χρήση υπεράριθμων κωδικών ή η εναλλακτική δρομολόγηση, οι οποίες αναπόφευκτα μειώνουν επιπλέον το διαθέσιμο εύρος ζώνης συντελώντας σε μεγάλο βαθμό σε κατάσταση συμφόρησης για το δίκτυο. Επιπλέον, στα δίκτυα αυτά είναι σχεδόν βέβαιο ότι το διαθέσιμο εύρος ζώνης από κάποιο συγκεκριμένο κόμβο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το κανάλι με το οποίο γίνεται η μετάδοση. Για εξασθένιση καναλιών που ξεπερνάει κάποιο συγκεκριμένο όριο (π.χ. 10^{-2} για το Ρυθμό Λανθασμένων Bit -Bit Error Rate) έχει αποδειχθεί ότι οι μέθοδοι κωδικοποίησης από μόνες τους δεν είναι σε θέση να εγγυηθούν τη μετάδοση.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών είναι η τυχαία πρόσβαση, με συχνές απώλειες-τριβές, μεταξύ των πακέτων που πρόκειται να μεταδοθούν. Το χαρακτηριστικό αυτό απαιτεί κάποια λύση, η οποία δε θα στηρίζεται σε υπεράριθμο έλεγχο πακέτων, προκειμένου να μη δημιουργηθούν συμφορήσεις οι οποίες θα επηρεάσουν αρνητικά τη συνολική ικανότητα του δικτύου. Επιπλέον, θεωρείται ότι μόνο ένας μικρός αριθμός ροών αναμεταδίδεται από κάθε κόμβο, επειδή οι σχετικά αργές συνδέσεις των δικτύων MANET θα κορεστούν γρήγορα, εάν οι ροές κίνησης έχουν απαιτήσεις QoS (εφαρμογές πραγματικού χρόνου).

Differentiated Services σε δίκτυα MANET

Στα δίκτυα MANET εφαρμόζονται δύο μέθοδοι διαχείρισης συμφόρησης. Η πρώτη μέθοδος σημαδεύει τα πακέτα της κίνησης και παρέχει σ' αυτά ειδική μεταχείριση στους κόμβους του δικτύου. Παράδειγμα της μεθόδου αυτής αποτελούν οι Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (DiffServ), στις οποίες, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, τα πακέτα σημαδεύονται με συγκεκριμένες τιμές στο πεδίο DS, έτσι ώστε να προωθηθούν κατάλληλα στον προορισμό τους. Παρέχεται προώθηση για σύνθετες ροές κίνησης (aggregate flows) και η διαδικασία αυτή στηρίζεται στη χρήση των Per Hop Behaviours (PHBs), τα οποία ανταποκρίνονται σε κάθε τιμή του πεδίου DS.

Όσο αφορά το πεδίο DS, γίνονται διάφορες έρευνες, προκειμένου να αυξηθούν οι τιμές που επιτρέπει (8 bits, δηλαδή 64 τιμές) και να δημιουργηθεί ένα νέο πεδίο. Το πεδίο αυτό θα αποτελέσει σίγουρα ένα επιπρόσθετο φόρτο εργασίας στους κόμβους του δικτύου, αλλά κρίνεται ότι μπορεί να εφαρμοστεί στα σχετικά αργής σύνδεσης δίκτυα MANET.

Από τις PHBs, η Assured Forwarding συμπεριφορά (AF PHB) ασχολείται με τις απώλειες πακέτων σε περίπτωση συμφόρησης. Διαθέτει τέσσερα (4) επίπεδα επιβεβαίωσης προώθησης πακέτων και κατανέμει πόρους ενδιάμεσης μνήμης και εύρους ζώνης για κάθε κλάση υπηρεσίας. Η Assured Forwarding συμπεριφορά αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την προώθηση πακέτων και βρίσκει εφαρμογή και στα δίκτυα MANET.

Η Expedited Forwarding συμπεριφορά (EF PHB) παρέχει ελάχιστη καθυστέρηση στα πακέτα, διαμορφώνοντας τους κόμβους έτσι ώστε δεδομένο εύρος ζώνης να κατανέμεται σε συγκεκριμένα πακέτα της κίνησης και επιβάλλοντας, ως κανονισμό, η κίνηση που εισάγεται στο δίκτυο να μην υπερβαίνει το εύρος ζώνης που της αποδίδεται. Η Expedited Forwarding συμπεριφορά αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την προώθηση πακέτων σε δίκτυα με αυτόνομη διοίκηση και σταθερή αλληλουχία κόμβων, αλλά σε εφαρμόζεται στα MANET δίκτυα, αφού σ' αυτά δεν υπάρχει κεντρικός διαχειριστής δικτύου και οι κόμβοι του δικτύου κινούνται αυθαίρετα.

Ειδικά για τα δίκτυα MANET έχει προταθεί η δημιουργία μίας νέας, απλής PHB, με τη δημιουργία ενός νέου πεδίου στο οποίο θα ορίζεται η κλάση του κάθε πακέτου. Σε κάθε κλάση μπορεί να αποδίδεται είτε ένα ελάχιστο εύρος ζώνης είτε ένα ποσοστό του συνολικού εύρους ζώνης. Η προσέγγιση αυτή εγγυάται ότι σε κάθε

κλάση κίνησης κατανέμεται ένα δεδομένο τμήμα πόρων του δικτύου. Στην ακραία περίπτωση που αποδοθεί για κάποια κλάση το 100% των πόρων του δικτύου, τότε εφαρμόζεται σχήμα κατανομής πόρων με αυστηρή προτεραιότητα.

Τα μειονεκτήματα της χρήσης Differentiated Services σε δίκτυα MANET είναι δύο. Αν τα πακέτα μίας συγκεκριμένης κλάσης ξεπεράσουν τους πόρους που διατίθενται για την κίνηση αυτή, τότε εμφανίζονται προβλήματα στην κίνηση, τα οποία δεν επιλύονται από τη χρήση του πεδίου DS. Επιπλέον, οι υπηρεσίες αυτές δεν βοηθούν στην απομόνωση της ατομικής κίνησης μέσα από τις σύνθετες (aggregate) κινήσεις προκειμένου να αποδοθεί σε κάθε μία από αυτές υποστήριξη QoS.

RSVP σε MANET δίκτυα

Η δεύτερη μέθοδος διαχείρισης συμφόρησης αφορά την κράτηση πόρων του δικτύου, από άκρη σε άκρη, κατά μήκος του μονοπατιού μίας ατομικής ροής κίνησης για μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Παράδειγμα της μεθόδου αυτής αποτελεί το Πρωτόκολλο Κράτησης Πόρων (RSVP). Πρόκειται για το γνωστό πρωτόκολλο σηματοδότησης που τοποθετείται στο 3^ο επίπεδο του OSI. Δεδομένου ότι η κίνηση μίας συγκεκριμένης εφαρμογής αντιμετωπίζεται σε επίπεδο ατομικής ροής με εφαρμογή του ελέγχου αποδοχής για κάθε πακέτο, το RSVP αντίθετα με τις Differentiated Services, έχει το πλεονέκτημα ότι δεν αντιμετωπίζει το πρόβλημα της μεταφοράς μεγάλου αριθμού πακέτων που ανήκουν στην ίδια κλάση.

Αντίθετα, ένα μειονέκτημα του RSVP είναι ότι οι δρομολογητές δεν μπορούν να επεξεργάζονται ένα μεγάλο αριθμό ατομικών ροών κίνησης σε μεγάλες ταχύτητες. Επομένως το RSVP, προκειμένου να αποφεύγονται προβλήματα συμφόρησης, δε συστήνεται ως πρωτόκολλο κατάλληλο για κόμβους backbone. Όμως οι απαιτήσεις του πρωτοκόλλου αυτού πιστεύεται ότι μπορούν να καλυφθούν σ' ένα δίκτυο MANET, αφού το εύρος ζώνης στα δίκτυα αυτά είναι περιορισμένο και οι κόμβοι των δικτύων δεν επεξεργάζονται μεγάλο αριθμό ροών κίνησης.

Το σημαντικότερο ίσως μειονέκτημα του RSVP είναι ότι απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός ελέγχου πακέτων (αφού η κίνηση αντιμετωπίζεται σε επίπεδο ατομικής ροής), ενώ στα δίκτυα MANET η πρόσβαση σε κανάλι μεταφοράς χαρακτηρίζεται ως σημείο τριβής μεταξύ των πακέτων. [AP9]

Μεθοδολογία Υποστήριξης Ποιότητας Υπηρεσίας σε δίκτυα MANET

Μία μεθοδολογία υποστήριξης QoS σε δίκτυα MANET, η οποία κατανέμει πόρους σε ατομικές ροές κίνησης πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. **QoS μέτρο:** Υπάρχουν πολλά μέτρα QoS τα οποία σχετίζονται με τις απαιτήσεις απόδοσης εφαρμογών πραγματικού χρόνου, όπως η καθυστέρηση (delay) και η μεταβολή της καθυστέρησης (jitter). Το μέτρο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιείται μέσα στον αλγόριθμο δρομολόγησης, προκειμένου να βρίσκεται κάθε φορά το εφικτό μονοπάτι που ικανοποιεί τους σχετικούς περιορισμούς. Η εύρεση τέτοιου μονοπατιού απαιτεί υψηλή υπολογιστική

ικανότητα. Η εφαρμογή ενός αμφίδρομου QoS μέτρου σε δίκτυα MANET, στα οποία η τοπολογία είναι αντικείμενο συνεχόμενης αλλαγής (λόγω της αυθαίρετης κίνησης των κόμβων), δε συστήνεται. Αντίθετα, προτείνεται η χρήση του ελάχιστου εύρους ζώνης ως ένα απλό αλλά γενικά ικανοποιητικό QoS μέτρο. Με το μέτρο αυτό όλοι οι κόμβοι θα αξιολογούνται με βάση τους χρησιμοποιούμενους και μη-χρησιμοποιούμενους πόρους τους ενώ μπορούν, μέσω αυτού, να επικοινωνούν εύκολα μεταξύ τους. Ένας ακόμη λόγος που δικαιολογεί την υιοθέτηση του μέτρου αυτού από τους ερευνητές είναι ότι με τον τρόπο αυτό προσεγγίζεται ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος, το οποίο υποστηρίζει εφαρμογές πραγματικού χρόνου για δεκαετίες.

2. **Μέθοδος για την αναγνώριση των ροών κίνησης:** Ένας δυνατός τρόπος για την αναγνώριση των ροών κίνησης είναι η χρήση της τριάδας (Διεύθυνση IP πηγής, Διεύθυνση IP προορισμού, DS πεδίο), στην οποία μια συγκεκριμένη τιμή του DS πεδίου θα δηλώνει ότι το πεδίο πρόκειται να λάβει ειδική μεταχείριση.
3. **Μέθοδος που δηλώνει τις QoS απαιτήσεις:** Τα πακέτα που χρειάζεται να έχουν ειδική μεταχείριση θα συνοδεύονται από μία ειδική τιμή στο DS πεδίο, ενώ η ακριβής μορφή της ειδικής αυτής μεταχείρισης θα δηλώνεται στη διαδικασία κράτησης πόρων.
4. **Μέθοδος για την αναγνώριση κόμβων με ικανοποιητικούς πόρους (QoS δρομολόγηση):** Με τη χρήση του ελάχιστου εύρους ζώνης ως μέτρου QoS απλοποιείται η QoS δρομολόγηση στα δίκτυα MANET. Σε οποιοδήποτε πακέτο αίτησης ο αποστολέας καταγράφει πάνω στο πακέτο το απαιτούμενο εύρος ζώνης. Κάθε κόμβος που λαμβάνει το πακέτο, το αποστέλλει σύμφωνα με τους αλγόριθμους δρομολόγησης στους επόμενους κόμβους, μόνο αν έχει τους απαιτούμενους πόρους. Εφόσον όλες οι IP διευθύνσεις των κόμβων αναγράφονται πάνω στο πακέτο ο αποδέκτης κόμβος, γνωρίζοντας όλα τα μονοπάτια που ικανοποιούν QoS απαιτήσεις, διαλέγει το συντομότερο.
5. **Μέθοδος για την κράτηση πόρων:** Όταν το πακέτο επιβεβαίωσης διασχίζει τη σειρά των κόμβων, που προέκυψε από το αντίστοιχο πακέτο αίτησης πόρων, θα δεσμεύσει το εύρος ζώνης που καταγράφεται στο πακέτο αίτησης και προς τις δύο κατευθύνσεις. Αν το απαιτούμενο εύρος ζώνης είναι διαφορετικό προς κάθε κατεύθυνση θα αναφέρεται στο πακέτο αίτησης και ο κόμβος που είναι υπεύθυνος να ανταποδώσει θα έχει την επιλογή να απορρίψει την αίτηση του συγκεκριμένου πακέτου.
6. **Μέθοδος για την απελευθέρωση πόρων:** Η ελαχιστοποίηση του ελέγχου ροής πακέτων αποτελεί μία ενέργεια προς την κατεύθυνση της απελευθέρωσης πόρων. Η ελαχιστοποίηση αυτή είναι δυνατή εάν κάθε κόμβος απελευθερώσει τους πόρους που κρατούσε για μία συγκεκριμένη ροή, εφόσον δε δεχτεί κανένα πακέτο από τη ροή αυτή για ένα χρονικό διάστημα T (T είναι προσαρμοζόμενη παράμετρος).

Μελλοντική Υποστήριξη Ποιότητας Υπηρεσίας σε MANET

Οι ασύρματες τεχνολογίες είναι πιθανό να διαφέρουν στο μέλλον (για παράδειγμα θα έχουν διαφορετικές χωρητικότητες, πολλαπλές τεχνικές προσβάσεις και QoS υποστήριξη) και ανάλογα με τα QoS χαρακτηριστικά της κίνησης μπορεί να είναι ευνοϊκή η δρομολόγηση συγκεκριμένων κλάσεων κίνησης σε interfaces προτιμώμενων τεχνολογιών (όπως χαμηλότερης χωρητικότητας ή υψηλότερης καταναλωτικής ισχύος), μόνο όταν είναι απαραίτητη. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η δρομολόγηση του IP επιπέδου επιτρέπει επιλογές δρομολογίων ή πολιτικές προώθησης, οι οποίες δεν είναι εφικτές όταν η δρομολόγηση περιορίζεται σ' ένα απλό ασύρματο μέσο. Επιπλέον, η δρομολόγηση IP επιπέδου διευκολύνει την ενοποίηση με μηχανισμούς QoS IP επιπέδου για το σταθερό Internet. Παρόλο που το μέλλον των κινητών μεθόδων δρομολόγησης, που παρέχουν QoS, παραμένει σε μεγάλο βαθμό αντικείμενο ερευνητικού ενδιαφέροντος, η πολυτεχνολογική αρχιτεκτονική των δικτύων MANET είναι σε θέση να προσφέρει υποστήριξη σε θέματα που αφορούν το QoS. [AP6+AP10]

Ποιότητα Υπηρεσίας σε broadband LAN

Τα περισσότερα δίκτυα τοπικής περιοχής βασίζονται στην τεχνολογία IEEE 802. Αυτό περιλαμβάνει το περιλαμβάνει το Ethernet, το token-ring το FDDI και άλλα είδη δικτύων. Το 802.1p είναι ένας μηχανισμός χειραγώγησης της κυκλοφορίας για υποστήριξη QoS σε αυτά τα δίκτυα. Το πρωτόκολλο αυτό ορίζει ένα πεδίο στην κεφαλή του 2ου επιπέδου του OSI των 802 πακέτων που μπορεί να μεταφέρει μία από τις οκτώ αξίες προτεραιότητας. Τυπικά οι hosts και οι δρομολογητές στέλνοντας κυκλοφορία σε ένα LAN μαρκάρουν κάθε μεταβιβαζόμενο πακέτο με την κατάλληλη τιμή προτεραιότητας. Οι συσκευές LAN όπως για παράδειγμα οι διακόπτες, οι γέφυρες και τα hubs αναμένεται να μεταχειριστούν τα πακέτα με τον ίδιο τρόπο δηλαδή κάνοντας χρήση των μηχανισμών ουράς. Ο στόχος του 802.1p, δηλαδή να μαρκάρει κατά προτεραιότητα είναι περιορισμένος στα πλαίσια του LAN. Μόλις τα πακέτα φύγουν από το LAN η προτεραιότητα αφαιρείται. [INT3+INT17]

