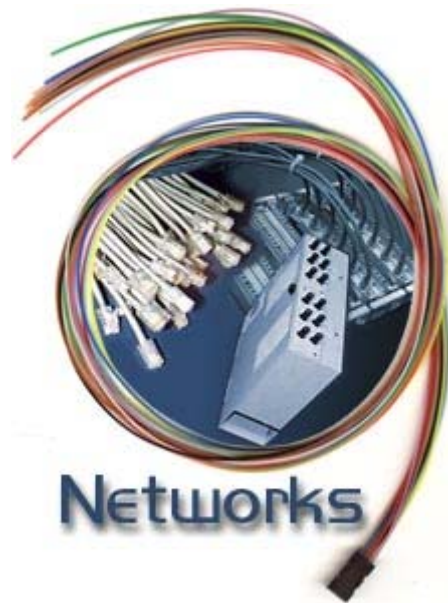


# QOS FOR IP NETWORKS

CHRIS MITROPOULOS M10/03



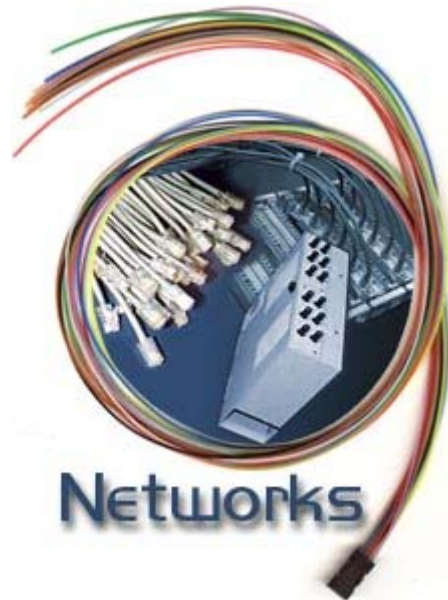
University of Macedonia  
Master Information Systems  
Networking Technologies  
Professors: A.A. Economides &  
A. Pomportsis

DATE 13/2/2004

QOS FOR IP NETWORKS

# QOS ΣΕ IP ΔΙΚΤΥΑ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ Μ10/03



Πανεπιστήμιο Μακεδονίας  
ΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα  
Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων  
Καθηγητές: Α.Α. Οικονομίδης &  
Α. Πομπόρτσης

Ημερομηνία: 13/2/2004

QOS FOR IP NETWORKS

ABSTRACT: The issue of this project is “QOS for IP networks” and this project presents several models, mechanisms, protocols and algorithms for providing QOS.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η εργασία αυτή έχει ως θέμα τη “Ποιότητας Υπηρεσιών σε IP δίκτυα” και παρουσιάζει κάποια μοντέλα, μηχανισμούς, πρωτόκολλα και αλγόριθμους για τη παροχή της υπηρεσίας αυτής.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INTRODUCTION).....	4
1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΕ ΤΙ ΧΩΡΙΖΟΝΤΑΙ (NETWORKS) .....	4
1.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ OSI & TCP/IP .....	5
1.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ (SWITCHING TECHNIQUES).....	5
1.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ (NETWORK PROBLEMS).....	6
2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QUALITY OF SERVICE).....	7
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INTRODUCTION) .....	7
2.2 ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (METRICS OF QOS).....	9
2.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ QUALITY OF SERVICES (MEASUREMENTS) .....	11
3. ΜΟΝΤΕΛΑ (MODELS) ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ (MECHANISMS) ΓΙΑ QOS .....	14
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INTRODUCTION).....	14
3.2 Integrated services/Resource Reservation Protocol (RSVP) .....	15
3.3 Differential services .....	17
3.4 Multiprotocol Label Switching (MPLS).....	21
3.5 Traffic Engineering.....	22
3.6 Constraint–Based Routing .....	24
4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ (ALGORITHMS) QUALITY OF SERVICES .....	26
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INTRODUCTION) .....	26
4.2 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (UNICAST ROUTING) .....	27
4.3 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (MULTICAST ROUTING).....	29
4.4 QUEUEING ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ (ALGORITHMS).....	31
5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ (CONCLUSION) .....	32
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (BIBLIOGRAPHY) :	33
ΠΗΓΕΣ WWW :	33

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INTRODUCTION)

## 1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΕ ΤΙ ΧΩΡΙΖΟΝΤΑΙ (NETWORKS)

Ο εικοστός αιώνας αποτελεί συνέχεια των μεγάλων τεχνολογικών ανακαλύψεων του 18<sup>ου</sup> αιώνα (ανακάλυψη των μεγάλων μηχανικών συστημάτων) και του 19<sup>ου</sup> αιώνα (αιώνας της ατμομηχανής). Έτσι λοιπόν κατά τον αιώνα αυτό (20<sup>ο</sup>) η τεχνολογία γνωρίζει μεγάλη άνθιση με τη συγκέντρωση, την επεξεργασία και τη κατανομή της πληροφορίας. Ένα βασικό μέσο που συντέλεσε στην άνθιση αυτή είναι η ανακάλυψη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και αργότερα η δημιουργία δικτύων. Ως δίκτυο υπολογιστών (computer network) ορίζεται η συλλογή από αυτόνομους διασυνδεδεμένους (μπορούν να ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες) υπολογιστές. Μία διασύνδεση που μπορεί να γίνει με χάλκινο σύρμα, με λέιζερ, με μικροκύματα ή με δορυφόρους επικοινωνιών. Η σπουδαιότητα της ανακάλυψης του δικτύου έγκειται στο γεγονός ότι αποτελεί ένα ισχυρό μέσο επικοινωνίας (communication medium) που παρέχει διαμερισμό των πόρων (resource sharing), υψηλή αξιοπιστία (high reliability) και εξοικονόμηση χρημάτων (saving money) σε ανθρώπους που βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες. Η διασύνδεση των διαφόρων υποδικτύων ονομάζεται internetworking και έτσι παράγεται η γνωστή σε όλους μας ορολογία για το διαδίκτυο, το internet.

Τα δίκτυα ταξινομούνται και έτσι μελετώνται και πιο εύκολα ανάλογα με τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Την αρχιτεκτονική και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των δεδομένων. Έτσι έχουμε :
  1. Δίκτυα εκπομπής
  2. Δίκτυα σημείο προς σημείο (point-to-point) ή μεταγωγής πακέτων (packet-switched)
- Τη γεωγραφική κάλυψή τους. Τα δίκτυα που υπάρχουν είναι τα :
  1. Τοπικά δίκτυα (LANs)
  2. Μητροπολίτικα Δίκτυα (MANs)
  3. Περιφερειακά Δίκτυα (RANs)
  4. Δίκτυα ευρείας περιοχής (WANs)
  5. Διαδίκτυα (Internets) ή Δηπειρωτικά παγκόσμια δίκτυα (GANs)
- Το προσφερόμενο εύρος ζώνης
- Το είδος των υποστηριζόμενων εφαρμογών
- Το κανονιστικό πλαίσιο λειτουργίας
- Το υλικό και λογισμικό που χρησιμοποιείται

## 1.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ OSI & TCP/IP

Εκτός όμως από το hardware των δικτύων ειδική βαρύτητα πρέπει να δοθεί και στο software αυτών. Για να γίνει μια καλύτερη ανάλυση του λογισμικού έχουν δημιουργηθεί 2 πρότυπα μοντέλα αναφοράς: το OSI – RM (Open Systems Interconnection – Reference Model) και το TCP/IP – RM (Transport Control Protocol/Internet Protocol – Reference Model) όπου και στα δύο αυτά μοντέλα έχουμε αρχιτεκτονική του λογισμικού κατά στρώματα / επίπεδα (layered architecture). Στο OSI μοντέλο έχουμε 7 στρώματα ενώ στο TCP/IP 5, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα. Το επίπεδο που μας ενδιαφέρει περισσότερο και που είναι και το πιο πολύπλοκο και στις δύο αρχιτεκτονικές είναι το επίπεδο δικτύου (network layer) το οποίο παρέχει υπηρεσίες για να εγκατασταθεί, να υποστηριχθεί και να τερματιστεί μια σύνδεση δικτύου, καθορίζει με ποιο τρόπο θα δρομολογηθεί κάποιο πακέτο από την πηγή στον προορισμό του, ελέγχει τις συμφορήσεις (bottlenecks) και παρέχει τέτοιες υπηρεσίες στο επίπεδο μεταφοράς έτσι ώστε σε αυτό να μη γίνονται φανερές οι διάφορες λεπτομέρειες σύνδεσης του δικτύου. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί είναι το Internet Protocol και έχει ως στόχο τη μετάδοση των IP πακέτων.

Μοντέλο OSI

Application Layer
Presentation Layer
Session Layer
Transport Layer
Network Layer
Data Link Layer
Physical Layer

Μοντέλο TCP/IP

Application Layer
Transport Layer
Internet Layer
Network Access Layer
Physical Layer

## 1.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ (SWITCHING TECHNIQUES)

Οι τεχνικές μεταγωγής εφαρμόζονται στα point-to-point δίκτυα και όχι στα broadcasting δίκτυα. Υπάρχουν πολλών ειδών μεταγωγές μερικές από τις οποίες είναι:

1. Μεταγωγή κυκλώματος
2. Μεταγωγή κυκλώματος πολλαπλών ρυθμών
3. Μεταγωγή μηνύματος
4. Μεταγωγή πακέτου
5. Μεταγωγή πλαισίου
6. Μεταγωγή κυψελίδων

Εμάς μας ενδιαφέρει η μεταγωγή πακέτου καθώς τα δίκτυα που την εφαρμόζουν βασίζονται στο IP πρωτόκολλο. Το πρωτόκολλο IP δεν προσέφερε αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων. Οι δρομολογητές έχουν την δυνατότητα να απορρίπτουν κάποια πακέτα χωρίς να ειδοποιούν ούτε τον αποστολέα ούτε τον παραλήπτη. Το IP στηρίζεται σε πρωτόκολλα υψηλότερου επιπέδου (π.χ. TCP) ώστε να ξέρει την κατάσταση των πακέτων και να τα ξαναστέλνει όταν αυτό είναι απαραίτητο. Τα δίκτυα μεταγωγής πακέτου αποτελούνται από επιμέρους υποδίκτυα διαφορετικών τεχνολογιών. Η μεταγωγή αυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Είτε με τη μέθοδο των αυτοδύναμων πακέτων (datagrams) όπου κάθε πακέτο (σταθερού μήκους) είναι ανεξάρτητο από τα άλλα και έτσι αντιμετωπίζεται και από το δίκτυο, είτε με τη μέθοδο των νοητών κυκλωμάτων όπου πριν από την αποστολή των πακέτων εγκαθίσταται νοητή σύνδεση μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Η νοητή αυτή σύνδεση μπορεί να είναι σταθερή (PVC-Permanent Virtual Connection) ή μεταγωγίμη (SVC Switched Virtual Connection).

#### **1.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ (NETWORK PROBLEMS)**

Τα προβλήματα που εμφανίζονται στα δίκτυα και στη διασύνδεση τους είναι πολλά και μια αναφορά των δύο σημαντικότερων γίνεται παρακάτω :

1. Λόγω της ύπαρξης πολλών και διαφορετικών δικτύων όπως γίνεται κατανοητό η διασύνδεσή τους για τη δημιουργία ενός διαδικτύου (internet) είναι μια αρκετά δύσκολη και περίπλοκη υπόθεση. Για να επιτευχθεί χρησιμοποιούνται διάφορες συσκευές ανάλογα με τις ανάγκες και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθούν επαναλήπτες (repeaters), γέφυρες (bridges),

δρομολογητές πολλαπλών πρωτοκόλλων (multiple protocol's routers), πύλες μεταφοράς (transport gates).

2. Ένα δεύτερο πρόβλημα αποτελεί η συμφόρηση που δημιουργείται όταν στο δίκτυο υπάρχουν πολλά πακέτα και περισσότερα απ' όσα μπορεί αυτό να διαχειρισθεί. Έτσι άλλα πακέτα απορρίπτονται, ενώ άλλα εξυπηρετούνται πολύ αργότερα (έχουμε δηλαδή καθυστέρηση μετάδοσης). Η απόδοση δηλαδή γενικά του δικτύου μειώνεται. Για να προληφθεί αυτή ακριβώς η μείωση της απόδοσης του δικτύου και γενικά για να αποφευχθεί το φαινόμενο της συμφόρησης, ορισμένα πρωτόκολλα διαθέτουν μηχανισμούς ελέγχου και αποφυγής συμφόρησης, ενώ και το διαδίκτυο χρησιμοποιεί μία παράμετρο ελέγχου της συμφόρησης που ονομάζεται κατώφλι (threshold).

Τα δύο παραπάνω προβλήματα γίνονται ακόμα μεγαλύτερα αν σκεφτεί κανείς ότι με την ανάπτυξη των δικτύων εμφανίστηκαν νέες εφαρμογές οι οποίες δεν απαιτούν απλά την εξάλειψη της απώλειας πακέτων και τη μείωση των καθυστερήσεων μετάδοσης, αλλά απαιτούν και μία ειδική μεταχείριση έτσι ώστε να μπορέσουν να πραγματοποιηθούν ευκολότερα.

## **2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QUALITY OF SERVICE)**

### **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INTRODUCTION)**

Η βασική υπηρεσία που προσφέρεται στα IP δίκτυα είναι η best effort (καλύτερης προσπάθειας). Σύμφωνα με την υπηρεσία αυτή όλα τα πακέτα κινούνται και αντιμετωπίζονται από το δίκτυο ως ίσα και το δίκτυο προσπαθεί να παραδώσει τα πακέτα στους προορισμούς τους χωρίς όμως να παρέχει εγγυήσεις και χωρίς να κάνει διακρίσεις κατανέμοντας τους πόρους του ομοιόμορφα σε όλα τα πακέτα. Κατά την υπηρεσία αυτή λοιπόν κάθε πακέτο που φτάνει σε ένα δρομολογητή ακολουθεί τα εξής βήματα :

- Αρχικά γίνεται έλεγχος για να βρεθεί η διεύθυνση προορισμού του πακέτου που έφτασε στο δρομολογητή.
- Έπειτα το πακέτο στέλνεται στη γραμμή εξόδου για να πάει στο επόμενο hop(τμήμα) σύμφωνα με τη δρομολόγηση του router. Εάν δε δύναται να γίνει αυτό, για οποιοδήποτε λόγο, τότε το πακέτο αποθηκεύεται προσωρινά σε μια ουρά εξόδου.

- Αν η ουρά αυτή είναι γεμάτη το πακέτο απορρίπτεται. Αν όμως περιέχει άλλα πακέτα πιο μπροστά τότε το πακέτο περιμένει «να έρθει η σειρά του» και έτσι έχουμε καθυστέρηση μετάδοσης.

Βέβαια μέχρι πριν από λίγο καιρό η best effort υπηρεσία ήταν αρκετή για τα IP δίκτυα και αυτό συνέβαινε για τους εξής 4 λόγους :

- Τα μέσα που υπήρχαν ήταν πρωτόγονα, και η εφαρμογή αυτών των μέσων σε γραμμές υψηλής ταχύτητας είχε αρνητικό αντίκτυπο στην απόδοση της μετάδοσης των πακέτων.
- Τα πρωτόκολλα TCP/IP βασίστηκαν στη ιδέα της δίκαιης και από κοινού πρόσβασης σε όλους, χωρίς ειδική μεταχείριση σε κάποια δεδομένα.
- Οι δρομολογητές της προηγούμενης γενιάς χρησιμοποιούσαν FirstInFirstOut αλγόριθμο στις ουρές τους και έτσι όσα πακέτα όταν η ουρά του router ήταν γεμάτη και έφτανε σε αυτόν ένα πακέτο, τότε αυτό απορρίπτονταν.
- Ο βασικότερος όμως λόγος που δεν υπήρχε ανάγκη για παροχή ποιότητας υπηρεσίας αλλά ήταν αρκετή και η «καλύτερης προσπάθειας» υπηρεσία είναι ότι οι εφαρμογές που υπήρχαν ήταν τα HTTP, FTP, e-mail κλπ., οι οποίες μπορούν να προσαρμόσουν τους ρυθμούς αποστολής δεδομένων τους σε οποιαδήποτε χωρητικότητα προσφέρει το δίκτυο.

Με το πέρασμα όμως του χρόνου εμφανίστηκαν νέες εφαρμογές που για να πραγματοποιηθούν απαιτούσαν μία ειδική μεταχείριση από το δίκτυο. Δεδομένα που απαιτούσαν μεγάλο εύρος ζώνης και ήταν δύσκολη η μετάδοσή τους με τη χρήση best effort πρωτοκόλλων όπως το κλασσικό IP. Οι εφαρμογές αυτές μπορεί να είναι είτε πραγματικού χρόνου είτε αλληλεπιδραστικές πραγματικού χρόνου. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι εφαρμογές όπου έχουμε μεταφορά δεδομένων video και φωνής, οι οποίες είναι ευαίσθητες σε απώλεια πακέτων αλλά και σε αλλαγή της σειράς λήψης των πακέτων στον παραλήπτη. Στη δεύτερη κατηγορία των αλληλεπιδραστικών εφαρμογών ανήκουν εφαρμογές όπως η τηλεδιάσκεψη, η IP τηλεφωνία και άλλες που επίσης χρειάζονται ειδική μεταχείριση προκειμένου η απόδοσή τους να είναι καλή. Έτσι λοιπόν για να μπορέσουν αυτές οι εφαρμογές να χρησιμοποιηθούν, η υποδομή του Internet και των άλλων IP δικτύων (intranets) πρέπει να αλλάξει έτσι ώστε να υποστηρίζει Quality of Services πραγματικού χρόνου και ελεγχόμενες καθυστερήσεις. Πρέπει δηλαδή να δημιουργηθεί ένα δίκτυο το οποίο θα υποστηρίζει υπηρεσίες "καλύτερης προσπάθειας" και κάποιες δομές που θα επιτρέπουν τη



διαφορετική μεταχείριση κάποιων συγκεκριμένων υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας κάποιες ρυθμίσεις στους δρομολογητές του δικτύου με σκοπό την επίτευξη των παρακάτω:

- Σηματοδότηση των links μετάδοσης χαμηλών ταχυτήτων, έτσι ώστε να ξέρουμε ποιες υπηρεσίες «αντέχουν» να υποστηρίξουν.
- Αλλαγή του αλγορίθμου επιλογής του επόμενου hop (τμήματος) έτσι ώστε το επόμενο hop που θα επιλέγεται να μπορεί να εξυπηρετήσει τη κατάλληλη υπηρεσία.
- Αλλαγή των αλγορίθμων καθυστέρησης στην ουρά και απόρριψης πακέτων του δρομολογητή έτσι ώστε να γίνεται καλύτερη κατανομή των πόρων του δικτύου.

Λέγοντας παροχή ποιότητας υπηρεσίας (QoS - Quality of Services) στο διαδίκτυο και σε άλλα δίκτυα εννοούμε τη δυνατότητα που υπάρχει οι ρυθμοί μετάδοσης, οι ρυθμοί λαθών και άλλα χαρακτηριστικά να μετρηθούν, να βελτιωθούν και σε κάποιο βαθμό να εγγυηθούν εκ των προτέρων την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης μεταφοράς, την ελαχιστοποίηση των διακυμάνσεων της καθυστέρησης και τη δέσμευση πόρων και παροχή επαρκούς χωρητικότητας για τη συνεπή μεταφορά των δεδομένων. Τα επίπεδα υπηρεσιών που μπορεί να προσφέρει ένα δίκτυο μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την προτεραιότητά τους:

1. Gold υπηρεσία
2. Silver υπηρεσία
3. Bronze υπηρεσία με μειωμένη ποιότητα

## 2.2 ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (METRICS OF QOS)

Για να επιτευχθούν λοιπόν όλα τα παραπάνω πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κάποιες μετρικές, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι οι εξής :

- **Latency (delay):** Καθυστέρηση είναι το χρονικό διάστημα που πρέπει να περάσει από τη στιγμή που ένας κόμβος στέλνει ένα μήνυμα σε ένα άλλο κόμβο μέχρι τη στιγμή που ο άλλος κόμβος το λαμβάνει. Αποτελείται από τη καθυστέρηση μετάδοσης, την καθυστέρηση σε ένα μονοπάτι μεταφοράς (ή αλλιώς καθυστέρηση διάδοσης) και τη καθυστέρηση σε μια συσκευή εντός ενός μονοπατιού μεταφοράς, για παράδειγμα σε ένα δρομολογητή. Latency ενός δρομολογητή λέμε το χρόνο που μεσολαβεί από τη στιγμή που λαμβάνει το πακέτο ο δρομολογητής μέχρι τη στιγμή

που το αναμεταδίδει. Όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις για την αποδοτική λειτουργία του πρωτοκόλλου μεταφοράς. Δηλαδή για το TCP πρωτόκολλο, υψηλά επίπεδα καθυστέρησης σημαίνουν τη μεταφορά μεγαλύτερων ποσοτήτων δεδομένων στο δίκτυο.

- **Bandwidth:** Χωρητικότητα είναι μέτρο της μετάδοσης των δεδομένων, που εκφράζεται συνήθως σε Kbits per second (Kbps) ή megabits per second (Mbps). Δείχνει πόσα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν σε ένα δίκτυο. Αύξηση του εύρους ζώνης σημαίνει αύξηση και του αριθμού μεταφοράς των δεδομένων. Το bandwidth αποτελείται από 4 ποσότητες οι οποίες είναι :

- (1) Το μέγιστο μέγεθος καταιγισμού
- (2) Η μέγιστη χωρητικότητα (peak bandwidth)
- (3) Η ελάχιστη εγγυημένη χωρητικότητα
- (4) Η μέση χωρητικότητα

και η τιμή του εξαρτάται από τη φυσική διαμόρφωση του μονοπατιού κίνησης όπου κινούνται τα δεδομένα και από το πόσα ακόμα μονοπάτια μοιράζονται το ίδιο link του φυσικού μέσου με το μονοπάτι αυτό.

- **Jitter :** είναι το φαινόμενο που παρατηρείται κατά την μετάδοση κάποιων εφαρμογών video ή φωνής σε ένα δίκτυο, όπου τα πακέτα δε φτάνουν στον προορισμό τους με συνεχόμενη σειρά ή σε μια χρονική βάση. Δηλαδή στην ουσία λέγοντας jitter εννοούμε τη καθυστέρηση μεταξύ του  $n$  πακέτου και του  $n+1$  πακέτου.
- **Απώλεια πακέτων :** Ο αριθμός των πακέτων που μεταδόθηκαν από την πηγή και είτε δεν τα έλαβε καθόλου ο παραλήπτης (επειδή καταστράφηκαν ή επειδή υπήρχε συμφόρηση στο δίκτυο), είτε τα παρέλαβε με λάθη. Ο αριθμός αυτός όπως γίνεται φανερό επηρεάζει άμεσα την απόδοση του συστήματος.

Σύμφωνα λοιπόν με τις παραπάνω μετρικές το παρακάτω σχήμα δείχνει τις απαιτήσεις σε QoS κάποιων ειδών εφαρμογών :

Application Types	QoS Requirements			
	Bandwidth	Latency	Jitter	Packet Loss
ERP Applications	Moderate	Low	-	Low
Legacy SNA Applications	Low	Low	-	Low
Productivity Applications	Low-Moderate	Moderate	-	-
E-Mail	Low to Moderate	-	-	-
File Transfer	Bursty High	-	-	-
Thin Clients (Citrix, etc.)	Low to Moderate	Low	-	Low
Videoconferencing	Sustained High	Low	Low	Low
Voice over IP	Sustained Moderate	Low	Low	Low
Streaming Media	Sustained Moderate to High	Low	Low	Low
Server Load Balancing	QoS requirements are application and server dependent			

## 2.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ QUALITY OF SERVICES (MEASUREMENTS)

Οι μετρήσεις των Qos στα δίκτυα θεωρούνται απαραίτητες τόσο για το διαχειριστή του δικτύου, όσο για τον απλό χρήστη που έχει συνάψει κάποιες συμφωνίες με τον administrator του δικτύου για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες τους σε Qos.

Αρχικά λοιπόν ο διαχειριστής του δικτύου με τις διάφορες μετρήσεις υπολογίζει :

- Το κόστος που χρειάζεται για να αναπτυχθούν τεχνολογίες Qos στους δρομολογητές του δικτύου
- Το συνολικό κόστος μετάδοσης των ροών
- Το φόρτο του δικτύου
- Τον αριθμό των πόρων που κατανέμονται στο δίκτυο για επίτευξη Qos
- Τι αποτελέσματα θα είχαμε αν δε χρησιμοποιούσαμε τους πόρους αυτούς για Qos
- Την πραγματική απόδοση των εφαρμογών σε Qos έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των πελατών
- Τους πόρους που καταναλώνει ο κάθε πελάτης έτσι ώστε να μην έχουμε κατανάλωση πόρων μεγαλύτερη από αυτή που έχει προσυμφωνηθεί.

Εκτός όμως από τον διαχειριστή του δικτύου, μετρήσεις κάνει και ο απλός χρήστης-πελάτης του δικτύου για να υπολογίσει :

- Την απόδοση της εφαρμογής του σε ποιότητα υπηρεσιών
- Τη διαφοροποίηση που έγινε με τη χρήση των μηχανισμών Qos
- Τα αποτελέσματα που θα είχε χωρίς τη χρήση μηχανισμών Qos

- Το αν οι υπηρεσίες που του προσφέρει ο διαχειριστής του δικτύου είναι αυτές που έχουν συμφωνηθεί
- Το αν άξιζε τελικά να κάνουν αυτές τις συμφωνίες (δηλαδή αν είναι ικανοποιημένοι ή όχι)

Οι παραπάνω μετρήσεις δεν είναι και τόσο εύκολες αφού ούτε ο διαχειριστής και πολύ περισσότερο ούτε ο πελάτης ενός δικτύου δε μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ολόκληρη τη QoS κυκλοφορία του δικτύου και γιατί επίσης δεν υπάρχουν και τα απαραίτητα μέσα για να γίνουν οι μετρήσεις αυτές. Παρόλα αυτά οι όποιες μετρήσεις έχουν γίνει μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες, στις ενδογενείς και στις εξωγενείς.

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που μας δείχνει τα ανώτερα όρια εγγύησης της ποιότητας υπηρεσίας που παράγεται από μετρήσεις – τεστ που έγιναν (σύμφωνα με το QUASI μοντέλο) για κάποιες κατηγορίες εφαρμογών (ApplicationCategories) των χρηστών και για κάποιες συγκεκριμένες τιμές των μετρικών jitter, απώλεια πακέτων και καθυστέρηση. (NP=Network Performance)

QC \ AC		AC 1	AC 2	AC 3
		Interactive Real-Time	Non Interactive Real-Time	Non Real-Time
<b>Premium</b>	Delay	150 msec	300 msec	100 msec
	Jitter	3 msec	50 msec	best effort
	Loss	2 %	1 %	2.5 %
	Guarantee	99 %	99 %	98 %
<b>Basic</b>	Delay	800 msec	600 msec	300 msec
	Jitter	3 msec	100 msec	best effort
	Loss	4 %	5 %	15 %
	Guarantee	95 %	95 %	92 %

Table 3 NPLs and guarantee levels for the QUASI-model (NP values to be considered as upper bounds)

Επίσης σύμφωνα πάντα με το QUASI μοντέλο μπορούμε να δούμε στον πίνακα που ακολουθεί τα αποτελέσματα των τεστ που έγιναν σε 3 χρονικά διαστήματα (το καθένα αποτελούμενο από 16 λεπτά) έτσι ώστε να μετρηθούν η καθυστέρηση και το jitter από 2 MRP (Measurement Reference Points δηλαδή μεταξύ 2 edge routers που επικοινωνούν με το RSVP πρωτόκολλο που θα περιγραφεί παρακάτω) για δύο κλάσεις υπηρεσιών, την premium και τη basic (όπου στη premium κλάση έχουμε μικρότερες καθυστερήσεις και jitter απ' ότι έχουμε στη basic κλάση). Στα τεστ η κατανομή του RSVP θεωρείται ότι είναι 3 Mbit/s (6 \* 512 Kbit/s) για τη premium κλάση και 1 Mbit/s (4 \* 256 Kbit/s) για τη basic. Στο δεύτερο χρονικό διάστημα των 16 λεπτών βλέπουμε ότι προστίθεται μία πηγή BestEffort 5 Mbit/s.

	Premium Class (Pr.C.)		Basic Class (B.C)		Processor load (%)	
	Av. Delay (ms)	Av. Jitter (ms)	Av. Delay (ms)	Av. Jitter (ms)	MRP A	MRP B
1 <sup>st</sup> Slot (16 min)  Pr.C – 6 X 512 kbit/s  B.C – 4 X 256 kbit/s	6.45	32.96	9.14	33.94	56.17	57.33
	7.98	33.28	9.79	43.37	54.67	52.50
	7.48	35.98	10.61	35.64	50.50	50.83
	8.14	30.24	11.47	40.04	58.00	57.15
	6.38	33.019	9.14	38.70	48.31	58.67
	7.90	29.16	10.06	43.41	52.65	56.33
	7.67	36.15	10.016	23.25	40.15	59.40
	8.56	34.11	11.19	32.73	46.14	58.33
	<b>* 7.57</b>	<b>* 33.11</b>	<b>* 10.18</b>	<b>* 36.38</b>	<b>* 50.82</b>	<b>* 56.33</b>
2 <sup>nd</sup> Slot (16 min)  Pr.C – 6 X 512 kbit/s  B.C – 4 X 256 kbit/s  BE – 5 Mbit/s	10.09	35.20	11.62	40.33	56.00	70.33
	8.08	33.25	10.69	43.42	60.50	65.33
	9.94	32.30	9.75	41.53	63.17	76.67
	8.74	36.34	11.82	43.63	61.83	73.50
	7.53	35.39	12.90	45.74	66.64	58.33
	9.05	34.45	14.98	47.86	70.33	80.17
	8.24	37.50	12.06	48.89	58.67	76.50
	9.06	39.56	15.15	47.00	65.68	81.67
	<b>* 8.84</b>	<b>* 35.50</b>	<b>* 12.38</b>	<b>* 44.80</b>	<b>* 62.85</b>	<b>* 66.06</b>
3 <sup>rd</sup> Slot (16 min)  Pr.C – 6 X 512 kbit/s  B.C – 4 X 256 kbit/s	10.99	41.14	18.12	67.17	71.75	87.85
	7.55	35.18	17.15	57.27	82.17	90.15
	8.04	38.23	14.18	64.31	85.45	99.67
	9.66	39.30	15.41	62.35	80.50	63.17
	10.37	38.38	16.61	62.39	87.50	80.83
	8.13	37.47	16.71	59.44	91.67	87.50
	9.93	37.53	17.64	63.48	92.63	90.33
	10.77	38.64	15.58	66.58	87.73	86.33
	<b>* 9.43</b>	<b>* 38.23</b>	<b>* 16.43</b>	<b>* 65.74</b>	<b>* 87.17</b>	<b>* 93.99</b>

(<http://www.ics.forth.gr/netgroup/publications/2001.teletronikk.pdf>)

### 3. ΜΟΝΤΕΛΑ (MODELS) ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ (MECHANISMS) ΓΙΑ QOS

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INTRODUCTION)

Όπως γίνεται λοιπόν φανερό από τα παραπάνω, η ανάγκη για μοντέλα και μηχανισμούς που θα παρέχουν Qos είναι άμεση και επιβεβλημένη. Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν αρκετοί ακόμα που υποστηρίζουν ότι οι οπτικές ίνες και το dense wavelength-division multiplexing ( WDM ) θα αυξήσει σε τέτοιο βαθμό το διαθέσιμο bandwidth έτσι ώστε θα πάψει πλέον να υπάρχει συμφόρηση και επομένως θα έχουμε QoS. Η άποψη αυτή όμως αντικρούεται από μία άλλη σύμφωνα με την οποία, όσο αυξάνεται η χωρητικότητα τόσο θα μεγαλώνει και ο αριθμός των νέων εφαρμογών που θα δημιουργούνται και άρα τόσο περισσότερο το bandwidth θα καταναλώνεται από τις εφαρμογές αυτές, και έτσι θα έχουμε και πάλι συμφόρηση, η αποφυγή της οποίας θα μας οδηγήσει στην ανάγκη δημιουργίας μηχανισμών Qos. Έτσι λοιπόν έχουν προταθεί κάποια μοντέλα, μηχανισμοί, πρωτόκολλα και αλγόριθμοι για Qos. Τα πιο σημαντικά μοντέλα που προτάθηκαν από το IETF (Internet Engineering Task Force) είναι τα παρακάτω:

##### Integrated services/Resource Reservation Protocol (RSVP)

(Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες) Έχουμε δέσμευση δικτυακών πόρων. Στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου πριν τα δεδομένα μεταδοθούν πρέπει να δημιουργηθούν τα μονοπάτια στο δίκτυο και έπειτα να δεσμευτούν οι απαραίτητοι πόροι που χρειάζονται . Τη δουλειά αυτή τη κάνει το RSVP πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την δημιουργία των μονοπατιών και τη δέσμευση των πόρων.

<http://www.ietf.org/html.charters/intserv-charter.html>

<http://www.ietf.org/html.charters/rsvp-charter.html>

##### Differentiated Services (DS)

Έχουμε κατηγοριοποίηση των πακέτων και των υπόλοιπων ροών του δικτύου έτσι ώστε να παρέχονται υπηρεσίες και προτεραιότητες ανάλογα με την κατηγοριοποίηση αυτή.

<http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>

##### Multiprotocol Label Switching (MPLS)

Έχουμε δρομολόγηση των πακέτων σε ολόκληρο το δίκτυο και όχι αναγκαστικά από άκρο σε άκρο (point-to-point).

(<http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html>)

#### Traffic Engineering

Έχουμε καταμερισμό της ροής της κίνησης μέσα στο δίκτυο, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των εφαρμογών του δικτύου.

(<http://www.ietf.org/html.charters/tewg-charter.html> )

#### Constraint-Based Routing

Έχουμε δρομολόγηση έτσι ώστε να αποφεύγονται δύο από τα βασικά προβλήματα των δικτύων, η έλλειψη επαρκούς χωρητικότητας και η συμφόρηση.

([http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/ftp/qos\\_routing.pdf](http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/ftp/qos_routing.pdf))

### 3.2 Integrated services/Resource Reservation Protocol (RSVP)

Όπως είπαμε και παραπάνω στις ολοκληρωμένες υπηρεσίες (integrated services) έχουμε κράτηση πόρων (resource reservation). Δηλαδή ανάλογα με το τι απαιτήσεις έχει κάποιος πελάτης για ποιότητα υπηρεσίας στις εφαρμογές του, δεσμεύονται κάποιοι πόροι του δικτύου για να εξυπηρετηθούν αποκλειστικά και μόνο οι δικές του ανάγκες. Η αρχιτεκτονική IS δε προσπαθεί να αλλάξει την αρχιτεκτονική του Internet ή των άλλων IP δικτύων, απλά προσπαθεί να προσπαθεί να προσφέρει κάποιες επιπλέον υπηρεσίες εκτός της παραδοσιακής «best effort». Οι IS διαχωρίζουν την κίνηση του διαδικτύου σε κίνηση best-effort και σε κίνηση με εγγυημένη Qos. Η κίνηση με εγγυημένη Qos επιτυγχάνεται με (1) Υπηρεσίες Ελεγχόμενου Φόρτου - Controlled Load Services (μοιάζουν με τις υπηρεσίες καλύτερης προσπάθειας με τη μόνη διαφορά ότι ο φόρτος είναι μικρός και άρα ελεγχόμενος) και (2) Υπηρεσίες με Εγγύηση – Guaranteed Services (είναι υπηρεσίες που παρέχουν εγγύηση ότι τα πακέτα θα φτάσουν στο προορισμό τους στο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και χωρίς αλλοιώσεις).

Το πρωτόκολλο που εφαρμόζεται στις παραπάνω υπηρεσίες είναι το RSVP το οποίο όπως προείπαμε χρησιμοποιείται σε ροές δεδομένων για δέσμευση πόρων. Είναι πρωτόκολλο σηματοδότησης (ελέγχου) και όχι δρομολόγησης (δηλαδή δεν υπολογίζει τη διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσουν τα πακέτα, αλλά χρησιμοποιεί και ελέγχει τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης), είναι μονής κατεύθυνσης αφού δεσμεύει πόρους μόνο προς τη μία κατεύθυνση (το οποίο σημαίνει ότι για εφαρμογές όπου υπάρχει αμφίδρομη επικοινωνία θα πρέπει να δημιουργηθούν δύο RSVP συνδέσεις) η δέσμευση πόρων γίνεται δυναμικά

(δηλαδή οι απαιτήσεις για δέσμευση πόρων μπορούν να αλλάζουν) και τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για unicast είτε για multicast επικοινωνία.

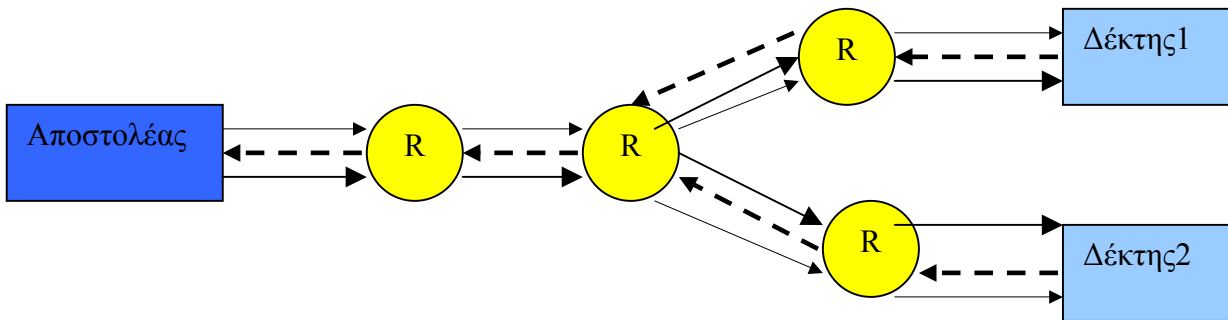
Παρακάτω θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μία γενική περιγραφή της λειτουργίας του πρωτοκόλλου. Ο αποστολέας στέλνει ένα Path μήνυμα σε ένα ή περισσότερους παραλήπτες για να γνωστοποιήσει τις απαιτήσεις για Qos των εφαρμογών του καθώς το path μήνυμα περιγράφει τη ροή των δεδομένων που στέλνει και τους πόρους που πρέπει να δεσμευτούν για τη καλύτερη εξυπηρέτηση των δεδομένων αυτών. Το μήνυμα αυτό ακολουθώντας μία διαδρομή από κόμβο (δρομολογητή) σε κόμβο (δρομολογητή) φτάνει στο παραλήπτη. Η διαδρομή αυτή καθορίζεται από τους πίνακες δρομολόγησης των δρομολογητών. Κατά μήκος της διαδρομής αυτής λοιπόν οι κόμβοι απ' όπου «περνάει» το μήνυμα, αποθηκεύουν πληροφορίες σχετικά με τη ροή δεδομένων του αποστολέα και σχετικά με την IP διεύθυνση του προηγούμενου κόμβου από τον οποίο «πέρασε» το μήνυμα. Το path message αποτελείται από : το Sender Template, που περιγράφει τον τύπο των δεδομένων του αποστολέα, το Sender Tspec, που χαρακτηρίζει τη ροή κυκλοφορίας του αποστολέα και το Adspec που περιέχει την πληροφορία για το αν μπορούν ή όχι οι παραλήπτες να εξυπηρετήσουν τα δεδομένα του αποστολέα.

Όταν λοιπόν το μήνυμα αυτό φτάσει στον παραλήπτη, αυτός με τη σειρά του στέλνει στον αποστολέα ένα μήνυμα κράτησης (Resv message) το οποίο περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες δεσμεύσεις πόρων που πρέπει να γίνουν έτσι ώστε η ροή των δεδομένων του αποστολέα να γίνει με Qos. Το Resv message ακολουθεί την ακριβώς αντίθετη πορεία από αυτή που ακολούθησε το Path message. Έτσι κατά τη πορεία αυτή δεσμεύει πόρους από τους κόμβους από τους οποίους «περνάει» (αν φυσικά υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι) και αποθηκεύει πληροφορία στους κόμβους αυτούς για τη δέσμευση που έχει γίνει. Το μήνυμα κράτησης αποτελείται κυρίως από : το Flowspec που ασχολείται με το χρονοπρογραμματισμό των πακέτων (packet scheduling) και από το Filter Spec που ασχολείται με την ταξινόμηση των πακέτων (packet classifying).

Τέλος όταν το Resv message φτάσει στον αποστολέα τότε έχει ολοκληρωθεί η δέσμευση των πόρων και επομένως ο αποστολέας είναι έτοιμος να στείλει τα δεδομένα του και να έχει την ποιότητα υπηρεσιών που ζητούσε.

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι κατά τη διάρκεια εφαρμογής του πρωτοκόλλου στέλνονται επίσης και άλλα μηνύματα τα οποία είναι τα εξής : (1) PathTear : μήνυμα ελευθέρωσης μονοπατιού (2) ResvTear : μήνυμα αποδέσμευσης πόρων που είχαν δοθεί από το δίκτυο. (3) PathErr : μήνυμα λάθους κατά την επεξεργασία ενός Path message (4) ResvErr : μήνυμα λάθους κατά την επεξεργασία ενός Resv message (5) ResvConf : μήνυμα επιβεβαίωσης σύνδεσης για δέσμευση πόρων.





Παράδειγμα Multicast μετάδοσης

### 3.3 Differential services

Η εφαρμογή των differential services έγινε ουσιαστικά μετά από κάποια προβλήματα που εμφανίστηκαν κατά την εφαρμογή των ολοκληρωμένων υπηρεσιών (προβλήματα που αφορούν κυρίως την υπερβολική «φόρτωση» των δρομολογητών αφού το RSVP «τρέχει» σε κάθε router, αλλά και προβλήματα που έχουν να κάνουν με τη μικρή επεκτασιμότητα του πρωτοκόλλου σε μεγαλύτερα δίκτυα υψηλότερων απαιτήσεων) και αποτελούν τη δεύτερη σημαντικότερη προσπάθεια εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσιών στα IP δίκτυα. Χαρακτηρίζονται όπως και οι IS από το γεγονός ότι παρέχονται μόνο από τη μία κατεύθυνση της επικοινωνίας αλλά διαφέρουν από τις IS επειδή δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για multicast μετάδοση παρά μόνο για unicast μετάδοση. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό δεν έχουμε υπηρεσίες με εγγύηση αλλά γίνεται μια προσπάθεια να προσεγγιστεί καλύτερα η κυκλοφορία του δικτύου και έτσι να γίνει μια σωστή κατηγοριοποίηση των διαφόρων ροών δεδομένων ούτως ώστε σε κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες να αντιστοιχίζονται οι ακριβείς υπηρεσίες ποιότητας που απαιτούν. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι άλλες κατηγορίες τυγχάνουν καλύτερης μεταχείρισης από κάποιες άλλες. Επίσης κατά την αρχιτεκτονική των

διαφοροποιημένων υπηρεσιών, όπως φανερώνει και το όνομα γίνεται και μια ομαδοποίηση των υπηρεσιών ανάλογα με τη διαφορετική προτεραιότητα με την οποία εκτελούνται. Η ανάγκη για ύπαρξη διαφορετικών προτεραιοτήτων είναι μεγάλη γιατί διαφορετικά, αν όλες οι υπηρεσίες είχαν την ίδια σειρά εξυπηρέτησης λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης του δικτύου τα προβλήματα θα ήταν πολλά. Οι εφαρμογές που έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις εξυπηρέτησης εκτελούνται στα άκρα του δικτύου, εκεί δηλαδή που συνδέονται οι χρήστες και αυτό συμβαίνει γιατί στο εσωτερικό του δικτύου οι συσκευές πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο «ελεύθερες». Ο κάθε κόμβος-δρομολογητής του δικτύου δεσμεύει πόρους ανάλογα με το είδος των εφαρμογών (δηλαδή ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων που χρειάζεται να περάσουν από το κόμβο). Αν για παράδειγμα πρέπει να υποστηριχθεί κίνηση πραγματικού χρόνου, τότε δεσμεύονται buffer μικρού μήκους και μεγάλο εύρος ζώνης στη σύνδεση από την οποία θα εξέλθουν τα πακέτα. Αν αντιθέτως κάποια υπηρεσία έχει προτεραιότητα έναντι κάποιων άλλων, τότε πρέπει να επιλεγεί ένας διαφορετικός μηχανισμός εξυπηρέτησης των πακέτων υψηλής προτεραιότητας. Η διαφορετική συμπεριφορά που έχει ο κάθε κόμβος στα δίκτυα αυτά ονομάζεται «per-hop behavior» (PHB).

Όταν ένας πελάτης θέλει ένα συγκεκριμένο Qos για την εφαρμογή του, τότε μεταφέρει στο δίκτυο τις τιμές των μετρικών ποιότητας (που αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο) : καθυστέρηση, jitter, χωρητικότητα, απώλεια πακέτων, που απαιτεί για να «τρέξει» η εφαρμογή του. Το δίκτυο μπορεί είτε να ικανοποιήσει τις τιμές αυτές είτε να ικανοποιήσει μέρος των τιμών αυτών. Η τελική συμφωνία ανάμεσα στον πελάτη και το δίκτυο για τις εγγυήσεις που θα παρέχονται από το δίκτυο και τα χαρακτηριστικά της ροής των δεδομένων του πελάτη υπογράφονται σε μια συμφωνία, τη SLA (Service Level Agreement).

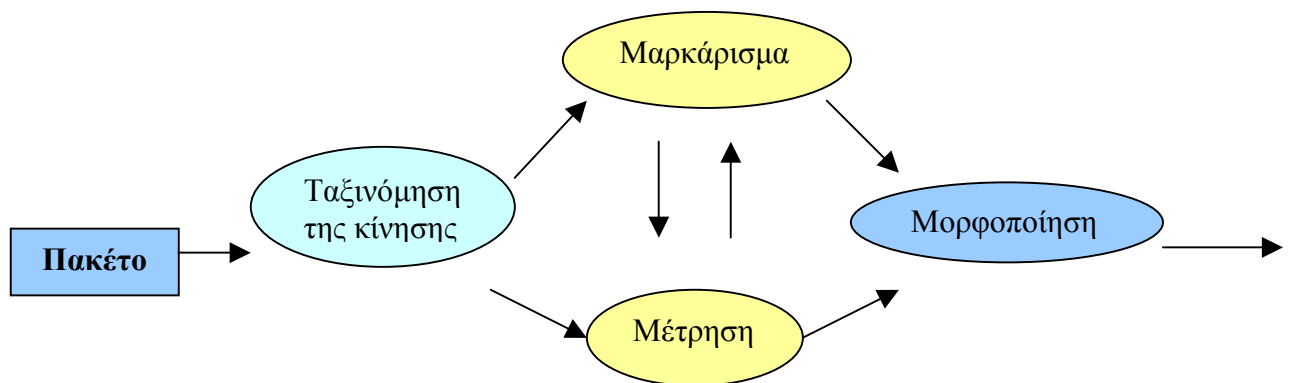
Γενικά λοιπόν, μία ροή δεδομένων μέσα σε ένα δίκτυο περνάει από τα παρακάτω στάδια :

(1) Ταξινόμηση. Ταξινομούνται τα διάφορα πακέτα που φτάνουν στο δίκτυο σε ροές ή ενώσεις ροών (τα πακέτα τα οποία περιέχουν μια υπηρεσία διαφορετική από την best-effort) έτσι ώστε να λάβουν διαφορετική μεταχείριση από το δίκτυο. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με το να ξεχωρίσουμε κάποια πακέτα που ικανοποιούν κάποια συγκεκριμένη συνθήκη και έπειτα να τα προωθήσουμε τα σε μια ειδική διαδικασία που θα αποφασίσει την υπηρεσία που θα χρησιμοποιήσουν.

(2) Μαρκάρισμα (marking) των πακέτων. Μαρκάζονται τα πακέτα ανάλογα με την κλάση στην οποία ανήκουν ή ανάλογα με κάποια άλλα χαρακτηριστικά τους.

(3) Μέτρηση (metering) της κίνησης. Μετριέται η κίνηση και συγκρίνεται με τη κίνηση που είχε συμφωνηθεί με το SLA. Τα πακέτα χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το αν είναι νόμιμα ή όχι σύμφωνα πάντα με το SLA και καθορίζεται η ξεχωριστή μεταχείριση που θα έχει η κάθε κατηγορία πακέτων.

(4) Μορφοποίηση (shaping) : Όταν κάποιο πακέτο δεν είναι νόμιμο μπορούν να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά της κίνησης ώστε η κίνηση να είναι νόμιμη (αποθηκεύεται προσωρινά το πακέτο σε ένα buffer μέχρι να γίνει η αλλαγή). Αν πάλι το πακέτο δε μπορέσει να γίνει νόμιμο, τότε απορρίπτεται (dropped).



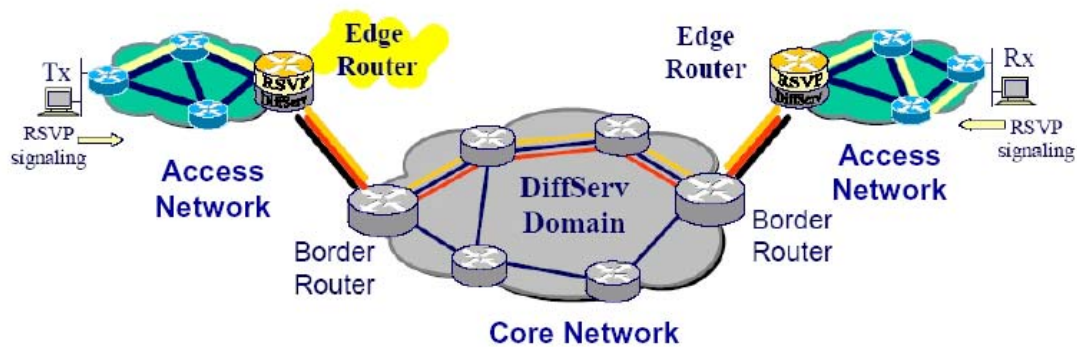
Χαρακτηριστικά κίνησης  
(Traffic Conditioner)

Οι παραπάνω μηχανισμοί, εφαρμόζονται συνήθως με τη σειρά που αναφέρθηκαν (αν και πολλές φορές μπορεί να έχουμε πρώτα μέτρηση της κίνησης και μετά μαρκάρισμα των πακέτων) στους περιφερειακούς κόμβους (edge routers). Αν οι περιφερειακοί αυτοί κόμβοι χρησιμοποιούνται για σύνδεση με άλλο δίκτυο, τότε οι μηχανισμοί παραμένουν οι ίδιοι, αλλά δημιουργούνται νέα προβλήματα που αφορούν κυρίως την ασυμβατότητα που υπάρχει ανάμεσα στις υπηρεσίες των 2 δικτύων (δηλαδή οι υπηρεσίες του ενός δικτύου δεν αντιστοιχίζονται πλήρως στις υπηρεσίες του άλλου δικτύου). Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να υπάρξει μια προτυποποίηση υπηρεσιών, που όμως μέχρι τώρα δεν έχει επιτευχθεί.

Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες προτυποποίησης υπηρεσιών και μία από αυτές είναι το Expedited Forwarding Per Hop Behavior, το οποίο καθορίζει μια υπηρεσία που μοιάζει αρκετά με το μισθωμένο κύκλωμα. Χαρακτηριστικό της προσπάθειας αυτής είναι το γεγονός ότι η πιθανότητα να απορριφθούν κάποια πακέτα επειδή δεν είναι νόμιμα είναι μικρή όπως μικρός είναι και ο χρόνος μετάδοσης της πληροφορίας από άκρο σε άκρο ενώ το εύρος ζώνης είναι εγγυημένο. Για να υλοποιηθεί αυτή η υπηρεσία θα πρέπει το ελάχιστο bandwidth, που δεσμεύεται σε κάθε δικτυακή συσκευή στη σύνδεση που θα ακολουθήσει το πακέτο όταν φύγει από αυτήν, να είναι μεγαλύτερο ή το πολύ ίσο με τη μέγιστη τιμή του bandwidth που είναι δυνατό να υπάρξει στη σύνδεση την οποία ακολουθούν τα πακέτα για να φθάσουν στη συσκευή. Η υπηρεσία αυτή ονομάζεται και Premium Service.

Κάποιες άλλες υπηρεσίες που έχουν την έννοια της προτεραιότητας είναι οι Assured Forwarding. Χαρακτηριστικό αυτών των υπηρεσιών είναι η εγγύηση της παράδοσης των πακέτων. Για να γίνει αυτό ορίζονται τέσσερις κλάσεις προτεραιοτήτων όπου η κάθε μία από αυτές έχει τρεις διαφορετικές πιθανότητες απόρριψης σε περίπτωση που παρατηρηθεί συμφόρηση στο δίκτυο. Η πιθανότητα εξυπηρέτησης ενός πακέτου είναι αντιστρόφως ανάλογη της προτεραιότητας εξυπηρέτησής του. Η προτεραιότητα του πακέτου της πρώτης κλάσης είναι μεγαλύτερη από αυτή της τέταρτης. Ανάμεσα στα πακέτα της ίδιας κλάσης, το πακέτο που έχει μεγαλύτερη πιθανότητα απόρριψης έχει και μεγαλύτερη προτεραιότητα να απορριφθεί σε περίπτωση συμφόρησης. Για τις υπηρεσίες που έχουν υψηλή προτεραιότητα το δίκτυο θα φαίνεται ότι έχει χαμηλή κίνηση, ακόμα και στην περίπτωση που έχει φθάσει στη συμφόρηση.

Γενικά πάντως μπορούμε να πούμε ότι Differential Services έχουμε σε δίκτυα κορμού και Integrated Services σε δίκτυα πρόσβασης. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ των δύο αυτών μοντέλων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



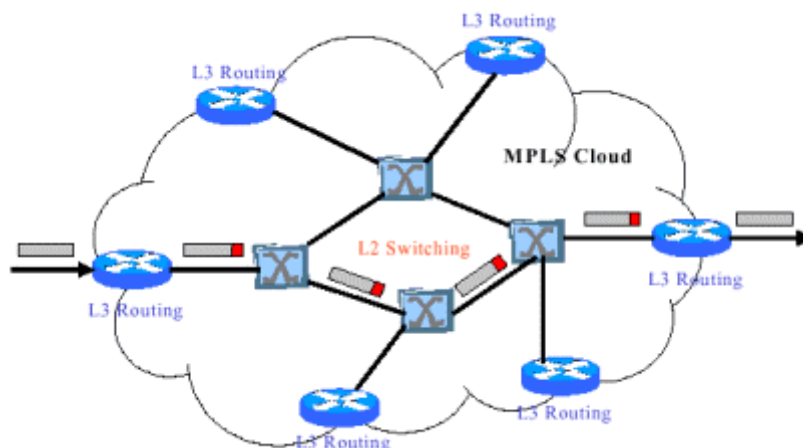
### 3.4 Multiprotocol Label Switching (MPLS)

Το Multiprotocol Label Switching (MPLS) λειτουργεί παρόμοια με την αρχιτεκτονική diffserv που περιγράψαμε παραπάνω, αφού «μαρκάρει» τα πακέτα στα σημεία εισόδου και τα «απομαρκάρει» στα σημεία εξόδου. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το μαρκάρισμα αυτό δε γίνεται για να καθοριστούν οι προτεραιότητες στους δρομολογητές (diffserv) αλλά για να καθοριστεί το hop του επόμενου δρομολογητή.

Έστω για παράδειγμα ένα δίκτυο στο οποίο έχουμε edge routers αλλά και εσωτερικούς δρομολογητές. Όπως περιγράψαμε στην αρχιτεκτονική των differential services μπορούμε να έχουμε πολλά δίκτυα τα οποία να ενώνονται μέσω των edge routers. Έτσι λοιπόν αν κάποιο πακέτο «έρχεται» από ένα εξωτερικό δίκτυο σε ένα άλλο τότε ο edge router του δεύτερου δικτύου θα μπορέσει από μόνος του να δρομολογήσει το πακέτο αυτό και να το κατευθύνει σε όποιο εσωτερικό κόμβο «πρέπει». Με την ύπαρξη όμως του MPLS η δρομολόγηση αυτή μπορεί να αλλάξει και να μην είναι δεδομένη, αλλά να μεταβάλλεται ανά hop.

Το MPLS εφαρμόζεται σε κάθε δρομολογητή και μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα traffic engineering πρωτόκολλο εκτός από QOS πρωτόκολλο. Αυτό που προσφέρει κυρίως είναι ευελιξία στη δρομολόγηση των πακέτων. Τα IP δίκτυα είναι συνήθως «best effort» και «connectionless». Το τελευταίο σημαίνει ότι οι δρομολογητές των δικτύων χρησιμοποιούν πρωτόκολλα που δεν είναι προσανατολισμένα προς τη σύνδεση. Έτσι κατευθύνουν τα πακέτα ανάλογα με τους αλγορίθμους δρομολόγησης που εκτελούν. Πολλές φορές όμως παρατηρείται το γεγονός της δημιουργίας συμφόρησης στους routers κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα η δρομολόγηση να μη γίνεται σωστά. Για να αποφευχθεί αυτό αλλά και για να παραχθούν εγγυήσεις παράδοσης των πακέτων (και άρα εγγυήσεις παροχής υπηρεσιών Qos)

το MPLS προσθέτει στα connectionless πρωτόκολλα, μηχανισμούς προσανατολισμένους προς στη σύνδεση (connection-oriented).



Σε κάθε μονοπάτι που δημιουργείται ανάμεσα σε δύο δρομολογητές αντιστοιχίζεται μία ετικέτα που ονομάζεται Label Switched Path (LSP) και η οποία αποτελεί τη διαδρομή ενός MPLS πακέτου. Κάθε MPLS πακέτο έχει μια επικεφαλίδα που αποτελείται από 32 bits. Η δομή της επικεφαλίδας αυτής είναι : Μία ετικέτα μεγέθους 20 bit, ένα πεδίο COS (Class Of Service) μεγέθους 3 bit, μία ετικέτα stack indicator μεγέθους 1 bit και ένα πεδίο TTL (Time-To-Live) μεγέθους 8 bit. Η ετικέτα του MPLS πακέτου καθορίζει το επόμενο hop και την νέα ετικέτα του hop αυτού. Ο δρομολογητής που διαχειρίζεται τα MPLS πακέτα (LSR label switched router) τα προωθεί με βάση την παραπάνω ετικέτα και δε λαμβάνει υπόψη του τα πρωτόκολλα του network layer. Για το λόγο αυτό η αρχιτεκτονική MPLS είναι **Multiprotocol Label Switching**.

Γενικά λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι το MPLS προσφέρει υπηρεσίες Qos σε ένα δίκτυο αφού προσφέρει καλύτερη δρομολόγηση των IP πακέτων με το καθορισμό των κατάλληλων μονοπατιών. Μπορεί να συνεργαστεί με πολλά πρωτόκολλα connectionless και να προσφέρει σε αυτά connection-oriented μηχανισμούς χωρίς αυτό να «φαίνεται» στους διάφορους χρήστες-πελάτες του δικτύου.

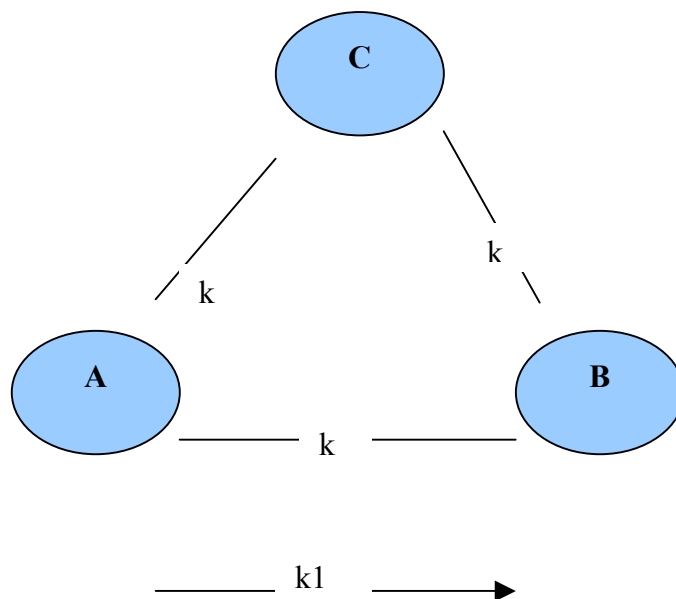
### 3.5 Traffic Engineering

Τα μοντέλα των integrated και differential services όπως και το MPLS που παρουσιάστηκαν παραπάνω εφαρμόζονται για να παρέχουν Qos σε δίκτυα «υψηλού» φόρτου,

δηλαδή σε δίκτυα όπου έχουμε μεγάλη μετάδοση και μεταφορά IP πακέτων. Αν ο φόρτος του δικτύου δεν είναι τόσο μεγάλος τότε η απόδοση του παραμένει ίδια είτε χρησιμοποιηθούν τα παραπάνω μοντέλα και πρωτόκολλα, είτε χρησιμοποιηθούν οι απλές υπηρεσίες «καλύτερης προσπάθειας» που προσφέρουν ούτως ή άλλως τα IP networks.

Για το λόγο αυτό, όπως γίνεται φανερό για να επιτύχουμε Qos αρκεί να μειώσουμε τη κίνηση (traffic) του δικτύου ή να διαχειριστούμε τη κίνηση αυτή κατάλληλα ούτως ώστε να αποφευχθούν γεγονότα συμφόρησης και να έχουμε εγγυήσεις για ποιότητα υπηρεσιών χωρίς να χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν άλλα μοντέλα, μηχανισμοί, πρωτόκολλα και αλγόριθμοι για Qos.

Ένα παράδειγμα στο οποίο φαίνεται η λειτουργικότητα του traffic engineering είναι το παρακάτω : Έστω ότι έχουμε 3 κόμβους – δρομολογητές (A,B,C) οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές σύνδεσης (links) σταθερής χωρητικότητας  $k$  Mbps. Η δρομολόγηση των IP πακέτων γίνεται σύμφωνα με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που ισχύουν, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να επιλέγεται συνήθως η συντομότερη διαδρομή για να φτάσει το πακέτο από τη πηγή στο προορισμό του. Στο σχήμα λοιπόν που ακολουθεί όπως φαίνεται, για να μεταφερθεί ένα πακέτο από τον κόμβο A στον B επιλέγεται πάντα η διαδρομή  $A \rightarrow B$  και σπάνια η  $A \rightarrow C \rightarrow B$ . Έτσι στη γραμμή  $A-B$  παρατηρείται ροή δεδομένων μεγαλύτερη του  $k$  ( $k_1 > k$ ) που οδηγεί σε συμφόρηση, ενώ αντιθέτως στα links  $A-C$  και  $C-B$  ο φόρτος της κίνησης είναι πολύ μικρός.



Κατά το μοντέλο traffic engineering όταν εμφανίζεται το φαινόμενο αυτό, γίνεται μια νέα κατανομή της κίνησης ανάμεσα στους 3 κόμβους και έτσι λοιπόν χρησιμοποιούνται και τα links A—C , C—B για να εξασφαλιστεί και το απαραίτητο Qos.

Το μοντέλο του «σχεδιασμού» της κίνησης συνδυάζεται συνήθως με differential services.

### 3.6 Constraint-Based Routing

Το Constraint-Based Routing χρησιμοποιείται για να υλοποιήσει το traffic engineering που περιγράψαμε παραπάνω, δηλαδή για να υπολογίσει διαδρομές πακέτων κάτω από κάποιους περιορισμούς. Αποτελεί επέκταση του Qos routing και θέτει ως βασικούς του στόχους :

- Την επιλογή διαδρομών που θα ικανοποιούν συγκεκριμένες Qos απαιτήσεις
- Την αύξηση της χρησιμοποίησης του δικτύου.

Κατά την επιλογή των διαδρομών δε λαμβάνεται υπόψη μόνο η μορφολογία των δικτύων αλλά και οι πολιτικές των δικτύων σύμφωνα με τα SLAs, έτσι ώστε να υπάρχει μία ισοκατανομή φόρτου στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό μπορεί να επιλεγεί μία διαδρομή που μπορεί να είναι μακρύτερη από μία άλλη, αλλά είναι και λιγότερο «φορτωμένη» από αυτή.

Για να γίνει το constraint-based routing πρέπει οι δρομολογητές να μεταφέρουν πληροφορίες σχετικά με τις γραμμές σύνδεσης και τη ροή κυκλοφορίας που υπάρχει στις γραμμές αυτές.

Οι αλγόριθμοι υπολογισμού του routing table στο constraint-based routing εξαρτώνται από τις εξής μετρικές : (1) το οικονομικό κόστος, (2) το πλήθος των hop, (3) το εύρος ζώνης, (4) η αξιοπιστία, (5) η καθυστέρηση και το (6) jitter (δηλαδή θα πρέπει να επιλεγούν οι αλγόριθμοι αυτοί που θα ικανοποιούν κάποιες συγκεκριμένες απαιτούμενες τιμές για τις μετρικές αυτές). Οι μετρικές (2), (5) και (6) είναι προσθετικές (additive), ενώ η αξιοπιστία είναι πολλαπλασιαστική (multiplicative) και το εύρος ζώνης μεταβάλλεται κοίλα (concave). Ο υπολογισμός των διαδρομών στο constraint-based routing είναι NP-complete και αυτό συμβαίνει γιατί ο αλγόριθμος που προσπαθεί να χρησιμοποιήσει και να βελτιστοποιήσει δυο ή περισσότερες από αυτές τις μετρικές είναι και αυτός NP-complete. Οι αλγόριθμοι υπολογισμού διαδρομών με περιορισμούς εύρους ζώνης και πλήθους hop είναι οι πιο απλοί και συνάμα οι πιο σημαντικοί μια και αυτές οι 2 μετρικές παίζουν μεγαλύτερο ρόλο στη δρομολόγηση γενικότερα.



Στο Constrained Based Routing, οι διαδρομές μπορούν να υπολογισθούν κατ' απαίτηση ή να υπολογισθούν εκ των προτέρων για κάθε μία κλάση κίνησης. Οι κατ' απαίτηση υπολογισμοί επηρεάζονται από την QoS απαίτηση μιας ροής. Και στις δύο περιπτώσεις, ο δρομολογητής πρέπει να υπολογίζει πιο συχνά τον πίνακα δρομολόγησης στο Constrained Based Routing απ' ό τι στο Dynamic Routing. Αυτό γίνεται διότι ακόμα και χωρίς αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου, ο υπολογισμός του πίνακα δρομολόγησης επηρεάζεται κάθε φορά που έχουμε μεταβολές του εύρους ζώνης. Επίσης οι αλγόριθμοι Constrained Based Routing είναι τουλάχιστον όσο πολύπλοκοι όσο και οι Dynamic Routing αλγόριθμοι. Για το λόγο αυτό, ο υπολογιστικός φόρτος των δρομολογητών με Constrained Based Routing μπορεί να είναι πολύ υψηλός.

Οι πιο κοινές μέθοδοι για τον περιορισμό του υπολογιστικού φόρτου του Constrained Based Routing είναι οι παρακάτω:

Μείωση της συχνότητας υπολογισμών

Η επιλογή των μετρικών : εύρος ζώνης και πλήθος των hop ως περιορισμούς

Η χρήση πολιτικής διαχείρισης για την απόρριψη κάποιων links που δεν ικανοποιούν τους περιορισμούς πριν αρχίσει ο υπολογισμός του πίνακα δρομολόγησης

Οι βασικοί στόχοι του constraint-based routing που είναι η επιλογή διαδρομών που θα ικανοποιούν συγκεκριμένες QoS απαιτήσεις και η αύξηση της χρησιμοποίησης του δικτύου, πετυχαίνονται αλλά ταυτόχρονα δημιουργούνται και ορισμένα προβλήματα όπως : αύξηση του φόρτου του δικτύου, αύξηση της υπολογιστικής δύναμης που απαιτείται για τους υπολογισμούς (καθώς και προσοχή γιατί οι συχνοί υπολογισμοί μπορεί να προκαλέσουν αστάθεια των πινάκων δρομολόγησης) και αύξηση του μεγέθους του πίνακα δρομολόγησης. Επίσης τα μεγαλύτερα μονοπάτια που δημιουργούνται προκαλούν και κατανάλωση περισσότερων πόρων του δικτύου.

Όταν ο constraint-based routing επιλέγει παραπάνω από μία διαδρομές που ικανοποιούν συγκεκριμένες QoS απαιτήσεις, τότε επιλέγεται μία από αυτές τις διαδρομές με βάση τα παρακάτω κριτήρια :

Το widest-shortest μονοπάτι: το μονοπάτι με τον μικρότερο αριθμό hop και στην περίπτωση πολλαπλών τέτοιων διαθέσιμων μονοπατιών, εκείνο με το περισσότερο διαθέσιμο εύρος ζώνης.

Το shortest-widest μονοπάτι: το μονοπάτι με το μέγιστο δυνατό εύρος ζώνης και στην περίπτωση πολλαπλών τέτοιων διαθέσιμων μονοπατιών, εκείνο με το μικρότερο αριθμό hop.

Το shortest-distance μονοπάτι: το μονοπάτι με τη μικρότερη απόσταση σύμφωνα με το μέτρο :  $\text{dist}(P) = \sum_{i=1}^k 1/r_i$  όπου  $r_i$  είναι το εύρος ζώνης του  $i$  link.

#### Σχέση μεταξύ Constraint- Based routing και Differentiated Services

Το constraint-based routing υπολογίζει τις βέλτιστες διαδρομές για τα πακέτα έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για QoS. Δεν αντικαθιστά τις differential services αλλά προσθέτει σε αυτές ότι χρειάζονται.

#### Σχέση μεταξύ Constraint- Based routing και RSVP

Είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους αλλά το ένα συμπληρώνει το άλλο. Το RSVP χρησιμοποιείται για τη δέσμευση των πόρων και το constraint-based routing για τον υπολογισμό των μονοπατιών των Path messages.

#### Σχέση μεταξύ Constraint- Based routing και MPLS

Το MPLS είναι ένα μοντέλο προώθησης πακέτων ενώ το constrained-based routing είναι ένα μοντέλο δρομολόγησης πακέτων, επομένως δεν έχουν καμία σχέση μεταξύ τους είναι δηλαδή ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Παρόλα αυτά αν συνεργαστούν μπορούμε να έχουμε ευεργετικά αποτελέσματα στη διαχείριση της κίνησης των ροών καθώς αν το MPLS χρησιμοποιήσει τις διαδρομές που υπολογίζει το constraint-based routing τότε μπορεί να υπολογίσει καλύτερα τις διαδρομές για τη δημιουργία των μονοπατιών του.

## 4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ (ALGORITHMS) QUALITY OF SERVICES

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INTRODUCTION)

Λέγοντας QoS Routing εννοούμε ένα μηχανισμό δρομολόγησης με τον οποίο καθορίζονται τα μονοπάτια για τις διάφορες ροές των δεδομένων με βάση τη διαθεσιμότητα των πόρων του δικτύου καθώς επίσης και με βάση τις QoS απαιτήσεις των ροών αυτών.

Το βασικό πρόβλημα στο οποίο καλείται η unicast δρομολόγηση να βρει λύση είναι η εύρεση του καλύτερου εφικτού (feasible) μονοπατιού από ένα πηγαίο κόμβο  $s$  σε ένα κόμβο προορισμού  $t$  που να ικανοποιεί ένα σετ  $C$  από περιορισμούς.

Το βασικό πρόβλημα στο οποίο καλείται η multicast δρομολόγηση να βρει λύση είναι η εύρεση του καλύτερου εφικτού (feasible) δέντρου από ένα πηγαίο κόμβο  $s$  σε ένα σεν από κόμβους προορισμού  $R$  που να ικανοποιεί ένα σεν  $C$  από περιορισμούς.

Προβλήματα της unicast δρομολόγησης μπορεί να είναι :

- Δρομολόγηση με Βελτιστοποίηση Σύνδεσης (Link-optimization routing).
- Δρομολόγηση με Περιορισμούς Σύνδεσης (Link-constraint routing).
- Δρομολόγηση με Βελτιστοποίηση Μονοπατιού (Path-optimization routing).
- Δρομολόγηση με Περιορισμούς Μονοπατιού (Path-constraint routing).
- Συνδυασμοί των παραπάνω περιορισμών, για παράδειγμα δρομολόγηση με Περιορισμό Εύρους Ζώνης και Ελάχιστης Καθυστερήσης (bandwidth-constrained least-delay routing).

Τα προβλήματα της multicast δρομολόγησης είναι αντίστοιχα με τα παραπάνω με τη διαφορά ότι αν υπάρχει κάποιος περιορισμός τότε δε θα εφαρμόζεται σε ένα μονοπάτι αλλά σε ολόκληρο το δέντρο. Για παράδειγμα αν έχουμε δρομολόγηση με Περιορισμό Εύρους Ζώνης σημαίνει ότι πρέπει να βρεθεί το δέντρο του οποίου ο στενότερος σύνδεσμος να έχει εύρος ζώνης πάνω από μία συγκεκριμένη τιμή.

Ανάλογα με το πως αποκτάται η πληροφορία κατάστασης και το πως γίνεται η αναζήτηση του “εφικτού” μονοπατιού (feasible path) μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές στρατηγικές δρομολόγησης. Η πρώτη στρατηγική είναι η δρομολόγηση Πηγής (Source Routing) όπου ο κάθε κόμβος έχει οικουμενική πληροφορία και γνωρίζει την τοπολογία ολόκληρου του δικτύου και έχει πληροφορίες για κάθε link. Το μονοπάτι που θα επιλεγεί υπολογίζεται σε κάθε κόμβο. Η δεύτερη στρατηγική είναι η Κατανεμημένη δρομολόγηση (Distributed Routing). Σύμφωνα με αυτή την στρατηγική το μονοπάτι υπολογίζεται κατανεμημένα. Τέλος η τρίτη στρατηγική που χρησιμοποιείται είναι η Ιεραρχική δρομολόγηση (Hierarchical Routing).

## 4.2 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (UNICAST ROUTING)

Εδώ θα γίνει μια απλή αναφορά των κυριότερων αλγορίθμων για unicast routing :

Source routing αλγόριθμοι:

- Wang-Crowcfort
- Ma-Steenkiste
- Guerin-Orda

- Chen-Nahrstedt
- Awerbuch et al

Distributed routing αλγόριθμοι:

- Wang-Crowcroft
- Salama et al
- Sun-Landendorfer
- Cidon et al.
- Shin-Chou
- Chen-Nahrstedt
- Ticket-Based probing

Hierarchical routing αλγόριθμοι:

- PNNI

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει συγκεντρωτικά του αλγόριθμους για unicast routing :

αλγόριθμος	Routing πρόβλημα που επιλύει	στρατηγική routing	χρον.πολ	Διατήρηση κατάστασης	routing
Wang-Crowcroft	Bandwidth-delay-constrained	Source	$O(v \log v + e)$	Global	Zero
Ma-Steenkiste	Bandwidth-constrained	Source	$O(v \log v + e)$	Global	Zero
	Multi-constrained <sup>1</sup>	Source	$O(kve)^1$	Global	Zero
Guerin-Orda	Bandwidth-constrained	Source	$O(v \log v + e)$	Imprecise global	Zero
	Delay-constrained	Source	Polynomial <sup>2</sup>	Imprecise global	Zero
Chen-Nahstedt	Bandwidth-cost-constrained	Source	$O(xve)^3$	Global	Zero
Wang-Crowcroft	Bandwidth-optimization	Distributed	$O(ve)$	Global	$O(v)$
Salama et al.	Delay-constrained least-cost	Distributed	$O(v^3)$	Global	$O(v^3)^4$
Sun-	Delay-constrained	Disributed	$O(v)$	Global	$O(v)$

Landgendorfer	least-cost				
Cidon et al.	Generic <sup>5</sup>	Distributed	O(e)	Global	O(e) <sup>6</sup>
Shin-Chou	Delay-constrained	Distributed	O(e)	Local	O(e)
Chen-Nahrstedt	Generuc <sup>5</sup>	Distributed	O(e)	Local	O(e)
PNNI	Generic <sup>5</sup>	Hierarchica 1	Polynomial 7	Aggregated	O(v)

v ο αριθμός των κόμβων και e ο αριθμός των Άκμων

Αφού ο source routing αλγόριθμος επιλέξει το μονοπάτι, ένα μήνυμα ελέγχου στέλνεται κατά μήκος του μονοπατιού για να κάνει τη σύνδεση, πράγμα που στη χειρότερη περίπτωση έχει επιβάρυνση O(v).

<sup>1</sup> Ma – Steenkiste μελέτησαν το routing με τις παραμέτρους delay, delay jitter, και buffer space σε rate-based scheduling δίκτυα. k στη χρονική πολυπλοκότητα είναι ο αριθμός όλου του πιθανού υπόλοιπου bandwidth που μπορεί να έχει ένα link.

<sup>2</sup> Οι ευριστικοί αλγόριθμοι κάνουν διαφορετικές υποθέσεις όποτε έχουν διαφορετικές χρονικές πολυπλοκότητες.

<sup>3</sup> x σταθερά του αλγόριθμου. Μεγάλο x δηλώνει μεγαλύτερη πιθανότητα εύρεσης βέλτιστου μονοπατιού αλλά και μεγαλύτερη επιβάρυνση.

<sup>4</sup> Έχει αποδειχθεί ότι η μέση επιβάρυνση είναι ουσιαστικά πιο μικρή από την επιβάρυνση χειρότερης περίπτωσης.

<sup>5</sup> Routing Framework για διαφορετικές QoS παραμέτρους.

<sup>6</sup> Οι μεταβλητές (variants) μπορεί να έχουν υψηλό χειρότερης περίπτωσης overhead.

<sup>7</sup> Η χρονική πολυπλοκότητα ενός ιεραρχικού αλγορίθμου εξαρτάται από τον source αλγόριθμο που θα χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει τη σύνδεση μέσα από κάθε ομάδα.

### 4.3 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (MULTICAST ROUTING)

Εδώ θα γίνει μια απλή αναφορά των κυριότερων αλγορίθμων για multicast routing :

Source Routing αλγόριθμοι:

- MOSPF
- Steiner Tree Problem
- kou et al.
- Takahashi-Matsuyama

- The Constrained Steiner Tree problem
- Kompella et al.
- Sun-Langendoerfer
- Widyono
- Zhu et al.
- Rouskas-Baldine

Distributed routing αλγόριθμοι:

- Kompella et al.
- Chen-Nahrstedt
- Calberg-Crowcroft

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει συγκεντρωτικά του αλγόριθμους για multicast routing:

αλγόριθμος	routing πρόβλημα που επιλύει	στρατηγική routing	Χρον.πολ.	Διατήρησ η κατάστασ ης	routing
MSOPF	Least-delay	Source	$O(v \log v)$	Global	Zero
Kou et al	Least-delay	Source	$O(gv^2)$	Global	Zero
Takahashi – Matsuyama	Least-dealy	Source	$O(gv^2)$	Global	Zero
Kompella et al.	Delay-constrained least-cost	Source	$O(v^3 D)^1$	Global	Zero
Sun – Landgendorfer	Delay-constrained least-cost	Source	$O(v \log v + e)$	Global	Zero
Widyono	Delay-constrained least-cost	Source	Exponential <sup>2</sup>	Global	Zero
Zhu et al.	Delay-constrained least-cost	Source	$O(kv^3 \log v)^3$	Global	Zero
Rouskas –	Delay-	Source	$O(klgv^4)^3$	Global	Zero

baldine	constrained least-cost				
Kompella et al.	Delay- constrained least-cost	Distributed	$O(v^3)$	Global	$O(v^3)$
Chen- Nahrstedt	Generic	Distributed	$O(ge)$	Local	$O(ge)$

$v$  είναι ο αριθμός των κόμβων,  $e$  ο αριθμός των Άκμων και  $g$  ο αριθμός των προορισμών  
 όταν ο source routing αλγόριθμος κατασκευάσει το multicast tree, μηνύματα ελέγχου  
 στέλνονται στο δέντρο για πραγματοποιηθεί η σύνδεση. Αυτό έχει στην χειρότερη περίπτωση  
 επιβάρυνση  $O(e)$   
<sup>1</sup>  $\Delta$  είναι απαίτηση καθυστέρησης. Η χρονική πολυπλοκότητα είναι πολυωνυμική αν η  $\Delta$  είναι  
 ένας πεπερασμένος ακέραιος.  
<sup>2</sup> Ο Widyono αλγόριθμος χρησιμοποιεί CBF ( constrained Bellman-Ford ) Ο Widyono  
 δηλώνει ότι υπάρχουν περιπτώσεις όπου η εκτέλεση του CBF γίνεται εκθετική. Η γενική του  
 όμως απόδοση είναι συγκρίσιμη με αλγόριθμους κατασκευής constrained Steiner Trees.  
<sup>3</sup>  $k$  και  $l$  είναι σταθερές του αλγόριθμου. Μεγαλύτερα  $k$  (ή  $l$ ) δίνουν μεγαλύτερη πιθανότητα  
 εύρεσης ενός βέλτιστου δέντρου αλλά και μεγαλύτερο overhead.

([http://www.cs.itu.edu.tr/~derin/adaptive\\_net\\_protocols/paper\\_1\\_2.pdf](http://www.cs.itu.edu.tr/~derin/adaptive_net_protocols/paper_1_2.pdf))

([http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/ftp/qos\\_routing.pdf](http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/ftp/qos_routing.pdf))

#### 4.4 QUEUEING ALGORITHMS (ALGORITHMS)

Εκτός όμως από όλους τους παραπάνω αλγόριθμους δρομολόγησης αξίζει να αναφέρουμε και κάποιους αλγόριθμους αναμονής (queueing) οι οποίοι ελέγχουν τη σειρά με την οποία στέλνονται τα πακέτα και τη χρησιμοποίηση της χωρητικότητας του καταχωρητή και αν χρησιμοποιηθούν μαζί με αλγόριθμους ελέγχου της ροής των πηγών, επιτυγχάνεται λειτουργικός έλεγχος συμφόρησης και επομένως εγγυημένη QoS.

Οι κυριότερες τεχνικές queueing είναι οι εξής:

First-in, first-out (FIFO) queueing (Βασική Δυνατότητα Αποθήκευσης -και- Προώθησης)

Priority Queueing (PQ) (Εφαρμογή προτεραιοτήτων στην κίνηση)

Custom Queueing (CQ) (Εγγύηση Εύρους Ζώνης)

Fair Queueing (FQ) (Δίκαιη κατανομή εύρους ζώνης και καταχωρητών)

## 5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ (CONCLUSION)

Στην εργασία αυτή αρχικά γίνεται μια περιγραφή των διαφόρων κατηγοριών δικτύων, του μοντέλου αναφοράς OSI και TCP/IP, των τεχνικών μεταγωγής που υπάρχουν μέχρι σήμερα καθώς και των σημαντικότερων προβλημάτων που εμφανίζονται στα δίκτυα αυτά. Λόγω των προβλημάτων αυτών (κυρίως στα IP δίκτυα που μας ενδιαφέρουν) αλλά και λόγω της εμφάνισης νέων εφαρμογών (οι οποίες δεν απαιτούν απλά την εξάλειψη της απώλειας πακέτων και τη μείωση των καθυστερήσεων μετάδοσης, αλλά απαιτούν και μία ειδική μεταχείριση έτσι ώστε να μπορέσουν να πραγματοποιηθούν ευκολότερα) κρίνεται αναγκαία η δημιουργία κάποιων νέων μηχανισμών-μοντέλων που πρέπει να εφαρμοσθούν για να έχουμε υπηρεσίες ποιότητας και αποφυγής των προαναφερθέντων δυσλειτουργιών. Η ανάγκη αυτή μάλιστα γίνεται ακόμα μεγαλύτερη εξαιτίας της ταχείας ανάπτυξης του Internet (που είναι ένα καλύτερης προσπάθειας μοντέλο υπηρεσίας) και παροχής μέσω αυτού, υπηρεσιών όπως φωνή, πακέτα δεδομένων, video, εφαρμογές εικόνας κ.λ.π.

Οι μηχανισμοί λοιπόν που προτάθηκαν, σχεδιάστηκαν τα τελευταία χρόνια και δεν θεωρούνται ακόμα μέχρι σήμερα απόλυτα επιτυχείς γιατί δεν προσδίδουν (σύμφωνα με τις μετρήσεις που έχουν γίνει) στις μετρικές ποιότητας (jitter, εύρος ζώνης, απώλεια πακέτων, delay) τις τιμές εκείνες που απαιτούνται για να παραχθεί απόλυτη ποιότητα υπηρεσιών. Όμως παρόλα αυτά παρέχουν κάποιες εγγυήσεις Qos και για αυτό χρησιμοποιούνται. Τα μοντέλα αυτά είναι : Integrated Services, Differential Services, MPLS, Traffic Engineering, Constraint-Based Routing όπως επίσης και ορισμένοι αλγόριθμοι δρομολόγησης.

Ωστόσο παραμένουν ακόμα κάποια ανοιχτά ζητήματα που αφορούν τις Qos και αυτά έχουν να κάνουν με το κόστος και την ασφάλεια των Qos υπηρεσιών. Το κόστος δηλαδή, όπως είναι λογικό είναι μεγαλύτερο γιατί όσο αυξάνεται η ανάγκη για χρησιμοποίηση περισσότερων πόρων του δικτύου τόσο αυξάνονται και τα χρήματα που πρέπει να δώσουν οι πελάτες-χρήστες του δικτύου για να χρησιμοποιήσουν τους πόρους αυτούς στις εφαρμογές τους. Επίσης η αύξηση αυτή του κόστους συνεπάγεται και αύξηση της ασφάλειας που πρέπει να υπάρχει, έτσι ώστε οι πόροι του δικτύου να μη διαμοιράζονται αλλά αντιθέτως να αποκρύπτονται και να χρησιμοποιούνται μόνο από εξουσιοδοτημένους χρήστες-πελάτες που έχουν έρθει σε συμφωνίες με τους διαχειριστές του συστήματος.



## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (BIBLIOGRAPHY) :**

- (1) Εισαγωγή στις νέες τεχνολογίες επικοινωνιών, Ανδρέας Πομπόρτσης, εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε.
- (2) Δίκτυα Υπολογιστών, Δεύτερη Έκδοση, Andrew S. Tanenbaum
- (3) Paul Ferguson, Geoff Huston. Quality of Service: Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks. John Wiley & Sons, 1998
- (4) QoS Forum. Frequently Asked Questions about IP Quality of Service. DRAFT Version 0.7, IETF, May 1999
- (5) Wei Sun, “QoS, Policy, Constraint Based Routing”, Ohio State University
- (6) Simple Performance Models of Differentiated Services Schemes for the Internet Martin May, Jean-Chrysostome Bolot, Alain Jean-Marie, Christopher Diet
- (7) S. Blake et al. RFC 2475: An Architecture for Differentiated Services. IETF, December 1998
- (8) 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
- (9) “Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification” - R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, RFC2205, September 1997
- (10) “Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview” - R. Braden, D. Clark, S. Shenker, June 1994, RFC1633

## **ΠΗΓΕΣ WWW :**

- (1) <http://www.gunet.gr/> Είναι ένα portal των Ελληνικών Πανεπιστημίων όπου περιέχονται διευθύνσεις για χρήσιμα δικτυακά θέματα και πάρα πολλά links για Qos
- (2) <http://qos.ittc.ukans.edu/> Αυτή η σελίδα περιλαμβάνει τις προσπάθειες που έχουν γίνει από το ITTC (Information & Telecommunication Technology Center, University of Kansas) για την έρευνα στο IP QoS. Περιλαμβάνεται μελέτη διαφορετικών προσεγγίσεων, εφαρμογή κάποιων από αυτές και αξιολόγησή τους.
- (3) <http://www.ietf.org/rfc/rfc2990.txt?number=2990> Το έγγραφο αυτό δίνει μεγάλη σημασία σε θέματα αρχιτεκτονικής δικτύων σχετίζοντας τη χρήση των Qos μηχανισμών με το Internet και επίσης περιγράφει την Qos αρχιτεκτονική.

- (4) <http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html> Το site αυτό περιέχει τις προσπάθειες ενός working group για να παρέχει Differential Services για τη πραγματοποίηση του απαραίτητου Qos στα IP δίκτυα. Περιέχει πολλά χρήσιμα links
- (5) <http://www.ietf.org/html.charters/intserv-charter.html> Το site αυτό περιέχει τις προσπάθειες ενός working group για να παρέχει Integrated Services για τη πραγματοποίηση του απαραίτητου Qos στα IP δίκτυα. Περιέχει πολλά χρήσιμα links
- (6) <http://www.ietf.org/html.charters/rsvp-charter.html> Το site αυτό περιέχει τις προσπάθειες ενός working group για τη περιγραφή του RSVP έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί το απαραίτητο Qos στα IP δίκτυα. Περιέχει πολλά χρήσιμα links
- (7) <http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html> Το site αυτό περιέχει τις προσπάθειες ενός working group για τη περιγραφή του MPLS έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί το απαραίτητο Qos στα IP δίκτυα. Περιέχει πολλά χρήσιμα links
- (8) <http://www.ietf.org/html.charters/tewg-charter.html> Το site αυτό περιέχει τις προσπάθειες ενός working group για τη περιγραφή του Traffic-engineering έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί το απαραίτητο Qos στα IP δίκτυα. Περιέχει πολλά χρήσιμα links
- (9) <http://citeseer.nj.nec.com/context/1174880/0> Εδώ περιέχονται πολλά links σχετικά με MPLS και traffic engineering
- (10) [http://www.csd.ucl.ac.uk/~hy537/lectures/hy537\\_107\\_108\\_ip\\_qos.pdf](http://www.csd.ucl.ac.uk/~hy537/lectures/hy537_107_108_ip_qos.pdf) Ένα paper όπου γίνεται πλήρης περιγραφή και σύγκριση των Intserv και Diffserv τεχνικών παροχής Qos στα δίκτυα.
- (11) [http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/ftp/qos\\_routing.pdf](http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/ftp/qos_routing.pdf) Ένα paper που ασχολείται με το constraint-based routing. Γίνεται μια σύγκριση των πλεονεκτημάτων των Qos based routing αλγορίθμων και επίσης σύγκριση της τεχνικής αυτής με άλλες τεχνικές παροχής Qos όπως το Intserv, Diffserv κ.λ.π.
- (12) <http://66.102.11.104/search?q=cache:bAnaSe6xuaEJ:www.nortelnetworks.com/products/library/collateral/55046.25-10-99.pdf+Constraint%2BBased%2BRouting&hl=en&ie=UTF-8>  
Εδώ γίνεται μια περιγραφή του τι είναι το traffic engineering και του πως χρησιμοποιούνται τα MPLS και constraint-based routing για την υλοποίηση αυτού.
- (13) [http://red-mpls.udg.es/presentaciones/masip\\_girona.pdf](http://red-mpls.udg.es/presentaciones/masip_girona.pdf) Περιγράφονται κάποιοι Qos routing αλγόριθμοι κάτω από πληροφορίες ανακριβής δρομολόγησης για εφαρμογές με απαιτούμενο εύρος ζώνης.
- (14) <http://www.cs.ucy.ac.cy/courses/EPL653/project.htm> «Δίκτυα Υπολογιστών και το Διαδίκτυο» Μάθημα του Πανεπιστημίου Κύπρου που περιέχει αρκετές ενδιαφέρουσες εργασίες σχετικά με Qos.

- (15) [http://images.google.com/imgres?imgurl=www.cisco.com/warp/public/759/ipj\\_3-1/images/fig\\_x1.gif&imgrefurl=http://www.cisco.com/warp/public/759/ipj\\_3-1/ipj\\_3-1\\_qos.html&h=340&w=468&sz=32&tbnid=BkcpaFfYF14J:&tbnh=90&tbnw=123&prev=/images%3Fq%3DIntegrated%2BServices%26svnum%3D10%26hl%3Den%26lr%3D%26ie%3DUTF-8%26oe%3DUTF-8%26sa%3DG](http://images.google.com/imgres?imgurl=www.cisco.com/warp/public/759/ipj_3-1/images/fig_x1.gif&imgrefurl=http://www.cisco.com/warp/public/759/ipj_3-1/ipj_3-1_qos.html&h=340&w=468&sz=32&tbnid=BkcpaFfYF14J:&tbnh=90&tbnw=123&prev=/images%3Fq%3DIntegrated%2BServices%26svnum%3D10%26hl%3Den%26lr%3D%26ie%3DUTF-8%26oe%3DUTF-8%26sa%3DG) Εδώ γίνεται μία γρήγορη αναφορά των προσπαθειών Qos και των αδυναμιών των υπάρχοντων μοντέλων παροχής Qos.
- (16) <http://cairo.cs.uiuc.edu/qosrouting/qos-routing.html> Εδώ αναλύεται το πρόβλημα της unicast αλλά και της multicast δρομολόγησης και προτείνονται κάποιες routing στρατηγικές.
- (17) <http://citeseer.nj.nec.com/context/1185688/0> Εδώ υπάρχουν paper και χρήσιμα links που μας οδηγούν σε άλλα papers σχετικά με πρωτόκολλα και αρχιτεκτονικές Qos
- (18) [http://www.sprintbiz.com/resource\\_library/resources/00364.pdf](http://www.sprintbiz.com/resource_library/resources/00364.pdf) Στο αρχείο αυτό γίνεται περιγραφή του τι είναι Qos γιατί είναι αναγκαία η χρήση τους και με ποιες τεχνικές επιτυγχάνεται σύμφωνα με τη Sprint.
- (19) <http://www.ics.forth.gr/netgroup/publications/2001.teletronikk.pdf> Εδώ υπάρχει ένα paper το οποίο εκτελεί μεθόδους ελέγχου και μετρήσεις του Qos στα IP δίκτυα με τη βοήθεια του QUASI μοντέλου έτσι ώστε να παρέχονται κλάσεις υπηρεσιών στους χρήστες ανάλογα με τις ανάγκες τους.
- (20) [http://www.cs.itu.edu.tr/~derin/adaptive\\_net\\_protocols/paper\\_1\\_2.pdf](http://www.cs.itu.edu.tr/~derin/adaptive_net_protocols/paper_1_2.pdf) Εδώ υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι οι οποίοι προσπαθούν να λύσουν το πρόβλημα της unicast αλλά και της multicast δρομολόγησης.

