

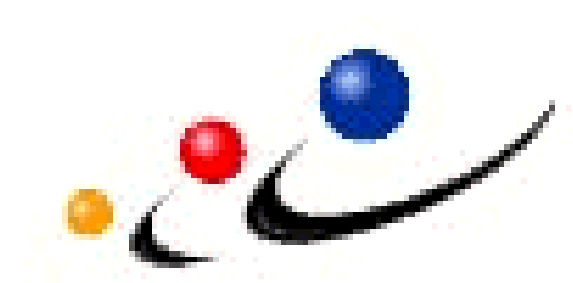
ΕΠΛ420 – Δίκτυα Υψηλών Ταχυτήτων με την χρήση πολυμέσων και πολυσυνδέσεων

Internet Protocol Quality of Services

Δημήτρης Ζεϊναλιπούρ • csyiazti@hotmail.com

Στέλλα Αριστείδου • cstella@ucy.ac.cy

Σοφία Καζέλη • cokaz@cytanet.com.cy



Professor: Andreas Pitsillides • Andreas.Pitsillides@ucy.ac.cy

Teaching Assistant: Yiannos Mylonas • mylonasy@ucy.ac.cy

WWW : <http://winnt-1.cs.ucy.ac.cy/csyiazti/ip-qos>

1999 © Department of Computer Science – University of Cyprus

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων.....	2
1. Abstract.....	4
2. Εισαγωγή.....	6
3. Το Internet και το IP.....	8
a. Το Πρόβλημα του IP.....	8
b. Bandwidth – Η λύση της Αδυναμίας του IP?.....	8
c. Νέες Εφαρμογές και το Internet.....	9
i. Εμφάνιση νέων Εφαρμογών στο Internet.....	9
ii. Επιπλέον Απαιτήσεις των Νέων Εφαρμογών.....	10
iii. Η Ανάγκη προσφοράς multicast υπηρεσιών από το IP.....	12
iv. IP τηλεφωνία - Άμεση Ανάγκη.....	13
v. Σοβαρά Προβλήματα που προκύπτουν.....	14
d. Συνεργασία IP τεχνολογιών για να προσφέρουν Υψηλές Ταχύτητες.....	15
i. Γιατί όχι Best Effort.....	16
ii. Η Ανάγκη διαχειρίσεις του Traffic.....	16
4. Quality of Services (QoS)	17
a. Τι είναι το QoS.....	17
b. Χαρακτηριστικά του QoS.....	17
i. Calls & Connections.....	17
ii. Throughput.....	21
c. Υλοποίηση του QoS στο Internet.....	22
5. Service Level Agreement (SLA) & QoS.....	24
a. Ορισμός και Παραμέτροι.....	24
b. Η Ανάγκη της Διαχείρισης του QoS.....	27
c. Εργαλεία για μετατροπή από “best effort” σε εύρωστα δίκτυα.....	28

Πίνακας Περιεχομένων (συνέχεια)

6. Προτεινόμενες Λύσεις για QoS σε δίκτυα.....	29
a. Περιγραφή των Μηχανισμών Προσφοράς QoS	32
b. Μηχανισμοί Προσφοράς QoS στα ATM.....	35
c. Μηχανισμοί Προσφοράς QoS στο IP.....	36
i. IntServ – Integrated Services.....	36
1. Resource Reservation Protocol (RSVP).....	40
a. Εισαγωγή.....	40
b. Λειτουργική Περιγραφή.....	40
c. Χαρακτηριστικά του RSVP.....	41
d. RSVP Flows & Reservations.....	42
e. Λειτουργική Περίληψη του RSVP.....	44
f. Παράγοντες που αποτρέπουν την χρήση του.....	44
g. Προϊόντα RSVP εν εξέλιξη.....	45
2. Ανοικτά θέματα & Προβλήματα του IntServ.....	45
ii. DiffServ – Differentiated Services.....	46
1. Εισαγωγή.....	46
2. Λειτουργική Περιγραφή.....	48
3. Service Classes για υποστήριξη του DiffServ.....	50
4. ToS – Type of Service.....	51
5. Per Hop Behavior.....	54
6. Το Μέλλον του DiffServ και η χρήση του Σήμερα.....	58
7. Επίλογος – Συμπεράσματα.....	60
8. Glossary.....	61
9. Bibliography.....	67

1 - Abstract

Το internet φέρνει μέσω του IP πολλά είδη δεδομένων και δικτύων μαζί. Σήμερα όμως όλες οι εφαρμογές πολυμέσων π.χ. Voice, video απαιτούν κάτι καλύτερο από το ήδη υπάρχον best effort που προσφέρεται από το Internet. Περαιτέρω σήμερα υπάρχει το όραμα, για να γίνει χρήση του Internet σαν ένα ενιαίο δίκτυο προσφοράς υπηρεσιών. Ωστόσο οι υπηρεσίες που θέλουμε να προσφέρουμε σήμερα, είναι αδύνατο να μεταφερθούν μέσω του www στη μορφή που είναι σήμερα. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι όσο τα θέματα ασφάλειας και επίδοσης υπηρεσιών του www δεν διασφαλίζονται, οι μεγάλες εταιρίες δεν πρόκειται να μεταφέρουν τις σημαντικές τους υπηρεσίες στο internet.

Δυστυχώς σήμερα δεν υπάρχει καμία ώριμη αρχιτεκτονική η οποία μπορεί να υποστηρίξει ένα τέτοιο δίκτυο. Ωστόσο υπάρχουν εν εξέλιξη μελέτες οι οποίες διαφαίνεται ότι θα τροποποιήσουν με όσο το δυνατό λιγότερες αλλαγές το υπάρχον τρόπο λειτουργίας του διαδικτύου και θα κτίσουν το αυριανό δίκτυο προσφοράς πολύ-υπηρεσιών.

Σκοπός του IP Quality of Services είναι να προσφέρει πολύ-υπηρεσίες από χρήστη σε χρήστη (end to end).

Ο ορισμός του IP QoS είναι η υλοποίηση μιας κλάσης από υπηρεσίες CoS (class of services) όπου κάθε κλάση επιδέχεται διαφορετικό επίπεδο εξυπηρέτησης LoS (level of service). Για το σκοπό αυτό υπάρχουν τρεις αρχιτεκτονικές. Το πρώτη αρχιτεκτονική είναι το IntServ (Integrated Services), όπου καθορίζονται τρεις κλάσεις υπηρεσιών, οι οποίες κυρίως περιορίζονται στο επίπεδο των τελικών χρηστών. Δηλαδή εξασφαλισμένο bandwidth, delays και ελεγχόμενο φόρτο, χρησιμοποιώντας best effort υπηρεσία σε χαμηλά φορτισμένα δίκτυα. Σε αντίθεση το DiffServ (Differentiated Services) έχει άμεση σχέση με τους service providers και carrier networks. Το DiffServ αναφέρεται στα WAN, μέσα στα οποία θα διακινούνται οι υπηρεσίες πολυμέσων. Το DiffServ αναγνωρίζει τα διάφορα επίπεδα τύπου υπηρεσιών ToS (Type of Service) και διασφαλίζει την εξυπηρέτηση τους στο επίπεδο που είναι προκαθορισμένες. Επειδή

το DiffServ δεν μπορεί να προσφέρει από μόνο του end to end QoS, γι' αυτό μελετάται ο συνδυασμός χρήσης IntServ - DiffServ . Τέλος το IETF (Internet Engineering Task Force) μελετά τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να συνδυαστούν τα προηγούμενα δυο πρωτόκολλα με την ομάδα εργασίας ISSLL.

Σκοπός της μελέτης μας είναι να μελετήσουμε σε βάθος το QoS, και να ορίσουμε διάφορες τάξεις υπηρεσιών, λαμβάνοντας υπόψη χαρακτηριστικά όπως service availability, delay, delay variation, throughput και packet loss rate. Συγκεκριμένα θα μελετήσουμε διάφορους τύπους υπηρεσιών που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον από τέτοια δίκτυα, και θα προσπαθήσουμε να ορίσουμε διάφορα επίπεδα εξυπηρέτησης τους.

Σαν δεύτερο βήμα της μελέτης μας θα μελετήσουμε την χρήση του Service Level Agreement στην παροχή ποιότητας εξυπηρέτησης.

Στο τρίτο μέρος της μελέτης θα αναλύσουμε διάφορες αρχιτεκτονικές όπως το IntServ, DiffServ και την χρήση πρωτοκόλλων όπως το RSVP για την επίτευξη τους. Περαιτέρω θα μελετήσουμε τρόπους συνδυασμού του DiffServ και IntServ και τις δυνατότητες που παρουσιάζουν έτσι ώστε να προσφέρεται QoS στους end users. Τέλος θα μελετήσουμε άλλες τεχνολογίες και πρωτόκολλα , όπως για παράδειγμα, αλγόριθμους καταστροφής πακέτων, αλγόριθμους προτεραιοτήτων στα hops και άλλα, τα οποία είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη του πιο πάνω σκοπού.

2 - Εισαγωγή

Η αλματώδης ανάπτυξη του διαδικτύου τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργήσει ένα ενιαίο μέσο μεταφοράς ενός αριθμού υπηρεσιών. Μέσα σε αυτές τις υπηρεσίες, εκτός από τις υπηρεσίες όπως email, ftp, HTTP και άλλα σήμερα παρουσιάζεται και η ανάγκη μεταφοράς νέων υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα voice ή packetized video.

Αυτές οι υπηρεσίες κατά κύριο λόγο είναι σύγχρονες, και συνεπώς απαιτούν ένα καλύτερο τρόπο εξυπηρέτησης από τις υπάρχουσες υπηρεσίες. Αυτό συμβαίνει κυρίως για τον λόγο ότι αυτές οι υπηρεσίες αν δεν εξυπηρετηθούν στον χρόνο που τους επιβάλλεται τότε τα δεδομένα που θα μεταφερθούν στον παραλήπτη θα είναι άχρηστα.

Επειδή στα IP networks , δεν υπάρχει κανένας μηχανισμός με τον οποίο να μπορούμε να αναγνωρίσουμε το είδος των περιεχομένων ενός πακέτου , δεν μπορούμε ούτε να τους προσφέρουμε διαφορετικό επίπεδο εξυπηρέτησης .

Το IP(internet protocol) έκανε κατορθωτή την ύπαρξη ενός παγκόσμιου δικτύου μεταξύ μιας μεγάλης και ατελείωτης ποικιλίας από συστήματα και μέσα μετάδοσης. Η ανταλλαγή e-mail και το web browsing είναι πλέον κομμάτι της καθημερινής μας ζωής στη δουλειά, στο διάβασμα, στο παιχνίδι. Και όπως φαίνεται και άλλα δίκτυα – τηλέφωνο, ραδιόφωνο, τηλεόραση – συγκλίνουν προς το IP για να καθοδηγήσουν την ελαστικότητα και την παρουσία του παντού. Με τα νέα αυτά δίκτυα παρουσιάζονται νέες εφαρμογές και περισσότεροι νέοι χρήστες. Δεν υπάρχουν ενδείξεις αν η φαινομενική ανάπτυξη του Internet θα σταματήσει ποτέ.

Ένας λόγος για την τρομερή επιτυχία του IP είναι η απλότητα του. Η θεμελιώδης αρχή σχεδίασης του IP είχε προέλθει από το “end-to-end argument”, το οποίο προωθεί την έξυπνη διαχείριση των άκρων του δικτύου – δηλ. την πηγή και τον προορισμό των hosts του δικτύου. Οι routers που υπάρχουν στις τομές του δικτύου πρέπει να κάνουν κάτι περισσότερο από το να ελέγχουν τον προορισμό της IP διεύθυνσης έναντι ενός forwarding πίνακα για να βρεί το επόμενο βήμα του IP datagram. Αν η κίνηση μέχρι το επόμενο βήμα είναι μεγάλη το datagram θα καθυστερήσει. Αν η ουρά είναι γεμάτη ή δεν είναι διαθέσιμη, ο router του IP μπορεί να

απορρίπτει (drop) το datagram. Το αποτέλεσμα δηλαδή είναι ότι το IP προσφέρει υπηρεσίες “best effort” οι οποίες προκαλούν απρόβλεπτες καθυστερήσεις και χάσιμο δεδομένων.

Όμως σήμερα τα πράγματα αλλάζουν . Το IP διαδικτύου που είχε σχεδιαστεί πριν δεκαετίες με όραμα να μεταφέρει απλώς δεδομένα δεν μπορεί σήμερα να ανταποκριθεί στις νέες απαιτήσεις των χρηστών που επιζητούν εξυπηρέτηση σύγχρονων υπηρεσιών με κάποιες εγγυήσεις.

3 - Το Internet και το IP

Το πρόβλημα με το IP

Το IP υποστηρίζει σήμερα μόνο μια κλάση εξυπηρέτησης. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι υπηρεσίες αντιμετωπίζονται μέσα στο δίκτυο μας με τον ίδιο τρόπο. Αυτή η κλάση υπηρεσιών ήταν ικανή όλα αυτά τα χρόνια να μας εξυπηρετήσει, λόγω του ότι μοναδική μας απαίτηση ήταν να παραδοθούν τα πακέτα μας. Δεν επιζητούσαμε ωστόσο άλλες εγγυήσεις σχετικά με την μεταφορά των πακέτων μας όπως για παράδειγμα μέγιστη καθυστέρηση μεταφοράς.

Οι λόγοι που το IP δεν είχε ποτέ την έννοια του QoS μέσα του είναι τρεις.

Πρώτα από όλα, το πρωτόκολλο TCP/IP δημιουργήθηκε για να είναι απλό. Δημιουργήθηκε για να προσφέρει ίση πρόσβαση στον καθένα μας χωρίς ιδιαίτερη εξυπηρέτηση σε κανένα. Η μόνη έννοια του TCP/IP ήταν να μεταφέρει με ασφάλεια πακέτα μεταξύ 2 σταθμών. Αν για κάποιο λόγο χάνονταν πακέτα, τότε ο παραλήπτης θα το καταλάβαινε και θα μπορούσε να ζητήσει αναμετάδοση.

Δεύτερο, ο τρόπος λειτουργίας των συσκευών του IP (π.χ. router) χρησιμοποιούν αλγόριθμους του τύπου FIFO. Με αυτό τον τρόπο δεν υπάρχει η έννοια πακέτων με προτεραιότητα. Προφανώς αν είχαμε ένα μικρό πακέτο που περιέχει πληροφορίες μιας σύγχρονης υπηρεσίας (π.χ. ήχο) και αυτό βρεθόταν πίσω από ένα πολύ μεγάλο πακέτο δεδομένων (που δεν χρειάζεται γρήγορη εξυπηρέτηση), τότε το μικρό πρέπει να περιμένει το μεγάλο να τελειώσει.

Τέλος μέχρι πρόσφατα δεν υπήρχε αξιολογητή ζήτηση νέων υπηρεσιών, πράγμα που ίσως επιτάχυνε αυτή την διαδικασία για δημιουργία ενός ενιαίου δικτύου προσφοράς πολύ-υπηρεσιών.

Bandwidth, Η λύση της αδυναμίας του IP ?

Σαν αποτέλεσμα της τρομερής ανάπτυξης του Internet, ήταν η αποκάλυψη της αδυναμίας του IP. Η αύξηση του διαθέσιμου bandwidth για αποφυγή της συσσώρευσης των links του Internet είναι η προφανής λύση. Αλλά το πρόβλημα είναι κάτι περισσότερο από ένα απλό θέμα χωρητικότητας.

Το θέμα δεν είναι μόνο ότι αυξήθηκε ο όγκος του traffic, αλλά ότι άλλαξε και η φύση του. Υπάρχουν πολλοί νέοι τύποι traffic, οι οποίοι προέρχονται από νέες IP εφαρμογές, οι οποίες διαφέρουν πολύ στις απαιτήσεις λειτουργίας τους.

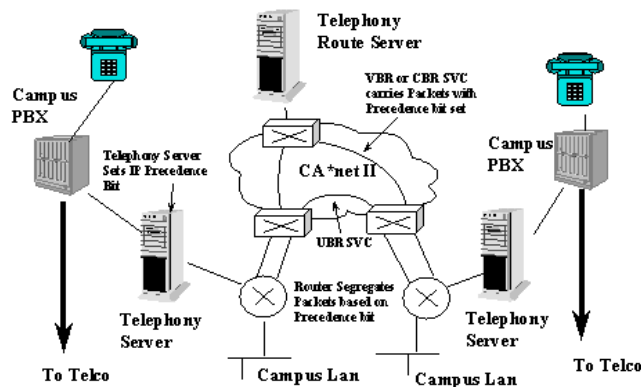
Νέες εφαρμογές και Internet

Εμφάνιση νέων εφαρμογών στο Internet

Μερικές από τις νέες εφαρμογές του Internet είναι τα πολυμέσα τα οποία απαιτούν σημαντικό bandwidth. Άλλες εφαρμογές απαιτούν αυστηρό χρονισμό, ή one-to-many ή many-to-many (multicast) συνάρτηση. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν δίκτυα των οποίων οι υπηρεσίες είναι πέρα από μια απλή “best effort” υπηρεσία.

Η IP τηλεφωνία αποτελεί πρωταρχικό στόχο για τις βιομηχανίες τηλεφωνίας και Internet. Αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον, αφού οι αρχές σχεδίασης πίσω από τα δίκτυα τηλεφωνίας είναι σχεδόν αντίθετες από αυτές του IP δικτύου. Το IP χρησιμοποιεί (datagram) packet – switching και προσφέρει best effort υπηρεσία, ενώ το δίκτυο τηλεφωνίας προσφέρει (connection – oriented) circuit – switching για να προσφέρει υπηρεσίες. Υπάρχει λόγος γι’αυτό : Μια διπλής κατευθύνσεως, real –time τηλεφωνική συνομιλία είναι μια απαιτητική εφαρμογή για το δίκτυο για να ικανοποιηθεί.

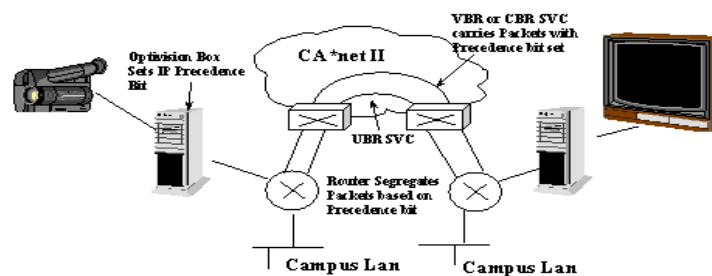
IP Telephony Architecture



Εκτός από την IP τηλεφωνία άλλες νέες εφαρμογές στο δίκτυο είναι:

- Το IP ραδιόφωνο
- Η IP τηλεόραση
- Τα discussion groups
- Τα interactive distance-learning game-shows
- Τα instant surveys
- Τα video conferencing

Room Based Video Conferencing using IP QoS



Επιπλέον απαιτήσεις των νέων εφαρμογών από το δίκτυο

Τα δίκτυα υπάρχουν για να υποστηρίζουν εφαρμογές . Διάφορες εφαρμογές δικτύου έχουν διαφορετικές απαιτήσεις λειτουργίας οι οποίες απαιτούν διαφορετικές υπηρεσίες δικτύου. Το αυξημένο traffic του δικτύου, απαιτεί **αύξηση στην χωρητικότητα του bandwidth**, αλλά νέες εφαρμογές όπως η IP τηλεφωνία έχει άλλες απαιτήσεις . Έτσι αυξάνοντας μόνο τη χωρητικότητα σε bandwidth δεν αποτελεί λύση, για όλες τις εφαρμογές.

Οι εφαρμογές του δικτύου μπορούν να χαρακτηριστούν με χρήση του πόσο προβλέψιμος είναι ο **ρυθμός πληροφοριών** (Πίνακας 1), και πόσο είναι η **ανεκτικότητα καθυστέρησης της παράδοσης** (tolerant of delay delivery) (Πίνακας 2).

Rate Type	Descriptions
Stream	Προβλεπτή παράδοση με σχετικά σταθερό bit rate (CBR). Για παράδειγμα, παρόλο που τα rates του αλλάζουν, τα streams δεδομένων του audio και του video, θεωρούνται σαν CBR επειδή έχουν υπολογίσιμο ανώτατο όριο.
Burst	Απρόβλεπτη παράδοση από “blocks” από δεδομένα με μεταβλητό bit rate (VBR). Εφαρμογές όπως μεταφορά αρχείου, μετακινούν τα δεδομένα σε μεγάλες ποσότητες, και έτσι μπορεί να αυξηθεί ο ρυθμός των δεδομένων για να χρησιμοποιηθεί όλο το διαθέσιμο bandwidth (δεν υπάρχει ανώτατο όριο).

Πίνακας 1 : Όροι που χαρακτηρίζουν την ευαισθησία των εφαρμογών σε καθυστερήσεις παράδοσης δεδομένων.

Delay Tolerance	Delivery Type	Description
<i>High</i>	Asynchronous	Δεν υπάρχουν περιορισμοί στο χρόνο παράδοσης
	Synchronous	Τα δεδομένα είναι ευαίσθητα στο χρόνο, αλλά ελαστικά.
	Interactive	Οι καθυστερήσεις μπορεί να είναι αισθητές στους χρήστες ή στις εφαρμογές , αλλά δεν επηρεάζουν την χρησιμότητα τους.
	Isochronous	Είναι ευαίσθητο έως κάποιο βαθμό και επηρεάζει τη χρησιμότητα.
<i>Low</i>	Mission – Critical	Καθυστερήσεις στη μεταφορά δεδομένων κάνει τη λειτουργικότητα αδύνατη.

Πίνακας 2: Όροι που χαρακτηρίζουν την ευαισθησία εφαρμογών για καθυστέρηση μεταφοράς δεδομένων.

Γενικά οι διπλής κατεύθυνσης εφαρμογές είναι πιο ευαίσθητες στις καθυστερήσεις από ότι οι μονής κατεύθυνσης εφαρμογές.

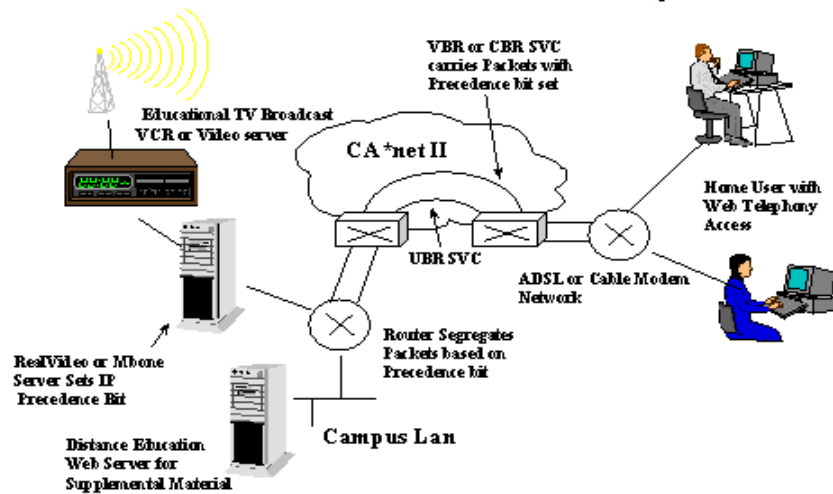
Ανάγκη προσφοράς multicast από το IP για υποστήριξη multimedia εφαρμογών

Όσο αφορά τα δίκτυα δεδομένων, η μετατροπή σε IP είναι βασικά τελειωμένη υπόθεση. Πολλές τεχνολογίες πληροφοριών και εφαρμογές εμπορίου έχουν ήδη μετακινηθεί στο IP. Οι περισσότερες εφαρμογές είναι low – priority και low – bandwidth, με υψηλή ανεκτικότητα καθυστέρησης, αλλά υπάρχουν και άλλες με αυστηρές λειτουργικές απαιτήσεις.

Για τα δίκτυα ραδιοφώνου και τηλεόρασεως, η μετατροπή σε IP έχει ξεκινήσει αλλά ακόμη έχει πολλή δουλειά. Πρώτα από όλα, χρειάζονται bandwidth. Τα broadcast μοντέλα που υπάρχουν σήμερα, ταιριάζουν πολύ με τα one-to-many IP multicast μοντέλα. Οι broadcasters εξυπηρετούν εκατομμύρια πελάτες, πράγμα που δεν μπορούν να κάνουν τα unicast στο Internet. Έτσι η ανάπτυξη του **multicast** είναι απαραίτητη για την μετατροπή της τηλεόρασης και του ραδιοφώνου σε IP.

Η προσφορά του IP δικτύου στις audio/video εφαρμογές είναι τεράστια. Το IP επιτρέπει νέες διαστάσεις στο χώρο των πολυμέσων. Μπορεί να περιλάβει συνδέσμους στο web, ή μπορεί να στέλνει slides και files ή άλλα περιεχόμενα κατά τη διάρκεια της μεταφοράς για εμπλουτισμό στην παράδοση. Επιτρέπουν επικοινωνίες διπλής κατεύθυνσης, έτσι ώστε αυτός που λαμβάνει κάτι να μπορεί να απαντήσει πίσω. Και αφού το multicast επιτρέπει στους παραλήπτες να μιλούν στους άλλους παραλήπτες (i.e many-to-many), ανοίγουν την πόρτα σε όλες τις νέες εφαρμογές (e.g discussion groups).

Broadcast Video with QoS



IP τηλεφωνία-Η πιο απαιτητική εφαρμογή του IP

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η IP τηλεφωνία είναι σήμερα πρωταρχική εφαρμογή. Η πίεση της αγοράς για να γίνει κατορθωτή η IP τηλεφωνία προκάλεσε την έκθεση των ελλείψεων των υπηρεσιών του IP και τόνισε τα προηγούμενα για να ορίσει τα standards και να αναπτύξει ελεγχόμενο bandwidth στα δίκτυα IP. Αν και είναι εφαρμογή πολυμέσων, η απαίτηση του σε bandwidth είναι γύρω στα 8 Kbps για κάθε άκρο, έτσι το πρόβλημα εδώ είναι το latency και όχι το bandwidth.

Για την IP τηλεφωνία – και άλλες real time ή εφαρμογές διπλής κατεύθυνσης, οι απαιτήσεις χρονισμού είναι πιο σημαντικές από ότι οι απαιτήσεις για bandwidth. Υπάρχει κάποιο πρόσωπο σε κάθε άκρο μιας συνομιλίας, και έχουν άμεση και εμφανή απόδειξη της ποιότητας του τηλεφωνήματος. Τυχόν καθυστερήσεις είναι πολύ εμφανείς. Καθυστερήσεις πάνω από 0.5s μπορεί να κάνει την υπηρεσία άχρηστη.

Οι πελάτες σήμερα χρησιμοποιούν cell – phones. Όσοι τα χρησιμοποιούν ξέρουν ότι δεν είναι τέλεια. Θόρυβοι και διακοπή τηλεφωνημάτων δεν είναι κάτι το ασυνήθιστο. Από την άλλη πλευρά το latency δεν ήταν ποτέ θέμα. Εκτός από τα short – comings, οι cell-phones τηλεφωνίες θεωρούνται καλύτερες από ότι το best effort IP service over the standard Internet.

Η αύξηση της χωρητικότητας του bandwidth θα βελτιώσει τις IP υπηρεσίες, έτσι ώστε αυτό να αποτελέσει το πρώτο βήμα για επίλυση του θέματος latency. Παρόλα αυτά δεν είναι αρκετό να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις εφαρμογής της τηλεφωνίας.

Σοβαρά Προβλήματα του Internet για τις νέες εφαρμογές

Bandwidth είναι η χωρητικότητα μεταφοράς σειράς δεδομένων, η πηγή από την οποία συνήθως κρίνουμε τις ικανότητες του δικτύου. Είναι μια μέτρηση για το πως πολλά bits πληροφοριών μπορούν να μεταφερθούν από ένα network από το ένα host στο άλλο ανά μονάδα χρόνου κάτω από ιδανικές συνθήκες. Δυστυχώς, τα περισσότερα δίκτυα απέχουν πολύ από τα ιδανικά. Και σε όρους της χωρητικότητας του bandwidth μεταξύ δύο hosts, το Internet δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως το ιδανικότερο.

Το Internet είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από πολλά δίκτυα, με μεγάλο πεδίο χωρητικότητας bandwidth και χαρακτηριστικά του latency. Η κατάσταση της σύνδεσης μεταξύ δύο χρηστών κατά μήκος του Internet κυμαίνεται από millisecond σε millisecond.

Το traffic των εφαρμογών του δικτύου είναι καταγεμισμένο, και έχοντας πολλές εφαρμογές να μοιράζονται τους ίδιους συνδέσμους του δικτύου την ίδια στιγμή, το αποτέλεσμα συνήθως είναι παροδική συμφόρηση. Η συμφόρηση προκαλεί καθυστερήσεις ή χάσιμο πληροφοριών.

Αυτό δεν ήταν πρόβλημα για εφαρμογές όπως e-mail, interactive file transfer και web browsing. Αλλά οι καθυστερήσεις μπορεί να είναι μοιραίες σε real – time εφαρμογές όπως η τηλεφωνία.

Συνεργασία IP , Τεχνολογιών που προσφέρουν Υψηλές Ταχύτητες Επικοινωνίας και Πρωτοκόλλων

Ανάπτυξη του Internet σημαίνει περισσότερα hosts, δίκτυα, χρήστες και εφαρμογές. Επομένως οι ανάγκες σε bandwidth του Internet, αυξάνονται. Έτσι η πρόσθεση μεγαλύτερων, και γρηγορότερων συνδέσεων δικτύων είναι αναγκαία.

Το πρόβλημα δεν είναι κατά πόσο το bandwidth θα είναι ελεύθερο αλλά ποιές θα είναι οι τεχνολογίες. Υπάρχουν πολλές οι οποίες βρίσκονται σε διάφορες φάσεις ανάπτυξης. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα βασίζονται σε fiber-optics, γεωστατικούς δορυφόρους, coaxial cables, UTPs (unshielded twisted pair) και standard telephone copper. Η αναπαραγωγή πρωτοκόλλων υψηλού bandwidth περιλαμβάνει ATM (Asynchronous Transfer Mode), Gigabit Ethernet, Frame Relay, SONET (Synchronous Optical Network), WDM (Wavelength Division Multiplexing), SMDS (Switched Multi-megabit Data Service), and xDSL (Digital Subscriber Line). Ο ανταγωνισμός, ο οποίος αυξάνεται με ραγδαίο ρυθμό, βασίζεται στο να κανονιστούν και να μπουν στην αγορά των επιχειρήσεων και των πελατών αυτές οι τεχνολογίες.

Η συνεργασία μεταξύ του IP, των τεχνολογιών υψηλών ταχυτήτων επικοινωνιών και των πρωτοκόλλων είναι απαραίτητη. Το IP είναι ανεξάρτητο από τα μέσα έτσι τυπικά δεν υπάρχει πρόβλημα. Παρόλα αυτά τα χαρακτηριστικά λειτουργίας μερικών μέσων δεν ταιριάζουν με τον μηχανισμό με τον μηχανισμό των IP. π.χ. Ο δορυφόρος είναι τις περισσότερες φορές μιας κατεύθυνσης, και μερικά πρωτόκολλα όπως το TCP είναι διπλής κατεύθυνσης. Ακόμα κι όταν ο δορυφόρος έχει κανάλι επιστροφής , μπορεί να μην είναι συμμετρικό. Το γεγονός ότι ο δορυφόρος προσφέρει πολύ υψηλό bandwidth και υψηλό latency, αυξάνει τα πράγματα με τα οποία πρέπει κάποιος να ασχοληθεί. Το πλεονέκτημα του δορυφόρου είναι η τέλεια IP multicast υποστήριξη η οποία ελαχιστοποιεί τις προκλήσεις ανάπτυξης του multicast.

Γιατί όχι 'Best Effort' IP ?

Το best effort του IP προσφέρει υπηρεσίες που ικανοποιούν τις οποιοσδήποτε απαιτήσεις εφαρμογών. Αυτό αληθεύει αν υποθέσουμε ότι το bandwidth του δικτύου είναι ικανοποιητικό για να αποφεύγει τυχόν καθυστερήσεις ή απόρριψη datagrams. Αλλά όπως γνωρίζει ο καθένας οι καθυστερήσεις του δικτύου είναι κάτι το συνηθισμένο. Η κίνηση του Internet αυξάνεται ανάλογα με το ελεύθερο bandwidth και έτσι οι καθυστερήσεις είναι αναπόφευκτες. Επίσης υπάρχουν στιγμές που η κίνηση αυξάνεται με εξωπραγματικές αναλογίες. Έτσι όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο το best effort του IP το οποίο προσφέρει ίσες υπηρεσίες σε όλους τους χρήστες, δεν είναι καλό.

Η Ανάγκη Διαχείρισης του traffic

Η εμφανής λύση για τη διαχείριση αυτών των μέγιστων περιόδων είναι το δίκτυο να επιβλέπεται, για να μπορεί να προσφέρει επιπρόσθετο bandwidth σε αυτούς τους υψηλούς ρυθμούς δεδομένων κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής απαίτησης. Είναι όμως φανερό, ότι αυτό δεν είναι οικονομικά εφικτό, τουλάχιστο όχι με τις σημερινές τεχνολογίες bandwidth.

Το IP και το bandwidth είναι απαραίτητα αλλά κανένα δεν είναι ικανοποιητικό για όλες τις εφαρμογές. Το best effort δεν μπορεί πάντοτε να προσφέρει εύχρηστες υπηρεσίες. Ακόμα και σε ένα IP δίκτυο το οποίο δεν είναι βαρυφορτωμένο, παρουσιάζει καθυστερήσεις και έτσι επηρεάζει κάποια real time εφαρμογή.

Για να προσφέρονται εγγυήσεις υπηρεσιών, οι υπηρεσίες IP πρέπει να συμπληρωθούν. Πρέπει να γίνεται έξυπνος διαχωρισμός του traffic στο δίκτυο που θα επιτρέπει την ύπαρξη διαφόρων επιπέδων υπηρεσιών για διαφορετικούς χρήστες και την ύπαρξη διαφόρων επιπέδων υπηρεσιών για διαφορετικούς χρήστες και εφαρμογές. Με άλλα λόγια το IP χρειάζεται ένα διαχειριστή του bandwidth.

4 . QoS (Quality of Service)

Τι είναι QoS

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

Αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι δεν μπορούμε να προσθέσουμε ποιότητα υπηρεσίας στο IP. Πριν όμως αναλύσουμε το θέμα ποιότητα υπηρεσίας στο IP είναι καλό να δώσουμε ένα ορισμό: Το IP QoS καθιστά ικανό το δίκτυο να μεταφέρει δεδομένα από χρήστη σε χρήστη (end to end) με εγγυημένη μέγιστη καθυστέρηση και εγγυημένο ρυθμό μεταφοράς (rate) που βασίζεται στις ανάγκες της διεργασίας του χρήστη (πάντοτε με καθορισμένα συμφωνημένα όρια λάθους).

Χαρακτηριστικά του QoS

Σύμφωνα με το CCITT Recommendation E.800, το QoS περιγράφεται ως εξής :

“Η συλλογική συνέπεια της ποιότητας υπηρεσίας, η οποία καθορίζει τον βαθμό ικανοποίησης του χρήστη ως προς την υπηρεσία. “

Αυτός ο ορισμός συνδέει το QoS με την υπηρεσία που παρέχεται στους χρήστες. Εντούτοις βλέποντας το από την οπτική γωνία ενός δικτύου που παρέχει υπηρεσίες, υπάρχουν συγκεκριμένα **σημαντικά ποσοτικά χαρακτηριστικά** τα οποία μπορούν να ελεγχθούν έτσι ώστε να παρέχονται συγκεκριμένα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας. Αυτά είναι τα πιο κάτω :

Καλέσματα και διασυνδέσεις (Calls and Connections)

Η καθυστέρηση που υφίστανται τα πακέτα λόγω της κίνησης στο δίκτυο είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει αισθητά το QoS.

Διάφοροι παράγοντες καθυστέρησης, έχουν διαφορετική επίδραση σε διαφορετικά είδη υπηρεσιών :

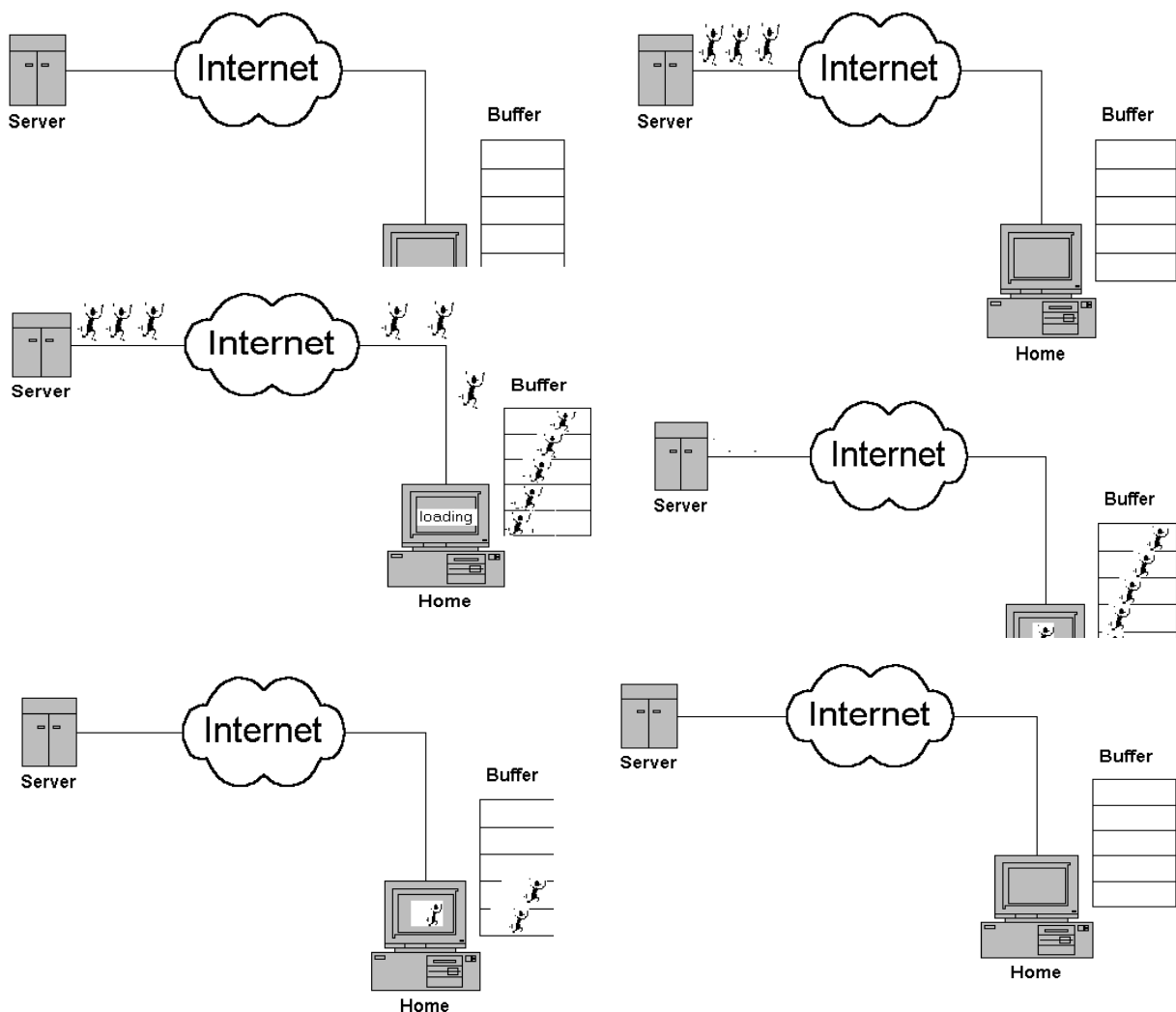
- **End-to-end delay:** είναι το χρονικό διάστημα της μεταφοράς του πακέτου από τον αποστολέα στον παραλήπτη, μέσω του δικτύου. Όσο πιο μεγάλο είναι το delay, τόσο πιο μεγάλη είναι η πίεση που υποβάλλεται στο πρωτόκολλο μεταφοράς για να λειτουργήσει αποδοτικά. Για το πρωτόκολλο TCP, τα ψηλά επίπεδα καθυστέρησης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

Οι διαλογικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Interactive Real Time applications), όπως για παράδειγμα η μεταφορά ήχου, είναι ευαίσθητες στο end-to-end delay και στο jitter. Οι μεγάλες καθυστερήσεις έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της διαλογικότητας στην επικοινωνία.

Μη διαλογικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου (non-interactive real time applications) , όπως για παράδειγμα εκπομπή μονής κατεύθυνσης (one-way broadcast) , δεν είναι ευαίσθητες ως προς

το end-to-end delay αλλά επηρεάζονται από το jitter. Το jitter συνήθως διευθετείται με την χρησιμοποίηση ενός buffer στον παραλήπτη, όπου αποθηκεύονται τα παραλαμβανόμενα πακέτα και “παίζονται” (εκτελούνται) στην κατάλληλη χρονική μετατόπιση (time offset). Η χρονική μετατόπιση – που ονομάζεται επίσης και “playback point” – καθορίζεται σύμφωνα με το μέγιστο jitter. Εφαρμογές οι οποίες μπορούν να προσαρμόσουν το “playback point” βασισμένες στις αλλαγές της τιμής του jitter ονομάζονται προσαρμοζόμενες εφαρμογές (adaptive applications)· ένα παράδειγμα είναι το vat. Πακέτα που φτάνουν στον παραλήπτη αφού περάσει το “playback point” που τους αντιστοιχεί, δεν είναι χρήσιμα ως προς την εφαρμογή.

Στα πιο κάτω σχήματα φαίνεται η λειτουργία του buffer. Δηλαδή πως αποθηκεύονται και πως εκτελούνται τα διάφορα πακέτα.



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

- **Καθυστέρηση Μετάδοσης (Transmission Delay)**

Ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταφέρουμε όλα τα bits του πακέτου πάνω στην σύνδεση.

- **Καθυστέρηση Μεταφοράς (Propagation Delay)**

Ο χρόνος που χρειάζεται ένα bit για να διασχίσει την σύνδεση μέσω της οποίας γίνεται η μεταφορά δεδομένων.

- **Καθυστέρηση Επεξεργασίας (Processing Delay)**

Ο χρόνος που χρειάζεται για επεξεργασία πακέτου και μετατροπή του σε στοιχείο δικτύου (network element).

- **Καθυστέρηση Ουράς (Queuing Delay)**

Ο χρόνος που πρέπει να περιμένει το πακέτο στην ουρά πριν να προγραμματιστεί η μετάδοση του.

Καθυστερήσεις μπορούν επίσης να υπάρχουν στην μεταφορά του πακέτου από το επίπεδο δικτύου στο επίπεδο εφαρμογής και τελικά στον χρήστη.

Το QoS δεν δημιουργεί bandwidth. Είναι αδύνατο για κάποιο δίκτυο να δώσει κάτι που δεν έχει, έτσι το bandwidth availability είναι σημείο αναφοράς. Το QoS διαχειρίζεται το bandwidth ανάλογα με τις απαιτήσεις κάποιας εφαρμογής και τα settings κάποιου δικτύου.

Bandwidth: είναι ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ο οποίος μπορεί να εγκαθιδρυθεί μεταξύ δύο σημείων. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό δεν περιορίζεται μόνο από τη φυσική εσωτερική δόμηση του μονοπατιού που δημιουργείται μεταξύ των επικοινωνούντων δικτύων και παρέχει ένα ανώτατο όριο στο bandwidth που μπορεί να προσφέρει, αλλά επηρεάζεται

επίσης από τον αριθμό των άλλων ροών δεδομένων που μοιράζονται κοινούς συντελεστές του ίδιου μονοπατιού.

Το bandwidth που κρατείται για κάποια εφαρμογή δεν είναι πλέον ελεύθερο για τις best effort υπηρεσίες. Η προτεραιότητα των QoS σχεδιαστών ήταν να διασφαλίσουν ότι το best effort traffic δεν θα παρουσιάζει φαινόμενα παρατεταμένης στέρησης μετά τις κρατήσεις που έχουν γίνει. Η χειρότερη περίπτωση πρέπει να είναι οι υπηρεσίες με low priority στις οποίες απλά θα προσφέρονται λιγότερες υπηρεσίες μεν, αλλά θα τους προσφέρονται.

Ρυθμοαπόδοση (Throughput)

Το **bandwidth** είναι σημαντικός παράγοντας για το throughput. Αυτό καθορίζει πόση κίνηση μπορεί να ανεκτεί η εφαρμογή μέσα στο δίκτυο. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες είναι τα **λάθη** – που συνήθως σχετίζονται με το link error rate – και οι **απώλειες** – που συνήθως σχετίζονται με την χωρητικότητα του buffer.

Ορισμένες εφαρμογές, μπορούν να μειώσουν το ποσοστό της κίνησης όταν υπάρχουν ενδείξεις ότι το throughput βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Τέτοιες εφαρμογές ονομάζονται rate adaptive.

Το εύρος ζώνης εξαρτάται από τα ακόλουθα :

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

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

Στην περίπτωση του UDP, εφαρμογές που βασίζονται στον ήχο και στο video, η αναξιοπιστία προκαλεί παραμόρφωση του πραγματικού αναλογικού σήματος στο άκρο του παραλήπτη.

Ανάλογα, όταν αναφερόμαστε στην διαφοροποίηση ποιότητας υπηρεσίας, αναφερόμαστε στην διαφοροποίηση ενός ή περισσότερων, από τους τέσσερις συντελεστές μέτρησης της ποιότητας για μια συγκεκριμένη κατηγορία του traffic.

Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται οι απαντήσεις των real time εφαρμογών όσο αφορά τους συντελεστές στην ποιότητα της υπηρεσίας σε αντίθεση με τις ελαστικές εφαρμογές.

Sensitive/tolerant to...	Real-time	Elastic
Delay	Sensitive	Tolerant
Jitter	Sensitive	Tolerant
Bandwidth	Sensitive	Sensitive
Loss of data	Tolerant	Sensitive

Πίνακας3: Real time Vs. Elastic traffic

Όπως φαίνεται από τα πιο πάνω, ένας αριθμός χαρακτηριστικών των διαφόρων στοιχείων ενός δικτύου - όπως για παράδειγμα terminals/hosts, links, switches (routers) – καθορίζουν την ποιότητα υπηρεσίας που θα προσφέρεται από τις διάφορες εφαρμογές υπό μορφή καθυστέρησης και throughput metrics.

Υλοποίηση Ποιότητας Υπηρεσίας μέσα στο Internet

Δεδομένου ότι μπορούμε να ορίσουμε μερικές βασικές παραμέτρους για την ποιότητα υπηρεσίας, το επόμενο θέμα είναι πώς η ποιότητα υπηρεσίας μπορεί να υλοποιηθεί μέσα στο Internet.

Το Internet αποτελείται από μια συλλογή από routers και συνδέσμους μετάδοσης. Οι routers παραλαμβάνουν ένα εισερχόμενο πακέτο, καθορίζουν το επόμενο interface στο οποίο θα κατευθυνθούν, και τοποθετούν το πακέτο στην ουρά εξόδου του επιλεγμένου interface. Οι σύνδεσμοι μεταφοράς έχουν χαρακτηριστικά για το delay, το bandwidth και την αξιοπιστία. Φτωχή ποιότητα υπηρεσίας παρατηρείται όταν το επίπεδο του traffic που επιλέγει ένα

συγκεκριμένο interface, ξεπεράσει το bandwidth μεταφοράς του interface για μια παρατεταμένη χρονική περίοδο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι ουρές εξόδου του router που σχετίζονται με το συγκεκριμένο interface, αρχίζουν να γεμίζουν , προκαλώντας επιπλέον καθυστέρηση στην μεταφορά (αυξανόμενο jitter και delay), μέχρι που σε κάποιο σημείο η ουρά γεμίζει και ο router τότε αναγκάζεται να αρχίσει να απορρίπτει πακέτα (μειωμένη αξιοπιστία). Το γεγονός αυτό αναγκάζει τις προσαρμοζόμενες ροές δεδομένων να μειώσουν το ρυθμό που στέλνουν τα δεδομένα (sending rate) για να μειωθούν έτσι οι απώλειες λόγω της συμφόρησης με την μείωση του bandwidth για κάθε εφαρμογή.

Ανάλογα, όταν αναφερόμαστε στην ποιότητα υπηρεσίας, κοιτάζουμε αυτά τα τέσσερα μετρικά σαν τις βασικές παραμέτρους της ποιότητας , και πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει μια ποικιλία από γεγονότα που συμβαίνουν στο δίκτυο και επηρεάζουν τις τιμές των παραμέτρων αυτών.

5. Service Level Agreement (SLA) & Quality of Services (QoS)

Ορισμός και Παραμέτρους

Το service level agreement μπορεί να εφαρμοστεί για όλους τους πελάτες κάποιου παροχέα υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων και των dial-up, corporate, wholesale, ή peer network πελάτες.

Το SLA είναι ένα απλό standard συμβόλαιο για ένα σύνολο από πελάτες. Χαρακτηρίζει τις προδιαγραφές των end-to-end υπηρεσιών και μπορεί ν' αποτελείται από τα ακόλουθα:

- **Διαθεσιμότητα (Availability)**-εγγυημένος χρόνος και καθυστέρηση(latency) υπηρεσιών (σε μερικές περιπτώσεις αυτή η καθυστέρηση θεωρείται ως η καθυστέρηση πρόσβασης στο δίκτυο).
- **Προσφορά Υπηρεσιών (Service offered)**-Καθορισμός των επιπέδων υπηρεσιών που προσφέρονται.
- **Εγγυήσεις Υπηρεσίας (Service guarantees)**-to throughput, to loss rate, to delay, to delay variation κάθε τάξης, καθώς και ο χειρισμός των τάξεων ανάλογα με την συνδρομή.
- **Ευθύνες (Responsibilities)**-συνέπειες για πιθανή παράβαση των κανόνων του συμβολαίου.
- **Έλεγχος Υπηρεσίας (Auditing the service)**
- **Κοστολόγηση (Pricing)**

Σημαντικά για το SLA είναι τα επίπεδα υπηρεσιών ή οι τάξεις, τα οποία είναι διαθέσιμα για τους χρήστες που βρίσκονται σε traffic. Αυτά είναι γνωστά ως LoS (level of service) ή CoS (class of service).

Ταξιδεύοντας κάτω από διαφορετικές τάξεις υπηρεσιών, οι πελάτες λαμβάνουν διαφορετικά επίπεδα ποιότητας εξυπηρέτησης. Γι' αυτό μια σημαντική λειτουργία του SLA είναι η ανάθεση ευθύνης για κατάταξη του traffic σε διάφορες CoS που προσφέρονται.

Για την ανάπτυξη επιπέδων υπηρεσιών στο IP αρχικά θα υλοποιηθούν πολύ απλές εφαρμογές, όπως αρχιτεκτονικές duo-bit διαφοροποιημένων υπηρεσιών.

Παρόλο που οι χρήστες κατανόησαν την διαφορά στην ποιότητα εφαρμογών όταν υπάρχουν CoS, δεν είναι πρόθυμοι να πληρώσουν κάποιο επιπρόσθετο ποσόν για να τους παρέχεται η ποιότητα αυτή.

Ο πίνακας που ακολουθεί είναι παράδειγμα ενός απλού συνόλου από **IP QoS levels** και τις αντίστοιχες εφαρμογές τους.

Επίπεδο Υπηρεσιών	Εφαρμογές	Ανάθεση Προτεραιότητας
1.	<ul style="list-style-type: none"> Μη-σημαντικά δεδομένα Εφαρμογές παρόμοιες με αυτές του σημερινού Internet Εφαρμογές με μη εγγυημένο ελάχιστο ρυθμό πληροφοριών 	<ul style="list-style-type: none"> Best Effort Παράδοση Απόδοση χωρίς διαχείριση
2.	<ul style="list-style-type: none"> Σημαντικά δεδομένα VPN outsourcing, e-commerce 	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλός ρυθμός απωλειών Ελεγχόμενη καθυστέρηση
3.	<ul style="list-style-type: none"> Real-time εφαρμογές Video steaming, voice, video conferencing 	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλή καθυστέρηση Χαμηλός ρυθμός απωλειών

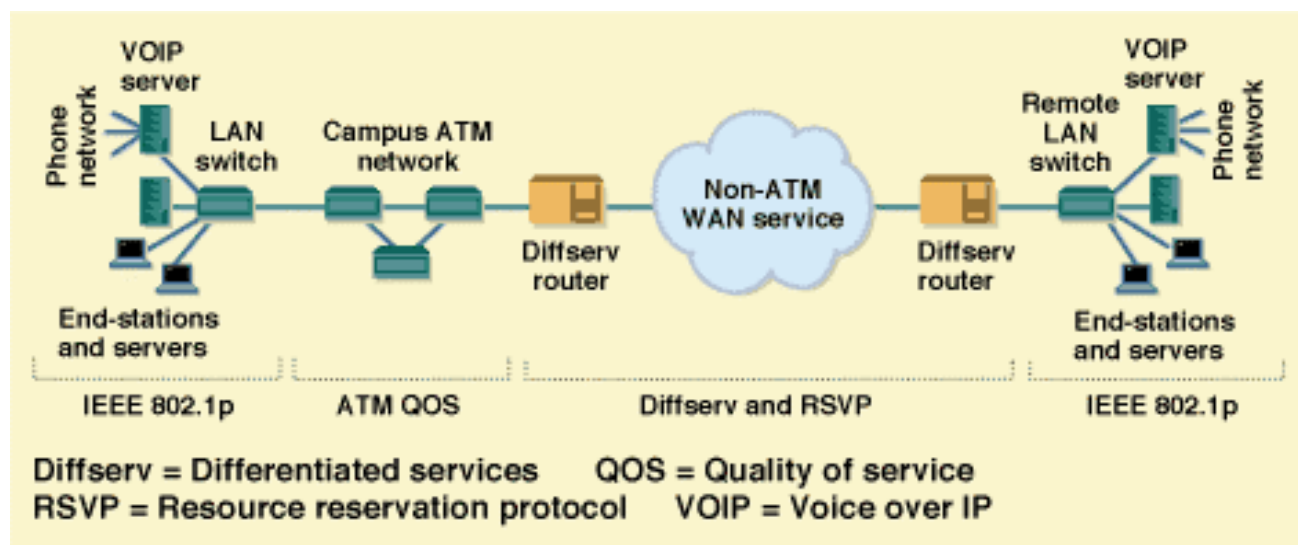
Πίνακας 4: Παράμετροι QoS

Λόγω του συμβολαίου που υπογράφεται στο SLA, τόσο ο πελάτης όσο και ο προμηθευτής υπηρεσιών, μπορούν να παρακολουθούν την απόδοση της υπηρεσίας.

Ο πελάτης το παρακολουθεί για να βλέπει αν ο προμηθευτής ακολουθεί τους όρους του συμβολαίου. Ο προμηθευτής το παρακολουθεί για να βλέπει τυχόν παράπονα του πελάτη ή τυχόν παραβιάσεις έτσι ώστε να λάβει μέτρα.

Ο διαχωρισμός της κίνησης σε κατηγορίες (traffic classification) , κάνει δύο πράγματα δυνατά . Μπορεί να δοθεί προτεραιότητα στα πακέτα ανάλογα με τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης εφαρμογής, και συγκεκριμένοι τύποι κίνησης με παρόμοιες απαιτήσεις υπηρεσίας μπορούν καταταχθούν στο ίδιο σύνολο, έτσι ώστε ο χειρισμός τους να είναι δίκαιος και αποδοτικός. Η δημιουργία του CoS (Class of Service) στην δικτύωση επιβεβαιώνει ότι η κίνηση υψηλής προτεραιότητας, που είναι ευαίσθητη στην καθυστέρηση και στο jitter θα εξυπηρετείται πάντα πριν από την κίνηση χαμηλής προτεραιότητας.

Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται πως το video με χαμηλό jitter, και ο ήχος με χαμηλό delay μπορούν να μεταφερθούν σε ένα δίκτυο που διαχωρίζει την κίνηση σε κατηγορίες.



Ποιότητα Υπηρεσίας στο Δίκτυο

Μια ματιά στον διαχωρισμό της κίνησης σε κατηγορίες (classes classification) δείχνει πως το QoS υλοποιείται από χρήστη σε χρήστη (end to end). Σε ένα LAN , δίνεται προτεραιότητα στα πακέτα μέσω του 802.1p. Το DiffServ και το RSVP χρησιμοποιούνται σε non-ATM WANs.

Υπάρχουν διαθέσιμα δύο ήδη QoS:

- **Resource reservation** (integrated services): οι πηγές του δικτύου μοιράζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών και υπάρχει πολιτική διαχείρισης του bandwidth. Το RSVP προσφέρει μηχανισμούς για να γίνει αυτό (IntServ).
- **Prioritization** (differentiated services): Το traffic του δικτύου κατηγοριοποιείται σε τάξεις οι οποίες χρησιμοποιούν τις πηγές του δικτύου ανάλογα με τα κριτήρια διαχείρισης του bandwidth. Οι κατηγοριοποιήσεις δίνουν ανάλογη διαχείριση στις εφαρμογές αφού αναγνωρίσουν ότι έχουν περισσότερες απαιτήσεις εφαρμογής. Το DiffServ το προσφέρει αυτό.

Τα πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι του QoS είναι συμπληρωματικοί.

Ανάγκη για Διαχείριση του QoS

Ενεργοποιώντας το QoS – πράγμα που επιτρέπει σε ένα χρήστη να έχει καλύτερη εξυπηρέτηση από κάποιο άλλο – δημιουργούμε την ενθάρρυνση για κλοπή. Σαν αποτέλεσμα, το QoS απαιτεί πολιτική ενδυνάμωσης η οποία θα απαιτεί πολιτική διαχείρισης της υποδομής.

Παρόλα αυτά δεν μπορούμε να εφαρμόσουμε κάποια πολιτική εκτός και αν μπορούμε να καθορίσουμε τις ταυτότητες των χρηστών του δικτύου, και να αναθέσουμε ένα επίπεδο εμπιστοσύνης. Αυτό υπονοεί την ανάγκη μιας αυθεντικής υποδομής.

Επιπλέον αφού το QoS προσφέρει επιπρόσθετη αξία, αξίζει περισσότερο. Έτσι το QoS υπονοεί την ανάγκη για υποδομή στη λογιστική και στους λογαριασμούς.

Άρα οι πιο κάτω τρεις υπηρεσίες – **Policy Management**, **Authentication** και **Accounting/Billing** – είναι απαραίτητες στην επιτυχία του QoS. Και οι τρεις μαζί αναπαριστούν τεχνικές προκλήσεις οι οποίες διευθυνσιοποιούνται, και αντιπροσωπεύουν μοναδικές νέες ευκαιρίες των επιχειρήσεων.

Ακόμη κάτι που πρέπει να θεωρηθεί σημαντικό και εφαρμόζεται και στις τρεις υπηρεσίες είναι η διαχείριση διευθετήσεων μεταξύ διαφόρων Internet Service Providers (ISPs).

Εργαλεία που χρησιμοποιούνται για μετατροπή από “best effort” δίκτυο σε δίκτυο που προσφέρει εύρωστα διαφοροποιημένα περιβάλλοντα υπηρεσιών

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην προσπάθεια μας να πάρουμε ένα δίκτυο, που το περιβάλλον του χαρακτηρίζεται από την γενική μορφή του “best effort”, και να παρουσιάσει σε αυτό δομές οι οποίες προσφέρουν διαφοροποίηση στην υπηρεσία, χρησιμοποιούμε διάφορα εργαλεία. Τα εργαλεία αυτά τα οποία επιτρέπουν στο περιβάλλον της υπηρεσίας να δομηθεί, αποτελούν διαμορφώσεις μέσα στους routers του δικτύου που σχεδιάζονται για να υλοποιήσουν ένα από τα ακόλουθα:

- Να δώσουν σήμα στους συνδέσμους μεταφοράς του χαμηλότερου επιπέδου, για να χρησιμοποιήσουν διαφορετικά κριτήρια υπηρεσίας στην μεταφορά συγκεκριμένων υπηρεσιών.
- Να αλλάξει ο αλγόριθμος επιλογής του επόμενου interface, για επιλογή ενός άλλου interface που ταιριάζει με τα επιθυμητά επίπεδα υπηρεσίας.
- Η μετατροπή της καθυστέρησης στην ουρά του router και των αλγορίθμων απόρριψης πακέτων , έτσι ώστε τα πακέτα να προγραμματίζονται για να παραλαμβάνουν πόρους μεταφοράς σύμφωνα με το ανάλογο επίπεδο υπηρεσίας.
- Η τέχνη για την εφαρμογή ενός αποδοτικού QoS περιβάλλοντος είναι η χρησιμοποίηση αυτών των εργαλείων , με κάποιο τρόπο έτσι ώστε να δομούν εύρωστα διαφοροποιημένα περιβάλλοντα υπηρεσιών.

6 - Προτεινόμενες Λύσεις για πρόσφορα QoS σε δίκτυα

Υπάρχουν γενικά **δύο βασικοί μηχανισμοί για να παρέχουμε Ποιοτητα Υπηρεσιών** ή οποία θα στηρίζεται σε εγγυήσεις πάνω σε μετρήσιμες παραμέτρους όπως για παράδειγμα καθυστερήσεις (delays) και απόδοση (throughput).

Αυτοί οι τρόποι είναι :

- A) Η παροχή άφθονων πόρων (bandwidth, ισχυρών συσκευών δικτύου κ.τ.λ) (Plentiful Capacity)
- B) Η ορθολογιστική σχεδίαση & διαχείριση του δικτύου (Traffic Engineering)

Με **την παροχή άφθονων πόρων** , η υπόθεση που ισχύει είναι ότι υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι πόροι στο δίκτυο μας ανά πάσα στιγμή , κατα τέτοιο τροπο που να μην χρειάζεται να υπαρχει κανένας συγκεκριμένος “έξυπνος” μηχανισμός που να κάνει αυτή την διαχείριση.

Οι άφθονοι πόροι υποδηλώνουν ότι τα δίκτυα μας θα παρέχουν πρώτο Συνδέσεις Υψηλών ταχυτήτων όπως είναι οι οπτικές ίνες ή ακόμα και συστρεφόμενες καλωδιώσεις χαλκού τύπου Cat5. Δεύτερο θα πρέπει να υπαρχει αρκετή υπολογιστική ισχύς μέσα στο δίκτυο , δηλαδή γρήγορη επεξεργασία από τις συσκευές του δικτύου όπως είναι ο router το hub και τις κάρτες διασύνδεσης. Τρίτο να υπάρχουν διαθέσιμοι άφθονοι καταχωρητές (buffers) , που θα μας εγγυώνται ότι δεν θα χάνονται εύκολα πακέτα αν πάθει υπερχειλίση η ουρά ενός hop λόγω υπερφόρτωσης.

Αυτοί οι τρεις παράγοντες είναι ίσως αρκετοί σχετικά με την ποιότητα εξυπηρέτησης , κυρίως σε τοπικά και κλειστά δίκτυα όπως το LAN. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του ελεγχόμενου φόρτου σε τέτοια δίκτυα , όπου γνωρίζουμε κατα προσέγγιση από πριν τι εφαρμογές θα διακινηθούν αλλά επίσης επειδή γνωρίζουμε την συμπεριφορά των χρηστών μας. Οι παράγοντες που αναφέρθηκαν πιο πάνω οπωσδήποτε δεν μπορούν να ανταποκριθούν σε τεραστία δίκτυα όπως είναι το Internet, όπου έχουμε ένα απροσδιόριστο αριθμό χρηστών αλλά και ένα απροσδιόριστο τροπο συμπεριφοράς των χρηστών μας.

Με την τήρηση των τριών παραγόντων που προαναφέρθηκαν , θα μπορούσαμε να αυξήσουμε το ολικό εύρος ζώνης σε ένα δίκτυο. Το πλεονέκτημα είναι ότι θα μειωθούν σημαντικά οι καθυστερήσεις μέσα στο δίκτυο μας (λόγω της χρήσης καλού και γρήγορου υλικού (π.χ οπτικές

ίνες) , αλλά επίσης ο ρυθμός εξυπηρέτησης των πελατών θα αυξηθεί και αυτός σημαντικά, αφού πλέον κάθε πακέτο εξυπηρετείται γρηγορότερα.

Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι πάλι παραμένουμε στο ένα επίπεδο εξυπηρέτησης. Δηλαδή και πάλι αν βρεθεί το πακέτο ήχου που αναφέραμε στο παράδειγμα 1.1 , πίσω από το τεράστιο αρχείο δεδομένων , τότε το πακέτο ήχου θα είναι και πάλι αναγκασμένο να περιμένει μέχρι να εξυπηρετηθεί το αρχείο δεδομένων που του προηγήθηκε. Μειονέκτημα επίσης αποτελεί το κόστος εγκατάστασης αυτής της λύσης, που κατα την άποψη μας θα είναι απαρχαιωμένη πριν εγκατασταθεί.

Συνεπώς αυτή η λύση θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως απλή αναβάθμιση του IP διαδικτύου , σε IP διαδικτύου με ψηλότερο ρυθμό εξυπηρέτησης και τίποτα περισσότερο. Αυτό σημαίνει ότι και πάλι το διαδίκτυο δεν θα μπορεί να ανταποκριθεί σε νέες σύγχρονες και άλλες υπηρεσίες .

Σε αυτή την κατηγορία μπορούμε να εντάξουμε τα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων τα οποία κυκλοφορούν ή αναμένεται να κυκλοφορήσουν, όπως για παράδειγμα το Fast Ethernet 100Mbps , Gigabit Ethernets, WDM. Αυτές οι τεχνολογίες ανταγωνίζονται σήμερα τα δίκτυα προσφοράς πολυμέσων και πολυπηρεσιών όπως είναι το ATM, DQDB, FDDI II κ.α. Φαίνεται ότι τα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων παρόλο που δεν έχουν χτισμένους εσωτερικούς μηχανισμούς , για εγγύηση της ποιότητας εξυπηρέτησης και στηριζόμενα στις ψηλές τους επιδόσεις καταφέρνουν σήμερα να προσυτιλιτίζουν αρκετούς πελάτες και οργανισμούς . Αυτό οφείλεται ότι οι αρχιτεκτονικές αυτές είναι σχετικά απλές (αφού παραμένουν παρόμοιες με παλαιότερες), είναι συμβατές με τις υπάρχουσες τεχνολογίες όπως το Ethernet 10Mbps και τέλος οι περισσότεροι πιστεύουν ότι είναι και φθηνή η αναβάθμιση τους σε τέτοιες αρχιτεκτονικές. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι ακόμα και σήμερα η υλοποίηση δικτύων υψηλών ταχυτήτων απαιτεί μεγάλα Κόστα αφού τέτοιες αρχιτεκτονικές δεν έχουν μπει ακόμα στην παραγωγή σε μεγάλο βαθμό.

Μια δεύτερη έκδοση του μοντέλου άφθονων πόρων που έχει περιγράψει πιο πάνω , είναι ένα άλλο μοντέλο που λέει ότι ακόμα και αν δεν υπάρχει αρκετό bandwidth διαθέσιμο , οι εφαρμογές που τρέχουμε μπορούν να υποστούν κάποια μεγαλύτερα ποσά καθυστέρησης και μεγαλύτερα ποσά χασίματος πακέτων. Αυτό το μοντέλο ονομάζεται Application Adaptation. Ωστόσο σε αυτό το μοντέλο και πάλι δεν δίνεται οποιαδήποτε εγγύηση σχετικά με το αν μπορούν να ικανοποιηθούν τα όρια του QoS της κάθε υπηρεσίας, και έτσι ούτε αυτό το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλα και απροσδόκητα δίκτυα όπως το Internet.

Η **Ορθολογιστική σχεδίαση και διαχείριση του δικτύου μας** , όπως θα μπορούσε να μεταφραστεί από τον αγγλικό όρο **Traffic Engineering** , αποτελεί την δεύτερη από τις δυο μεθόδους που είχαμε προαναφέρει , για την πρόσφορα Ποιότητας Εξυπηρέτησης.

Η βασική ιδέα εδώ είναι ότι κυκλοφορία (traffic) των χρηστών-πελατών μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με τέτοιο τροπο ώστε να προσφέρεται διαφορετική ποιότητα εξυπηρέτησης σε κάθε κατηγορία. Αυτό η διαφοροποίηση των υπηρεσιών δεν είναι νέα ιδέα . Η ITU-T ήδη από το 1984 είχε εγκρίνει ήδη τις βασικές συστάσεις του ολοκληρωμένου δικτύου ISDN. Οι υπηρεσίες που προτάθηκαν τότε ήταν: digital phone, modem, fax. Τότε είχαν οριστεί 4 κλάσεις που χαρακτηρίστηκαν αργότερα σαν “to little too late”.

Το **Traffic Engineering** έχει δυο υποκατηγορίες . Αυτές είναι το **Reservation-based Engineering** και δεύτερο το **Reservation-less Engineering**

1. **Reservation-Based Engineering**, είναι το μοντέλο όπου οι πόροι για την μετάδοση μιας υπηρεσίας κατακρατούνται εκ των πρότερων σε όλη την έκταση του δικτύου. Έτσι οι κομβοί του δικτύου μας κατηγοριοποιούν τα εισερχόμενα πακέτα , και ανάλογα με την κατακράτηση των πόρων που είχαν κάνει από πριν , τους δίνεται και η κατάλληλη εξυπηρέτηση. Με αυτό τον τροπο παρέχεται διαφοροποιημένη (differentiated) εξυπηρέτηση στα πακέτα που διακινούνται στο δίκτυο μας. Με τον όρο διαφοροποιημένη εννοούμε επίσης ότι υπάρχει διαφορετική σειρά εξυπηρέτησης (priority). Συνήθως εδώ χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο δυναμικής δέσμευσης πόρων σε συνδυασμό με μηχανισμούς CAC (Connection Admission Control), για να γίνει η κατάλληλη δέσμευση πόρων. Περαιτέρω , οι κομβοί χρησιμοποιούν έμφυτης επεξεργασία όπως για παράδειγμα (π.χ. **RED** ή **EPD**), και μηχανισμούς ουρών (π.χ. **WGD**), για την εξυπηρέτηση των πακέτων.
2. **Reservation-Less Engineering**, είναι το μοντέλο, όπου δεν γίνεται καμία προκρατηση πόρων. Σε αντίθεση με το **Reservation –Based** μοντέλο , όπου γίνεται προκρατηση πόρων, η κίνηση (traffic) του δικτύου μας , κατηγοριοποιείται σε ένα σύνολο από κλάσεις, και οι κομβοί του δικτύου μας προσφέρουν προτεραιότητα βασιζόμενοι στην ποιότητα εξυπηρέτησης κάθε κλάσης, όπως αυτό έχει προκαθοριστεί. Ωστόσο θα πρέπει πάλι να

ελεγχθεί η ποσότητα της κίνησης σε μια συγκεκριμένη κλάση , για να αποφευχθούν συνθήκες ανταγωνισμού πρόσβασης πόρων , από πακέτα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία.

Περιγραφή των μηχανισμών προσφοράς QoS

A) Admission Control (A.C)

Ο μηχανισμός αυτός αποφασίζει αν μια αίτηση για σύνδεση επιτρέπεται να διεξαχθεί από ένα δίκτυο. Το Admission Control φροντίζει να είναι ενήμερο για το φόρτο που υπάρχει στο δίκτυο την δεδομένη αυτή στιγμή, για να γνωρίζει αν μπορεί να δεχθεί την νέα αίτηση. Το AC έχει σκοπό να ελέγχει αν μπορεί να δεχθεί την νέα αίτηση, με τις παραμέτρους QoS που ζητά.

Το Admission Control μπορεί να επιτευχθεί σε IP δίκτυα , κατα την διάρκεια της εγκατάστασης του πρωτοκόλλου RSVP.

B) Traffic Shaping & Conditioning

Όπως είχαμε αναφέρει και νωρίτερα, σε δίκτυα που υποστηρίζουν QoS, είναι ανάγκη να προσδιορίσουμε το traffic profile για μια σύνδεση για να αποφασίσουμε πως θα δεσμεύσουμε τους διάφορους πόρους του δικτύου μας. Το Traffic Shaping & Conditioning διασφαλίζει ότι ένα πακέτο που θα εισέλθει σε ένα edge ή core router θα περιοριστεί στους πόρους όπως αυτοί έχουν καθοριστεί στο Traffic profile.

Το leaky bucket traffic shaping είναι ένα παράδειγμα αυτού του μηχανισμού.

C) Packet Classification & Marking

Για να προσφέρουμε το ζητούμενο QoS είναι σημαντικό να κατηγοριοποιήσουμε τα πακέτα έτσι ώστε να επιδέχονται διαφορετικό επίπεδο εξυπηρέτησης. Αυτό μπορεί να γίνει με την προσθήκη διάφορων πληροφοριών στα header των IP πακέτων μας. Με την προσθήκη αυτών των πληροφοριών μπορούμε να προσδιορίσουμε τι είδους μεταχείρισης πρέπει να τύχουν τα πακέτα μέσα στο δίκτυο (π.χ. ψηλό / χαμηλό βαθμό απώλειας ή καθυστέρησης). Σήμερα μπορεί να γίνει το marking στο IPv4 μέσω του πεδίου ToS , και στο IPv6 μέσω του Traffic Class byte.

Η αποδοτική προσθήκη αυτών των πληροφοριών είναι θέμα έρευνας και ήδη έχουν προταθεί αρκετά μοντέλα που θα παρουσιαστούν παρακάτω σε αυτή την μελέτη.

C) Priority & Scheduling mechanism

Για να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις διάφορων συνδέσεων στο δίκτυο μας, όπου κάθε σύνδεση ζητά διαφορετικό επίπεδο εξυπηρέτησης, πρέπει οι κόμβοι μας να έχουν μηχανισμούς για χρονοδρομολόγηση με βάση την προτεραιότητα, της κάθε σύνδεσης. Αυτοί οι μηχανισμοί επίσης υπεύθυνοι για να διαμοιράζουν πόρους που μπορεί να έχουν περισσέψει, με ένα δίκαιο τρόπο.

Παραδείγματα αυτών των μηχανισμών είναι το Generalized Processor Sharing (GPS), Weighted Round Robin (WRR), Weighted Fair Queuing (WFQ) και τέλος το Class Based Queuing (CBQ).

Αποδοτικές υλοποιήσεις αυτών των μηχανισμών έτσι ώστε να λαμβάνουν υπόψη ταυτόχρονα ανάγκες σε εύρος ζώνης και καθυστερήσεις είναι πεδία με έντονη έρευνα.

D) Signaling Protocols

Για να παρέχει ένα δίκτυο την Ποιοτητα εξυπηρέτησης που ζητούμε, πρέπει οι edge router να έχουν γνώση του υπόλοιπου δικτύου στην δεδομένη αυτή στιγμή. Αυτό είναι εφικτό σε διάφορα connection-oriented δίκτυα όπως το ATM. Όμως στο connectionless IP δίκτυο αυτή η έννοια είναι νέα. Πρωτόκολλα όπως το RSVP που είναι το πρωτόκολλο σήμανσης του IntServ θα παρέχουν αυτή την δυνατότητα στο αυριανό διαδίκτυο.

E) Queuing (WFQ, CFQ, SFQ)

Οι κόμβοι του δικτύου (routers), θα πρέπει να έχουν δίκαιους αλγόριθμους καταστροφής πακέτων, όταν αυτοί είναι υπερφορτωμένοι. Αυτοί οι αλγόριθμοι θα πρέπει να καταστρέφουν τα πακέτα λαμβάνοντας υπόψη τις προτεραιότητες που έχουν αυτά τα πακέτα, όπως επίσης να καταμερίσουν την καταστροφή των πακέτων σε όλες τις ροές, έτσι ώστε να μην “πληγεί” υπερβολικά μια συγκεκριμένη ροή.

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για αυτό το θέμα και συνεπώς και διάφοροι αλγόριθμοι, οι οποίοι είναι είτε CFQ (Class-based Fair Queuing), είτε WFQ (Weighted Fair Queuing) είτε SFQ (Stochastic Fair Queuing).

F) Congestion Control (RED, ECN)

Για να μπορέσουν τα IP δίκτυα να εργάζονται με ένα αποδοτικό και ασφαλές (stable) τρόπο, πρέπει να έχουν μηχανισμούς για πρόληψη συμφορήσεων, αφού τότε θα έχει συνέπειες για όλες τις εφαρμογές που εργάζονται εκείνη την στιγμή. Με αυτούς τους μηχανισμούς, μόλις εντοπιστεί συμφόρηση, μπορούμε κατευθείαν να σταματήσουμε να δεχόμαστε νέες ροές μέσα στο δίκτυο μας, για να μην κατάρρευση. Μπορούμε επίσης να σταματήσουμε τις ροές που δεν συμπεριφέρονται σωστά (και συνεπώς υπερφορτώνουν το δίκτυο μας. Δυο προτεινόμενες μέθοδοι είναι το RED (Random Early Detection) και το Explicit Congestion Notification (ECN)

Μηχανισμοί προσφοράς QoS στα ATM

Το ATM (Asynchronous Transfer Mode), παρέχει ένα πλούσιο σύνολο μηχανισμών προσφοράς ποιότητας εξυπηρέτησης, και το οποίο μπορεί να αποτελέσει ένα πρωτοτυπώ για αλλά δίκτυα που θέλουν να προσφέρουν QoS. Το ATM χρησιμοποιεί το Reservation-based traffic engineering μοντέλο. Το ATM όπως έχει φανεί προσφέρει ένα ορθολογιστικό τροπο προσφοράς ποιότητας υπηρεσίας. Δυστυχώς η πολυπλοκότητα και τα μεγάλα κόστα του μέχρι σήμερα , δεν έχουν εξαπλώσει αυτή την τεχνολογία αρκετά.

Τα συστατικά του ATM , που του δίνουν αυτή την δυνατότητα προσφοράς ποιότητας εξυπηρέτησης περιγράφονται πιο κάτω.

Virtual Circuits (VCs).

Τα VCs που αποτελούν την φυσική σύνδεση που γίνεται μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη , και που εγγυώνται σε μια υπηρεσία ότι θα έχει τους απαιτούμενους πόρους που χρειάζεται κατά την διάρκεια της μετάδοσης.

Service Categories and Traffic/ QoS Descriptors.

Το ATM όπως είναι γνωστό, προσφέρει ένα αριθμό από διαφορετικές κλάσεις υπηρεσιών. Αυτές οι κατηγορίες , όπως ορίζονται από τα 5 **AAL** (Atm Adaptation Layers), έχουν την δυνατότητα προσφοράς υπηρεσιών σε υπηρεσίες που απαιτούν σταθερό bit rate (**CBR**) , μεταβλητό bit rate (**VBR**), διαθέσιμο bit rate (**ABR**) , αλλά και απροκαθόριστο bit rate (**UBR**) , με βάση το throughput και delay που επιδέχεται η κάθε κατηγορία.

Intelligent Queuing Mechanisms.

Οι κομβίοι του ATM , υλοποιούν έξυπνους μηχανισμούς διαχειρίσεις των ουρών , για να διασφαλίσουν , ότι τα πακέτα που φθάνουν σε κάθε κόμβο , επεξεργάζονται με βάση την προορισμένη πόρων που έχει γίνει για αυτά.

Μηχανισμοί προσφοράς QoS στο IP

Με βάση το **IETF (Internet Engineering Task Force)**, υπάρχουν δυο τρόποι για παροχή QoS σε IP δίκτυα.

- Integrated services (IntServ)
- Differentiated Services (DiffServ)

Το IntServ μοντέλο στηρίζεται στην reservation-based traffic engineering προσέγγιση. Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε, ότι σε αυτό γίνεται προκράτηση των πόρων με την χρήση πρωτοκόλλου, όπως επίσης υπάρχει admission control, κατηγοριοποίηση των πακέτων μας (packet classification), και τέλος έξυπνη χρονοδρομολόγηση (intelligent scheduling), για να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης.

Σε αντίθεση, το DiffServ στηρίζεται στην reservation-less traffic engineering προσέγγιση. Εδώ γίνεται κατηγοριοποίηση των πακέτων σε ένα μικρό αριθμό από κατηγορίες υπηρεσιών, και χρησιμοποιούνται μηχανισμοί με προτεραιότητα, για να προσφέρουν το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης. Σε αυτό το πρωτόκολλο δεν γίνεται χρήση οποιουδήποτε μηχανισμού για προκράτηση πόρων (resource reservation) ή admission control μηχανισμού, αλλά γίνεται χρήση έξυπνων μηχανισμών διαχείρισης των ουρών, για να επιτυγχάνεται το differentiated traffic.

IntServ (Integrated Services)

Το 1994 η κοινωνία του Internet άρχισε να εργάζεται για να ορίσει μια αρχιτεκτονική η οποία θα προέκτεινε την υπάρχουσα IP δομή του διαδικτύου, για να υποστηρίξει ενοποιημένες υπηρεσίες (integrated services). Δηλαδή αυτό το μοντέλο αποσκοπούσε στην δημιουργία μια αρχιτεκτονικής που θα στήριζε ροές (flows) με χρονισμό (real-time) και best effort.

Η αρχιτεκτονική του IntServ προϋποθέτει ότι οι πόροι θα προδεσμεύονται πριν να γίνει οποιαδήποτε ροή η οποία απαιτεί ποιότητα εξυπηρέτησης. Έτσι θα υπάρχει κατά κάποιο τρόπο μια προσύνδεση πριν κάθε μετάδοση, παρόμοια με αυτή που έχουμε στα ATM με την διαφορά ότι εδώ δεν θα δεσμεύσουμε το routing virtual path παρά μόνο τους πόρους (bandwidth, router

cpu time) που χρειάζεται σε κάθε hop του δικτύου, αφού το routing συνεχίζεται να γίνεται με την διεύθυνση IP.

Ένα **Flow** είναι ένα stream από πακέτα τα οποία προκύπτουν από τον ίδιο χρήστη (εφαρμογή).

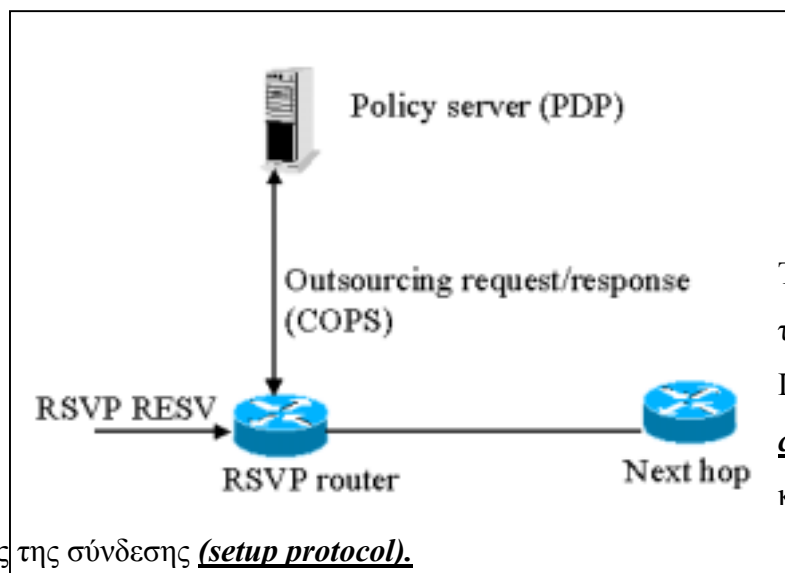
Το flow μπορεί να αναγνωριστεί με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα το **Ipv6** χρησιμοποιεί την διεύθυνση του αποστολέα, και ένα Flow label, ενώ το **Ipv4** χρησιμοποιεί την διεύθυνση του αποστολέα και του παραλήπτη και το port του παραλήπτη.

Το αρχιτεκτονική IntServ σήμερα ορίζει μια ροή σαν ένα stream από πακέτα, με το ίδιο source και destination address και port numbers. Το IntServ ορίστηκε στο Request for Comments (RFC) 1633, που ορίζει επίσης το RSVP (Resource Reservation Protocol), σαν το πρωτόκολλο σήμανσης του πρωτοκόλλου IntServ.

Το πρωτόκολλο RSVP θα αναλυθεί εκτενώς πιο κάτω.

Στο Σχήμα 2 βλέπουμε ότι θα γίνουν reserved όλοι οι πόροι του δικτύου (routers) με το RSVP εφόσον ο πελάτης λάβει μήνυμα από το σύστημα ότι μπορεί να εξυπηρετήσει την αίτηση του με τις παραμέτρους QoS που ζητά.

Υπεύθυνος για τον συντονισμό των πόρων του δικτύου είναι ο Policy Server που έχει αντιστοιχεί λειτουργία με τον μηχανισμό CAC (Connection Admission Control) που συναντήσαμε από τα ATM δίκτυα, με την επιπρόσθετη αρμοδιότητα να ελέγχει την ποσότητα πόρων που μπορεί να δεσμεύσει ένας παραλήπτης



εγκαθίδρυσης της σύνδεσης (setup protocol).

Τα κύρια συστατικά της αρχιτεκτονικής του IntServ είναι τα traffic control, traffic classes και το πρωτόκολλο

Σχ. 2 IntS

- Το **Traffic Control** περιλαμβάνει α) το *Admission control*, το οποίο ελέγχει να δει αν οι διαθέσιμοι πόροι του Router ή σταθμού μπορούν να εξυπηρετήσουν μια νέα υπηρεσία που θέλει μετάδοση στο δίκτυο. Επίσης περιέχει το β) *Packet Classifier* το οποίο εξετάζει την διεύθυνση προορισμού και διεύθυνση αποστολής ενός πακέτου που φθάνει στον router, καθώς επίσης άλλες πληροφορίες που βρίσκονται στα header του πακέτου που καταφθάνει, όπως το επίπεδο εξυπηρέτησης που πρέπει να τύχει αυτό το πακέτο. Τέλος στο Traffic Control ανήκει και γ) ο *Packet Scheduler*, που δημιουργεί την ουρά εξυπηρέτησης για πακέτα που είτε ζητούν το ίδιο output link, είτε ζητούν υπολογιστική ισχύ από τον router.

Το Traffic Control γίνεται από τον Policy Server PDP, όπως φαίνεται στο σχήμα 2

- Το αρχιτεκτονική IntServ ορίζει 3 κλάσεις (**Traffic Classes**) από υπηρεσίες. Αυτές οι κλάσεις υπηρεσιών θα μπορούσαμε να πούμε ότι διαχωρίζουν τους χρήστες μας σε 3 τάξεις, όπου ο καθένας θα πληρώνει ανάλογα με το σε πιάν τάξη επέλεξε να βρίσκεται. Έτσι θα υπάρχουν οι χρυσοί χρήστες, ασημένιοι και οι χάλκινοι χρήστες. Οι χρυσοί πελάτες επιδέχονται το καλύτερο επίπεδο εξυπηρέτησης από τα τρία που είχαμε προαναφέρει. Οι χρυσοί πελάτες ανήκουν στην Guaranteed κατηγορία

α) Guaranteed.

Σε αυτή την κλάση δίνονται απόλυτες εγγυήσεις για το εύρος ζώνης, την καθυστέρηση και εγγυήσεις ότι δεν θα υπάρξουν απώλειες. Σε αυτή την κατηγορία θα ήταν καλό να ανήκουν εφαρμογές με ισχυρό χρονισμό που δεν μπορούν επίσης να επιδεχτούν μεγάλες καθυστερήσεις και απώλειες.

β) Controlled Load.

Σε αυτή την κλάση ανήκουν οι ασημένιοι χρηστές οι οποίοι θα πληρώνουν λιγότερα δικαιώματα από τους χρυσοί και θα τους παρέχεται ένα είδος υπηρεσίας παρόμοιο με το best – effort, αλλά για χαμηλά φορτωμένα δίκτυα.

Τα περισσότερα από τα πακέτα που ανήκουν σε αυτή την κλάση, δεν θα χαθούν αλλά ούτε και θα αντιμετωπίσουν μεγάλες καθυστερήσεις. Ωστόσο δεν θα προσφέρονται εξειδικευμένες εγγυήσεις.

γ) Best – Effort.

Σε αυτή την κατηγορία θα ανήκουν όλοι οι χρηστές του υπάρχοντος κυβερνόχωρου , που δεν απαιτούν καποιο καλύτερο επίπεδο εξυπηρευσης από αυτό που τους παρέχεται μέχρι τώρα. Σε αυτήν την κατηγορία μπορούμε να κατατάξουμε υπηρεσίες όπως για παράδειγμα το email, ftp και αλλά.

- Τέλος το πρωτόκολλο εγκαθίδρυσης της σύνδεσης (**Setup Protocol**), επιτρέπει σε ένα σταθμό ή μια εφαρμογή να ζητήσει μια συγκεκριμένη ποσότητα από πόρους από το δίκτυο, χωρίς ωστόσο αυτό να σημαίνει ότι θα λάβει αυτήν την ποσότητα. Το πρωτόκολλο αυτό φροντίζει να μετάδοση το reservation request ,σε όλους τους κόμβους από τους οποίους θα περάσουν τα πακέτα μιας εφαρμογής.. Αυτή η διαδικασία μας θυμίζει το VCI/VPI request , όπως αυτό γίνεται στα ATM δίκτυα, όπου τα virtual channel και virtual paths εκτός από την κατακράτηση του κάθε πόρου στα switches , χρησιμοποιούνται και για να γίνεται το routing.

Resource Reservation Protocol (RSVP)

Εισαγωγή

Για να προσφέρουμε εγγύηση στις παραμέτρους του QoS θα πρέπει οπωσδήποτε να δεσμεύσουμε τους πόρους εκ των πρότερων. Η δέσμευση μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Πρώτο μπορεί να γίνει μέσω ενός δυναμικού πρωτοκόλλου προκράτησης των πόρων , με ένα manual configuration και με ένα network management protocol.

Το IntServ δεν δένεται συγκεκριμένα με ένα από τους τρεις τρόπους, και κατακρίβειαν έχει οριστεί να είναι ανεξάρτητο από τον μηχανισμό που θα χρησιμοποιηθεί.

Το de facto πρωτόκολλο εγκαθίδρυσης της σύνδεσης ωστόσο στην αρχιτεκτονική IntServ αποτελεί το RSVP. Το RSVP σχεδιάστηκε και αυτό από την IETF για να δουλεύει με το IntServ, αλλά μπορεί να δουλέψει και με άλλα μοντέλα εξυπηρέτησης.

Λειτουργική Περιγραφή

Το πρωτόκολλο RSVP λειτουργεί πάνω από το IP, στο επίπεδο μεταφοράς (transportation layer). Είναι ένα πρωτόκολλο έλεγχου και θα μπορούσε να συγκριθεί με το ICMP (Internet Control Message Protocol) , ή το IGMP (Internet Gateway Message Protocol). Το RSVP σχεδιάστηκε για να λειτουργεί με παρόν και μελλοντικά unicast και multicast routing πρωτόκολλα.

Τα κομμάτια του RSVP είναι οι Αποστολείς (senders), Παραλήπτες (receivers), σταθμοί (hosts) και οι routers που βρίσκονται μεταξύ των πρώτων δυο. Σε αυτό το πρωτόκολλο , ο αποστολέας του μηνύματος αφήνει τον παραλήπτη να γνωρίζει ότι θέλει να μεταδώσει ένα μήνυμα με κάποιες παραμέτρους QoS. Έτσι ο αποστολέας μεταδίδει ένα path message , κατα μήκος του μονοπατιού (route), όπου θα σταλεί το μήνυμα στον παραλήπτη, που μπορεί να είναι ένας unicast ή και multicast προορισμός. Όταν ο παραλήπτης λάβει το μήνυμα , είναι υπεύθυνος να για να κάνει την προκράτηση του μονοπατιού στέλνοντας πίσω στον αποστολέα ένα μήνυμα. Αν το μήνυμα που έρχεται πίσω στον αποστολέα είναι θετικό , τότε ξέρει ότι μπορεί να μεταδώσει τα μηνύματα που θέλει στον συγκεκριμένο σταθμό.

Σκοπός αυτού του πρώτου μηνύματος (path message) είναι διπλός. Πρώτο για να βρεθεί το κατάλληλο μονοπάτι μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη και δεύτερο για να μαζέψει ο

αποστολέας τις απαραίτητες QoS πληροφορίες τις οποίες μπορεί να προσφέρει ο κάθε router στο route που δημιουργείται.

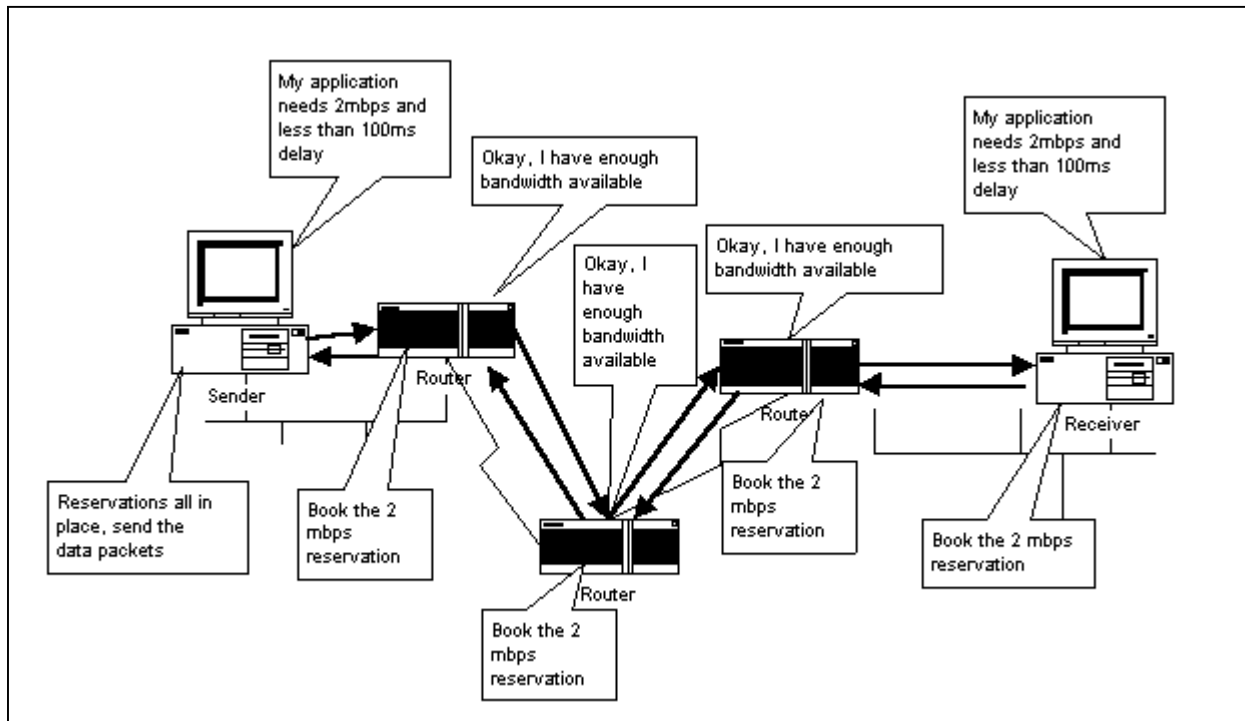


Fig.2: Resource Reservation Example

Χαρακτηριστικά του RSVP

1. Multicast environment & Receiver heterogeneity

Το RSVP έχει σχεδιαστεί να δουλεύει καλά σε περιβάλλοντα που είναι multicast. Όπου δηλαδή ένας σταθμός μεταδίδει ένα σήμα και αυτό το σήμα αναδημιουργείται σε κάθε κόμβο όπου το μήνυμα πρέπει να ακολουθήσει περισσότερες από μια κατευθύνσεις.

Το σημαντικό είναι ότι οι παραλήπτες μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικού είδους δίκτυα για παράδειγμα ο ένας σε token ring και ο άλλος σε ATM. Παρόλα αυτά για να τους παρασχεθεί η υπηρεσία πρέπει και οι δυο παραλήπτες να πληρούν τις παραμέτρους QoS που ζητά ο αποστολέας.

Υπηρεσίες όπως Conferencing, Video, Ήχος μπορεί να επωφεληθούν από το RSVP

2. Receiver Oriented

Επειδή το RSVP προορίζεται για μεγάλα multicast περιβάλλοντα, έχει σχεδιαστεί κατα τέτοιο τρόπο, που οι παραλήπτες είναι υπεύθυνοι να κάνουν το reservation. Οι παραλήπτες προσπαθούν να κάνουν το reservation, ανάλογα με τις παραμέτρους QoS που ζητά ο αποστολέας. Αυτές οι παράμετροι είναι σε μορφή traffic Specification και path characteristics.

3. *Soft State*

Στο RSVP κάθε παραλήπτης που κάνει προκρατηση των πόρων κατα μήκους ενός route, πρέπει περιοδικά να ανανεώνει αυτή την κατακράτηση πόρων, ειδ'άλλως γίνεται time-out, και έτσι αποδεδμεύονται οι πόροι. Αυτό κάνει το πρωτόκολλο ανθεκτικό και αποδοτικό, αφού δεν πρόκειται να υπάρχει άσκοπη κατακράτηση πόρων.

4. *No in-build mechanism for routing or packet*

Το RSVP είναι απλώς ένα πρωτόκολλο σήμανσης (signaling protocol), και στηρίζεται στο IP routing. Επίσης το RSVP δεν ασχολείται με το πως οι κομβοί μέσα στο δίκτυο μας θα υλοποιήσουν το reservation request (π.χ admission control, packet classification, packet scheduling)

RSVP Flows & Reservations

Δυο σημαντικές έννοιες στο RSVP, αποτελούν οι ροές (Flows), και οι προκρατήσεις (reservations).

1. *Flows*

Flows, είναι traffic streams από ένα αποστολέα σε ένα ή περισσότερους παραλήπτες. Ένα flow αναγνωρίζεται από το “flow label”, που βρίσκεται μέσα στο IP header. Πριν να σταλεί ένα flow, ο αποστολέας μεταδίδει ένα μήνυμα “path message” το οποίο και παραλαμβάνει ο παραλήπτης. Το μήνυμα αυτό περιέχει το IP address του αποστολέα και του παραλήπτη και ένα FlowSpec. Το FlowSpec είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων QoS, που ζητά αυτό το stream.

2. *Reservations*

Όταν ο παραλήπτης παραλάβει το Path message, τότε πρέπει να αρχίσει να κάνει την δέσμευση των πόρων κατα μήκος του μονοπατιού. Με αυτό το Receiver Based μοντέλο, υπάρχει πολύ καλύτερη διαχείριση ροών που προορίζονται για πολλούς διαφορετικού είδους

σταθμούς. Εφαρμογές όπως ήχος και video , όπου οι παραλήπτες μπορεί να αρκετοί , μπορούν να επωφεληθούν από αυτό το μοντέλο.

Στο Σχήμα 3 φαίνεται Receiver based μοντέλο RSVP , μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραλήπτες , που ανήκουν σε ετερογενή δίκτυα. Έτσι όταν ο μεταδότης που είναι ένα video workstation, θέλει να μεταδώσει το video στέλνει στο “path message”, και το FlowSpec το οποίο δηλώνει ότι ζητά να μεταδώσει στα 30Mbps. Ο Receiver A που ανήκει σε δίκτυο ATM (155Mbps) μπορεί να λάβει το video χωρίς πρόβλημα. Ωστόσο ο B που ανήκει σε δίκτυο token ring (16Mbps), δεν θα καταφέρει λάβει το μήνυμα ή μπορεί να λάβει το Video με μειωμένη ποιότητα.

Απο την άλλη πλευρά, αν ο αποστολέας ήταν υπεύθυνος για να δεσμεύσει τους πόρους, τότε θα έπρεπε να γνωρίζει τα χαρακτηριστικά όλων των δυνατών παραληπτών. Με το παράδειγμα αυτό φαίνεται ότι κάθε παραλήπτης χρειάζεται να γνωρίζει μόνο τις δικές του ικανότητες

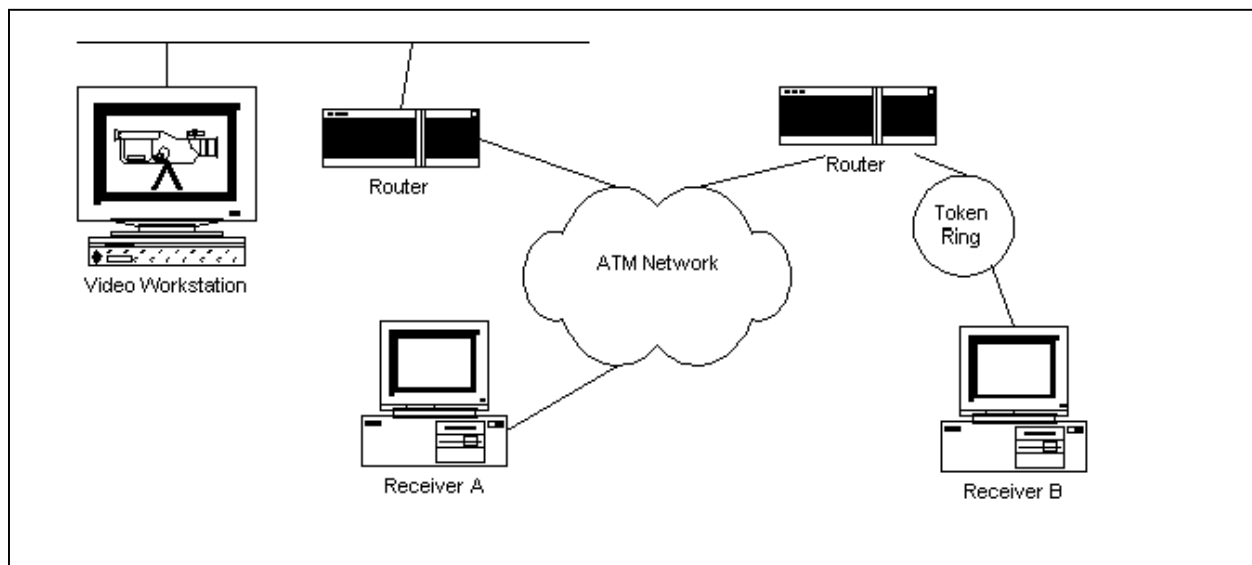


Fig.3: Multicast Flow με Διαφορετικές Υπηρεσίες και Παραλήπτες

Λειτουργική Περίληψη του RSVP

- Το RSVP προδεδεσμεύει πόρους για παραλήπτες που μπορεί να είτε unicast είτε multicast, κάνοντας χρήση μιας μεθόδου που δεσμεύει χαλαρά τους πόρους (soft state reservation) , για να κρατά τους πόρους ενήμερους.
- Το RSVP γίνεται προς μια μόνο κατεύθυνση (Uni-directional)
- Στο RSVP υπεύθυνοι για την δέσμευση και διατήρηση των πόρων , κατα την διάρκεια μιας μετάδοσης είναι οι παραλήπτες.
- Το RSVP δεν είναι ένα πρωτόκολλο κατευθυνσιοδότησης των πακέτων (routing protocol) αλλά στηρίζεται πάνω σε αλλά routing πρωτοκόλλα.
- Το RSVP υποστηρίζει το Ipv4 και Ipv6.

Παράγοντες που αποτρέπουν την χρήση του RSVP σήμερα στο Internet.

Το RSVP μπορεί να χρησιμοποιηθεί σήμερα αποδοτικά σε κλειστά δίκτυα Intranets. Ωστόσο η χρήση του στο Internet , δεν φαίνεται να είναι ακόμα εφικτή. Παράγοντες που αποτρέπουν την χρήση του RSVP σήμερα στο Internet είναι η *επεκτασιμότητα (scalability)*, η *ασφάλεια (security)*, το *Policy Control*

- ***Επεκτασιμότητα (scalability)***

Το πρόβλημα εδώ είναι ότι στους routers , οι οποίοι δουλεύουν με ένα τεράστιο αριθμό από διαφορετικά sessions , μπορεί εύκολα να δεσμευτούν όλοι οι διαθέσιμοι πόροι , με αποτέλεσμα να καθυστερήσουν εφαρμογές και δεδομένα τα οποία είναι πολύ σημαντικά. Για αυτό τον λόγο έχει εισηγηθεί , να χρησιμοποιηθεί το RSVP μόνο στα “άκρα” των enterprise δικτύων ή μέσα σε intranets.

- ***Ασφάλεια (security)***

Λόγω του ότι το RSVP δεν προσφέρει μηχανισμούς με τους οποίους μπορεί να γίνει έλεγχος ποιοι έχουν δικαίωμα να ζητήσουν πόρους μπορεί εύκολα να κατακρατηθούν πόροι από σταθμούς που δεν τους δικαιούνται. Ωστόσο σε ένα IETF κείμενο , το RSVP Cryptographic Authentication , γίνονται εισηγήσεις για το πως μπορεί να αποφευχθεί το πιο πάνω σενάριο.

- ***Policy Control***

Άλλη αδυναμία του RSVP αποτελεί το Policy Control. Policy Control, είναι ο μηχανισμός που θα προσδιορίζει ποιος δικαιούται να κρατήσει πόρους στους routers, και πόσους πόρους δικαιούται να κρατήσει. Το Policy Control περιλαμβάνει το Access Control, User Authentication και Accounting Information. Το IETF έχει ορίσει ξεχωριστή επιτροπή για την διαχείριση αυτού του προβλήματος, και ήδη έχουν γίνει κάποιες προτάσεις, όπως είναι το RSVP Extensions for Policy Control.

Προϊόντα RSVP εν εξέλιξη

Σήμερα υπάρχουν 2 κατηγορίες κατασκευαστές που δουλεύουν στον χώρο του RSVP. Πρώτο οι κατασκευαστές router, και δεύτερο οι κατασκευαστές λογισμικών. Οι κατασκευαστές των routers εργάζονται έτσι ώστε να γίνει εφικτή η δέσμευση πόρων στα προϊόντα τους, και οι κατασκευαστές προϊόντων, για να προσφέρουν τα λογισμικά εκείνα που θα επιτρέπουν σε χρηστές να λαμβάνουν υπηρεσίες (ήχου, video κ.α) με χρήση του RSVP. Μεγάλες εταιρείες όπως οι 3Com, Cisco, IBM Networking Hardware, Xylan, Furukawa Electric παράγουν RSVP support routers σήμερα. Επίσης εταιρείες λογισμικών όπως οι Microsoft, IBM, Sun, Silicon Graphics κ.α εργάζονται για να προσφέρουν RSVP support προϊόντα. Χαρακτηριστικό είναι ο συνεταιρισμός της Microsoft με την Cisco για να προσφέρουν από κοινού το Active Directory σε μελλοντική έκδοση του της οικογένειας των Windows Server, και το οποίο εργαλείο θα είναι σχεδιασμένο για να προσφέρει καλύτερη διαχείριση δικτύων (security, policy) που θα παρέχουν περισσότερες υπηρεσίες.

Ανοικτά θέματα & Προβλήματα του IntServ.

Το IntServ ορίζει ένα καινούργιο μοντέλο για τα IP δίκτυα. Κινείται μακριά από το best-effort μοντέλο, και εισάγει νέες υπηρεσίες. Το IntServ όπως είχαμε δει, απαιτεί προδεδωμένη πόρων, που επιτυγχάνεται με το RSVP, admission control, packet classification και scheduling.

Ωστόσο το IntServ φαίνεται να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί σήμερα για το backbone μεγάλων δικτύων όπως το Internet. Μερικές από τις δυσκολίες του IntServ είναι

- **Περιορισμένος αριθμός ροών (flows)**. Στο Internet ο αριθμός των ροών που μπορεί να περνούν από ένα κόμβο μπορεί να είναι πολύ μεγάλος με αποτέλεσμα να απαιτείται πολύ

μεγάλος αποθηκευτικός χώρος στους router μας για να κρατηθούν οι καταστάσεις των ροών.

- **To packet classification που στηρίζεται σε packet headers δεν είναι αποδοτικό.** Αυτό συμβαίνει διότι σύγχρονες εφαρμογές συνήθως δεν επιδέχονται μεγάλες καθυστερήσεις για επεξεργασία των header των πακέτων σε κάθε κόμβο , όπου στο Internet μάλιστα οι κόμβοι από τους οποίους μπορεί να περάσει ένα πακέτο μπορεί να είναι παρά πολλοί
- **Security Issues.** Όπως είχε αναφερθεί και στο RSVP που είναι το πρωτόκολλο σήμανσης του IntServ , δεν υπάρχουν οι κατάλληλοι μηχανισμοί ακόμα που θα διασφαλίσουν την ασφαλή κατανομή πόρων κατα τέτοιο τροπο που να αποφεύγεται η παραχώρηση πόρων σε άτομα που δεν δικαιούνται.
- **Policy Issues.** Και εδώ δεν υπάρχουν ακόμα μηχανισμοί που θα διασφαλίζουν την παραχώρηση πόρων σε χρήστες σύμφωνα με την κλάση στην οποία βρίσκονται.

Το IntServ αναμένεται να υλοποιηθεί στα άκρα των enterprise networks και σε intranets όπου ο αριθμός των χρηστών είναι περιορισμένος και τα Security και Policy Issues μπορούν εύκολα να διαχειριστούν. Για την υποδομή του Internet ωστόσο σήμερα βλέπουμε μια άλλη αρχιτεκτονική να εξελίσσεται. Αυτή ονομάζεται DiffServ, και αναμένεται να ξεπεράσει τα προβλήματα του IntServ

DiffServ (Differentiated Services)

Εισαγωγή

Το DiffServ είναι μια νέα ομάδα εργασίας της IETF, και η οποία έχει ορίσει ένα νέο πιο επεκτάσιμο τρόπο να προσφέρουμε IP QoS. Ο αρχιτεκτονική που προτείνεται έχει κυρίως να κάνει με τους παροχής υπηρεσιών και τους ιδιοκτήτες δικτύων.

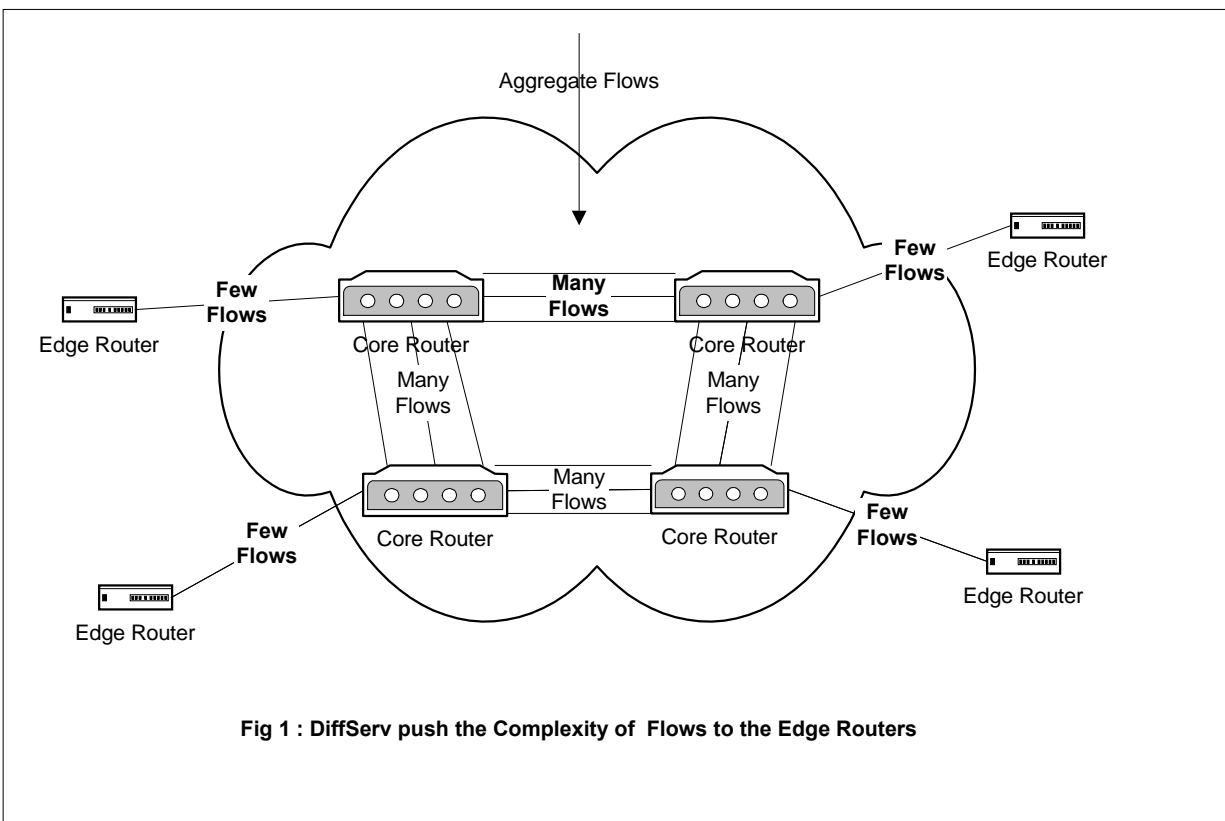
Το DiffServ είχε προταθεί το δεύτερο εξάμηνο του 1997 για να προσφέρει πιο απλούς, πιο επεκτάσιμους μηχανισμούς για να διαφοροποιήσουμε τις υπηρεσίες (differentiated services).

Το DiffServ έχει οριστεί στο RFC 2475 και 2474.

Αν χειριζόμασταν όλα τα πακέτα μέσα στο δίκτυο μας με την ίδια προτεραιότητα, τότε θα οδηγούμασταν σε τεράστια προβλήματα ειδικά όταν το bandwidth είναι περιορισμένο. Για να δημιουργήσουμε ένα ενιαίο δίκτυο προσφοράς πολύ-υπηρεσιών το οποίο να αρμόζει σε διάφορες εφαρμογές, που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και προτεραιότητες, μέθοδοι πρέπει να βρεθούν για να διασφαλίσουμε στις διάφορες εφαρμογές την απόδοση του δικτύου μας.

Το DiffServ έχει προταθεί, για να προσφέρει service differentiation, με την δημιουργία κλάσεων υπηρεσιών, όπου κάθε κλάση έχει διαφορετικές προτεραιότητες. Αυτό γίνεται εφικτό με την προσθήκη πληροφοριών στα IP headers. Έτσι στο IPv4 γίνεται χρήση του πεδίου ToS (Type of Service) ή στο IPv6, των priority bits. Έτσι όσο ψηλότερο είναι το πεδίο (κλάση) εξυπηρέτησης, τόσο καλύτερη εξυπηρέτηση θα επιδεχθεί κάποιο πακέτο σε κάθε κόμβο. Σκοπός της διαφοροποίησης των υπηρεσιών σε κλάσεις είναι να ορίσουμε μια επεκτάσιμη δομή και κλάσεις, χωρίς να χρειάζεται η επεξεργασία πολύπλοκων headers για κάθε flow σε κάθε hop, που είναι πολύ χρονοβόρο για μεγάλα δίκτυα όπως το Internet. Στο DiffServ συναθροίζονται πολλαπλές ροές (η οποία κάθε ροή είναι έχει κάποιες παραμέτρους QoS), σε μια μοναδική ροή. Σε αυτή την ροή θα δοθεί τώρα μια διαφοροποιημένη εξυπηρέτηση μέσα στο δίκτυο. Η αρχιτεκτονική DiffServ προσπαθεί να μετακινήσει την πολυπλοκότητα που κουβαλάνε μαζί τους τα ξεχωριστά flows (όπως γίνεται στο IntServ), από το εσωτερικό του δικτύου (τους core router), προς τα άκρα του δικτύου, όπου οι ροές είναι πολύ λιγότερες. Αυτό φαίνεται διαγραμματικά στο Fig 1. Κάθε DiffServ flow, διαχειρίζεται με βάση το service profile στα άκρα του δικτύου, δηλαδή

στους edge routers, και παράλληλα εξυπηρετεί μόνο ένα μικρό αριθμό από αθροισμένες ροές στο εσωτερικό δηλαδή στους core routers.



Το DiffServ θα προσφέρει έτσι μια ελεγχόμενη και αναμενόμενη (predictable) κλάση από υπηρεσίες σε αντίθεση με αυτήν που υπάρχει μέχρι τώρα και σε αντίθεση με το IntServ, όπου δεν μπορεί να ελεγχθεί ο αριθμός των πολλαπλών ροών στο εσωτερικό του δικτύου μας.

Για να γίνει εφικτή η υποστήριξη διαφορετικών κλάσεων IP υπηρεσιών πάνω από το Internet, η αρχιτεκτονική DiffServ ορίζει τρεις δομικά κομμάτια, τα οποία είναι α) Κατηγοριοποιητές Πακέτων (packet classifiers), forwarding/per-hop-behavior, και traffic conditioning policies.

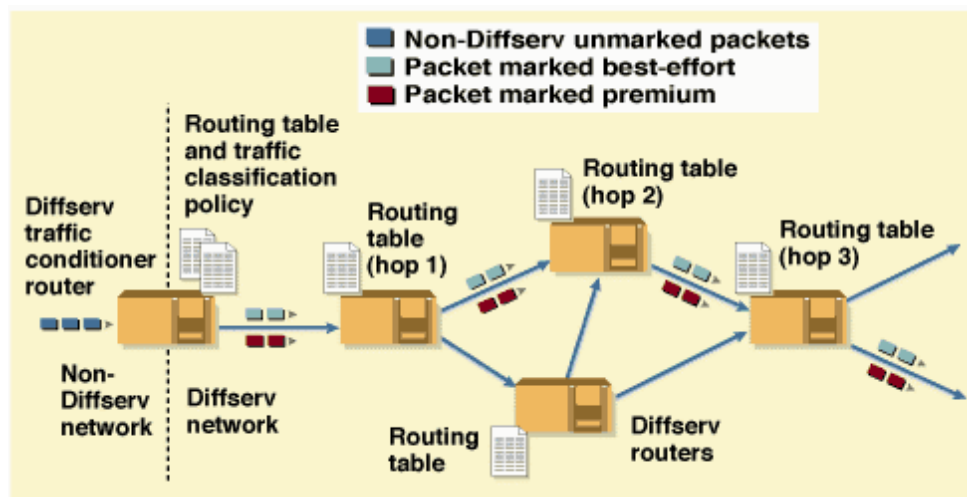
Λειτουργική Περιγραφή του DiffServ.

Η γενική προσέγγιση στο DiffServ, είναι να κατηγοριοποιήσουμε τις πολλές ανεξάρτητες ροές (microflows) που διακινούνται μεταξύ των κόμβων μας, σε 3 κλάσεις, και μετά εφαρμόζουμε μια διαφορετική εξυπηρέτηση σε κάθε κλάση σε κάθε κόμβο (router) από το οποίο περνά το

πακέτο. Αυτή η κατηγοριοποίηση (classification) συμβαίνει στους Ingress Routers των οποίων η λειτουργία θα αναλυθεί πιο κάτω. Σε κάθε πακέτο προστίθεται η πληροφορία της κατηγοριοποίησης, στο header του πακέτου. Έτσι το κάθε πακέτο λαμβάνει μια συγκεκριμένη ιδιότητα η οποία αναγράφεται στο header του πακέτου, και σύμφωνα με την οποία προωθείται. Αυτό το μαρκάρισμα (δηλαδή η προσθήκη πληροφοριών στο header), μπορεί να γίνει οπουδήποτε μέσα στο δίκτυο, αλλά πιθανότατα τελικά να γίνεται μόνο στους edge routers. Ένα πακέτο το οποίο έχει μαρκάριστεί με τον ίδιο τρόπο με ένα άλλο πακέτο θα λάβει ακριβώς την ίδια ποιότητα εξυπηρέτησης μέσα στο δίκτυο μας. Έτσι το κάθε πακέτο δεν έχει δική του κατάσταση για την ποιότητα εξυπηρέτησης που ζητά, αλλά μόνο έχει το marking στο header του, το οποίο μπορεί εύκολα να επεξεργαστεί από τους core routers.

Ωστόσο για να επιτευχθεί το ανάλογο marking των πακέτων μας εφαρμόζονται κάποιοι κανόνες. Αυτοί οι κανόνες πρέπει να είναι αποδεχτοί από κοινού και από τις δυο πλευρές δικτύων (joined agreements) που διακινούν πακέτα, και όχι συμφωνίες μεταξύ όλων των δεικτών (multilateral agreements).

Θα μπορούσαμε λοιπόν να πούμε ότι το Diffuser προϋποθέτει την ύπαρξη ενός Service Level Agreement (SLA) μεταξύ των δικτύων που διαπραγματεύονται κάποια πακέτα. Το SLA εγκαθιδρύει τα policy κριτήρια και ορίζει ουσιαστικά το traffic profile. Αναμένεται ότι η κίνηση (traffic), θα συντονίζεται στα



Πιο Πανω Φαίνεται πως τα unmarked πακέτα που εισέρχονται από ένα Non-DiffServ δίκτυο θα εισέλθουν στο DiffServ δίκτυο μας, ενώ ταυτόχρονα γίνονται marked τα header τους.

Υπάρχουν τρεις οντότητες οι οποίες συνεργάζονται για να προσφέρουν μια υπηρεσία DiffServ

- **Per-Hop Behaviors (PHBs)**, που ορίζει την ειδική μεταχείριση που θα λάβει το κάθε πακέτο, σε κάθε κόμβο, κατά την διάρκεια της προώθησης (forwarding time) στο δίκτυο. Ένα PHB μπορεί να εκφραστεί relatively (δηλαδή σε σχέση με άλλα PHBs) ή absolutely (σε bandwidth & delays).
- **Traffic Conditioners**, οι οποίοι τροποποιούν τις αθροισμένες ροές κατά τέτοιο τρόπο που να επιβάλλουν τους κανόνες που προκαθορίστηκαν, για κάθε υπηρεσία
- **Bandwidth Brokers (Policy Managers)**, οι οποίοι δουλεύουν για να επιτύχουν την ασφάλεια μεταξύ των κόμβων

Service Classes για υποστήριξη εφαρμογών στο DiffServ

Το ομάδα του IETF DiffServ έχει ορίσει σήμερα 2 κλάσεις υπηρεσιών για την υποστήριξη εφαρμογών. Αυτές είναι τα Premium Services και το Strict Priority based Services

1. *Premium Service.*

Αυτή η κλάση προσπαθεί να προσομοιώσει το παραδοσιακή Leased line υπηρεσία , με χαμηλές πιθανότητες για απώλειες σε δοσμένο peak rate, και συμπεριφορά που ορίζεται αυστηρά μεταξύ των hops, για να διασφαλιστεί χαμηλή καθυστέρηση. Αυτό το είδος υπηρεσίας είναι κατάλληλο για υπηρεσίες που απαιτούν αυστηρό εύρος ζώνης και προκαθορισμένες καθυστερήσεις .

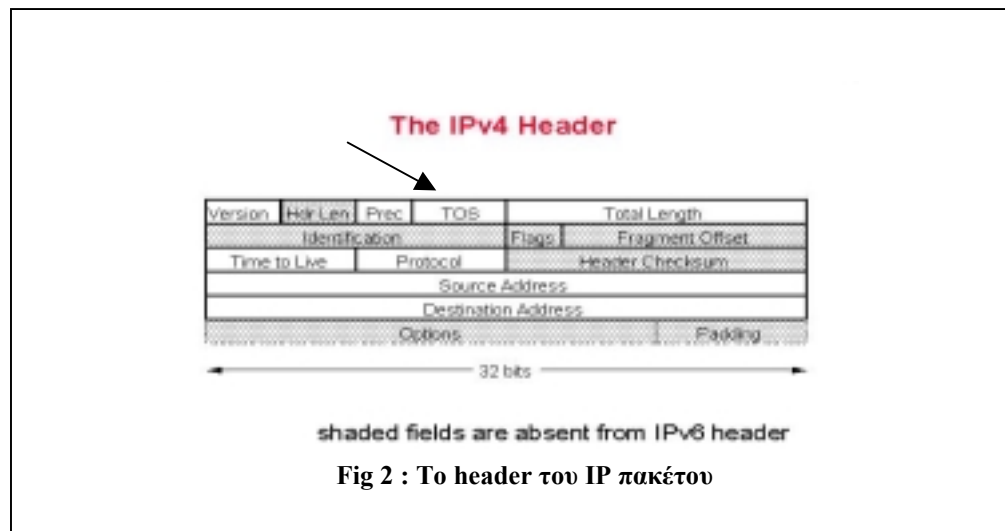
Για να επιτευχθεί ωστόσο η ύπαρξη χαμηλών απωλειών και μικρής καθυστέρησης απαιτείτε όπως κάθε αθροισμένη ροή (aggregate flow) ,έχει ένα καλά καθορισμένο χρόνο αναχώρησης από τα hops, χωρίς να επηρεάζεται από άλλη κίνηση (Traffic) που μπορεί να υπάρχει στους κόμβους εκείνη την στιγμή

2. *Assured Services.*

Αυτή η κλάση προσπαθεί να προσομοιώσει την κίνηση σε χαμηλά φορτωμένα δίκτυα , ακόμα και στις περιπτώσεις που παρατηρείται υπερφόρτωση του δικτύου. Αυτή η κλάση υπόσχεται να παραδώσει ένα traffic , με ένα ψηλό βαθμό ασφάλειας μέσα στα όρια που προκαθορίστηκαν.

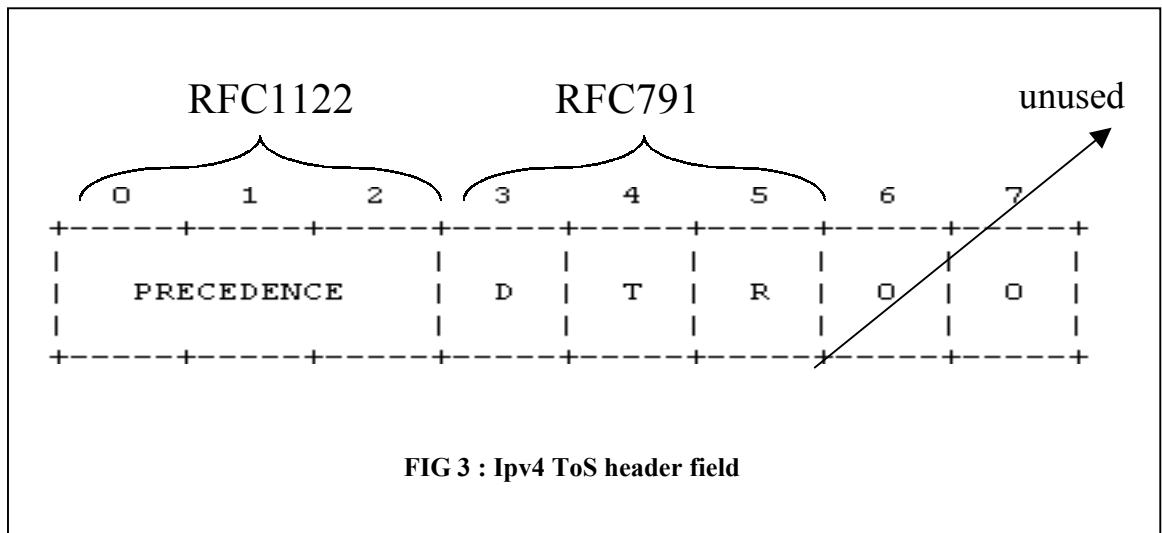
ToS (Type of Services)

Για να γίνει το marking στο κάθε IP πακέτο , έχει χρησιμοποιηθεί το πεδίο ToS , το οποίο βρίσκεται στα header του Ipv4 πακέτου , και το Traffic class octet , που βρίσκεται στο IPv6 header όπως φαίνεται στο Fig 2.



Το πεδίο ToS ονομάζεται στο diffserv τώρα σαν DiffServ Codepoint (DSCP), και είναι ένα 8 bit πεδίο. Τα τελευταία 2 bit δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμα αλλά τα άλλα 6 bit ορίζουν προς το παρόν το DSCP. Υπάρχουν συνεπώς $2^6 = 64$ δυνατά code points , από τα οποία τα 48 ορίζονται για το global space και τα υπόλοιπα 16 για τοπική (local) χρήση.

Το marking γίνεται όπως είχαμε προαναφέρει για να μπορούν οι εσωτερικοί (core) routers να προσφέρουν διαφοροποιημένες υπηρεσίες ανάλογα με το πακέτο. Το marking αυτό ορίζεται από 3 bits (για την προτεραιότητα–precedence) και άλλα 4 bits για τον τύπο της εξυπηρέτησης (ToS).



Το RFC 791 ορίζει το IPv4 ToS byte. Περαιτέρω το RFC 1122 ορίζει τα πρώτα 3 bit σαν το precedence , και το RFC 1349 ορίζει το DSCP για τα IPv6 πακέτα , όπου έχουμε μόνο 1 Bit αχρησιμοποίητο

Το DSCP χρησιμοποιεί τα 6bits στο IPv4. Τα άλλα 2 bit είναι ανεκμετάλλευτα.

Συνεπώς έχουμε $2^6=64$ codepoints. è Δυνατότητα Υποστήριξης 64 Κλάσεων

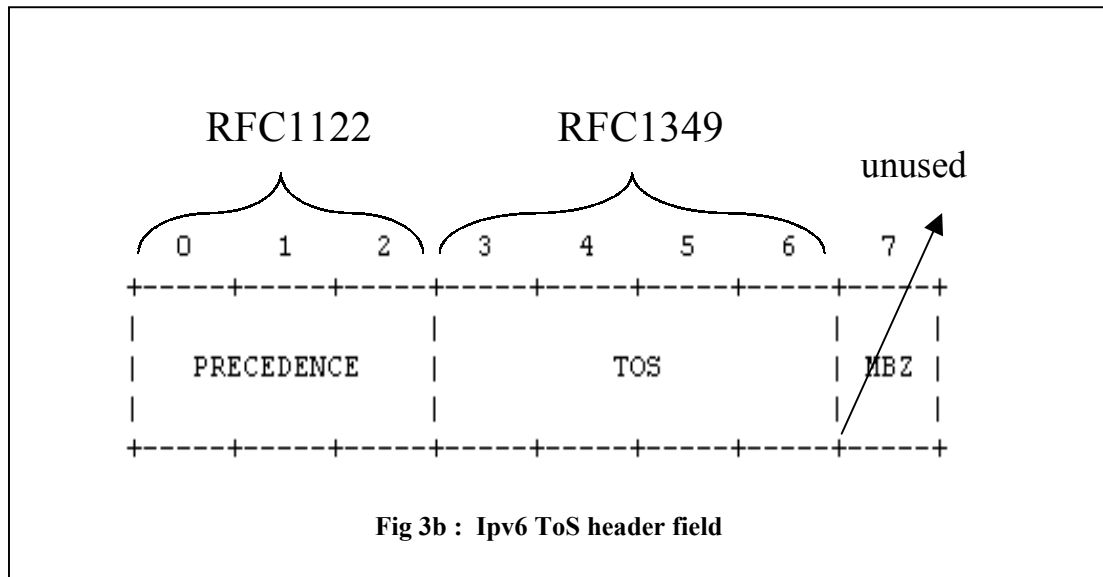
Ενδεικτικά θα αναφέρουμε ότι το

DSCP=101100 ενδεικνύει EF (Expedited Forwarding)

DSCP=000000 ενδεικνύει DF (Default - Best Effort)

RFC 791 – Ipv4 Type of Service

111 -- Network Control	011 -- Flash
110 -- Internetwork Control	010 -- Immediate
101 -- CRITIC/ECP	001 -- Priority
100 -- Flash Override	000 -- Routine



RFC 1349 – Ipv6 Class octet

1000 -- Minimize delay	0001 -- Minimize monetary cost
0100 -- Maximize throughput	0000 -- Normal service
0010 -- Maximize reliability	

Αναμενεται οτι ο καθε ISP θα χρησιμοποιησει αυτα τα bits για να προσφερει διαφορετικες υπηρεσιες , οι οποιες θα του δινουν και ανταγωνιστικο πλεονεκτημα

Per Hop Behaviour (PHB) policies (Forwarding)

Per Hop Behavior είναι ο τρόπος με τον οποίο τα DiffServ πακέτα θα προωθηθούν (forwarded) από τους core router του δικτύου μας, στους εξωτερικούς ή εσωτερικούς κόμβους. Μέσα στην επεξεργασία που επιδέχεται ένα πακέτο σε κάθε κόμβο πριν να προωθηθεί, περιλαμβάνεται το policing, πιθανές ανασημάνσεις (remarkings) των πακέτων μας, συντονισμός (scheduling) και άλλα..

Το DiffServ όπως είχαμε προαναφέρει, παρέχει ένα απλό τροπο να κατηγοριοποιήσουμε τις υπηρεσίες των διάφορων εφαρμογών. Η συμπεριφορά PHB ορίζεται μέσα στα 6bit του ToS header, όπως έχει δειχθεί προηγούμενα.

Το IETF έχει ορίσει προς το παρόν τρεις συμπεριφορές με τις οποίες μπορεί να μεταχειριστούν και να προωθηθούν τα πακέτα μας στους κόμβους. Αυτές οι συμπεριφορές είναι πρώτο η γρήγορη προώθηση (Expedited forwarding - EF), δεύτερο η σίγουρη προώθηση (Assured Forwarding -AF) και τελευταία η τετριμμένη (default - DE)

1) Expedited forwarding – EF

Η γρήγορη-expedited προώθηση απαιτεί όπως σε κάθε κόμβο, ο αριθμός των αθροισμένων ροών που εισέρχονται να είναι μικρότερος από τον αριθμό των εξερχόμενων ροών. Δηλαδή απαιτεί όπως το egress rate να είναι μεγαλύτερο του outgress rate. Αυτό είναι όπως μια “Virtual Leased Line”. Το EF ελαχιστοποιεί τα delays και το jitter και προσφέρει ένα ψηλό επίπεδο ποιότητας εξυπηρέτησης. Οποιοδήποτε traffic, το οποίο υπερβαίνει το traffic profile, όπως αυτό έχει οριστεί με το local policy, θα καταστραφεί για να μην επηρεάσει την ποιότητα εξυπηρέτησης άλλων ροών.

2) Assured Forwarding –AF

Η σίγουρη-assured προώθηση ορίζει τέσσερις διαφορετικές προτεραιότητες με τις οποίες μπορεί κάποιος να λάβει εύρος ζώνης και άλλες εγγυήσεις. Αυτές οι κλάσεις είναι οι χρυσή, ασημένια, χάλκινη και best effort. Για κάθε κλάση ορίζονται 3 επίπεδα για καταστροφή πακέτων. Όσο χειρότερο είναι το επίπεδο καταστροφής ενός πακέτου, τόσο μεγαλύτερη

είναι η πιθανότητα να καταστραφεί ένα πακέτο κατά την διάρκεια συμφόρησης σε ένα κόμβο.

Στα άκρα κάθε δικτύου (στους Ingress Routers., οι Κατηγοριοποιητές classifiers αναγνωρίζουν την τιμή του DS πεδίου των εισερχόμενων ροών (από τους αποστολείς). Βασισμένοι στο πεδίο αυτό οι επιμέρους και ανεξάρτητες αυτές ροές συναθροίζονται σε ροές εξόδου. Οι ενδιαμέσοι routers κάνουν χρήση του PHB header για να μπορέσουν να εφαρμόσουν το ανάλογο επίπεδο εξυπηρέτησης. Πιο κάτω φαίνεται διαγραμματικά αυτή η διαδικασία

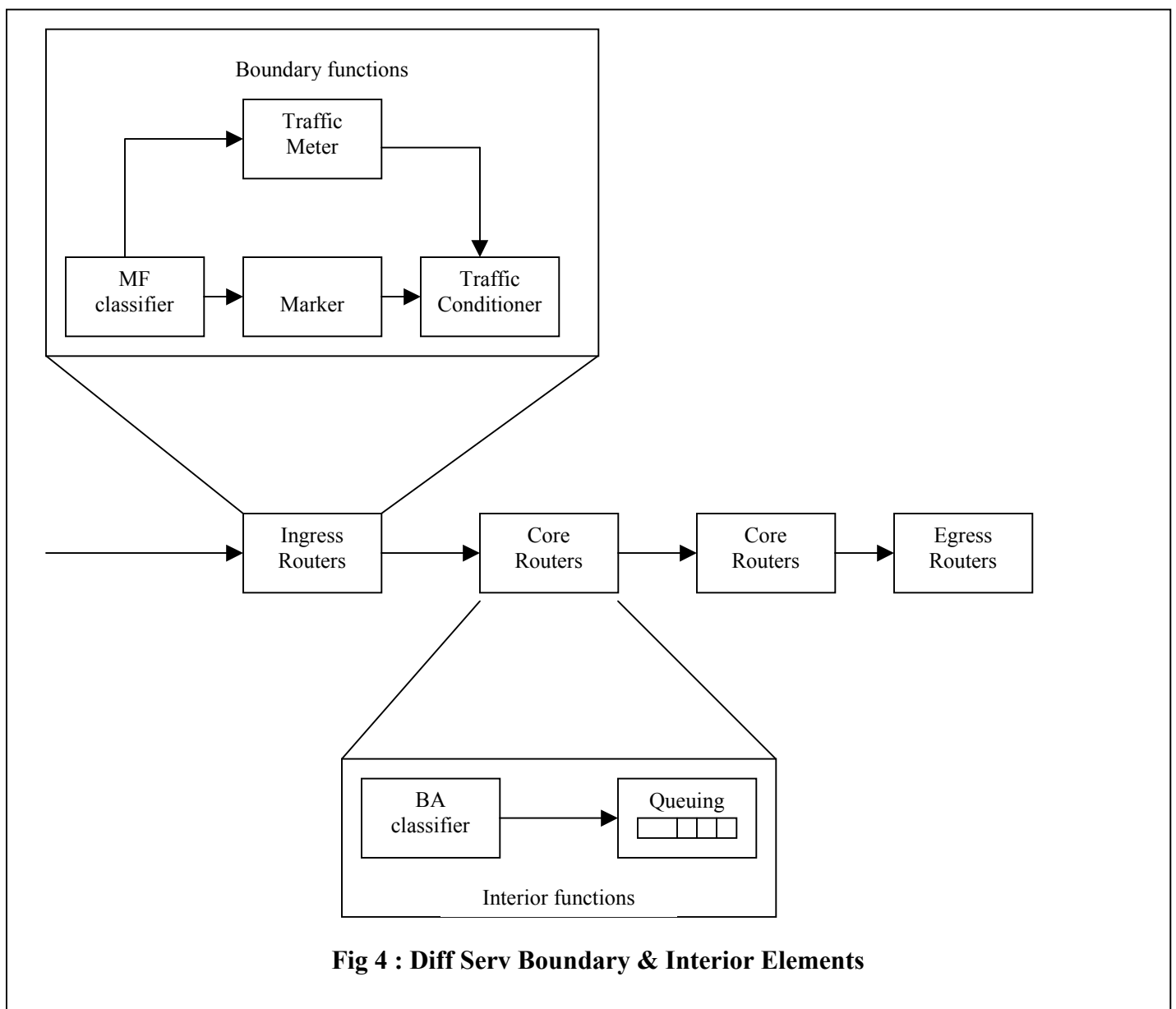
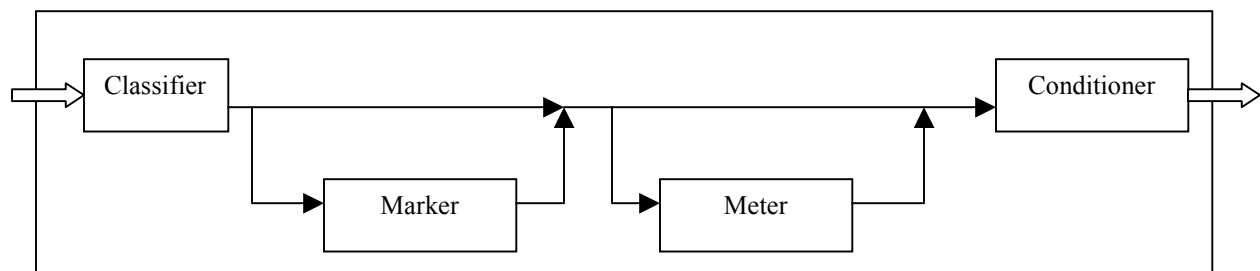


Fig 4 : Diff Serv Boundary & Interior Elements

Οι MF Classifiers κατηγοριοποιούν τα πακέτα με βάση την εξυπηρέτηση που απαιτείται από την εφαρμογή τους. Στην συνέχεια οι Markers γράφουν στο header κάθε πακέτου αυτήν την πληροφορία. Το traffic meter το οποίο κρατεί καταστατικά του δικτύου φροντίζει να δώσει στον Traffic Conditioner τις απαραίτητες πληροφορίες έτσι ώστε τα πακέτα που θα μπουν στο diffserv δίκτυο να πληρούν το Traffic Conditioning Agreement (TCA). Θα μπορούσαμε να παραλληλίσουμε την εργασία του Conditioner με την εργασία του Connection admission control. Το TCA φροντίζει επίσης στην διασφάλιση των κανόνων , όπως αυτοί ορίσθηκαν στο Service Level Agreement. Πιο συγκεκριμένα φαίνεται πιο κάτω τι γίνεται στο κάθε στάδιο.



1) Classifiers

Υπάρχουν 2 τύποι κατηγοριοποιητών. Πρώτοι οι **Behavior Aggregate (BA)** , που χρησιμοποιούν μόνο την τιμή του DSCP. Δεύτεροι είναι οι **Multi-field (MF)** , που χρησιμοποιούν άλλες πληροφορίες από το header όπως για παράδειγμα την διεύθυνση , το πρωτόκολλο port numbers και άλλα.. Κάθε συνδυασμών bits στο DSCP ορίζει μοναδικά την συμπεριφορά που πρέπει να επιδεχθεί το πακέτο. Το diffserv θα έχει την δυνατότητα υποστήριξης $2^6 = 64$ διαφορετικών κλάσεων . Ο κάθε router που υποστηρίζει το diffserv, θα ταξινομεί τα πακέτα σε ουρές σύμφωνα με το πεδίο DS.Στις ουρές θα επιβληθεί διαφορετικό

2) Markers

Αυτοί χρησιμοποιούνται για να προσθέσουν το DSCP στο Header , αν δεν υπάρχει. Επίσης χρησιμοποιούνται για να προσθέσουν το DSCP όπως αυτό μεταφράζεται από την

προκρατηση που έχει γίνει με το RSVP. Περαιτέρω μεταφράζουν το IP ToS στο DSCP και αντίστροφα.

3) Meter

Ο μετρητής είναι υπεύθυνος για να κρατά στατιστικά για την κατάσταση του δικτύου. Η λειτουργία αυτό κομματιού δεν έχει οριστεί ακόμα πλήρως και εδώ τίθενται πολλά ερωτηματικά για την λειτουργία του.

4) Conditioner

Ο Conditioner ασχολείται κυρίως για να εφαρμόσει την συμπεριφορά PHB, όπως αυτή έχει περιγραφεί στο traffic profile όπως αυτό ορίζεται από το SLA . Ο ρόλος του επίσης μπορεί να επεκτείνεται στο να ελέγχει (authenticate) την κίνηση για το admission control.

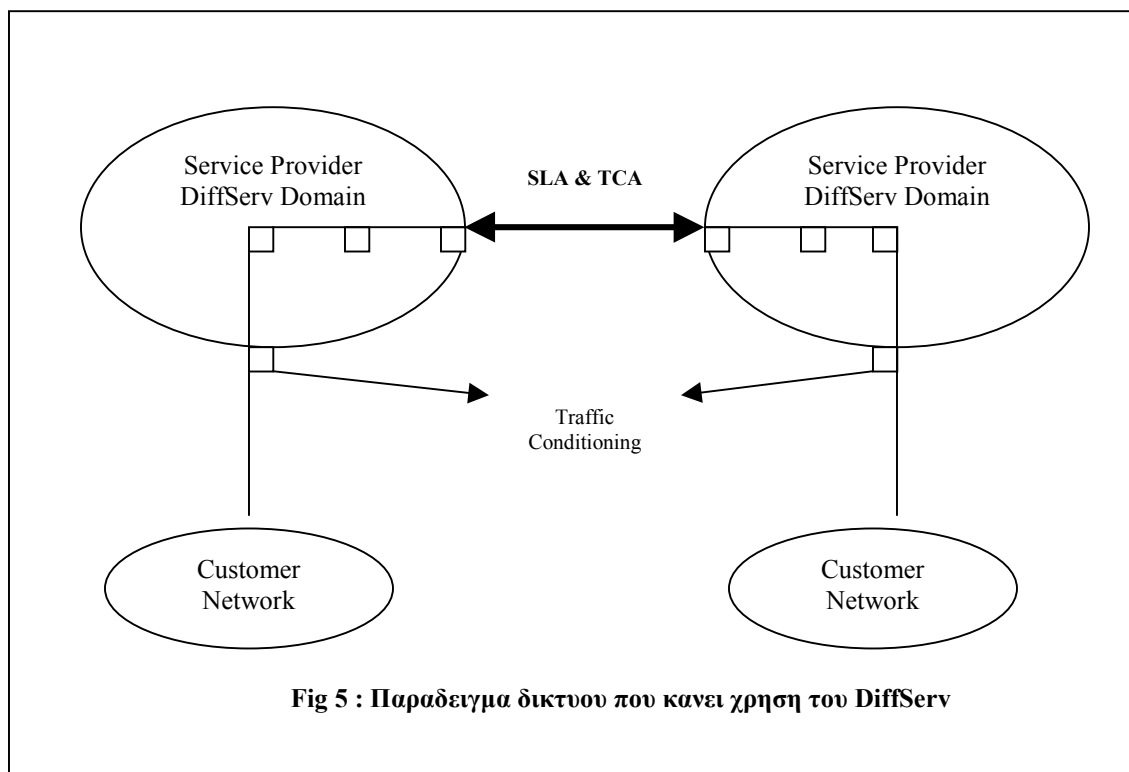


Fig 5 : Παραδειγμα δικτυου που κανει χρηση του DiffServ

Το Μέλλον του DiffServ και η χρήση του Σήμερα

Το πλεονέκτημα του DiffServ είναι ότι είναι συμβατό με την υπάρχουσα υποδομή των συσκευών και πρωτοκόλλων του Internet (backward compatible). Αυτό βέβαια σημαίνει θα είναι εύκολη η αναβάθμιση των υπάρχοντων συσκευών (router), αφού το DiffServ μπορεί να αναπτυχθεί κλιμακωτά. Ωστόσο δεν θα είναι εφικτές πολλές από τις λειτουργίες του DiffServ στα πρώτα στάδια, όπως είναι για παράδειγμα όπως traffic classification, shaping, queuing.

Οι routers που δεν καταλαβαίνουν το ToS πεδίο, θα έχουν ωστόσο κάποια προβλήματα

Από τα φέτος (1999) θα προσφερθούν συσκευές (routers) που θα είναι DiffServ-capable.

Ήδη εταιρεία όπως την Cisco και την Bay Networks προσφέρουν νέο Hardware. Συγκεκριμένα η Bay Networks ήδη προσφέρει το Versallar II Access Switch 15000 , που κοστίζει περίπου \$500 για γραμμή T1. Το γεγονός ότι το DiffServ έχει προχωρήσει από τα χαρτιά και τα recommendations , στην υλοποίηση είναι πολύ σημαντικό. Από εδώ φαίνεται ότι το DiffServ θα ανελιχτεί πολύ γρήγορα.

Το ερώτημα που τίθεται ωστόσο είναι κατα πόσο θα είναι απαραίτητη η αντικατάσταση των υπάρχοντων router με DiffServ enabled routers. Η απάντηση είναι οτι ήδη πολλές εταιρείες προσφέρουν Software Upgrades των routers, που θα τα κάνει ικανά να ανταποκριθούν στις ανάγκες του DiffServ. Ωστόσο οι ISP που θα θέλουν να επιτύχουν ψηλά επίπεδα επιδόσεων θα πρέπει οπωσδήποτε να προχωρήσουν σε hardware λύσεις. Αλλά για να επιτύχουμε ψηλά επίπεδα επιδόσεων θα χρειαστεί οπωσδήποτε η hardware αναβάθμιση.

Αν και το DiffServ άρχισε ήδη να εξαπλώνεται , η ευρεία εξάπλωση του θα πρέπει να αναμένετε σε 1-2 χρόνια.. Παράγοντες της αγοράς (κατασκευαστές, ερευνητές) αναμένουν ήδη από φέτος μερικοί ISP να προσφέρουν Differentiated Services. Ωστόσο αρχικά η πρόσφορα θα είναι από τον ένα ISP προς τον άλλο (e.g Cytanet προς Otenet). Αυτό θα επιτευχθεί με την σύναψη ειδικών συμφωνιών (SLAs) μεταξύ αυτών των παροχέων ,που θα είναι ικανοί να προσφέρουν End-to-End QoS στα δίκτυα τους. Ωστόσο για να επιτευχθεί αυτό οι ISPs θα χρειαστούν compatible SLAs για να γίνει εφικτή η προσφορά End-to-End. Αυτό ίσως δημιουργήσει

προβλήματα σε τοπικούς και μικρούς ISPs που από την μια θα θέλουν να προσφέρουν κάτι διαφορετικό, αλλά από την άλλη θα πρέπει να είναι συμβατοί με τους άλλους ISPs.

Οι Global ISPs (όπως e.g MSN) έχουν να επωφεληθούν από το πιο πάνω σενάριο , αφού θα μπορέσουν εύκολα να ορίσουν τις δικές τους κλάσεις και να είναι αποδεκτοί σε όλοι την υφήλιο, αφού έχουν τα δικά τους δίκτυα.

Περαιτέρω πρέπει να αναφέρουμε ότι η απλή αναβάθμιση των routers σε DiffServ routers, δεν θα είναι αρκετή για να επιτευχθεί το QoS. Θα πρέπει ο κάθε ISP να προσδιορίσει τις υπηρεσίες που θέλει να προσφέρει με πολύ λεπτομέρεια κάνοντας αναφορές σε καθυστερήσεις εύρους ζώνης εγγυήσεις και αλλά.. Αναμένεται ότι πολλοί ISPs θα προσφέρουν διαφορετικές υπηρεσίες από αυτές που ορίζει το IETF. Εξάλλου η IETF έχει αφήσει “χαλαρό” αυτό το θέμα

Τεχνολογίες δικτύων Υψηλών Ταχυτήτων που είναι ανταγωνιστές του DiffServ δεν αναμένεται να επικρατήσουν γιατί δεν είναι ικανά να προσφέρουν απόλυτες εγγυήσεις. Ωστόσο τέτοια δίκτυα οπωσδήποτε θα δώσουν περαιτέρω ώθηση σε Traffic Engineering based τεχνολογίες , όπως το DiffServ , αφού ενισχύουν τους πόρους του δικτύου μας

Τέλος θα ήταν καλό να αναφέρουμε ότι το μέλλον του DiffServ αναμένεται να είναι Λάμπρο, και ότι δεν θα καθυστέρηση καθόλου να φτάσει και στα δικά μας σπίτια.

Επίλογος – Συμπεράσματα

Η Παγκοσμιοποίηση του Internet έχει αλλάξει πλήρως τις απαιτήσεις τις οποίες είχαμε όταν αυτό δημιουργήθηκε. Σήμερα οραματιζόμαστε το διαδίκτυο σαν ένα ενιαίο δίκτυο προσφοράς πολυπηρεσιών. Ωστόσο το αδύνατο IP πρωτόκολλο δεν είναι ικανό να μας το προσφέρει αυτό.

Δίκτυα προσφοράς πολυπηρεσιών με εγγυήσεις, όπως το ATM φάνηκε εκ των υστερών ότι δεν μπορούν να εφαρμοστούν στο Internet λόγω οικονομικών και άλλων δυσκολιών. Αυτό που επιζητείται σήμερα είναι να μετατρέψουμε το υπάρχον Internet σε ένα νέο Internet που θα είναι ικανό να προσφέρει και υπηρεσίες με χρονισμό, με όσο το δυνατό λιγότερες αλλαγές στην υποδομή και τα πρωτοκολλά του, επωφελούμενοι παράλληλα από την γνώση και τους μηχανισμούς των δικτύων προσφοράς Ποιότητας Εξυπηρέτησης όπως το ATM

Μέχρι σήμερα το IP πρόσφερε 1 κλάση υπηρεσιών, και συνεπώς δεν μπορούσε να χειριστεί με διαφοροποιημένο τρόπο υπηρεσίες, που άλλες ζητούν καλύτερη και άλλες λιγότερη καλή εξυπηρέτηση. Στην μελέτη μας προσπαθήσαμε να ορίσουμε καταρχήν ποιες υπηρεσίες αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον. Με βάση αυτές θα ήταν πιο εύκολο να καταλάβουμε ποιες τεχνολογίες και πως θα μπορέσουν να επικρατήσουν.

Μετά από προσεκτική μελέτη και έρευνα στις αρχιτεκτονικές για προσφορά IP QoS, διαπιστώσαμε και καταλήξαμε στα συμπεράσματα ότι η αρχιτεκτονική IntServ αναμένεται να χρησιμοποιηθεί μονάχα σε Intranets και γενικά σε μικρά δίκτυα, σε αντίθεση με το DiffServ που θα αντικαταστήσει σε μερικά χρόνια το υπάρχον IP δίκτυο. Ωστόσο στο μέλλον διαφαίνεται επίσης ότι αυτές οι δυο αρχιτεκτονικές θα συνδυαστούν για να προσφερθεί τελικά End-to-End QoS. Παντός οι παροχής υπηρεσιών φαίνεται να προωθούν αρκετά αυτές τις τεχνολογίες γιατί αναμένουν να τους προσφέρουν τεράστια έσοδα

Ο απώτερος σκοπός είναι να μεταφέρουμε στο μέλλον όσο περισσότερη πληροφορία με όσο το δυνατό λιγότερες καθυστερήσεις και όσο το δυνατό μεγαλύτερες εγγυήσεις για να μπορέσουμε να προσφέρουμε συνεχώς καινούργιες υπηρεσίες με χρονισμό, που θα μας οδηγήσουν σε ένα άλλο τρόπο ζωής. Προς το παρόν αυτό ακούγεται σαν ιδέα επιστημονικής φαντασίας, αλλά μην ξεχνάτε ότι το ίδιο επιστημονική φαντασία ήταν και η ύπαρξη του Internet ως έχει σήμερα, πριν 20 χρόνια.

Internet Protocol Quality of Services Team

8 - Glossary

Admission Control	Είναι μια στρατηγική απόφασης που εφαρμόστηκε αρχικά στο QoS, και για έλεγχο πρόσβασης στο traffic του δικτύου, απαιτεί ένα δεδομένο πεδίο πρόσβασης. Βασίζεται στην αυθεντικότητα της πηγής. Σε αντίθεση με το policing το οποίο λαμβάνει χώρο αφότου γίνει αποδεκτή μια απαίτηση, και υπάρχουν τρέχοντα δεδομένα.
Assured Forwarding (AF)	Είναι μια συγκεκριμένη συμπεριφορά DiffServ, η οποία μοιράζει τα IP πακέτα σε τέσσερις ξεχωριστές per-hop-behavior (PHB) τάξεις. Χρησιμοποιώντας αυτές τις τάξεις, ένας προμηθευτής μπορεί να προσφέρει διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών για IP πακέτα που παραλαμβάνονται από ένα πεδίο πελατών. Κάθε Assured Forwarding τάξη δεσμεύει ένα συγκεκριμένο ποσό buffer χώρου και bandwidth.
Asynchronous Transfer Mode (ATM)	Είναι η πλαισίωση δεδομένων και ο σχεδιασμός αρχιτεκτονικής για μεταφορά voice, video και δεδομένων, η οποία έχει ενσωματωθεί στις ικανότητες του QoS. Το ATM εφαρμόζεται στο Layer2 του μοντέλου OSI και είναι μια υψηλής ταχύτητας, connection-oriented, multiplexing αρχιτεκτονική. Το bandwidth χωρίζεται σε cells σταθερού μεγέθους -53 bytes το κάθε ένα- συμπεριλαμβανομένων των headers, τα οποία δεσμεύονται στις υπηρεσίες μετά από απαίτηση. Το bandwidth μπορεί να δεσμεύεται και δυναμικά. Το ATM μπορεί να προσφέρει ρυθμούς bandwidth που φτάνουν μέχρι και multi-gigabit bandwidth. Παρόλο που υπάρχουν σχετικά λίγες ATM εφαρμογές, το TCP/IP traffic μπορεί να σταλεί σε ένα ATM επίπεδο. Το ATM μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα LAN, MAN, WAN. Στα επόμενα χρόνια οι ATM υπηρεσίες θα συνεργάζονται με τα δίκτυα IP που υποστηρίζονται από QoS.
Best effort Service	Είναι η εξ ορισμού συμπεριφορά των δικτύων TCP/IP εν απουσία των QoS μέτρων. Οι κόμβοι του TCP/IP θα κάνουν ότι μπορούν για την παράδοση κάποιας μετάδοσης αλλά θα αποβάλουν πακέτα χωρίς διακρίσεις, όταν παρουσιαστεί congestion στη διαχείριση του bandwidth, ή θα αναθέσουν προτεραιότητες σε πακέτα ευαίσθητα στην καθυστέρηση. Το Internet σήμερα είναι ένα καλό παράδειγμα υπηρεσίας best effort. Το best effort είναι ικανοποιητικό για ένα πλατύ range από δικτυακές εφαρμογές όπως η μεταφορά γενικών αρχείων ή e-mail.
Cell Delay Variation(CDV)	Οι εναλλαγές στην καθυστέρηση του cell σε ένα ATM δίκτυο.
Cell Error Ratio (CER)	Η αναλογία των λανθασμένων cells στα cells που μεταδίδονται σε ένα ATM δίκτυο. Μετρά την ακρίβεια της μεταφοράς cells.

Cell Loss Priority(CLP)	Είναι ένα bit στα cells του ATM, το οποίο ορίζει πότε ένα cell μπορεί να αποβληθεί, αν παραστεί αναγκαίο.
Cell Loss Ratio(CLR)	Είναι η αναλογία σε ένα ATM δίκτυο, να χαθεί ένα ATM cell προς τα cells που έχουν μεταδοθεί . Μετρά το ποσοστό των cells που χάθηκαν μεταξύ δύο σημείων στο δίκτυο. Το cell loss έχει τυπικά προκληθεί από congestion στο δίκτυο. Μπορεί επίσης να είναι αποτέλεσμα των bit λαθών στο header του cell.
Class	Είναι μια έννοια η οποία μπορεί να ορισθεί με διάφορα κριτήρια στρατηγικής όπως τα IP περιεχόμενα των headers των πακέτων , ή η ώρα της ημέρας, κ.λ.π. Ο ορισμός της τάξης μπορεί να διαφέρει σε διαφορετικά σημεία του δικτύου.
Classifier	Είναι μια οντότητα η οποία επιλέγει πακέτα βασισμένα στα περιεχόμενα των headers των πακέτων σύμφωνα με τους ορισμένους κανόνες.
Class of Service(CoS)	Είναι μια κατηγορία βασισμένη στον τύπο του χρήστη, της εφαρμογής, ή κάποιου άλλου κριτηρίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποιο QoS σύστημα, για να προσφέρει διαφοροποιημένες τάξεις υπηρεσιών. Τα χαρακτηριστικά των CoS μπορεί να είναι κατάλληλα για υψηλό throughput traffic, για traffic με απαιτήσεις για χαμηλή καθυστέρηση ή απλά για best effort. Το QoS για κάποια συγκεκριμένη ροή του traffic θα είναι εξαρτημένο από τον αριθμό και τον τύπο των άλλων ροών traffic που επιτρέπονται στην τάξη τους.
Codepoint	Έχουν γίνει σε μια νέα εφαρμογή της 4 IP έκδοσης, του header, του τύπου υπηρεσιών (ToS), που ονομάζεται πεδίο DiffServ και χρησιμοποιούνται για την επιλογή ανά hop συμπεριφοράς (PHB). Λαμβάνουν μέρος στο host είτε στα όρια (boundaries) είτε στα άκρα κάποιας συσκευής.
Common Open Policy Service(COPS)	Είναι ένα IETF προτεινόμενο standard το οποίο ορίζει ένα απλό πρωτόκολλο το οποίο διασφαλίζει QoS με την outsourcing policy, βασισμένη στον έλεγχο πρόσβασης πάνω σε απαιτήσεις για πηγές δικτύου. Το COPS επιτρέπει σε ένα policy server να ελέγχει τις συσκευές στο δίκτυο, όπως τους routers και τα switches, έτσι ώστε το policy το οποίο βασίζεται στις προτεραιότητες της επιχείρησης να μπορεί να επιτευχθεί. Το COPS είναι πρωτόκολλο στο RSVP. Μελλοντικές επεκτάσεις θα επιτρέπουν τον έλεγχο πληροφοριών μεταξύ των policy servers και των DiffServ πελατών.
Congestion Avoidance	Είναι τα μέτρα που παίρνει το δίκτυο για να προλάβει τυχόν congestion, περιμένοντας συνθήκες στις οποίες ροές ή συνολικές ροές μπορεί να λαμβάνουν επιλεγμένα επίπεδα υπηρεσιών ανάλογα με το traffic στα σημεία του δικτύου.
Congestion Management	Μηχανισμός στα σημεία πολύπλεξης ο οποίος επιβάλλει κάποια σειρά όταν το traffic ξεπερνά τη χωρητικότητα του δικτύου για μια ροή ή ένα σύνολο από ροές. Ορίζει πότε κάποια πακέτα πρέπει να απορριφθούν και αν ναι κρατά τα

	πιο σημαντικά πακέτα. Queuing, scheduling και traffic shaping είναι από τις πιο γνωστές τεχνικές.
Constant Bit Rate (CBR)	Τα multimedia streams-audio, video-είναι παραδείγματα των CBR εφαρμογών, αφού στέλνουν σε σχετικά σταθερό ρυθμό τις πληροφορίες με σταθερές κρατήσεις bandwidth.
Controlled Load	Αυστηρά καθορίζει την υπηρεσία best effort κάτω από συνθήκες εκφόρτωσης – είναι μια υψηλού επιπέδου , αλλά όχι εγγυημένη υπηρεσία. Στο προτεινόμενο IETF μοντέλο αυτό το επίπεδο υπηρεσίας σχεδιάστηκε για εφαρμογές πολυμέσων όπου ο χρόνος καθυστέρησης δεν θεωρείται κρίσιμος αλλά η ποιότητα της παράδοσης είναι σημαντική. Αυτή η υπηρεσία είναι κατάλληλη για εφαρμογές όπως την one-way voice ή video αλλά όχι για real time εφαρμογές.
Core router	Είναι ένας router στον προμηθευτή υπηρεσιών του δικτύου, WAN, ο οποίος δεν έχει απευθείας συνδέσεις με κανένα router στην πλευρά του πελάτη.
Differentiated Services Field	Το Ipv4 header TOS octet ή το IPv6 Traffic Class octet.
Early Packet Discard	Ο μηχανισμός αποφυγής congestion ο οποίος γενικά βρίσκεται στα ATM δίκτυα.
Explicit Congestion Notification(ECN)	See http://www-nrg.ee.lbl.gov/floyd/ecn.html
Expedited Forwarding (EF)	Μια per-hop Behavior (PHB) στο DiffServ standard, η οποία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μιας ιδεατής υπηρεσίας least line.
FIFO	Μια απλή ουρά που χρησιμοποιείται στην best effort IP υπηρεσία, ο πιο απλός queuing αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στα switches και στα routers όταν τα πρώτα πακέτα που θα φτάσουν στο buffer είναι και τα πρώτα που θα φύγουν.
Flow	Ένα σύνολο από πακέτα που μεταφέρουν ένα αντικείμενο, τα οποία έχουν την ίδια απαίτηση για έλεγχο της ποιότητας υπηρεσίας.
Flowspec	Πληροφορίες για το QoS οι οποίες απαιτούνται από τη ροή, και περιλαμβάνονται στο RSVP μήνυμα, το οποίο λει σε κάθε router κατά μήκος ενός μονοπατιού δεδομένων, ποιές πηγές πρέπει να κρατηθούν για τη συγκεκριμένη ροή.
Internet Engineering Task Force (IETF)	Είναι η βάση των standards του πρωτοκόλλου, η οποία αναπτύσσει και διευκρινίζει πρωτόκολλα και standards του Internet, στο network layer και πιο πάνω.

IPv4 (Internet Protocol Version 4)	Το πιο διαδεδομένο version του Internet πρωτοκόλλου, το οποίο προσφέρει κάποιους βασικούς μηχανισμούς για κατηγοριοποίηση του traffic κατά την παρουσία IP και ToS header των πεδίων. Συνήθως όμως το hardware και το software δεν τους χρησιμοποιούν.
IPv6 (Internet Protocol Version 6)	Μια αναβάθμιση του Internet πρωτοκόλλου, η οποία ακόμη βρίσκεται στα αρχικά στάδια.
Internet Service Provider (ISP)	Εταιρία υπηρεσιών επικοινωνίας η οποία προσφέρει πρόσβαση στο Internet και υπηρεσίες στους πελάτες. Οι υπηρεσίες του ISP κυμαίνονται από το παραδοσιακό e-mail και Webpage hosting σε νεότερες υπηρεσίες όπως VoIP, VPNs και e-commerce.
Leased Line	Μια προσωπική, αφοσιωμένη γραμμή επικοινωνίας η οποία κρατείται για ένα μόνο πελάτη, και συνήθως χρησιμοποιείται για να ενώσει μέρη του WAN. Το bandwidth εξαρτάται από την υπηρεσία.
Over Provisioning	Ένας τρόπος για να δώσουμε διευθύνσεις σε τρέχουσες οριοθετήσεις του best effort δικτύου με το να δίνεται περισσότερο bandwidth από αυτό που αναμένεται από τις απαιτήσεις του δικτύου. Αυξάνει την πιθανότητα μεταφοράς των ευαίσθητων στο χρόνο εφαρμογών αλλά δεν εγγυάται ποιότητα.
Packet Classification	Μια μεθοδολογία για οργάνωση πακέτων σε ομάδες χρήσιμες για QoS. Η κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει βάση του range των granularities, από ομάδες από ροές σε ανεξάρτητες ροές.
Policy Server	Ο server ο οποίος εγκρίνει τις αιτήσεις για παροχή QoS από τους routers ή τους gateways, και συντονίζει την χρήση του bandwidth σε πολλαπλές συσκευές δικτύου για να επιβεβαιώσει έτσι την συνέπεια στην end-to-end παροχή υπηρεσίας σε όλο το μονοπάτι δεδομένων.
Premium Service	Σε ορολογίες του DiffServ, το Premium service είναι μια peak-limited και τρομερά low-delay υπηρεσία, που θυμίζει leased line. Στην άκρη του δικτύου, όπου δημιουργείται αρχικά ένα premium class, πρέπει να είναι ελεγχόμενο (policed) σε ένα ρυθμό με καταιγισμό που δεν θα ξεπερνά τα δύο πακέτα. Αυτός που θα αστυνομεύει το Premium Service, ρυθμίζεται να απορρίπτει τα πακέτα που ξεπερνούν το καθορισμένο peak rate. Για την υπηρεσία αυτή το peak rate του Premium class πρέπει να καθοριστεί και το rate πρέπει να είναι μικρότερο από την χωρητικότητα του κόμβου.
QoS Policy	Ένα σύνολο από δράσεις του δικτύου που κάνει για να επιβεβαιώσει και να κάνει signal για την παροχή μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας, που παρέχει QoS, σε ένα συγκεκριμένο class traffic.

QoS Signaling	Το QoS signaling είναι ο τρόπος για μεταφορά QoS αιτήσεων και παραμέτρων μεταξύ συσκευών ή εφαρμογών για να παραδώσουν απαιτήσεις για υπηρεσίες QoS μέσα στο δίκτυο. Είτε με in-band signaling(πχ IP Precedence ή 802.1p) , είτε με out-of-band signaling (RSVP), χρησιμοποιείται για να επισημάνει μια συγκεκριμένη QoS υπηρεσία χρειάζεται για ένα συγκεκριμένο traffic classification. Το RSVP και το IP Precedence είναι οι δύο πιο χρήσιμοι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για signaling, επειδή εκμεταλλεύονται την end-to-end φύση του πρωτοκόλλου που χρησιμοποιεί το τρίτο layer και την παρούσα ανάπτυξη του IP.
Reservation	Μέρος των πόρων που έχουν αφιερωθεί για την χρήση ενός συγκεκριμένου τύπου traffic, για μια χρονική περίοδο, μέσω των μηχανισμών αστυνόμευσης.
Soft QoS (Qualitative QoS)	Παροχή ποιότητας στην υπηρεσία που δεν περιέχει 100% εγγύηση των παραμέτρων απόδοσης (bandwidth, latency, jitter), αλλά παραδίδει ποιότητα με κάποιο πιθανοτικό ποσοστό. Γενικά προσφέρει καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας από το best effort.
Traffic Conditioning Agreement (TCA)	Μια συμφωνία που καθορίζει τους κανόνες κατηγοριοποίησης και το ανάλογο traffic profile, την μέτρηση, το μαρκάρισμα, την απόρριψη τα οποία θα εφαρμοστούν στα traffic streams που θα επιλεγθούν από τον classifier. Το TCA περιλαμβάνει όλους τους υπό συνθήκη κανόνες του traffic, οι οποίοι προσδιορίζονται μοναδικά μέσα στο SLA μαζί με όλους τους άλλους κανόνες για τις ανάλογες απαιτήσεις υπηρεσίας.
Type of Service (ToS)	Ένα πεδίο μέσα στο IP header το οποίο χρησιμοποιείται από την συσκευή που εκπέμπει το πακέτο, ή από μια intermediate συσκευή δικτύωσης, για να σηματοδοτήσει μία αίτηση για ένα συγκεκριμένο επίπεδο υπηρεσίας. Το ToS χρησιμοποιεί 3 bits για να ειδοποιήσει το router πως να δώσει προτεραιότητα στο πακέτο, και 1 bit για να σηματοδοτήσει απαιτήσεις σχετικά με την καθυστέρηση, το throughput και την αξιοπιστία. Το ToS είναι επίσης γνωστό ως IP Precedence πεδίο. Εντούτοις, πρακτικά δεν έχει χρησιμοποιηθεί.
Vitrual Circuit (VC)	Μια λογική διασύνδεση μεταξύ δύο κομβων του δικτύου, η οποία λειτουργεί σαν να είναι μια απευθείας φυσική διασύνδεση παρόλο που στην φυσική του μορφή μπορεί να βασίζεται στα πακέτα. Ο όρος χρησιμοποιείται πιο συχνά για να περιγράψει διασυνδέσεις μεταξύ δύο hosts σε ένα packet switching δίκτυο.
Virtual Private Network(VPN)	Ένα Virtual Private Network είναι ένα δίκτυο προσωπικών δεδομένων (private data network) το οποίο χρησιμοποιεί την δημόσια τηλεπικοινωνιακή υποδομή, διατηρώντας όμως την ιδιωτικότητα μέσω της χρήσης ενός πρωτοκόλλου τούνελ (tunneling protocol) και διαδικασίες ασφάλειας. Για παράδειγμα, μια εταιρεία μπορεί να συμφωνήσει με ένα ISP για να εγκαθιδρύσει ένα VPN, για να χρησιμοποιεί το Internet για να ενώσει δύο γεωγραφικά απομακρυσμένες

τοποθεσίες, παρά για να εγκαθιδρύσει ένα αφοσιωμένο WAN ή να χρησιμοποιήσει ένα Leased Line. Ένα VPN μπορεί να δώσει στην εταιρεία τις ίδιες δυνατότητες με χαμηλότερο κόστος, χρησιμοποιώντας την δημόσια υποδομή (public infrastructure).

9 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Books

- Quality of Services Networking – Chapter 46 of Internet Working Technology Overview, June 1999
- TCP/IP Illustrated, Volume I, Stevens W.R., Addison-Wesley, 1994.
- Asynchronous Transfer Mode networks, 2nd Edition, Raif Onvural, Artech, 1995.
- Multimedia Systems J.F. Koegel Buford, Addison Wesley, 1994.

Organizations – Companies

- <http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html> - IETF DiffServ Working Group home page
- <http://www.qosforum.com> - The QoS Forum
- <http://www.nortelnetworks.com/index.html> - Nortel Networks
- <http://www.cisco.com> - Cisco System News/Press and Publications
- <http://www.startdust.com> - Stardust Web Site

Other Resources

- Improving Internet Congestion Control and Queue Management Algorithms, by Wu-chang Feng 1999
- IP QoS – A bold New Network <http://www.nortel.com>
- <http://computer.org/internet/v3n2/w2onwire.htm> – IP QoS: Travelling in first class on the Internet, by Chriz Metz
- http://www.trillium/whats-new/wp_ipqos.html - Trillium IP Quality of Service White Paper
- <http://www.bcr.com/bcsmag/04/99p25.htm> - "QoS: What Can Service Providers Deliver?" By Joanie Wexler, BCR, April 1999, pp.25-3

- <http://www.telstra.net/gih/inet98/index.html> - Quality of Service on the Internet: Fact, Fiction, or Compromise? By Paul Ferguson
- <http://www.data.com/issue/990207/distance.html> - "Going the Distance with QoS: Tech Tutorial" *Data Communications* (3/7/99)
- <http://www.data.com/issue/990307/qos.html> - "Application Prioritization: Giving the Green Light to Business Apps." A step-by-step guide to establishing QoS policies that works.
- <http://www.networkcomputing.com/915/915ws1.html> - "Implementing Prioritization on IP Networks." How to prioritize IP traffic using type-of-service bytes.

QoS Papers

- <http://www.networkcomputing.com/915/915ws1.html> - "Implementing Prioritization on IP Networks." How to prioritize IP traffic using type-of-service bytes.
- <http://www.stardust.com/qos/whitepapers/faq.htm#5.1> - FAQ Frequently Asked Questions on IP QoS
- <http://www.stardust.com/qos/whitepapers/need.htm> - The need for QoS
- <http://www.stardust.com/policy/whitepapers/qospol.htm> - Introduction to QoS policies
- <http://www.stardust.com/qos/whitepapers/glossary.htm> - Quality of Service glossary of terms
- <http://www.stardust.com/qos/whitepapers/protocols.htm> - QoS protocols & architectures

RSVP and Integrated Services (IntServ)

- <http://www3.nortelnetworks.com/WhitePapers/rsvp/wprsvpte.htm> - "RSVP: Resource Reservation Protocol," Nortel/ Micom technology brief
- http://www.rad.com/networks/1997/rsvp/rsvp_welcome.html - "Resource Reservation Protocol," lecture by Dr. Debby Koren

Differentiated Service (DiffServ)

- "Differentiated Services: Moving towards Quality of Service on the Ethernet," Intel
http://www.intel.com/network/white_papers/diff_serv/index.htm
- "DiffServ: Something Old, Something New," by Mary Petrovsky, *Performance Computing*, March 1999
<http://www.performancecomputing.com/columns/packets/9903.shtml>
- RFC 791 – <http://www.cis.ohio-state.edu/htbin/rfc/rfc791.html>
- RFC 1349 – <http://www.cis.ohio-state.edu/htbin/rfc/rfc1349.html>
- RFC 1122 – <http://www.cis.ohio-state.edu/htbin/rfc/rfc1122.html>
- Performance - Packets & Protocols - DiffServ: Something Old, Something New
<http://www.performancecomputin...com/columns/packets/9903.shtml>

Multi-Protocol Label Switching (MPLS)

- <http://www.nwfusion.com/news/tech/0524tech.html> - "MPLS: Not just a city in MN. Label switching hikes IP performance." By Andrew Malis, Network World, 5/24/99.
- <http://www.networkmagazine.com/magazine/archive/1999/04/9904tech3.htm> - "MPLS: The New Order in IP Networking?" By Tom Nolle, Network Magazine, April 1999, pp. 48-52
- ftp://ftp.microsoft.com/bussys/winsock/winsock2/gqos_spec.doc - Microsoft's latest GQOS spec Microsoft's Generic Quality of Service (GQOS) API