

**UNIVERSITY OF MACEDONIA**

Master Information Systems

**Networking Technologies**

Professors: A.A. Economides &  
A. Pomportsis

**QoS (Quality of Service)  
Metrics and Measurements  
for IP Networks**

**Kontogiannis Antonios**

February 2003

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

**Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων**

Καθηγητές: Α.Α. Οικονομίδης &

Α. Πομπόρτσης

**QoS (Quality of Service)  
Metrics and Measurements  
for IP Networks**

**Κοντογιάννης Αντώνιος**

**Φεβρουάριος 2003**

Η ανάπτυξη των IP δικτύων και συγκεκριμένα του Internet τα τελευταία χρόνια ήταν τεράστια, και ο αριθμός των δικτύων, μηχανών και χρηστών που το χρησιμοποιούν αυξάνεται ραγδαία φτάνοντας σε πολλά εκατομμύρια χρήστες οι οποίοι διπλασιάζονται κάθε χρόνο. Τα μεγέθη αυτά φυσικά το καθιστούν ελκυστικότατο σαν μια νέα πολύ μεγάλη αγορά για κάποιον που έχει να προσφέρει υπηρεσίες μέσω αυτής. Ο ορισμός του να είναι κάποιος συνδεδεμένος σε ένα IP δίκτυο είναι να τρέχει τη στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP, έχοντας μια διεύθυνση IP και να έχει τη δυνατότητα αποστολής και λήψης πακέτων IP σε όλους τους άλλους κόμβους που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο αυτό.

Η ποιότητα υπηρεσιών (quality of service – QoS) είναι από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στις IP δικτυώσεις και στο Internet γενικότερα. Ο στόχος του QoS είναι να ικανοποιήσει διαφορετικές απαιτήσεις υπηρεσιών βασισμένη στην ίδια δομή δικτύου. Να προσφέρει την δυνατότητα ποιοτικής ή ποσοτικής διαφοροποίησης σε μια προσφερόμενη δικτυακή υπηρεσία. Η ποιοτική, όχι τόσο εύκολα μετρήσιμη επικεντρώνεται κυρίως στις διαφορετικές τάξεις υπηρεσίας (class of service). Η ποσοτική, με παραδείγματα το εύρος ζώνης, την καθυστέρηση, την απώλεια δεδομένων κ.τ.λ. είναι πιο εύκολα μετρήσιμη και ανιχνεύσιμη.

Οι μετρήσεις αυτές εκτιμώνται όλο και περισσότερο σαν μια ουσιώδη λειτουργία για ανάπτυξη και υποστήριξη υψηλής ποιότητας υπηρεσιών δικτύου. Διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί από τις οποίες οι δύο κύριες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται είναι η παθητική (passive) και η ενεργητική (active) μέτρηση της ποιότητας. Στις μεθόδους αυτές που θα περιγραφούν, μπορούν να εντοπιστούν διάφορα προβλήματα, όπως στην αξιολόγησή τους στη μορφή των προς μέτρηση πακέτων αλλά και στο συγχρονισμό των ρολογιών στα πιθανά σημεία μετρήσεων

Η συνεχής προσπάθεια για προσφορά υπηρεσιών ποιότητας, η δημιουργία νέων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων όπως αυτό του IPv6, έχει δημιουργήσει ήδη στις μέρες μας διάφορες υπηρεσίες που λίγα χρόνια παλιότερα έμοιαζαν μακρινές, τουλάχιστον για τα IP δίκτυα και το Internet. Παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών αποτελούν η IP τηλεφωνία, το video κατ' απαίτηση και η τηλεδιάσκεψη. Επιπρόσθετα η απαίτηση των χρηστών για αδιάκοπη και από παντού πρόσβαση στο Internet, αλλά και η τεράστια ταχύτητα αναπτυσσόμενη νέα αγορά που δημιουργείται, καθιστά το QoS στα ασύρματα IP δίκτυα την επόμενη επανάσταση στις υπηρεσίες.

The growth of IP Networks and the Internet over the last few years was enormous. The number of users, networks and machines who use it, increase rapidly, coming up to millions of users and doubling each year. Those sizes make it appealing as a new huge market for anyone has to offer services through it. The definition of being connected on an IP network is running the TCP/IP protocols, having an IP address and the capability of sending and receiving IP packets from all the nodes connected to the same network.

Generally Quality of Service (QoS) is one of the greatest challenges in IP networking and in Internet generally. The aim of QoS is to satisfy different service requirements by sharing the same infrastructure. It also aims to provide the capability of qualitative or quantitative differentiation to network services provided. The qualitative, not easily measured or monitored is mainly centralized in classes of service, while the quantitative (e.g. bandwidth, delay, data loss e.t.c.) is more conveniently measured and monitored.

Those measurements are increasingly regarded as an essential function for developing and supporting high-quality network services. Several methods have been developed from which the two main approaches being used are the passive and active measurement of quality. In these methods, several problems can be detected, like their evaluation, the packet format and the synchronization of the clocks used at the point of measurement.

The constant effort for offering quality of service, the development of new technologies and protocols like IPv6 has created in our days several services which seemed distant a few years ago at least for IP networks and the Internet. Examples of such services are IP telephony, video – on – demand and video and sound conferencing. In addition the users demand for anywhere anytime access to the Internet with the huge rate of growth of the new market created; make QoS on the wireless IP networks the next revolution in services.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ QOS.....</b>	<b>5</b>
1.1 Ο ΑΠΑΘΗΣ ΕΛΕΦΑΝΤΑΣ .....	6
1.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ.....	6
1.3 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ.....	7
1.4 ΕΓΓΥΗΣΕΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ.....	7
1.5 ΤΑΞΕΙΣ ΤΠΗΡΕΣΙΩΝ.....	8
1.6 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....	8
1.7 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ QoS.....	9
<b>2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ IP ΔΙΚΤΥΑ.....</b>	<b>10</b>
2.1 ΕΠΙΠΕΔΟ INTERNET .....	11
2.2 ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ .....	11
2.3 ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	12
2.4 ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	13
2.5 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ IP ΔΙΚΤΥΩΝ.....	13
<b>3. QOS ΣΤΑ IP ΔΙΚΤΥΑ.....</b>	<b>14</b>
<b>4. ΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....</b>	<b>15</b>
4.1 ΜΕΤΡΑ.....	15
4.1.1 <i>Reachability and Reliability</i> .....	15
4.1.2 <i>Delay</i> .....	16
4.1.3 <i>Jitter</i> .....	17
4.1.3.1 ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΟΥ Delay .....	17
4.1.3.2 ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	17
4.1.4 <i>ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΠΑΚΕΤΩΝ</i> .....	17
4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	18
4.2.1 <i>ΠΑΘΗΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ</i> .....	18
4.2.2 <i>ΕΝΕΡΓΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ</i> .....	18
4.2.2.1 ΕΝΕΡΓΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΥΟ ΔΡΟΜΩΝ .....	18
4.2.2.2 ΕΝΕΡΓΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΔΡΟΜΟΥ .....	21
4.3 ΕΥΠΑΘΕΙΑ.....	22
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΛΥΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ .....</b>	<b>23</b>
5.1 FORMAT ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ .....	23
5.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ .....	24
5.3 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ .....	24
<b>6. Η QOS ΣΗΜΕΡΑ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....</b>	<b>25</b>
6.1 ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ IP .....	25
6.2 VIDEO – ON – DEMAND .....	26
6.3 ΤΗΛΕΔΙΑΣΚΕΨΗ VIDEO ΚΑΙ SOUND .....	26
<b>7. Η QOS ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ .....</b>	<b>27</b>
<b>ΠΑΡΑΤΗΜΑ Α: ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΑΡΙΘΜΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ IP .....</b>	<b>27</b>
ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΑΡΙΘΜΩΝ IP.....	28
ΕΚΡΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	29
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: QOS ΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ IP ΔΙΚΤΥΑ .....</b>	<b>29</b>
ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ QoS.....	31
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>33</b>

# INDEX

<b>1. WHAT IS QOS .....</b>	<b>5</b>
1.1 THE ELUSIVE ELEPHANT .....	6
1.2 QUALITY .....	6
1.3 SERVICE .....	7
1.4 SERVICE GUARANTEES .....	7
1.5 CLASSES OF SERVICE.....	8
1.6    QUALITY OF SERVICE.....	8
1.7    HISTORY OF QOS .....	9
<b>2. WHAT IS IP NETWORKS .....</b>	<b>10</b>
2.1 INTERNET LAYER .....	11
2.2 TRANSPORT LAYER .....	11
2.3 APPLICATION LAYER.....	12
2.4 PHYSICAL LAYER .....	13
2.5 EVOLUTION OF IP NETWORKS .....	13
<b>3. QOS IN IP NETWORKS.....</b>	<b>14</b>
<b>4. METRICS AND MEASUREMENTS.....</b>	<b>15</b>
4.1 METRICS.....	15
4.1.1 <i>Reachability and Reliability</i> .....	15
4.1.2 <i>Delay</i> .....	16
4.1.3 <i>Jitter</i> .....	17
4.1.3.1 <i>Variation of the Delay</i> .....	17
4.1.3.2 <i>Variation of the interarrival time</i> .....	17
4.1.4 <i>Packet Loss Ratio</i> .....	17
4.2 MEASUREMENTS .....	18
4.2.1 <i>Passive Measurements</i> .....	18
4.2.2 <i>Active Measurements</i> .....	18
4.2.2.1 <i>Two - way active measurement</i> .....	18
4.2.2.2 <i>One - way active measurement</i> .....	21
4.3 VULNERABILITY .....	22
<b>5. CONCLUSIONS AND OPEN PROBLEMS.....</b>	<b>23</b>
5.1 FORMAT FOR PACKET STORING .....	23
5.2 EVALUATION OF QUALITATIVE PARAMETERS .....	24
5.3 TIME SYNCHRONIZATION .....	24
<b>6. QOS TODAY: APPLICATIONS.....</b>	<b>25</b>
6.1 IP TELEPHONY .....	25
6.2 VIDEO – ON – DEMAND .....	26
6.3 VIDEO AND SOUND CONFERENCING.....	26
<b>7. QOS IN THE FUTURE .....</b>	<b>27</b>
<b>APPENDIX A: IP NETWORK NUMBER EXHAUSTION.....</b>	<b>27</b>
IP NETWORK NUMBER EXHAUSTION .....	28
ROUTING INFORMATION EXPLOSION .....	29
<b>APPENDIX B: QOS FOR WIRELESS IP NETWORKS.....</b>	<b>29</b>
WIRELESS QoS ARCHITECTURE.....	31
<b>REFERENCES .....</b>	<b>33</b>

# 1. What is QoS

Στην προσπάθεια ορισμού του Quality of Service έχουν δοθεί πολλές διαφορετικές εκδοχές, κάτι φυσιολογικό αν σκεφτεί κανείς την ασάφεια και την αοριστία όρων όπως αυτών της ποιότητας και της υπηρεσίας. Για να μπορέσει κανείς να το κατανοήσει αυτό χρήσιμη είναι η ιστορία του κρυμμένου ελέφαντα [Huston,2000]

## 1.1 The Elusive Elephant

Τρεις τυφλοί, σε ένα ταξίδι τους συνάντησαν έναν ελέφαντα. Ο πρώτος τυφλός ακούμπησε την προβοσκίδα του και αποφασίζει πως συνάντησαν ένα τεράστιο φίδι. Ο δεύτερος άντρας ακουμπάει ένα από τα πόδια του και σκέφτεται πως το αντικείμενο που βρέθηκε στο δρόμο τους είναι ένα δέντρο και ο τρίτος πιάνει ένα αυτί του ελέφαντα και νομίζει ότι είναι ένα πουλί.

Μπορούμε να σκεφτούμε το QoS σαν τον ελέφαντα της ιστορίας μας. Διαφορετικοί άνθρωποι το βλέπουν από τη δικιά τους σκοπιά καθώς συναντούν διαφορετικά προβλήματα. Επιπρόσθετα, τα διαφορετικά προβλήματα δημιουργούν διαφορετικές λύσεις, πιθανώς αντικρουόμενες, με αποτέλεσμα να δημιουργείται «σχίσμα» στη βιομηχανία των δικτύων όσο αφορά στο QoS. Για να εξετάσουμε λοιπόν το ασαφές της έννοιας, ας δούμε πρώτα τις εξίσου ασαφείς έννοιες της ποιότητας (quality) και της υπηρεσίας (service) που τη συνιστούν.

## 1.2 Quality

Ο όρος ποιότητα (Quality) [Ferguson, Huston,1998] μπορεί να εμπεριέχει πολλούς τομείς στα δίκτυα, συνήθως όμως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαδικασία της αποστολής δεδομένων με έναν αξιόπιστο τρόπο ή ακόμα και με έναν, κατά κάποιο τρόπο, αποδεκτό τρόπο. Η διαδικασία αυτή μπορεί να περιέχει απώλεια δεδομένων (data loss), καθυστέρηση (delay or latency or travel time), μη σταθερότητα καθυστέρησης (jitter). Ας παραθέσουμε κάποιους σύντομους ορισμούς των εννοιών αυτών [Magnus von Rosen, 2002]:

1.2.1 Data Loss: Οποιαδήποτε λέξη, πακέτο, στη περίπτωση των IP Networks δεδομενογράφημα, δεν φτάσει στο προορισμό του (destination), όπως έφυγε από την πηγή (source), είτε γιατί χάθηκε στο δρόμο, είτε γιατί, λόγω θορύβου ή σύγκρουσης, έφτασε αλλαγμένο.

1.2.2 Delay (latency or travel time): Ο χρόνος που θα χρειαστεί ένα πακέτο για να ταξιδέψει από την πηγή στο προορισμό.

1.2.3 Jitter: Λόγω διαφορετικών συνθηκών στο διάστημα μιας σύνδεσης, μπορεί να γίνει διαφορετική διαχείριση των πακέτων, κάτι που θα δημιουργήσει διαφορετικούς χρόνους καθυστέρησης στα διάφορα πακέτα. Αυτή η διαφορά ονομάζεται jitter.

Αποδεκτός ή αξιόπιστος τρόπος μεταφοράς μπορεί να θεωρηθεί μια μεταφορά με μεγάλη αξιοπιστία η μεγάλο bandwidth.

Από κάποια οπτική, quality μπορεί να θεωρηθεί [Huston, 2000] η μικρή απώλεια δεδομένων, η μηδαμινή αλλά και σταθερή καθυστέρηση καθώς και η δυνατότητα καλής χρήσης των πόρων του δικτύου. Κάτω από αυτό το πρίσμα, ο όρος quality μπορεί να ερμηνευτεί ως ανώτερη απόδοση.

Από κάποια άλλη οπτική μπορούμε να την ορίσουμε σαν σταθερότητα και αξιοπιστία, κάτι που σημαίνει σταθερή απώλεια δεδομένων, καθυστέρησης και σταθερότητας της. Πολλές φορές η ποιότητα αναφέρεται και σε ορισμένα χαρακτηριστικά των εφαρμογών και πρωτοκόλλων και στη σταθερότητα των χαρακτηριστικών αυτών. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, η ποιότητα αναφέρεται στην αξιοπιστία των υπηρεσιών.

Ίσως ο πιο σωστός και αντικειμενικός τρόπος να ορίσουμε την ποιότητα είναι ο συνδυασμός των παραπάνω οπτικών γωνιών. Σίγουρα μας ενδιαφέρει η απόδοση, δε πρέπει όμως να παραβλέψουμε την αξιοπιστία. Επιπρόσθετα, όλες μας οι απαιτήσεις για quality θα πρέπει φυσικά να προσανατολίζονται στην υπηρεσία, η οποία είναι και το ζητούμενο στην προκειμένη περίπτωση, και θα προσπαθήσουμε να ορίσουμε στη συνέχεια.

## 1.3 Service

Ακόμα και αυτός ο όρος περιέχει μεγάλη ασάφεια και μπορεί κανείς να τον δει από διάφορες οπτικές γωνίες. Συνήθως οι χρήστες [Ferguson, Huston,1998] χρησιμοποιούν τον όρο για να περιγράψουν κάτι που προσφέρεται σε έναν τελικό χρήστη του δικτύου. Οι υπηρεσίες μπορεί να απλώνονται σε μια ευρεία γκάμα προσφορών, αλλά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και σύμφωνα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιούν.

## 1.4 Service Guarantees

Παραδοσιακά οι παροχείς υπηρεσιών διαδικτύου (ISP – Internet Service Provider) έχουν χρησιμοποιήσει διάφορους τρόπους για να εγγυηθούν τις προσφερόμενες υπηρεσίες. Η πιο εύκολα ορισμένη και πιο απλή υπηρεσία, όσον αφορά το καθορισμό και εγγύησή της, είναι η διαθεσιμότητα δικτύου. Πολύ απλά, όταν το δίκτυο δεν είναι προσβάσιμο, η ποιότητα αυτής της υπηρεσίας τίθεται υπό αμφισβήτηση.

Για να προσδιοριστεί η ποιότητα άλλων υπηρεσιών, οι ISP έχουν βρει αρκετούς τρόπους μέτρησης της. Η ποσότητα των δεδομένων που θα παραδοθούν είναι ένα ακόμα αρκετά απλό

κριτήριο. Ένας παροχέας που μεταφέρει για παράδειγμα 95% των δεδομένων μας μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει πρόβλημα, αν και ακόμα και αυτό είναι υποκειμενικό και ανάλογο των αναγκών μας. Αυτό που θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν εγγύηση είναι μια αρκετά γρήγορη ροή δεδομένων με εγγυημένη παράδοση, κάτι που βέβαια αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τους μηχανικούς των δικτύων.

## 1.5 Classes of Service

Ο δεσμός μεταξύ των όρων υπηρεσία και ποιότητα έχει δημιουργήσει ένα ζευγάρι ορισμών:

- ο Μια μέτρηση του πόσο διάφανα συμπεριφέρεται το δίκτυο σε σχέση με την επιβαλλόμενη κίνηση
- ο Και μια δομή προοριζόμενη να ορίσει τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες συγκεκριμένων υπηρεσιών

Αυτός όμως ο ορισμός αφήνει μεγάλο εύρος για δημιουργική ερμηνεία, που αντανακλάται στη σύγχυση στη βιομηχανία των δικτύων. Μια κοινή λογική υπάρχουσα σε κάθε προσπάθεια ορισμού του Quality of Service, είναι η ικανότητα διαφοροποίησης ανάμεσα σε τύπους κίνησης η υπηρεσιών έτσι ώστε το δίκτυο να μπορεί να διαχειριστεί μια η περισσότερες τάξεις υπηρεσιών διαφορετικά από άλλες τάξεις.

Πολύ σημαντική είναι η διάκριση ανάμεσα στην αποκαλούμενη διαφοροποίηση τάξεων υπηρεσίας ( *differentiated classes of service – CoS*) και το πιο διαφορούμενο *Quality of Service*. Αν και πολλοί είναι αυτοί που υποστηρίζουν ότι οι παραπάνω όροι είναι συνώνυμοι, στην πράξη έχουν διακριτούς διαχωρισμούς. Ο όρος QoS περιέχει ευρείς συσχετισμούς που περιλαμβάνουν πολλές οπτικές καθολικής απόδοσης και χαρακτηριστικά υπηρεσιών του δικτύου. Ο CoS υποδηλώνει ότι οι υπηρεσίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διαφορετικές κλάσεις οι οποίες μπορούν να διαχειριστούν ανεξάρτητα.

## 1.6 Quality of Service

Ο όρος Quality of Service λοιπόν είναι ένας όρος πολύ δημοφιλής που έχει χρησιμοποιηθεί από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες στις κοινωνίες των δικτύων και εφαρμογών. Για τους χρήστες η σημασία του όρου αυτού είναι κάπως υποκειμενική. Αυτό που τους ενδιαφέρει είναι η απόδοση του συστήματος τους και αυτό είναι που θεωρούν QoS. Αυτή η άποψη βέβαια είναι κάπως απλουστευμένη, καθώς QoS δε σημαίνει υποχρεωτικά και καλύτερη απόδοση μιας συγκεκριμένης εφαρμογής που πιθανώς ενδιαφέρει έναν συγκεκριμένο χρήστη [ **A. J. Ahumada and C. H. Null. Digital images and human vision. In A. B. Watson, editor, Image Quality: a Multidimensional Problem, pages 141–148. MIT Press, 1998.**]. Στη πραγματικότητα ο όρος



QoS αναφέρεται στην ικανότητα να προσφέρει διαφορετική μεταχείριση σε διαφορετικές τάξεις κίνησης, με απώτερο στόχο να προσφέρει μεγαλύτερη χρηστικότητα και απόδοση. Να προσφέρει δηλαδή κατά κάποιο τρόπο κάποια μορφή ευφυΐας στο σύστημά μας και όχι να κάνει καλύτερη την απόδοση μιας συγκεκριμένης εφαρμογής.

Ένας αρκετά καλός ορισμός [Goncalves, Niles, 1998] είναι ότι οι απαιτήσεις και λύσεις του Quality of Service είναι μια ομάδα απαιτήσεων που ένα δίκτυο πρέπει να πληρεί ώστε να εκπληρώνει την κίνηση των εφαρμογών σε μια χρηστική μορφή. Αυτές οι απαιτήσεις είναι εστιασμένες στα χαρακτηριστικά της ταχύτητας και καθυστέρησης.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι στόχοι του QoS σε ένα IP δίκτυο είναι οι εξής [<http://www.gnumonks.org>]:

- Να παράσχει διαφοροποίηση στην υπηρεσία
- Διαβεβαίωση για την απόδοση μέσω:
  - Εγγυήσεις bandwidth
    - Για κυκλοφορίες πολυμεσικών εφαρμογών
    - Για προτεραιότητες σημαντικών εφαρμογών
  - Εγγυήσεις καθυστέρησης
    - Για voice over IP
    - Για διαδραστικές εφαρμογές προσαρμοσμένες στον χαρακτήρα (for interactive character-oriented applications (ssh,telnet))
  - Εγγυήσεις για απώλεια πακέτων
    - Για αναξιόπιστα πρωτόκολλα layer-4
    - Για αποφυγή επαναμεταδόσεων

## 1.7History of QoS

Στην ουσία ο όρος αυτός μάλλον δεν είχε νόημα στα δίκτυα παρά μόνο τα τελευταία πολύ λίγα χρόνια. Το μόνο που ενδιέφερε πριν κάποια χρόνια τον μηχανικό του δικτύου ήταν να φτάσουν τα πακέτα (αν μιλούσαμε για μεταγωγή πακέτου) στο προορισμό τους επιτυχώς. Αν μπορούμε να θεωρήσουμε κάτι σαν QoS και να το μετρήσουμε θα ήταν το αν φτάσει το πακέτο στο προορισμό του ή όχι. Ένα βήμα για βελτίωση του ήταν στα δίκτυα IP που μας ενδιαφέρουν το πρωτόκολλο TCP [“Transmission Control Protocol”, DARPA Internet Program Protocol Specification, September 1981], το οποίο, «κλέβοντας» λίγο από το bandwidth του δικτύου, εισήγαγε μηχανισμούς διόρθωσης σφαλμάτων. Θα μπορούσε κανείς να πει ότι, σε συνδυασμό με το πρωτόκολλο UDP [“User Datagram Protocol”, J. Postel, August 1980], το οποίο δεν καθυστερούσε (και καθυστερεί – τα πρωτόκολλα αυτά ακόμα φυσικά χρησιμοποιούνται) μεν το

δίκτυο, δε διόρθωνε δε σφάλματα. Αυτό βέβαια πρακτικά, σημαίνει για το δίκτυο, προσφορά δύο τάξεων υπηρεσιών.

Στην αρχική άλλωστε σχεδίαση του IP πρωτοκόλλου υπάρχει στην κεφαλίδα του κάθε δεδομενογραφήματος το πεδίο type of service που επιτρέπει στα δίκτυα να προσφέρουν διάφορα προφίλ υπηρεσιών, να προσφέρουν δηλαδή διαφοροποίηση. Αρχικά βέβαια δεν έγιναν καν προσπάθειες στα αρχικά ερευνητικά στάδια του νεότευκτου δικτύου εκμετάλλευσης του πεδίου αυτού μέχρι το χρηματοδοτούμενο από την κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών NSFnet [<http://www.isoc.org/internet/history/brief.shtml>].

Οι πρώτοι ISP κάπου στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας μάλλον είχαν μια πιο απλουστευμένη ιδέα για το είδος του QoS που θα πρέπει να προσφέρουν στους πελάτες τους. Το κύριο ενδιαφέρον τους ήταν να κρατήσουν τις συνδέσεις σε λειτουργία, τους δρομολογητές σταθερούς και τη ροή των πακέτων συνεχόμενη. Βέβαια τα ίδια προβλήματα συνεχίζουν να απασχολούν τις ISP, μόνο που τώρα η δουλειά τους έχει γίνει λίγο πιο πολύπλοκη, καθώς, εκτός από το να διατηρήσουν όλα αυτά, θα πρέπει να ενδιαφερθούν και για την διαφοροποιημένη υπηρεσία και κατ' επέκταση το QoS.

## **2. What is IP Networks**

Πριν αναλύσουμε επιμέρους θέματα Quality of Service σε δίκτυα IP, θα ήταν χρήσιμο να αναλύσουμε τα δίκτυα αυτά και τα σημαντικότερα στοιχεία των πρωτοκόλλων αυτών. Η αρχική πρόθεση των δημιουργών του ήταν πρωταρχικά η ασφάλεια. Το ARPANET όπως λεγότανε αρχικά το πρώτο δίκτυο που χρησιμοποιούσε το πρωτόκολλο και μετεξελίχθηκε στο Internet, ήταν ένα ερευνητικό δίκτυο που χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Άμυνας τον Η.Π.Α.. Η ανησυχία και ενδιαφέρον τους επικεντρώνονταν μήπως κάποιος από τους πολύτιμους host ή τους δρομολογητές καταστραφούν. Στην περίπτωση αυτή αμυντικές πολιτικές έπρεπε να αποτρέπουν την γενικότερη διακοπή της υπό εξέλιξη επικοινωνίας. Έπρεπε λοιπόν οι συνδέσεις να διατηρούνται ανέπαφες όσο διάστημα ο πομπός και ο δέκτης βρισκόταν σε λειτουργία ακόμα και αν κάποιες από τις μηχανές ή τις γραμμές μετάδοσης ανάμεσά τους βρισκότανε εκτός λειτουργίας. Επιπρόσθετα, απαίτηση για το νεότευκτο δίκτυο ήταν να βασίζεται σε ευέλικτη αρχιτεκτονική, αφού έπρεπε να υποστηρίζει ποικίλες εφαρμογές, από μεταφορά αρχείων μέχρι μετάδοση ομιλίας και αργότερα εικόνας σε πραγματικό χρόνο.

Το νέο μοντέλο αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε ονομάστηκε μοντέλο αναφοράς TCP/IP [Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks“, 3d Edition, Prentice-Hall, Inc] από τα δύο πιο σημαντικά του πρωτόκολλα TCP και IP. Χρήσιμη είναι μια σύντομη αναφορά στα επίπεδά του και μια αντιστοιχία με το ευρέως χρησιμοποιούμενο για εκπαιδευτικούς σκοπούς OSI.

	OSI		TCP/IP
7	Εφαρμογής		Εφαρμογής
6	Παρουσίασης		
5	Συνόδου		
4	Μεταφοράς		Μεταφοράς
3	Δικτύου		Διαδικτύου
2	Ζεύξης Δεδομένων		Host προς δίκτυο
1	Φυσικό		

Εικόνα 1 : Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP. Σύγκριση με το OSI.

## 2.1 Internet Layer

Ο συνδυασμός όλων αυτών των απαιτήσεων οδήγησαν στην επιλογή ενός δικτύου μεταγωγής πακέτου βασισμένου σε ένα στρώμα διαδικτύου που παρέχει υπηρεσίες χωρίς σύνδεση. Αυτό το στρώμα, που αποκαλείται στρώμα διαδικτύου (internet layer), είναι ο ακρογωνιαίος λίθος που συγκρατεί όλη την αρχιτεκτονική. Η δουλειά του είναι να επιτρέπει στους host να εισάγουν πακέτα σ' οποιοδήποτε δίκτυο και να δρομολογεί τα πακέτα ανεξάρτητα στον προορισμό τους που πιθανώς βρίσκεται σε διαφορετικό δίκτυο. Τα ανώτερα στρώματα από το στρώμα του διαδικτύου αναλαμβάνουν την επαναδιάταξη τυχόν πακέτα που έφτασαν σε διαφορετική σειρά.

Το στρώμα του διαδικτύου επίσης έχει καθορίσει μια τυποποιημένη μορφή πακέτου που ονομάζεται Internet Protocol (IP). Δουλειά του είναι να παραδώσει αυτά τα πακέτα αποφεύγοντας ταυτόχρονα την συμφόρηση

Άλλα σημαντικά πρωτόκολλα του επιπέδου αυτού είναι τα:

- **Address Resolution Protocol(ARP):** Παρέχει μια φυσική διεύθυνση από μια IP διεύθυνση
- **Reverse Address Resolution Protocol (RARP):** Το αντίστροφο του ARP, παρέχει μια IP διεύθυνση από μια φυσική διεύθυνση
- **Internet Control Message Protocol ( ICMP):** Στέλνει μηνύματα για να ανακοινώσει σφάλματα και άλλες πληροφορίες σχετικές με τις διαδικασίες επιστροφής των IP πακέτων στη πηγή.

## 2.2 Transport Layer

Το στρώμα πάνω από αυτό του διαδικτύου είναι το στρώμα μεταφοράς δουλειά του οποίου είναι να παρέχει στους host της πηγής και του προορισμού την δυνατότητα διεξαγωγής μιας συζήτησης. Τα δύο end – to end πιο σημαντικά πρωτόκολλα που έχουν καθοριστεί στο επίπεδο

αυτό είναι τα πρωτόκολλα TCP και UDP που αναπτύχθηκαν σε προηγούμενη ενότητα ως μια αρχική προσέγγιση διαφοροποιημένης υπηρεσίας.

Το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης TCP (Transmission Control Protocol), επιτρέπει σε μια ακολουθία byte που ξεκινά από μια μηχανή να παραδίδεται χωρίς λάθη σε οποιοδήποτε host στο διαδίκτυο. Το πρωτόκολλο στον κόμβο – πηγή τεμαχίζει την ακολουθία σε διακριτά πακέτα τα οποία περνά στο επόμενο στρώμα του διαδικτύου. Αντίστοιχα στον κόμβο προορισμό συναρμολογεί την ακολουθία από τα πακέτα. Επιπρόσθετα διαχειρίζεται και τον έλεγχο ροής εμποδίζοντας έναν γρήγορο πομπό να πλημμυρίσει έναν αργό δέκτη με μεγαλύτερο αριθμό μηνυμάτων από αυτά που μπορεί να δεχτεί. Το πρωτόκολλο TCP είναι ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο με σύνδεση.

Το άλλο σημαντικό πρωτόκολλο του στρώματος, το πρωτόκολλο δεδομενογραφημάτων χρήστη (User Datagram Protocol), είναι αναξιόπιστο χωρίς σύνδεση. Χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλες ταχύτητες και είτε καθορίζουν μόνες τους τον έλεγχο της ακολουθίας είτε δεν τον απαιτούν.

## 2.3 Application Layer

Όπως φαίνεται και στην εικόνα το μοντέλο αναφοράς δε διαθέτει επίπεδα παρουσίασης και συνόδου. Το ανώτερο επίπεδό του αμέσως πάνω από το επίπεδο μεταφοράς είναι το επίπεδο εφαρμογής το οποίο περιλαμβάνει όλα τα πρωτόκολλα ανώτερων στρωμάτων.

Τέτοιο παράδειγμα πρωτοκόλλου είναι τα ακόλουθα:

- **Πρωτόκολλο Εξομοίωσης τερματικού(Terminal Emulator Protocol):** Γνωστό και σαν νοητό τερματικό (telnet), που επιτρέπει στον χρήστη μιας μηχανής να συνδεθεί με μια άλλη απομακρυσμένη μηχανή και να δουλέψει σε αυτήν.
- **Πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων(File Transfer Protocol):** Γνωστό σαν FTP περιέχει έναν τρόπο αποδοτικής μετακίνησης αρχείων από μια μηχανή σε άλλη
- **Πρωτόκολλο Ηλεκτρονικού ταχυδρομείου(Simple Mail Transfer Protocol):** Γνωστό ως SMTP, χρησιμοποιείται για την αποστολή και λήψη ηλεκτρονικής αλληλογραφίας.
- **Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερκειμένου ( Hyper Text Transfer Protocol):** Για την μεταφορά ιστοσελίδων από απομακρυσμένο υπολογιστή.
- **Δικτυακό σύστημα Αρχείων(Network File System):** Παρέχει δυνατότητες απομακρυσμένης ιδεατής αποθήκευσης
- **Πρωτόκολλο Απλής δικτυακής Διαχείρισης ( Simple Network Management Protocol):** Παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση του δικτύου.

- **Σύστημα ονομασίας περιοχών (Domain name System):** Γνωστό και ως DNS, παρέχει έναν βοηθητικό κατάλογο αριθμητικών διευθύνσεων οι οποίες αντιστοιχούν σε συμβολικές διευθύνσεις του διαδικτύου.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα πρωτόκολλα κάθε επιπέδου του μοντέλου TCP/IP

Πρωτόκολλα	Telnet	FTP	SMTP	HTTP	NFS	SNMP	DNS	Εφαρμογής
	TCP				UDP			Μεταφοράς
	IP							Δικτύου
Δίκτυα	ARPANET	SATNET	Packet Radio	LAN				Φυσικό και ζεύξης δεδομένων

Εικόνα 2: Πρωτόκολλα και δίκτυα του μοντέλου TCP/IP

## 2.4 Physical Layer

Κάτω από το στρώμα δικτύου υπάρχει ένα μεγάλο κενό. Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP δεν περιέχει στοιχεία για το φυσικό ή επονομαζόμενο στα IP δίκτυα στρώμα host προς δίκτυο, εκτός του ότι ο host πρέπει να συνδεθεί με το δίκτυο χρησιμοποιώντας κάποιο πρωτόκολλο, ώστε να μπορεί να στέλνει IP πακέτα. Το πρωτόκολλο αυτό δεν είναι καθορισμένο και ποικίλει από host σε host και από δίκτυο σε δίκτυο.

## 2.5 Evolution of IP Networks

Χρήσιμη είναι μια σύγκριση του Internet 10 με 15 χρόνια πριν και της σημερινής του κατάστασης [<http://www.itu.int>] είναι ενδεικτική.

10 – 15 χρόνια πριν

- Συγκεντρωμένο σε εκπαίδευση (πανεπιστήμια) και έρευνα
- Κυρίως Βορειοαμερικανικό
- Μη κερδοφόρο
- Πρωτίστως χρησιμοποιούμενο για e – mail και μεταφορά αρχείων,

Σήμερα

- Growth throughout OECD countries
- Ξεκίνημα ιδιωτικοποίησης των ραχοκοκαλιών
- Κυρίως χρήση Web και e - mail
- Μανία των “Dot.com”
- Ευρεία παρεξήγηση ότι το Internet είναι κατάλληλο για υποκατάσταση όλων των δικτύων και υπηρεσιών
- Μεγάλη ασυμφωνία στη συνδεσιμότητα

### 3. QoS in IP Networks

Στην ουσία τα IP δίκτυα, όπως αυτά αρχικά σχεδιάστηκαν, δεν είναι κατάλληλα για Quality of Service. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο είναι σχεδιασμένα. Ο στόχος του IP δικτύου είναι να προσφέρει υπηρεσία όσο καλύτερα μπορεί, γεγονός που φυσικά αναιρεί την διαφοροποιημένη υπηρεσία. Επίσης δεν εγγυάται τίποτα για την καθυστέρηση ή την απώλεια πακέτων ή το bandwidth. Επιπλέον, το μόνο που προσφέρει στο χρήστη είναι μια αναξιόπιστη μεταφορά πακέτων.

Είναι προφανές ότι οποιεσδήποτε προσπάθειες για QoS θα πρέπει να γίνουν με την υπάρχουσα τεχνολογία. Το γεγονός ότι χρησιμοποιείται δρομολόγηση για παράδειγμα, σημαίνει ότι δε μπορούμε να ελέγξουμε την καθυστέρηση, εφόσον η δρομολόγηση γίνεται δυναμικά. Επίσης, απώλεια πακέτων μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε από αυτούς τους δρομολογητές και άρα είναι εκτός ελέγχου. Το μόνο που μπορούμε να ελέγξουμε και άρα να παρέχουμε διαφοροποιημένη υπηρεσία είναι το bandwidth ελέγχοντας τη ροή εξόδου μας.

Βασική προϋπόθεση για να προσφερθεί QoS είναι η εναλλαγή από την τέταρτη έκδοση του IP στην έκτη. Η εναλλαγή των εκδόσεων αυτών [<http://www.ipv6forum.com>] που περιγράφηκαν παραπάνω, δεν είναι απλή διαδικασία. Θα είναι μια μακρόχρονη διαδικασία, κατά τη διάρκεια της οποίας και τα δύο πρωτόκολλα θα συνυπάρχουν. Όπως αναπτύχθηκε πιο πάνω, οι βασικότερες προσθήκες του νέου μοντέλου ήταν οι διευθύνσεις που επεκτάθηκαν στα 128 bits και η διαφορετική λειτουργία των κεφαλίδων. Η επέκταση των διευθύνσεων δεν έγινε μόνο για να προσφερθεί QoS αλλά, όπως φαίνεται και στο παράρτημα, για λόγους βιωσιμότητας του δικτύου.

Στις μέρες μας, εκατομμύρια χρηστών, εταιρειών, οργανισμών κ.λπ. είναι συνδεδεμένοι στο Internet και ένας τεράστιος αριθμός hosts, δρομολογητών και άλλων δικτυακών συσκευών υλοποιούν το IP πρωτόκολλο. Η αλλαγή σε μια μέρα από το ένα πρωτόκολλο στο άλλο θα απαιτούσε τον επαναπροσδιορισμό όλων των διευθύνσεων, την εγκατάσταση των νέων πρωτοκόλλων σε κάθε δρομολογητή και host. Θα απαιτούσε τεράστια έξοδα και θα δημιουργούσε απaráδεκτες διακοπές υπηρεσιών σε πιθανώς κρίσιμες εφαρμογές. Η απότομη αυτή αλλαγή θα μπορούσε να θεωρηθεί ακόμα και άσκοπη, καθώς όλες οι μέχρι τώρα εφαρμογές λειτουργούν με το παλιό πρωτόκολλο και δε μπορούν να εκμεταλλευθούν τις καινούργιες δυνατότητες.

Δεν υπάρχει γενικός κανόνας για τη μεταφορά από το IPv4 στο IPv6. Σε κάποιες περιπτώσεις, μια πολιτική απόφαση ότι η οικονομική ανάπτυξη της χώρας απαιτεί μια τέτοια αλλαγή, μπορεί να οδηγήσει σε αυτή. Κάποιες νέες εφαρμογές ακόμα μπορούν να αναγκάσουν την αλλαγή. Μεγάλες επενδύσεις από την άλλη πλευρά μπορεί να εμποδίσουν τις εταιρείες να αλλάξουν την τεχνολογία τους.

Μελέτες γύρω από το θέμα [E. Carnes “The Transition to IPv6”, Internet Society, January 2002] προβλέπουν ότι η πλήρης μετάβαση θα έχει ολοκληρωθεί κάπου στα 2030 με 2040, οπότε

τα IPv4 δε θα χρησιμοποιούνται πλέον. Η χρήση του βελτιωμένου πρωτοκόλλου θα δημιουργήσει νέες βάσεις για καλύτερο QoS, αλλά είναι ακόμα αδύνατη η πλήρης εναλλαγή από το ένα πρωτόκολλο στο άλλο.

## 4. Metrics and measurements

Έχει γίνει αντιληπτό ότι η παροχή QoS στα σύγχρονα δίκτυα και στο πιο διαδεδομένο από αυτά, το Internet, είναι απαραίτητη. Ακόμα πιο επιτακτική στην εποχή των real – time εφαρμογών των τηλεδιασκέψεων και των εφαρμογών που συνδυάζουν διάφορα μέσα, είναι τουλάχιστον η εγγύηση μιας ελάχιστης QoS που θα τις καταστήσει τουλάχιστον εφικτές. Χρήσιμο είναι όμως πρώτα να αναλύσουμε ποιες ακριβώς είναι αυτές οι μετρήσεις που μας ενδιαφέρουν όταν θέλουμε να δούμε την απόδοση κάποιου δικτύου.

### 4.1 Metrics

Για να μετρήσουμε λοιπόν την υπάρχουσα QoS στο δίκτυο, δημιουργήθηκαν απλές μετρήσεις μερικές φορές και εργαλεία όπως το MQM (Multicast Quality Monitor) [Dressler, 2002]. Στη συνέχεια παρουσιάζονται [Dressler] κάποιες από τις προς μέτρηση παραμέτρους των δικτύων οι οποίες είναι παρούσες σε κάθε μορφή τηλεπικοινωνίας. Ξεκινάμε με την προσβασιμότητα (reachability), η οποία πολύ απλά σημαίνει ότι μια end-to-end διαδρομή πρέπει να είναι διαθέσιμη. Η καθυστέρηση (delay), είναι πολύ σημαντική κυρίως για real-time εφαρμογές, στις οποίες απαιτείται και μικρή απόκλιση της (jitter). Σημαντική παράμετρος είναι και το ποσοστό χαμένων πακέτων (packet loss ratio).

#### 4.1.1 Reachability and Reliability

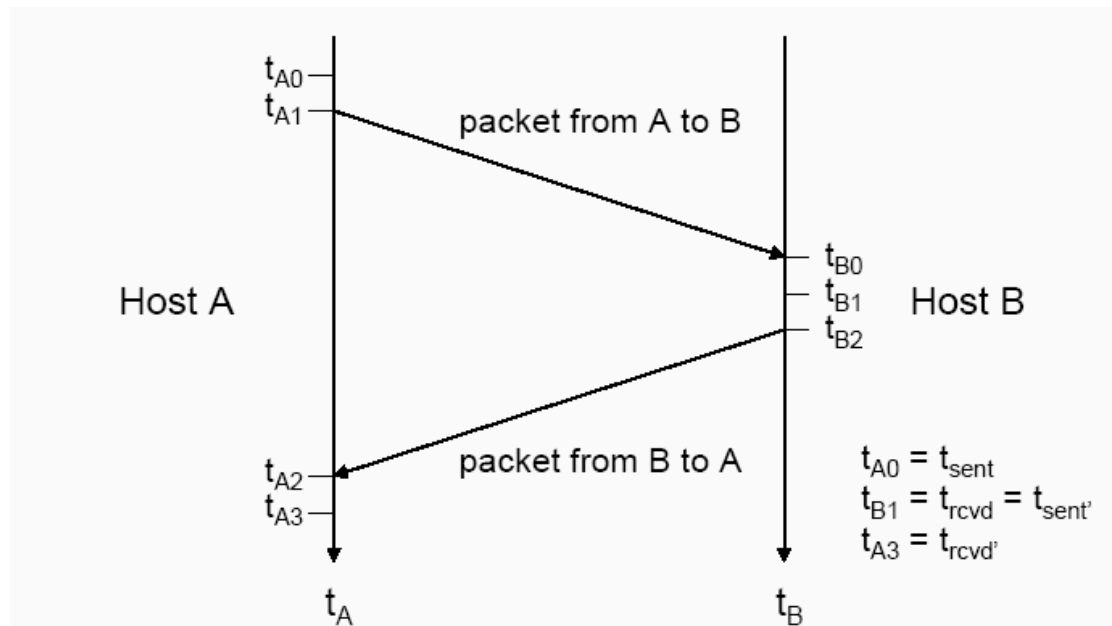
Δύο κόμβοι είναι συνδεδεμένοι όταν μπορούν να στείλουν δεδομένα ο ένας στον άλλο. Ο όρος reachability, σημαίνει ότι δύο τέτοια συστήματα, κόμβοι, είναι συνδεδεμένοι σε μια δοσμένη χρονική στιγμή και reliability η ποσοστιαία reachability σε μια χρονική περίοδο. Η end-to-end συνδεσιμότητα μπορεί πολύ απλά να απεικονισθεί στον παρακάτω τύπο:

$$q = \begin{cases} 1 & \text{συνδεσιμότητα} \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

## 4.1.2 Delay

Η καθυστέρηση ή απόλυτη καθυστέρηση (absolute delay), περιγράφει το χρονικό διάστημα μεταξύ της μετάδοσης ενός πακέτου και της επιτυχούς υποδοχής στο κόμβο υποδοχής. Σε περίπτωση κάποιας μετάδοσης video, μια μεγάλη αλλά σταθερή καθυστέρηση θα οδηγήσει σε ένα καθυστερημένο παίξιμο. Στην περίπτωση που το video αυτό είναι κομμάτι μιας τηλεδιάσκεψης, έχει αποδειχθεί ότι μια καθυστέρηση μεγαλύτερη των 200ms μειώνει δραματικά την ποιότητα επικοινωνίας.

Μια από τις πιο σημαντικές τιμές σε real-time επικοινωνίες είναι η μονόδρομη καθυστέρηση (one-way delay). Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε μετάδοση από τον ένα στον άλλο είναι μιας κατεύθυνσης. Ακόμα και όταν έχουμε συνομιλία δύο κατευθύνσεων, η καθυστέρηση αυτή επηρεάζει κάθε πακέτο από τον έναν συνομιλητή στον άλλο. Λόγω προβλημάτων συγχρονισμού ανάμεσα στα ρολόγια του κάθε κόμβου, η μέτρηση της one-way καθυστέρησης δεν είναι απλό θέμα. Για να έχουμε ακριβείς μετρήσεις θα πρέπει τα ρολόγια και των δύο να είναι συγχρονισμένα με μεγάλη ακρίβεια.



Εικόνα 3: Υπολογισμός καθυστέρησης από host σε host

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, κάθε host έχει τον δικό του χρονισμό ( $t_a, t_b$ ). Στη χρονική στιγμή  $t_{a0} = t_{sent}$  η εφαρμογή στέλνει ένα πακέτο στον host B. Μια μικρή καθυστέρηση εισάγεται από την εφαρμογή, το λειτουργικό σύστημα και το δικτυακό υλικό και έτσι το πακέτο στέλνεται στην πραγματικότητα τη χρονική στιγμή  $t_{A1}$ . Ο host B, δέχεται το πακέτο τη χρονική στιγμή  $t_{B0}$  και μια «χρονική σφραγίδα (timestamp)» τίθεται σε εφαρμογή τη στιγμή  $t_{B1} = t_{rcvd}$  καθώς υπάρχει και εδώ μια μικρή καθυστέρηση. Χρησιμοποιώντας την timestamp  $t_{A0}$  είναι δυνατό να υπολογίσουμε τη μονόδρομη καθυστέρηση ( $\Delta t_{owd}$ ) ως εξής:



$$\Delta t_{\text{OWD}} = t_{\text{rcvd}} - t_{\text{sent}}$$

Στις εφαρμογές που απαιτείται συνδιάλεξη, όπως στην περίπτωση της τηλεδιάσκεψης, σημαντικό μέγεθος είναι το round-trip time (RTT). Στη περίπτωση αυτή, το  $t_b$  χρησιμοποιείται πάλι σαν  $t_{\text{sent}}$  και εμπεριέχεται στο πακέτο απάντησης. Τη χρονική στιγμή  $t_{A2}$  το πακέτο φτάνει στον host A και λαμβάνεται το τελευταίο timestamp την στιγμή  $t_{A3} = t_{\text{rcvd}}$ . Με τη χρήση των σφραγίδων αυτών υπολογίζουμε το round-trip time ( $\Delta t_{\text{RTT}}$ ):

$$\Delta t_{\text{RTT}} = \Delta t_{\text{OWD}} + \Delta t_{\text{OWD}} = t_{\text{rcvd}} - t_{\text{sent}}$$

Η παραπάνω μέτρηση του round-trip time εξαρτάται, όπως μπορούμε να δούμε, μόνο από τα  $t_{\text{rcvd}}$  και  $t_{\text{sent}}$  γεγονός που σημαίνει ότι χρειαζόμαστε το ρολόι του ενός μόνο host. Δεν είναι απαραίτητος έτσι ο συγχρονισμός των hosts.

### 4.1.3 Jitter

Jitter ονομάζεται η απόκλιση των διαστημάτων αφίξεων των πακέτων. Το jitter μπορεί να μετρηθεί με δύο τρόπους, μετρώντας την απόκλιση των καθυστερήσεων των πακέτων και μετρώντας την απόκλιση των διαστημάτων αφίξεων.

#### 4.1.3.1 Variation of the Delay

Για να βρούμε την απόκλιση των καθυστερήσεων στη μέθοδο αυτή, παίρνουμε σε κάποια χρονική περίοδο κάποιες μετρήσεις καθυστέρησης. Βρίσκουμε τη μέση τιμή και στη συνέχεια την απόκλιση από αυτή που είναι και το ζητούμενο jitter.

#### 4.1.3.2 Variation of the interarrival time

Στη μέθοδο αυτή, αναλύουμε το μεσοδιάστημα ανάμεσα στα πακέτα. Στέλνουμε μια σταθερή ροή πακέτων, στην οποία ξέρουμε το χρόνο ανάμεσα σε δύο πακέτα, και εξάγουμε το jitter βρίσκοντας τη μέγιστη απόκλιση από τη μέση απόκλιση.

### 4.1.4 Packet Loss Ratio

Το μέγεθος αυτό [G. Almes, S. Kalidindi, M Zekauskas, “A One-way Packet Loss Metric for IPPM“ RFC 2680, IETF September 1999] δίνει το νούμερο των χαμένων πακέτων στη μονάδα του χρόνου. Το χάσιμο των πακέτων είναι κάτι πολύ συνηθισμένο στα IP δίκτυα και δη στο Internet. Οι περισσότερες εφαρμογές έχουν αναπτύξει διάφορους αλγορίθμους κωδικοποίησης για να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν τις απώλειες αυτές, παρ’ όλα αυτά όμως η γνώση του μεγέθους παραμένει σημαντική, καθώς οι περισσότερες από αυτές δεν συμπεριφέρονται σωστά

αν αυτό φτάσει κάποια τιμή. Επίσης στη περίπτωση των real-time εφαρμογών, η μεγάλη απώλεια πακέτων τις κάνει πρακτικά μη υλοποιήσιμες. Προφανές είναι επίσης ότι μεγάλη απώλεια πακέτων σημαίνει και μικρότερο ωφέλιμο bandwidth.

## 4.2 Measurements

Εφόσον έχουμε κάποιες απαιτήσεις, οι οποίες θα πρέπει να είναι και εγγυημένες, απαραίτητη είναι και κάποια μέθοδος μέτρησης. Οι δύο κύριες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται [Hasib,Schormans] είναι η παθητική (passive) και η ενεργητική (active) μέτρηση της ποιότητας.

### 4.2.1 Passive Measurements

Η παθητική μέτρηση είναι ένας τρόπος παρακολούθησης της απόδοσης και συμπεριφοράς των πακέτων επιτηρώντας την κίνηση χωρίς να τη δημιουργεί ή να τη μετατρέπει. Μπορούν να υλοποιηθούν απλά προσθέτοντας λίγη ευφυΐα στις συσκευές, κυρίως στους δρομολογητές του δικτύου, για να τις κάνουν ικανές να εξακριβώσουν και να καταγράψουν τα χαρακτηριστικά και την ποσότητα των πακέτων που τις διαπερνούν. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να έχουμε διάφορα στατιστικά του δικτύου που μας ενδιαφέρει, χωρίς την προσθήκη πακέτων στο σύστημα. Το επίπεδο της λεπτομέρειας των στοιχείων που θα έχουμε χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο εξαρτάται από το πώς θα επεξεργαστούμε τις μετρήσεις μας, αλλά ακόμα και από τι πακέτα θα περάσουν από τους δρομολογητές μας. Βασικό μειονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι ότι αυτές οι συσκευές που θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε για τις μετρήσεις θα πρέπει να είναι δικές μας και, εφόσον το δίκτυο δε μας ανήκει, δεν είναι δυνατή η χρήση τους.

### 4.2.2 Active Measurements

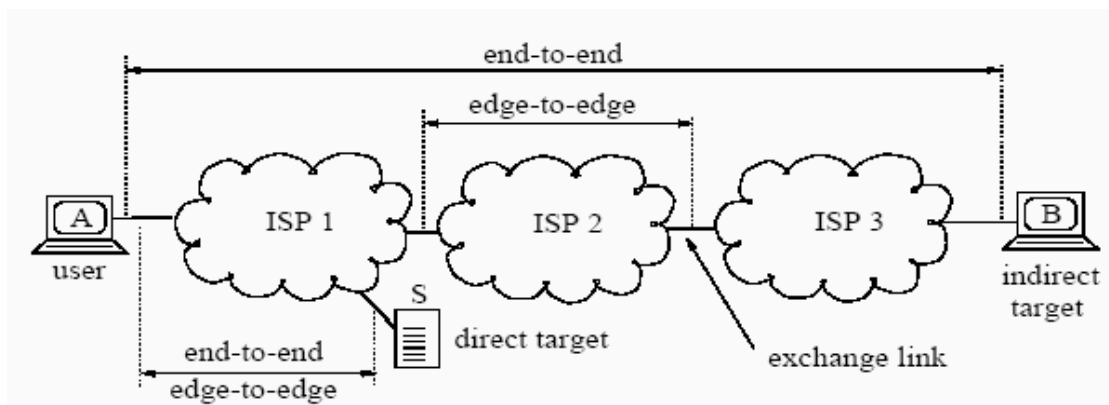
Μια άλλη προσέγγιση στη μέτρηση είναι η ενεργητική μέθοδος, η οποία προϋποθέτει την εισαγωγή κάποιων επιπλέον πακέτων στο σύστημα. Μέσω των πακέτων αυτών γίνονται όλες οι μετρήσεις στο σύστημα και το πλεονέκτημα των μεθόδων είναι ότι, αντίθετα με την παθητική μέτρηση, δεν απαιτούν πλήρη πρόσβαση στα δίκτυα. Αναπόφευκτο είναι βέβαια να έχουμε μια μικρή καθυστέρηση στο σύστημα λόγω της παραπάνω κίνησης που θα προκαλέσουν τα επιπλέον πακέτα. Παρακάτω παρουσιάζονται δύο τέτοιες μέθοδοι [Corral, Texier, Toutain] [Varga, Olah] που επικεντρώνονται στις end-to-end μετρήσεις καθυστέρησης και απώλειας.

#### 4.2.2.1 Two - way active measurement

Καταρχάς, μια παθητική μέθοδος θα ήταν πρακτικά αδύνατη, καθώς θα έπρεπε να κρατάμε κάθε φορά την ώρα αναχώρησης και ώρα άφιξης κάθε πακέτου. Αυτό θα απαιτούσε τη συνεχή επικοινωνία των κόμβων αυτών προκειμένου να γίνεται ενημέρωση για το χρόνο. Με την εισαγωγή κάποιας παραπάνω κυκλοφορίας, κάτι που σημαίνει φυσικά ενεργητική μέτρηση, μπορούμε πιο εύκολα να μετρήσουμε την καθυστέρηση μεταξύ των κόμβων. Το βασικό πρόβλημα της μεθόδου είναι ότι τα επιπλέον πακέτα είναι και αυτά μέρος της κίνησης και κάποια προβλήματα που πιθανώς θα προκαλέσουν αυτά, όπως η υπερχειλίση κάποιων buffers, θα προσμετρηθούν στις μετρήσεις. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε βέβαια να λυθεί με απλό τρόπο, χρησιμοποιώντας έξυπνο χρονοσκόπιο, που δε θα προκαλέσει τέτοιου είδους προβλήματα, αλλά στην περίπτωση αυτή δε θα μπορούμε να έχουμε συνεχείς μετρήσεις.

Για να αποφευχθεί το παραπάνω πρόβλημα γίνεται μια διαφορετική προσέγγιση. Η ιδέα βασίζεται στη μέτρηση σε κάθε δρομολογητή της καθυστέρησης κάθε σύνδεσης και στη συνέχεια πρόσθεσης των επιμέρους καθυστερήσεων. Η ιδέα αυτή, που ονομάζεται και round-trip μέτρηση, υλοποιείται πολύ πιο εύκολα καθώς δεν χρειάζεται και συγχρονισμό ρολογιού από το δίκτυο.

Όταν διερευνούμε τη συνολική απόδοση ανάμεσα σε δύο κόμβους (hosts), αναφερόμαστε σε end-to-end απόδοση, ενώ, όταν αναφερόμαστε στην απόδοση σε έναν δίκτυο ανάμεσα σε δύο σημεία εισόδου και εξόδου (entry/exit points), μιλάμε για edge-to-edge απόδοση.



Εικόνα 4: End – to end και edge – to edge

Κάθε πελάτης κάνει χρήση του δικτύου είτε άμεσα, όταν η πηγή στόχος, για παράδειγμα ένας εξυπηρετητής ιστού, βρίσκεται εντός δικτύου του ISP, είτε έμμεσα, όταν ο στόχος βρίσκεται εκτός του δικτύου του. Η απόδοση που θα έχει το δίκτυο σε κάθε περίπτωση είναι εγγυημένη από διάφορα συμβόλαια μεταξύ των δύο. Η πρόκληση που έχουμε να αντιμετωπίσουμε (εδώ ο ISP) είναι η μέτρηση των ιδιοτήτων ροής στον εισερχόμενο και εξερχόμενο κόμβο και η σύγκριση με τα εγγυημένα από τον ISP. Αν θέλαμε να το επιτύχουμε αυτό με παθητικές μεθόδους θα έπρεπε να εγκαταστήσουμε υλικό στους δρομολογητές, να αποθηκεύουμε χρόνους αφίξεων για κάθε ροή

δεδομένων και να συγκρίνουμε της αφίξεις με τις αναχωρήσεις. Η διαφορά των χρόνων αφίξεως με αυτούς των αναχωρήσεων θα ήταν η καθυστέρηση των πακέτων που είναι και το ζητούμενο. Επιπρόσθετα, η διαφορά στα πακέτα που στάλθηκαν με αυτά που έγιναν δεκτά είναι η απώλεια, που αποτελεί το δεύτερο ζητούμενο. Αυτή η διαδικασία απαιτεί συνεχή επικοινωνία, κάτι που θα δημιουργήσει σημαντική αύξηση της κυκλοφορίας.

Αντί λοιπόν να γίνει προσπάθεια για μέτρηση κάθε ροής δεδομένων ξεχωριστά, υπάρχουν πιο εφικτοί τρόποι edge-to-edge μετρήσεων απόδοσης. Με παραγωγή πακέτων για test στη μια άκρη του δικτύου, της οποίας τα χαρακτηριστικά είναι γνωστά, και με εκτίμηση της ποιότητας των ροών που φεύγουν σε μια απομακρυσμένη άκρη (edge).

Επιπλέον, εκμεταλλεύσιμο μπορεί να θεωρηθεί το γεγονός ότι η επικοινωνία γίνεται μεταξύ των ανθρώπων, κάτι που συνεπάγεται επικοινωνία δύο κατευθύνσεων. Ακόμα και αν αυτό γίνεται με δύο ανεξάρτητες μιας κατεύθυνσης ροές, και οι δύο θα πρέπει να λειτουργούν σωστά για μια καθαρή επικοινωνία μεταξύ των δύο «συνομιλητών». Έτσι, μπορούμε να έχουμε μετρήσεις δύο δρόμων (two-way measurements) για παρακολούθηση καθυστερήσεων, αντί μιας κατεύθυνσης. Μετρήσεις που, όπως αναφέρθηκε, έχουν διάφορα προβλήματα που πηγάζουν κυρίως από το ότι απαιτούν μετρήσεις συγχρονισμένου ρολογιού για οποιαδήποτε μέτρηση καθυστέρησης.

Είναι φανερό ότι οποιεσδήποτε μετρήσεις δεν μπορούν να γίνονται συνεχώς και γι' αυτό θα πρέπει να επιλεγεί κάποιος ρυθμός δειγματοληψίας. Έτσι το trade-off μεταξύ ακρίβειας μετρήσεων και επιβάρυνσης του δικτύου πρέπει να ληφθεί υπόψη. Μια πολύ χρήσιμη εφαρμογή για τέτοιες μετρήσεις είναι η εφαρμογή ping [www.whatis.com], [http://ftp.arl.mil/~mike/ping.html]. Η εφαρμογή αυτή που τρέχει και σε UNIX αλλά και σε Windows, συντάσσεται ως εξής:

```
Ping IP_address
```

όπου IP\_address η διεύθυνση του σταθμού εξυπηρέτησης που θέλουμε να επικοινωνήσουμε. Η εντολή αυτή, όταν εκτελεστεί, μας επιστρέφει ένα μήνυμα της μορφής:

```
Pinging IP_address with xx bytes of data
```

```
Reply from IP_address bytes=xx time = yyms TTL=zzz
```

```
Reply from IP_address bytes=xx time = yyms TTL=zzz
```

```
Reply from IP_address bytes=xx time = yyms TTL=zzz
```

```
Reply from IP_address bytes=xx time = yyms TTL=zzz
```

που πρακτικά σημαίνει πως η επικοινωνία με το συγκεκριμένο υπολογιστή λειτουργεί κανονικά και πως το όποιο πρόβλημα θα πρέπει να αναζητηθεί αλλού. Αν, αντίθετα, μετά την εκτέλεση της εντολής εμφανιστεί το μήνυμα

```
Destination host unreachable
```

καταλαβαίνουμε ότι υπάρχει πρόβλημα στη σύνδεση. Μετεξέλιξη και βελτίωση της εντολής αυτής αποτελεί η εντολή tracert, η οποία, εκμεταλλευόμενη την ετικέτα TTL της IP κεφαλίδας,

παρέχει περισσότερες πληροφορίες σε σχέση με το αν απλά έχουμε πρόσβαση σε μια σελίδα ή όχι. Μετράει πόσο χρόνο κάνει το πακέτο και από ποιους δρομολογητές θα περάσει για να φτάσει στους δρομολογητές. Πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι υπάρχουν ιστοσελίδες [www.tracert.com] στο διαδίκτυο που με τη βοήθεια εφαρμογών όπως η Ping και η tracert εκτελούν τις απαιτούμενες μετρήσεις

Η από άκρο σε άκρο μέτρηση απόδοσης ανεξάρτητων ροών μπορεί να γίνει με ενεργή μέτρηση κάθε δυάδας κόμβων. Έτσι θα πρέπει να εκτελέσουμε  $N(N-1)$  ενεργές μετρήσεις σε ένα δίκτυο με  $N$  ακραίους δρομολογητές, καθώς οι διάδρομοι προς τα μπροστά και πίσω είναι διακεκριμένοι μεταξύ τους. Προφανώς πολύ συχνά γίνεται παραπάνω από μια μέτρηση σε κάποια σύνδεση και το καταναλωμένο bandwidth είναι ανάλογο των μετρήσεων αυτών.

Για να μειωθεί η κατανάλωση αυτή, προτείνεται η παρακάτω λύση. Να μετράται η απόδοση ανεξάρτητων συνδέσεων και στη συνέχεια από τις μετρήσεις αυτές να μετράται η συνολική edge-to-edge απόδοση, κάτι που γίνεται με τον παρακάτω τρόπο. Μετά την αρχικοποίηση του δικτύου, οι δρομολογητές αρχίζουν να συλλέγουν πληροφορίες για την απόδοση των συνδέσεων. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας τις προαναφερθείσες round-trip μετρήσεις. Εξάγουν στατιστικά και υπολογίζουν αυτόματα κατώφλια (thresholds) καθυστέρησης που σημαίνουν φορτωμένες συνδέσεις. Όταν ένα κατώφλι ξεπερνιέται, στέλνεται ένα σήμα στο κέντρο παρακολούθησης απόδοσης. Πίνακες δρομολόγησης είναι δυνατό να εξαχθούν μέσω του πρωτοκόλλου Simple Network Management Protocol (SNMP). Με τη βοήθεια των πινάκων αυτών μπορούν να εξαχθούν edge-to-edge διαδρομές. Αλλαγές στη δρομολόγηση μπορούν να γίνονται γνωστές άμεσα μέσω μηνυμάτων του SNMP.

Κάποια θέματα βέβαια που προκύπτουν από τη μέθοδο αυτή, επιδέχονται συζήτηση. Πώς γίνεται για παράδειγμα ο υπολογισμός της edge-to-edge απόδοσης από μετρήσεις επιμέρους συνδέσεων; Άλλο ερώτημα που μπορεί να προκύψει είναι ότι, εφόσον οι μετρήσεις γίνονται μόνο στη μια άκρη, αυτή δε θα έχει μεγαλύτερη καθυστέρηση;

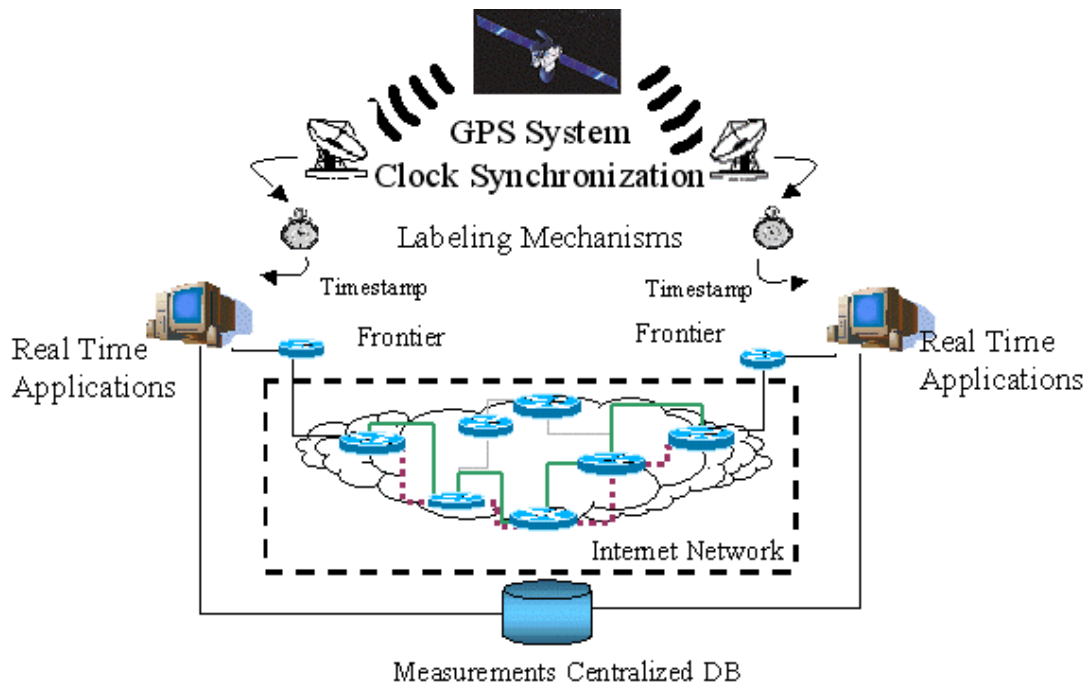
Συμπερασματικά, η εκμετάλλευση κάποιων ιδιοτήτων της επικοινωνίας μπορεί να μας οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της απόδοσης χωρίς σημαντική απώλεια στις μετρήσεις μας. Η μέτρηση σε συνδέσεις επιπλέον, μπορεί να μας βοηθήσει στη μέτρηση του QoS χωρίς συνεχείς edge-to-edge μετρήσεις.

#### **4.2.2.2 One - way active measurement**

Μια πιο απλοποιημένη μέθοδος από αυτή που αναλύθηκε είναι η μονόδρομη ενεργητική μέθοδος [Corral, Texier, Toutain]. Και αυτή βασίζεται στην end-to-end προσέγγιση του δικτύου προς μελέτη. Σε νέα πρωτόκολλα δικτύων δεν είναι εγγυημένη η συμμετρία των διαδρόμων και υπάρχει διακύμανση καθυστερήσεων μεταξύ διαδοχικών πακέτων, ακόμα και αν ακολουθούν την ίδια διαδρομή. Τέτοιου είδους φαινόμενα εντείνονται σε περιπτώσεις υπερφορτωμένων δικτύων

και σε δίκτυα με προτεραιότητες. Η μέθοδος του round-trip χρησιμοποιείται και εδώ, μόνο που στη περίπτωση αυτή το κάθε μονοπάτι χωρίζεται σε δύο κομμάτια, το προς τα εμπρός και το προς τα πίσω μονοπάτι.

Στη προσέγγιση αυτή γίνεται κρίσιμος ο συγχρονισμός των σημείων μέτρησης. Ο συγχρονισμός αυτός είναι απαραίτητο να γίνεται με κάποιο παγκόσμιο χρόνο. Ο πιο αποδοτικός και σύγχρονος τρόπος είναι ο συγχρονισμός GPS που χρησιμοποιείται από συστήματα όπως το SATURNE. Μελέτη των συστημάτων αυτών μπορεί να γίνει από τους γαλλομαθείς στη σελίδα που παρατίθεται στη βιβλιογραφία [“Saturne” <http://saturne.ipv6.rennes.enst-bretagne.fr>].



Εικόνα 5: Συγχρονισμός ρολογιού μέσω συστήματος GPS στο Saturne

### 4.3 Vulnerability

Ένας παράγοντας που επηρεάζει πολύ το QoS στα IP δίκτυα και πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι αυτός της ευπάθειας (Vulnerability). Το διαδίκτυο, που είναι φυσικά το πιο σημαντικό IP δίκτυο, έχει αυξηθεί σε μέγεθος και χρήστες εκθετικά τα τελευταία χρόνια, μια τάση που δείχνει να είναι συνεχιζόμενη. Παρόλη την αύξηση αυτή, δείχνει ακόμη να εξαρτάται πολύ η απόδοσή του από ορισμένους κόμβους. Αυτό φυσικά το καθιστά εκτεθειμένο σε επιθέσεις από επιτήδειους

Έχει αποδειχθεί [A. Jeong, A.L. Barabási (2000) “*The Internet's Achilles' Heel: Error and attack tolerance of complex networks*”] ότι στη περίπτωση που 1 τις εκατό των κόμβων του δικτύου είναι ανενεργό, η απόδοση του πέφτει κατά έναν συντελεστή της τάξης δύο. Στην περίπτωση που το ποσοστό αυτό γίνει 4%, το δίκτυο κατακερματίζεται (fragmented) και καθίσταται άχρηστο. Το δίκτυο, εκτός των άλλων, γίνεται ετερογενές όσο αφορά στην ταχύτητα,

την καθυστέρηση τις ικανότητες του, κάτι που φυσικά σημαίνει αδυναμία προσφοράς QoS. Ακόμα και ο τρόπος που ορίσαμε το QoS απαιτεί ένα αξιόπιστο και με μεγάλη αντοχή σε λάθη και επιθέσεις. [Y.Liu, D.Tipper, D. Medhi,A.Srikitja (2000) “*Self-configuring Survivable Techniques for Quality of Service Enabled Internet*”].

Χρήσιμο θα ήταν να παραθέσουμε κάποια κλασικά παραδείγματα επιθέσεων σε IP δίκτυα για να δούμε κάποιες μεθόδους μέτρησής τους, καθώς αυτό είναι που μας απασχολεί και όχι η προσπάθεια άμυνας του δικτύου μας.

- **TCP Sync attack:** Στην επίθεση αυτή, το «θύμα» στερείται των πόρων του αφού ο επιτιθέμενος καταναλώνει τους buffers του host προκαλώντας συμφόρηση. Μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε την επίθεση αυτή μετρώντας τις αιτήσεις για service η το μήκος των ουρών ή το ποσοστό των χαμένων πακέτων.
- **IP fragmentation attack:** Στην επίθεση αυτή γίνεται εκμετάλλευση της μεθόδου κατακερματισμού των πακέτων για εκμετάλλευση του bandwidth στα IP δίκτυα. Ο επιτιθέμενος στη περίπτωση αυτή γεμίζει το δίκτυο με άχρηστα πακέτα, οδηγώντας σε κατασπατάληση πόρων όπως χρόνος CPU και buffer στους δρομολογητές. Για να μετρήσουμε τέτοιου είδους επιθέσεις, μετράμε το χρόνο που είναι εκτός λειτουργίας η CPU ή ο buffer του δρομολογητή. Μπορούμε επίσης να μετρήσουμε τις ροές κατακερματισμένων πακέτων.
- **Web server attack:** Ένας server είναι υποχρεωμένος να γεννά καινούργιες διεργασίες για κάθε αίτηση που του γίνεται. Μια κακοπροαίρετη ροή αιτήσεων δημιουργεί κακή χρήση της CPU και των πόρων του λειτουργικού συστήματος. Και εδώ η μέτρηση γίνεται μετρώντας τη χρήση της CPU.

## 5. Conclusions and open problems

Στις μεθόδους που περιγράφηκαν, μπορούν να εντοπιστούν διάφορα άλματα προβλήματα. Εδώ θα αναφερθούμε σε τρία, πλέον σημαντικά, από αυτά:

- Το format των αποθηκευμένων πακέτων
- Η αξιολόγηση των ποιοτικών παραμέτρων
- Ο συγχρονισμός του χρόνου σε κάθε σημείο μετρήσεων

### 5.1 Format for packet storing

Τα πακέτα θα πρέπει να μετατραπούν σε κάποιο κατάλληλο format προκειμένου να αποθηκευτούν για μελλοντική επεξεργασία. Το αποτέλεσμα της μετατροπής ονομάζεται packet trace και η ταυτοποίηση δύο traces – ιχνών του ίδιου πακέτου (από διαφορετικά σημεία

μετρήσεων) λέγεται pairing. Τα παρακάτω πεδία θα πρέπει να εμπεριέχονται σε κάθε αποθηκευμένη μονάδα που περιγράφει ένα IP πακέτο:

- Σφραγίδα χρόνου (timestamp) με σταθερότητα microsecond
- Ολόκληρη κεφαλίδα IP
- Κεφαλίδα πρωτοκόλλων ανωτέρων επιπέδων (TCP, UDP ή RTP)
- Μια τιμή επιλεγμένων πεδίων για καλύτερη αναγνώριση ζευγαριών packet traces.

Ο κύριος στόχος του νέου format που πρέπει να δημιουργηθεί είναι:

- Αποτελεσματική αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων packet trace στη βάση
- Απλή και γρήγορη αναγνώριση των packet trace ζευγαριών ανεξαρτήτως πιθανής κερματοποίησης
- Ακεραιότητα για να μη χαθεί καμία σημαντική πληροφορία

## 5.2 Evaluation of qualitative parameters

Οι μετρήσεις του QoS εκτός από ποσοτικές (αριθμητικές) παραμέτρους απόδοσης έχουν και ποιοτικές. Ένα τέτοιο παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η καθυστέρηση, που μπορεί να μετρηθεί ως μικρή, μέτρια ή ανύπαρκτη. Εκ των πραγμάτων, μια αξιολόγηση και σύγκριση τέτοιων παραμέτρων είναι αρκετά δύσκολη και κλασικές μέθοδοι μέτρησης δεν μπορούν να εφαρμοστούν.

Ο μοναδικός τρόπος να αξιολογήσουμε και να επικυρώσουμε τέτοιες μετρήσεις είναι να εκμεταλλευτούμε την εξ' ορισμού ιδιότητα τέτοιων παραμέτρων. Ορίζονται σαν πιθανότητες συγκεκριμένων φαινομένων, τα οποία μπορούν να αξιολογηθούν με στατιστικές μεθόδους και επίσης βασίζονται στην ίδια παράμετρο, η οποία είναι συγκρίσιμη με την ίδια παράμετρο άλλων ροών δεδομένων.

## 5.3 Time synchronization

Ο καλός συγχρονισμός του χρόνου είναι βασική πρόκληση για κάθε μέτρηση όπου τα δεδομένα συλλέγονται ή παράγονται σε διάφορα σημεία. Σημαντικές αυξήσεις στην ταχύτητα του μέσου απαιτούν ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια. Έτσι, για παράδειγμα σε ένα Ethernet των 10 Mbit/s, ένα πακέτο των 1500 bytes διαβάζεται μέσα σε 1,2 msec, στη περίπτωση ενός gigabit Ethernet χρειάζεται μόνο 12μsec. Γίνεται σαφές ότι για τις μετρήσεις ενός LAN το ρολόι πρέπει να συγχρονιστεί σε ακρίβεια microsecond ενώ για κάποιο WAN όπου η καθυστέρηση τους τείνει να είναι μερικά milliseconds, διαφορά των ρολογιών πάνω από 1ms δεν είναι αποδεκτή.

Αν υποθέσουμε ότι θα αποφύγουμε ειδικές συσκευές μέτρησης, όπου κυκλώματα συγχρονίζουν ρολόγια χρησιμοποιώντας εξωτερική πηγή, για παράδειγμα το GPS, το πρόβλημα είναι πώς θα θέσουμε υπό έλεγχο το ρολόι μέσω λογισμικού. Η μέγιστη ακρίβεια ενός ρολογιού



εξαρτάται από τον ταλαντωτή του, ο οποίος στους σύγχρονους σταθμούς εργασίας βασίζεται στην τεχνολογία του quartz. Παράγοντες όμως όπως η θερμοκρασία, η παροχή ρεύματος και τα διαφορετικά υλικά, το επηρεάζουν. Ο πιο σημαντικός από αυτούς είναι ο παράγοντας της θερμοκρασίας.

Υπάρχουσες υλοποιήσεις [D. L. Mills. Clock Discipline Algorithm for the Network Time Protocol Version 4. Electrical Engineering Department Report 97-3-3, University of Delaware, March 1997.] λύνουν κάποιες περιπτώσεις, όπως τον συγχρονισμό μέσω δικτύου και τον συγχρονισμό με εξωτερική πηγή συνήθως παλμούς (παλμούς το δευτερόλεπτο). Για την πρακτική εφαρμογή όπου η σταθερότητα του ρολογιού και η ακρίβεια είναι απαραίτητες, δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

- Εξωτερική πηγή ρολογιού υψηλής ακρίβειας
- Ταλαντωτής ρολογιού υψηλής ακρίβειας και συγχρονισμός δικτύου.

## **6. QoS today: applications**

### **6.1 IP Telephony**

Το πιο διαδεδομένο προϊόν σήμερα, που αναμένεται να γίνει και το πιο κερδοφόρο, είναι η IP-τηλεφωνία. Το γεγονός ότι το πρωτόκολλο του IP είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο και το ότι κάθε τοπικό δίκτυο Intranet και φυσικά το Internet το υποστηρίζει, την κάνει αρκετά ελκυστική. Εταιρείες που ήδη έχουν δομημένα LAN/WAN, που υποστηρίζουν IP, είναι πολύ εύκολο να δημιουργήσουν λύσεις IP – τηλεφωνίας.

Η φιλοσοφία της IP – τηλεφωνίας είναι ότι, αντί να χρησιμοποιήσει κάποιος τα συνηθισμένα αναλογικά ή ψηφιακά τηλέφωνα που είναι συνδεδεμένα με την τηλεφωνική του εταιρεία (OTE), μπορεί απλά να συνδέσει τη συσκευή του με το διαδίκτυο. Μπορεί κανείς έτσι να μιλήσει με οποιονδήποτε άλλο στο διαδίκτυο ή ακόμα και με συνηθισμένη τηλεφωνική συσκευή μέσω πύλης (gateway). Η προσφερόμενη αυτή υπηρεσία είναι γνωστή σαν Voice Over IP (VoIP).

Πολλές είναι οι εταιρείες που έχουν αναπτύξει τεχνολογίες για να υποστηρίξουν τη τεχνολογία αυτή. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι οι Cisco, Sun Microsystems, Ericsson, Nokia και Creative labs. Κάθε μια από αυτές έχει αναπτύξει συστήματα που επιτρέπουν τη σύνδεση μόνο με άλλους υπολογιστές στο δίκτυο ή και με τηλεφωνικές συσκευές του τηλεφωνικού δικτύου, την επιτρέπουν μέσω απλής πύλης ή κάνοντας χρήση κάποιου εμπορικού χειριστή και απαιτούν τη χρήση ακουστικών και μικροφώνου ή πιο συμβατικής τηλεφωνικής συσκευής. Υπάρχει επίσης διαφορά και στις χρεώσεις, με πολλές από αυτές να προσφέρουν δωρεάν υπηρεσίες.

## 6.2 Video – on – Demand

Η υπηρεσία αυτή, του video – on – demand πάνω από δίκτυα IP, μπορεί να μοιάζει λίγο μακρινή για τα δεδομένα της Ελλάδας, έχει γίνει όμως ήδη εμπορικά εκμεταλλεύσιμη στην αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών, γεγονός που σημαίνει ότι δε θα αργήσει να γίνει κάτι αντίστοιχο και στη χώρα μας. Το διαδίκτυο συνεχώς αναβαθμίζεται και όλο και μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης προσφέρονται στο κοινό. Οι ταχύτητες αυτές προσφέρουν όλο και καλύτερες υπηρεσίες και QoS. Η υπηρεσία του video κατ' απαίτηση, η οποία έχει τεράστιες απαιτήσεις σε bandwidth, είναι μια από αυτές.

Η τεχνολογία του DSL (Digital Subscriber Line) που προσφέρουν ταχύτητες της τάξης των 1 – 10 MBPS, σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες συμπίεσης, οδήγησε τους service providers στο να σκέφτονται σοβαρά την εμπορική εκμετάλλευση ακόμα και προσφοράς video ποιότητας DVD. Ρίχνοντας μια ματιά στις έρευνες της εταιρείας Hewlett-Packard [[www.hp.com/communications](http://www.hp.com/communications)], βλέπουμε ότι το κοινό των 100.000 που χρησιμοποιεί την υπηρεσία σήμερα υπολογίζεται να φτάσει στα 20.000.000 μέχρι το 2008, κάτι που το μετατρέπει σε μια πολλά υποσχόμενη βάση για επενδύσεις και περαιτέρω ανάπτυξη.

## 6.3 Video and Sound conferencing

Με την υπάρχουσα τεχνολογία και με τα modems των 56.6 που ακόμα αποτελούν την πλειοψηφία στη χώρα μας των συνδέσεων στο Internet, είναι πολύ δύσκολο να πετύχει κανείς κάτι παραπάνω από 5 – 6 frames το δευτερόλεπτο με εικόνες ασπρόμαυρες, χαμηλής ανάλυσης και μικρής ποιότητας ή καθόλου ήχο. Κάτι τέτοιο, αν συγκριθεί με τα 25 frames το δευτερόλεπτο και την ποιότητα μιας τηλεοπτικής μετάδοσης στην Ευρώπη, δείχνει μάλλον απαγορευτικό για την προσφορά ποιότητας υπηρεσίας μέσω IP στους κοινούς χρήστες, όσο αφορά τουλάχιστον στην υπηρεσία αυτή. Ακόμα όμως και για επικοινωνίες επιχειρήσεων που μπορούμε να υποθέσουμε κάπως μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης, υπάρχουν και μεγαλύτερες απαιτήσεις.

Ωστόσο, οι καλύτεροι αλγόριθμοι συμπίεσης και οι συνεχώς βελτιωμένες συνδέσεις μας κάνουν αισιόδοξους και γι' αυτή την υπηρεσία στο άμεσο μέλλον. Διάφορες ιστοσελίδες κάνουν λόγο ήδη για τέτοιους αλγόριθμους [<http://bmr.c.berkeley.edu/frame/research>] και υπηρεσίες [<http://www.tbi.net>], που αν εξαιρέσουμε κάποια δειλά βήματα δεν έχουν φτάσει ακόμα στα μέρη μας. Συζητώντας για υπηρεσίες λοιπόν όπως αυτή του voice over IP λιγότερο, και περισσότερο γι' αυτές του video – on – demand και video and sound conferencing, θα ήταν καταλληλότερο, τουλάχιστον για τα δεδομένα της χώρας μας, να αναφερόμαστε στο QoS του μέλλοντος. Μέλλοντος βέβαια όχι τόσο μακρινού.

## 7. QoS in the future

Η ερώτηση που κυριαρχεί [Magnus von Rosen,2002] στις κοινότητες των ειδημόνων και όχι μόνο, είναι πότε θα γίνει το QoS διαθέσιμο στο Internet. Όπως και στη περίπτωση του IPv6, κανείς δε φαίνεται να γνωρίζει. Έχει κυρίως να κάνει με τη ζήτηση από πλευράς χρηστών. Αν κανένας δε ζητήσει και άρα πληρώσει για ολοκληρωμένες υπηρεσίες, δεν υπάρχει λόγος για κάποιον παροχέα (ISP – Internet Service Provider) να επενδύσει χρήματα σε αναβαθμίσεις και νέα προϊόντα και τεχνολογίες. Οι τόσο πολλοί ISP σε όλο τον κόσμο επίσης θα είναι πολύ δύσκολο να επαναπροσδιορίσουν τις πολιτικές τους όσο αφορά στη διασύνδεσή τους, κάτι που βέβαια είναι απαραίτητο σε κάθε αλλαγή τεχνολογίας. Όσο αφορά στους καταναλωτές, η σημερινή ιδέα τους για το QoS είναι απλά το αυξημένο bandwidth, κάτι που μάλλον αρκετά σύντομα θα αλλάξει.

Καινούργιες ανάγκες για υπηρεσίες και προϊόντα αναδύονται με φυσικά αναβαθμισμένες απαιτήσεις για QoS. Υπηρεσίες όπως η τηλεδιάσκεψη, το Video-on-Demand και η IP τηλεφωνία θα δημιουργήσουν ανάγκες στους χρήστες και θα οδηγήσουν αναπόφευκτα τις εταιρείες σε παροχή βελτιωμένων υπηρεσιών. Οι εφαρμογές με κίνηση, ήχο και διάφορα μέσα είναι ήδη πολύ κοινές και θα γίνουν ακόμα περισσότερο στο μέλλον. Το QoS στο Internet γίνεται αναγκαίο για την επιβίωσή του στο μέλλον.

## Appendix A: IP Network Number Exhaustion

Πολύς λόγος γίνεται και έγινε και στην εργασία αυτή για το πόσο QoS μπορεί να προσφέρει η τέταρτη έκδοση του IP πρωτοκόλλου και πόσο επιτακτική είναι η ανάγκη για την αλλαγή του με την έκτη έκδοσή του IPv6. Δεν αναφέρθηκε όμως καθόλου ένα πρόβλημα που μπορεί να οδηγήσει σε καθόλου Service, ίσως πολύ σύντομα. Το πρόβλημα αυτό είναι η εξάντληση των διευθύνσεων. [D.C.Lynch,M.T.Rose (1993) “Internet System Handbook”]

Στο ξεκίνημα του το 1969, το Internet ήταν ένα πείραμα τεσσάρων κόμβων. Κανένας δεν φανταζόταν τότε ότι θα έφτανε το μέγεθος που έχει φτάσει στις μέρες μας, το οποίο δεν έχει νόημα καν να μετρηθεί αφού μεγαλώνει τόσο γρήγορα που με το που γράφεται κάτι αμέσως δεν ισχύει. Οι αρχιτέκτονες του τεράστιου αυτού IP δικτύου φαντάζονταν τότε ότι 256 δίκτυα [V.G. Cerf & R.E. Kahn, “A Protocol for packet Networks Intercommunication”, IEEE Transactions on Communication, Vol. COM-22, No. 5, 1974] θα ήταν μεγάλη επιτυχία για το πείραμά τους.

Το Internet διέψευσε και τους πιο αισιόδοξους και μεγαλώνει τόσο γρήγορα που μετριόφρονες προβλέψεις για το μέλλον του προβλέπουν να μεγαλώσει τόσο πολύ που να γίνει κάτι σαν το τηλεφωνικό δίκτυο. Η μεγάλη του όμως επιτυχία έχει φτάσει το σύστημα στα αρχιτεκτονικά και λειτουργικά του όρια. Τα σημαντικότερα και πιο άμεσα προβλήματα που δημιούργησε η δραματική αυτή ανάπτυξή του είναι η ανεπάρκεια σε διευθύνσεις και η αύξηση

των δρομολογητών. Διάφορες εκτιμήσεις έχουν γίνει για το πότε πραγματικά αυτές οι διευθύνσεις θα τελειώσουν. Ο Christian Huitema [C. Huitema (1996), "IPv6: The new Internet Protocol", Prentice Hall] υπολογίζει το χρονικό όριο του παλιού πρωτοκόλλου περίπου στα χρόνια 2005 – 2010.

## IP Network Number Exhaustion

Το γεγονός και μόνο ότι υπάρχουν 32 bits για να αναπαραστήσουν τις IP διευθύνσεις σημαίνει ότι υπάρχει κάποιο ανώτερο όριο στον αριθμό των hosts που μπορούμε να διευθυνσιοδοτήσουμε. Βέβαια, με την πρώτη ματιά, οι  $2^{32}=4.294967296$  διαφορετικές διευθύνσεις φαίνονται πάρα πολλές ακόμα και για το σύγχρονο διαδίκτυο. Στη πραγματικότητα για ένα επίπεδο Internet χωρίς κανόνες διευθυνσιοδότησης θα ήταν αρκετές. Όμως ένα τέτοιο δίκτυο θα ήταν χαοτικό και μάλλον ανέφικτο, καθώς κάθε δρομολογητής θα έπρεπε να έχει αποθηκευμένη κάθε διεύθυνση host του δικτύου.

Στην πραγματικότητα, η διευθυνσιοδότηση γίνεται διαχωρίζοντας τα bits σε δύο ιεραρχίες. Η πρώτη χρησιμοποιείται για να ορίσει τη διεύθυνση του δικτύου (Netid: Network ID) και η δεύτερη τη διεύθυνση του τοπικού σταθμού εξυπηρέτησης (Hostid: Host ή local ID). Η ιεράρχηση αυτή μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους (στην πραγματικότητα τέσσερις) ανάλογα με το πόσο μεγάλο δίκτυο θέλουμε να έχουμε. Οι τρόποι αυτοί λέγονται τάξεις και έχουν τις παρακάτω μορφές [Θ, Τσιλιγκρίδης, Ι. Αποστολάκης, Γ. Φούσκας, Κ. Πατριάρχης (2001) "Βασικές υπηρεσίες Διαδικτύου", ΟΕΔΒ, Αθήνα]:

**Τάξη A:** Η IP διεύθυνση της τάξης αυτής χρησιμοποιεί 7 bit για να αριθμήσει δίκτυα, και 24 bits για να αριθμήσει τοπικούς σταθμούς. Έτσι μπορεί να αριθμήσει 128 διαφορετικά δίκτυα και 16.777.216 hosts.

**Τάξη B:** Η τάξη αυτή, χρησιμοποιώντας 14 και 16 bits αντίστοιχα μπορεί να αριθμήσει 16.384 δίκτυα και 65.536 σταθμούς.

**Τάξη C:** Η τάξη C, με τη σειρά της 2.097.152 δίκτυα των 256 hosts.

**Τάξη D:** Αυτή η τάξη είναι δεσμευμένη για διευθυνσιοδότηση πολλαπλής αποστολής (multicasting) σε ομάδες host και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους σκοπούς μας

Η διάταξη αυτή βοηθάει πολύ τη δρομολόγηση καθώς κάθε router, μπορεί να αποθηκεύει διαδρομές προς δίκτυα και όχι προς hosts. Σημαντικό πλέον για τη δρομολόγηση δεν είναι πόσοι hosts υπάρχουν, αλλά πόσα δίκτυα, μειώνοντας δραματικά τον αριθμό των διαδρομών αυτών. Πολλές όμως διευθύνσεις παραμένουν ανενεργές με αυτό τον τρόπο, οδηγώντας στο πρόβλημα που συζητάμε.

Το πρόβλημα είναι γνωστό και σαν πρόβλημα των τριών αρκούδων. Για τα περισσότερα δίκτυα, τα δίκτυα τάξης A με τους  $2^{24}$  (16.777.216) σταθμούς εξυπηρέτησης είναι πολύ μεγάλα και, αυτά της τάξης B με τους  $2^8$  (256) σταθμούς πολύ μικρά. Έτσι υπάρχουν πολλά δίκτυα

τάξης B, δηλαδή δίκτυα με  $2^{16}$  (65.536) σταθμούς. Οι τάξεις αυτές, εκτός του ότι τελειώνουν, οι ίδιες είναι και αρκετά μεγαλύτερες σε αριθμό σταθμών από αυτόν που πραγματικά χρειάζονται συνήθως οι εταιρείες/ οργανισμοί που τις κατέχουν. Είναι φανερό ότι για ένα δίκτυο με 1000 παράδειγμα hosts οι 64.536 IP διευθύνσεις πάνε χαμένες. Βλέπουμε λοιπόν ότι αν και οι  $2^{32}$  διευθύνσεις φαίνονται αρκετές ακόμα και για το σύγχρονο διαδίκτυο, ο τρόπος δομής τους δημιουργεί πρόβλημα. Η λύση που έχει δοθεί είναι το IPv6 που προσφέρει 16 bytes για IP διευθύνσεις και έχει κρατημένες διευθύνσεις ακόμα και για το διάστημα. Το πόσο άμεσα υλοποιήσιμο είναι το νέο αυτό πρωτόκολλο και το τι μπορεί να προσφέρει, έχει συζητηθεί παραπάνω.

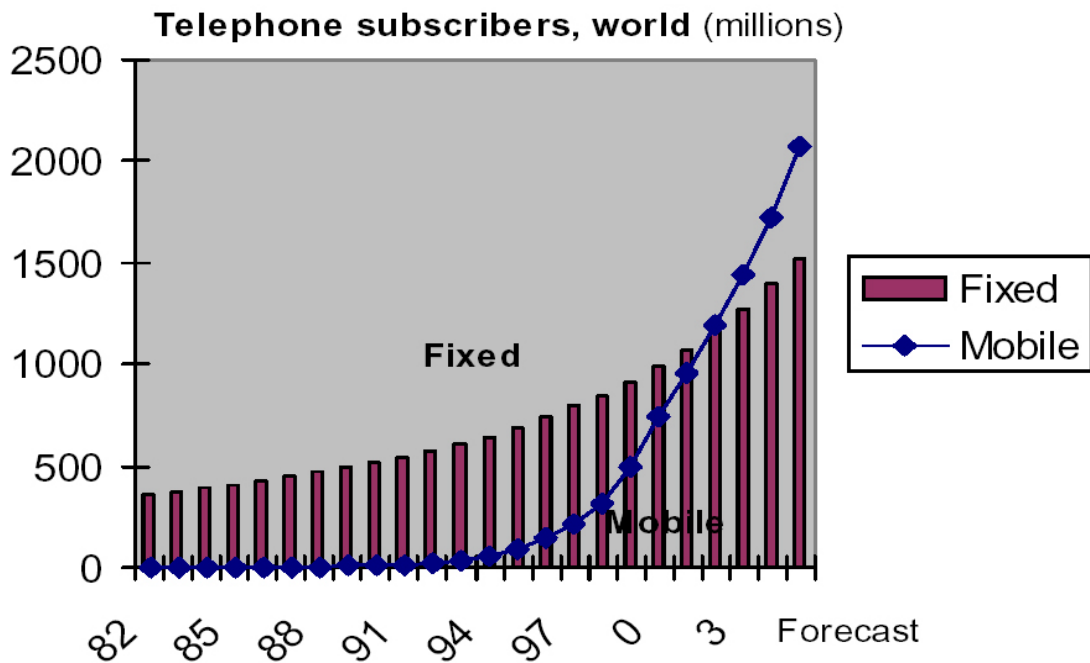
## Routing Information Explosion

Όσο μεγαλώνει το δίκτυο και αυξάνονται τα δίκτυα που είναι συνδεδεμένα σε αυτό, τόσο αυξάνεται και η πληροφορία που είναι καταχωρημένη μέσα στους δρομολογητές. Συνεχώς αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες δρομολογητών με μεγαλύτερες δυνατότητες αποθήκευσης, όπως ειπώθηκε και παραπάνω, όμως η αντικατάσταση κάθε παλιάς συσκευής με καινούργια είναι μια διαδικασία η οποία κοστίζει πολλά σε χρόνο και χρήμα, ειδικά όταν μιλάμε για μεγέθη σαν αυτά του Internet.

Η ρίζα του προβλήματος είναι ότι η δομή του IPv4, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υποστηρίζει ιεραρχία δύο επιπέδων. Αυτό των δικτύων και αυτό των host. Κάθε δρομολογητής είναι υποχρεωμένος να κρατάει πληροφορία για τους host του δικτύου του, αλλά και για όλα τα δίκτυα που είναι συνδεδεμένα στο Internet. Λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η εισαγωγή επιπλέον πολυπλοκότητας στη δομή και η ομαδοποίηση των δικτύων σε διάφορες ομάδες. Γίνεται βέβαια κατανοητό ότι το πρόβλημα αυτό δε λύνεται, μάλλον εντείνεται, με απλή αύξηση των διευθύνσεων IP. Θα πρέπει ταυτόχρονα να αλλάξει και η δομή της ιεράρχησης των διευθύνσεων, κάτι που βέβαια η πληθώρα των διευθύνσεων του IPv6 μπορεί να μας το προσφέρει.

## Appendix B: QoS for Wireless IP Networks

Μια ματιά στα στοιχεία της International Communication Union [<http://www.itu.int>] κάνει φανερή την τροπή που θα πάρει στο μέλλον, αν δεν έχει πάρει ήδη, η προσφορά υπηρεσιών στο χρήστη.



Εικόνα 6: Σύγκριση συνδρομητών κινητής και σταθερής τηλεφωνίας

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχεδιάγραμμα, το 2002 οι συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας ξεπέρασαν αυτούς της σταθερής, δημιουργώντας μια πολύ ελκυστική αγορά για τις εταιρείες παροχής υπηρεσιών.

Η υπάρχουσα δεύτερη γενιά ασύρματων συστημάτων, σε συνδυασμό με την υπάρχουσα τεχνολογία ενσύρματων δικτύων, θεωρείται βέβαιο πως θα εξελιχθεί σε μια IP πλατφόρμα που θα παρέχει real και non – real time υπηρεσίες. Δύο τάσεις θα οδηγήσουν στην επόμενη και επόμενες γενιές ασύρματων συστημάτων. Η απαίτηση των χρηστών για αδιάκοπη και από παντού πρόσβαση στο Internet και η επιθυμία των παροχών για μια ευέλικτη, είτε ασύρματη είτε ενσύρματη, πλατφόρμα που υποστηρίζει ετερογενείς υπηρεσίες με οικονομικό τρόπο. Κάτι τέτοιο θα τους επιτρέψει να αποκτήσουν μερίδιο σε αυτή την ταχύτητα αναπτυσσόμενη αγορά.

Πολλά ερευνητικά προγράμματα έχουν δημιουργηθεί για το σκοπό αυτό. Ένα από αυτά, σημείο αναφοράς για τις προσπάθειες αυτές, είναι το ITSUMO (Internet Supporting Universal Mobile Operation) [<http://www.3gpp2.org>] που επικεντρώνεται στο σχεδιασμό της επόμενης γενιάς των ασύρματων IP δικτύων. Δικτύων που θα επιτρέπουν στους χρήστες τους πρόσβαση σε κάθε είδους υπηρεσία. Οι κύριοι στόχοι του είναι:

1. Να παρέχει δυναμική διαπραγμάτευση QoS
2. Να μην απαιτεί αναδιαπραγμάτευση στον κινητό κόμβο μετά από κάποια κίνηση στο domain
3. Να παρέχει έναν ευέλικτο κεντρικό εξυπηρετητή που διαπραγματεύεται με τον χρήστη βασισμένο σε ανανεώσιμη πληροφορία για όλο το διαχειριζόμενο domain.

4. Μία είσοδος που τηρεί υπό έλεγχο τους χρήστες και τροφοδοτεί τις τοπικές πληροφορίες πίσω στον κεντρικό εξυπηρετητή.

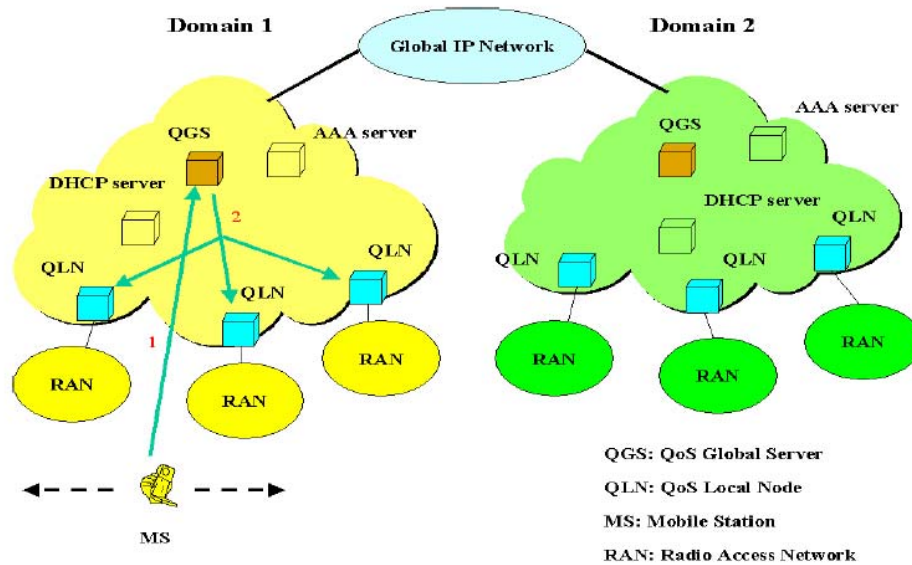
Βασισμένο σε αυτά τα χαρακτηριστικά, η επόμενη γενιά κινητών ασύρματων κόμβων μπορεί να επιτύχει τις QoS απαιτήσεις. Μπορεί να προσφέρει και διαφοροποιημένη υπηρεσία, καθώς επίσης και εύκολη ενοποίηση με διαφορετικά πρωτόκολλα, χρησιμοποιώντας την αρχιτεκτονική που αναφέρεται στη συνέχεια.

## Wireless QoS Architecture

Εφόσον οι χρήστες στα ασύρματα δίκτυα επόμενης γενιάς αναμένεται να είναι σε μεγάλο βαθμό κινούμενοι (mobile) η ασύρματη QoS αρχιτεκτονική πρέπει να υποστηρίζει την κινητικότητα αποτελεσματικά. Τα QoS πρωτόκολλα δε θα πρέπει να δημιουργούν μεγάλες καθυστερήσεις ή στους χρήστες roaming για παράδειγμα ξαφνικό υποβιβασμό ποιότητας υπηρεσίας λόγω μιας πιθανής αλλαγής δικτύου. Παρόλο που τέτοιοι χρήστες μπορούν να κινούνται σε οποιοδήποτε domain, μια αποδοτική λύση απαιτεί εγγυημένη υπηρεσία σε κάθε πιθανό domain. Με δεδομένη την πιθανή ανώμαλη κατανομή πόρων, κάποια δυναμικής διάταξη επιπέδου υπηρεσίας (SLS – Service Level Specification) διαπραγμάτευση είναι απαραίτητη για να επιτρέψει παροχή εγγυήσεων. Για μεγαλύτερη αποδοτικότητα, η δυναμική SLS θα πρέπει να γίνεται σε κάθε σύνδεση και πρέπει να υποστηρίζεται από end – to end QoS εγγυήσεις για διάφορες υπηρεσίες όπως η IP τηλεφωνία και η video σύσκεψη.

Βασιζόμενοι σε αυτές τις απαιτήσεις και στο μοντέλο του ITSUMO, προτάθηκε μια αρχιτεκτονική, στην οποία υπάρχει τουλάχιστον ένας παγκόσμιος εξυπηρετητής και διάφοροι τοπικοί κόμβοι σε κάθε περιοχή. Ο εξυπηρετητής – server αναφέρεται σαν QoS Global Server (QGS) και οι τοπικοί κόμβοι σαν QoS local nodes (QLN). Οι QGS περιέχουν παγκόσμια πληροφορία για τα domains και ενημερώνουν τα QLN για τη λειτουργία τους όταν έχουν κίνηση. Όταν ο κινητός σταθμός – mobile station (MS) έχει κάποιο QoS σήμα, όλη η κίνηση περνά μέσω των QLN. Έτσι τα QGS έχουν αναλάβει τον έλεγχο και τα QLN τη μεταφορά. Ξεχωρίζοντας τον έλεγχο από την μεταφορά, η αρχιτεκτονική γίνεται ευέλικτη, εύκολη στο να προστεθούν νέες υπηρεσίες και πιο αποδοτική για mobile περιβάλλον.

Η αρχιτεκτονική αυτή και τα κυριότερα συστατικά της στοιχεία φαίνονται [Jyh - Cheng Chen, Armando Caro, Anthony McAuley (2001) “QoS Architecture for Future Wireless IP Networks” Wisconsin, Madison] στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 7: Περιγραφή Wireless αρχιτεκτονικής

Τα κυριότερα συστατικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής αυτής, η οποία έχει πρόσβαση σε ένα παγκόσμιο IP δίκτυο μέσω ενός επιπέδου 2 Radio Access Network (RAN), είναι τα:

**MS (mobile station):** Είναι η συσκευή που επιτρέπει τους χρήστες να επικοινωνήσουν καθώς επίσης παρέχει και διεπαφή μεταξύ των χρηστών και του δικτύου. Η κίνηση παράγεται από το κινητό σταθμό αλλά και παραλαμβάνεται από αυτόν.

**QGS (QoS global server):** Όπως φαίνεται και στην εικόνα υπάρχει μόνο ένας QGS για κάθε domain. Σε αυτόν τον εξυπηρετητή περιέχεται πληροφορία για κάθε πόρο σε ολόκληρο το domain. Ο MS αλληλεπιδρά με τον QGS, αν είναι απαραίτητο όταν ο πρώτος απαιτεί ένα συγκεκριμένο βαθμό QoS στο domain. Ο QGS είναι η οντότητα για διαπραγμάτευση μεταξύ του κινητού σταθμού και το σύστημα ελέγχου του δικτύου. Έτσι παράδειγμα αν πρόκειται για QoS έλεγχο που είναι η περίπτωση της μελέτης μας, ο QGS αποφασίζει ποιες υπηρεσίες είναι διαθέσιμες στον χρήστη και στέλνει τις αποφάσεις αυτές στον QoS local node.

**QLN (QoS local node):** Είναι ο κόμβος εισόδου του DS Domain. Συνήθως βρίσκεται στην άκρη του δικτύου. Στην εικόνα απεικονίζεται σαν κομμάτι του edge router, αλλά θα μπορούσε να είναι και μέρος στο RAN (radio access network). Στο QLN περιέχονται οι τοπικές πληροφορίες για τις πηγές στο τοπικό domain. Δεν αλληλεπιδρά όμως απευθείας με τον mobile station για διαπραγμάτευση, αλλά η πληροφορία παρέχεται περιοδικά στον QGS. Ο QLN διατηρεί έναν πίνακα που και αυτός με τη σειρά του ανανεώνεται περιοδικά από τον QGS. Βασίζόμενος σε αυτόν τον πίνακα θα σημειώσει, αστυνομεύσει και σχηματίσει την κίνηση που το διαπερνά όντας έτσι η οντότητα για μεταφορά. Αν συγκριθεί με το QGS είναι λιγότερο έξυπνο.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. G. Huston (2000), “*Internet Performance Survival Guide*”(Des Bibliouhkh)
2. Ferguson P. & Huston G.(1998), “*Quality Of Service – Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks*”, Wiley Computer Publishing, Toronto
3. “*Quality of Service for IP Networks in theory and Practice*”, Magnus von Rosen, Ronneby, Sweden, October 2002
4. A. J. Ahumada and C. H. Null. “*Digital images and human vision. In A. B. Watson, editor, Image Quality: a Multidimensional Problem*”, pages 141–148. MIT Press, 1998.
5. M. Goncalves & K. Niles (1998), “*IPv6 Networks*”, McGraw – Hill, New York
6. <http://www.gnumonks.org>  
Σελίδα η οποία δεν έχει σχέση με το GNU λειτουργικό σύστημα. Σελίδα που αποτελεί «στέγη» για δωρεάν λογισμικό. Μπορεί κάποιος να αναζητήσει εδώ free software αλλά και να δημοσιεύσει το δικό του. Εκτός των άλλων περιέχει και τους στόχους μια υπηρεσίας που προσφέρεται μέσω IP δικτύου.
7. “*Transmission Control Protocol*”, DARPA Internet Program Protocol Specification, September 1981
8. J. Postel (1980), “*User Datagram Protocol*”
9. <http://www.isoc.org/internet/history/brief.shtml>  
Σελίδα της Internet Society. Ανάμεσα σε άλλα περιέχει μια αρκετά περιεκτική Ιστορία των IP δικτύων και του Internet που χρησιμοποιείται στο παρών έγγραφο. Εκτός της ιστορίας αυτής περιέχει αρκετά papers, επίκαιρα, συζητήσεις και οδηγίες για τα πρωτόκολλα που υποστηρίζουν τα IP δίκτυα.
10. Andrew S. Tanenbaum, “*Computer Networks*“, 3d Edition, Prentice-Hall, Inc
11. <http://www.itu.int>  
Η ITU ( International Telecommunication Union) με έδρα τη Γενεύη της Ελβετίας είναι ένας διεθνής οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών στην οποία συνεργάζονται οι κυβερνήσεις και ο ιδιωτικός τομέας για τον καλύτερο συντονισμό των παγκόσμιων δικτύων και υπηρεσιών. Μεγάλη ποσότητα forums, καθώς επίσης και πολλά papers με θέμα τις τηλεπικοινωνίες καθώς επίσης και διάφορα Study groups για ανάλογα θέματα.
12. <http://www.ipv6forum.com>  
Περιεκτικότερο portal με σιδήποτε μπορεί να απασχολεί τις κοινότητες των όσων ασχολούνται με την έκτη έκδοση του IP και τις τεχνολογίες του Internet γενικότερα. Ένα τεράστιο forum, αναφορά σε κάθε γεγονός και νέο γύρω από το IPv6, πολλές πηγές και αναφορές στον ηλεκτρονικό ή γραπτό τύπο. Γενικότερα ότι θέλει καθένας γύρω από αυτό το καυτό θέμα του διαδικτύου.
13. E. Carnes “The Transition to IPv6”, Internet Society, January 2002
14. F. Dressler (2002), “*A Metric for Numerical Evaluation of the QoS of an Internet Connection*”
15. F. Dressler, “*MQM – Multicast Quality Monitor*” Proceedings of 10<sup>th</sup> International Conference on Telecommunication Systems, Modeling and Analysis, vol2, Monterey, CA, USA, October 2002, pp 671 – 678.
16. G. Almes, S. Kalidindi, M Zekauskas, “*A One-way Packet Loss Metric for IPPM*“ RFC 2680, IETF September 1999
17. M. Hasib & J.A. Schormans (2002) “*Limitation of Passive & Active Measurement Methods in Packet Networks*”, University Of London, London
18. [www.whatis.com](http://www.whatis.com)  
Ιστοσελίδα λύσης αποριών για πάρα πολλούς σχετιζόμενους με την επιστήμη των υπολογιστών όρων. Είναι δωρεάν με πολλά links για σύγχρονα θέματα υπολογιστών και τηλεπικοινωνιών. Παρέχει επίσης πληροφορίες για δουλειές σχετιζόμενες με την επιστήμη παρέχοντας στους επισκέπτες ευκαιρίες, καθώς και ένα αρκετά περιεκτικό βιβλιοπωλείο.
19. <http://ftp.arl.mil/~mike/ping.html>

Ο συντάκτης της εντολής *ping*. Έχει την ιστορία της εντολής αυτής, τη τον ενέπνευσε να τη συντάξει καθώς και πληροφορίες για τη λειτουργία της. Παρέχει επίσης στους ενδιαφερόμενους τον κώδικα της εντολής του αυτής. Επίσης μια πολύ ενδιαφέρουσα ιστορία για την χρήση της και μια άσχετη ιστορία με μόνο κοινό στοιχείο το όνομα *ping*.

20. [www.tracert.com](http://www.tracert.com)

Μια από τις πολλές ιστοσελίδες που δωρεάν ή με κάποιο *member-fee* παρέχουν μετρήσεις. Η συγκεκριμένη σελίδα προσφέρει υπηρεσίες με πληρωμή, αλλά και εργαλεία δωρεάν με τα οποία μπορούμε να κάνουμε μετρήσεις και *monitoring* στο Internet. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται με τη βοήθεια εφαρμογών όπως η *ping* και η *tracert*.

21. J. Corral, G. Texier, L. Toutain (2003) “*End-to-end active measurement architecture in IP Networks(SATURNE)*”, ENST Bretagne

22. T. Varga & A. Olah (2000), “*Quality of Service Monitoring in IP Networks by using two-way active measurements*”, ERICSSON Hungary, Traffic Analysis and Network Performance Laboratory, Budapest

23. <http://saturne.ipv6.rennes.enst-bretagne.fr>

Ιστοσελίδα στα Γαλλικά με πολλές μετρήσεις που χρησιμοποιούν την *One – way active measurement*. Αναλύει τον τρόπο συγχρονισμού των ρολογιών μέσω του συστήματος *GPS*. Πληθώρα εγγράφων γύρω από το θέμα καθώς και συνεχής ενημέρωση των μετρήσεων που χρησιμοποιούν το σύστημα *SATURNE*.

24. A. Jeong, A.L. Barabási(2000) “*The Internet's Achilles' Heel: Error and attack tolerance of complex networks*”

25. Y. Liu, D. Tipper, D. Medhi, A. Srikitja (2000) “*Self-configuring Survivable Techniques for Quality of Service Enabled Internet*”

26. D. L. Mills. “*Clock Discipline Algorithm for the Network Time Protocol*” Version 4. Electrical Engineering Department Report 97-3-3, University of Delaware, March 1997

27. C. Huitema (1996), “*IPv6: The new Internet Protocol*”, Prentice Hall

28. [www.hp.com/communications](http://www.hp.com/communications)

Κομμάτι του *site* της *hp* προσανατολισμένο στις τηλεπικοινωνίες. Ασχολείται κυρίως με τις ασύρματες επικοινωνίες και παρέχει – διαφημίζει πολλές λύσεις για τέτοιου είδους περιβάλλοντα. Μια από αυτές είναι η λύση του *DSL* με στοιχεία για τη χρήση της σήμερα και στο άμεσο μέλλον.

29. <http://bmr.c.berkeley.edu/frame/research/mpeg/>

Ιστοσελίδα του πανεπιστημίου του *Berkeley* που παρουσιάζει νέες τεχνολογίες στο χώρο του διαδικτύου. Λύσεις, εργαλεία και αλγόριθμοι για συστήματα *video-on-demand*. Αλγόριθμοι συμπίεσης *video* και πύλες μετατροπής αναλογικό σε ψηφιακό *video* (*Internet Video Gateway*). Γενικότερα ότι *project* αναλαμβάνει το *Berkeley Multimedia Research Center*.

30. <http://www.tbi.net>

Διαφημιστικό *Site* μιας εταιρείας που παρέχει *broadband* λύσεις σε επιχειρήσεις. Μια από τις πολλές σελίδες αντίστοιχων εταιρειών που δείχνει όμως ότι πλέον το γρήγορο *Internet* και το *QoS* που προσφέρει αυτό γίνεται όλο και πιο προσιτό από μεγαλύτερο μέρος της αγοράς. Επιπρόσθετα η συγκεκριμένη επιχείρηση προσφέρει μέσω του ιστοχώρου της προσφέρει και *QoS* εφαρμογές.

31. D.C.Lynch,M.T.Rose (1993) “*Internet System Handbook*” (Des Bibliouhkh)

32. V.G. Cerf & R.E. Kahn, “*A Protocol for packet Networks Intercommunication*”, IEEE Transactions on Communication, Vol. COM-22, No. 5, 1974

33. Θ, Τσιλιγκρίδης, Ι. Αποστολάκης, Γ. Φούσκας, Κ. Πατριάρχης (2001) “*Βασικές υπηρεσίες Διαδικτύου*”, ΟΕΔΒ, Αθήνα

34. <http://www.3gpp2.org>

Η *ITSUMO* ( *Internet Supporting Universal Mobile Operation*) και το *3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project 2 “3GPP2”* που πραγματεύεται στο *site* αυτό έχει να κάνει με μια ερευνητική ομάδα για την επόμενη γενιά ασύρματων επικοινωνιών. Στόχος της είναι η αύξηση της ταχύτητας και ευκολίας των ασύρματων επικοινωνιών και να προσφέρει ποιότητα υπηρεσιών οπουδήποτε, οποτεδήποτε. Το *site*, ανοιχτό σε οποιονδήποτε παρέχει τεχνικές προδιαγραφές για τρίτης γενιάς ασύρματα δίκτυα.

35. Jyh - Cheng Chen, Armando Caro, Anthony McAuley (2001) "*QoS Architecture for Future Wireless IP Networks*" Wisconsin, Madison