



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

| | |
|-----------------------|--|
| Τίτλος Διατριβής | Μελέτη επίδοσης διαδικτύου Web performance analysis |
| Όνοματεπώνυμο Φοιτητή | Μακρόπουλος Γεώργιος |
| Πατρώνυμο | Ιωάννης |
| Αριθμός Μητρώου | ΜΠΣΠ/ 14051 |
| Επιβλέπων | Καθηγητής Χρήστος Δουληγέρης |

Ημερομηνία Παράδοσης **Ιούνιος 2017**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Όνομα Επώνυμο
Βαθμίδα

Όνομα Επώνυμο
Βαθμίδα

Όνομα Επώνυμο
Βαθμίδα

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με υποστήριξαν κατά την εκπόνηση και την συγγραφή της. Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου διατριβής, κ. Χρήστο Δουληγέρι, Καθηγητή του τμήματος Πληροφορικής, για την συνεργασία, τις υποδείξεις και την διάθεσή του για βοήθεια.

Τον κ. Δημήτριο Κοτσιφάκο, υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος Πληροφορικής, για την ουσιαστική καθοδήγηση και πολύτιμη βοήθειά του κατά την εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που ο καθένας με τον τρόπο του, με κατανόηση και υπομονή συνέβαλαν στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Περίληψη

Η ραγδαία αύξηση της χρήσης του διαδικτύου τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει την επιστημονική κοινότητα σε αναζήτηση κατευθύνσεων για την βελτίωση του και αυτό προϋποθέτει την βελτίωση των υπάρχοντων πρωτοκόλλων τόσο στην ενσύρματη όσο και την ασύρματη επικοινωνία. Η αύξηση αυτή που προέρχεται από την αύξηση των χρηστών, σημαίνει πως οι απαιτήσεις έχουν γίνει περισσότερες και ότι οι πάροχοι επιδιώκουν την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση των πελατών τους. Κάθε πρωτόκολλο διαθέτει ένα τμήμα που σχετίζεται με την επίδοση και οι επιστήμονες προσπαθούν συνεχώς, είτε να βελτιώσουν αυτό το τμήμα με διορθωτικές κινήσεις, είτε να σχεδιάσουν εκ νέου τα τμήματα αυτά. Επιπλέον, προκειμένου να μπορεί να υπάρξει η επιθυμητή βελτίωση, βασική προϋπόθεση είναι να υπάρχουν τα απαραίτητα δεδομένα που θα δώσουν το υλικό για να μπορέσουν να υλοποιηθούν αυτές οι αλλαγές. Τα δεδομένα αυτά είναι μετρήσεις που πραγματοποιούνται από συγκεκριμένα εργαλεία, διαμορφωμένα για αυτόν τον σκοπό και αποτελούν τον βασικό πυλώνα, καθώς παρέχουν ουσιαστικές πληροφορίες που αξιοποιούνται για να εξαχθούν συμπεράσματα.

Για τους λόγους αυτούς η μεταπτυχιακή διατριβή πραγματεύεται το πώς επιτυγχάνεται η βελτίωση της επίδοσης του διαδικτύου μέσα από συγκεκριμένες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα διάφορα πρωτόκολλα και επιπλέον αναλύει έναν βασικό παράγοντα που είναι τα εργαλεία που πραγματοποιούν μετρήσεις στο διαδίκτυο. Στα πλαίσια αυτής της ανάλυσης δημιουργήθηκε και παρουσιάζεται ένα εργαλείο που πραγματοποιεί μετρήσεις ταχύτητας λήψης σε ένα δίκτυο, έχοντας ως αντικειμενικό σκοπό να απεικονίσει την ποιότητα της σύνδεσης, μεταφέροντας μια σειρά από δεδομένα και μετρώντας τον χρόνο μετάδοσης στο δίκτυο. Το εργαλείο αυτό μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα τοπικό δίκτυο αν εγκαταστήσουμε ένα τοπικό server ή στο διαδίκτυο όπου μετρά γενικά την ταχύτητα ενός υπολογιστή σε ένα δίκτυο κατά την επικοινωνία του με τον διακομιστή. Οι μετρήσεις καταχωρούνται σε μια βάση δεδομένων όπου μπορούμε στην συνέχεια να κάνουμε ανάλυση και επεξεργασία ανά πάσα στιγμή.

Abstract

The rapid growth of the Internet usage in the recent years has led the scientific community in search of directions for improvements. This fact requires the improvement of the existing protocols on both the fixed line as well as the wireless communications. This growth is leading to an increase of users and this means that the demands have been increased too and additionally that providers of telecommunication services are seeking for the best possible service offers for their costumers.

Each protocol has a section which is associated with the performance and scientists are constantly trying either to improve this section with corrective actions, or to design new parts from scratch. In addition to this, in order to achieve the desired improvements, a basic requirement is to collect the necessary data before implementing the changes. These data are measurements taken by specific tools which are designed for this purpose and they are the basic pillar, as they provide essential information to draw conclusions. For these reasons this dissertation examines how web performance improvement is achieved through specific technologies that are applied in different protocols and also it analyzes a key factor that leads to improvements, i.e. the web performance measurement tools. Within this analysis we have created and present a tool that carries out measurements of download speed in a network. The objective is to estimate the quality of connection, by passing a series of data and measuring the transmission time though the network. This tool can be installed on a LAN or on the web where it can measure the download speed of a computer over the network when a communication with a server is established. The measurements can be saved into a database and the user can process and analyze the data whenever this is needed.

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|---|----|
| Κεφάλαιο 1..... | 10 |
| Εισαγωγή | 10 |
| Σκοπός της εργασίας..... | 10 |
| Δομή της εργασίας | 11 |
| Κεφάλαιο 2 -Διαδίκτυο και TCP πρωτόκολλο..... | 12 |
| 2.1. Εισαγωγή στο Διαδίκτυο | 12 |
| 2.2 Αρχιτεκτονική του διαδικτύου | 15 |
| 2.3 Εισαγωγή στο πρωτόκολλο TCP (Transmission Control Protocol) | 16 |
| 2.3.1 Έλεγχος συμφόρησης | 18 |
| 2.4 TCP και απόδοση | 18 |
| 2.4.1 HTTP συναλλαγές με καθυστέρηση | 19 |
| 2.4.2 Συχνές αιτίες μείωσης της απόδοσης..... | 20 |
| 2.4.2.1 Καθυστέρηση λόγω handshake (Handshake delay)..... | 20 |
| 2.4.2.2 Καθυστερημένα μηνύματα επιβεβαίωσης (Delayed ack)..... | 21 |
| 2.4.2.3 Αργή εκκίνηση TCP (Slow start) | 21 |
| 2.4.3 Βελτίωση απόδοσης..... | 21 |
| 2.4.3.1 Γρήγορη επαναμετάδοση και γρήγορη ανάκαμψη | 22 |
| Κεφάλαιο 3 – Ασύρματη επικοινωνία και απόδοση | 25 |
| 3.1 Εισαγωγή | 25 |
| 3.2 Η υπάρχουσα κατάσταση των προτύπων 802.11n-2009 και 802.11ac-2013 ... | 25 |
| 3.2.1 Το πρωτόκολλο 802.11n..... | 25 |
| 3.2.2 Το πρωτόκολλο 802.11 ac | 28 |
| 3.3 Σενάρια υψηλής χρήσης στο νέο πρότυπο 802.11ax | 31 |
| 3.4 Προϋποθέσεις για την τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.11ax-2019..... | 33 |
| 3.4.1 Νέα τεχνικά χαρακτηριστικά προτύπου 802.11ax | 34 |
| 3.5 Αλλαγές στο Φυσικό επίπεδο | 35 |
| 3.6 802.11ax -2019 και χρήση OFDMA..... | 37 |
| Κεφάλαιο 4 –Απόδοση στο πρωτόκολλο IP..... | 40 |
| 4.1 Εισαγωγή | 40 |
| 4.2 Η εξέλιξη του πρωτοκόλλου – Internet Protocol (IP)..... | 41 |
| 4.3 Το Πρωτόκολλο διαδικτύου - IPV4 | 42 |
| 4.3.1 Η Δομή ενός πακέτου IPv4..... | 43 |
| 4.4 Πρωτόκολλο διαδικτύου έκδοση 6 (Internet Protocol version 6-IPV6) | 45 |
| 4.4.1 Μορφή διεύθυνσης IPV6 | 46 |
| 4.4.2 Η δομή ενός πακέτου IPv6..... | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 4.5 Λόγοι μετάβασης στο IPV6 | 48 |
| 4.5.1 Έλλειψη IP διευθύνσεων | 49 |
| 4.5.2 Δυσκολία διαχείρισης..... | 49 |
| 4.5.3 Υποστήριξη φορητότητας..... | 50 |
| 4.6 Αύξηση αποδοτικότητας | 51 |
| 4.6.1 Ασφάλεια | 51 |
| 4.6.2 Quality of Service (QoS) | 52 |
| Κεφάλαιο 5 -Απόδοση διαδικτύου..... | 55 |
| 5.1 Εισαγωγή | 55 |
| 5.2 Απόδοση διαδικτύου και ταχύτητα | 55 |
| 5.3 Η έννοια της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS)..... | 58 |
| 5.4 Περιγραφή του προβλήματος των σημερινών δικτύων..... | 59 |
| 5.4.1 Η ανάγκη για ποιότητας υπηρεσίας στο διαδίκτυο | 61 |
| 5.4.2 Απαιτητικές εφαρμογές και ποιότητα υπηρεσίας..... | 62 |
| 5.5 Πρωτόκολλα για την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας..... | 65 |
| 5.6 Απόδοση και διαδικτυακά συστήματα | 67 |
| 5.7 Συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών – SLAs (Service Levels Agreements) | 68 |
| Κεφάλαιο 6- Εργαλεία και πλατφόρμες μέτρησης..... | 71 |
| 6.1 Εισαγωγή | 71 |
| 6.2 Πλατφόρμες μέτρησης της απόδοσης | 71 |
| 6.3 Δημοφιλείς πλατφόρμες..... | 74 |
| 6.3.1 SamKnows πλατφόρμα | 74 |
| 6.3.2 Bismark πλατφόρμα | 76 |
| 6.3.3 Dasu πλατφόρμα | 77 |
| 6.4 Εργαλεία μέτρησης | 79 |
| 6.4.1 Ιδανικό εργαλείο μέτρησης της απόδοσης | 79 |
| 6.5 Επισκόπηση δημοφιλών εργαλείων..... | 81 |
| Κεφάλαιο 7 – Εργαλείο Net speed | 87 |
| 7.1 Διαγράμματα εφαρμογής..... | 87 |
| 7.1.1 Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης | 87 |
| 7.1.2 Διάγραμμα ακολουθίας | 88 |
| 7.1.3 Διάγραμμα ροής..... | 89 |
| 7.2 Εφαρμογή Network speed | 90 |
| 7.3 Δομή εφαρμογής Network speed | 91 |
| 7.3.1 Βάση δεδομένων | 91 |

| | |
|---|-----------|
| 7.3.2 Μέτρηση ταχύτητας (Test speed)..... | 93 |
| 7.3.3 Μέσος όρος μετρήσεων (Get average results)..... | 93 |
| 7.3.4 Σύνολο μετρήσεων (Get all measures)..... | 94 |
| 7.3.5 Σύγκριση μετρήσεων δικτύων (Compare nets) | 96 |
| Κεφάλαιο 8..... | 97 |
| 8.1 Συμπεράσματα..... | 97 |
| 8.2 Μελλοντικές επεκτάσεις..... | 97 |

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Το διαδίκτυο ή το Internet όπως είναι η διεθνής ονομασία που έχει επικρατήσει, είναι ένα παγκόσμιο δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών, οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους. Οι χρήστες του διαδικτύου μπορούν εύκολα και γρήγορα να περιηγηθούν σε μια τεράστια βάση πληροφοριών, να αποστείλουν και να λάβουν αρχεία και γενικά να χρησιμοποιήσουν ένα πλήθος πολυάριθμων υπηρεσιών που έχουν στην διάθεσή τους. Αποτελεί ένα επικοινωνιακό δίκτυο που επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ οποιουδήποτε διασυνδεδεμένου υπολογιστή. Η τεχνολογία του είναι κυρίως βασισμένη στην διασύνδεση επιμέρους δικτύων και σε πολυάριθμα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτων και την στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP. Η τεχνική της διασύνδεσης δικτύων μέσω της μεταγωγής και της στοίβας πρωτοκόλλων καλείται διαδικτύωση.

Στο κομμάτι της απόδοσης ή της βελτίωσης της απόδοσης, ένας παράγοντας που παίζει καθοριστικό αρχικά είναι τα διάφορα πρωτόκολλα που μας επιτρέπουν την σύνδεση στο διαδίκτυο. Οι διάφορες τεχνολογίες των πρωτοκόλλων που σχετίζονται με το κομμάτι αυτό, είναι τα τελευταία χρόνια πεδίο επιστημονικής μελέτης και απότερος σκοπός των μελετών αυτών είναι η μέγιστη απόδοση που με την σειρά της οδηγεί σε καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών. Οι μετρήσεις από κατάλληλα εργαλεία είναι ο δεύτερος πυλώνας. Υπάρχουν κάποιες βασικές μετρικές που τα περισσότερα εργαλεία μετρούν και οι οποίες αποτελούν παραμέτρους στο κομμάτι της απόδοσης. Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων (throughput), η ταχύτητα λήψης και μεταφόρτωσης δεδομένων (download/upload), η καθυστέρηση μεταφοράς δεδομένων (latency) και ο χρόνος απόκρισης (response time) είναι ενδεικτικά κάποιες από αυτές. Συνεπώς, η μελέτη και η προσέγγιση της επίδοσης του διαδικτύου μέσα από την καταγραφή των μετρήσεων που πραγματοποιούν τα διάφορα εργαλεία, είναι ένας παράγοντας σημαντικός τόσο για τους δικτυακούς πάροχους όσο και για τους χρήστες. Οι μεν πρώτοι επιδιώκουν την παροχή υπηρεσιών ικανοποιητικών επιπέδων και οι δεύτεροι επιζητούν από τους πάροχους συνεχή βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών. Στο πλαίσιο της μελέτης της απόδοσης στο διαδίκτυο η αντίληψη των χρηστών για το πώς αντιλαμβάνονται την ταχύτητα επιπλέον είναι πολύ σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν.

Σκοπός της εργασίας

Η μέτρηση της επίδοσης του διαδικτύου είναι αναγκαία για τους χρήστες που απολαμβάνουν τις υπηρεσίες των πάροχων διαδικτυακών υπηρεσιών, αλλά και για τους ίδιους τους πάροχους. Συνεπώς η παρούσα εργασία θα βοηθήσει αρχικά στην κατανόηση των υπαρχόντων εργαλείων μέτρησης και πώς ερμηνεύονται οι διάφορες μετρικές που αυτά μετρούν.

Σκοπός της εργασίας είναι να μελετήσει σε βάθος την έννοια της μέτρησης της επίδοσης διαδικτύου και την σημαντικότητά της. Μέσα από την μελέτη της βιβλιογραφίας θα παρουσιαστεί η εξέλιξη του διαδικτύου, οι τρόποι της αύξησης του εύρους ζώνης, πώς αυτή η αύξηση επιτεύχθηκε με την εξέλιξη της τεχνολογίας και από ποιους παράγοντες εξαρτάται. Θα προσεγγίσουμε τα διάφορα πρωτόκολλα ενσύρματης και ασύρματης δικτύωσης και θα αναλύσουμε το κομμάτι της απόδοσης που αυτά προσφέρουν. Επίσης, θα παρουσιάσουμε ένα εργαλείο που δημιουργήσαμε και πραγματοποιεί μετρήσεις στην ταχύτητα του δικτύου ώστε στην συνέχεια να εξαχθούν συμπεράσματα μέσα από την προσέγγιση αυτή.

Δομή της εργασίας

Αρχικά στο κεφάλαιο δύο (2) γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια του διαδικτύου και στην αρχιτεκτονική του και ειδικότερα στο πρωτόκολλο TCP που αποτελεί ένα από τα δυο βασικά πρωτόκολλα που στηρίζεται το διαδίκτυο. Στο κεφάλαιο τρία (3) αναλύονται εκτενώς τα πρωτόκολλα ασύρματης δικτύωσης και προσεγγίζονται από την πλευρά της απόδοσης και πώς εξελίχθηκαν στον τομέα αυτό. Εν συνεχεία, στο κεφάλαιο τέσσερα (4) περιγράφουμε το πρωτόκολλο IP, την υπάρχουσα έκδοση IPv4 και την μελλοντική IPv6 και αναλύουμε τις παραμέτρους αυτών των πρωτοκόλλων που αφορούν στην απόδοση. Στο κεφάλαιο πέντε (5) παρουσιάζουμε την έννοια της απόδοσης, τις τεχνικές που μετρούν την απόδοση και την έννοια της ποιότητας υπηρεσίας και την συσχέτιση της με τους χρήστες του διαδικτύου.

Στο κεφάλαιο έξι (6) γίνεται μια επισκόπηση δημοφιλών εργαλείων μέτρησης καθώς και πλατφορμών που έχουν αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό. Στο έβδομο κεφάλαιο (7) περιγράφουμε το εργαλείο που δημιουργήσαμε και εξηγούμε τον τρόπο που λειτουργεί και πραγματοποιεί μετρήσεις. Τέλος στο όγδοο κεφάλαιο (8) κλείνουμε την διατριβή παραθέτοντας τα συμπεράσματά μας και τους στόχους μας για μελλοντική έρευνα.

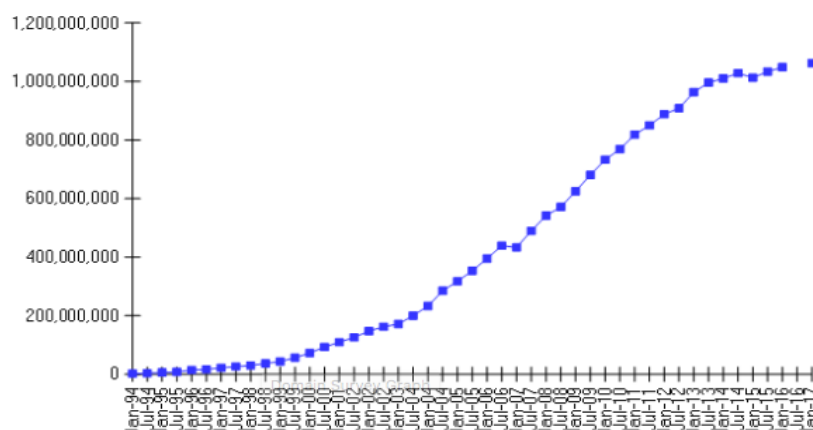
Κεφάλαιο 2 -Διαδίκτυο και TCP πρωτόκολλο

2.1. Εισαγωγή στο Διαδίκτυο

Το διαδίκτυο είναι ένα παγκόσμιο σύστημα διασυνδεδεμένων δικτύων υπολογιστών που χρησιμοποιεί την καθιερωμένη σουίτα πρωτοκόλλων δικτύων υπολογιστών TCP/IP και εξυπηρετεί δισεκατομμύρια χρήστες. Οι διασυνδεδεμένοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές ανά τον κόσμο, οι οποίοι βρίσκονται σε ένα κοινό δίκτυο επικοινωνίας, ανταλλάσσουν μηνύματα (πακέτα) με τη χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων (τυποποιημένοι κανόνες επικοινωνίας), τα οποία υλοποιούνται σε επίπεδο υλικού και λογισμικού. (Leiner et al., 2009) [1].

Επί του παρόντος, η αρχιτεκτονική του διαδικτύου είναι ένα αμφιλεγόμενο θέμα στην επιστημονική κοινότητα δικτύωσης. Οι ιδέες αλλάζουν γρήγορα και ίσως στο μέλλον το διαδίκτυο θα είναι εντελώς διαφορετικό από αυτό που γνωρίζουμε σήμερα. Η ραγδαία ανάπτυξή του συνεχίζεται και όλο και περισσότερες συσκευές συνδέονται με αυτό με αποτέλεσμα την αύξηση των απαιτήσεων των δικτύων. Οι παραδοσιακές αρχιτεκτονικές των δικτύων μπροστά σε αυτή την ραγδαία ανάπτυξη χρήζουν αναθεώρηση και επανεξέταση. Κάποιοι από τους βασικούς λόγους για την επανεξέταση αυτή είναι οι εξής:

- **Μοτίβα κίνησης (traffic patterns):** Οι αιτήσεις πρέπει να περάσουν μέσα από πολλαπλούς διακομιστές πριν επιστρέψουν τα δεδομένα στον χρήστη. Επιπλέον, υπάρχουν αμέτρητες συσκευές από τις οποίες οι χρήστες συνδέονται οποιαδήποτε στιγμή και από οπουδήποτε.
- **Αύξηση των προσωπικών συσκευών:** Οι χρήστες χρησιμοποιούν όλο και περισσότερες συσκευές όπως tablets, smartphones για να συνδεθούν στο διαδίκτυο. Συνεπώς, πρέπει να διασφαλίζεται η προστασία της ιδιωτικής ζωής καθώς και η προστασία των δεδομένων η οποία αυξάνει το κομμάτι των υπηρεσιών πληροφορικής (IT).
- **Μεγάλος όγκος δεδομένων (Big Data):** Η εξάπλωση του διαδικτύου έχει αναδείξει το έργο της επεξεργασίας των πολύπλοκων συνόλων από τα δεδομένα που διακινούνται. Η επεξεργασία αυτού του είδους δικτύων απαιτεί χιλιάδες διακομιστές με μεγάλη χωρητικότητα και την δυνατότητα μαζικής παράλληλης επεξεργασίας. Ως αποτέλεσμα, οι πάροχοι αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της κλιμάκωσης των δικτύων.



Εικ.2.1 Εξέλιξη πλήθους κόμβων του διαδικτύου

Στην εικόνα 2.1 (<https://www.isc.org/network/survey/>) δίνεται η γραφική παράσταση του πλήθους των κόμβων του διαδικτύου στο πέρασμα του χρόνου και συγκεκριμένα από το 1994 έως και σήμερα το 2017. Η καμπύλη αυτή επιβεβαιώνει τη ραγδαία αύξηση της χρήσης του διαδικτύου που έχουμε προαναφέρει.

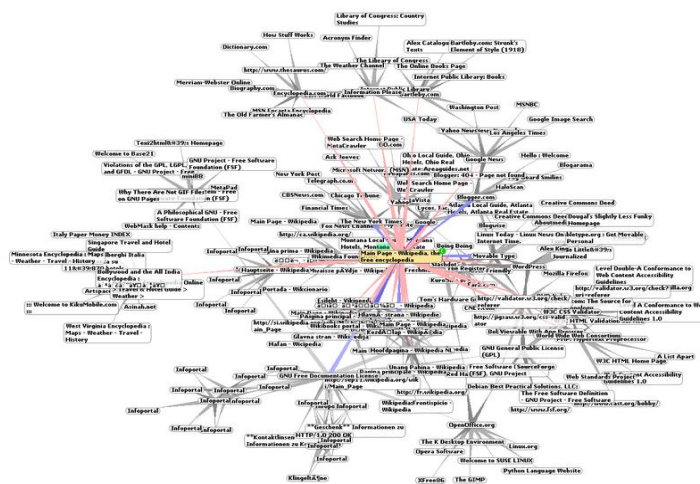
Λόγω των αυξημένων απαιτήσεων που έχουν προκύψει, υπάρχουν σήμερα διάφορες συζητήσεις σχετικά με την βελτίωση της αρχιτεκτονικής του διαδικτύου. Για παράδειγμα, υπάρχει μια συζήτηση από την ερευνητική κοινότητα, για το αν θα πρέπει να επικεντρωθούν στην κατανόηση και βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης του διαδικτύου (εξέλιξη) ή να σχεδιάσουν νέες αρχιτεκτονικές από το μηδέν (Rexford, 2010) [2]. Με άλλα λόγια υπάρχουν διαφορετικές απόψεις για το αν θα επιλυθεί το υπάρχον πρόβλημα της κλιμάκωσης των δικτύων, με την συμβατότητα προς τα πίσω και την σταδιακή ανάπτυξη (π.χ. ανάπτυξη νέων πρωτοκόλλων) ή με το να δημιουργηθεί μια ασφαλής και ανθεκτική αρχιτεκτονική μη βασισόμενη στην τρέχουσα κατάσταση.

Οι υποστηρικτές της εξελικτικής έρευνας ισχυρίζονται ότι στο παρελθόν υπήρχαν από το μηδέν προσεγγίσεις όπως το CLNP (Connectionless Network Protocol) πρωτόκολλο αλλά δεν υιοθετήθηκαν από το διαδίκτυο. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο δεν απαιτεί ένα κύκλωμα που πρέπει να καθοριστεί πριν από την μετάδοση των δεδομένων και δρομολογεί τα μηνύματα στους προορισμούς τους ανεξάρτητα από την ύπαρξη τυχόν άλλων μηνυμάτων. Αντί αυτού, χρησιμοποιήθηκαν εξελικτικές προσεγγίσεις όπως το NAT (Network Address Translation) επειδή αυτό το πρωτόκολλο λειτουργήσε καλά με τις αρχιτεκτονικές που κληρονόμησε. Το NAT είναι μια μέθοδος επαναχαρτογράφησης ενός χώρου διεύθυνσεων IP σε έναν άλλο χώρο, τροποποιώντας τις πληροφορίες διεύθυνσης του δικτύου στο πακέτο IP ενώ αυτό βρίσκεται σε κίνηση. Από την άλλη πλευρά οι υποστηρικτές της περίπτωσης για προσέγγιση από την αρχή, ισχυρίζονται ότι πολλά θέματα του σημερινού διαδικτύου όπως η αξιοπιστία, η φορητότητα και η διαχείριση ενός μεγάλου δικτύου, δεν μπορούν να λυθούν.

Σε αυτή την περίπτωση μια νέα προσέγγιση, η οποία θα επανεξετάζει τις βασικές αρχές, θα καταφέρει να λύσει τα υπάρχοντα προβλήματα. Ο όρος προσέγγιση από το μηδέν σημαίνει ένα νέο ξεκίνημα και

το κύριο θέμα ήταν το πώς το διαδίκτυο θα μπορούσε να επανασχεδιαστεί από την αρχή χωρίς να βασίζεται στα υπάρχοντα πολύπλοκα συστήματα και δίκτυα, αλλά χρησιμοποιώντας τις θεμελιώδεις αρχές και την εμπειρία του παρελθόντος. Μια άλλη συζήτηση σχετικά με την κατάσταση της τρέχουσας αρχιτεκτονικής πίσω από το διαδίκτυο, είναι μεταξύ των υποστηρικτών του διαδικτύου και των πλουραλιστών του διαδικτύου. Η πρώτη ομάδα έχει την άποψη πως πρέπει να υπάρχει ένα κεντρικό πρωτόκολλο, όπως το IP σήμερα και όλα να κινούνται γύρω από αυτό. Με βάση αυτή την λογική στόχος είναι η ευελιξία, καθώς η αρχιτεκτονική θα παραμείνει σταθερή για πολύ καιρό. Η άλλη ομάδα έχει μια διαφορετική προσέγγιση στο θέμα αρχιτεκτονικής του διαδικτύου. Η προσέγγιση αυτή υποστηρίζει ότι το πρωτόκολλο IP είναι ένα μόνο στοιχείο και ότι η εξέλιξη μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο διάφορων υφιστάμενων πρωτοκόλλων και δίνουν έμφαση στις βραχυπρόθεσμες βελτιώσεις που σχετίζονται με την απόδοση (Martin, 2010) [3].

Συμπερασματικά, δύο είναι οι βασικές ερωτήσεις που προσεγγίζουν το θέμα της εξέλιξης και της απόδοσης του διαδικτύου : α) Πώς θα είναι το διαδίκτυο σε είκοσι χρόνια από τώρα με τα τρέχοντα ζητήματα κλιμάκωσης και απόδοσης. Το γεγονός αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό μέσα από την εικόνα 2.2 όπου παρουσιάζεται ένα απειροελάχιστο τμήμα του διαδικτύου (αντιστοιχεί στο 0,0001 του συνόλου). Μέσα από την εικόνα αυτή είναι εμφανές ότι το ζήτημα της κλιμάκωσης του μεγέθους είναι βασικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη στις τεχνολογικές εξελίξεις. β) Με αυτά που γνωρίζουμε σήμερα, σε περίπτωση που ξεκινούσε κάτι από την αρχή, πώς θα σχεδιαζόταν μια παγκόσμια υποδομή επικοινωνιών; Οι ερευνητές που ασχολούνται με τον επαναπροσδιορισμό από την αρχή αναγνωρίζουν ότι υπάρχουν προβλήματα κλιμάκωσης και απόδοσης στην τρέχουσα αρχιτεκτονική τα οποία πρέπει να επανεξεταστούν (Martin, 2010) [3].



Εικ.2.2 Γραφική αναπαράσταση τμήματος του διαδικτύου μικρότερο του 0,0001% του συνόλου

(Πηγή http://www.pcworld.com/article/159471/evolution_internet.html)

2.2 Αρχιτεκτονική του διαδικτύου

Η λειτουργία του διαδικτύου βασίζεται σε τέσσερα διακριτά στρώματα όπως φαίνεται στην εικόνα 2.3.

- Το στρώμα εφαρμογής, που περιλαμβάνει πρωτόκολλα για υποστήριξη διάφορων εφαρμογών όπως ο παγκόσμιος ιστός (World Wide Web), η ηλεκτρονική αλληλογραφία και η μεταφορά αρχείων (FTP).
- Το στρώμα μεταφοράς που παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς μηνυμάτων από άκρο σε άκρο στις εφαρμογές και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τα πρωτόκολλα TCP (Transmission Control Protocol) και UDP (User Datagram Protocol).
- Το στρώμα διαδικτύου (Internet Layer) που διασυνδέει εν δυνάμει ανομοιογενείς δικτυακές τεχνολογίες σε ένα λογικό διαδίκτυο και περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα IP (Internet Protocol), ICMP (Internet Control Message Protocol) και IGMP (Internet Group Message Protocol).
- Το στρώμα σύνδεσης που συνιστά το φυσικό και λογικό μέσο σύνδεσης δύο γειτονικών κόμβων και περιλαμβάνει διάφορα πρωτόκολλα όπως το ARP (Address Resolution Protocol) και το RARP (Reverse Address Resolution Protocol), καθώς και διάφορες δικτυακές τεχνολογίες όπως το Ethernet και το DSL.

Από την αρχή της δημιουργίας της σουίτας πρωτοκόλλων του διαδικτύου και έκτοτε, η σχετιζόμενη ερευνητική κοινότητα προτείνει διαρκώς πρωτόκολλα και μηχανισμούς ή βελτιώσεις στα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα των διαφόρων στρωμάτων του διαδικτύου. Πολλές από τις προτάσεις αυτές έχουν υλοποιηθεί και έχουν ενσωματωθεί στην στοίβα πρωτοκόλλων του διαδικτύου, στοχεύοντας έτσι στην καλύτερη απόδοσή των εφαρμογών που το χρησιμοποιούν. Δεδομένου ότι νέοι μηχανισμοί στα στρώματα μεταφοράς (transport layer) και δικτύου (network layer) συχνά αναπτύσσονται ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον, καταλήγουμε σε μια κατάσταση όπου ένας μηχανισμός ή πρωτόκολλο αγνοεί την ύπαρξη του άλλου (Day, 2007) [4].

Συνήθως οι σχεδιαστές πρωτοκόλλων και μηχανισμών επικεντρώνονται στο ιδιαίτερο πεδίο ενδιαφέροντός τους, οπότε δεν λαμβάνουν υπόψη τυχόν αλληλεπιδράσεις των μηχανισμών σε διαφορετικά επίπεδα του διαδικτύου. Την δημιουργία αυτής της κατάστασης ευνοεί η αρχιτεκτονική του διαδικτύου με την δομή των στρωμάτων που διαθέτει. Κάθε στρώμα επιλύει ένα σύνολο από προβλήματα που αφορούν την μετάδοση δεδομένων και καθορίζει το λειτουργικό πεδίο των πρωτοκόλλων που περιλαμβάνει.

| | | | | |
|-------------------|----------|------------|----------------|-----|
| Application Layer | FTP | HTTP | SMTP | DNS |
| Protocol Layer | TCP | | UDP | |
| Internet Layer | ICMP | IP | | ARP |
| Link Layer | Ethernet | Token Ring | Point to point | |

Εικ.2.3 Διακριτά στρώματα της δομής του διαδικτύου

Εξαιτίας της αρχιτεκτονικής δομής του διαδικτύου σε στρώματα και του διαχωρισμού των λειτουργιών ανά στρώμα, οι ερευνητές δεν έχουν διερευνήσει διεξοδικά τους συσχετισμούς και τις διαφορές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε μηχανισμούς διαφορετικών στρωμάτων. Για παράδειγμα όταν προτείνεται ένας καινούργιος αλγόριθμος είναι κοινή πρακτική να τον συγκρίνουν με παρόμοιους αλγόριθμους του ίδιου επιπέδου. Παρόλο που μια θεμελιώδης σχεσιακή αρχή του διαδικτύου είναι η αυτονομία κάθε στρώματος στην πράξη οι μηχανισμοί διαφορετικών στρωμάτων αλληλεπιδρούν μεταξύ τους συχνά με έμμεσο τρόπο. Η κατάσταση αυτή επιβάλλει μια διαστρωματική προσέγγιση για την αξιολόγηση πρωτοκόλλων (cross layer evaluation). (Kawadia et al., 2005) [5].

2.3 Εισαγωγή στο πρωτόκολλο TCP (Transmission Control Protocol)

Ένα θεμελιώδες πρωτόκολλο της σουίτας πρωτοκόλλων του διαδικτύου είναι το transmission control protocol (TCP). Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο αποτελεί ένα βασικό συστατικό της σουίτας συμπληρώνοντας λειτουργικά το πρωτόκολλο IP, που αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο. Έτσι έχει επικρατήσει η σουίτα πρωτοκόλλων του διαδικτύου να αναφέρεται συχνά ως σουίτα πρωτοκόλλων του TCP/IP. Σε γενικές γραμμές θα λέγαμε ότι το πρωτόκολλο TCP παρέχει υπηρεσίες ανταλλαγής δεδομένων ανάμεσα στους κόμβους του διαδικτύου, ενώ το IP είναι υπεύθυνο για την ονοματοδοσία των κόμβων και τη δρομολόγηση μηνυμάτων. Η δρομολόγηση αυτή γίνεται διαμέσου ενός ή περισσοτέρων δικτύων διασυνδέοντας έτσι ανομοιογενείς δικτυακές τεχνολογίες, σε ένα μοναδικό λογικό διαδίκτυο (Postel, 1981) [6].

Ειδικότερα το TCP υποστηρίζει: α) αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων δηλαδή εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα φτάνουν στον τελικό προορισμό χωρίς λάθη στην σειρά με την οποία στάλθηκαν, β) έλεγχο ροής (flow control) που αποτρέπει τον αποστολέα από το να μεταδίδει δεδομένα με γρηγορότερο ρυθμό από αυτόν με τον οποίο μπορεί ο παραλήπτης να παραλαμβάνει και να επεξεργάζεται δεδομένα, γ) έλεγχο και αποφυγή συμφόρησης (congestion avoidance and control) ώστε

να αποφεύγεται η δημιουργία συμφόρησης στο δίκτυο και ιδίως καταστροφικής συμφόρησης (congestion collapse).

Σημαντικές εφαρμογές του διαδικτύου βασίζονται στο πρωτόκολλο TCP όπως ο παγκόσμιος ιστός (World Wide Web), η ηλεκτρονική αλληλογραφία, η μεταφορά αρχείων.

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι η ενσάρκωση της αξιόπιστης μετάδοσης από άκρο σε άκρο στην συνολική αρχιτεκτονική του διαδικτύου. Παρέχει ένα κανάλι επικοινωνίας μεταξύ διεργασιών σε κάθε σύστημα host. Το κανάλι διαθέτει αξιοπιστία, αμφίδρομη επικοινωνία και συνεχή ροή για να επιτευχθεί αυτό, χωρίζεται η ροή δεδομένων σε διακριτά τμήματα και επισυνάπτεται μια επικεφαλίδα TCP για κάθε τμήμα (Stevens, 1994) [7]. Πιο συγκεκριμένα, τα παραπάνω χαρακτηριστικά μαζί με μια πληθώρα άλλων το κάνουν να ξεχωρίζει. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής:

- Βασίζεται σε ένα μονής εκπομπής μοντέλο δικτύου (unicast) και υποστηρίζει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ακριβώς δυο μερών. Δεν υποστηρίζει ανοικτή μετάδοση (broadcast) ή δικτυακά μοντέλα πολλαπλής εκπομπής (multicast).
- Αντί να επιβάλλει την κατάσταση του δικτύου για την υποστήριξη της σύνδεσης, χρησιμοποιεί μια συγχρονισμένη κατάσταση μεταξύ των δύο τελικών σημείων. Αυτή η συγχρονισμένη κατάσταση έχει ρυθμιστεί σαν τμήμα μίας αρχικής διαδικασίας σύνδεσης, έτσι ώστε να μπορεί να χαρακτηριστεί ως πρωτόκολλο προσανατολισμένης σύνδεσης.
- Η αξιοπιστία συνεπάγεται ότι η σειρά των δεδομένων που θα περάσει από το ένα άκρο της σύνδεσης θα μεταδίδεται σε όλο το δίκτυο και θα φτάνει στο άλλο άκρο με την ίδια σειρά όπως παράγεται από τον αποστολέα. Αυτό συνεπάγεται ότι το πρωτόκολλο ανιχνεύει ποια τμήματα της ροής δεδομένων έχουν απορριφθεί από το δίκτυο, έχουν αναδιαταχθεί ή έχουν καταστραφεί. Όπου είναι απαραίτητο ο αποστολέας θα μεταδώσει κατεστραμμένα τμήματα για να επιτρέψει στον δέκτη να ανακατασκευάσει τα αρχικά δεδομένα. Έτσι ο αποστολέας πρέπει να διατηρεί ένα αντίγραφο των μεταδιδόμενων δεδομένων μέχρι να λάβει ένδειξη από τον δέκτη ότι έχει ολοκληρωθεί η μεταφορά.
- Υποστηρίζει πλήρη και αμφίδρομη επικοινωνία, όπως έχει αναφερθεί σε προγενέστερη παράγραφο και με αυτό τον τρόπο και τα δυο μέρη στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα στο πλαίσιο μιας ενιαίας σύνδεσης.
- Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων έχει ως στόχο να προσαρμοστεί στις επικρατούσες συνθήκες φορτίου εντός του δικτύου. Δεν υπάρχει κάποιος προκαθορισμένος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων και έτσι αν το δίκτυο και ο δέκτης έχουν και οι δύο διαθέσιμη χωρητικότητα, ένας αποστολέας θα προσπαθήσει να μεταφέρει περισσότερα δεδομένα. Αντιθέτως, αν υπάρχει συμφόρηση, ένας αποστολέας θα μειώσει τον ρυθμό αποστολής για να επιτρέψει στο δίκτυο να ανακάμψει. Αυτή η λειτουργία

προσαρμογής επιχειρεί να επιτύχει τον υψηλότερο δυνατό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων χωρίς να υπάρχει απώλεια δεδομένων.

2.3.1 Έλεγχος συμφόρησης

Η θεμελιώδης στρατηγική που υλοποιεί το TCP για έλεγχο συμφόρησης είναι να στέλνει πακέτα στο δίκτυο, χωρίς δέσμευση δικτυακών χώρων (reservation) και να ανταποκρίνεται στα διάφορα συμβάντα. Ο έλεγχος συμφόρησης εφαρμόστηκε στο διαδίκτυο οκτώ χρόνια μετά την λειτουργία της σουίτας πρωτοκόλλων TCP/IP. Πριν την εφαρμογή του ελέγχου συμφόρησης παρατηρούνταν συχνά φαινόμενα καταστροφικής συμφόρησης για δύο βασικούς λόγους. Οι χρήστες αρχικά στέλνανε τα πακέτα στο διαδίκτυο όσο γρήγορα τους επέτρεπαν οι δυνατότητες των παραληπτών, ώστε να προλαβαίνουν οι τελευταίοι να επεξεργάζονται τα δεδομένα που παραλαμβάνουν. Σε επόμενο στάδιο δημιουργούνταν κάποια στιγμή συμφόρηση σε κάποιο δρομολογητή, πράγμα που οδηγούσε σε απορρίψεις πακέτων. Τέλος οι χρήστες έστελναν εκ νέου τα πακέτα τους μετά την λήξη του χρονικού περιθωρίου (retransmission timeout), προκαλώντας ακόμα πιο έντονη συμφόρηση στο διαδίκτυο.

Σε γενικές γραμμές η ιδέα του ελέγχου συμφόρησης του TCP είναι κάθε αποστολέας να ανιχνεύει την διαθέσιμη χωρητικότητα στο δίκτυο ούτως ώστε να γνωρίζει πόσα πακέτα μπορεί να βρίσκονται σε εξέλιξη αποστολής (inflight), χωρίς να προξενούν προβλήματα συμφόρησης στο δίκτυο (Nagle, 1984) [8]. Όταν ο αποστολέας προσδιορίσει τον αριθμό αυτών των πακέτων μόλις λάβει μήνυμα επιβεβαίωσης ότι κάποια από τα πακέτα έχει παραληφθεί επιτυχώς και έτσι έχει εγκαταλείψει το δίκτυο, μπορεί να αποσταλεί με ασφάλεια ένα πακέτο στο δίκτυο, χωρίς να επιδεινώσει την συμφόρηση. Ουσιαστικά το πακέτο TCP χρησιμοποιεί τις ληφθείσες επιβεβαιώσεις (Acknowledges) για να καθορίσει τελικά το ρυθμό αποστολής των πακέτων. Γι'αυτό θεωρείται ότι αυτορυθμίζει την ταχύτητα μετάδοσης.

Φυσικά ο προσδιορισμός της διαθέσιμης χωρητικότητας στο δίκτυο δεν αποτελεί εύκολη υπόθεση γιατί δημιουργούνται διαρκώς νέες συνδέσεις για μεταφορά δεδομένων, ενώ ήδη υπάρχουσες συνδέσεις εγκαταλείπουν το δίκτυο και παράλληλα οι διάφοροι χρήστες μεταβάλλουν για διάφορους λόγους το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό καλείται ο εκάστοτε αποστολέας TCP να προσαρμόσει τον αριθμό των πακέτων που βρίσκονται υπό μεταφορά στο δίκτυο.

2.4 TCP και απόδοση

Το TCP είναι ένα προσαρμοστικό πρωτόκολλο ελέγχου ροής και χρησιμοποιεί ένα βασικό αλγόριθμο για την αύξηση της ροής των δεδομένων. Η αύξηση αυτή γίνεται μέχρις ότου επέλθει κάποια μορφή κορεσμού στα σήματα του δικτύου. Η μορφή αυτή κορεσμού συνήθως γίνεται αντιληπτή με απώλεια δεδομένων. Όταν ο αποστολέας λάβει μια ένδειξη απώλειας δεδομένων, ο ρυθμός ροής του TCP μειώνεται και επανέρχεται στα φυσιολογικά επίπεδα σταδιακά όταν η αξιοπιστία στην μετάδοση αποκατασταθεί. Αν δεν αποκατασταθεί η μετάδοση ο ρυθμός ροής γυρίζει πίσω στην αρχική

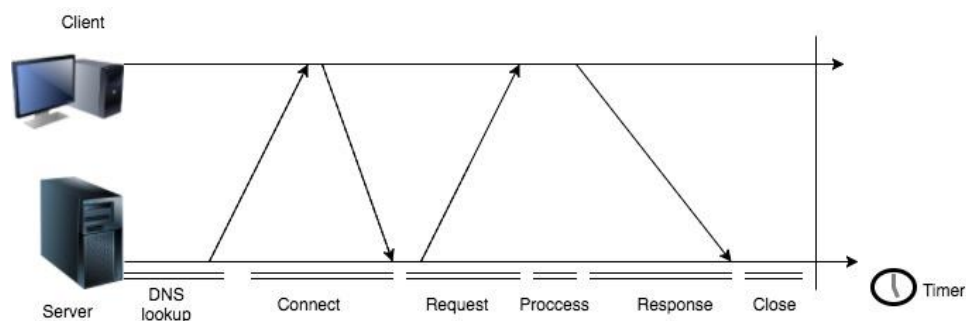
κατάσταση μετάδοσης ενός πακέτου και όλη η διαδικασία του ελέγχου της προσαρμοστικής ροής ξεκινάει πάλι (Aggarwal et al., 2000) [9].

Η διαδικασία αυτή έχει πολλά οφέλη σε σχέση με την παρεχόμενη ποιότητα των υπηρεσιών. Πρώτον, το TCP συμπεριφέρεται προσαρμοστικά και όχι προβλέψιμα. Οι αλγόριθμοι ελέγχου ροής προορίζονται αρχικά για την αύξηση του ρυθμού ροής και της χωρητικότητας του δικτύου, αλλά μπορεί επίσης να μην συμμετέχουν αν η διαθέσιμη χωρητικότητα αλλάζει λόγω αλληλεπίδρασης με άλλα είδη κίνησης. Για παράδειγμα, μια απλή ροή TCP σε ένα αδρανές δίκτυο επιχειρεί να γεμίσει την διαδρομή του δικτύου με δεδομένα, βελτιώνοντας την ταχύτητα ροής εντός της διαθέσιμης χωρητικότητας του δικτύου. Εάν ανοίξει μια δεύτερη ροή TCP κατά μήκος της ίδιας διαδρομής, οι δύο αλγόριθμοι ελέγχου θα αλληλεπιδράσουν έτσι ώστε και οι δύο ροές να σταθεροποιηθούν και να χρησιμοποιηθεί το μισό της διαθέσιμης χωρητικότητας για κάθε ροή.

Στόχος των αλγορίθμων TCP είναι να προσαρμοστούν έτσι ώστε το δίκτυο να χρησιμοποιείται πλήρως όταν υπάρχουν μια ή περισσότερες ροές δεδομένων. Στο σχεδιασμό πάντα υπάρχει δίλημμα μεταξύ της αποτελεσματικότητας του δικτύου και της απόδοσής του. Το TCP παραβλέπει ένα μικρό κομμάτι σε ότι αφορά στην απόδοση και κερδίζει σε μεγάλο βαθμό στην αποτελεσματικότητα.

2.4.1 HTTP συναλλαγές με καθυστέρηση

Το HTTP (Hyper Transfer Transmission Protocol) είναι ένα πρωτόκολλο προσανατολισμένο στις συναλλαγές πελάτη και εξυπηρετητή (διακομιστή) μέσω του προγράμματος περιήγησης του διαδικτύου. Προκειμένου να παρέχεται αξιοπιστία χρησιμοποιεί σαν βάση το TCP, συνεπώς η απόδοση του είναι άμεσα σχετιζόμενη με την απόδοση του TCP (Gourley & Totty, 2002) [10].



Εικ.2.4 Κύρια σύνδεση, μεταφορά και καθυστερήσεις για μια συναλλαγή http.

Από την εικόνα 2.4 παρατηρούμε ότι ο χρόνος επεξεργασίας των συναλλαγών μπορεί να είναι αρκετά μικρός σε σχέση με τον χρόνο που απαιτείται για την δημιουργία των συνδέσεων TCP και της μεταφοράς των μηνυμάτων αίτησης και απάντησης. Εκτός αν ο διακομιστής είναι υπερφορτωμένος ή εκτελεί πολύπλοκες διαδικασίες και καταναλώνει πόρους, οι περισσότερες καθυστερήσεις του http προκαλούνται από καθυστερήσεις στο TCP. Υπάρχουν κάποιοι πιθανοί λόγοι που την δημιουργούν αυτή την καθυστέρηση:

Μελέτη Επίδοσης Διαδικτύου

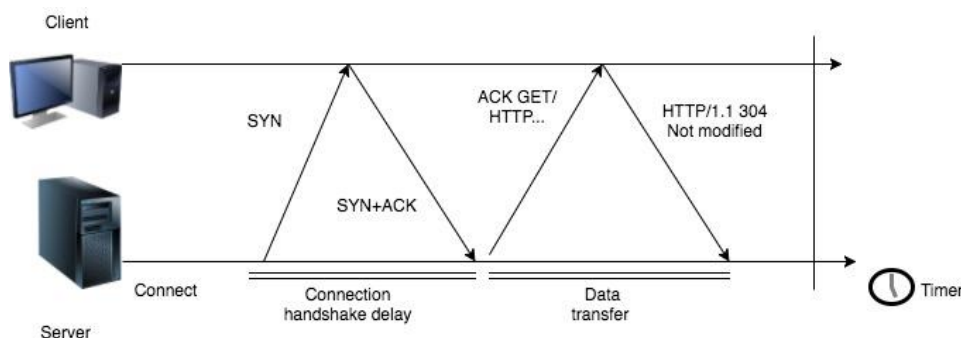
- Ένας πελάτης πρέπει πρώτα να προσδιορίσει τον αριθμό διεύθυνσης IP και τον αριθμό θύρας του διακομιστή. Αν το όνομα host δεν έχει χρησιμοποιηθεί πρόσφατα, χρειάζεται λίγο χρόνο να μετατρέψει το όνομα σε διεύθυνση IP.
- Στην συνέχεια ο πελάτης στέλνει μια αίτηση σύνδεσης TCP στον διακομιστή και περιμένει από τον διακομιστή να στείλει πίσω μια απάντηση αποδοχής της σύνδεσης. Η καθυστέρηση στην ρύθμιση της σύνδεσης είναι φυσιολογικό φαινόμενο και συνήθως διαρκεί ελάχιστα δευτερόλεπτα. Σε περίπτωση που υπάρχουν εκατοντάδες συναλλαγές η καθυστέρηση μπορεί να γίνει μεγάλη.
- Μόλις πραγματοποιηθεί η σύνδεση, ο πελάτης στέλνει την αίτηση http μέσω του TCP. Ο διαδικτυακός διακομιστής διαβάζει το μήνυμα αίτησης από την σύνδεση καθώς τα δεδομένα φτάνουν. Χρειάζεται χρόνος για να ταξιδένει το μήνυμα αίτησης μέσω του διαδικτύου και να υποβληθεί σε επεξεργασία από τον διακομιστή.
- Ο διαδικτυακός διακομιστής στην συνέχεια ετοιμάζει την απάντηση http κάτι που απαιτεί και αυτό χρόνο.

Το μέγεθος αυτών των καθυστερήσεων στο κομμάτι του TCP εξαρτάται από την ταχύτητα του υλικού, το φορτίο του δικτύου και του διακομιστή, το μέγεθος των μηνυμάτων αιτήματος και απάντησης και τέλος την απόσταση μεταξύ πελάτη και διακομιστή.

2.4.2 Συχνές αιτίες μείωσης της απόδοσης

2.4.2.1 Καθυστέρηση λόγω handshake (Handshake delay)

Όταν πραγματοποιείται μια νέα σύνδεση ακόμη και πριν σταλούν τα δεδομένα, γίνονται ανταλλαγές πακέτων IP για να οριστούν οι όροι της σύνδεσης. Αυτές οι ανταλλαγές επηρεάζουν σημαντικά την TCP απόδοση και κυρίως εάν οι συνδέσεις χρησιμοποιούνται για μικρές μεταφορές δεδομένων.



Εικ.2.5 Το TCP απαιτεί μεταφορά δυο πακέτων για να ρυθμιστεί η σύνδεση πριν στείλει δεδομένα

Όπως παρατηρούμε από τη εικόνα 2.5 για τη δημιουργία σύνδεσης ο πελάτης στέλνει αρχικά ένα μικρό πακέτο στο διακομιστή. Το πακέτο έχει μια ειδική ονομασία SYN που ορίζει ότι είναι αίτημα για σύνδεση. Αν ο διακομιστής αποδεχτεί την σύνδεση, στέλνει πίσω ένα πακέτο TCP στον πελάτη με τους προσδιορισμούς SYN και ACK που ορίζουν ότι η σύνδεση έγινε δεκτή. Τέλος, ο πελάτης στέλνει μια επιβεβαίωση στον διακομιστή και ενημερώνει με αυτό τον τρόπο πως η σύνδεση δημιουργήθηκε επιτυχώς. Αυτή η διαδικασία με τις επιβεβαιώσεις (ACK) και τα μηνύματα επιβεβαίωσης της σύνδεσης (SYN), δημιουργεί σημαντική καθυστέρηση, ιδίως όταν ο αριθμός των δεδομένων που ανταλλάσσονται είναι μικρός.

2.4.2.2 Καθυστερημένα μηνύματα επιβεβαίωσης (Delayed ack)

Επειδή το διαδίκτυο από μόνο του δεν εξασφαλίζει την αξιόπιστη παράδοση των πακέτων, το TCP χρησιμοποιεί τα μηνύματα επιβεβαίωσης για να διασφαλίσει την επιτυχή παράδοση. Εάν ο αποστολέας δεν λάβει το μήνυμα επιβεβαίωσης εντός συγκεκριμένου χρόνου καταλήγει στο ότι το πακέτο καταστράφηκε και έτσι ξαναστέλνει τα δεδομένα. Επειδή τα μηνύματα επιβεβαίωσης είναι μικρά προσκολλώνται στα πακέτα δεδομένων που κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση. Με τον συνδυασμό μηνυμάτων επιβεβαίωσης που επιστρέφουν και εξερχόμενων πακέτων δεδομένων, το πρωτόκολλο TCP κάνει την χρήση του δικτύου πιο αποτελεσματική.

Για να αυξηθούν οι πιθανότητες πως τα μηνύματα επιβεβαίωσης θα συντονιστούν και θα προσκολληθούν σε ένα πακέτο δεδομένων, εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος που καθυστερεί την επιβεβαίωση. Με την χρήση αυτού του αλγόριθμου οι εξερχόμενες επιβεβαιώσεις καθυστερούν για περίπου 100-200 ms.

2.4.2.3 Αργή εκκίνηση TCP (Slow start)

Η απόδοση κατά την μεταφορά των δεδομένων εξαρτάται από την διάρκεια της σύνδεσης. Οι δε διάφορες συνδέσεις συντονίζονται με την πάροδο του χρόνου. Αρχικά περιορίζουν την μέγιστη ταχύτητα της σύνδεσης και την αυξάνουν με τον χρόνο καθώς τα δεδομένα μεταδίδονται με επιτυχία. Αυτή η ρύθμιση ονομάζεται αργό ξεκίνημα (slow start) και χρησιμοποιείται για την πρόληψη της ξαφνικής υπερφόρτωσης και της συμφόρησης του διαδικτύου. Με αργή εκκίνηση κάθε φορά που ένα πακέτο παραλαμβάνεται με επιτυχία, ο αποστολέας παίρνει άδεια για να στείλει περισσότερα πακέτα. Αν μια αποστολή έχει αρκετά δεδομένα, δεν στέλνει όλα τα πακέτα σε μία φορά, αλλά στέλνει ένα πακέτο και περιμένει επιβεβαίωση. Μετά την επιβεβαίωση μπορεί να στείλει δυο πακέτα και όταν λάβει και γι' αυτά επιβεβαίωση μπορεί να στείλει τέσσερα πακέτα και ούτω καθεξής, μέσα από αυτή την τεχνική που ονομάζεται άνοιγμα του παράθυρου συμφόρησης (Allman et al., 1998) [11].

2.4.3 Βελτίωση απόδοσης

Λύσεις προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση στην χρήση του πρωτοκόλλου TCP έχουν προταθεί. Οι παρακάτω προτάσεις είναι συνδυασμός τεχνικών που έχουν μελετηθεί σε βάθος και είναι αποδεδειγμένο ότι προσφέρουν βελτίωση στον τομέα της απόδοσης (Huston, 2000) [12].

- Χρησιμοποίηση στοιβάς πρωτοκόλλων TCP

Πολλές από τις παθολογίες που σχετίζονται με την απόδοση και υπάρχουν στο δίκτυο σήμερα δεν είναι απαραίτητα υποπροϊόν της συμφόρησης. Αρκετές από αυτές τις καταστάσεις μειωμένης απόδοσης προκύπτουν λόγω της κακής υλοποίησης των αλγόριθμων ελέγχου ροής στο TCP. Μια σωστή στοιβά πρωτοκόλλων θα μπορούσε να παράγει καλύτερα αποτελέσματα από τα υπάρχοντα, χωρίς να χρειάζεται να προστεθούν δομές εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσίας.

- Ενσωμάτωση μηχανισμού επιλεκτικής επιβεβαίωσης

Η μέθοδος αυτή σε συνδυασμό με την τεχνική επιλεκτικής επανάληψης μετάδοσης, θα βοηθούσε να ξεπεραστούν τα προβλήματα που η παραδοσιακή αρχιτεκτονική του TCP αντιμετωπίζει με την απώλεια πακέτων.

- Χρησιμοποίηση μιας πλατφόρμας που έχει επαρκή χωρητικότητα επεξεργαστή και επάρκεια μνήμης για την κίνηση μέσα στο δίκτυο

Τα δίκτυα υψηλής απόδοσης δεν μπορούν να αντισταθμίσουν ένα σύστημα κεντρικού υπολογιστή που δεν διαθέτει επαρκή ικανότητα για υψηλά φορτία. Αυτό είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται σε μεγάλους και δημόσιους διακομιστές όπου το μέγιστο φορτίο της εφαρμογής στους διακομιστές οδηγεί σε μια κατάσταση εξάντλησης της μνήμης και του επεξεργαστή, παρόλο που το δίκτυο διαθέτει επαρκείς πόρους για την διαχείριση της κυκλοφορίας στο δίκτυο.

Οι παραπάνω ενέργειες έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι μπορούν να αναπτυχθούν μεμονωμένα και Αυτό επιτρέπει στα τελικά συστήματα να αποκτήσουν υψηλότερη απόδοση ακόμη και όταν ο πάροχος του δικτύου δεν προσφέρει εσωτερικούς μηχανισμούς για ποιότητα υπηρεσίας στο δίκτυο.

2.4.3.1 Γρήγορη επαναμετάδοση και γρήγορη ανάκαμψη

Το μεγάλο χρονικό διάστημα από την στιγμή που χάνεται ένα πακέτο TCP μέχρι την στιγμή που λήγει το αντίστοιχο χρονικό περιθώριο επαναμετάδοσης οδηγεί σε πάγωμα και καθυστέρηση της σύνδεσης. Με άλλα λόγια ο αποστολέας, έχοντας αποστείλει όλα τα πακέτα του παραθύρου συμφόρησης (congestion window), περιμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα αδρανής χωρίς να λαμβάνει επιβεβαίωση του χαμένου πακέτου μέχρι να λήξει ο χρονομετρητής αποστολής πακέτων. Εξαιτίας αυτής της περίπτωσης ένας νέος μηχανισμός προστέθηκε στο TCP και ονομάστηκε γρήγορη επαναμετάδοση (fast retransmission). Ο μηχανισμός της γρήγορης επαναμετάδοσης πυροδοτεί την αποστολή ενός χαμένου πακέτου γρηγορότερα από τον χρονομετρητή επαναμετάδοσης και δεν αντικαθιστά τη τυπική λειτουργία λήξης του χρονικού περιθωρίου επαναμετάδοσης, αλλά την ενισχύει (Stevens, 1997) [13]. Η ιδέα της γρήγορης επαναμετάδοσης στηρίχθηκε στην ακόλουθη λογική. Κάθε φορά που ένα πακέτο φτάνει στον παραλήπτη στέλνεται και μια επιβεβαίωση λήψης. Αν παραληφθεί ένα πακέτο εκτός σειράς ο παραλήπτης θα ξαναστείλει την ίδια επιβεβαίωση αφού το επόμενο πακέτο που περιμένει να παραλάβει είναι ίδιο με προηγούμενως. Η δεύτερη αποστολή της ίδιας επιβεβαίωσης ονομάζεται διπλοεπιβεβαίωση (duplicate acknowledge).

Όταν ο αποστολέας παραλάβει μια διπλή επιβεβαίωση γνωρίζει ότι ο παραλήπτης πρέπει να έχει παραλάβει ένα πακέτο εκτός σειράς και πιθανώς αυτό σημαίνει ότι κάποιο πακέτο νωρίτερα έχει χαθεί. Από την στιγμή όμως που υπάρχει το ενδεχόμενο ένα πακέτο που στάλθηκε προηγουμένως απλά να έχει καθυστερήσει γιατί μπορεί να ακολούθησε διαφορετική διαδρομή, ο αποστολέας περιμένει μέχρι να παραλάβει ένα συγκεκριμένο αριθμό, συνήθως τρεις, διπλής επιβεβαίωσης.

Επίσης, η απόδοση του TCP βελτιώνεται με τον μηχανισμό γρήγορης επανάκαμψης (fast recovery) που αξιοποιεί την πρόσφατη εκτίμηση για την διαθέσιμη χωρητικότητα του δικτύου. Όταν ενεργοποιείται ο μηχανισμός της γρήγορης επαναμετάδοσης το πρωτόκολλο TCP γνωρίζει ότι προωθούνται πακέτα στο δίκτυο και δεν συντρέχει λόγος να λάβει κάποια ακραία μέτρα. Ακραία μέτρα θεωρούνται το παράθυρο συμφόρησης στην ελάχιστη τιμή του ενός πακέτου και δεύτερον να εισέλθει σε φάση αργής εκκίνησης (slow start). Αντιθέτως, σύμφωνα με την γρήγορη ανάκαμψη το πρωτόκολλο ορίζει το παράθυρο συμφόρησης στο μισό της τρέχουσας τιμής του παραθύρου και εισέρχεται σε φάση αποφυγής της συμφόρησης με προσθετική αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.

Αναφορές

- [1] Leiner, B. M., Cerf, V. G., Clark, D. D., Kahn, R. E., Kleinrock, L., Lynch, D. C., Wolff, S. (2009). A brief history of the Internet. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(5), 22-31.
- [2] Rexford, J., & Dovrolis, C. (2010). Future Internet architecture: clean-slate versus evolutionary research. *Communications of the ACM*, 53(9), 36-40.
- [3] Martin, O. (2010). "Where is the Internet heading to?." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 219. No. 6. IOP Publishing.
- [4] Day, J. (2007). *Patterns in network architecture: a return to fundamentals*. Pearson Education.
- [5] Kawadia, Vikas, and Panganamala Ramana Kumar. "A cautionary perspective on cross-layer design." *IEEE Wireless Communications* 12.1 (2005): 3-11.
- [6] Postel, J. (1981). "Transmission Control Protocol," RFC 793.
- [7] Stevens, W. R. (1994) *TCP/IP Illustrated, Volume 1*, Addison-Wesley
- [8] Nagle, J. (1984). Congestion control in IP/TCP internetworks. RFC 896.
- [9] Aggarwal, A., Savage, S., & Anderson, T. (2000). Understanding the performance of TCP pacing. In *Proceedings - IEEE INFOCOM*. (Vol. 3, pp. 1157-1165). IEEE.
- [10] Gourley, D., & Totty, B. (2002). *HTTP: the definitive guide*. " O'Reilly Media, Inc."
- [11] Allman, M., Floyd, S., and Partridge, C. (1998). "Increasing TCP's Initial Window," RFC 2414.
- [12] Huston, G. (2000). *Internet performance survival guide: QoS strategies for multiservice networks*. John Wiley & Sons, Inc.
- [13] Stevens, W. R. (1997). TCP slow start, congestion avoidance, fast retransmit, and fast recovery algorithms.

Κεφάλαιο 3 – Ασύρματη επικοινωνία και απόδοση

3.1 Εισαγωγή

Η IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) (www.ieee.org) είναι μια παγκόσμια τεχνολογική και επαγγελματική, μη πολιτική οργάνωση με σκοπό την προώθηση της θεωρίας και των εφαρμογών της επιστήμης του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και του Μηχανικού Υπολογιστών για την εξέλιξη του επαγγέλματος με γνώμονα την κοινωνική προσφορά. Η πλειοψηφία των εργασιών που έχει ανατεθεί στην ομάδα High Efficiency WLAN (HEW) περιλαμβάνει σενάρια υψηλής ρυθμαπόδοσης τα οποία θα επιτευχθούν στο κοντινό μέλλον. Η ομάδα HEW του IEEE αποσκοπεί σε βελτιώσεις και τροποποιήσεις στο φυσικό επίπεδο (Physical - PHY) καθώς και στην δημιουργία ενός υποεπιπέδου ελέγχου πρόσβασης μέσου (Medium Access Control - MAC) με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης των WLAN, εστιάζοντας στην εμπειρία που θα προσφέρεται στον τελικό χρήστη με όρους ρυθμαπόδοσης και ενεργειακής αποδοτικότητας (Omeni et al., 2007) [1].

Από την στιγμή που αποτελεί ουσιαστικά έναν από τους δύο τρόπους σύνδεσης στο διαδίκτυο, η ανάπτυξη της τεχνολογίας που ορίζεται από τα πρότυπα IEEE 802 είναι ήδη διαδεδομένη σε παγκόσμιο επίπεδο και οδηγείται από τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες των δικτύων και της αυξανόμενης χρήσης του διαδικτύου σε όλο τον κόσμο. Το IEEE 802.11 είναι μια οικογένεια προτύπων της IEEE για ασύρματα τοπικά δίκτυα που είχαν ως σκοπό να επεκτείνουν το 802.3, το συνηθέστερο πρωτόκολλο ενσύρματης δικτύωσης, στην ασύρματη περιοχή. Τα πρότυπα αυτά είναι ευρύτερα γνωστά ως WiFi επειδή η WiFi Alliance (www.wi-fi.org), ένας οργανισμός ανεξάρτητος της IEEE, παρέχει πιστοποίηση για τα προϊόντα που εμπίπτουν στις προδιαγραφές του 802.11.

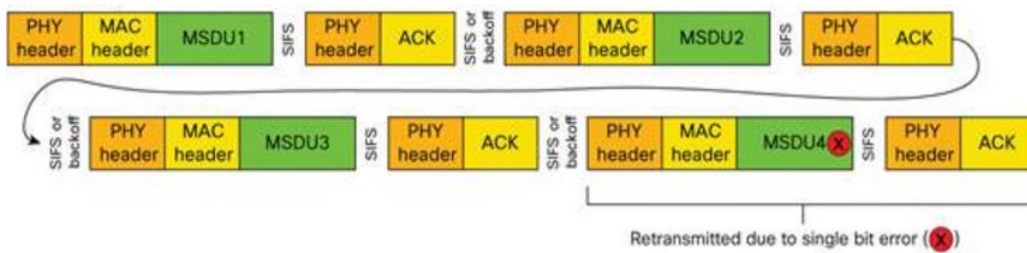
Η επιστημονική κοινότητα θεωρεί ότι οι νέοι τομείς εφαρμογής θα μπορούσαν να αυξήσουν την οικογένεια των προτύπων IEEE 802. Για να διαχειριστούν όλους αυτούς τους τομείς, τα πρότυπα IEEE 802 εξελίσσονται και επεκτείνονται συνεχώς σε όλα τα επίπεδα, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή αύξηση της αποδοτικότητά τους και κατ' επέκταση αύξηση της απόδοσης του διαδικτύου. Παρακάτω εξετάζουμε την υπάρχουσα κατάσταση των ασύρματων προτύπων μέσα από την ανάλυση και την σύγκρισή τους.

3.2 Η υπάρχουσα κατάσταση των προτύπων 802.11n-2009 και 802.11ac-2013

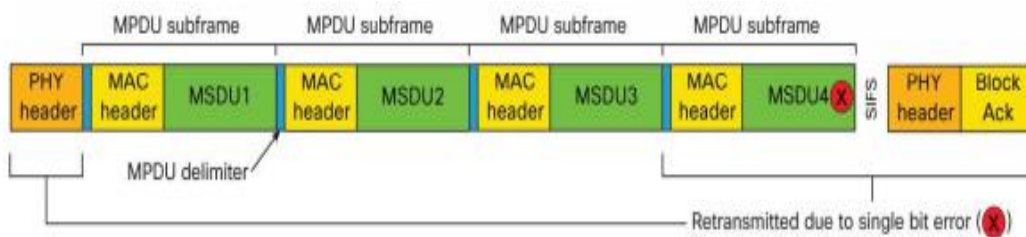
3.2.1 Το πρωτόκολλο 802.11n

Το πρότυπο 802.11n χρησιμοποιείται στην ασύρματη επικοινωνία. Μερικές από τις καινοτομίες του αποτελούν η υποστήριξη κεραιών πολλών εισόδων και πολλών εξόδων, η χρήση μεθοδολογιών συνάθροισης των πακέτων όπως επίσης και άλλες βελτιώσεις που έχουν να κάνουν με θέματα ασφάλειας.

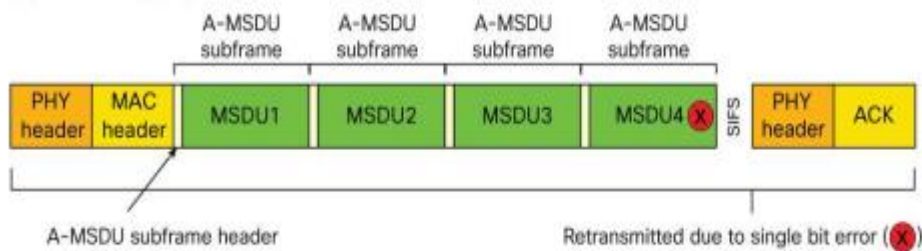
Το συγκεκριμένο πρότυπο εφαρμόζει την τεχνολογία πολλαπλών κεραιών ώστε να μεταδίδει με ακρίβεια τις πληροφορίες συγκριτικά με τη μετάδοση που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μόνο μία κεραία. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι με χρήση χωρικών πολυπλεκτών (Spatial Division-SDM). Οι πολυπλέκτες SDM πολυπλέκουν χωρικά πολλαπλές ανεξάρτητες ροές δεδομένων, οι οποίες μεταφέρονται ταυτόχρονα μέσα από κοινό κανάλι και μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την ρυθμαπόδοση (throughput), καθώς ο αριθμός των ανεξάρτητων ροών δεδομένων αυξάνεται σύμφωνα με τον Van Zelst (2000). [2]



Εικ.3.1 Χωρίς συσσωμάτωση.



Εικ.3.2 Συσσωμάτωση τύπου MPDU.

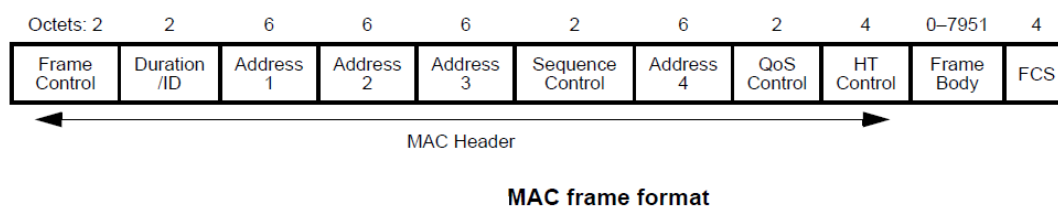


Εικ.3.3 Συσσωμάτωση τύπου MSDU.

Πηγή (http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white_paper_c11-713103.html)

Αν και το 802.11n έχει εισαγάγει σημαντικές βελτιώσεις στο φυσικό επίπεδο μετάδοσης, το ποσοστό αύξησης της ρυθμαπόδοσης δεν μπορεί να αυξηθεί δραματικά, λόγω των επιπλέον αναγκαίων πληροφοριών που χρειάζεται το πρωτόκολλο. Με τις μορφές συσσωμάτωσης που εισήγαγε το πρότυπο 802.11n πραγματοποιήθηκε όμως σημαντική βελτίωση στη ρυθμαπόδοση στο δεύτερο επίπεδο (MAC) και αυτό έγινε με την τεχνική της συνάθροισης των πλαισίων (frame aggregation). Η συνάθροιση πλαισίων είναι μια διαδικασία κατά την οποία πολλαπλά υποπλαίσια MSDUs ή MPDUs ομαδοποιούνται (συναθροίζονται) και αποστέλλονται μαζί για τη μείωση των επιπρόσθετων δεδομένων του 802.11 αυξάνοντας έτσι τη συνολική ρυθμαπόδοση (Kolap et al., 2012) [3]. Μια συνάθροιση MPDU απαιτεί τη χρήση ενός μπλόκ αναγνώρισης (Block Acknowledgement), το οποίο έχει εισαχθεί στο 802.11e και έχει βελτιστοποιηθεί στο 802.11n. όπως υποστηρίζει ο Σκορδούλης (2008) [4]. Έτσι ορίζονται δύο τύποι συνάθροισης, σε επίπεδο υπηρεσίας (MAC Service Data Units–MSDU) και σε επίπεδο πρωτοκόλλου (MAC Protocol Data Units – MPDU).

Η εικόνα 3.1 μας δείχνει την μορφή που υπήρχε στο πρότυπο 802.11a και δεν διέθετε καμία μορφή συσσωμάτωσης. Βλέπουμε πως κάθε πλαίσιο δεδομένων αποστέλλεται ξεχωριστά με διάφορα προθέματα, όπως επικεφαλίδα PHY και MAC ή το πλαίσιο επιβεβαίωσης. Επιπλέον υπάρχουν πολλά κενά μεταξύ των μεταδόσεων γεγονός που κάνει το πρότυπο να υστερεί σε απόδοση. Στην εικόνα 3.2 παρατηρούμε μια νέα μορφή συσσωμάτωσης που εισήγαγε το πρότυπο 802.11n και χαρακτηρίζεται από τα πολλαπλά υποπλαίσια MPDUs με μια μόνο αρχική κοινή για όλα επικεφαλίδα PHY. Στο τέλος του πλαισίου διακρίνουμε το μπλοκ αναγνώρισης (Block Ack) που είναι απαραίτητο κατά την μετάδοση. Τέλος, η εικόνα 3.3 αποτυπώνει τα πολλαπλά υποπλαίσια MSDUs τα οποία αποστέλλονται ενσωματωμένα μέσα σε ένα μόνο MPDU και διαθέτουν επίσης κοινή επικεφαλίδα PHY. Αντίστοιχα και εδώ υπάρχει μια μεταβλητή αναγνώρισης (ACK) στο τέλος του πλαισίου.



Εικ.3.4 Μορφοποίηση MAC πλαισίου

Η εικόνα 3.4 δείχνει την γενική μορφή ενός πλαισίου MAC 802.11 με τα τρία πρώτα πεδία και το τελευταίο να αποτελούν την ελάχιστη μορφοποίηση που είναι παρούσα σε όλα τα πλαίσια. Το πρότυπο IEEE 802.11 των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN) είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση για την ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο που μπορεί να ικανοποιήσει τις περισσότερες σημερινές

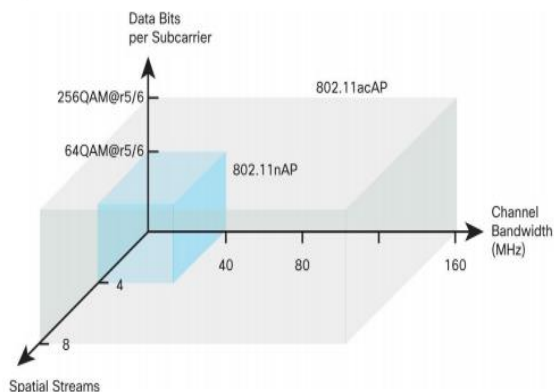
απαιτήσεις της επικοινωνίας στα εγχώρια, δημόσια και επιχειρηματικά σενάρια. Παρόμοια με άλλες ασύρματες τεχνολογίες, τα δίκτυα WLAN έχουν εξελιχθεί με την ενσωμάτωση των τελευταίων τεχνολογικών αναβαθμίσεων στον τομέα και έχουν γίνει αρκετά ώριμα. Bellalta (2015) [5].

3.2.2 Το πρωτόκολλο 802.11 ac

Το πρωτόκολλο 802.11ac είναι το όνομα της τροπολογίας για την προδιαγραφή IEEE 802.11 για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Η ομάδα IEEE task group ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 2008 να εξετάζει τις τεχνικές προτάσεις με σκοπό να συντάξει ένα κείμενο-πρόταση για την τροποποίησή του και αποτέλεσε ένα έργο που ολοκληρώθηκε το Δεκέμβριο του 2013. Αποτελεί το ανερχόμενο πρότυπο από την IEEE και παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι είναι ταχύτερο και με μεγαλύτερη επεκτασιμότητα από την έκδοση του 802.11n (Perahia, 2013) [6]. Συνδέει την ελευθερία σε ένα ασύρματο δίκτυο με τις δυνατότητες του Gigabit Ethernet. Στο ασύρματο LAN το πρωτόκολλο 802.11ac βελτιώνει σημαντικά τον αριθμό των πελατών που υποστηρίζεται από ένα σημείο πρόσβασης, προσφέρει καλύτερη εμπειρία για κάθε πελάτη και αυξάνει την διαθεσιμότητα του εύρους ζώνης για ένα μεγαλύτερο αριθμό από παράλληλες ροές. Ακόμη και όταν το δίκτυο δεν είναι πλήρως φορτωμένο, οι χρήστες επωφελούνται στις λήψεις αρχείων και στο συγχρονισμό του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (email) με ταχύτητες της τάξεως των gigabit. Η αύξηση της ταχύτητας επιτυγχάνεται εστιάζοντας σε τρία διαφορετικά σημεία:

- Περισσότερη συγκόλληση καναλιών (channel bonding), αύξηση από τα 40 MHz με λειτουργία 802.11n έως και τα 80 ή ακόμα και τα 160 MHz (μέγιστη αύξηση 333%).
- Πυκνότερη διαμόρφωση, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση πλάτους τετραγωνισμού 256 (Quadrature Amplitude Modulation -QAM), από 64QAM που ήταν στο πρωτόκολλο 802.11n
- Περισσότερες πολλαπλές εισόδους (multiple input) και εξόδους (multiple output) (MIMO).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το πρωτόκολλο 802.11n σταματούσε σε τέσσερις συνεχόμενες χωρικές ροές, το πρωτόκολλο 802.11ac συνεχίζει έως οκτώ που αυτό σημαίνει 100% αύξηση της ταχύτητας. Τα σήματα που μεταδίδονται από διάφορες κεραιές πολυπλέκονται με την χρήση διαφορετικών χώρων εντός του φασματικού καναλιού το οποίο ορίζουν οι χωρικές ροές. Όπως παρατηρούμε από την εικόνα 3.5 (http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white_paper_c11-713103.html) η ταχύτητα είναι προϊόν τριών βασικών παραγόντων: του εύρους ζώνης του καναλιού, της πυκνότητας σχηματισμού και του αριθμού των χωρικών ρευμάτων.



Εικ.3.5 Βελτίωση του πρωτοκόλλου 802.11ac σε σύγκριση με το πρωτόκολλο 802.11n

Τα πρότυπα 80211n-2009 και IEEE 802.11ac-2013 προς στιγμήν μπορούν και ικανοποιούν τις απαιτήσεις των χρηστών όσον αφορά την ρυθμιαπόδοση, δηλαδή το πόσο γρήγορα μεταδίδεται η πληροφορία στο μέσο. Παρ' όλα αυτά σε λίγα χρόνια δεν θα μπορέσουν να ικανοποιήσουν την ζήτηση, λόγω της μεγάλης αύξησης των σημείων πρόσβασης. Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα συγκριτικά χαρακτηριστικά των δύο προαναφερθέντων προτύπων. Παρατηρούμε πως το 802.11 ac υπερτερεί σε κάποιους βασικούς παράγοντες όπως είναι το εύρος ζώνης του καναλιού και οι χωρικές ροές και επιπλέον αρκετά χαρακτηριστικά του ενός προτύπου υποστηρίζονται και από το 802.11ac όπως οι τεχνικές συσσωμάτωσης.

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλων 802.11n και 802.11ac

Πηγή (<http://www.promiot.com/802-11ac-gigabit-wi-fi>)

| | 802.11n | 802.11ac |
|--|---|---|
| MIMO | Supported | Supported |
| Channel bandwidth | 20 and 40 MHz | 20, 40 and 80 MHz (Mandatory) 160 MHz and 80+80 MHz optional |
| LDPC | Supported (optional) | Supported (optional) |
| STBC | Supported (optional) | Supported (optional) |
| Implicit feedback Transmit beamforming | Supported (optional) | Not supported |
| Explicit feedback Transmit beamforming | Supported (optional) | Supported (optional) |
| Short GI | Supported (optional) | Supported (optional) |
| MU- MIMO | — | Optional |
| Spatial streams | 1 to 4 spatial streams (2 SS mandatory for AP) | 1 to 8 spatial streams (>1 SS optional) |
| Modulation | BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM | BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 256QAM (optional) |
| Unequal Modulation MCS | Supported (optional) | Not supported |
| Frequency | 5 GHz and 2.4 GHz band | 5 GHz band |
| Greenfield preamble | Supported (optional) | Not supported |
| MAC improvements: Reduced inter-frame spacing, | Supported | Not supported |
| MAC improvements: block ACK, aggregation (A-MSDU and A-MPDU) | Supported | Supported |
| Max A-MPDU size | Maximum size 65,535 octets | Maximum size 1,048,575 octets |

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.2 για την μαθηματική προσέγγιση στο φυσικό επίπεδο, η ταχύτητα του 802.11ac υπολογίζεται ως ένα συνολικό γινόμενο του εύρους ζώνης, του αριθμού των χωρικών ροών, του αριθμού δεδομένων ανά υπομεταφορέα και του χρόνου ανά διαμορφωμένο φέρον. Για παράδειγμα, για 80 MHz μετάδοσης στο 256 QAM με τρεις χωρικές ροές (spatial streams) και με ένα σύντομο διάστημα φύλαξης (safeguard): $234 \times 3 \times 5/6 \times 8 \text{ bits}/3.6 \mu\text{s} = 1300 \text{ Mbps}$

Πίνακας 3.2 Υπολογισμός της ταχύτητας 802.11.n και 802.11 ac

Πηγή (http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white_paper_c11-713103.html)

| PHY | Bandwidth (as Number of Data Subcarriers) | x | Number of Spatial Streams | x | Data Bits per Subcarrier | + | Time per OFDM Symbol | = | PHY Data Rate (bps) |
|---------------------|---|---|---------------------------|---|---|---|---|---|---------------------|
| 802.11n or 802.11ac | 56 (20 MHz) | | 1 to 4 | | Up to $5/6 \times \log_2(64) = 5$ | | 3.6 microseconds (short guard interval) | | |
| | 108 (40 MHz) | | | | | | 4 microseconds (long guard interval) | | |
| 802.11ac only | 234 (80 MHz) | | 5 to 8 | | Up to $5/6 \times \log_2(256) \approx 6.67$ | | | | |
| | 2×234 (160 MHz) | | | | | | | | |

Με βάση τον πίνακα 3.2 παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το εύρος ζώνης του καναλιού έως τα 80 MHz, επιτυγχάνονται 2.16 φορές πιο γρήγορες ταχύτητες και στα 160 MHz έχουμε διπλασιασμό της ταχύτητας. Η ταχύτητα είναι ανάλογη με τον αριθμό των χωρικών ροών. Περισσότερες χωρικές ροές απαιτούν περισσότερες κεραιές και συνδέσεις RF από τον πομπό και το δέκτη. Οι κεραιές πρέπει να τοποθετούνται στο ένα τρίτο του μήκος κύματος ή και περισσότερο και οι μεγαλύτερες αλυσίδες RF καταναλώνουν επιπλέον ισχύ (Perahia, 2013) [6]. Με το πρωτόκολλο 802.11n μια συσκευή μπορεί να μεταδώσει πολλαπλές χωρικές ροές ταυτόχρονα, αλλά απευθύνεται μόνο σε μια ενιαία διεύθυνση. Αυτό σημαίνει ότι μόνο μία συσκευή ή ένας χρήστης παίρνει δεδομένα κάθε φορά. Αυτό επιτυγχάνεται με την τεχνολογία single-user MIMO. Με την έλευση όμως του πρωτοκόλλου 802.11ac, μια νέα τεχνολογία εμφανίστηκε που ονομάζεται multiuser MIMO. Σε αυτή την τεχνολογία ένα σημείο πρόσβασης είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει τους πόρους της κεραιά ώστε να διαβιβάσει πολλαπλά καρέ σε διαφορετικούς πελάτες, όλα την ίδια στιγμή και στο ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Η εξέλιξη του διαδικτύου και το περιεχόμενο της ζωντανής μετάδοσης βίντεο υψηλής ανάλυσης (high definition) για παράδειγμα, έχει αυξήσει σημαντικά την ανάγκη για εύρεση μεγαλύτερης ρυθμαπόδοσης.

Γι' αυτό το λόγο, ξεκίνησε η σχεδίαση του προτύπου IEEE 802.11ax-2019 από την ομάδα High-Efficiency WLAN (Bellalta, 2015, p. 14) [5]. Η σχεδίαση πρέπει σε πρώτη φάση να αντιμετωπίσει σενάρια, τα οποία δημιουργήθηκαν από τη συνεχή ανάπτυξη των νέων σημείων πρόσβασης (Access Points) σε νέους τομείς και να παρέχει υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης. Επιπλέον, η σημερινή εξέλιξη του διαδικτύου σε ότι αφορά την χρήση σε πραγματικό χρόνο, καθώς και η ανάγκη ήχου υψηλής ευκρίνειας και περιεχομένου βίντεο θα αυξήσει σημαντικά τις ανάγκες διακίνησης των χρηστών στα επόμενα χρόνια.

Αυτή η νέα τροπολογία θα αναπτύξει νέους τρόπους έλεγχου στο φυσικό επίπεδο (PHY) και αντίστοιχα στο επίπεδο (MAC) με τις βελτιώσεις που θα παρουσιάζει.

3.3 Σενάρια υψηλής χρήσης στο νέο πρότυπο 802.11ax

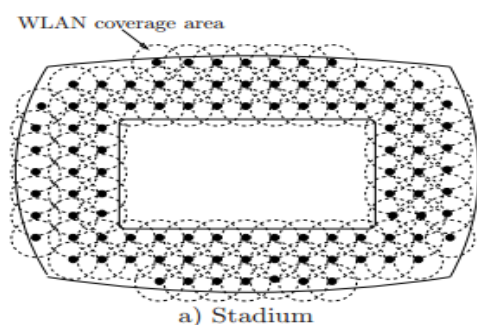
Το κίνητρο που έπαιξε ρόλο για να αναπτυχθεί το νέο πρότυπο IEEE 802.11ax σχετίζεται με τις προβλεπόμενες απαιτήσεις των χρηστών στην δεκαετία 2020-2030. Αυτές οι απαιτήσεις των χρηστών κατά κύριο λόγο σχετίζονται με την λήψη οπτικοακουστικού υλικού υψηλής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο και με διαδραστικό περιεχόμενο σε σενάρια υψηλής χρήσης (density), σε δίκτυα WLAN όπως υποστηρίζει ο Novlan (2009) [7]. Ένα σενάριο υψηλής χρήσης WLAN αναφέρεται στην περίπτωση κατά την οποία υπάρχουν πολλά γειτονικά δίκτυα WLAN, χρησιμοποιώντας επικαλυπτόμενα κανάλια, πολλοί σταθμοί υπό την κάλυψη ενός και μόνο σημείου πρόσβασης, ή και τα δύο. Τρία σενάρια που περιγράφουν την συμπεριφορά και την απόδοση WLAN επόμενης γενιάς σε σχέση με τα υπάρχοντα είναι ένα στάδιο, ένα τρένο ή ένα κτίριο διαμερισμάτων.

Σε αυτά τα σενάρια, οι περισσότερες προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι επιστήμονες σχετίζονται με θέματα παρεμβολών, οι οποίες αυξάνουν το ποσοστό σφάλματος πακέτων και μειώνουν την ρυθμιζόμενη και τον αριθμό των ταυτόχρονων μεταδόσεων σε μια δεδομένη περιοχή. Επιπλέον, η παρουσία πολλών σταθμών βάσης στην ίδια περιοχή αυξάνει κατά πολύ την πιθανότητα δυο ή περισσότεροι σταθμοί να ξεκινήσουν ταυτόχρονα μια μετάδοση, καταλήγοντας έτσι σε σύγκρουση. Για παράδειγμα στο σενάριο του σταδίου εικόνα 3.6 (<https://tinyurl.com/lwbr3nq>) πολλοί άνθρωποι συγκεντρώνονται λόγω ενός αθλητικού γεγονότος. Η παρουσία πολλών ανθρώπων οδηγεί σε μια υψηλή πυκνότητα σταθμών και στην ανάγκη για την ανάπτυξη πολλών σημείων πρόσβασης ώστε να προσφέρουν ικανοποιητική εξυπηρέτηση.

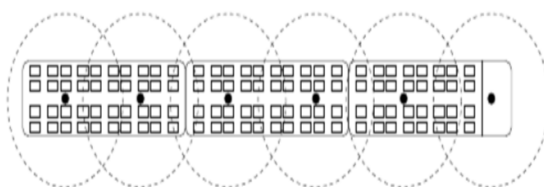
Μια βασική πρόκληση σε αυτά τα σενάρια είναι να αναπτυχθούν, να βελτιστοποιηθούν και να συντονιστούν ένας μεγάλος αριθμός σημείων πρόσβασης και σταθμών. Οι δημόσιες συγκοινωνίες είναι επίσης ένα βασικό σενάριο για τα δίκτυα WLAN επόμενης γενιάς, επειδή τα τρένα, τα λεωφορεία και τα αεροπλάνα θα προσφέρουν ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο όπως φαίνεται από την εικόνα 3.7 (<https://tinyurl.com/lwbr3nq>). Παρατηρούμε πως υπάρχουν 6 διαφορετικά σημεία πρόσβασης ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες όλων των επιβατών και κάθε σημείο πρόσβασης θα πρέπει να εξυπηρετεί συγκεκριμένο αριθμό ατόμων. Σε αυτά τα σενάρια, η χρήση μπορεί να υψηλή, με διάφορους ανθρώπους ανά τετραγωνικό μέτρο και σε αυτή την περίπτωση ένας έξυπνος συντονισμός του σημείου πρόσβασης μπορεί να βοηθήσει τη βελτίωση της χωρικής επαναχρησιμοποίησης. Επιπλέον η χρήση ενός αποτελεσματικού πρωτοκόλλου, ως μέσο πρόσβασης μπορεί να βοηθήσει την υποστήριξη πολλών συσκευών ταυτόχρονα. Στην εικόνα 3.8 (<https://tinyurl.com/lwbr3nq>) παρατηρούμε πως σε μια πολυκατοικία, μπορούμε να βρούμε πολλά αυτόνομα και ετερογενή WLANs, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων WLAN μικρής εμβέλειας που προσφέρουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε μικρούς χώρους. Σε αυτή την περίπτωση, κάθε WLAN είναι κατά κύριο λόγο διαμορφωμένο με τέτοιο τρόπο,

ώστε να λειτουργεί ανεξάρτητα από τα άλλα και η επιλογή του καναλιού, το πλάτος του καναλιού καθώς και η ισχύς μετάδοσης είναι τυχαία ή έχουν προκαθορισμένες τιμές.

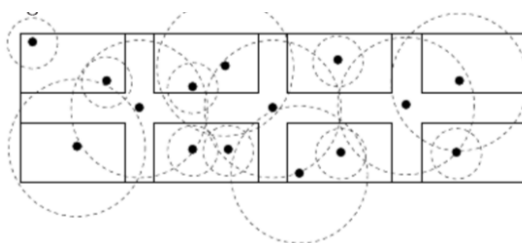
Ως εκ τούτου, αυτόνομα δίκτυα WLAN πρέπει να είναι σε θέση να εφαρμόσουν έξυπνους μηχανισμούς αυτόματης ρύθμισης και αυτόματης προσαρμογής για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών μεταξύ των δικτύων. Τα δίκτυα WLAN πρέπει επίσης να συνυπάρχουν με άλλα ασύρματα δίκτυα, όπως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και τα δίκτυα προσωπικής περιοχής (PAN). Επιπλέον, οι φορείς Long-Term Evolution (LTE) φορείς θεωρούν σήμερα την ανάπτυξη των δικτύων LTE επιτακτική, ανοίγοντας έτσι περαιτέρω προκλήσεις συνύπαρξης με τα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας (Bellalta, 2015, p. 4) [5].



Εικ.3.6 Σενάριο χρήσης σε στάδιο



Εικ.3.7 Σενάριο χρήσης σε Τρένο



Εικ.3.8 Σενάριο χρήσης σε πολυκατοικία

3.4 Προϋποθέσεις για την τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.11ax-2019.

Υπάρχουν τέσσερις βασικές προϋποθέσεις για την τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.11ax-2019. Επειδή τα ασύρματα δίκτυα (WLANs) λειτουργούν ως μη αδειοδοτημένες συσκευές στο εύρος του ISM (Industrial, Scientific και Medicine). Η βελτίωση του προτύπου IEEE 802.11ax-2019 πρέπει να περιλαμβάνει τους απαραίτητους μηχανισμούς ώστε να συνυπάρξει τόσο με τα άλλα ασύρματα δίκτυα όσο και με τις αδειοδοτημένες συσκευές. Ένα δεύτερο σημείο που θεωρείται βασική προϋπόθεση είναι η βελτίωση της απόδοσης τόσο του συστήματος όσο και του χρήστη, η οποία απαιτεί την βελτίωση της διαχείρισης των πόρων του καναλιού. Το πρότυπο 802.11ax-2019 στοχεύει στην αύξηση της απόδοσης κατά τέσσερις φορές σε σύγκριση με το πρότυπο IEEE 802.11ac-2013. Για την επίτευξη αυτού του στόχου μπορεί να χρησιμοποιηθούν κάποιες νέες ασύρματες τεχνολογίες όπως η Dynamic CCA (Circuit Card Assembly), η OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) και προηγμένες τεχνικές πολλαπλών κεραιών.

Ένας από τους στόχους του IEEE 802.11ax-2019 είναι να μην καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από όση κατανάλωναν οι προηγούμενες τροποποιήσεις, δηλαδή τα προηγούμενα πρότυπα. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίτευξη του τετραπλασιασμού της ρυθμαπόδοσης, η οποία απαιτεί τόσο νέες σχεδιάσεις και υλοποιήσεις στην αρχιτεκτονική υλικού χαμηλής ισχύος, όσο και οι νέες υλοποιήσεις χαμηλής ισχύος με βάση αυτά που αναφέρει στο άρθρο του ο Stridhar (2014) [8].

Επειδή τα δίκτυα WLAN θα κληθούν να υλοποιήσουν και να εφαρμόσουν το πρότυπο IEEE 802.11ax-2019 πρέπει να υποστηρίζουν συσκευές που χρησιμοποιούσαν την προηγούμενη υλοποίηση του IEEE 802.11 PHY/MAC. Πρέπει επίσης, να υλοποιηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει συμβατότητα προς τα πίσω, δηλαδή κοινό πλαίσιο επικεφαλίδων και ρυθμού μετάδοσης.

Οι αλλαγές που θα πραγματοποιηθούν και θα εφαρμοστούν στο πρότυπο 802.11ax-2019 περιλαμβάνουν μερικά νέα τεχνικά χαρακτηριστικά που δεν υπάρχουν στο πρότυπο IEEE 802.11ac-2013 (Khoron et al., 2015, p. 5) [9].

Πιο συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- Επαναχρησιμοποίηση της χωρητικότητας (Spatial reuse)
- Προσωρινή αποδοτικότητα (Temporal Efficiency)
- Μοίρασμα του φάσματος (Spectrum Sharing)
- Πολλαπλές κεραιές (Multiple Antennas)

3.4.1 Νέα τεχνικά χαρακτηριστικά προτύπου 802.11ax

Επαναχρησιμοποίηση της χωρητικότητας - Spatial reuse

Σε σενάρια υψηλής χρήσης το κάθε σημείο πρόσβασης μαζί με τους πελάτες (clients) που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό, ονομάζεται Basic Service Set (BSS). Τα διαφορετικά BSS λειτουργούν σε διαφορετικά κανάλια, αλλά καθώς ο αριθμός των καναλιών είναι περιορισμένος είναι επιτακτική η επαναχρησιμοποίησή τους. Εάν η απόσταση επαναχρησιμοποίησης είναι μικρή, τα BSS που λειτουργούν στο ίδιο κανάλι προκαλούν αμοιβαίες παρεμβολές. Προκειμένου να αντιμετωπίσει αυτό το πρόβλημα το πρότυπο 802.11ax χρησιμοποιεί μια τεχνική που ονομάζεται Carrier Sense Multiple Access /Collision Avoidance (CSMA/CA). Σε αυτή την περίπτωση ένας κόμβος ακούει το κοινό κανάλι για να προσδιορίσει αν κάποιος άλλος κόμβος μεταδίδει ή όχι. Αν ακουστεί κάποιος άλλος κόμβος περιμένει για μια χρονική περίοδο, συνήθως τυχαία, προτού ακούσει ξανά και να είναι ελεύθερος να μεταδώσει. Οι παρεμβολές των σημείων πρόσβασης, διαχωρίζουν αποτελεσματικά την συνολική χωρητικότητα του καναλιού και επιτρέπουν έτσι την επαναχρησιμοποίησή του.

Προσωρινή αποδοτικότητα-Temporal efficiency

Αν και η αντίστροφη μέτρηση, οι επικεφαλίδες πακέτων, οι χώροι υπερπλαισίων (interframes), οι συγκρούσεις και οι αναμεταδόσεις αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της πρόσβασης σε ένα κανάλι CSMA/CA, αλλά μειώνουν σημαντικά το χρόνο που ένας κόμβος ξοδεύει κατά τη μετάδοση δεδομένων, κάθε φορά που αποκτά πρόσβαση στο κανάλι. Το νέο πρότυπο IEEE 802.11ax-2019 διαθέτει διάφορες λύσεις για την μείωση αυτών των επιπτώσεων.

- Πακέτα ελέγχου

Ο χρόνος που καταναλώνεται κατά την ανταλλαγή πακέτων ελέγχου μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλο κόστος, επειδή συνήθως μεταδίδονται με χαμηλό ρυθμό. Οι ανταλλαγές πακέτων που πραγματοποιούνται από κοινού μεταξύ ενός σημείου πρόσβασης και των σταθμών βάσης περιλαμβάνει την ανταλλαγή πακέτων RTS / CTS (Request to Send/ Clear to Send) με σκοπό να αποφευχθούν οι κρυφοί κόμβοι.

Επιπλέον ορισμένα από τα νέα τεχνικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται παρακάτω, τα οποία επιτρέπουν να γίνονται πολλές μεταδόσεις, απαιτούν τη συχνή ανταλλαγή πακέτων ελέγχου για να συγχρονιστούν όλοι οι εμπλεκόμενοι χρήστες.

- Αποτελεσματικές μεταδόσεις

Τα σφάλματα των πακέτων αποτελούν επίσης ένα σημαντικό μειονέκτημα στην μετάδοση, επειδή απαιτούν την πλήρη αναμετάδοση του πακέτου δεδομένων. Περαιτέρω εργασίες σχετικά με τη χρήση των πρωτοκόλλων ARQ (Automatic Repeat Request), μπορεί να μειώσουν το χρόνο που δαπανάται κατά την αναμετάδοση. Το πρωτόκολλο ARQ αποτελεί μια μέθοδο ελέγχου των σφαλμάτων σε μία μετάδοση χρησιμοποιώντας μηνύματα επιβεβαίωσης και χρονικά όρια (timeouts). Αυτή η χρήση βέβαια συνεπάγεται κάποια επιπλέον πολυπλοκότητα στο firmware και του πομπού και του δέκτη.

- Ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη

Επιτρέποντας στο σημείο πρόσβασης και στον σταθμό βάσης να μεταδίδουν και να λαμβάνουν ταυτόχρονα, η οποία είναι γνωστή με την ονομασία full-duplex επικοινωνία, η χωρητικότητα του καναλιού μπορεί να διπλασιαστεί σύμφωνα με όσα αναφέρει ο Jung (2010) [10]. Χρησιμοποιώντας το CSMA/CA, ο μόνος τρόπος που μπορεί οι χρήστες να έχουν πλήρη αμφίδρομη επικοινωνία είναι μόνο όταν τελειώνουν την αντίστροφη μέτρηση τους ταυτόχρονα.

Διαφορετικά, το ένα θα ξεκινήσει την εκπομπή πριν από το άλλο, προκαλώντας στο τελευταίο την διακοπή του μέχρι να τελειώσει το πρώτο την μετάδοσή του. Μόνο όταν ο αριθμός των ενεργών σταθμών βάσης είναι μικρός, μπορεί να υπάρξει αμφίδρομη ροή της κυκλοφορίας. Ως εκ τούτου στο νέο πρότυπο IEEE 802.11ax-2019 θα πρέπει να εξεταστούν ειδικοί μηχανισμοί πρόσβασης στο κανάλι.

Μοίρασμα του φάσματος

Σε ένα δίκτυο WLAN η κατακερματισμένη πληρότητα του φάσματος προκαλεί πολλές ελλείψεις και ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των γειτονικών ασυρμάτων δικτύων. Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό το πρότυπο 802.11ax-2019 χρησιμοποιεί την δυναμική συγκόλληση καναλιών (Dynamic channel bonding) και την διαμόρφωση OFDMA που αναλύονται σε παρακάτω ενότητα.

Χρήση πολλαπλών κεραιών

Η χωρική πολυπλεξία με την χρήση πολλαπλών κεραιών θεωρείται μια τεχνολογία κλειδί για την επίτευξη υψηλής απόδοσης στα δίκτυα WLAN. Το πρότυπο 802.11ax-2019 θα συνεχίσει να διατηρεί τις τεχνολογίες SU-MIMO και MU-MIMO που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.11ac.

3.5 Αλλαγές στο Φυσικό επίπεδο

Το πρότυπο 802.11ax εισάγει σημαντικές αλλαγές στο φυσικό επίπεδο του προτύπου 802.11. Ωστόσο διατηρεί προς τα πίσω συμβατότητα με συσκευές 802.11a / b / g / n και / ac, έτσι ώστε ένας 802.11ax σταθμός βάσης να μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει δεδομένα από άλλους σταθμούς βάσης της οικογένειας. Αυτοί οι «κληρονόμοι» θα είναι επίσης σε θέση να κωδικοποιήσουν και να αποκωδικοποιήσουν επικεφαλίδες πακέτων 802.11ax και όχι ολόκληρα πακέτα 802.11ax και αντίστροφα όταν ένας σταθμός βάσης 802.11ax εκπέμπει (Khoron et al., 2016, p. 2) [9].

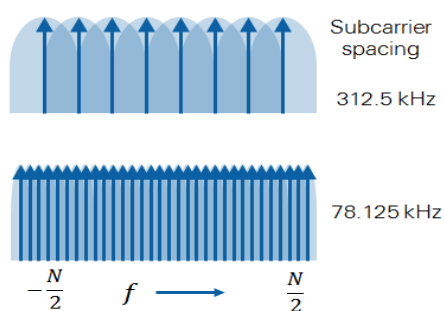
Ο πίνακας 3.3 περιγράφει τις πλέον σημαντικές αλλαγές σε αυτή την αναθεώρηση του προτύπου, σε αντίθεση με την τρέχουσα εφαρμογή 802.11ac :

Πίνακας 3.3 Σύγκριση 802.11 ax και 802.11ac

Πηγή (<http://www.ni.com/white-paper/53150/en/>)

| | 802.11ac | 802.11ax |
|----------------------|--|--|
| BANDS | 5 GHz | 2.4 GHz and 5 GHz |
| CHANNEL BANDWIDTH | 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 80+80 MHz & 160 MHz | 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 80+80 MHz & 160 MHz |
| FFT SIZES | 64, 128, 256, 512 | 256, 512, 1024, 2048 |
| SUBCARRIER SPACING | 312.5 kHz | 78.125 kHz |
| OFDM SYMBOL DURATION | 3.2 us + 0.8/0.4 us CP | 12.8 us + 0.8/1.6/3.2 us CP |
| HIGHEST MODULATION | 256-QAM | 1024-QAM |
| DATA RATES | 433 Mbps (80 MHz, 1 SS) 6933 Mbps (160 MHz, 8 SS) | 600.4 Mbps (80 MHz, 1 SS) 9607.8 Mbps (160 MHz, 8 SS) |

Από τον πίνακα 3.3 γίνεται αντιληπτό ότι το πρότυπο 802.11ax θα λειτουργεί τόσο στα 2.4 GHz όσο και στα 5 GHz. Η προδιαγραφή ορίζει τέσσερις φορές μεγαλύτερο FFT (Fast Fourier Transform) πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των υποφορέων. Ωστόσο μια σημαντική αλλαγή στο πρότυπο 802.11ax είναι η απόσταση του υπομεταφορέα (subcarrier) η οποία έχει μειωθεί στο ένα τέταρτο της απόστασης των προηγούμενων 802.11 προτύπων διατηρώντας το εύρος ζώνης του καναλιού, όπως παρατηρούμε στην εικόνα 3.9 (<http://www.ni.com/white-paper/53150/en/>).



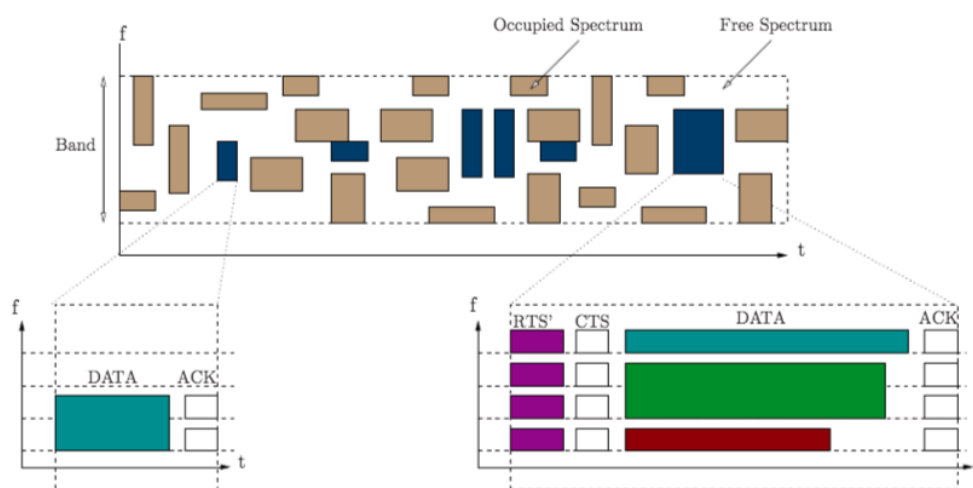
Εικ.3.9 Μικρότερη απόσταση sub-carrier

3.6 802.11ax -2019 και χρήση του OFDMA

Η χρήση του OFDMA προσθέτει μια νέα ευελιξία στη χρήση των πόρων του καναλιού, διαιρώντας το πλάτος του εύρους του καναλιού σε πολλαπλά στενά κανάλια. Στη συνέχεια, αυτά τα στενά κανάλια μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση σε πολλαπλούς χρήστες ταυτόχρονα

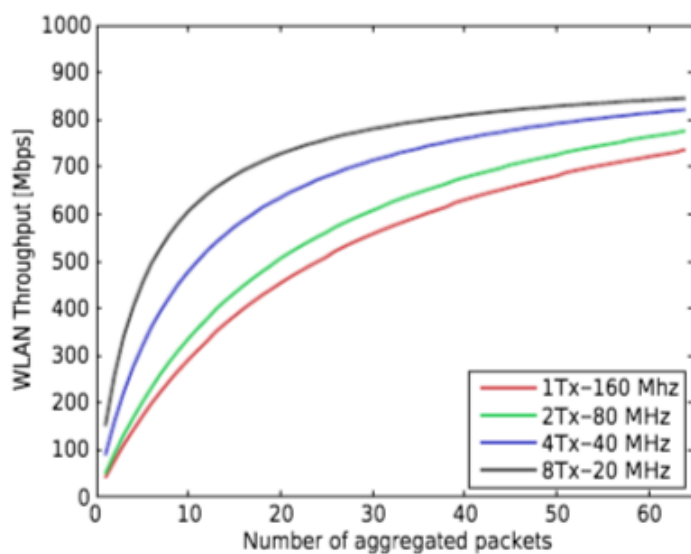
Μια βασική εφαρμογή του OFDMA σε δίκτυα WLAN μπορεί να εξετάσει τη χρήση πολλαπλών ανεξάρτητων καναλιών εύρους 20 MHz. Αυτή η προσέγγιση φαίνεται στην εικόνα 3.11 όπου χρησιμοποιείται η συγκόλληση καναλιών (channel bonding). Το κάθε υποκανάλι των 20 MHz μπορεί να είναι ανεξάρτητο και να κατανέμεται σε διαφορετικό χρήστη. Επιπλέον το OFDMA, μπορεί να επιτρέψει τη χρήση μη συνεχόμενων συγκολλημένων καναλιών και να παρακαμφθεί με αυτό τον τρόπο η απαίτηση να χρησιμοποιούνται μόνο συνεχόμενα κανάλια των 20MHz.

Η Εικόνα 3.10 μας δείχνει ένα παράδειγμα όπου η τεχνική Δυναμικής Συγκόλλησης καναλιών (Dynamic channel Bonding) και η τεχνική OFDMA λειτουργούν συνδυαστικά. Στο πάνω μέρος βλέπουμε ένα στιγμιότυπο της χρήσης του φάσματος για μια ομάδα του γειτονικού δικτύου WLAN. Το κάτω μέρος της εικόνας δείχνει δύο μεταδόσεις, έναν κόμβο WLAN το οποίο μεταδίδει σε έναν μόνο χρήστη μέσω ενός συνδεδεμένου καναλιού (αριστερά) και ένα κόμβο με ένα συνδεδετικό κανάλι και χρήση OFDMA για τη μετάδοση σε τρεις διαφορετικούς χρήστες (δεξιά). Η εικόνα 3.11 μας δείχνει την απόδοση όταν το OFDMA χρησιμοποιείται για να χωρίσει ένα κανάλι 160 MHz σε πολλαπλά υποκανάλια. Παρατηρούμε από το διάγραμμα πως υπάρχει ένας παραλληλισμός των εξόδων, γεγονός που σαφώς βελτιώνει την απόδοση.



Εικ.3.10 Η τεχνική Δυναμικής Συγκόλλησης Καναλιών (Dynamic channel Bonding) και η τεχνική OFDMA.

Πηγή (https://www.researchgate.net/publication/270594067_IEEE_80211ax_High-Efficiency_WLANs)



Εικ.3.11 Ρυθμαπόδοση χρησιμοποιώντας ένα κανάλι πλάτους 160 MHz με OFDMA.

Πηγή (https://www.researchgate.net/publication/270594067_IEEE_80211ax_High-Efficiency_WLANs)

Αναφορές

- [1] Omeni, O., Eljamaly, C. (2007). Energy Efficient Medium Access Protocol for Wireless Medical Body Area Sensor Networks *IEEE Transactions on biomedical circuits and systems* 2.4:251-259.
- [2] Van Zelst A., Van Nee, R., & Awater, G. (2000). Space division multiplexing (SDM) for OFDM systems. In *Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st (Vol. 2, pp. 1070-1074), IEEE.*
- [3] Kolap, J., Krishnan, S., & Shaha, N. (2012). Frame aggregation mechanism for high-throughput 802.11 N WLANs. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 4(3), 141.
- [4] Skordoulis, D., Ni, Q., Chen, H. H., Stephens, A. P., Liu, C., & Jamalipour, A. (2008). IEEE 802.11n MAC frame aggregation mechanisms for next-generation high-throughput WLANs. *IEEE Wireless Communications*, 15(1).
- [5] Bellalta, B. ((2016). "IEEE 802.11 ax: High-efficiency WLANs." *IEEE Wireless Communications* 23.1 :38-46.
- [6] Perahia, E., & Stacey, R. (2013). *Next generation wireless LANs: 802.11n and 802.11ac*. Cambridge University Press.
- [7] Novlan, T., Rele, K., Srikathyayani, S. (2010). Coverage and density study of Wi-Fi in the TV White Spaces
- [8] Khorov E., Kiryanov A., & Lyakhov A. (2015, November). IEEE 802.11 ax: how to build high efficiency WLANs. *Engineering and Telecommunication (EnT), 2015 International Conference* (pp. 14-19). IEEE Moscow.
- [9] Sridhar, R. (2014). Power efficiency: The next challenge for multi-gigabit-per-second Wi-Fi. *Communications Magazine, IEEE*, 52(11), 40–45
- [10] Jung, C. Mayank, J., Srinivasan, K., Levis, P., & Sachin, K. (2010). Achieving single channel, full duplex wireless communication. In *Proceedings of the sixteenth annual international conference on Mobile computing and networking*, (p. 1–12). ACM.

Κεφάλαιο 4 –Απόδοση στο πρωτόκολλο IP

4.1 Εισαγωγή

Το πρωτόκολλο διαδικτύου (Internet Protocol-IP) είναι το πρωτόκολλο του επιπέδου δικτύου (Network Layer) κατά το OSI μοντέλο αναφοράς. Βρίσκεται πάνω από το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (Data Link) καθώς και πάνω από το φυσικό επίπεδο (Physical). Το πρωτόκολλο IP συντέλεσε ώστε να γίνει πραγματικότητα ένα οικουμενικό δίκτυο, πάνω από διάφορες τεχνολογίες και μέσα μεταφοράς. Η διάδοσή του είναι τόσο ευρεία που πλέον θεωρείται το κυρίαρχο. Βέβαια δεν είναι μόνο το πρωτόκολλο IP που το έκανε τόσο επιτυχημένο, αλλά και οι τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν γύρω από το διαδίκτυο.

Η διείσδυση και η διαδεδομένη χρήση των δικτύων IP είναι τόσο έντονη, που ακόμα και τα κλασικά δίκτυα τηλεφωνίας, ραδιοφωνίας και τηλεόρασης συγκλίνουν προς αυτή την κατεύθυνση, ώστε να εκμεταλλευτούν την οικουμενικότητά τους και την ευελιξία τους. Μέσα σε αυτό το κλίμα παρουσιάζονται όλο και νέες εφαρμογές, αλλά και ακόμη περισσότεροι χρήστες. Το IP χρησιμοποιείται πλέον μόνο για την απλή διασύνδεση μεταξύ των υπολογιστών και την απλή μεταφορά των δεδομένων. Σήμερα μπορούμε να πούμε πως μετά τη μεγάλη έξαρση του διαδικτύου, ότι καμιά τεχνολογία δεν δύναται να υπάρξει παρά πάνω από το πρωτόκολλο IP "IP Over Everything" όπως υποστηρίζει στο άρθρο του ο Stuckmann (2009). [1]

Ο πιο σημαντικός παράγοντας για την ευρύτατη επιτυχία και διάδοση του IP είναι η απλότητά του. Η βασική σχεδιαστική του αρχή είναι ότι η πολυπλοκότητα και η ευφυΐα του επικεντρώνεται στα άκρα του δικτύου ειδικά στους τελικούς υποδοχείς (end hosts), αφήνοντας τον κορμό του δικτύου όσο πιο απλό γίνεται. Κατά αυτό τον τρόπο τα στοιχεία του δικτύου στο εσωτερικό του δεν κάνουν τίποτε άλλο εκτός από την δρομολόγηση των πακέτων που λαμβάνουν από άλλα στοιχεία, μέχρι να τα μεταβιβάσουν στον τελικό προορισμό τους. Πιο επεξηγηματικά, ελέγχουν τον προορισμό ενός πακέτου και ανάλογα με τους πίνακες προώθησης που διαθέτουν, τα δρομολογούν καταλλήλως στον επόμενο κόμβο. Αν η ουρά αναμονής για τον επόμενο κόμβο είναι μεγάλη, τότε το πακέτο καθυστερεί, εάν η ουρά αναμονής είναι γεμάτη τότε το πακέτο θα απορριφτεί. Αυτή είναι φιλοσοφία με την οποία λειτουργούν τα σημερινά IP δίκτυα και προσφέρουν τη γνωστή ως υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας (best effort). Σε αυτή την περίπτωση οι δρομολογητές κάνουν ότι είναι δυνατόν να εξυπηρετήσουν την κίνηση χωρίς να δίνουν συγκεκριμένες εγγυήσεις ποιότητας. Μια λύση για τη βελτίωση της best-effort υπηρεσίας θα ήταν η αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης όπου μεγάλο εύρος ζώνης στις ζεύξεις μεταξύ των κόμβων σημαίνει μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ στους δρομολογητές. Το πρόβλημα όμως δεν επιλύεται μόνο με τη διάθεση πλήθους εύρους ζώνης. Αυτό γιατί υπάρχουν διάφοροι τύποι κίνησης IP με πολλαπλές και ποικίλες λειτουργικές απαιτήσεις, που προκύπτουν από τις νέες εφαρμογές IP.

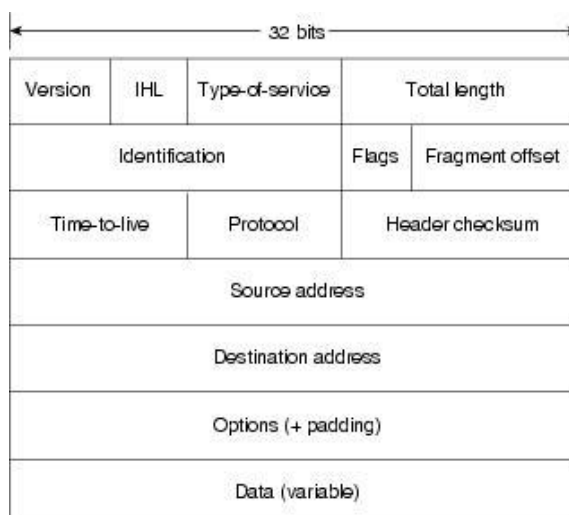
Πολλές εφαρμογές πολυμέσων κυρίως απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης, ενώ άλλες έχουν απαιτήσεις καθυστέρησης και απωλειών. Όλα αυτά βέβαια οδηγούν στο συμπέρασμα ότι απαιτείται μια νέα μορφή υπηρεσιών από το δίκτυο εκτός της best effort. Με τον όρο υπηρεσία σε αυτή την περίπτωση εννοούμε βεβαίως την από άκρη σε άκρη διαχείριση που θα έχει μια ροή πακέτων από το δίκτυο.

4.2 Η εξέλιξη του πρωτοκόλλου Internet Protocol (IP)

Το πρωτόκολλο διαδικτύου (IP) αποτελεί το κύριο πρωτόκολλο επικοινωνίας για τη μετάδοση πακέτων δεδομένων σε ένα δίκτυο. Ο βασικός του ρόλος είναι η δρομολόγηση των πακέτων στην διαδρομή τους που κάνουν μέσα στα δίκτυα. Σε αυτό το πρωτόκολλο στηρίζεται όλη η υποδομή του διαδικτύου. Η μορφή των πακέτων καθορίζεται από το συγκεκριμένο πρωτόκολλο όπως και ο τρόπος που τα πακέτα μεταδίδονται μεταξύ υπολογιστών μέχρι να φτάσουν στον τελικό προορισμό τους.

Τα διάφορα πακέτα προς μετάδοση παίρνουν διευθύνσεις με συγκεκριμένες μεθόδους και ένα πακέτο IP διαθέτει ένα κομμάτι κειμένου και ένα κομμάτι επικεφαλίδας. Η επικεφαλίδα αποτελείται από ένα σταθερό τμήμα μεγέθους 20 bytes και ένα προαιρετικό με μεταβλητό μήκος. Η μετάδοσή του γίνεται από αριστερά προς τα δεξιά με το σημαντικότερο bit του πεδίου "έκδοση" να μεταδίδεται πρώτο. (Thomas, 1999, p. 2) [2]. Το πεδίο "έκδοση" αντιπροσωπεύει την "έκδοση" του πρωτοκόλλου την οποία χρησιμοποιεί το πακέτο.

Η έκδοση IPv4 έχει χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία μέχρι τις μέρες μας αλλά για διάφορους λόγους, που περιγράφονται σε παρακάτω ενότητες, ήταν αναγκαία η δημιουργία μιας άλλης έκδοσης. Η έκδοση αυτή είναι η IPv6 και η μετάβαση σε αυτήν βρίσκεται σε εξέλιξη με βασικό γνώμονα την σταδιακή κατάργηση της IPv4. Σε ό,τι αφορά την ενδιάμεση έκδοση IPv5, αυτή είναι ένα πρωτόκολλο συνεχούς ροής δεδομένων πραγματικού χρόνου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε μικρή κλίμακα και με δοκιμαστικό τρόπο. Οποιαδήποτε συσκευή που θέλει να έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο, είτε αυτή είναι υπολογιστής, κινητό ή router αποκτάει με αυτόματο τρόπο μια διεύθυνση IP η οποία είναι μια αριθμητική ακολουθία μοναδική για κάθε συσκευή στο δίκτυο. Στην εικόνα 4.1 (<http://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/troubleshooting/guide/tr1907.html>) παρουσιάζεται η γενική μορφή ενός αυτοδύναμου πακέτου IP με το μέγεθος της επικεφαλίδας να είναι 32 bit. Το πεδίο έκδοση (version) δείχνει την έκδοση του πρωτοκόλλου την οποία ακολουθεί το αυτοδύναμο πακέτο.



Εικ.4.1 Γενική μορφή μορφή ενός πακέτου IP

4.3 Το Πρωτόκολλο διαδικτύου - IPV4

Το IPV4 παρόλο ότι είναι η τέταρτη έκδοση του πρωτοκόλλου εντούτοις είναι το πρώτο που χρησιμοποιήθηκε ευρέως. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο κάνει χρήση ενός συστήματος 32 bit με αποτέλεσμα να έχει την δυνατότητα να δώσει 4.294.967.296 μοναδικές διευθύνσεις IP. Στην έκδοση πρωτοκόλλου διαδικτύου IPv4 υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές κλάσεις που είναι χωρισμένες στις κατηγορίες A, B, C και D. Το IPv4 χρησιμοποιεί την λεγόμενη μάσκα υποδικτύου διότι ο αριθμός των υπολογιστών και των συσκευών που χρειάζεται να συνδεθούν σήμερα στο διαδίκτυο είναι δισεκατομμύρια σε αριθμό.

Η εικόνα 4.2 (<https://www.examcollection.com/certification-training/ccnp-troubleshoot-ipv4-addressing-and-subnetting.html>) απεικονίζει τις τρεις κυριότερες κλάσεις καθώς και την αντιστοίχιση των διευθύνσεων του δεκαεξαδικού με το δυαδικό σύστημα. Με την αντιστοίχιση αυτή θα μπορούσε κάποιος εύκολα να καθορίσει την κλάση στην οποία ανήκει μια διεύθυνση IP, όπως επίσης και το αναγνωριστικό του δικτύου (net id) και του υποδοχέα (host id). Ένας υπολογιστής αντιθέτως για να καθορίσει το αναγνωριστικό του δικτύου (net id) και το αναγνωριστικό του υποδοχέα (host id) χρειάζεται να κάνει χρήση της μάσκας η οποία είναι μια ακολουθία ενός δυαδικού αριθμού 32 bit. Η χρήση της μάσκας γίνεται με σκοπό να καθοριστεί η δομή κάποιας διεύθυνσης IP. Για το host id χρησιμοποιείται η τιμή 0 και για το net id χρησιμοποιείται η τιμή 1 και γίνεται χρήση του δυαδικού συστήματος. Σε επόμενο βήμα εκτελώντας την λογική πράξη AND, μπορούμε να υπολογίσουμε την τελική διεύθυνση IP. Βέβαια, για έναν άνθρωπο το δυαδικό σύστημα δεν είναι και ό,τι καλύτερο και για αυτό το λόγο κάθε ομάδα των 8 bit (1 byte) μετατρέπεται στον αντίστοιχο δεκαδικό αριθμό (Thomas, 1999, p. 3) [2]. Η εικόνα 4.3 (<https://www.examcollection.com/certification-training/ccnp-troubleshoot-ipv4-addressing-and-subnetting.html>) μας δείχνει τις προκαθορισμένες μάσκες που

χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο IPv4 για κάθε κλάση καθώς και όλες τις κλάσεις που διαθέτει το πρωτόκολλο.

- Class A - 255.0.0.0 - 11111111.00000000.00000000.00000000
- Class B - 255.255.0.0 - 11111111.11111111.00000000.00000000
- Class C - 255.255.255.0 - 11111111.11111111.11111111.00000000

Εικ.4.2 Κλάσεις πρωτοκόλλου IPv4

| Class | # Network Bits | # Hosts Bits | Decimal Address Range | Subnet mask |
|---------|---------------------------|--------------|-----------------------|---------------|
| Class A | 8 bits | 24 bits | 1-126 | 255.0.0.0 |
| Class B | 16 bits | 16 bits | 128-191 | 255.255.0.0 |
| Class C | 24 bits | 8 bits | 192-223 | 255.255.255.0 |
| Class D | Reserved for Multicasting | | 224-239 | N/A |
| Class E | Reserved for R. & D | | 240-255 | N/A |

Εικ.4.3 Προκαθορισμένες μάσκες για κάθε κλάση

4.3.1 Η Δομή ενός πακέτου IPv4

Ένα αυτοδύναμο πακέτο IP, είναι μια ακολουθία από byte που αποτελείται από δύο βασικά στελέχη, την επικεφαλίδα και το κυρίως μέρος. Στην επικεφαλίδα υπάρχει καταχωρημένος ο προορισμός στον οποίο πρέπει να μεταδοθεί το πακέτο και κρίνεται αναγκαίο να τον γνωρίζουν οι δρομολογητές μέσα από τους οποίους θα περάσει αυτό ώστε να φτάσει τελικά στον προορισμό του (Bade, 2012, p. 4) [3]. Στην εικόνα 4.4 (<https://en.wikipedia.org/wiki/IPv4>) παρουσιάζεται η μορφή της επικεφαλίδας ενός πακέτου IPv4.

| Offsets | Octet | 0 | | | | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------|------------------------|---|---|---|----------|---|---|---|-----------------|---|----|----|-----------------|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Octet | Bit | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| 0 | 0 | Version | | | | IHL | | | | DSCP | | | | ECN | | | | Total Length | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 32 | Identification | | | | | | | | Flags | | | | Fragment Offset | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 64 | Time To Live | | | | Protocol | | | | Header Checksum | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 96 | Source IP Address | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 128 | Destination IP Address | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 160 | Options (if IHL > 5) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Εικ.4.4 Η κεφαλίδα ενός πακέτου IPv4

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από την παραπάνω εικόνα, η επικεφαλίδα ενός πακέτου IPv4 αποτελείται από 14 πεδία συνολικά. Τα 13 από αυτά είναι απαραίτητα, ενώ το 14^ο είναι μπορεί να χαρακτηριστεί και σαν προαιρετικό. Κάθε πεδίο έχει ένα προκαθορισμένο μέγεθος.

Version. Το πρώτο πεδίο της επικεφαλίδας σε ένα IP πακέτο είναι το πεδίο της έκδοσης του πρωτοκόλλου, με μήκος 4-bit.

IHL. Το δεύτερο πεδίο, το οποίο έχει και αυτό μέγεθος 4-bits προσδιορίζει το μήκος της επικεφαλίδας (IHL, Internet Header Length). Αυτό μας δίνει το μήκος της επικεφαλίδας σε λέξεις των 32 bit. Επειδή η επικεφαλίδα του IPv4 μπορεί να περιέχει μεταβλητό αριθμό επιλογών, αυτό το πεδίο παρέχει το μήκος της επικεφαλίδας. Η μικρότερη τιμή του πεδίου είναι 5 που σημαίνει ότι το μήκος είναι $5 \times 32 = 160 \text{ bits} = 20 \text{ bytes}$. Επειδή το πεδίο είναι 4 bit, το μέγιστο μήκος είναι $2^4 - 1 = 15$ λέξεις ($15 \times 32 \text{ bits}$) ή $480 \text{ bits} = 60 \text{ bytes}$.

DSCP. Το πεδίο αυτό προσδιορίζει τον τύπο της υπηρεσίας που θα χρησιμοποιηθεί για την δρομολόγηση του πακέτου. Όσο συνεχίζεται η εμφάνιση νέων τεχνολογιών στο διαδίκτυο αυτό το πεδίο αλλάζει και είναι απαραίτητος ο καθορισμός του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων τύπων τεχνολογίας είναι η χρήση της VoIP, η οποία χρησιμοποιείται για συνομιλία μέσα από το διαδίκτυο.

ECN. Το πεδίο αυτό επιτρέπει την χρήση μετάδοσης από άκρη σε άκρη (end-to end) όταν υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο χωρίς να υπάρχει απώλεια πακέτων. Είναι προαιρετικό και χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση που τα τερματικά που επικοινωνούν θέλουν να το χρησιμοποιήσουν. Η χρήση του έχει νόημα όταν υποστηρίζεται κάποιο άλλο υποκείμενο δίκτυο (underlying).

Total Length. Το πεδίο αυτό παίρνει μια ακέραια τιμή (16 bits), ο οποίος καθορίζει το συνολικό αριθμό οκτάδων που περιέχει το αυτοδύναμο πακέτο, όπου περιλαμβάνονται και η κεφαλίδα και τα δεδομένα.

Identification. Το πεδίο αυτό κρίνεται απαραίτητο για να ταυτοποιηθούν τα κομμάτια του αρχικού πακέτου, δηλαδή όταν το αρχικό πακέτο κατακερματίζεται σε πακέτα και στην συνέχεια τα πακέτα αυτά μεταδίδονται προς τον τελικό προορισμό τους. Άρα για να συγκεντρωθούν και να συνθέσουν το αρχικό πακέτο, χρειάζεται ένας μοναδικός αριθμός των 16 bit που χρησιμεύει για ταυτοποίηση.

Flags. Αυτό το πεδίο αποτελείται από 3 bit, αλλά μόνο τα 2 χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν αν το πακέτο είναι ολόκληρο ή αποτελεί μέρος ενός πακέτου που έχει κατακερματιστεί. Η σημασία των τιμών που παίρνει αυτό το πεδίο είναι οι εξής:

Τιμή bit 0: Δεσμευμένο, πρέπει να είναι 0

Τιμή bit 1: Απαγόρευση διάσπασης του αυτοδύναμου πακέτου (DF=Don't Fragment)

Τιμή bit 2: Ένδειξη ύπαρξης περισσότερων κομματιών (MF=More Fragments)

Fragments Offset. Το πεδίο αυτό το οποίο αποτελείται από 13 bit και καθορίζει την σειρά του πακέτου που έχει κατακερματιστεί. Με το Ethernet II, δηλαδή μια από τις εκδοχές της ενσύρματης δικτύωσης, το μέγιστο επιτρεπτό μέγεθος είναι 1500 bytes και το μέγεθος αυτό αποκαλείται MTU (Maximum Transmission Unit).

Time to live. Η τιμή του πεδίου αυτού, η οποία έχει μέγεθος 8 bit, χαρακτηρίζει τον χρόνο ζωής του αυτοδύναμου πακέτου. Σκοπός του είναι να καταστραφεί το πακέτο, όταν μετά από καθορισμένο χρόνο δεν φτάσει στον προορισμό του διότι δεν θα έχει νόημα η συνεχής μετάδοση από δρομολογητή σε δρομολογητή. Μια περίπτωση να συμβεί αυτό, είναι όταν υπάρξει κάποιο σφάλμα στο λογισμικό ή στους δρομολογητές. Για να γίνει η καταστροφή ενός πακέτου, υπάρχει ένας μετρητής, ο οποίος λαμβάνει μια αρχική τιμή, και στην συνέχεια κάθε δρομολογητής μειώνει αυτήν την τιμή κατά 1 μονάδα. Όταν λοιπόν αυτός ο μετρητής φτάσει στο 0 τότε το αυτοδύναμο πακέτο αποβάλλεται.

Protocol. Το πεδίο αυτό καθορίζει το πρωτόκολλο με το οποίο το αυτοδύναμο πακέτο θα μεταδοθεί. Το πρωτόκολλο μετάδοσης συνήθως είναι το UDP ή το TCP, αλλά χρησιμοποιούνται κάποιες φορές και άλλα πρωτόκολλα.

Header Checksum. Το πεδίο αυτό με μέγεθος 16 bit και ελέγχει την ακεραιότητα του αυτοδύναμου πακέτου IP. Για να γίνει αυτό ο αποστολέας του πακέτου υπολογίζει το άθροισμα (συμπλήρωμα ως προς 1) και η τιμή αυτή αποθηκεύεται. Σε επόμενο στάδιο, κάθε φορά που το πακέτο φτάνει σε έναν δρομολογητή ο δρομολογητής υπολογίζει ξανά αυτό το άθροισμα.

Source IP Address. Αυτό το πεδίο περιέχει την διεύθυνση IPv4 του πακέτου του αποστολέα.

Destination IP Address. Αυτό το πεδίο περιέχει την διεύθυνση IPv4 του πακέτου του αποστολέα

IP options. Όταν η τιμή του πεδίου είναι 5, σημαίνει πως το πεδίο δεν χρησιμοποιείται κάτι που συμβαίνει τις περισσότερες φορές, ενώ σε περίπτωση που η τιμή του είναι διαφορετική το πρωτόκολλο IP ορίζει ένα σύνολο από επιλογές IP.

Γενικά, το πρωτόκολλο IPV4 αν και γνώρισε και συνεχίζει να γνωρίζει μεγάλη επιτυχία, δεν θεωρείται αξιόπιστο πρωτόκολλο και ένας βασικός λόγος είναι το γεγονός ότι δεν εγγυάται την παράδοση του αυτοδύναμου πακέτου στον προορισμό του. Με άλλα λόγια, η έκδοση του πρωτοκόλλου IPV4 δεν διαθέτει κατάλληλους μηχανισμούς για σφάλματα και δεν παρέχει λύσεις σε περίπτωση που το δίκτυο αντιμετωπίζει συμφόρηση. (Bade, 2012, p. 2) [3]

4.4 Πρωτόκολλο διαδικτύου έκδοση 6 (Internet Protocol version 6-IPV6)

Το πρωτόκολλο IPV6 είναι η επόμενη γενιά του πρωτοκόλλου διαδικτύου IP. Αναπτύχθηκε με σκοπό να λύσει τις αδυναμίες που παρουσίαζε το πρωτόκολλο IPV4, οι οποίες θα αναφερθούν αναλυτικά σε επόμενη ενότητα. Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η ανωτερότητα του IPV6 σε σχέση με το IPV4, όσον αφορά τον χώρο διευθύνσεων, θα υπάρχουν ακριβώς 2^{128} , ή περίπου $3,403 \times 10^{38}$ μοναδικές διευθύνσεις. Δηλαδή, ο ακριβής αριθμός των IPV6 διευθύνσεων είναι $3,4 \times 10^{38}$ όπως αναφέρει στο άρθρο του ο Bade (2012, p. 2) [3].

Το ξεκίνημά του έγινε το 1992, όταν το Internet Architecture Board (www.iab.org) διερευνήσε την πρόταση του Christian Huitema για το IPng (next generation). Η πρόταση βασιζόταν στο Connectionless Network Protocol (CLNP) και απέτυχε εξαιτίας της εμπορικής αποτυχίας του CLNP. Λίγο αργότερα, το 1992 με 1994 παρουσιάστηκαν κάποιες ιδέες όπως αυτή του TCP και UDP with Bigger Addresses) TUBA, (The Next Internet) TP/IX και (Simple Internet Protocol Plus) SIPP. Το TUBA είναι TCP και UDP πάνω από μεγαλύτερες διευθύνσεις, ενώ το TP/IX συμπεριλαμβάνει και αλλαγές στο TCP. Τελικά υιοθετήθηκε το SIPP αλλά με μερικές αλλαγές και ονομάστηκε IPV6 και όχι IPV5 γιατί το IPV5 ήταν το όνομα ενός πειραματικού πρωτοκόλλου πραγματικού χρόνου (real-time).

4.4.1 Μορφή διεύθυνσης IPV6

Οι διευθύνσεις του πρωτοκόλλου IPV6 είναι σε δεκαεξαδική μορφή και παριστάνονται από οκτάδες χωρισμένες από στήλες (άνω και κάτω τελεία). Το μέγεθος μιας διεύθυνσης IPV6 είναι 128 bits. Ένα παράδειγμα μιας έγκυρης διεύθυνσης IPV6 είναι η παρακάτω :

fe80:0000:0000:0260:0000:97ff:64aa

Για λόγους συντομίας, οι διευθύνσεις μπορούν να απλοποιηθούν με τους εξής δύο τρόπους:

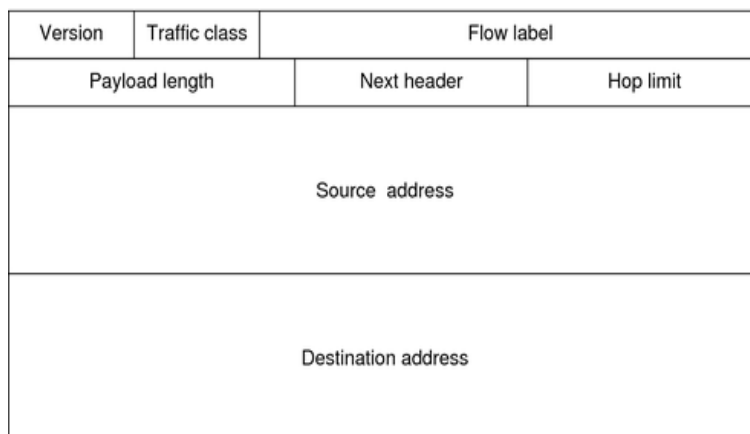
Τα λήγοντα μηδενικά μπορούν να παραληφθούν, οπότε το παράδειγμα της διεύθυνσης παραπάνω μπορεί να γραφτεί ως: fe80:0:0:260:0:97ff:64aa.

Τα συνεχόμενα μηδενικά μπορούν να αντικατασταθούν με διπλή άνω και κάτω τελεία, οπότε μπορεί να γραφτεί ως εξής: fe80::260:0:97ff:64aa.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως η διπλή άνω και κάτω τελεία μπορεί να αντικαταστήσει οποιοδήποτε αριθμό ακολουθίας συνεχόμενων μηδενικών, όμως μια διεύθυνση μπορεί να περιέχει μόνο μια διπλή άνω και κάτω τελεία. Όπως συμβαίνει και στις διευθύνσεις, στην έκδοση IPV4, μερικά bits στα αριστερά χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν την μάσκα. Αυτό το μέρος της διεύθυνσης IPV6 ονομάζεται πρόθεμα. Ένα πρόθεμα παρέχει την ισοδύναμη λειτουργικότητα μιας μάσκας υποδικτύου IPV4 (Albkerat, 2014) [4].

4.4.2 Η δομή ενός πακέτου IPV6

Η δομή ενός πακέτου IPV6 παρουσιάζει αρκετές διαφορές συγκριτικά με την δομή ενός πακέτου της έκδοσης IPV4. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.5 (http://docs.oracle.com/cd/E23823_01/html/816-4554/ipv6-ref-2.html) σε ένα αυτοδύναμο πακέτο IPV6 δεν περιέχονται πλέον τα πεδία της επικεφαλίδας flags, fragment offset και header checksum. Επίσης, το πεδίο Time to live αντικαταστάθηκε από το πεδίο hop limit και το πεδίο Type of Service του IPV4 αντικαταστάθηκε με το πεδίο Traffic class (Davies, 2003, p. 60) [5].



Εικ.4.5 Δομή ενός πακέτου IPv6

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην εικόνα 4.5 η επικεφαλίδα ενός πακέτου IPv6 αποτελείται από 8 πεδία στο σύνολό της. Υπάρχει κάποιες φορές και ένα ένατο (9^ο) πεδίο το οποίο είναι προαιρετικό. Κάθε πεδίο και σε αυτήν την έκδοση έχει προκαθορισμένο μέγεθος.

Version: Το πεδίο αυτό έχει μέγεθος τέσσερα (4) bits και προσδιορίζει την έκδοση του πρωτοκόλλου με την οποία δημιουργήθηκε το πακέτο, δηλαδή έχει την τιμή έξι (6).

Traffic class. Το πεδίο αυτό αποτελείται από μία τιμή 8-bit και χρησιμοποιείται ώστε να διαχειριστεί την κυκλοφορία σαν μέρος του συστήματος ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service).

Flow label. Μία τιμή με μέγεθος 20-bit η οποία προσδιορίζει την ροή των δεδομένων στην οποία ανήκει το πακέτο. Το είδος της ροής αυτομάτως σημαίνει και κάποια διαφορετική μεταχείριση του πακέτου.

Payload length. Το συγκεκριμένο πεδίο αποτελείται από 16 bits και αναφέρεται στο πεδίο των δεδομένων χωρίς όμως την επικεφαλίδα.

Next Header. Αυτό το πεδίο καθορίζει τον τύπο της επικεφαλίδας η οποία ακολουθεί την βασική κεφαλίδα IP. Ο τύπος της επικεφαλίδας μπορεί να είναι προαιρετικά επέκταση της επικεφαλίδας IPv6, ή μία σχετική κεφαλίδα IPv4.

Οι τιμές που μπορεί να πάρει η κεφαλίδα επέκτασης είναι οι εξής:

- 0 (Hop-by-Hop Options Header)
- 43 (IPv6 Routing Header)
- 44 (IPv6 Fragment Header)
- 50 (Encapsulating Security Payload)
- 51 (IPv6 Authentication Header)
- 59 (No Next Header)
- 60 (Destination Options Header).

Hop limit. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αυτό το πεδίο αντικαθιστά το αντίστοιχο πεδίο του IPv6 Time to Live. Το μέγεθος του είναι 8 bits και αρχικά λαμβάνει μία τιμή η οποία στην συνέχεια μειώνεται κατά ένα κάθε φορά που το πακέτο προωθείται σε επόμενο κόμβο. Η βασική διαφορά του με το IPv4 είναι ότι η τιμή στο πεδίο αυτό εκφράζεται με μορφή βημάτων και όχι δευτερολέπτων όπως στο TTL (Time to Live). Αν το όριο των βημάτων γίνει 0 και δεν έχει φτάσει στο προορισμό του το πακέτο, τότε απορρίπτεται.

Source address. Καταλαμβάνει 128 bits και μας δίνει την διεύθυνση του αποστολέα.

Destination address. Καταλαμβάνει 128 bits και μας δίνει την διεύθυνση του παραλήπτη. Σε αυτό το πεδίο μπορεί ορισμένες φορές και να μην υπάρχει κάποια διεύθυνση με την προϋπόθεση ότι υπάρχει επικεφαλίδα δρομολόγησης (Routing Header).

Όσον αφορά τις επικεφαλίδες επέκτασης του IPv6 μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες:

- Hop by hop option header
- Routing header
- Fragment header
- Destination option header
- Authentication header
- Encapsulation security payload
- Mobility header

4.5 Λόγοι μετάβασης στο IPv6

Το ήδη υπάρχον πρωτόκολλο Internet IPv4 αποδείχτηκε ότι είναι ένα σταθερό πρωτόκολλο, που κάλυψε σε πολύ μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις για τις οποίες είχε σχεδιαστεί και κατάφερε να επικρατήσει τελικά στο διαδίκτυο. Εντούτοις, από την δεκαετία του 1990 είχαν αρχίσει να παρουσιάζονται σημαντικά προβλήματα στα οποία το συγκεκριμένο πρωτόκολλο αδυνατούσε να δώσει λύση. Μεγάλες εξελίξεις συντελέστηκαν στον τομέα των δικτυακών επικοινωνιών και νέες εφαρμογές ήρθαν στο προσκήνιο, τις οποίες όμως το IPv4 δεν μπορεί να υποστηρίξει και να εκμεταλλευτεί στον απαιτούμενο βαθμό. Όταν ορίστηκε το IPv6 τα δίκτυα των υπολογιστών ήταν πολύ λιγότερα και με μικρότερες απαιτήσεις. Στη συνέχεια, θα αναφερθούν οι σημαντικότερες απαιτήσεις που κατέστησαν επιτακτική την ανάγκη για ένα νέο πρωτόκολλο δικτύου.

4.5.1 Έλλειψη διευθύνσεων IP

Οι σχεδιαστές όταν δημιουργήθηκε το IPv4 πήραν την απόφαση να χρησιμοποιήσουν 32 bit για μια διεύθυνση IP, επειδή με τα τότε δεδομένα τα ένα εκατομμύριο δίκτυα τα οποία μπορούσε να καλύψει αυτό το πρωτόκολλο σε όλο το διαδίκτυο, τους φαινόταν πολύ μεγάλο νούμερο και δεν θεωρούνταν απαραίτητο. (Hagen, 2006) [6].

Ωστόσο η αύξηση του παγκόσμιου διαδικτύου πραγματοποιείται με εκθετικό ρυθμό με συνέπεια το μέγεθός του να διπλασιάζεται σε λιγότερο από ένα χρόνο. Με το σημερινό ρυθμό αύξησης όλα τα διαθέσιμα προθέματα δικτύων έχουν ήδη αποδοθεί με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η περαιτέρω ανάπτυξη του διαδικτύου. Έτσι το βασικότερο κίνητρο για αυτή την αλλαγή είναι ο περιορισμένος χώρος διευθύνσεων. Χρειάζονται μεγαλύτερες διευθύνσεις έτσι ώστε να λυθεί το πρόβλημα αυτό και να συνεχιστεί η αύξηση του μεγέθους του διαδικτύου.

Το μέγεθος της διεύθυνσης IPv6 είναι 16 bytes (128 bit), το τετραπλάσιο δηλαδή της μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενης IPv4 διεύθυνσης, δηλαδή περίπου 6x10²⁰ διευθύνσεις σε κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της γης. Με αυτό τον τρόπο, ένας χρήστης έχει την δυνατότητα ταυτόχρονα να έχει στην κατοχή του πολλές διευθύνσεις IP δηλαδή σε συσκευές όπως τα smartphones, laptops κτλ.

4.5.2 Δυσκολία διαχείρισης

Το πρόβλημα στην έκδοση 4 του πρωτοκόλλου διαδικτύου δεν είναι μόνο η εξάντληση των διευθύνσεων. Χρειάζονταν και άλλες βελτιώσεις εκτός από αυτό. Ένα άλλο πρόβλημα που αντιμετωπίζει, είναι η δυσκολία στην διαχείρισή του τόσο από την μεριά του χρήστη όσο και από την μεριά του ίδιου του διαχειριστή. Όταν σχεδιάστηκε αυτό το πρωτόκολλο οι διαχειριστές σκόπευαν να καλύψει τις τότε ανάγκες του διαδικτύου χωρίς να τους ενδιαφέρει το πόσο εύκολη ή δύσκολη ήταν η διαχείριση αυτού, έχοντας έτσι ως αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας αλλά και του κόστους (Davies, 2012, p. 41) [5].

Σήμερα όμως, που τα πάντα εξελίσσονται με ταχείς ρυθμούς και η τεχνολογία έχει κάνει μεγάλα βήματα, ο καθένας έχει ως στόχο να βρίσκει τους καλύτερους δυνατούς τρόπους ώστε να κάνει τη ζωή του πιο εύκολη. Έτσι και οι διαχειριστές των πρωτοκόλλων σήμερα προσπαθούν να φτιάχνουν τα πάντα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να απλοποιούν τα πράγματα και για τους ίδιους αλλά και για τους χρήστες, το γεγονός αυτό αποτελεί βασικό γνώμονα πίσω από την δημιουργία όλων των νέων πρωτοκόλλων και τεχνολογιών. Για το πρόβλημα λοιπόν αυτό, είχαν δημιουργηθεί δύο πρωτόκολλα. Αρχικό ήταν το πρωτόκολλο BOOTP (Bootstrap), με το οποίο ένας κόμβος μπορούσε να πάρει σχετικά απλά τα στοιχεία του μέσω ενός εξυπηρετητή BOOTP αλλά η δυσκολία για τον διαχειριστή αυξανόταν κατά πολύ. Εκτός αυτού, όμως με αυτό το πρωτόκολλο αυξανόταν πολύ και το κόστος, αφού απαιτούνταν περισσότερες διευθύνσεις IP καθώς η κάθε διεύθυνση IP έπρεπε να αντιστοιχίζεται με κάθε κόμβο ανεξάρτητα από το αν ήταν συνδεδεμένος στο διαδίκτυο ή όχι. Ένα άλλο πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε στο IPv4 για αυτό το πρόβλημα είναι το DHCP (Dynamic Host Configuration

Protocol), το οποίο αποτελεί εξέλιξη του BOOTP. Με αυτό το πρωτόκολλο ένα μηχάνημα μπορούσε να πάρει αυτόματα μια διεύθυνση.

Επίσης μπορούσε σε κάποιους κόμβους να αποδοθεί χειρωνακτικά μια διεύθυνση IP από τον διαχειριστή. Αυτό όμως περιπλέκει την κατάσταση καθώς θα πρέπει να είναι απαραίτητη η παρουσία ενός εξυπηρετητή DHCP και επίσης, είναι δύσκολο και πολύ χρονοβόρο να ορίζονται λεπτομερώς στον εξυπηρετητή όλα τα στοιχεία των κόμβων του από έναν άνθρωπο (Lemon, 2002) [7].

Με το πρωτόκολλο IPV6 αναβαθμίστηκε και το DHCP. Στο DHCP6 περιλαμβάνονται επιπλέον ρυθμίσεις για την αυτόματη ρύθμιση διεύθυνσης, όπως η ρύθμιση χωρίς διατήρηση κατάστασης (stateless) και η διατήρηση της κατάστασης (statefull), κατά την οποία όλες οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο έχουν ένα κοινό πρόθεμα 64bit. Τα υπόλοιπα 64 bit που απομένουν μέχρι τα 128 που πρέπει να είναι συνολικά συμπληρώνονται αντίστοιχα τα 48 από την διεύθυνση mac των συσκευών και τα υπόλοιπα 16 bit συμπληρώνονται με άσσους. Με αυτόν τον τρόπο δεν χρειάζεται να παίρνει καινούρια διεύθυνση ο ίδιος υπολογιστής που συνδέεται κάθε φορά στο ίδιο δίκτυο. Διατηρεί την αρχική IP διεύθυνση που του δόθηκε και συνδέεται όποτε θέλει με αυτήν (Troan, 2003) [8]. Επίσης, ένα ακόμα στοιχείο που έχει βελτιωθεί στο πρωτόκολλο IPV6 είναι η μέθοδος αριθμοδότησης του δικτύου η οποία έχει γίνει πολύ εύκολη και πολύ πιο απλή σε σύγκριση με πριν. Ο διαχειριστής έχει την δυνατότητα να αλλάξει τις διευθύνσεις όλων των κόμβων που είναι συνδεδεμένοι σε ένα δίκτυο αλλάζοντας μόνο το πρόθεμα του δικτύου στον κεντρικό δρομολογητή.

4.5.3 Υποστήριξη φορητότητας

Όταν αναφερόμαστε στον όρο φορητότητα, εννοούμε την δυνατότητα ενός κόμβου να αλλάζει την διεύθυνση IP του ενώ κινείται (Blanchet, 2006, p. 195) [9]. Πλέον, έχουν δημιουργηθεί εκατοντάδες μικρές φορητές συσκευές όπως laptops, netbooks, tablets, κινητά και πολλές άλλες που υποστηρίζουν τα πρωτόκολλα διαδικτύου οι οποίες απαιτούν σύνδεση σε πολλά και διαφορετικά δίκτυα, που σημαίνει ότι θα πρέπει να αλλάζουν διαρκώς και οι ρυθμίσεις του IP αλλά και να υπάρχει διαρκής ενημέρωση για τις αλλαγές αυτές με τους κόμβους που επικοινωνούν.

Το IPV4 έχει τις υποδομές για να υποστηρίξει την φορητότητα αυτή αλλά υπάρχουν επίσης και πολλοί λόγοι που το περιορίζουν. Κάποιοι από αυτούς είναι ο περιορισμένος αριθμός IP διευθύνσεων καθώς οι φορητές συσκευές είναι πολύ περισσότερες από τις διευθύνσεις IPV4 που απομένουν και καθιστά αδύνατη την αντιστοίχιση της κάθε φορητής συσκευής με μία IPV4 διεύθυνση. Ένας άλλος λόγος είναι η έλλειψη ασφάλειας καθώς και η μεγάλη φόρτωση του δικτύου διότι σε κάθε συσκευή θα πρέπει να αντιστοιχεί και διαφορετική διεύθυνση. Έτσι με την είσοδο του IPV6 δημιουργήθηκε και η εφαρμογή Mobile IPV6 στην οποία είναι ενσωματωμένη η Mobile IPV4 με πολλές βελτιώσεις βέβαια με σκοπό να καλύψει τις υπάρχουσες ανάγκες.

Η Mobile IP είναι μια εφαρμογή που δίνει την δυνατότητα σε μια συσκευή να αλλάξει το σημείο μέσω του οποίου συνδέεται στο internet. Όταν ένα κινητός κόμβος (Mobile Node) βρίσκεται σε διαφορετικό δίκτυο παίρνει μια τοπική διεύθυνση ενδιαφέροντος (Care-of Address). Έπειτα, ο κινητός κόμβος στέλνει την CoA στο τοπικό δίκτυο (home agent) του νέου δικτύου προκειμένου αυτός να την δεσμεύσει ώστε να μην δοθεί αυτή η διεύθυνση κάπου αλλού προσωρινά. Μόλις ολοκληρωθεί η δέσμευση ο Home Agent προωθεί πακέτα στον κινητό κόμβο μέσω ενός τούνελ στην διεύθυνση CoA που έχει δηλώσει. Καθώς ο κινητός κόμβος κινείται μεταξύ διαφορετικών δικτύων στέλνει ενημερώσεις δέσμευσης (binding updates) με την CoA. Για να εξαλειφθούν προβλήματα δρομολόγησης το IPV6 έχει ενσωματωμένα συστήματα ασφαλείας τα οποία εξακριβώνουν ποιος είναι ο κινητός κόμβος και με ποια διεύθυνση επικοινωνεί. Ο κινητός κόμβος μπορεί να ειδοποιεί και οποιονδήποτε άλλο κόμβο του στέλνει πακέτα, έτσι ώστε να του τα στέλνει στην προσωρινή και όχι στην οικεία (home) διεύθυνση (Blanchet, 2006, p. 197) [9].

4.6 Αύξηση επιδόσεων

Εκτός από τις διάφορες βελτιώσεις που παρατηρούμε στο νέο πρωτόκολλο συναντάμε και βελτίωση σε ένα πολύ σημαντικό παράγοντα που καθορίζει το διαδίκτυο, την επίδοση. Η επίδοση αυξήθηκε κατά πολύ στο νέο πρωτόκολλο καθώς διατηρήθηκαν τα θετικά στοιχεία από το IPV4, άλλα με μικρές αλλαγές και βελτιώσεις, τα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά αφαιρέθηκαν και προστέθηκαν νέα και καλύτερα. Μερικά από τα πιο σημαντικά είναι:

- Το σταθερό μήκος επικεφαλίδας που κάνει την διαχείριση ευκολότερη και μειώνει την πολυπλοκότητα.

- Στη δρομολόγηση το πακέτο δεν χρειάζεται να διασπάται σε μικρότερα κομμάτια και αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε ανασυγκρότηση πακέτων γίνεται σε κάποιο τελικό σημείο. Έτσι ο δρομολογητής είναι ελεύθερος να χρησιμοποιεί αυτούς τους επιπλέον κύκλους CPU για να μεταφέρει πακέτα πιο γρήγορα μέσω του δικτύου.

- στο IPV4 όταν μια συσκευή ήθελε να επεξεργαστεί ένα μήνυμα έπρεπε να διακοπούν όλες οι συσκευές που ήταν συνδεδεμένες εκείνη την στιγμή, ενώ στο IPV6 λόγω του μηχανισμού Multicast διακόπτονται μόνο αυτές που θέλουν να κάνουν την επεξεργασία και οι άλλες παραμένουν συνδεδεμένες.

4.6.1 Ασφάλεια

Ο αρχικός σκοπός για την σχεδίαση του IPV4 ήταν η επικοινωνία μεταξύ των ακαδημαϊκών ιδρυμάτων για αυτό δεν φάνηκε απαραίτητο στην αρχή στους σχεδιαστές να περιλάβουν τον τομέα της ασφάλειας στο σχεδιασμό του πρωτοκόλλου. Στην συνέχεια, όμως που άρχισε να επεκτείνεται η χρήση του και να χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς, όπως είναι οι επιχειρήσεις, οι οργανισμοί και το εμπόριο, η ασφάλεια έγινε βασικός παράγοντας.

Έγιναν πολλές προσπάθειες και τροποποιήσεις ώστε να εξασφαλισθεί η ασφάλεια των δεδομένων στο διαδίκτυο ώσπου στο τέλος δημιουργήθηκε το πρωτόκολλο IP Security (Ipsec). Το πρωτόκολλο Ipsec το οποίο εφαρμόζεται στο επίπεδο δικτύου 3, χρησιμοποιείται για την ασφαλή μετάδοση δεδομένων μεταξύ υπολογιστών. Το πρωταρχικό όφελος της διασφάλισης των πληροφοριών στο επίπεδο 3 είναι ότι όλα τα προγράμματα και οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IP για μεταφορά δεδομένων μπορεί να προστατευτούν κι έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος αυτά τα δεδομένα να τροποποιηθούν ή να αλλοιωθούν κατά την μεταφορά τους.

Η βασική λειτουργία του είναι να κρυπτογραφεί τα δεδομένα. Η χρήση του διαφέρει από το πρωτόκολλο IPV4 στο IPV6 και αυτό γιατί στο IPV4 η υποστήριξη ασφάλειας είναι προαιρετική και έτσι η υποστήριξη του πρωτοκόλλου Ipsec είναι ένα επιπλέον στοιχείο άρα χρησιμοποιείται το πεδίο IP Options πράγμα που αυξάνει την πολυπλοκότητα. Επίσης, ένα άλλο πρόβλημα στο IPV4 είναι ότι η χρήση του NAT διακόπτει την λειτουργία που λέγεται end to end επικοινωνία του Ipsec, πράγμα που είναι απαραίτητο για να είναι πλήρως αποδοτικό. Αυτό γίνεται γιατί με την μετάφραση που κάνει ο NAT η αρχική IP διεύθυνση αλλάζει και δεν είναι η ίδια με την τελική και έτσι η IPsec δεν μπορεί να ανταπεξέλθει. Στο IPV6 τέτοιου είδους προβλήματα δεν υπάρχουν καθώς η υποστήριξη της ασφάλειας είναι ενσωματωμένη στο πρωτόκολλο. Ακόμα οι μηχανισμοί ασφαλείας που χρησιμοποιεί το IPV6 μπορεί να χρησιμοποιηθούν και από άλλους μηχανισμούς ενώ στο IPV4 για κάποια αλλαγή, όπως μια επέκταση ή μια τροποποίηση, πρέπει ο μηχανισμός να εξασφαλίζει μηχανισμούς ασφαλείας (Caicedo, 2009) [10]. Ένα άλλο θέμα όσον αφορά την ασφάλεια και ένας τομέας που το IPV6 κρίνεται καλύτερο είναι οι ιοί και συγκεκριμένα οι ιοί σκουλήκια (worm), δηλαδή κακόβουλα προγράμματα που προκαλούν πολλές βλάβες στους υπολογιστές καθώς και στα δεδομένα αυτών, επιβραδύνουν την ταχύτητα των υπολογιστών και τους χρησιμοποιούν για δικούς τους σκοπούς όπως για παράδειγμα να μεταδώσουν τον ιό σε άλλο υπολογιστή. Στο IPV4 οι συσκευές σε ένα υποδίκτυο μπορούσαν να έχουν το πολύ 16 bit και έτσι ήταν πολύ εύκολο για έναν ιό να σαρώσει όλες τις συσκευές του υποδικτύου σε πολύ λίγο χρόνο. Αντιθέτως στο IPV6 η διεύθυνση υποδικτύου είναι 64 bit και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η συγκεκριμένη επίθεση καθώς είναι σαν να πρέπει να σαρώσει δύο φορές όλο το διαδίκτυο IPV4 (Nakajima, 2004) [11].

4.6.2 Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service (QoS))

Ένας βασικός τομέας που χρειαζόταν αναβάθμιση στο IPV4 ήταν αυτός της ποιότητας των υπηρεσιών (Quality of Service ή QoS) γιατί υπήρχαν αρκετά προβλήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν. Το IPV4 μπορούσε να υποστηρίξει μηχανισμούς QoS στο επίπεδο δικτύου χρησιμοποιώντας το πεδίο type of service που βρίσκεται στην επικεφαλίδα του, το οποίο φανερώνει ποιο είδος υπηρεσίας απαιτεί η κάθε εφαρμογή, γεγονός όμως που δυσκόλευε το έργο των διαχειριστών του πρωτοκόλλου αλλά και των κατασκευαστών των εφαρμογών καθώς ο κάθε δρομολογητής έπρεπε να ξέρει λεπτομέρειες για τον αριθμό των μονοπατιών που έπρεπε να ακολουθήσει το πακέτο ώστε να φτάσει στον προορισμό του, έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης.

Επιπλέον στο IPV4 αν κάποιος δρομολογητής ήθελε να ενημερωθεί για μια ροή τότε έπρεπε να κάνει αναγνώριση και ταυτόχρονα ανάλυση των κόμβων που εμπλέκονταν στην επικοινωνία καθώς επίσης και να ακολουθήσει την ίδια διαδικασία και για τη θύρα στην επικεφαλίδα του πρωτοκόλλου μεταφοράς. Με όλη αυτή την επεξεργασία που έπρεπε να κάνουν οι δρομολογητές αυξανόταν το φορτίο και κατά συνέπεια το κόστος που με την σειρά του είχε ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της ποιότητας της υπηρεσίας.

Το IPV6 σχεδιάστηκε για να αντιμετωπίσει αυτά τα προβλήματα με όσο τον δυνατόν πιο αποτελεσματικό τρόπο. Δυο νέα πεδία εισήχθησαν για αυτό το σκοπό στην επικεφαλίδα του, τα οποία είναι τα Traffic class και Flow label (ετικέτα ροής), και κρίνονται απαραίτητα για την υποστήριξη μηχανισμών και υπηρεσιών με συγκεκριμένες απαιτήσεις ποιότητας. Στην ετικέτα ροής βρίσκονται όλα τα στοιχεία που χρειάζεται ένας δρομολογητής προκειμένου να δρομολογήσει ένα πακέτο στον προορισμό του και έτσι δε χρειάζεται να ψάχνει τα άλλα πεδία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη απόδοση σε σύντομο χρόνο με λιγότερο κόστος (Blanchet, 2006, p. 256) [9].

Ένας άλλος λόγος που καθιστά απαραίτητη και αποδοτική την QoS είναι η συνεχής αύξηση νέων δικτυακών εφαρμογών πολυμέσων. Οι εφαρμογές αυτές κατά κύριο λόγο περιλαμβάνουν εικόνα και ήχο καθώς και αλληλεπίδραση μεταξύ των συμμετεχόντων, πράγμα που απαιτεί επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος των πληροφοριών είναι πολύ μεγάλος και για να διατηρείται η ροή αυτών των πληροφοριών μέσω του ίντερνετ χωρίς διακοπές, το IP πρέπει να αποφεύγει την συχνή αλλαγή δρομολογίων και πρέπει να διατηρεί ένα σταθερό ρυθμό bit, σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της μετάδοσης (AmenrNizar, 2012) [12].

Επίσης η ποιότητα του αποτελέσματος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την καθυστέρηση που μπορεί να υπάρξει κατά την μεταφορά της πληροφορίας. Αυτοί είναι οι δύο λόγοι οι οποίοι δυσκολεύουν τη χρήση των εφαρμογών αυτών από το IPV4 και το οποίο δεν έχει σχεδιαστεί εξ αρχής για μεταφορά πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Έτσι το IPV6 σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυτές τις ανάγκες δημιουργώντας ειδικούς μηχανισμούς για αυτό το σκοπό.

Αναφορές

- [1] Stuckmann, P., & Zimmermann, R. (2009). European research on future Internet design. *IEEE Wireless Communications*, 16(5).
- [2] Thomas, G. (1999). Introduction to the Internet Protocol, published in www.ccontrols.com, volume 1, issue 4
- [3] Bade, M. G., & Vanduhe, V. Z. (2012). IPv6 vs IPv4. Retrieved from http://www.academia.edu/5422961/IPv6_Vs_IPv4
- [4] Albkerat, A., & Issac, B. (2014). Analysis of IPv6 transition technologies. arXiv preprint arXiv:1410.2013.
- [5] Davies, J. (2012). Understanding IPv6 3rd Edition. Retrieved from <https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780735659148/samplepages/9780735659148.pdf>
- [6] Hagen, S. (2006). IPv6 Essentials” 2nd Edition, O’Reilly Media
- [7] Lemon, T. (2002). The classless static route option for Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) version 4. Nominum Inc, Stuart Cheshire, Apple Computer Inc. Retrieved from <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-dhc-csr-07>.
- [8] Troan, O., & Droms, R. (2003). IPv6 prefix options for dynamic host configuration protocol (DHCP) version 6 (No. RFC3633).
- [9] Blanchet, M. (2006). Migrating to IPv6 A practical guide to implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks, Quebec Canada, John Willey and Sons, Ltd.
- [10] Caicedo, C. E., Joshi, J. B., & Tuladhar, S. R. (2009). IPv6 security challenges. *Computer*, 42(2), 36-42.
- [11] Nakajima, M., Kobayashi, K. (2004). IPv4/IPv6 translation technology. *FUJITSU Sci. Tech. J*, 40(1), 159-169.
- [12] AmerNizar, A. A. (2012). Comparison study between IPV4 & IPV6. Philadelphia University, Jordan, CIS department. *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 9.

Κεφάλαιο 5 -Απόδοση διαδικτύου

5.1 Εισαγωγή

Με τη ραγδαία και συνεχόμενη ανάπτυξη καθώς και την δημοτικότητα του διαδικτύου, έχουν έρθει στο προσκήνιο ζητήματα που σχετίζονται με την απόδοσή του και ως συνέπεια αυτής και με την ποιότητα της παροχής υπηρεσιών που αυτό προσφέρει προς τους χρήστες. Υπάρχουν συγκεκριμένοι παράγοντες που καθορίζουν την απόδοση και η επιστημονική κοινότητα έχει αναπτύξει διάφορες τεχνικές προκειμένου να καταφέρει μέσα από τις μετρήσεις και την ανάλυση αυτών των μετρήσεων να βελτιώσει την ποιότητα υπηρεσιών των πάροχων προς τους χρήστες. Στην κατεύθυνση αυτή, συντελούν σε μεγάλο βαθμό τα διάφορα πρωτόκολλα και οι αρχιτεκτονικές που έχουν αναπτυχθεί και εξελίσσονται έτσι ώστε να εξυπηρετήσουν τις απαιτητικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο.

5.2 Απόδοση διαδικτύου και ταχύτητα

Η απόδοση στο διαδίκτυο μπορεί να περιγραφεί με διαφορετικούς παράγοντες και να αναλυθεί χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές. Υπάρχει μια ποικιλία από παράγοντες που μπορεί να μετρηθούν και να προσδιορίσουν τον όρο αυτό. Μπορούμε να πούμε σε μια γενική περιγραφή πως απόδοση διαδικτύου είναι η καθυστέρηση που γίνεται αντιληπτή από τον χρήστη, κατά την επίσκεψή του σε κάποια ιστοσελίδα, μεταξύ μιας ενέργειας και της ανταπόκρισης αυτής της ενέργειας (Killelea, 2002) [1]. Η φυσική πρόσβαση στην ευρυζωνικότητα είναι προφανώς το σημαντικότερο κομμάτι από την πρόσβαση στο διαδίκτυο. Ωστόσο η ευρυζωνικότητα παρέχεται μέσω διαφορετικών τεχνολογιών και ο τύπος της τεχνολογίας καθορίζει το φάσμα των ταχυτήτων που παρέχονται στον εκάστοτε χρήστη. Πολλοί άλλοι παράγοντες καθορίζουν την ταχύτητα της σύνδεσης. Το πιο σημαντικό είναι το πόσο γρήγορα μπορεί κανείς να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες, να κατεβάσει αρχεία ή να χρησιμοποιήσει κάποιες διαδικτυακές εφαρμογές.

Η ταχύτητα συνεπώς είναι ένας βασικός παράγοντας που καθορίζει κατά πολύ την απόδοση του διαδικτύου και θα μπορούσαμε να πούμε ότι σχετίζεται άμεσα και ισούται με τον όρο ποιότητα. Υπάρχουν δυο διαφορετικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον προσδιορισμό και την μέτρηση της ταχύτητας. Ο πρώτος είναι το εύρος ζώνης το οποίο αναφέρεται στο μέγεθος του αγωγού μέσα στον οποίο κινούνται τα δεδομένα και ο δεύτερος όρος αναφέρεται στον ρυθμό με τον οποίο κινούνται τα δεδομένα. Έτσι με βάση την περιγραφή αυτή γίνεται αντιληπτό ότι ένα μεγάλο εύρος ζώνης επιτρέπει την κυκλοφορία περισσότερων δεδομένων, γεγονός που θα αυξήσει κατά συνέπεια τον ρυθμό με τον οποίο αυτά κινούνται. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει πως η ταχύτητα μιας ευρυζωνικής σύνδεσης θα είναι ίδια με το εύρος ζώνης που παρέχεται.

Στο πλαίσιο αυτό, οι διάφοροι πάροχοι ευρυζωνικών συνδέσεων διαφημίζουν και χρησιμοποιούν διαφορετικές ταχύτητες επειδή δεν μπορούν να κάνουν ακριβή εκτίμηση. Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί συγκεκριμένα η ταχύτητα μιας σύνδεσης και οι πάροχοι γνωρίζουν ότι μπορούν να παράσχουν ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης για να χειριστούν συγκεκριμένα ποσά δεδομένων. Δεν μπορούν να γνωρίζουν όμως επακριβώς πότε αυτά τα δεδομένα θα ταξιδέψουν ή πότε θα υπάρξουν συγκεκριμένες απαιτήσεις στο διαδίκτυο. Έτσι, αντί να υπόσχονται ταχύτητες που θα ήταν αδύνατο να διατηρήσουν συνεχώς, προσφέρουν ταχύτητες που κυμαίνονται μέσα σε συγκεκριμένες κλίμακες.

Μέσα από την προσέγγιση του όρου ταχύτητα προκύπτουν οι δύο πυλώνες που την συγκροτούν και αυτοί είναι η ταχύτητα λήψης δεδομένων (download speed) και η ταχύτητα ανάρτησης δεδομένων (upload speed). Στην ουσία δεν υπάρχει διαφορά ουσιαστική μεταξύ των δυο αυτών μεγεθών εκτός από την κατεύθυνση μεταφοράς δεδομένων. Όσο καλύτερη είναι η ταχύτητα σύνδεσης στο διαδίκτυο, τόσο πιο γρήγορη είναι η δυνατότητα μεταφόρτωσης και λήψης. Το εύρος ζώνης και εδώ διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις ταχύτητες αποστολής και λήψης. Σε μια ιδανική περίπτωση τα δυο αυτά είδη ταχύτητας είναι πιο εύκολα μετρήσιμα όταν είναι συμμετρικά, ωστόσο τις περισσότερες φορές οι πάροχοι διαφημίζουν μόνο την ταχύτητα των δεδομένων με την ταχύτερη κατεύθυνση η οποία συνήθως είναι η ταχύτητα λήψης.

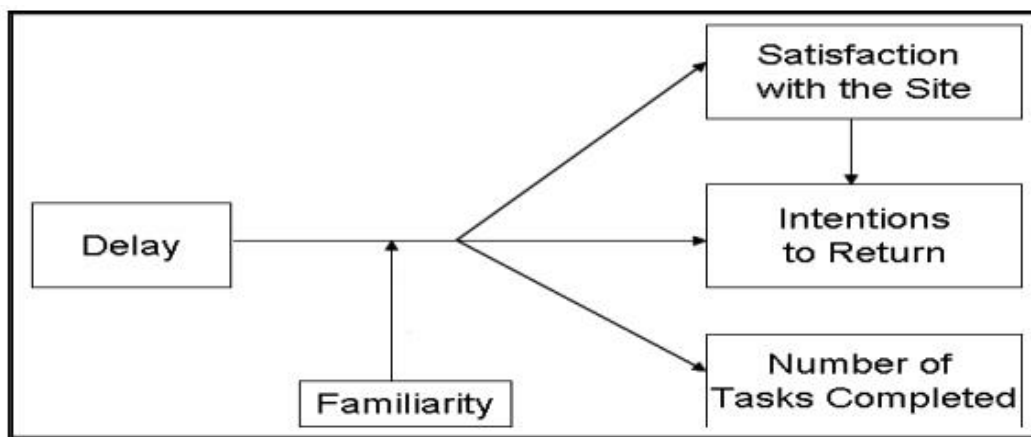
Η ταχύτητα φόρτωσης ιστοσελίδων είναι ένα γεγονός που συνεχίζει να ενοχλεί τους χρήστες ακόμη και όταν υπάρχουν ευρυζωνικές συνδέσεις. Αρκετές μελέτες έχουν ασχοληθεί με καθυστερήσεις σε ότι αφορά στις ιστοσελίδες και στα διαδραστικά διαδικτυακά συστήματα και έχουν προτείνει κάποιους τρόπους βελτίωσης. Ορισμένες μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα πως οι χρόνοι απόκρισης δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα δύο (2) δευτερόλεπτα. Άλλες μελέτες προειδοποιούν για καθυστερήσεις δώδεκα (12) δευτερολέπτων ή και περισσότερο, αλλά με την διευκρίνιση πως οι πολύπλοκες εργασίες προϋποθέτουν μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης.

Ένα από τα πιο συνηθισμένα παράπονα σχετικά με την εμπειρία που έχουν οι χρήστες στο διαδίκτυο είναι η καθυστέρηση την οποία αντιμετωπίζουν κατά την διάρκεια μιας περιήγησης. Αυτή η καθυστέρηση εμφανίζεται όταν ένας χρήστης επιλέγει κάποιον υπερσύνδεσμο (hyperlink) και τίποτα δεν φαίνεται να συμβαίνει για κάποια δευτερόλεπτα. Οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω σε αυτό τον τομέα κάνουν την διαπίστωση πως η καθυστέρηση είναι μια από τις σημαντικότερες πτυχές της απόδοσης και σε δεύτερη φάση της ποιότητας του ηλεκτρονικού εμπορίου. Επιπλέον αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στη χρηστικότητα του εκάστοτε ιστότοπου (Mckinney et al., 2003) [2].

Σε αντίθεση με τις προσδοκίες, οι ταχύτερες συνδέσεις δεν έχουν εξαλείψει το πρόβλημα του χρόνου απόκρισης, αλλά έχουν δημιουργήσει κάποιες βελτιώσεις σε αυτό το κομμάτι. Η καθυστέρηση οφείλεται σε ένα πλήθος παραγόντων σύμφωνα με τον Nah (2002) [3]. Μπορούμε να υποδιαιρέσουμε την καθυστέρηση σε παράγοντες που σχετίζονται με την επεξεργασία και σε άλλους που έχουν να κάνουν με το εύρος ζώνης. Ο Nah (2002) [3] προχωράει ακόμα σε μια υποδιαίρεση των αιτιών της καθυστέρησης και ορίζει την ροή του διακομιστή, την ταχύτητα σύνδεσης του διακομιστή και του χρήστη καθώς και την δομή του διαδικτύου.

Επειδή ο κάθε παράγοντας μεμονωμένα είναι αθροιστικός, βελτιώνοντας ένα κομμάτι σε αυτή την αλυσίδα δεν αρκεί για να εξαλειφθεί το πρόβλημα. Επομένως, οι πιο επιθετικές βελτιώσεις στο εύρος ζώνης δεν θα λύσουν το πρόβλημα της συμφόρησης. Αντιθέτως, οι καθυστερήσεις ενδεχομένως να επιδεινωθούν. Ένας αριθμός χρηστών που χρησιμοποιεί υψηλές ταχύτητες μπορούν να κάνουν για παράδειγμα περισσότερα αιτήματα σε ιστοσελίδες στην μονάδα του χρόνου, τα οποία θα καταπονήσουν τους διακομιστές. Οι ιστότοποι ενδέχεται να χρειάζονται ένα πολύ μεγαλύτερο αριθμό διακομιστών για να παρέχουν ικανοποιητική εξυπηρέτηση. Για παράδειγμα με περισσότερους από δέκα χιλιάδες (10.000) διακομιστές (Search engine watch, 2002) [4] ο ιστότοπος της Google να ανταποκρίνεται γρήγορα. Ωστόσο ακόμη και με αυτή την εξαιρετική ικανότητα μπορεί να δημιουργούνται προβλήματα πολλές φορές.

Επειδή αυτές οι καθυστερήσεις, όπως είπαμε, είναι γεγονός οι αρνητικές αντιδράσεις των χρηστών είναι ουσιαστικό πρόβλημα για τους διαχειριστές των ιστότοπων. Συνεπώς, η διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ καθυστέρησης και επιδόσεων, συμπεριφορών και προθέσεων των επισκεπτών θα προσφέρει χρήσιμες απαντήσεις σε ερωτήματα που σχετίζονται με την απόδοση. Για παράδειγμα πόσο ανεκτικοί είναι οι χρήστες στις καθυστερήσεις, τι μπορεί να θεωρηθεί ανεκτή καθυστέρηση και κυρίως, ποιες είναι οι επιπτώσεις σε μια τέτοια περίπτωση. Στην εικόνα 4.5 (Venkatesh et al., 2003) [5] απεικονίζονται οι αντιδράσεις των χρηστών που σχετίζονται με την καθυστέρηση. Παρατηρούμε πως τα κύρια στοιχεία είναι η ικανοποίηση των χρηστών (satisfaction) η οποία οδηγεί στην πρόθεση επιστροφής στον ιστότοπο (intentions to return). Τρίτος παράγοντας είναι ο αριθμός των εργασιών που ολοκληρώθηκαν (number of tasks completed) και ενδιάμεσα αυτών παρεμβάλλεται η εξοικείωση του χρήστη με τον εκάστοτε ιστότοπο (familiarity).



Εικ.5.1 Απεικόνιση άμεσων αντιδράσεων που σχετίζονται με την καθυστέρηση.

5.3 Η έννοια της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS)

Τα τελευταία χρόνια στα σύγχρονα Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα έχει παρουσιαστεί η έννοια της «ποιότητα υπηρεσίας» (Quality of Service – QoS). Αυτό έχει συμβεί επειδή πολλές πλέον εφαρμογές που έχουν παρουσιαστεί στο διαδίκτυο είναι απαιτητικές σε ποιότητα. Με τον όρο ποιότητα υπηρεσίας (QoS) μπορεί να οριστεί η διαφοροποίηση στις υπηρεσίες βασισμένη στις ανάγκες των χρηστών και των εφαρμογών (Kuyoro et al., 2012) [6]. Βασικό χαρακτηριστικό της είναι ότι προσδίδει σε μια ροή δεδομένων, ειδικά στα πακέτα IP, προτεραιότητα πάνω από ένα δίκτυο (WLAN LAN κτλ.)

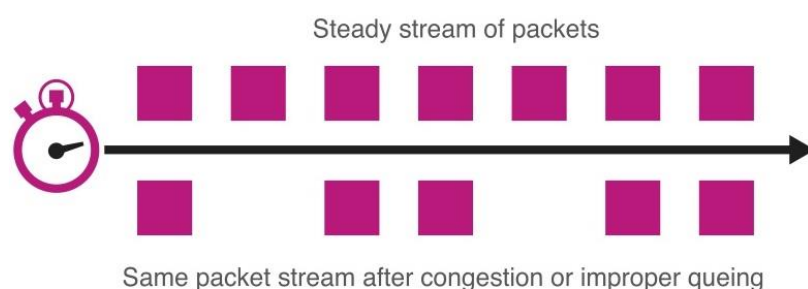
Η τεχνολογία η οποία βρίσκεται πίσω από την ποιότητα υπηρεσίας είναι η MPLS (Multi protocol Label Switching) η οποία επιτρέπει τη χρησιμοποίηση των υψηλών ταχυτήτων των μεταγωγέων ATM (Ασύγχρονου Τρόπου Μεταφοράς) πάνω από κανονικά δίκτυα IP. Όπως αναφέρθηκε το πρωτόκολλο διαδικτύου (IP) παρέχει την υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (best effort) για τη διανομή των δεδομένων. Η υπηρεσία Best Effort η οποία προσφέρεται στα σημερινά IP δίκτυα έχει την εξής λογική: η πολυπλοκότητα μένει στους τερματικούς χρήστες (end-users), ενώ αυτό που κάνει ουσιαστικά το δίκτυο είναι να δρομολογεί τα πακέτα. Το πρόβλημα που τίθεται είναι ότι το μέγεθος των χρηστών αυξάνεται αλματωδώς, οπότε και οι υπηρεσίες δικτύου απαιτούν ολοένα και μεγαλύτερο εύρος ζώνης αλλά δεν υφίσταται καμία εγγύηση για την παράδοση των πακέτων (Lee et al., 2003) [7]. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ιδιαίτερη καθυστέρηση πακέτων καθώς επίσης και απώλεια πακέτων και τα σημερινά δίκτυα δεν μπορούν να εγγυηθούν την παράδοση πακέτων με χαμηλή καθυστέρηση και χαμηλή απώλεια. Το γεγονός αυτό δημιουργεί πρόβλημα σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου (realtime applications), όπως για παράδειγμα στις πολυμεσικές εφαρμογές ή στο IP τηλέφωνο, οι οποίες είναι ευαίσθητες τόσο στην καθυστέρηση όσο και στην απώλεια πακέτων. Η αύξηση του εύρους ζώνης που έχει συντελεστεί τα τελευταία χρόνια είναι ένα πρώτο σημαντικό βήμα σε ότι αφορά τις απαιτήσεις εφαρμογών πραγματικού χρόνου.

Ωστόσο αυτό δεν είναι αρκετό, διότι τα προβλήματα για την καθυστέρηση έχουν μείνει άλυτα και αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές σε αυτές τις εφαρμογές, καθώς η κίνηση μέσα στο δίκτυο μεγαλώνει. Αυτές οι ανάγκες των ήδη υπαρχόντων εφαρμογών καθώς και η εισαγωγή νέων υπηρεσιών στο διαδίκτυο οδήγησε στη δημιουργία νέων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων για την επίλυση τους. Τα πρωτόκολλα για ποιότητα υπηρεσίας (QoS Protocols) δημιουργήθηκαν για αυτόν ακριβώς το σκοπό. Πρέπει εδώ να τονίσουμε ότι η ποιότητα υπηρεσίας δε δημιουργεί εύρος ζώνης, αλλά διαχειρίζεται το ήδη υφιστάμενο εύρος ζώνης αποτελεσματικά και ανάλογα με το είδος της εφαρμογής. Στόχος της ποιότητας υπηρεσίας είναι να παρέχει κάποια επίπεδα πρόβλεψης και ελέγχου σε αντίθεση με την Best effort υπηρεσία που υπάρχει στα σημερινά δίκτυα. Έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός πρωτοκόλλων για ποιότητα υπηρεσίας με σκοπό να εξυπηρετήσει τις εφαρμογές αυτές. Η πρόκληση αυτών των τεχνολογιών που αφορούν την ποιότητα υπηρεσίας σε δίκτυα IP, είναι να παρέχουν διαφοροποιημένο τρόπο παράδοσης δεδομένων για ξεχωριστές ή ομαδοποιημένες ροές χωρίς όμως να διασπαστεί η λειτουργία του δικτύου.

Με την χρήση των πρωτοκόλλων για ποιότητα υπηρεσίας και την ενσωμάτωσή τους στις αρχιτεκτονικές των δικτύων, έχουν δοθεί αρκετές λύσεις στα προβλήματα που αναφέρθηκαν. Με αυτό τον τρόπο και διαμέσου αυτών των αρχιτεκτονικών καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα. Αφήνουμε την περίπλοκη λειτουργία στους "ακραίους" (edge) δρομολογητές και ο "πυρήνας" του δικτύου παραμένει απλός σύμφωνα με τον Paul (1999) [8]. Αυτό αποτελεί το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω και το οποίο χαρακτηρίζει την λογική των αρχιτεκτονικών που αναπτύσσονται, ώστε να προσφέρουν ποιότητα υπηρεσίας στα δίκτυα νέας γενιάς.

5.4 Περιγραφή του προβλήματος των σημερινών δικτύων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κάθε στοιχείο του διαδικτύου το οποίο παρεμβάλλεται στη διαδρομή ενός πακέτου το μόνο που κάνει μέσω της υπηρεσίας βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort) είναι να προωθήσει το πακέτο αυτό στον προορισμό του. Εάν τώρα σε ένα δρομολογητή η ουρά είναι υπερφορτωμένη, τότε ορισμένα πακέτα θα απορριφθούν ανεξάρτητα από την προτεραιότητα του πακέτου. Επιπρόσθετα, πολλές εφαρμογές σήμερα απαιτούν εγγύηση ελάχιστου εύρους ζώνης και της μεγίστης καθυστέρησης κάτι που η υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας δεν δύναται να το υλοποιήσει.



Εικ.5.2 Καθυστέρηση πακέτων στο διαδίκτυο.

Από την παραπάνω εικόνα 5.2 (<https://tinyurl.com/154obb3>) είναι εμφανές ότι ένα από τα δύο σοβαρά προβλήματα που αντιμετωπίζει κανείς στο διαδίκτυο είναι η καθυστέρηση πακέτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι απαιτητικές εφαρμογές, οι οποίες είναι ευαίσθητες σε αυτές τις δύο παραμέτρους, να χάνουν σε ποιότητα, είτε αυτό σημαίνει εικόνα είτε ήχος. Οι εφαρμογές οι οποίες είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση και στην απώλεια πακέτων είναι οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως το video και η φωνή. Στην εικόνα 5.3 (<https://tinyurl.com/154obb3>) φαίνεται χαρακτηριστικά ένα άλλο πρόβλημα που εμφανίζεται στο διαδίκτυο και αυτό είναι η απώλεια πακέτων καθώς από το σύνολο αυτών που αποστέλλονται δεν φτάνουν όλα στον τελικό προορισμό.



Packet 1 makes it to the client as expected
Packet 2 never makes it to the client
Packet 3 makes it to the client as expected
Packet 4 never makes it to the client

Εικ.5.3 Απώλεια πακέτων στο διαδίκτυο.

Η αύξηση του εύρους ζώνης, που ουσιαστικά αυτό συμβαίνει σήμερα στα δίκτυα, δεν προσφέρεται πάντα λύση στην απώλεια των πακέτων, γιατί η υπηρεσία η οποία επεξεργάζεται τη ροή τους είναι η βέλτιστης προσπάθειας. Το πρόβλημα της καθυστέρησης εξακολουθεί να υπάρχει και όχι μόνο παραμένει στα ίδια επίπεδα, αλλά αυξάνεται από την αύξηση των χρηστών στο διαδίκτυο. Αυτό που παίζει ουσιαστικό ρόλο φαίνεται να είναι η ραγδαία αύξηση των χρηστών, οι οποίοι χρησιμοποιούν σήμερα τις υπηρεσίες του διαδικτύου.

Συνεπώς, το πρώτο πρόβλημα που πρέπει να λυθεί είναι η παροχή εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας στους πελάτες και η άμεση διαχείριση του δικτύου, για να μπορεί να δίνει και να διαχειρίζεται τους πόρους που διαθέτει με τέτοιο τρόπο, ώστε να τους εξυπηρετεί καλύτερα. Αυτό οδήγησε σε ανάπτυξη πρωτοκόλλων και αρχιτεκτονικών για την παροχή εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας. Οι αρχιτεκτονικές αυτές ολοκληρωμένων υπηρεσιών και η αρχιτεκτονική διαφοροποιημένων υπηρεσιών.

Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι και οι απαιτήσεις οι οποίες οδήγησαν στην ανάπτυξη των αρχιτεκτονικών αυτών. Οι απαιτήσεις αυτές προέκυψαν από την ανάγκη των σημερινών εφαρμογών που κυκλοφορούν στο διαδίκτυο και κατά επέκταση από τις ανάγκες των πελατών/χρηστών που χρησιμοποιούν αυτές τις εφαρμογές καθώς και από την ανάγκη των εταιριών για καλύτερη διαχείριση των δικτύων τους.

5.4.1 Η ανάγκη για ποιότητας υπηρεσίας στο διαδίκτυο

Η ερευνητική δραστηριότητα που έχει λάβει χώρα για την εύρεση των απαιτήσεων που προσφέρουν ποιότητα υπηρεσίας είναι μεγάλη. Αυτό βοηθάει σε μεγάλο βαθμό την περαιτέρω έρευνα ανάπτυξης αρχιτεκτονικών για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας στο Διαδίκτυο. Οι ανάγκες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με δύο βασικούς παράγοντες, τους χρήστες και τις απαιτητικές εφαρμογές.

Ο πελάτης αποτελεί σε ένα επιχειρησιακό μοντέλο την οντότητα που προσφέρει πόρους (οικονομικούς) σε μια εταιρία. Συνεπώς, μια εταιρία για να αντεπεξέλθει στον ανταγωνισμό της σημερινής εποχής, να διατηρήσει τους πελάτες της, άλλα και να αποκτήσει νέους πελάτες θα πρέπει να προσφέρει τις καλύτερες υπηρεσίες. Τα τελευταία χρόνια, η χρήση του διαδικτύου και η πρόσβαση σε αυτό ενός μεγάλου αριθμού χρηστών έχουν οδηγήσει σε έρευνες για την καλύτερη λειτουργία απέναντι σε αυτό τον όγκο χρήσης. Η απαίτηση ενός πελάτη πλέον δεν είναι μόνο η πρόσβαση σε αυτό αλλά και η εξυπηρέτησή του με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι πελάτες κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες οι οποίες είναι οι οικιακοί πελάτες (Residential) και οι εμπορικοί πελάτες (Corporate).

Οι δυο αυτές κατηγορίες πελατών διαφοροποιούνται όσον αφορά τις υπηρεσίες που αποζητούν από έναν παροχέα, από τον όγκο των δεδομένων που παράγουν, από τις εφαρμογές που εκτελούν καθώς επίσης και από τις απαιτήσεις ασφάλειας. Για τους λόγους αυτούς, οι ανάγκες των πελατών κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το τι είναι ο πελάτης. Διαφορετική μεταχείριση έχει ένας πελάτης ο οποίος είναι οικιακός από ένα πελάτη ο οποίος είναι εμπορικός ή ανήκει σε μια μεγάλη εταιρία. Και οι δύο τύποι όμως για τις δικές τους ανάγκες απαιτούν από τον πάροχο του δικτύου να τους παρέχει εγγύηση καλής επικοινωνίας δηλαδή εξασφάλιση αυτών που έχουν ζητήσει. Παρακάτω περιγράφονται ανά κατηγορία πελάτη οι ανάγκες και οι απαιτήσεις από έναν πάροχο δικτύου.

Στην κατηγορία των οικιακών πελατών οι απαιτήσεις πηγάζουν ως ένα μεγάλο βαθμό από τη σωστή λειτουργία των εφαρμογών που χρησιμοποιούν. Αυτό σημαίνει ότι ένας οικιακός χρήστης, για παράδειγμα που χρησιμοποιεί video προσδοκά να παρακολουθεί χωρίς πάγωμα τις οθόνες μια ταινία μέσα από το διαδίκτυο. Αυτό προϋποθέτει πως ο πάροχος πρέπει να του παρέχει μια σύνδεση της οποίας τα χαρακτηριστικά να ευνοούν τη μετάδοση εικόνας. Αυτό οδηγεί εντέλει στο ότι ο χρήστης απαιτεί από το δίκτυο να έχει μια σύνδεση με εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας. Το πρόβλημα που τίθεται είναι ότι ο οικιακός ή ο εμπορικός πελάτης πρέπει να έχει τη δυνατότητα μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος να ζητήσει την ποιότητα υπηρεσίας που χρειάζεται κάθε φορά. Εν ολίγοις, πρέπει να του δίνεται η δυνατότητα ενεργοποίησης μιας υπηρεσίας του διαδικτύου με συγκεκριμένη ποιότητα. Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιείται έρευνα πάνω στο θέμα της ενεργοποίησης, αλλά και πάλι από τη μια πλευρά οι μέθοδοι πολλές φορές δεν είναι ιδιαίτερα φιλικές προς τους χρήστες και από την άλλη δεν υπάρχει μια στάνταρτ αρχιτεκτονική (Bottaro, 2008) [9]. Μια ακόμα απαίτηση των πελατών, και των δύο κατηγοριών, αποτελεί ο τρόπος εγγραφής τους σε ένα πάροχο δικτύου ή σε ένα πάροχο υπηρεσιών.

Ο σημερινός τρόπος εγγραφής όλων των τύπων των πελατών είναι η μέθοδος της στατικής εγγραφής (Static Subscription). Με τον όρο στατική εγγραφή εννοούμε τη συμπλήρωση μιας φόρμας (η φόρμα αυτή καθορίζεται από την κάθε εταιρία ξεχωριστά) και την αποστολή της σε κάποιον αντιπρόσωπο μέσω ενός fax ή e-mail. Η διαδικασία αυτή μπορούμε να πούμε ότι χαρακτηρίζεται από κάποια μειονεκτήματα όπως ότι ο χρόνος για την ενεργοποίηση της δυνατότητας σύνδεσης σε ένα πάροχο μπορεί να είναι της τάξης των ημερών ή και των εβδομάδων. Επιπλέον, δεν υπάρχει τρόπος διαφήμισης και εύκολης χρήσης των νέων υπηρεσιών του παροχέα και τέλος η τροποποίηση μιας υπηρεσίας που έχει συμφωνήσει ένας πελάτης με ένα πάροχο δεν είναι άμεσα δυνατή.

Το μόνο που συνήθως παρέχουν οι παροχείς με αυτό τον τρόπο είναι απλά μια πρόσβαση στο διαδίκτυο, εκτός από τις περιπτώσεις των μεγάλων πελατών που εκεί τα συμβόλαια είναι διαφορετικά. Έτσι, με αυτό τον τρόπο στους μικρούς πελάτες δεν παρέχεται η δυνατότητα για εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι εγγραφή σήμερα σημαίνει για τους περισσότερους πελάτες απλά και μόνο πρόσβαση στο διαδίκτυο. Πλέον οι πελάτες αυτοί δεν επιθυμούν μόνο πρόσβαση αλλά και εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και επιπλέον υπηρεσίες για τη σωστή λειτουργία των εφαρμογών τους. Αυτό οδηγεί αναπόφευκτα στο συμπέρασμα ότι οι πελάτες επιθυμούν ένα δυναμικό τρόπο εγγραφής (Dynamic Subscription) σε ένα παροχέα για να μπορούν κάθε φορά να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του διαδικτύου που έχουν ανάγκη, αλλά και να επιλυθούν διαμέσου αυτής της οδού τα παραπάνω προβλήματα της στατικής εγγραφής (Bottaro, 2008) [9]. Δυναμική εγγραφή σημαίνει ότι ο πελάτης ηλεκτρονικά δύναται να εγγραφεί μέσω μιας υπηρεσίας - συμβόλαιου σε ένα παροχέα και επίσης μπορεί να αλλάξει όποτε επιθυμεί αυτό το συμβόλαιο. Θα πρέπει όμως ο τρόπος και το περιεχόμενο του συμβολαίου που απαιτείται να συμπληρώσει να είναι κατανοητό από τον μέσο χρήστη.

5.4.2 Απαιτητικές εφαρμογές και ποιότητα υπηρεσίας

Όπως ειπώθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η μεγάλη εξάπλωση του πρωτοκόλλου IP έχει οδηγήσει πολλές εταιρίες στη δημιουργία εφαρμογών Web πάνω από αυτό. Οι εφαρμογές αυτές έχουν δημιουργηθεί με σκοπό να κάνουν πιο εύκολη τη ζωή των πελατών - χρηστών. Οι διάφορες εφαρμογές οι οποίες κυκλοφορούν σήμερα στο διαδίκτυο κατατάσσονται σε δυο χαρακτηριστικές κατηγορίες. Οι κατηγορίες έχουν προκύψει με βάση το κατά πόσο εξαρτώνται από την καθυστέρηση και την απώλεια των πακέτων. Οι κατηγορίες εφαρμογών που προκύπτουν από την παραπάνω παραδοχή είναι :

- Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Real time applications): Οι εφαρμογές αυτές είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση πακέτων αλλά και στην απώλεια. Η υπηρεσία Best Effort δεν ευνοεί τη μεταφορά πακέτων που προκύπτουν από αυτές τις εφαρμογές. Για τη χρησιμοποίηση αυτών των εφαρμογών απαιτείται από το δίκτυο να δίνει συνδέσεις με εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας.

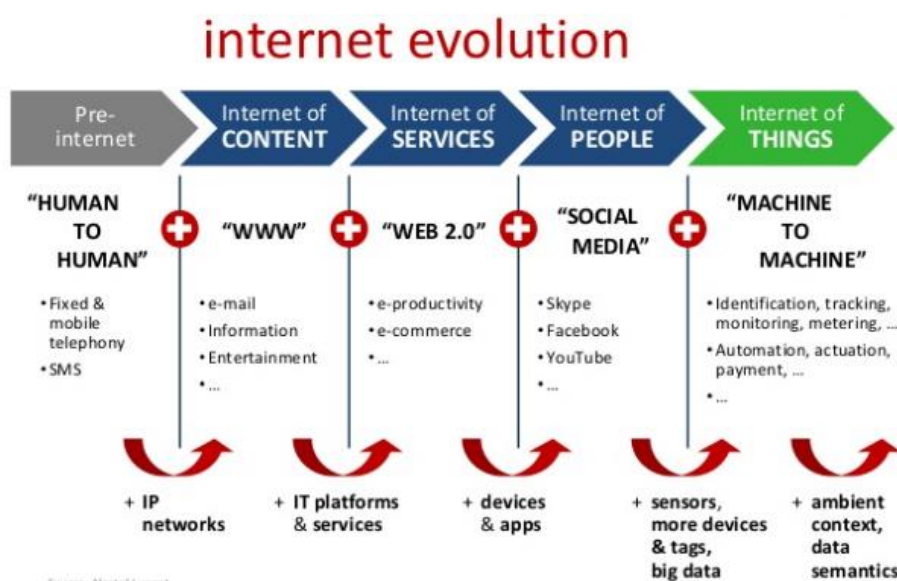
- Οι εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου (Non real time application): Οι εφαρμογές αυτές δεν είναι πάντα ευαίσθητες στην καθυστέρηση των πακέτων ή στην απώλεια. Συνήθως αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι το εύρος ζώνης.

Παραδείγματα εφαρμογών πραγματικού χρόνου είναι η μετάδοση Video, η μετάδοση φωνής κτλ. Εδώ πρέπει να λεχθεί ότι ο όγκος δεδομένων αυτών των εφαρμογών προς μετάδοση είναι αρκετά μεγάλος και έτσι απαιτείται ένα καθορισμένο εύρος ζώνης ώστε να μην υπάρχει απώλεια πακέτων. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει μια αλληλουχία στη ροή πακέτων. Αλλά μόνο με την αύξηση του εύρους ζώνης δεν καλύπτεται πλήρως η προϋπόθεση της ποιότητας παράδειγμα της εικόνας που φτάνει σε ένα χρήστη. Η εξασφάλιση της ποιότητας της εικόνας θα πραγματοποιηθεί αν για παράδειγμα η καθυστέρηση στη γραμμή μετάδοσης που χρησιμοποιεί ένας χρήστης είναι μειωμένη στο ελάχιστο. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι εφαρμογές του διαδικτύου πραγματικού χρόνου απαιτούν από τον ίδιο το δικτυακό πάροχο γραμμές με εγγυημένη μεταφορά πακέτων, δηλαδή εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας. Η υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας δεν παρέχει αυτήν την εγγύηση για τη σωστή αποστολή πακέτων.

Στη δεύτερη κατηγορία στην οποία ανήκουν οι εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου, οι απαιτήσεις είναι λιγότερες. Βέβαια αυτό δε σημαίνει ότι οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές μπορούν να θεωρηθούν και ικανές να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις αυτές. Για παράδειγμα, σε μια εφαρμογή FTP δεν μας απασχολεί η ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης. Ο αντικειμενικός σκοπός στην περίπτωση αυτή είναι να μεταφερθεί ένας μεγάλος όγκος δεδομένων μέσω μιας γραμμής η οποία θα προσφέρει ένα εύρος ζώνης, τέτοιο ώστε η μεταφορά να είναι αποδοτική. Αν και ειπώθηκε ότι οι απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας στις εφαρμογές αυτές δεν είναι και τόσο πολλές, αυτό δεν οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν χρειάζονται. Οι ανάγκες των εφαρμογών για ποιότητα υπηρεσίας σε συνδυασμό και με τις ανάγκες των πελατών κάνουν επιτακτική την ανάπτυξη τεχνολογιών για την παροχή ποιότητας υπηρεσιών πάνω από τις υπάρχουσες τεχνολογίες (Rajendran & Balasubramanie, 2009) [10].

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ακόμα και η μη πραγματικού χρόνου εφαρμογές απαιτούν μια εγγύηση σε ό,τι αφορά την μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των διάφορων χρηστών. Ένα άλλο πρόβλημα που τίθεται αφορά στις παραμέτρους που απαιτούνται από κάθε εφαρμογή του διαδικτύου, ώστε να παρέχονται σε αυτές γραμμές με εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας, όπως χαρακτηριστικά περιγράφει ο Rajendran (2009) [10]. Σε αυτό το πεδίο διεξάγεται έρευνα ώστε να γίνουν σταθερές αυτές οι τιμές που απαιτούνται από τις διάφορες εφαρμογές, για να μπορεί να τους παρέχεται από τους διάφορους παροχείς ποιότητα υπηρεσίας ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής.

Οι ανάγκες των εταιρειών παροχής υπηρεσιών του Διαδικτύου για ποιότητα υπηρεσίας, οι ανάγκες των παραπάνω οντοτήτων όπως είναι οι πελάτες αλλά και οι εφαρμογές επεκτείνονται και στην άλλη πλευρά είναι ο δικτυακός πάροχος ο οποίος αποτελεί το λειτουργικό και ουσιαστικό κομμάτι της εξυπηρέτησης των αναγκών. Η εικόνα 4.4 (<https://www.slideshare.net/onem2m/onem2m-how-standardization-enables-the-next-internet-evolution>) παρουσιάζει την εξέλιξη του διαδικτύου καθώς και τις παροχές προς τον χρήστη που εξελίσσονται και τις καινούργιες που αναπτύσσονται συνεχώς.



Εικ.5.4 Η Εξέλιξη του διαδικτύου και των παροχών προς τους χρήστες

Αν παρατηρήσουμε την εικόνα καταλαβαίνουμε ότι πρωταρχικός σκοπός των δικτυακών πάροχων ήταν το πρόβλημα της σύνδεσης του κάθε πελάτη στο διαδίκτυο. Το πρόβλημα αυτό μέσα από μακροχρόνιες έρευνες έχει επιλυθεί. Το πρόβλημα εύρους ζώνης αποτέλεσε και αποτελεί σπουδαίο ζήτημα στα σημερινά δίκτυα. Οι τεχνολογίες οι οποίες έχουν αναπτυχθεί, ειδικά η εισαγωγή της τεχνολογίας ATM (Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς) έχουν δώσει πολύ θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την αύξηση του εύρους ζώνης. Ωστόσο έχοντας ξεπεράσει τα προβλήματα, αυτό που ζητάει πια ο πελάτης είναι ποιότητα υπηρεσίας και γενικότερα υπηρεσίες ώστε να εξυπηρετούνται και οι ανάγκες των εφαρμογών. Η έννοια της υπηρεσίας και ειδικότερα η έννοια της ποιότητας υπηρεσίας εισάγει στους δικτυακούς παροχείς το ζήτημα της ανάπτυξης ενός επιπέδου διαχείρισης των υπηρεσιών αυτών. Ο καταμερισμός των πόρων ενός πάροχου αποτελεί πρόβλημα υψηλής προτεραιότητας. Η αύξηση του εύρους ζώνης δε προσφέρει λύσεις στις ανάγκες που αναφέρθηκαν πριν για τις εφαρμογές. Αυτό μπορεί να λυθεί από την πλευρά του πάροχου διαχωρίζοντας τις υπηρεσίες οι οποίες απαιτούν μεγαλύτερη ποιότητα σε σχέση με κάποιες άλλες που απαιτούν μικρότερη ποιότητα και πραγματοποιώντας ένα σωστό καταμερισμό των πόρων που διαθέτει ανάλογα με την ποιότητα που απαιτεί. Η διαστασιολόγηση των δικτύων θέτει τη βάση για αυτόν τον καταμερισμό των πόρων και δίνει τη δυνατότητα της σωστής λειτουργίας.

5.5 Πρωτόκολλα για την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως μερικές εφαρμογές είναι περισσότερο απαιτητικές σε ποιότητα υπηρεσίας σε σχέση με κάποιες άλλες. Για αυτό το λόγο έχουμε δυο βασικούς τύπους παροχής ποιότητας υπηρεσίας οι οποίοι είναι:

- Δέσμευση Πόρων - Resource Reservation (ολοκληρωμένες υπηρεσίες - Integrated Services): Οι πόροι του δικτύου διανέμονται σύμφωνα με μια εφαρμογή αίτησης ποιότητας υπηρεσίας, και είναι εξαρτώμενοι από την Πολιτική Διαχείρισης του Εύρους Ζώνης (Bandwidth Management Policy).
- Καθορισμός Προτεραιοτήτων -Prioritization (διαφοροποιημένες υπηρεσίες - Differentiated Services): Η διαδικτυακή κίνηση κατηγοριοποιείται και διανέμονται σε αυτή πόροι του δικτύου σύμφωνα με τα κριτήρια τα οποία έχουν δοθεί στη Διαχείριση Πολιτικής του Εύρους ζώνης. Με την ενεργοποίηση της ποιότητας υπηρεσίας, τα στοιχεία του δικτύου δίνουν προνομιακή μεταχείριση στους κατηγοριοποιητές προσδιορίζοντας περισσότερο τις απαιτητικές εφαρμογές. Αυτοί οι τύποι ποιότητας υπηρεσιών μπορεί να εφαρμοστούν σε εφαρμογές ξεχωριστών ροών (Flows) ή σε εφαρμογές ομαδοποιημένων ροών (Aggregate) και δίνοντας μας τη δυνατότητα να χαρακτηρίσουμε τον τύπο της ποιότητας υπηρεσίας με διαφορετικό τρόπο όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

Ανά Ροή - Per Flow: Η ροή ορίζεται ως μια ξεχωριστή, προς τη μια κατεύθυνση ροή δεδομένων μεταξύ δύο εφαρμογών (αποστολέα και δέκτη) και χαρακτηρίζεται μοναδικά από πέντε στοιχεία τα οποία είναι τα εξής: πρωτόκολλο μεταφοράς, διεύθυνση αποστολέα, αριθμός πόρτας αποστολέα, διεύθυνση παραλήπτη, αριθμός πόρτας παραλήπτη (transport protocol, source address, source port number, destination address, destination port number).

Ανά ομαδοποιημένο Σύνολο - Per Aggregate: Μια ομαδοποιημένη ροή περιλαμβάνει μια ή περισσότερες απλές ροές. Αυτές οι ροές χαρακτηρίζονται επιπλέον, πέρα από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν ανωτέρω, από μια ετικέτα (Label) ή ένα αριθμό προτεραιότητας ή μπορεί να περιλαμβάνονται και πληροφορίες για απόδειξη γνησιότητας (authentication).

Εφαρμογές, τοπολογία δικτύου και πολιτικές είναι τα στοιχεία που υπαγορεύουν ποιος τύπος της ποιότητας υπηρεσίας είναι περισσότερο κατάλληλος για μεμονωμένες ροές ή για ενοποιημένες ροές. Για την εξυπηρέτηση αυτών των διαφορετικών τύπων ποιότητας Υπηρεσιών, υπάρχει ένας αριθμός διαφορετικών πρωτοκόλλων και αλγορίθμων για αυτό ακριβώς το σκοπό.

- Πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων – Reservation Protocol (RSVP). Παρέχει τη σηματοδότηση για την κράτηση των πόρων του δικτύου (είναι γνωστό και σαν Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες - Integrated Services). Μολονότι τυπικά το RSVP χρησιμοποιείται ανά ροή, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για τη δέσμευση πόρων για ενοποιημένες ροές.

- Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες-Differentiated Services (DiffServ): Προσφέρει έναν απλό τρόπο για να κατηγοριοποιεί και να θέτει προτεραιότητες στη δικτυακή κίνηση ενοποιημένων ροών.
- Multi Protocol Switching - MPLS: Παρέχει Διαχείριση Κύρους Ζώνης για τις ενοποιημένες μέσω του Ελέγχου δικτυακής δρομολόγησης και σύμφωνα με τις ετικέτες οι οποίες βρίσκονται ενσωματωμένες στην κεφαλή του πακέτου σύμφωνα με τον Callon (1999) [11].
- Subnet Bandwidth Management (SBM): Ενεργοποιεί ταξινομητές και θέτει προτεραιότητες στο επίπεδο 2 (Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων κατά το μοντέλο OSI).
- Στον πίνακα 4.2 (ιδία επεξεργασία) που ακολουθεί παρουσιάζονται τα πρωτόκολλα τα οποία είναι συναφή με το επίπεδο παροχής ποιότητας υπηρεσιών και βλέπουμε επίσης το κατά πόσο ενεργοποιούνται από την εφαρμογή, από τα στοιχεία του δικτύου ή και από τα δύο.

Πίνακας 5.1 Αλγόριθμοι για την διαχείριση εύρους ζώνης καθώς και πρωτόκολλα τα οποία είναι συναφή με το επίπεδο παροχής ποιότητας υπηρεσίας και κατά πόσο αυτά ενεργοποιούνται από τα στοιχεία δικτύου από την εφαρμογή ή και από τα δύο.

| OoS | Net | App | Περιγραφή |
|----------|-----|-----|---|
| Μεγίστη | X | | Παρέχει πόρους από άκρη - σε - άκρη |
| | X | X | RSVP (IntServ Guaranteed) υπηρεσία (παρέχει ανάδραση στην εφαρμογή) |
| | X | X | RSVP (intServ Load) υπηρεσία (παρέχει ανάδραση στην εφαρμογή) |
| | X | | MLPS |
| | X | X | Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες(DiffServ) εφαρμόζονται στον πυρήνα του δικτύου ενώ το σημείο εισόδου του δικτύου είναι κατάλληλο για δέσμευση πόρων μέσω του RSVP για μια ροή. Για να θέτουμε προτεραιότητες χρησιμοποιούμε το SBM. |
| | X | X | Το DiffServ και το SBM εφαρμόζοντας πάνω σε κάθε ροή. |
| | X | | Το DiffServ εφαρμόζεται στα σημεία εισόδου του πυρήνα του δικτύου. |
| | X | | Η εγκατάσταση αυτών εφαρμόζεται από τα στοιχεία του δικτύου (CTQ, WFQ, RED) |
| Ελάχιστη | | | Υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort Service) |

5.6 Απόδοση και διαδικτυακά συστήματα

Κατά τα πρώτα χρόνια των υπολογιστικών μονάδων, η απόδοση ήταν περισσότερο σχετιζόμενη με το υλικό του υπολογιστή, κυρίως με την κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Σε αυτή την περίπτωση, οι σχετικές μετρήσεις για την απόδοση είναι ρυθμισμένες σε συγκεκριμένες συχνότητες και πραγματοποιούν εκατομμύρια οδηγιών το δευτερόλεπτο. Οι περισσότερες από αυτές τις μετρήσεις έχουν σχέση με την αποτελεσματικότητα του υλικού κατά την εκτέλεση. Καθώς το υλικό των υπολογιστών αναπτύσσεται συνεχώς και ενισχύεται με ταχείς ρυθμούς, είναι σε θέση να υποστηρίξει πιο διαφοροποιημένους τύπους λογισμικού και καθίσταται έτσι μικρότερο το ενδεχόμενο να γίνει το σημείο συμφόρησης για το σύστημα και τις επιδόσεις του (Killelea, 2002) [1]. Αντιθέτως, το λογισμικό εξελίσσεται με πολύ βραδύτερο ρυθμό από ότι το υλικό αλλά η πολυπλοκότητα του αυξάνεται. Αυτό έχει σαν επακόλουθο η απόδοση του λογισμικού να καθίσταται όλο και πιο κρίσιμη σε σχέση με την απόδοση του υλικού, συγκριτικά με τα πρώτα χρόνια των υπολογιστικών συστημάτων.

Στο πλαίσιο των συστημάτων που βασίζονται στο διαδίκτυο, τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις επιδόσεις του συστήματος σε μεγάλο βαθμό. Η αντίληψη των χρηστών όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενη ενότητα, είναι πολύ σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν όταν υπάρχει ζήτημα απόδοσης. Συνεπώς τα θέματα απόδοσης είναι αρκετά πιο πολύπλοκα σε τέτοιο περιβάλλον διαδικτυακών συστημάτων. Εν τω μεταξύ, το διαδίκτυο έχει γίνει πλέον, μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές ηλεκτρονικών υπολογιστών από την μια πλευρά και ο αριθμός των χρηστών του διαδικτύου αυξάνεται εκθετικά από την άλλη πλευρά. Και οι δύο αυτοί παράγοντες έχουν μεγάλο αντίκτυπο όσον αφορά τις απαιτήσεις της απόδοσης στα συγκεκριμένα συστήματα. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, τα ζητήματα απόδοσης των εν λόγω συστημάτων έχουν προσελκύσει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια.

Σημαντική ανησυχία για τα ζητήματα απόδοσης τρέφουν και οι βιομηχανίες που σχετίζονται με το διαδίκτυο καθώς και οι επαγγελματίες του τομέα αυτού. Η προσέλευση περισσότερων επισκεπτών σε μια ιστοσελίδα και ταυτόχρονα η ενθάρρυνσή τους να παραμείνουν περισσότερο και να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες ή να αγοράσουν τα προϊόντα που πωλούνται είναι οι απώτεροι στόχοι ιδιοκτητών ιστοσελίδων. Αυτοί οι στόχοι δύσκολα θα πραγματοποιηθούν εάν το σύστημα εμφανίζει κακή απόδοση και στην κατεύθυνση αυτή ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα για μια ιστοσελίδα ηλεκτρονικού εμπορίου είναι ο χρόνος απόκρισης. Αποτελεί ένα καθοριστικό παράγοντα που συμβάλει στην αφοσίωση των πελατών σε συναλλαγές τύπου B2C και ο αδικαιολόγητα μεγάλος χρόνος απόκρισης τείνει να απωθήσει τους πελάτες από μια ιστοσελίδα. Ο Chow (2001) [12] υποστηρίζει στο άρθρο του ότι το 48% από 1200 συνδεδεμένους πελάτες εγκατέλειψε προσπαθώντας να αγοράσει κάποια προϊόντα επειδή η ιστοσελίδα καθυστέρησε αρκετά. Στο ίδιο άρθρο αναφέρεται επίσης ότι οι εναλλαγές των καθυστερήσεων, από μεγάλη σε μικρή ή και το αντίθετο, επηρεάζουν το επίπεδο ενόχλησης των χρηστών.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως υπάρχουν διαφορετικές μετρήσεις για να περιγράψουν τις διάφορες πτυχές της απόδοσης ενός συστήματος που χρησιμοποιεί το διαδίκτυο. Η επιλογή μιας συγκεκριμένης μέτρησης εξαρτάται από την φύση του συστήματος και τον στόχων της ανάλυσης που επιδιώκονται. Από την στιγμή που η επιτυχία των διαδικτυακών συστημάτων εξαρτάται αρκετά από την ικανοποίηση των χρηστών, η καλύτερη μέτρηση για να μελετηθεί η απόδοση ενός διαδικτυακού συστήματος, θα πρέπει να είναι αυτή που περιγράφει την απόδοση από την σκοπιά των χρηστών όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται στην μελέτη του ο Broadwell (2004) [13].

5.7 Συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών – SLAs (Service Levels Agreements)

Η ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών είναι θεμελιώδους σημασίας για τους χρήστες του διαδικτύου, οι οποίοι αναμένουν από τους παρόχους να παραδώσουν τα προκαθορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, καθώς και για τους παρόχους υπολογιστικού νέφους, οι οποίοι πρέπει να εξισορροπήσουν την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας με το λειτουργικό κόστος.

Ωστόσο, η εξεύρεση της βέλτιστης λύσης είναι ένα δύσκολο πρόβλημα απόφασης για τους πάροχους, καθώς η ύπαρξη των υπηρεσιών σε επίπεδο συμφωνίας (Service Level Agreements, SLA) καθιστά την παροχή υπηρεσιών δύσκολο έργο και αυτό διότι το SLA προσδιορίζει τους στόχους λειτουργίας καθώς και τις οικονομικές κυρώσεις (penalties) που συνδέονται με τις παραβιάσεις αυτών.

Τα SLAs αποτελούν μια πολύ σημαντική βοήθεια για τους παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου ώστε να είναι σε θέση να μπορούν να αντιμετωπίσουν ενδεχόμενες δυσκολίες και διαφορετικές αντιλήψεις σε προσφορές υπηρεσιών. Γενικά ένα SLA χρησιμοποιείται για την υλοποίηση των παρακάτω χαρακτηριστικών, όπως περιγράφει ο Jin (2002) [14]:

- Ορίζει ειδικά επίπεδα υπηρεσιών τα οποία πρέπει να παρέχει ένας πάροχος.
- Εξασφαλίζει την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται στις εκάστοτε επιχειρήσεις από τους παρόχους σε ένα αρκετά υψηλό επίπεδο.
- Αποτελεί ένα τρόπο προσφοράς των υπηρεσιών των παρόχων υπολογιστικού νέφους, διότι οι πάροχοι μπορούν να αξιώσουν οποιοδήποτε χρηματικό ποσό κρίνουν ότι αξίζουν οι υπηρεσίες τους.

Παρακάτω αναφέρονται τα πιο σημαντικά θέματα που θα πρέπει να καλύπτει μια SLA σύμφωνα με τον Behl (2012) [15]:

- Παρεχόμενες υπηρεσίες (Service delivered). Θα πρέπει να περιγράφονται οι παρεχόμενες υπηρεσίες με λεπτομέρεια καθώς και οι αναμενόμενες χρονικές περίοδοι που δεν θα είναι διαθέσιμες (π.χ. για λόγους συντήρησης).

- Επίδοση συστήματος (Performance): Η απόδοση του συστήματος μετρείται με την παρακολούθηση και μέτρηση των υπηρεσιών που παρέχονται, ανεξάρτητα με το αν αυτές ανταποκρίνονται στους όρους του SLA.

- Διαχείριση προβλημάτων και εξαιρέσεων: (Problem management) Περιγράφεται το πώς μπορεί να συμβούν απρόβλεπτα ή απροσδόκητα συμβάντα και πώς αυτά μπορούν να αποφευχθούν ή να επιλυθούν.

- Καθήκοντα πελατών (Customer duties): Περιγράφεται η σχέση πελάτη και παρόχου – πωλητή και οι ευθύνες του πρώτου κατά τη διαδικασία παροχής των υπηρεσιών. Με άλλα λόγια ο πάροχος είναι υποχρεωμένος να προσφέρει τις απαραίτητες υπηρεσίες και την υπολογιστική ισχύ που συμφωνήσαν.

- Ασφάλεια (Security): Περιγράφονται τα μέτρα ασφάλειας που θα υλοποιηθούν. Είναι ένα από τα πιο σημαντικά μέρη μιας SLA.

- Τερματισμός SLA (Termination): Περιγράφονται οι διαδικασίες κατά τη λήξη του συμβολαίου στο τέλος της αρχικά συμφωνημένης περιόδου, όταν κάποιος από τους υπογράφοντες τη συμφωνία παραβιάσει την SLA, ή όταν δεν είναι ικανοποιημένος με την απόδοση των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Η SLA εκτός από τη σημασία της για τον εκάστοτε πελάτη, σχετικά με τις παρεχόμενες υπηρεσίες, προβλέπει και νομικές κυρώσεις και γι αυτό θα πρέπει να είναι αναλυτική. Για παράδειγμα μια εταιρεία που υπέγραψε μια SLA με ένα πάροχο που έχει υπολογιστικά κέντρα όχι μόνο στις Η.Π.Α., μπορεί να μη θέλει να έχει τα δεδομένα της και σε κέντρα δεδομένων άλλης χώρας, οπότε ίσως επιδιώξει να εξασφαλίσει και αντίστοιχη δέσμευση, διασφάλιση στην SLA.

Αναφορές

- [1] Killelea, P. (2002). *Web Performance Tuning*. Sebastopol: O'Reilly & Associates.
- [2] McKinney, V., Yoon, K. & Zahedi, F. (2002). "The Measurement of Web-Customer Satisfaction: An Expectation and Disconfirmation Approach," *Information Systems Research*, 13 (3), 296-315.
- [3] Nah, F.H. (2002). "A Study of Web Users' Waiting Time," in *Intelligent Support Systems Technology: Knowledge Management*, Vijayan Sugumaran (editor), IRM Press, 145-152.
- [4] Searchenginewatch (2002). "The technology behind Google," *SearchDay*, August 12, 2002, available at <http://searchenginewatch.com/searchday/02/sd0812-googletech.html>.
- [5] Venkatesh, V., Morris, M.G., Davis, G.B., & Davis, F.D. (2003). "User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View," *MIS Quarterly*, 27 (3), 425-478.
- [6] Kuyoro, O., Frank, I., Awodele, O., & Okolie S. (2012). Quality of service (Qos) issues in web services. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 12(1), 94-97.
- [7] Lee, K., Jeon, J., Lee, W., Jeong, S. H., & Park, S. W. (2003). Qos for web services: Requirements and possible approaches. *W3C working group note*, 25(3), 1-9.
- [8] Paul, A. (1999). QoS in data networks: Protocols and standards. URL <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis-700s/protocols/index.html>.
- [9] Bottaro, A., Simon, E., Seyvoz, S., & Gérodolle, A. (2008). Dynamic web services on a home service platform. In *Advanced Information Networking and Applications, AINA 2008. 22nd International Conference on* (pp. 378-385). IEEE.
- [10] Rajendran, T., & Balasubramanie, P. (2009). Analysis on the study of QoS-aware Web Services discovery. arXiv preprint arXiv:0912.3965.
- [11] Callon, R., Freedman, N., Fredette, A., Swallow, G., Viswanathan, A. (1999). "A Framework for Multiprotocol Label Switching". Retrieved from <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-mppls-framework-05>.
- [12] Chow, D. S. (2001). The Effects of Time Delay in Electronic Commerce. In *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Seattle.
- [13] Broadwell, P. M. (2004). Response Time as a Performability Metric for Online Services. Report No. UCB/CSD-04-1324: University of California, Berkeley.
- [14] Jin, L.J., Machiraju, V., & Sahai, A. (2002). Analysis on service level agreement of web services. HP June, 19. HP Laboratories Palo Alto. HPL-2002-180. Retrieved from <http://www.hpl.hp.com/techreports/2002/HPL-2002-180.pdf>
- [15] Behl A., & Behl K. (2012, October). An analysis of cloud computing security issues. In *Information and Communication Technologies (WICT), 2012 World Congress on* (pp. 109-114). IEEE.

Κεφάλαιο 6- Εργαλεία και πλατφόρμες μέτρησης

6.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα υπολογιστών συνδέουν εκατομμύρια χρήστες και υπολογιστές σε ολόκληρο τον κόσμο. Το διαδίκτυο έχει γίνει μια υποδομή για πολλές εφαρμογές που επηρεάζουν πλέον την καθημερινότητα σε όλες τις πτυχές της. Συνεπώς, είναι πολύ σημαντικό να μπορεί να γίνεται σωστή διαχείριση του διαδικτύου όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η διαχείριση αυτή περιλαμβάνει παρακολούθηση και μετρήσεις. Οι μετρήσεις αυτές σε επόμενο στάδιο αξιοποιούνται για να πραγματοποιηθούν βελτιώσεις στον τομέα της απόδοσης και για να παρέχουν την κατάλληλη ποιότητα υπηρεσίας προς τους χρήστες. Η παρακολούθηση του διαδικτύου είναι ένα σύνολο μηχανισμών που επιτρέπουν στους διαχειριστές να γνωρίζουν την στιγμιαία κατάσταση και τις μακροπρόθεσμες τάσεις των δικτύων που κρύβονται πίσω από το διαδίκτυο. Διάφορα εργαλεία και πλατφόρμες μέτρησης της απόδοσης έχουν αναπτυχθεί και έχουν εφαρμοστεί τα τελευταία χρόνια τα εργαλεία μας επιτρέπουν να μετρήσουμε τις διάφορες πτυχές που σχετίζονται με αυτή. Μερικά από αυτά είναι δωρεάν, και επιτρέπουν την χρήση ανοιχτού κώδικα ενώ αρκετά είναι επί πληρωμή και χωρίς ανοιχτό κώδικα στην χρήση τους.

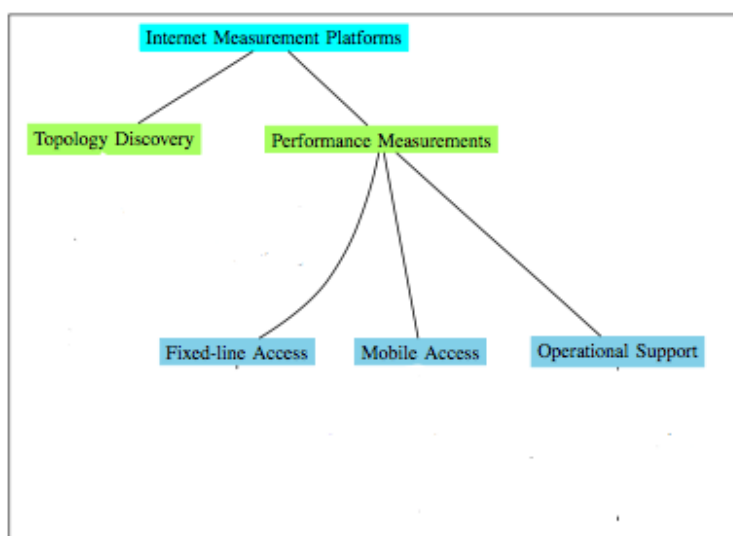
6.2 Πλατφόρμες μέτρησης της απόδοσης

Μια πλατφόρμα μέτρησης απόδοσης του διαδικτύου είναι μια υποδομή ανιχνευτών (ειδικών λογισμικών) που εκτελούν σε τακτά χρονικά διαστήματα μετρήσεις και διάφορες δοκιμές στο διαδίκτυο και τα εργαλεία αυτά έχουν αναπτυχθεί για να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις χρήσης (Bajpai & Schönwälder, 2015) [1]. Στην εικόνα 6.1 (Bajpai & Schönwälder, 2015) παρουσιάζεται μια ταξινόμηση αυτών των πλατφορμών, η οποία βασίζεται στην εξάπλωση της χρήσης τους. Παρατηρούμε ότι χωρίζονται γενικά σε δύο μεγάλες κατηγορίες που σχετίζονται με την εύρεση τοπολογίας και την μέτρηση της απόδοσης. Οι πλατφόρμες μέτρησης απόδοσης χωρίζονται περαιτέρω σε τρεις υποκατηγορίες με βάση το πεδίο που εφαρμόζονται. Αυτά τα πεδία είναι τα δίκτυα σταθερής πρόσβασης, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών και τέλος, οι πλατφόρμες για επιχειρησιακή υποστήριξη.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση μπορούμε να πούμε πως ένας αριθμός των αρχικών ερευνών χρησιμοποίησε αυτές τις πλατφόρμες με σκοπό την κατανόηση του μακροσκοπικό επίπεδου των δικτύων και της τοπολογίας του διαδικτύου. Μετά από αρκετές ερευνητικές προσπάθειες η περιοχή αυτή έχει ωριμάσει αρκετά και οδήγησε στην ανάπτυξη μιας σειράς αλγορίθμων που μειώνουν την πολυπλοκότητα αυτών των προσπαθειών χαρτογράφησης της τοπολογίας. Πρόσφατα είδαμε μια στροφή προς την ανάπτυξη πλατφορμών μέτρησης της απόδοσης που παρέχουν επιχειρησιακή υποστήριξη και είναι σε θέση να μετρήσουν σταθερά και κινητά σημεία πρόσβασης των δικτύων.

Αυτό έχει ως κίνητρο την αναδυόμενη ανάγκη όχι μόνο να αξιολογηθεί η ποιότητα της ευρυζωνικότητας, αλλά και να ελεγχθούν οι υπηρεσίες που προσφέρουν οι συμβατικές συμφωνίες.

Για παράδειγμα, η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (www.fcc.gov) δηλαδή η εθνική ρυθμιστική αρχή στις Ηνωμένες Πολιτείες, έχει ξεκινήσει μια καμπάνια με πρόθεση να χρησιμοποιήσει το σύνολο των δεδομένων μέτρησης για να μελετήσει και να συγκρίνει πολλαπλές προσφορές των παρόχων των ευρυζωνικών συνδέσεων στη χώρα. Το Γραφείο Επικοινωνιών (Ofcom) δηλαδή η εθνική ρυθμιστική αρχή στο Ηνωμένο Βασίλειο (www.ofcom.org.uk) έχει ήδη χρησιμοποιήσει παρόμοια στοιχεία ως είσοδο για να πλαισιώσει καλύτερα τις ευρυζωνικές πολιτικές. Τέτοιες πρωτοβουλίες δύναται να βοηθήσουν στη ρύθμιση της ευρυζωνικής τεχνολογίας και των τομέων που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με αυτή.

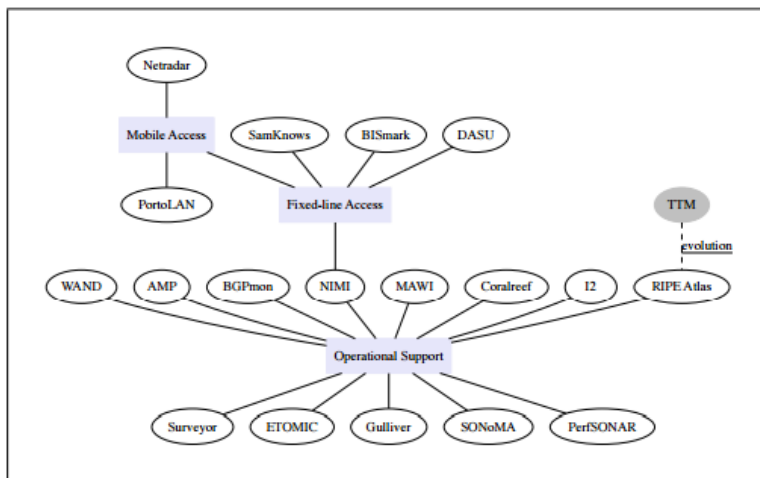


Εικόνα 6.1 Μια απεικόνιση που αντιπροσωπεύει την ταξινόμηση των πλατφορμών μετρήσεων του Διαδικτύου.

Οι πλατφόρμες μέτρησης της απόδοσης του διαδικτύου με βάση την περίπτωση χρήσης τους ταξινομούνται σε:

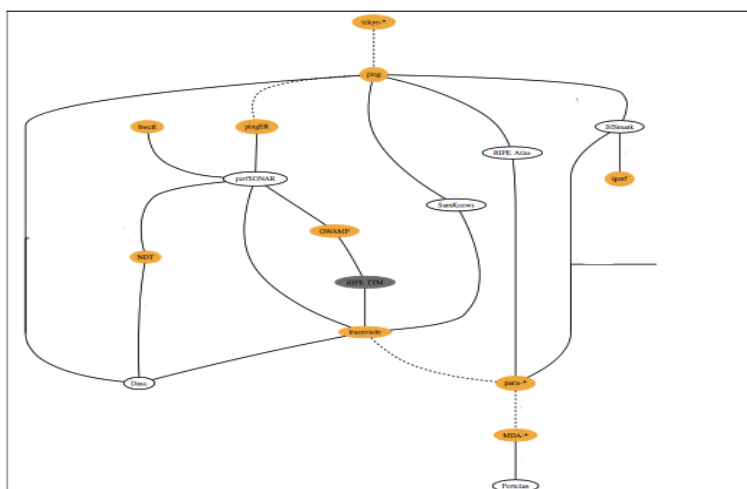
- α) Πλατφόρμες που αναπτύχθηκαν στην περιφέρεια του διαδικτύου που μετρούν τις επιδόσεις μέσω δικτύων πρόσβασης σταθερής τηλεφωνίας,
- β) Πλατφόρμες που μετρούν την απόδοση μέσω των δικτύων κινητής πρόσβασης
- γ) Πλατφόρμες που έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό μέσα στον πυρήνα του διαδικτύου που μπορούν να βοηθήσουν το δίκτυο σε θέματα επιχειρησιακής υποστήριξης. Αυτές οι πλατφόρμες, αν και είναι ανόμιες ως προς το πεδίο εφαρμογής τους, χρησιμοποιούν εντούτοις μια αρκετά δημοφιλή λίστα μέτρησης εργαλείων για την επίτευξη των στόχων τους. Η εικόνα 6.2 (Bajrai & Schönwälder, 2015) παρέχει μια αναπαράσταση των πιο κοινών εργαλείων μέτρησης που χρησιμοποιείται από το οικοσύστημα μέτρησης της απόδοσης του διαδικτύου. Παρατηρούμε ότι οι πιο δημοφιλείς πλατφόρμες

που σχετίζονται με δίκτυα σταθερής γραμμής (fixed line access) είναι τρεις και αναλύονται εκτενώς στην επόμενη ενότητα.



Εικόνα 6.2- Εργαλεία μέτρησης της απόδοσης του διαδικτύου

Με την κατηγοριοποίηση των διάφορων εργαλείων υπάρχει μια ξεκάθαρη εικόνα ώστε να μπορεί κανείς να επιλέξει το κατάλληλο ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε περίπτωσης. Το επόμενο βήμα είναι η εξέλιξη αυτών των εργαλείων που παρουσιάζεται εκτεταμένα στην εικόνα 6.3 (Bajrai & Schönwälder, 2015). Παρατηρούμε πως υπάρχουν κοινά εργαλεία που χρησιμοποιούν οι διαφορετικές πλατφόρμες (κίτρινο χρώμα) και επιπλέον εργαλεία που έχουν παροπλιστεί και έχουν αντικατασταθεί από πιο εξελιγμένα και πιο απαιτητικά, γεγονός που απεικονίζεται στην εικόνα από τις διακεκομμένες γραμμές.



Εικ.6.3. Διαφορετικές πλατφόρμες μέτρησης επιδόσεων και κοινά εργαλεία που χρησιμοποιούν καθώς και εξέλιξή τους ή αντικατάστασής τους από πιο σύγχρονες.

Από τα σχεδόν δύο δισεκατομμύρια χρηστών του διαδικτύου σε όλο τον κόσμο, περίπου τα 500 εκατομμύρια ανήκουν σε συνδρομητές οικιακής ευρυζωνικής σύνδεσης. Η χρήση ευρυζωνικής σύνδεσης είναι πιθανό να αυξηθεί πολύ περισσότερο καθώς οι άνθρωποι στηρίζονται στην σύνδεση από το σπίτι τους καθημερινά για όλες τις κρίσιμες δραστηριότητές τους. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιούνται και αναπτύσσονται συνεχώς μετρήσεις σχετικές με την απόδοση, στην προσπάθεια αναζήτησης τρόπων βελτίωσης της οικιακής σύνδεσης.

Η συγκριτική αξιολόγηση των επιδόσεων του διαδικτύου στο σπίτι ωστόσο δεν είναι τόσο απλή όπως το να τρέξει κάποιος ένα απλό τεστ ταχύτητας. Υπάρχουν αμέτρητα εργαλεία για την μέτρηση των επιδόσεων και μέσα από μελέτες στα τυπικά ποσοστά λήψης και αποστολής των δικτύων στα οικιακά δίκτυα, έχει διαπιστωθεί ότι τα μόντεμ έχουν συχνά μεγάλες καθυστερήσεις (buffer) και ότι οι συνδέσεις DSL παρουσιάζουν υψηλή διακύμανση καθυστέρησης (jitter) (Cho et al., 2006) [2]. Αυτές οι μελέτες έχουν ρίξει κάποιο φως στην απόδοση σε ότι αφορά το κομμάτι της πρόσβασης αλλά συνήθως εκτελούν μετρήσεις μιας επανάληψης από μέσα προς τα έξω ή από έξω προς τα μέσα. Τα εργαλεία αυτά δεν μπορούν να αναλύσουν τις επιπτώσεις των παραγόντων σύγχυσης όπως την κίνηση του δικτύου, το ασύρματο δίκτυο ή τις ρυθμίσεις του end host.

Σε αυτό το σημείο έρχονται να δώσουν λύση οι διάφορες πλατφόρμες πραγματοποιώντας μετρήσεις σε όλο το μήκος της διαδρομής και σε συνεχόμενο χρόνο χρησιμοποιώντας ειδικές πύλες (Murray & Claffy, 2001) [3]. Η ανάπτυξη μετρήσεων σε συσκευές με την χρήση πυλών προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα :

- Με την τοποθέτηση της συσκευής πίσω από το μόντεμ επιτυγχάνεται απομόνωση των παραγόντων σύγχυσης όπως η διασταύρωση της κίνησης (cross traffic).
- Δυνατότητα συνεχών και διαμήκων μετρήσεων οι οποίες επιτρέπουν να εξάγονται συμπεράσματα ουσιαστικής απόδοσης.
- Ικανότητα να ελεγχθεί μια οικία με διαφορετικά μόντεμ και διαφορετικά hardware και ως συνέπεια επιτρέπεται να διερευνηθούν οι επιπτώσεις πολλαπλών παραγόντων στην απόδοση.

6.3 Δημοφιλείς πλατφόρμες

Τρεις από τις πιο διαδεδομένες πλατφόρμες που πληρούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά και διαθέτουν μεγάλη αξιοπιστία είναι η SamKnows, η BISmark και Dasu και οι οποίες αναλύονται εκτενώς στις υποενότητες που ακολουθούν.

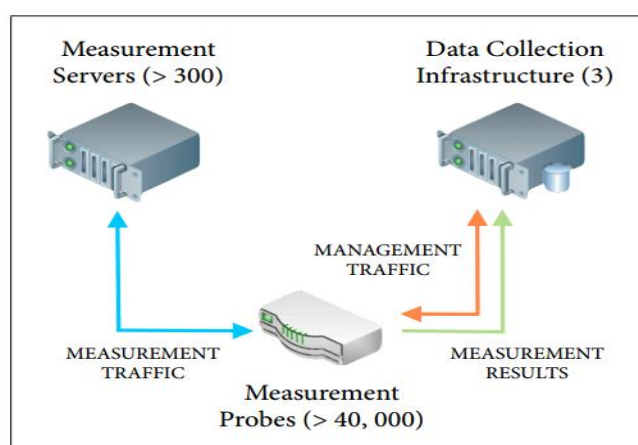
6.3.1 Η πλατφόρμα SamKnows

Η SamKnows είναι μια εταιρεία που ειδικεύεται στην ανάπτυξη ανιχνευτών βασισμένων στο υλικό (hardware-based) και εκτελούν συνεχείς μετρήσεις για την αξιολόγηση των ευρυζωνικών επιδόσεων. Αυτοί οι ανιχνευτές αναπτύσσονται στο πλαίσιο των δικτύων πρόσβασης και πίσω από τις πύλες των χρηστών.

Η εταιρία SamKnows ξεκίνησε το 2008 και σε επτά χρόνια (7) έχουν αναπτυχθεί 70.000 περίπου ανιχνευτές σε όλο τον κόσμο. Οι ανιχνευτές έχουν αναπτυχθεί σε στενή συνεργασία με 12 παρόχους και 6 ρυθμιστικές αρχές: α) FCC, Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (www.fcc.gov) β) Ευρωπαϊκή Επιτροπή (<https://ec.europa.eu>), γ) Ofcom (www.ofcom.org.uk) Ηνωμένο Βασίλειο, δ) του Οργανισμού Τηλεπικοινωνιών (Anatel) της Βραζιλίας (www.anatel.gov.br), ε) Ανάπτυξιακή Αρχή της Σιγκαπούρης (www.tech.gov.sg), στ) Καναδική Επιτροπή Ραδιοτηλεόρασης (www.crtc.gc.ca).

Το υλικό των ανιχνευτών αυτών είναι τυπικά έτοιμα (off the shelf) TP-Link δηλαδή με προκαθορισμένα χαρακτηριστικά με βάση κάποια στάνταρ και τα Router έχουν μια προσαρμοσμένη έκδοση του OpenWrt firmware το οποίο είναι ανοικτού κώδικα με γενική άδεια χρήσης (GPL). Οι ανιχνευτές λειτουργούν μόνο ως μία γέφυρα Ethernet και όλη η λειτουργικότητα δρομολόγησης έχει διαχωριστεί από το firmware. Η ασύρματη τεχνολογία χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της διασταυρωμένης κίνησης και για να επιβεβαιωθούν ως ενεργές οι μετρήσεις πρέπει ο χρήστης να μην κάνει επιθετική χρήση του δικτύου σύμφωνα με τον Sundaresan (2012) [4].

Οι κεφαλές των ανιχνευτών συνήθως μετρούν από άκρο σε άκρο καθυστέρηση (end-to-end latency), καθυστέρηση στο τελευταίο μίλι, καθυστέρηση μεταφοράς δεδομένων (latency), προς τα εμπρός διαδρομή, από άκρο σε άκρο απώλεια πακέτων, ρυθμό μεταφοράς δεδομένων και προς τις δυο κατευθύνσεις (throughput) και την πραγματική απόδοση. Επιπλέον έχουν την δυνατότητα να υπολογίζουν καθυστέρηση από άκρο σε άκρο (end to end jitter), τη διαθεσιμότητα του δικτύου, το ρυθμό λήψης από ιστοσελίδα (download), Voice over IP (VoIP), Peer to Peer (P2P), ανάλυση DNS, πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (FTP) και την επίδοση video streaming. Τα αποτελέσματα των πρώτων μετρήσεων αποστέλλονται από τους ανιχνευτές και αρχειοθετούνται ως προς την γεωγραφική κατανομή σε διαμοιραζόμενες βάσεις δεδομένων MySQL. Επίσης ωριαίες, ημερήσιες και εβδομαδιαίες μετρήσεις αποθηκεύονται σε πίνακες MySQL και με αυτό τον τρόπο επιτρέπουν την γρήγορη δημιουργία αναφορών. Οι μετρήσεις διεξάγονται σε στενή συνεργασία με την υπηρεσία παροχής Internet και οι λαμβανόμενες μετρήσεις είναι δυνατό να προβληθούν μέσω της παρακολούθησης των επιδόσεων SamKnows dashboards.



Εικόνα 6.4 Αρχιτεκτονική της πλατφόρμας μέτρησης SamKnows.

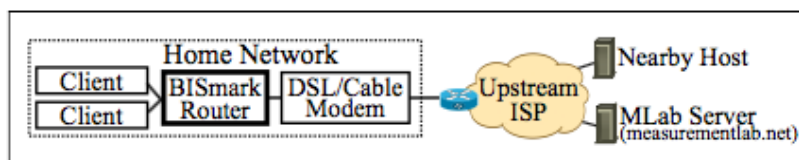
Στην εικόνα 6.4 (Bajrai & Schönwälder, 2015) παρουσιάζεται μια επισκόπηση της αρχιτεκτονικής της πλατφόρμας μέτρησης SamKnows. Η πλατφόρμα χρησιμοποιεί ένα διακομιστή συλλογής δεδομένων όπου και συλλέγονται όλες οι μετρήσεις (Data Collection Server) και ο διακομιστής αυτός έχει διπλό ρόλο καθώς χρησιμεύει σαν ελεγκτής. Επιπλέον, υπάρχουν και περίπου 300 διακομιστές, σε διάφορες τοποθεσίες και παίζουν καθοριστικό ρόλο στις μετρήσεις καθώς οι ανιχνευτές μετρούν κίνηση στους συγκεκριμένους διακομιστές. Η τοποθεσία τους ελέγχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα για να διασφαλιστεί ότι οι ανιχνευτές μετρούν την κίνηση στους σωστούς διακομιστές.

6.3.2 Η πλατφόρμα Bismark

Η πλατφόρμα μέτρησης της απόδοσης διαδικτύου BISmark (Broadband Internet Service Benchmark) αποτελείται από πύλες που ενσωματώνονται στις οικίες, μια κεντρική διαχείριση με διακομιστές συλλογής δεδομένων και πολλούς διακομιστές μέτρησης. Οι πύλες εκτελούν παθητικές και ενεργητικές μετρήσεις και η συλλογή των στοιχείων γίνεται ανώνυμα πριν από την αποστολή τους πίσω στο κεντρικό σημείο συλλογής για περαιτέρω ανάλυση. Αυτές οι πύλες επιτρέπουν στο κεντρικό σημείο να επικοινωνεί με το τμήμα μετάφρασης διευθύνσεων δικτύου, πραγματοποιούν ενημέρωση στις ρυθμίσεις δικτύου και εγκαθιστούν τις ενημερωμένες εκδόσεις λογισμικού. Μία τέτοια πύλη βασίζεται στο κουτί NOX το οποίο είναι ένα μικρός υπολογιστής ALIX 2D13 6 ιντσών με επεξεργαστή 500MHz AMD Geode, μνήμη RAM 256 MB και τουλάχιστον 2 GB μνήμης flash. Στο Nox Box εκτελείται λογισμικό Debian Linux, όπως περιγράφει στο άρθρο του ο Sundaresan (2012) [4].

Η πλατφόρμα BISmark συλλέγει απόδοση, καθυστέρηση, απώλεια πακέτων και καθυστερήσεις μεταξύ των πακέτων (jitter). Μετράει επίσης την ικανότητα μεταφοράς εκτελώντας μια λήψη HTTP και αποστολή για δεκαπέντε (15) δευτερόλεπτα χρησιμοποιώντας μια σύνδεση TCP μια φορά κάθε 30 λεπτά, ανεξάρτητα της διασταυρωμένης κίνησης (cross traffic).

Αυτό γίνεται ώστε να υπάρχουν περισσότερες αναγνώσεις κίνησης, να μετριοούνται τα bytes που μεταφέρονται από την ανάγνωση απευθείας από την διαδρομή και να υπολογίζεται ο παθητικός ρυθμός μεταφοράς δεδομένων (throughput) ως εξής: η καταμέτρηση των bytes μετά τη μεταβίβαση HTTP μείον το πλήθος bytes πριν από την μεταφορά, διαιρούμενο με το χρόνο μεταβίβασης. Αυτό αποδίδει την συνδυασμένη απόδοση της μεταφοράς HTTP και της διασταυρωμένης κίνησης. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι πως οι μετρήσεις είναι συγχρονισμένες ώστε να αποφεύγονται οι επικαλύψεις προς τον ίδιο διακομιστή μέτρησης.



Εικ 6.5 Αρχιτεκτονική της πλατφόρμας BISMark.

Η εικόνα 6.5 (Bajrai & Schönwälder, 2015) απεικονίζει την αρχιτεκτονική που υπάρχει πίσω από την πλατφόρμα μετρήσεων BISMark. Παρατηρούμε πως οι ανιχνευτές τοποθετούνται πίσω από το οικιακό μόντεμ και έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιούν τόσο ενεργές όσο και παθητικές μετρήσεις. Οι διακομιστές μετρήσεων λειτουργούν σαν πηγή από την οποία ελέγχεται και μετράται η κίνηση.

Στον πίνακα 6.1 (Sundaresan et al., 2012) παρουσιάζεται μια συγκριτική αξιολόγηση από τα δύο εργαλεία με μετρήσεις από διαφορετικές παραμέτρους και παρατηρούμε επίσης και τους διαφορετικούς τύπους μετρήσεων που πραγματοποιεί το κάθε εργαλείο. Αξίζει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις που απεικονίζονται στον πίνακα σε ότι αφορά στο εργαλείο Samknows, είναι από 4200 συσκευές σε αντίθεση με το BISmark που έχει λάβει μετρήσεις από 17 συσκευές.

Πίνακας 6.1- Ενεργές μετρήσεις που συλλέγονται περιοδικά από τις πλατφόρμες SamKnows Και BISMark.

| Parameter | Type | Prot. | Freq. | Comments |
|---|---------------------|-------|-------------|-----------------|
| SamKnows: 4,200 devices, 16 ISPs | | | | |
| Latency | End-to-end | UDP | 600 pkts/hr | MLab |
| | End-to-end | ICMP | 5 pkts/hr | MLab |
| | Last-mile | ICMP | 5 pkts/hr | First IP hop |
| | Upstream load | ICMP | 2 hours | During upload |
| Loss | Downstream load | ICMP | 2 hours | During download |
| | End-to-end | UDP | 600 pkts/hr | MLab |
| Downstream Throughput | Multi-threaded HTTP | TCP | 2 hours | MLab, idle link |
| Upstream Throughput | Multi-threaded HTTP | TCP | 2 hours | MLab, idle link |
| Jitter | Bi-directional | UDP | 1 hour | 500pkts/30sec |
| Web GET | HTTP | TCP | 1 hour | Alexa sites |
| BISMark: 17 devices, 3 ISPs | | | | |
| Latency | End-to-end | ICMP | 5 min | Host |
| | Last-mile | ICMP | 5 min | First IP hop |
| | Upstream load | ICMP | 30 min | During upload |
| | Downstream load | ICMP | 30 min | During download |
| Packet loss | End-to-end | UDP | 15 min | D-ITG |
| Jitter | End-to-end | UDP | 15 min | D-ITG |
| Downstream Throughput | Single-thread HTTP | TCP | 30 min | curlget to Host |
| | Passive throughput | N/A | 30 min | /proc/net/dev |
| | Capacity | UDP | 12 hrs | ShaperProbe |
| Upstream Throughput | Single-thread HTTP | TCP | 30 min | curlput to Host |
| | Passive throughput | N/A | 30 min | /proc/net/dev |
| | Capacity | UDP | 12 hrs | ShaperProbe |

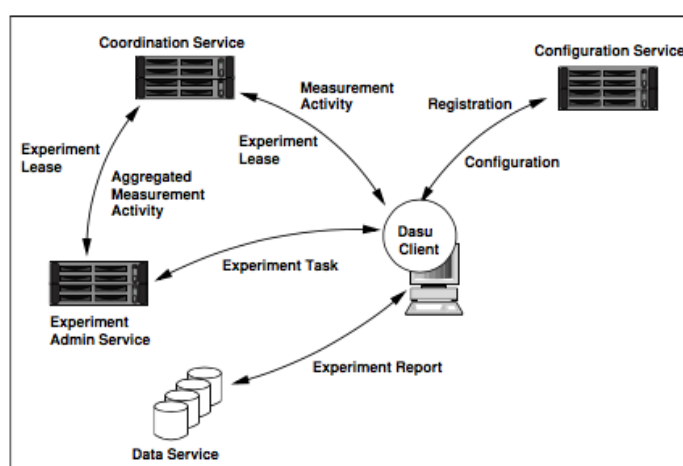
6.3.3 Dasu πλατφόρμα

Η πλατφόρμα Dasu είναι μια επέκταση λογισμικού που προσκολλάται στο πρόγραμμα Vuze/Azureus που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων Bit Torrent για να κάνει λήψεις αρχείων. Με το πρωτόκολλο αυτό ο διανομέας ή ο κάτοχος ενός αρχείου αντί να το διανέμει σε κάθε αιτητή χωριστά, το αποστέλλει σε έναν ο οποίος με την σειρά του το αναδιανέμει σε άλλους αιτητές. Οι αιτητές διαμοιράζονται μεταξύ τους τα κομμάτια του αρχείου τα οποία είναι μικρότερα σε μέγεθος από το αρχικό αρχείο, μέχρις ότου όλοι τους να ολοκληρώσουν την λήψη του (Sanchez et al., 2013) [5].

Η επιλογή του συγκεκριμένου προγράμματος (Vuze) έγινε λόγω της αυξημένης δημοτικότητας του στην χρήση και λόγω της ευκολίας της αρχιτεκτονικής του να δέχεται επεκτάσεις λογισμικού. Η επιλογή της τεχνικής να προσκολλάται η πλατφόρμα σε κάποιο πρόγραμμα ελαφρύνει το κόστος της όλης υποδομής καθώς δεν χρειάζεται να δημιουργούνται ειδικοί ανιχνευτές για

μετρήσεις και επιπλέον παρέχεται ευελιξία στην χρήση. Για τους χρήστες που δεν χρησιμοποιούν το πρόγραμμα Bit Torrent υπάρχει μια αυτόνομη έκδοση της πλατφόρμας.

Η επέκταση του BitTorrent πραγματοποιεί παθητικές μετρήσεις στις οποίες συμπεριλαμβάνονται ο ρυθμός λήψης αρχείων και ο αριθμός ενεργών, αποτυχημένων και κλειστών TCP συνδέσεων. Στις ενεργές μετρήσεις που διατίθενται είναι η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων (download / upload throughput) και όλα αυτά μπορούν επίσης να ελεγχθούν με την χρήση κοινών εντολών όπως ping και traceroute. Το traceroute ως εντολή στέλνει κάποια ειδικά πακέτα δεδομένων σε μια επιλεγμένη ιστοσελίδα και δείχνει την ακριβή διαδρομή, από router σε router, που ακολουθούν αυτά τα πακέτα για να επιστρέψουν σε εμάς, μαζί με το πόσο χρόνο κάνει το καθένα. Κάθε πεδίο μετρήσεων τρέχει μέσα σε ανεξάρτητο μηχανήμα JVM (Java Virtual Machine) και η επικοινωνία πελάτη με διακομιστή είναι κρυπτογραφημένη μέσα από ένα ασφαλές κανάλι.



Εικ. 6.6 Αρχιτεκτονική της πλατφόρμας μετρήσεων Dasu.

Η εικόνα 6.6 (Bajrai & Schönwälder, 2015) απεικονίζει την αρχιτεκτονική της πλατφόρμας και όπως βλέπουμε αποτελείται από μια κατακευματισμένη συλλογή πελατών, έναν ελεγκτή μετρήσεων που διαθέτει υπηρεσία συντονισμού ρυθμίσεων και διαχείρισης και τέλος, από ένα συλλέκτη μετρήσεων όπου καταγράφονται τα δεδομένα. Αρχικά, γίνονται κάποιες ρυθμίσεις και καθορίζονται οι προδιαγραφές των μετρήσεων και στην συνέχεια ο πελάτης επικοινωνεί με την υπηρεσία διαχείρισης προκειμένου να λάβει τις καταγεγραμμένες μετρήσεις. Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του πελάτη στέλνονται πίσω οι μετρήσεις που ζητήθηκαν.

Οι ερευνητές προσπαθούν μέσα από αυτήν την πλατφόρμα να καταγράψουν μετρήσεις και να εξάγουν συγκεκριμένα συμπεράσματα σε ότι αφορά στην απόδοση του διαδικτύου. Πιο συγκεκριμένα, όπως περιγράφει ο Sanchez (2011) [6] μέσα από την καταγραφή δεδομένων μπορεί να προκύψουν συμπεράσματα για τους παρόχους και επιπλέον αναλύεται πώς γίνεται εφικτό από παθητικές μετρήσεις να προκύψει η οπτική του τελικού χρήστη για το δίκτυο μέσα από την καταγραφή Μελέτη Επίδοσης Διαδικτύου

της κίνησης. Σε διαφορετική έρευνα ο Bischof (2011) [7] παραθέτει δεδομένα που συλλέχθηκαν από 500 χιλιάδες χρήστες bittorrent και μας δείχνει πώς τα δεδομένα αυτά αξιοποιούνται στην αξιολόγηση των υπηρεσιών που προσφέρουν οι πάροχοι. Επίσης, μέσα από τα δεδομένα αυτά μπορούν να αξιολογηθούν οι ευρυζωνικές αποδόσεις σε διαφορετικές περιοχές. Η παρατήρηση ημερήσιων μοτίβων για να επιτευχθούν οι επιθυμητοί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων και η σύγκριση απόδοσης σε διαφορετικούς παρόχους είναι δυο ακόμα αναφορές που περιγράφονται στην έρευνα.

6.4 Εργαλεία μέτρησης

Ο δεύτερος πυλώνας στην μέτρηση της απόδοσης του διαδικτύου είναι τα διάφορα εργαλεία που υπάρχουν και πραγματοποιούν τις κατάλληλες μετρήσεις. Τα εργαλεία αυτά σε σχέση με τις πλατφόρμες μέτρησης υστερούν στο γεγονός ότι δεν μπορούν να πραγματοποιήσουν μετρήσεις σε όλο το μήκος της διαδρομής καθώς και να αναλύσουν και να ξεπεράσουν κάποιους παράγοντες που προκαλούν σύγχυση στο εκάστοτε δίκτυο (Molyneaux, 2009) [8].

Εντούτοις οι μετρήσεις που λαμβάνουν είναι αξιόπιστες και αποτελούν σημαντικό στοιχείο στην ανάλυση της απόδοσης και στην προσπάθεια καθορισμού των παραγόντων που την βελτιώνουν. Η επιλογή του κατάλληλου εργαλείου κάθε φορά είναι συνδυασμός πολλών παραμέτρων κυρίως όμως παίζει σημαντικό ρόλο το τι παράγοντες θέλει να μετρήσει κανείς, συνεπώς θα γίνει επιλογή του εργαλείου με βάση αυτούς τους παράγοντες. Τρεις από τις πιο βασικές μετρήσεις είναι ο χρόνος απόκρισης (response time), η ρυθμαπόδοση (throughput) και η χρήση υπολογιστικών πόρων (resource utilization). Σημαντικό επίσης στοιχείο είναι η απώλεια πακέτων και η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο. Σε γενικές γραμμές ο χρόνος απόκρισης αποτελεί ανησυχία του χρήστη, η ρυθμαπόδοση των επιχειρήσεων και η χρήση των υπολογιστικών πόρων του συστήματος.

6.4.1 Ιδανικό εργαλείο μέτρησης της απόδοσης

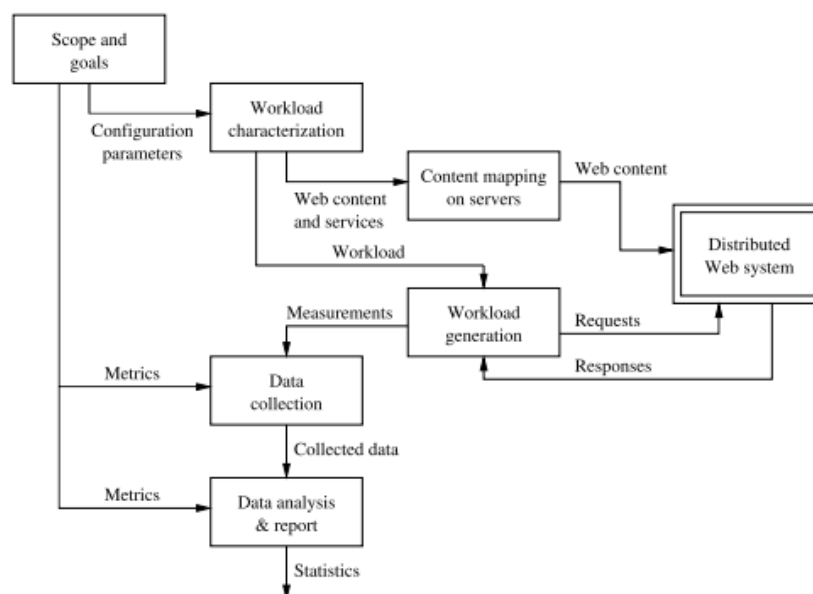
Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης των απαιτήσεων που πρέπει να πληρούνται για να έχει νόημα η φράση εργαλείο μέτρησης απόδοσης. Όπως υποστηρίζει ο Andreolini (2002) [9] μια πλήρης αξιολόγηση των επιδόσεων όλων των στρωμάτων ενός διαδικτυακού συστήματος είναι απλώς αδύνατη. Σαφώς είναι πολύ λογικό να μην μπορούμε να παρατηρούμε όλες τις πτυχές των διαδικτυακών συστημάτων. Υπάρχουν περιπτώσεις που είτε τα εργαλεία είναι πολύπλοκα και δύσκολα στην χρήση, είτε άλλες που εργαλεία κάνουν μετρήσεις που δεν αποδεικνύονται αξιόπιστες.

Συνεπώς, θα μπορούσε να υπάρξει ιδανικά ένα εργαλείο αποτελούμενο από πολλαπλές μονάδες και δομές και ταυτόχρονα από πολλά πρωτόκολλα που εξυπηρετούν πολλαπλές απαιτήσεις. Οι γενικές δυνατότητες του εργαλείου αυτού θα μπορούσαν να συνοψιστούν ως εξής :

- Υποστήριξη πολλαπλών λειτουργικών
- Έλεγχος απόδοσης κατανεμημένων συστημάτων.
- Υποστήριξη διαφορετικών αρχιτεκτονικών.
- Χρήση ευρέως φάσματος πρωτοκόλλων.

- Επεκτασιμότητα ώστε να καταστεί δυνατή η μελλοντική ανάπτυξη.
- Οι τύποι δοκιμών να μην είναι προκαθορισμένοι και να μπορούν να ρυθμίζονται.
- Το φορτίο εργασίας να διαθέτει τόσο απλή όσο και πολύπλοκη προσέγγιση.
- Η παρακολούθηση (monitoring) να είναι μέρος του εργαλείου.
- Οι αναφορές θα πρέπει να παρέχονται με οπτικοποίηση και να υπάρχει καταγραφή δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία εκτός του περιβάλλοντος του εργαλείου.

Στην εικόνα 6.7 (Andreolini, 2002) αποτυπώνεται η δομή ενός ιδανικού εργαλείου μέτρησης που χαρακτηρίζεται από πέντε βασικά χαρακτηριστικά: Τον στόχο της συγκριτικής αξιολόγησης, το φορτίο εργασίας, την χαρτογράφηση περιεχομένου στους διακομιστές, την συλλογή των δεδομένων και την ανάλυση των δεδομένων. Σε περίπτωση που μεσολαβούν διαδικτυακά συστήματα και διακομιστές η χαρτογράφηση περιεχομένου είναι υπεύθυνη για την σωστή επιλογή των στοιχείων, καθώς δεν είναι όλα τα στοιχεία του διακομιστή αξιοποιήσιμα και κατάλληλα. Αφού πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις το στοιχείο που είναι αρμόδιο για τη συλλογή των δεδομένων εξετάζει τις διάφορες μετρικές που έχουν πραγματοποιηθεί και αφού επιλέξει τις κατάλληλες, τις υποβάλλει σε επεξεργασία και ανάλυση προκειμένου να παρουσιαστούν στον χρήστη.



Εικ.6.7 Γραφική απεικόνιση δομής ιδανικού εργαλείου μέτρησης απόδοσης διαδικτύου

6.5 Επισκόπηση δημοφιλών εργαλείων

- **Gatling**

Το Gatling είναι ένα εργαλείο μετρήσεων ανοιχτού κώδικα που βασίζεται στις γλώσσες προγραμματισμού Scala, Akka και Netty. Έχει σχεδιαστεί προκειμένου να χρησιμοποιείται ως εργαλείο ελέγχου για την ανάλυση και την μέτρηση της απόδοσης του διαδικτύου καθώς και σε μια ποικιλία από διαδικτυακές εφαρμογές. Χρησιμοποιεί ένα ασύγχρονο μοντέλο το οποίο εξαρτάται από υλοποιήσεις μεταφοράς non blocking. Με την προσομοίωση που πραγματοποιεί σε εικονικούς χρήστες με την χρήση λιγότερων νημάτων ανά χρήστη (threads) καταφέρνει να καταναλώνει λιγότερους υπολογιστικούς πόρους στο σύστημα και να το καθιστά πιο αποδοτικό σε σχέση με άλλα. Σε ότι αφορά στην χρήση των πρωτοκόλλων, το συγκεκριμένο εργαλείο υποστηρίζει το HTTP, Web sockets και JMS (Java Message Service).

Για να οριστεί ένα σενάριο προκειμένου να πραγματοποιηθούν μετρήσεις, γίνεται χρήση της DSL (Domain Specific Language) και ένα απλό σενάριο μέτρησης με την χρήση αυτής της γλώσσας προγραμματισμού φαίνεται στην εικόνα 6.8 (<http://gatling.io/docs/current/quickstart/>).

```
package computerdatabase // 1

import io.gatling.core.Predef._ // 2
import io.gatling.http.Predef._
import scala.concurrent.duration._

class BasicSimulation extends Simulation { // 3

  val httpConf = http // 4
    .baseUrl("http://computer-database.gatling.io") // 5
    .acceptHeader("text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,*/*;q=0.8") // 6
    .doNotTrackHeader("1")
    .acceptLanguageHeader("en-US,en;q=0.5")
    .acceptEncodingHeader("gzip, deflate")
    .userAgentHeader("Mozilla/5.0 (Windows NT 5.1; rv:31.0) Gecko/20100101 Firefox/31.0")

  val scn = scenario("BasicSimulation") // 7
    .exec(http("request_1") // 8
      .get("/") // 9
      .pause(5) // 10

    setUp( // 11
      scn.inject(atOnceUsers(1)) // 12
    ).protocols(httpConf) // 13
}
```

Εικ.6.8 Εντολές σε γλώσσα DSL για ένα απλό σενάριο μέτρησης.

Μέσα σε κάθε σενάριο (script) συνδυάζονται διάφορα στοιχεία ώστε να συνθέσουν ένα φορτίο εργασίας. Οι συναλλαγές ορίζονται ως αλυσίδες αυτών των στοιχείων. Ωστόσο γράφοντας μεγαλύτερα και πιο πολύπλοκα σενάρια με scripts καθίσταται δύσκολο και για τον λόγο αυτό το εργαλείο προσφέρει ένα καταγραφέα με την μορφή ενός διακομιστή μεσολάβησης HTTP που μπορεί να μετασχηματίζεται. Έτσι, μπορεί να μετράται η κυκλοφορία (traffic) σε ένα σενάριο αιτήσεων HTTP.

Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να διαμορφωθεί ένα φορτίο εργασίας (workload) και να πραγματοποιηθούν μετρήσεις είτε χειροκίνητα μέσα από το πρόγραμμα περιήγησης, είτε κανονικά μετρώντας την κίνηση από μια εφαρμογή. Στο εκάστοτε σενάριο που δημιουργείται με την γλώσσα DSL χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες εντολές που καθορίζουν τις μετρήσεις και τον τρόπο όπου αυτές θα πραγματοποιηθούν. Κάποιες από τις πιο χαρακτηριστικές είναι: `nothingFor (duration)` για να γίνει μια παύση, `atonceUsers(number)` για να προστεθούν χρήστες, `rampUsers (number) over (duration)` για μια γραμμική αύξηση, και `constantUsersPerSec(number)`.

➤ Χρηστικότητα

Η χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου χαρακτηρίζεται εύκολη όταν κάποιος διαθέτει καλή γνώση της γλώσσας προγραμματισμού Scala. Ωστόσο για τις περισσότερες περιπτώσεις δεν απαιτείται τέλεια γνώση της συγκεκριμένης γλώσσας καθώς είναι εύκολα κατανοητή και υπάρχει μια συγκεκριμένη βάση εντολών για κάθε σενάριο που μπορεί να τροποποιηθεί. Η εμπειρία στην χρήση κάποιων άλλων εργαλείων με την παραδοσιακή προσέγγιση, ίσως είναι το σημείο που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μειονέκτημα καθώς υπάρχουν διαφορετικές ερμηνείες του Gatling σε όρους που χρησιμοποιούν άλλα εργαλεία, όπως η `thread` για τον χρήστη (virtual user) και η `injecting user` για την αύξηση εικονικών χρηστών. Μια έκθεση της μορφής HTML με τα στατιστικά στοιχεία των μετρήσεων σε ένα πίνακα, γίνεται αυτόματα μετά το τέλος κάθε σεναρίου μέτρησης. Τα στατιστικά περιλαμβάνουν μέγιστη ελάχιστη και μέση τιμή καθώς και τυπική απόκλιση. Απεικονίζεται ο χρόνος απόκρισης και ο ρυθμός απόκρισης και οι επιμέρους πράξεις των αιτήσεων χρονικά. Συμπερασματικά η αναφορά των μετρήσεων είναι πολύ εκτενής και κατανοητή [11].

• Grinder

Το Grinder είναι ένα εργαλείο βασισμένο στην αρχιτεκτονική JVM (Java Virtual Machine) και υποστηρίζει τη γλώσσα προγραμματισμού Jython και πρόσφατα και την Clojure. Στο συγκεκριμένο εργαλείο οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να εκτελούν μετρήσεις και χωρίς την κύρια κονσόλα καθώς υποστηρίζονται και λειτουργίες εκτός αυτής και επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα να εκτελούνται σε κάθε εικονική μηχανή πολλαπλά σενάρια. Από την στιγμή που η αρχιτεκτονική του βασίζεται σε JVM, η υποστήριξη σε ότι αφορά στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιεί είναι καθαρά σε Java APIs (Java Application Programming Interfaces) και επιπλέον, υπάρχει και η δυνατότητα για χρήση πρωτοκόλλου HTTP με την μορφή επέκτασης (plugin), το οποίο παρέχει πρόσθετα στατιστικά στοιχεία στην τελική αναφορά. Ο προτεινόμενος τρόπος πραγματοποίησης πολλαπλών σεναρίων με διαφορετικές μετρήσεις γίνεται με την χρήση μικρών σεναρίων (scripts) μέσα από το συνολικό σενάριο. Η καταγραφή των μετρήσεων γίνεται με παρόμοιο τρόπο όπως στο Gatling με την διαφορά ότι εδώ χρησιμοποιείται ένας TCP proxy διακομιστής που καταγράφει την κίνηση.

➤ Χρησιμότητα

Οι μετρήσεις στο εργαλείο αυτό πραγματοποιούνται αποκλειστικά μέσω της χρήσης κώδικα με παρεμβολή όπως απεικονίζει η εικόνα 6.9. (<http://grinder.sourceforge.net/g3/scripts.html>).

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η απλότητα και η ευελιξία, καθώς επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει οποιαδήποτε εντολή κώδικα θέλει την ώρα που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις.

```

1  from net.grinder.script import Test
2  from net.grinder.script.Grinder import grinder
3
4  test1 = Test(1, "Log method")
5
6  # Instrument the info() method with our Test.
7  test1.record(grinder.logger.info)
8
9  class TestRunner:
10     def __call__(self):
11         grinder.logger.info("Hello World")

```

Εικ.6.9 Εντολές για πραγματοποίηση δοκιμαστικού τέστ μετρήσεων στο εργαλείο Grinder.

Η συλλογή δεδομένων γίνεται σε δυο αρχεία εξόδου από τα οποία το πρώτο είναι ένα αρχείο καταγραφής που περιέχει συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία για όλες τις δοκιμές και μετρήσεις και δεύτερον ένα αρχείο που περιέχει μόνο τα στοιχεία για κάθε αίτημα και απάντηση που πραγματοποιήθηκε. Το δεύτερο αρχείο στην ουσία δεν έχει κάποια ιδιαίτερη αξία καθώς χρειάζεται ιδιαίτερη επεξεργασία και δεν παρέχει την δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων. Στον τομέα της καταγραφής των δεδομένων, υπάρχει η δυνατότητα αποτύπωσης σε γράφημα την ώρα που διενεργούνται οι μετρήσεις.

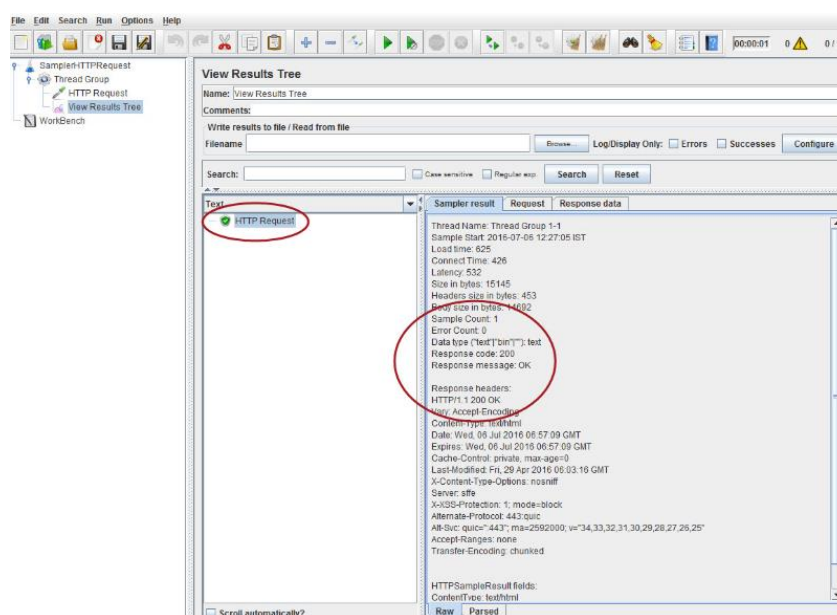
Το Gatling συνοπτικά θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένα εργαλείο που εξαρτάται αποκλειστικά από τις γνώσεις του εκάστοτε χρήστη στις γλώσσες προγραμματισμού Java και Python. Με βάση την γνώση που διαθέτει ο εκάστοτε χρήστης στις συγκεκριμένες γλώσσες μπορεί να δημιουργήσει σενάρια και να πραγματοποιήσει δοκιμές με αυξημένη πολυπλοκότητα και πλήθος μετρήσεων [12].

- **Apache JMeter**

Το συγκεκριμένο εργαλείο μετρήσεων απόδοσης είναι πιθανώς αυτό που έχει εξεταστεί και έχει μελετηθεί περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο, καθώς είναι το μακροβιότερο στην κατηγορία και επίσης αυτό που διαθέτει τα περισσότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Χρησιμοποιεί μια δική του ορολογία μέσα στο περιβάλλον του, αφού ενδεικτικά ορίζει μια διαδικασία ως Jmeter server και το μέσο στο οποίο εκτελείται η διαδικασία αυτή agent.

Το υπόλοιπο κομμάτι της διαδικασίας χρησιμοποιεί έναν πελάτη (client) όπως συνηθίζεται να λέγεται και τα τρία μέρη που ορίζουν την αρχιτεκτονική δομή του είναι: ένα επίπεδο κορυφής που καλείται ThreadGroup, δειγματολήπτες (samplers) που παράγουν το φορτίο (workload) και listeners που συλλέγουν τα δεδομένα από τις μετρήσεις. Η λίστα των πρωτοκόλλων που υποστηρίζει είναι εξίσου ευρεία όπως και τα χαρακτηριστικά που διαθέτει.

Πιο συγκεκριμένα μπορεί να υποστηρίξει τα πρωτόκολλα HTTP, FTP, JDBC, SOAP, LDAP, JMS, SMTP και αρκετά άλλα (Chandel et al., 2013) [10]. Τα σχέδια των πειραμάτων και των μετρήσεων αποθηκεύονται σε αρχεία της μορφής xml τα οποία από την φύση τους δεν είναι προσιτά και εύκολα σε κάποιον για ανάγνωση. Για τον λόγο αυτό το συγκεκριμένο εργαλείο διαθέτει ένα πολύ ισχυρό GUI (Graphical User Interface) ώστε ο χρήστης να μπορεί να δημιουργήσει τα σενάρια και τις μετρήσεις του όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 6.10 (<http://www.seleniumeasy.com/jmeter-tutorials/http-request-sampler-example>). Στο γραφικό αυτό περιβάλλον ο ορισμός του φορτίου σε μια περίπτωση γίνεται από τους δειγματολήπτες (samplers), υπάρχουν κάποιοι λογικοί ελεγκτές που δημιουργούν της δομή της συναλλαγής με τον διακομιστή και τέλος, κάποιοι χρονομετρητές που επιτρέπουν κάποια στατιστική μοντελοποίηση χρησιμοποιώντας ομοιόμορφες κατανομές Poisson.



Εικ.6.10 Σενάριο μέτρησης HTTP αιτήσεων.

➤ Χρησιμότητα

Το JMeter στον τομέα της χρησιμότητας μπορεί να θεωρηθεί πολύ βατό εργαλείο χάρη στο γραφικό περιβάλλον που προσφέρει στον χρήστη. Οι διάφορες μετρήσεις συγκεντρώνονται μέσα από τους listeners και μερικές από αυτές απεικονίζονται στο GUI ενώ κάποιες άλλες δημιουργούν πίνακες περιληπτικούς με στατιστικές αναλύσεις και δειγματοληπτικές κατανομές. Όλες οι μετρήσεις συμπεριλαμβάνουν καθυστέρηση (latency), χρόνο απόκρισης (response time), ρυθμό μεταφοράς δεδομένων (throughput) καθώς και τα ελάχιστα, μέγιστα και τις διαμέσους αυτών. Η άμεση παρακολούθηση των μετρήσεων δεν παρέχεται αρχικά στις δυνατότητες του εργαλείου, αλλά με την βοήθεια μιας επέκτασης (plugin) αυτό γίνεται εφικτό. Το συγκεκριμένο εργαλείο θεωρείται από τα πιο δυναμικά, καθώς είναι το πιο ικανό σε όλες τις κατηγορίες [13].

- **PerfCake**

Το PerfCake είναι το πιο πρόσφατο από τα εργαλεία που έχουν αναλυθεί μέχρι τώρα, καθώς παρουσιάστηκε πριν από δύο χρόνια περίπου. Το στοιχείο υψηλού επιπέδου ονομάζεται σενάριο και τα επιμέρους στοιχεία που το πλαισιώνουν είναι μια γεννήτρια παραγωγής φορτίου, ένας αποστολέας και ένα πρωτόκολλο. Το μοντέλο που στηρίζεται αυτό το εργαλείο είναι το κλασικό νήμα ανά χρήστη το οποίο στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται πιο αποτελεσματικά σε σχέση με άλλα εργαλεία. Τα πρωτόκολλα που υποστηρίζονται είναι τα εξής: HTTP, JDBC, JMS, LDAP και Web Sockets.

Στο φορτίο εργασίας και στα διάφορα σενάρια που μπορεί να δημιουργηθούν με τα μέχρι τώρα δεδομένα δεν υπάρχει πλήρης υποστήριξη. Ο μόνος τρόπος για να καθοριστεί ένα σενάριο είναι δηλώνοντας πολλαπλά μηνύματα τα οποία θα αποστέλλονται από τον αποστολέα, με βάση την χρήση του αλγορίθμου χρονοπρογραμματισμού εκ περιτροπής (Round Robin), χωρίς δομές ελέγχου.

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος διατηρεί μια ουρά FIFO (First In First Out) για διεργασίες σε κατάσταση ετοιμότητας. Στην συνέχεια η διεργασία στην αρχή της ουράς εκτελείται για ένα κλάσμα χρόνου ή μέχρι να τεθεί υπό αναστολή. Αμέσως μετά τοποθετούνται στο τέλος της ουράς και ο χρόνος δίνεται στην επόμενη διεργασία που βρίσκεται στην αρχή.

Όπως προαναφέραμε, ο μόνος τρόπος για να καθοριστεί ένα σενάριο είναι μέσω πολλαπλών μηνυμάτων εντούτοις, υπάρχει και ένας άλλος τρόπος για να εκτελεστούν προσαρμοσμένες λειτουργίες σε μια διαδικασία με την χρήση του Command Sender, που μπορεί να καλέσει οποιαδήποτε εντολή του συστήματος. Το γεγονός αυτό όμως διαθέτει ένα μειονέκτημα καθώς η χρήση εντολών εκτός του περιβάλλοντος του εργαλείου δημιουργεί στον χρήστη έλλειψη υποστήριξης στις μετρήσεις. Η μορφή XML που χρησιμοποιείται για την δημιουργία σεναρίων είναι εύκολα κατανοητή, ωστόσο υπάρχουν επεκτάσεις (plugins) για το προγραμματιστικό περιβάλλον Eclipse και IDEA προκειμένου να υπάρχει οπτικός σχεδιασμός των σεναρίων κατά την εκτέλεση των δοκιμών. Ένα μειονέκτημα στην χρησιμότητα είναι η έλλειψη βιβλιογραφίας και υποστήριξης καθώς μέχρι στιγμής υπάρχουν λίγα στοιχεία για βοήθεια προς τον χρήστη. Το κομμάτι της απεικόνισης των μετρήσεων είναι το δυνατό στοιχείο του PerfCake ή υπόσχεται να γίνει τουλάχιστον. Εκτός από το πλεονέκτημα της οπτικής απεικόνισης διαθέτει και κάποιες συγκεκριμένες έξυπνες αναφορές. Μια από αυτές είναι WarmUpReporter που εντοπίζει μέσα από τον χρόνο απόκρισης την καθυστέρηση που υπάρχει και προειδοποιεί για το σύστημα. Ένα άλλο έξυπνο εργαλείο ανάλυσης είναι η MemoryUsageReporter που προσδιορίζει ακόμα και μια πιθανή διαρροή μνήμης κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

Η αξιολόγηση του PerfCake θα μπορούσε να συνοψιστεί στο γεγονός πως είναι σε αρχικό στάδιο και φαίνεται πως κερδίζει έδαφος με βάση την προτίμηση των χρηστών. Υπόσχεται πολλά καθώς ήδη διαθέτει έξυπνα χαρακτηριστικά αλλά παρουσιάζει βεβαίως και κάποια σφάλματα που σαφώς θα βελτιωθούν με την πάροδο του χρόνου σε επόμενες εκδόσεις. [14].

Αναφορές

- [1] V. Bajpai and J. Schönwälder. A Survey on Internet Performance Measurement Platforms and Related Standardization Efforts. *Communications Surveys Tutorials*, IEEE, 17(3):1313–1341
- [2] Cho, K., Fukuda, K., Esaki, H., & Kato, A. (2006). The impact and implications of the growth in residential user-to-user traffic. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* (Vol. 36, No. 4, pp. 207-218). ACM.
- [3] Murray, M. and Claffy, K. (2001). “Measuring the Immeasurable: Global Internet Measurement Infrastructure,” in *Passive and Active Network Measurement Workshop (PAM)*. Amsterdam, Netherlands: RIPE NCC, pp. 159–167.
- [4] Sundaresan, S., De Donato, W., Feamster, N., Teixeira, R., Crawford, S., & Pescapè, A. (2012). Measuring home broadband performance. *Communications of the ACM*, 55(11), 100-109.
- [5] Sánchez, M. A., Otto, J. S., Bischof, Z. S., Choffnes, D. R., Bustamante, F. E., Krishnamurthy, B. and Willinger, W. (2013). “Dasu: Pushing experiments to the internet’s edge,” in *Proceedings of the 10th USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementation*, ser. nsdi’13. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, pp. 487–500. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2482626.2482672>
- [6] Sánchez, M. A., Otto, J. S., Bischof, Z. S., & Bustamante, F. E. (2011). Dasu-ISP characterization from the edge: a BitTorrent implementation. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* (Vol. 41, No. 4, pp. 454-455). ACM.
- [7] Bischof, Z.S., Otto, J.S., Sanchez, M.A., Rula, J.P., Choffnes, D.R., Bustamante, F.E. (2011): Crowdsourcing isp characterization to the network edge. In: *Proceedings of the first ACM SIGCOMM workshop on Measurements up the stack* (2011)
- [8] Molyneaux, I. (2009). *The Art of Application Performance Testing: Help for Programmers and Quality Assurance*. O’Reilly Media, Inc., 1st edition.
- [9] Andreolini, M., Cardellini, V., Colajanni, M.(2002). Benchmarking models and tools for distributed web-server systems. In Maria Carla Calzarossa and Salvatore Tucci, editors, *Performance Evaluation of Complex Systems: Techniques and Tools*, volume 2459 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 208–235. Springer Berlin Heidelberg.
- [10] Chandel, V., Patial, S., Guleria, S. (2013). ‘Comparative study of testing tools: Apache JMeter and Load Runner’, *International journal of computing and corporate research*, Volume 3, Issue 3.
- [11] Open-Source Load & Performance Testing Tool For Web Applications. Retrieval from <http://gatling.io/>
- [12] Java load testing framework. Retrieval from <http://grinder.sourceforge.net/g3/>
- [13] Open source application for testing functional behavior and measure performance. Retrieval from <http://jmeter.apache.org/>
- [14] Light weight performance testing framework. Retrieval from <https://www.perfcake.org/>

Κεφάλαιο 7 – Εργαλείο Net speed

7.1 Διαγράμματα εφαρμογής

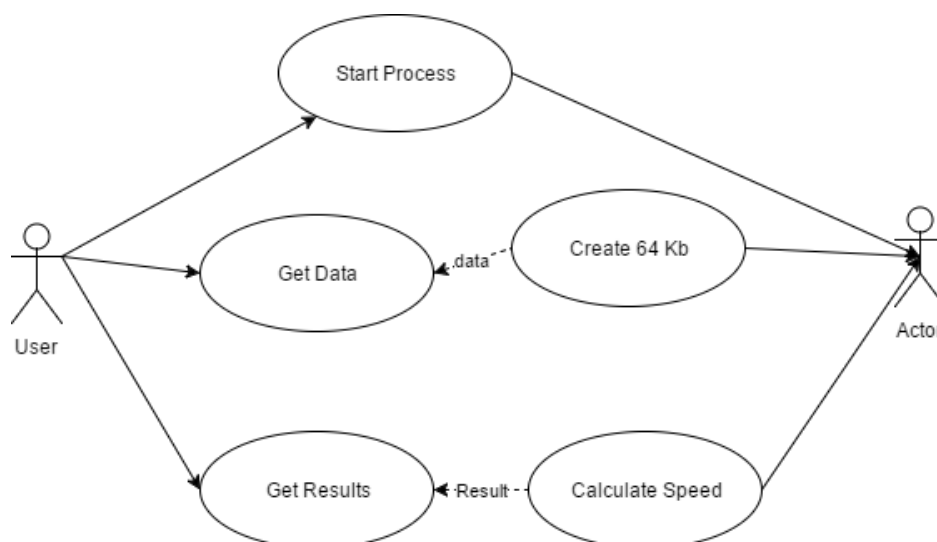
7.1.1 Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης

Τα διαγράμματα περιπτώσεων χρήσης χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση της λειτουργικότητας ενός συστήματος όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τον εξωτερικό χρήστη. Τέτοιου είδους διαγράμματα διαμερίζουν την λειτουργικότητα του συστήματος σε συναλλαγές που έχουν νόημα για τους χρήστες του συστήματος (users). Τα επιμέρους τμήματα της λειτουργικότητας ονομάζονται περιπτώσεις χρήσης (use cases) και το σύνολο των περιπτώσεων χρήσης συνιστούν τις συμπεριφορές του συστήματος. Η αξία του διαγράμματος περιπτώσεων χρήσης είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι καθορίζει τις λειτουργικές απαιτήσεις, οι οποίες θα αποτελέσουν σημείο αναφοράς σε όλη την διάρκεια ανάπτυξης του συστήματος.

Ο σημαντικότερος ρόλος του συγκεκριμένου διαγράμματος είναι ότι αποτελεί ένα μέσο επικοινωνίας μεταξύ πελατών και σχεδιαστών, όσον αφορά στις λειτουργικότητα του εκάστοτε συστήματος. Η απλότητα των συμβολισμών το καθιστά ιδανικό για αυτό το σκοπό, παρέχοντας την δυνατότητα εύκολης αντίληψης του συνόλου των λειτουργιών καθώς και εύκολης τροποποίησής τους. Κάποιες βασικές προϋποθέσεις τις οποίες ένα τέτοιο διάγραμμα πρέπει να πληρεί, μπορούμε να τις συνοψίσουμε ως εξής :

- Ξεκινάει πάντα από ένα χρήστη.
- Πρέπει να επιστρέφει κάποιου είδους πληροφορία στον χρήστη.
- Μια περίπτωση χρήσης είναι πλήρης με την έννοια ότι αποτελεί μια πλήρη περιγραφή. Μια περίπτωση χρήσης δεν θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί μέχρις ότου η τελική πληροφορία παραχθεί, ακόμη και αν απαιτούνται γιαυτό πολλαπλές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντικειμένων.

Στην εικόνα 7.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα περίπτωσης χρήσης που χαρακτηρίζει την εφαρμογή Network speed που υλοποιήσαμε.

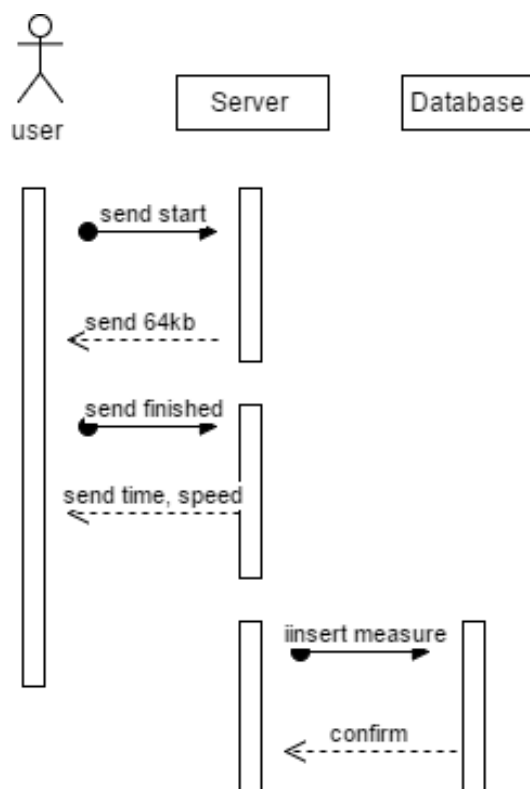


Εικ.7.1 Διάγραμμα περίπτωσης χρήσης για το εργαλείο **Network speed**.

Παρατηρούμε πως στο διάγραμμα περίπτωσης της εφαρμογής μας, υπάρχει ο χρήστης (user) και ο διακομιστής που χαρακτηρίζεται ως actor για το γεγονός ότι βρίσκεται εκτός της δομής του συστήματος. Αρχικά ο χρήστης ζητάει να πραγματοποιήσει μια μέτρηση και ξεκινάει η διαδικασία. Το αίτημα σε δεύτερο στάδιο αποστέλλεται στον διακομιστή και αυτός με την σειρά του παράγει kb μέχρις ότου δημιουργήσει τα 64 kb που έχουμε ορίσει ως μέγεθος αρχείου. Ο χρήστης ενημερώνεται για το host ip και το streaming των 64 kb (get data). Σε τελικό στάδιο υπολογίζεται η ταχύτητα και επιστρέφονται τα αποτελέσματα στον χρήστη (get results).

7.1.2 Διάγραμμα ακολουθίας

Τα διαγράμματα ακολουθίας παρουσιάζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των αντικειμένων σε δύο διαστάσεις. Η κάθετη διάσταση αντιστοιχεί στην κλίμακα του χρόνου, ενώ στην οριζόντια συμβολίζονται τα ανεξάρτητα αντικείμενα. Τα αντικείμενα συμβολίζονται με παραλληλόγραμμα μέσα στα οποία μπορεί να σημειωθεί το όνομα του στιγμιότυπου του αντικειμένου που συμμετέχει στο σενάριο. Στο σχήμα 7.2 φαίνεται το διάγραμμα ακολουθίας που αντιστοιχεί στην εφαρμογή Network speed την οποία εξετάζουμε. Τα ανεξάρτητα αντικείμενα στην περίπτωσή μας είναι ο χρήστης, ο διακομιστής και η βάση δεδομένων όπου καταχωρούνται οι μετρήσεις. Ο χρήστης στέλνει μια εντολή για την έναρξη της μέτρησης στον διακομιστή. Ο διακομιστής αρχίζει να παράγει kb και αφού έχει δημιουργήσει 64 kb υπολογίζεται ο χρόνος και η ταχύτητα λήψης από τον διακομιστή και αποστέλλεται στον χρήστη. Σε δεύτερο στάδιο ο διακομιστής επικοινωνεί με την βάση δεδομένων προκειμένου να καταχωρήσει την μέτρηση και γίνεται η επιβεβαίωση της καταχώρησης.



Εικ.7.2 Διάγραμμα ακολουθίας για το εργαλείο μέτρησης Network speed.

7.1.3 Διάγραμμα ροής

Πρόκειται για μια σχηματική παράσταση ενός αλγορίθμου ή μιας διαδικασίας, όπως στην περίπτωση που αναλύουμε και αφορά το εργαλείο μέτρησης της ταχύτητας του δικτύου. Αποτελείται από σύμβολα και λέξεις οι οποίες είναι σε θέση να περιγράψουν με λεπτομέρεια την διαδικασία αυτή.

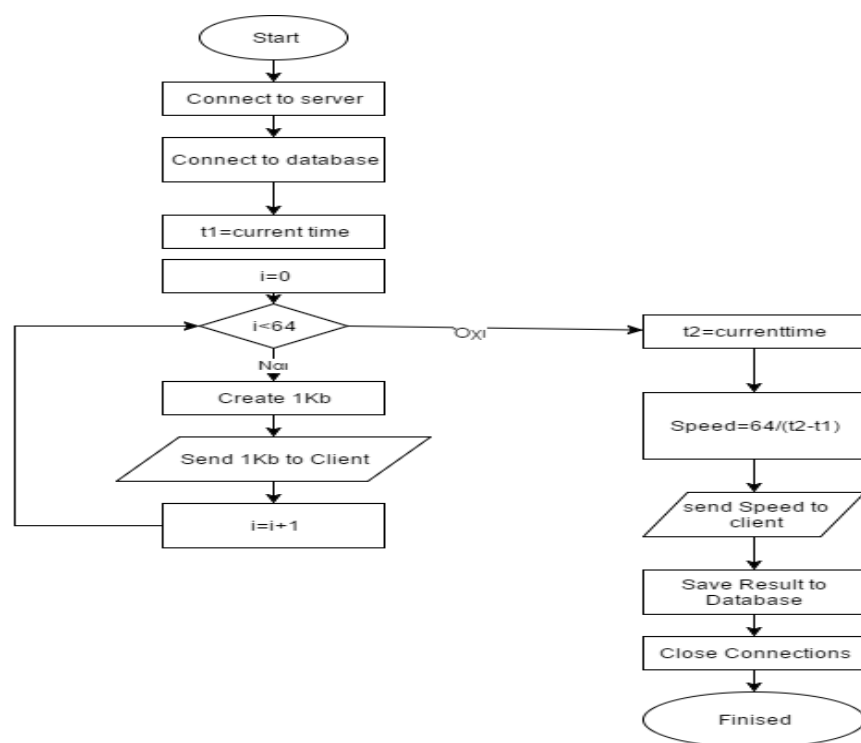
Ένα διάγραμμα ροής :

- Δίνει την δυνατότητα να μελετήσουμε καλά ένα πρόβλημα και να εμβαθύνουμε σε αυτό.
- Επιτρέπει την σχεδίαση μέρους του προγράμματος ή το πρόγραμμα στην ολότητα του.
- Δίνει μια χρήσιμη οπτική αναπαράσταση μιας διαδικασίας ή ενός αλγορίθμου.
- Μας επιτρέπει να διαπιστώσουμε εγκαίρως αν ο τρόπος που έχουμε σκεφτεί για να λύσουμε ένα πρόβλημα είναι δόκιμος και να βεβαιωθούμε για την ορθότητα της λύσης.

Στο σχήμα 7.3 απεικονίζεται το διάγραμμα ροής για το εργαλείο Network speed. Η αρχή γίνεται με την δημιουργία σύνδεσης του χρήστη με τον διακομιστή και την βάση δεδομένων. Στη συνέχεια ορίζεται ένας αρχικός χρόνος t_1 και μια μεταβλητή i που έχει αρχική τιμή 0. Ελέγχεται η συνθήκη $i < 64$ και στην περίπτωση που ισχύει η διαδικασία προχωράει με την εντολή δημιουργίας ενός (1) kb στον διακομιστή και με την αποστολή του πίσω στον πελάτη (client). Η μεταβλητή αυξάνεται κατά μια

μονάδα και γίνεται εκ νέου ο έλεγχος της συνθήκης $i < 64$, όπου και πάλι σε περίπτωση που ισχύει εκτελείται ακόμα μια επανάληψη και δημιουργείται ένα ακόμα (1) kb και αποστέλλεται στον client.

Όταν μετά από κάποιες επαναλήψεις η συνθήκη παύει να ισχύει δηλαδή το $i > 64$, καθορίζεται μια δεύτερη χρονική στιγμή T_2 και γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας σαν πηλίκο των εξήντα τεσσάρων (64) kb που έχουν δημιουργηθεί, προς την διαφορά των δύο χρονικών στιγμών ($T_2 - T_1$). Επόμενος βήμα και ολοκλήρωση της διαδικασίας είναι η αποθήκευση του αποτελέσματος της μέτρησης της ταχύτητας στην βάση δεδομένων.



Εικ.7.3 Διάγραμμα ροής για το εργαλείο μέτρησης Network speed.

7.2 Εφαρμογή Network speed

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, σε ότι αφορά στην απόδοση του διαδικτύου ή στην προσπάθεια βελτίωσης αυτής, βασικός παράγοντας προς μελέτη είναι η ταχύτητα του εκάστοτε δικτύου. Στο πλαίσιο αυτό και προκειμένου να υπάρχει μια ρεαλιστική προσέγγιση σε ό,τι αφορά στην μελέτη του παράγοντα ταχύτητα, δημιουργήσαμε ένα εργαλείο που πραγματοποιεί μετρήσεις και υπολογίζει την ταχύτητα λήψης (download speed) ενός δικτύου, ουσιαστικά μεταφέροντας μια σειρά από συγκεκριμένα δεδομένα και μετρώντας το χρόνο μετάδοσης στο δίκτυο. Το συγκεκριμένο εργαλείο μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα τοπικό δίκτυο αν εγκαταστήσουμε τοπικά έναν server στον

υπολογιστή μας ή εναλλακτικά μπορεί να αναρτηθεί στο διαδίκτυο μέσω διακομιστή. Στην περίπτωση που παρουσιάζουμε, το εργαλείο Network speed φιλοξενείται σε διακομιστή στο διαδίκτυο και έχει την δυνατότητα να μετράει την ταχύτητα ενός υπολογιστή συνδεδεμένου σε ένα δίκτυο, σε σχέση με την επικοινωνία του με τον κεντρικό διακομιστή. Στο πλαίσιο της υλοποίησης του συγκεκριμένου εργαλείου χρησιμοποιήθηκαν τεχνολογίες PHP σε ό,τι αφορά στην γλώσσα προγραμματισμού και MySQL για την βάση δεδομένων. Ένα ιδιαίτερο και καινοτόμο χαρακτηριστικό είναι η χρήση της εφαρμογής και από κινητές συσκευές, μέσα από την ενσωμάτωση της βιβλιοθήκης bootstrap στον προγραμματιστικό κώδικα.

7.3 Δομή εφαρμογής Network speed

7.3.1 Βάση δεδομένων

Προκειμένου να καταχωρηθούν οι διάφορες μετρήσεις δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων και ένας πίνακας με όνομα measures. Η δομή της βάσης που χρησιμοποιήσαμε απεικονίζεται στην εικόνα 7.4.

| # | Όνομα | Τύπος | Σύνθεση | Χαρακτηριστικά | Κενό | Προεπιλογή | Πρόσθετα |
|--------------------------|-------------|--------------|-----------------|----------------|------|------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | 1 id | int(11) | | | Όχι | Καμία | AUTO_INCREMENT |
| <input type="checkbox"/> | 2 measure | double(20,5) | | | Όχι | Καμία | |
| <input type="checkbox"/> | 3 datev | datetime | | | Όχι | Καμία | |
| <input type="checkbox"/> | 4 network | varchar(300) | utf8_unicode_ci | | Όχι | Καμία | |
| <input type="checkbox"/> | 5 ip_client | varchar(300) | utf8_unicode_ci | | Όχι | Καμία | |

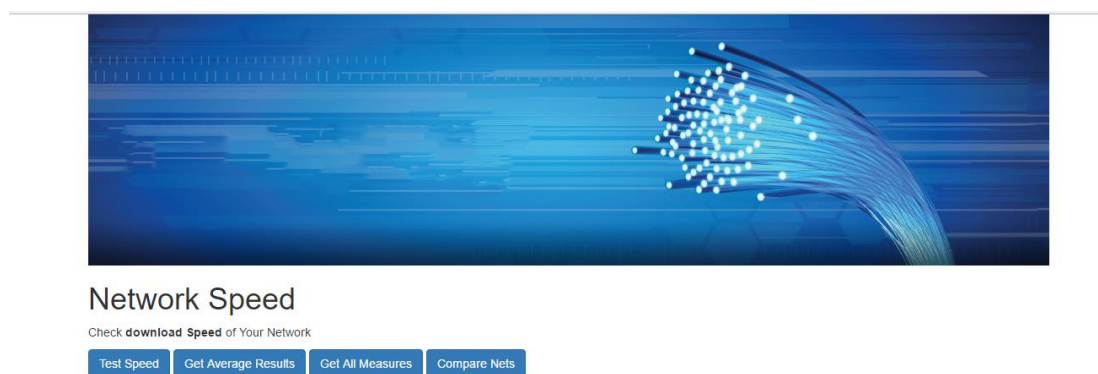
Εικ.7.4 Δομή της βάσης δεδομένων

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 7.5 αποθηκεύονται στοιχεία της κάθε μέτρησης τα οποία περιλαμβάνουν την τιμή της μέτρησης (1) την ημερομηνία και την ώρα που πραγματοποιήθηκε η μέτρηση (2). Επιπλέον καταχωρούμε το όνομα του δικτύου στο οποίο έγινε η μέτρηση (3) και τέλος αποθηκεύεται το ip του client που ζήτησε την μέτρηση (4). Έτσι με βάση τα παραπάνω μπορούμε να έχουμε ένα σύνολο αποθηκευμένων στοιχείων από διαφορετικά δίκτυα.

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---------|-------------|---------------------|---|
| | measure | datev | network | ip_client |
| id | 1 | 0.00000 | 0000-00-00 00:00:00 | |
| | 2 | 26446.28100 | 2017-05-11 07:08:55 | 178-99-117.static.cyta.gr |
| | 3 | 28828.82900 | 2017-05-11 07:09:42 | 178-99-117.static.cyta.gr |
| | 4 | 32487.31000 | 2017-05-11 07:09:49 | 178-99-117.static.cyta.gr |
| | 5 | 25196.85000 | 2017-05-11 07:23:44 | 178-99-117.static.cyta.gr |
| | 6 | 26556.01700 | 2017-05-11 07:29:59 | 178-99-117.static.cyta.gr |
| | 7 | 19814.24100 | 2017-05-11 07:34:45 | internet-31-217-176-17.patren.cosmote.net |
| | 8 | 21052.63200 | 2017-05-11 07:34:54 | internet-31-217-176-17.patren.cosmote.net |
| | 9 | 28070.17500 | 2017-05-11 07:38:20 | 178-99-117.static.cyta.gr |
| | 10 | 26666.66700 | 2017-05-11 07:41:41 | 178-99-117.static.cyta.gr |
| | 11 | 30769.23100 | 2017-05-11 08:00:30 | 178-99-117.static.cyta.gr |
| | 12 | 29493.08800 | 2017-05-11 08:13:18 | 178-99-117.static.cyta.gr |

Εικ.7.5 Η βάση δεδομένων με τα στοιχεία measure, date, network, ip client.

Για να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε μετρήσεις το πρώτο βήμα είναι να πληκτρολογήσουμε σε ένα browser την διεύθυνση της σελίδας μας (www.geoarch.gr/test2) και τότε λαμβάνουμε το αποτέλεσμα της εικόνας 7.6.




Εικ.7.6 Αρχική οθόνη εργαλείου Network speed.

Παρατηρούμε πως στην κεντρική σελίδα υπάρχουν τέσσερις (4) διαφορετικές επιλογές. Μέσα από τις επιλογές αυτές έχουμε την δυνατότητα να κάνουμε ένα τεστ μέτρησης της ταχύτητας (Test speed) και σαν δεύτερη επιλογή να υπολογίσουμε τον μέσο όρο του συνόλου των μετρήσεων (Get average results). Επιπλέον, με την επιλογή εμφάνισης όλων των μετρήσεων (Get all measures) απεικονίζεται το

σύνολο των μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί και τέλος, επιλέγοντας την σύγκριση (compare nets) γίνεται μια συγκριτική αξιολόγηση με την χρήση ραβδογράμματος.

7.3.2 Μέτρηση ταχύτητας (Test speed)

Επιλέγοντας το πεδίο αυτό αρχικά έχουμε την διεύθυνση ip του δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο υπολογιστής μας. Σε επόμενο στάδιο βλέπουμε πως εκτελείται το streaming γεγονός που μας δείχνει πως αποστέλλεται το script μεγέθους 64kb που δημιουργήσαμε για να επικοινωνήσουμε με τον διακομιστή. Στην συνέχεια αναγράφεται ο χρόνος στον οποίο ολοκληρώθηκε η μέτρηση και τέλος παίρνουμε το αποτέλεσμα που μας δείχνει την ταχύτητα που μέτρησε ο χρήστης για την επικοινωνία του με τον διακομιστή τόσο σε Kb/s όσο και σε Mb/s και η οποία αποθηκεύεται στην βάση δεδομένων.



Network Speed
Check download Speed of Your Network

Test Speed Get Average Results Get All Measures Compare Nets

Host IP: 46.176.39.142
Host IP: ppp046176039142.access.hol.gr
streaming 64000 Kb...

Test finished in 4.02 second.

Your speed is 15920.398 Kb/s (124.38 Mbit/s)

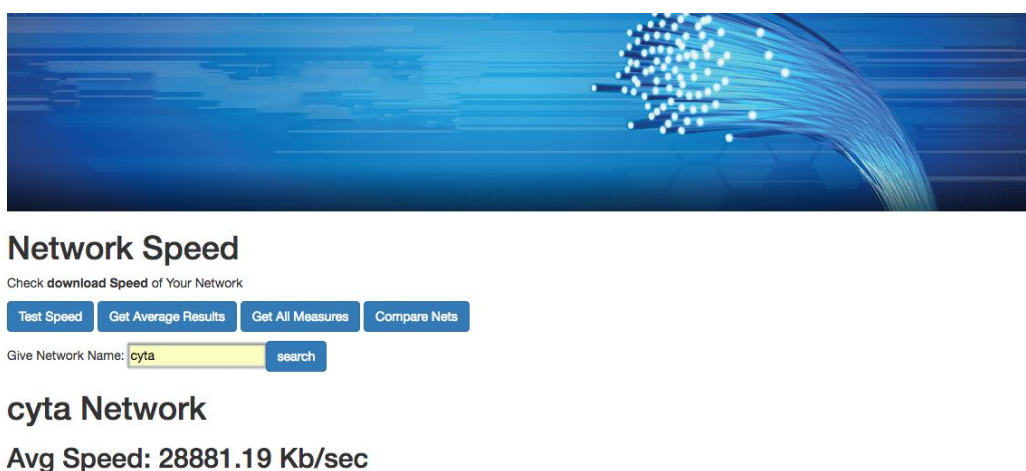
Εικ.7.7 Πραγματοποίηση μέτρησης ταχύτητας στο εργαλείο Network speed.

7.3.3 Μέσος όρος μετρήσεων (Get average results)

Εκτελώντας την συγκεκριμένη εντολή έχουμε την δυνατότητα δυο επιλογών. Η πρώτη αφορά στον μέσο όρο του συνόλου των μετρήσεων που έχουμε πραγματοποιήσει μέχρι εκείνη την στιγμή όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 7.8. Η δεύτερη περίπτωση μέσου όρου είναι να επιλέξουμε ένα συγκεκριμένο δίκτυο, αφού πληκτρολογήσουμε το όνομα στο κατάλληλο πεδίο (given network name) και να πάρουμε σαν αποτέλεσμα τον μέσο όρο των μετρήσεων μόνο από το συγκεκριμένο δίκτυο γεγονός που απεικονίζεται στην εικόνα 7.9.



Εικ.7.8 Υπολογισμός μέσου όρου ταχύτητας για το σύνολο των δικτύων.



Εικ.7.9 Υπολογισμός μέσου όρου ταχύτητας για ένα συγκεκριμένο δίκτυο.

7.3.4 Σύνολο μετρήσεων (Get all measures)

Αν επιλέξουμε την εντολή αυτή παίρνουμε σαν αποτέλεσμα μια συνολική κατάσταση των μετρήσεων που έχουμε πραγματοποιήσει. Και σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να κάνουμε αναζήτηση μεμονωμένα για ένα δίκτυο, με βάση το όνομα του ή εναλλακτικά με μια πιο επιλεκτική αναζήτηση μέσα από την ημερομηνία και το έτος. Η εικόνα 7.10 απεικονίζει ένα στιγμιότυπο του σύνολο των μετρήσεων που έχουμε πραγματοποιήσει.

For All Networks

| id_measure | Date | Network | Measure |
|------------|---------------------|---------------------------------|----------|
| 34 | 2017-05-18 10:52:24 | vpn-out.noc.unipi.gr | 36994.22 |
| 33 | 2017-05-18 09:58:29 | vpn-out.noc.unipi.gr | 30476.19 |
| 32 | 2017-05-17 17:11:40 | 46-69-238.adsl.cyta.gr | 30622.01 |
| 31 | 2017-05-17 16:56:11 | 46-69-238.adsl.cyta.gr | 34224.6 |
| 30 | 2017-05-16 13:50:31 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 36571.43 |
| 29 | 2017-05-16 13:49:32 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 42666.67 |
| 28 | 2017-05-16 13:48:35 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 37209.3 |
| 27 | 2017-05-16 13:48:20 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 11573.24 |
| 26 | 2017-05-16 13:47:58 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 30476.19 |
| 25 | 2017-05-16 13:47:21 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 35555.56 |
| 24 | 2017-05-16 13:41:03 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 10613.6 |
| 23 | 2017-05-16 13:39:04 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 12213.74 |

Εικ.7.10 Απεικόνιση του συνόλου των μετρήσεων στο εργαλείο Network speed.

Η επιλεκτική αναζήτηση για παράδειγμα με βάση την ημερομηνία, μας δίνει ένα αποτέλεσμα που φαίνεται στην εικόνα 7.11. Επιλέγουμε να εμφανίσουμε τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για παράδειγμα στις 16-05.

Check **download Speed** of Your Network

Give Network Name:

Date:

For All Networks

| id_measure | Date | Network | Measure |
|------------|---------------------|---------------------------------|----------|
| 30 | 2017-05-16 13:50:31 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 36571.43 |
| 29 | 2017-05-16 13:49:32 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 42666.67 |
| 28 | 2017-05-16 13:48:35 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 37209.3 |
| 27 | 2017-05-16 13:48:20 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 11573.24 |
| 26 | 2017-05-16 13:47:58 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 30476.19 |
| 25 | 2017-05-16 13:47:21 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 35555.56 |
| 24 | 2017-05-16 13:41:03 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 10613.6 |
| 23 | 2017-05-16 13:39:04 | ppp-94-64-180-59.home.otenet.gr | 12213.74 |

Εικ.7.11 Σύνολο μετρήσεων, που επιλέχθηκαν με βάση την ημερομηνία.

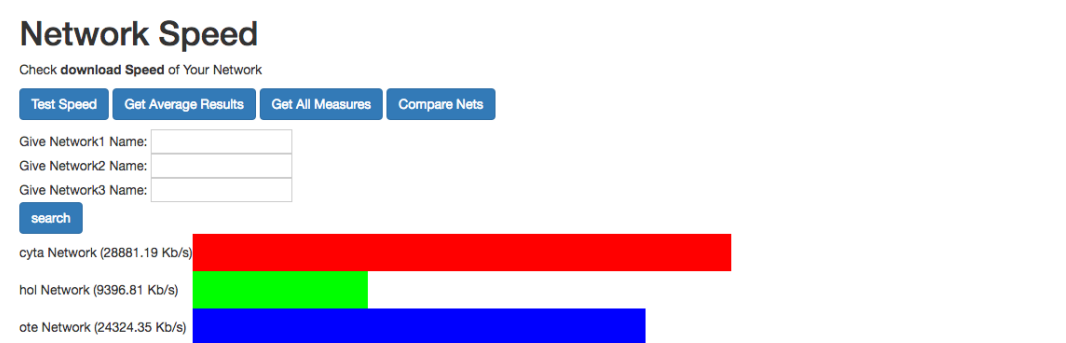
7.3.5 Σύγκριση μετρήσεων δικτύων (Compare nets)

Η τελική εντολή μας δίνει την δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε σύγκριση με την χρήση ραβδογράμματος μεταξύ τριών δικτύων. Δίνοντας το όνομα των τριών δικτύων της επιλογής μας στα κατάλληλα πεδία παίρνουμε γραφικά την σύγκριση των μέσων ταχυτήτων που μετρήθηκαν για τα συγκεκριμένα δίκτυα. Αν δεν συμπληρώσουμε τα πεδία με κάποιο όνομα δικτύου τότε εμφανίζεται η μέση μέτρηση για το σύνολο των δικτύων. Η εικόνα 7.12 παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο από την σύγκριση των μέσων ταχυτήτων δύο δικτύων των (cyta- ote) με τον συνολικό μέσο όρο των ταχυτήτων όλων των δικτύων.



Εικ.7.12 Σύγκριση μέσων ταχυτήτων δυο δικτύων σε σχέση με την μέση ταχύτητα του συνόλου δικτύων

Η εικόνα 7.13 μας δείχνει την σύγκριση των μέσων ταχυτήτων μεταξύ τριών διαφορετικών δικτύων της επιλογής μας (cyta- hol- ote).



Εικ.7.13 Σύγκριση μέσων ταχυτήτων τριών διαφορετικών δικτύων.

Κεφάλαιο 8

8.1 Συμπεράσματα

Η ραγδαία αύξηση της χρήσης του διαδικτύου τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει την επιστημονική κοινότητα σε αναζήτηση κατευθύνσεων για την βελτίωσή του. Η βελτίωση αυτή προϋποθέτει αρχικά την βελτίωση των υπαρχόντων πρωτοκόλλων τόσο σε ασύρματη όσο και σε ενσύρματη επικοινωνία, στο κομμάτι της απόδοσης. Προκειμένου να επιτευχθούν αυτές οι διορθωτικές κινήσεις βασική προϋπόθεση είναι να υπάρχουν τα κατάλληλα δεδομένα που θα αποτελέσουν την βάση για αυτές τις αλλαγές. Τα δεδομένα αυτά είναι μετρήσεις κάποιων παραμέτρων που πραγματοποιούνται από συγκεκριμένα εργαλεία τέτοιου σκοπού και αποσκοπούν στην επεξεργασία τους σε δεύτερο στάδιο, ώστε να αντιμετωπιστεί το κομμάτι της απόδοσης και η ποιότητα υπηρεσιών του διαδικτύου. Η ποιότητα υπηρεσίας είναι ένας παράγοντας που ενδιαφέρει άμεσα τόσο τους τηλεπικοινωνιακούς πάροχους όσο και τις επιχειρήσεις που στηρίζουν την λειτουργία τους στο διαδίκτυο.

Στην παρούσα διατριβή αρχικά έγινε μια προσέγγιση του παράγοντα της απόδοσης μέσα από τα διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνιών. Ακολούθησε μια επισκόπηση ενδεδειγμένων και αξιόπιστων εργαλείων που έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιούν μετρήσεις πάνω σε αυτή την κατεύθυνση. Στα πλαίσια της υλοποίησης παρουσιάστηκε ένα εργαλείο που δημιουργήσαμε το οποίο πραγματοποιεί μέτρηση της ταχύτητας λήψης σε ένα δίκτυο και μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε εικόνα για την ποιότητα της σύνδεσής μας και τα χαρακτηριστικά της (ταχύτητα λήψης). Το ότι λειτουργεί σε οποιοδήποτε δίκτυο και ότι υπολογίζει τον μέσο όρο των μετρήσεων, μας παρέχει μια πιο αντικειμενική μέτρηση, είναι δύο στοιχεία που μπορούμε να επισημάνουμε σαν ιδιαιτερότητες. Επιπλέον ένα ακόμα γεγονός που θα πρέπει να επισημάνουμε είναι πως τα δεδομένα καταχωρούνται σε μια βάση δεδομένων ώστε να έχουμε ανάλυση και επεξεργασία ανά πάσα στιγμή. Η εφαρμογή λειτουργεί και χρησιμοποιείται τόσο από κινητό τηλέφωνο όσο και από ipad με την χρήση της βιβλιοθήκης bootstrap που έχει ενσωματωθεί στον κώδικα.

8.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Η παρούσα εφαρμογή μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο βήμα για την δημιουργία μιας εφαρμογής που θα είναι πιο ολοκληρωμένη παρέχοντας και μέτρηση της ταχύτητας μεταφόρτωσης δεδομένων (upload speed), σε επόμενο στάδιο. Επιπλέον για να υπάρχει η δυνατότητα λήψης αξιόπιστων και πιο αντικειμενικών αποτελεσμάτων μια πιθανή μελλοντική ενέργεια θα μπορούσε να είναι η δοκιμή και η πραγματοποίηση μετρήσεων σε διάφορους διακομιστές τοποθετημένους σε διαφορετικές τοποθεσίες. Η τοποθεσία είναι ένας παράγοντας που αναμφισβήτητα επηρεάζει τις μετρήσεις για το ίδιο δίκτυο, συνεπώς μέσα από ένα σύνολο μετρήσεων από διαφορετικούς διακομιστές και διαφορετικές τοποθεσίες θα μπορεί να υπάρξει ένα πιο αντικειμενικό αποτέλεσμα ακόμα και μέσα από τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας για κάθε δίκτυο. Τέλος, πιθανή επέκταση και εξέλιξη της εφαρμογής

θα ήταν η πραγματοποίηση μετρήσεων ορίζοντας κάποια σταθερά σημεία αναφοράς αποστολής και λήψης από συγκεκριμένα δίκτυα γεγονός που μας επιτρέπει να παίρνουμε καθημερινά μέτρηση και τελικά να έχουμε την μέση μέτρηση ανά ημέρα. Με αυτό τον τρόπο, αξιολογούμε τα δίκτυα, δημιουργώντας μια χρονοσειρά μέσω μετρήσεων που μπορεί να αναλυθεί και να παραγάγει τις επιδόσεις των δικτύων και χρονικά.

Παράρτημα κώδικα εφαρμογής

Κώδικας Εφαρμογής

Index.php

```
<!DOCTYPE html>

<html lang="en">

<head>

  <title>Speed Measures</title>

  <meta charset="utf-8">

  <!-- Καλούμε την βιβλιοθήκη του Bootstrap που δίνει πιο όμορφη σχεδίαση στην σελίδα μας και ταυτόχρονα προσαρμοσμένη στις κινητές συσκευές -->

  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">

  <link rel="stylesheet"
href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/css/bootstrap.min.css">

  <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.2.1/jquery.min.js"></script>

  <script src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/js/bootstrap.min.js"></script>

</head>

<body>

<div class="container">

  <!-- Η εικόνα του Banner -->

  <img src='banner.jpg' width=100%><br>

  <h1>Network Speed</h1>

  <?php

  // καλούμε την σελίδα μενού που περιλαμβάνει το μενού που έχουμε δημιουργήσει για την σελίδα
  μας

  include('menu.php');
```

```
?>  
</div>  
</body>  
</html>
```

Το μενού menu.php

<!-- Η επιλογές μας. Η σελίδα sp1.php μετρά την ταχύτητα download του δικτύου μας. Η σελίδα sp2.php εμφανίζει τον μέσο όρο αποτελεσμάτων που έχουμε μέχρι εκείνη την στιγμή ανά δίκτυο. Η σελίδα sp3.php εμφανίζει λίστα με όλες τις μετρήσεις μας και δίνει και εργαλείο αναζήτησης σε μία περίοδο, δίκτυο . Η σελίδα sp4.php κάνει σύγκριση μέχρι 3 δίκτυα μεταξύ τους -->

```
<p>Check <b>download Speed</b> of Your Network</p>  
<p>  
<a href='sp1.php'>  
<button type="button" class="btn btn-primary">Test Speed</button>  
</a>  
<a href='sp2.php'>  
<button type="button" class="btn btn-primary">Get Average Results</button>  
</a>  
<a href='sp3.php'>  
<button type="button" class="btn btn-primary">Get All Measures</button>  
</a>  
<a href='sp4.php'>  
<button type="button" class="btn btn-primary">Compare Nets</button>  
</a>  
</p>
```

Πραγματοποίηση μέτρησης sp1.php

```
<!DOCTYPE html>

<html lang="en">

<head>

<title>Speed Measures</title>

<meta charset="utf-8">

<!-- Καλούμε την βιβλιοθήκη του Bootstrap που δίνει πιο όμορφη σχεδίαση στην σελίδα μας και
ταυτόχρονα προσαρμοσμένη στις κινητές συσκευές -->

<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">

<link rel="stylesheet"
href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/css/bootstrap.min.css">

<script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.2.1/jquery.min.js"></script>

<script src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/js/bootstrap.min.js"></script>

</head>

<body>

<div class="container">

<!-- Η εικόνα του Banner -->

<img src='banner.jpg' width=100%><br>

<h1>Network Speed</h1>

<?php include('menu.php') ?>

<p>

<?php

// παίρνουμε τα στοιχεία του υπολογιστή που ζητά από τον server την μέτρηση
$srv=$_SERVER['REMOTE_ADDR'];

// εμφανίζει τα στοιχεία του client
echo "<h2>Host IP: ".$srv."</h2>";

// παίρνει την IP του client και την εμφανίζει
```

```
$hostname = gethostbyaddr($srv);

echo "<h2>Host IP: ".$hostname."</h2>";

// δηλώνει 64 Mbyte ότι θα στείλει

$kb=64000;

echo "streaming $kb Kb...<!-";

flush();

// ξεκινά μέτρηση του χρόνου

$time = explode(" ",microtime());

$start = $time[0] + $time[1];

// στέλνει 1Kb ανά φορά για 64000 φορές

for($x=0;$x<$kb;$x++){

// στέλνει το 1Kb

echo str_pad("", 1024, '.');

// καθαρίζει την έξοδο και την είσοδο

flush();

}

// σταματά το χρόνο και παίρνει μέτρηση

$time = explode(" ",microtime());

$finish = $time[0] + $time[1];

// έχουμε την μέτρηση του χρόνου συνολικά

$deltat = round($finish - $start,2);

// παίρνουμε τον μέσο όρο και υπολογίζουμε την ταχύτητα που είναι τα Kb που στείλαμε διά του χρόνου

$v=round($kb / $deltat, 3);

// μετατρέπουμε και σε MBit/sec

$v2=round(8.0*$v / 1024, 2);

// εμφανίζουμε τα αποτελέσματα
```

```
echo "<br><br>
<h2>
Test finished in $deltat second.<br><br> Your speed is $v Kb/s ( $v2 Mbit/s )
</h2>";

// καταχωρούμε στην βάση δεδομένων

$sql1="INSERT INTO `geo_speeddb`.`measures` (`id`, `measure`, `datev`, `network`, `ip_client`)
VALUES (NULL, '$v', now(), '$hostname', '$srv');";

$conn= mysqli_connect("localhost", "geo_speeduser", "1234@", "geo_speeddb");

mysqli_query($conn,$sql1);

?>

</p>
<br><br>
</div>
</body>
</html>
```

Απεικόνιση μέσου όρου sp2.php

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
<title>Speed Measures</title>
<meta charset="utf-8">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
<!-- Καλούμε την βιβλιοθήκη του Bootstrap που δίνει πιο όμορφη σχεδίαση στην σελίδα μας και
ταυτόχρονα προσαρμοσμένη στις κινητές συσκευές -->
<link rel="stylesheet"
href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/css/bootstrap.min.css">
```

```
<script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.2.1/jquery.min.js"></script>
<script src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/js/bootstrap.min.js"></script>
</head>
<body>
<div class="container">
  <!-- Η εικόνα του Banner -->
  <img src='banner.jpg' width=100%><br>
  <h1>Network Speed</h1>
  <?php include('menu.php') ?>
  <p>
  <!-- Φόρμα αναζήτηση -->
  <form action="" method='post'>
  Give Network Name: <input type=text value="" name=vnet><input type='submit' class='btn btn-
  primary' value='search'>
  </form>
  <?php
  // παίρνουμε το δίκτυο που ζητάμε στην αναζήτηση
  $s=@$_POST['vnet'];
  // σύνδεση με την βάση
  $conn= mysqli_connect("localhost", "geo_speeduser", "1234@", "geo_speeddb");
  // αν δεν έχουμε δώσει αναζήτηση παίρνει από όλα τα δίκτυα μέσω όρο αλλιώς παίρνει από το
  δίκτυο που ταιριάζουν τα στοιχεία αναζήτησης
  if($s=="")
    echo "<h1>For All Networks</h1>";
  else
    echo "<h1>$s Network</h1>";
  // ερώτημα στην βάση για υπολογισμό μέσου όρου ταχύτητας
```



```
$sql1="select avg(measure) as v from `geo_speeddb`.`measures` where network like '%$s%';  
  
// εκτέλεση ερωτήματος  
$r=mysqli_query($conn,$sql1);  
  
// παίρνουμε το αποτέλεσμα του ερωτήματος και το εμφανίζουμε  
$f=mysqli_fetch_array($r);  
  
echo "<h2>Avg Speed: ".round($f['v'],2)." Kb/sec (" .round(8*$f['v']/1000.0,2)." Mbit/sec ) </h2>";  
  
?>  
  
</p>  
  
<br><br>  
  
</div>  
  
</body>  
  
</html>
```

Αναλυτικά στοιχεία sp3.php

```
<!DOCTYPE html>  
  
<html lang="en">  
  
<head>  
  
<title>Speed Measures</title>  
  
<meta charset="utf-8">  
  
<!-- Καλούμε την βιβλιοθήκη του Bootstrap που δίνει πιο όμορφη σχεδίαση στην σελίδα μας και  
ταυτόχρονα προσαρμοσμένη στις κινητές συσκευές -->  
  
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">  
  
<link rel="stylesheet"  
href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/css/bootstrap.min.css">  
  
<script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.2.1/jquery.min.js"></script>  
  
<script src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/js/bootstrap.min.js"></script>
```

```
</head>

<body>

<div class="container">

  <!-- Η εικόνα του Banner και το μενού -->

  <img src='banner.jpg' width=100%><br>

  <h1>Network Speed</h1>

  <?php include('menu.php') ?>

  <p>

  <!-- Φόρμα αναζήτηση -->

  <form action="" method='post'>

  <table>

  <tr><td>Give Network Name:</td><td> <input type=text value="" name=vnet></td></tr>

  <tr><td>Date: </td><td><input type=text value="" name=vdate></td></tr>

  <tr><td></td><td><input type='submit' class='btn btn-primary' value='search'></td></tr>

  </table>

  </form>

  <br><br>

  <?php

  // στοιχεία από την φόρμα αναζήτησης

  $s=@$_POST['vnet'];

  $s2=@$_POST['vdate'];

  // σύνδεση με την βάση

  $conn= mysqli_connect("localhost", "geo_speeduser", "1234@", "geo_speeddb");

  // αν δεν έχουμε δώσει αναζήτηση παίρνει από όλα τα δίκτυα μέσο όρο αλλιώς παίρνει από το
  δίκτυο που ταιριάζουν τα στοιχεία αναζήτησης

  if($s=="")

    echo "<h1>For All Networks</h1>";
```

```
else

    echo "<h1>${s} Network</h1>";

    // ερώτημα για την συλλογή όλων των στοιχείων που ταιριάζουν στην αναζήτηση
    $sql1="select * from `geo_speeddb`.`measures` where network like '%${s}%' and datev like '%${s}2%'
    order by datev desc";

    echo "<div class='table-responsive'><table class='table'>";

    echo "<tr><th>id_measure</th><th>Date</th><th>Network</th><th>Measure
    (Kbyte/sec)</th><th>Measure (Mbit/sec)</th></tr>";

    // εκτέλεση ερωτήματος
    $r=mysqli_query($conn,$sql1);

    // εμφανίζουμε ένα ένα τα αποτελέσματα
    while( $f=mysqli_fetch_array($r))
    {
        echo
        "<tr><td>${f[id]}</td><td>${f[datev]}</td><td>${f[network]}</td><td>".round(${f['measure']},2)."</td><td
        >".round(8*${f['measure']}/1000,2)."</td></tr>";
    }

    echo "</table></div>";

?>

</p>

<br><br>

</div>

</body>

</html>
```

Σύγκριση sp4.php

```
<!DOCTYPE html>

<html lang="en">

<head>

  <title>Speed Measures</title>

  <meta charset="utf-8">

  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">

  <!-- Καλούμε την βιβλιοθήκη του Bootstrap που δίνει πιο όμορφη σχεδίαση στην σελίδα μας και
  ταυτόχρονα προσαρμοσμένη στις κινητές συσκευές -->

  <link rel="stylesheet"
href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/css/bootstrap.min.css">

  <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.2.1/jquery.min.js"></script>

  <script src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/js/bootstrap.min.js"></script>

</head>

<body>

<div class="container">

  <!-- Η εικόνα του Banner και το μενού -->

  <img src='banner.jpg' width=100%><br>

  <h1>Network Speed</h1>

  <?php include('menu.php') ?>

  <p>

  <!-- Φόρμα αναζήτηση -->

  <form action="" method='post'>

  Give Network1 Name: <input type=text value="" name=vnet1><br>

  Give Network2 Name: <input type=text value="" name=vnet2><br>

  Give Network3 Name: <input type=text value="" name=vnet3><br>

  <input type='submit' class='btn btn-primary' value='search'>

</form>
```

```
<?php

// στοιχεία από την φόρμα αναζήτησης

$s1=@$_POST['vnet1'];
$s2=@$_POST['vnet2'];
$s3=@$_POST['vnet3'];

// σύνδεση με βάση

$conn= mysqli_connect("localhost", "geo_speeduser", "1234@", "geo_speeddb");

// αν δεν έχουμε δώσει το 1ο δίκτυο παίρνει από όλα τα δίκτυα

if($s1=="")
    $l1="All Networks";
else
    $l1="$s1 Network";

// αν δεν έχουμε δώσει το 2ο δίκτυο παίρνει από όλα τα δίκτυα

if($s2=="")
    $l2="All Networks";
else
    $l2="$s2 Network";

// αν δεν έχουμε δώσει το 3ο δίκτυο παίρνει από όλα τα δίκτυα

if($s3=="")
    $l3="All Networks";
else
    $l3="$s3 Network";

// διαιρούμε με N την μέση ταχύτητα που δίνει για κάθε δίκτυο ώστε η μπάρα να χωρά στην οθόνη
// μας

$N=50;

// υπολογισμός της μέσης ταχύτητας με ερώτημα στην βάση για το 1ο δίκτυο

$sql1="select avg(measure) as v from `geo_speeddb`.`measures` where network like '%$s1%'";
```

```

$r1=mysqli_query($conn,$sql1);
$f1=mysqli_fetch_array($r1);
$m1=$f1['v']/$N;

// υπολογισμός της μέσης ταχύτητας με ερώτημα στην βάση για το 2ο δίκτυο
$sql2="select avg(measure) as v from `geo_speeddb`.`measures` where network like '%$s2%';
$r2=mysqli_query($conn,$sql2);
$f2=mysqli_fetch_array($r2);
$m2=$f2['v']/$N;

// υπολογισμός της μέσης ταχύτητας με ερώτημα στην βάση για το 3ο δίκτυο
$sql3="select avg(measure) as v from `geo_speeddb`.`measures` where network like '%$s3%';
$r3=mysqli_query($conn,$sql3);
$f3=mysqli_fetch_array($r3);
$m3=$f3['v']/$N;

// γραφική εμφάνιση κάθε δικτύου σαν γραμμές ενός πίνακα. Σε κάθε γραμμή ορίζουμε ένα div με
συγκεκριμένο χρώμα για το 1ο,2ο,3ο δίκτυο και πλάτος ανάλογο του μέσου όρου τους

echo "<table>";

echo "<tr><td>$l1 (" .round(8*$f1['v']/1000,2)." Mbps)</td><td><div style='height:40px;
width:".round($m1,0)."px; background-color:#f00;'> </div></td></tr>";
echo "<tr><td>$l2 (" .round(8*$f2['v']/1000,2)." Mbps)</td><td><div style='height:40px;
width:".round($m2,0)."px; background-color:#0f0;'> </div></td></tr>";
echo "<tr><td>$l3 (" .round(8*$f3['v']/1000,2)." Mbps)</td><td><div style='height:40px;
width:".round($m3,0)."px; background-color:#00f;'> </div></td></tr>";
echo "</table>";
?>

</p>

<br><br><br><br>

</div>

</body>

</html>

```