



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ  
ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΣ WiFi ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΠΟ ΤΗ  
ΜΕΡΙΑ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΧΡΗΣΤΗ»

---

ΦΩΤΙΟΣ ΣΟΛΛΑΤΟΣ

A.M: 235960

*ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:*

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ 2018





# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Στην παρούσα διπλωματική εργασία καταπιανόμαστε με την σημασία των συστημάτων διαχείρισης και παρακολούθησης δικτύων και τον κομβικό ρόλο που παίζουν για την ομαλή λειτουργία των δικτύων. Ως σύστημα διαχείρισης δικτύου ορίζεται μια μεθοδολογία και ένα σύνολο εργαλείων που βοηθούν στην εκτέλεση της διαχείρισης του δικτύου. Το σημαντικότερο υποσύστημα, ενός συστήματος διαχείρισης δικτύου, αφορά την παρακολούθηση του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, ασχολούμαστε με τα συστήματα παρακολούθησης ασύρματων WiFi δικτύων.

Το πρόβλημα που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε είναι ότι τα περισσότερα συστήματα παρακολούθησης δικτύων εκτελούν μετρήσεις απόδοσης δικτύων, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους την εμπειρία που βιώνουν οι χρήστες μέσα στο δίκτυο. Εμείς, όμως, θέλουμε χρησιμοποιώντας ένα σύστημα παρακολούθησης δικτύων, να μπορούμε να εκτελέσουμε μετρήσεις οι οποίες θα μας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την απόδοση & την ποιότητα του δικτύου όπως την αντιλαμβάνεται ο χρήστης αλληλοεπιδρώντας με το δίκτυο.

Για τον λόγο αυτό, αναπτύσσουμε δύο υλοποιήσεις μετρήσεων της απόδοσης ενός ασύρματου WiFi δικτύου, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τον τελικό χρήστη. Η μια υλοποίηση αναπτύσσεται με την ανοιχτού κώδικα Javascript βιβλιοθήκη του Boomerang και η δεύτερη υλοποίηση αναπτύσσεται με την ανοιχτού κώδικα Javascript βιβλιοθήκη του Speedtest. Οι μετρήσεις συλλέγονται μέσω crowd-source τεχνικών, χωρίς την παρέμβαση του χρήστη και αποθηκεύονται χρησιμοποιώντας το εργαλείο WiFiMon που έχει αναπτυχθεί από την GEANT. Ακολούθως τα αποτελέσματα των μετρήσεων τίθενται σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων που εκτελέστηκαν με μια υλοποίηση που έχει αναπτυχθεί με την ανοιχτού κώδικα Javascript βιβλιοθήκη του NetTest και με το εργαλείο speedtest by Ookla.

# EXECUTIVE SUMMARY

---

---

This diploma thesis deals with the importance of network management and monitoring systems and the key role they play for the smooth operation of networks. A methodology and a set of tools that help to perform network management are defined as Network management system. The most important subsystem of a network management system concerns network monitoring. More specifically, we deal with wireless WiFi network monitoring systems.

The problem we are faced with, is that most network monitoring systems perform network performance metrics, without taking into account the experience that users are experiencing within the network. However, by using a network monitoring system, we want to be able to perform measurements that will give us useful information about the performance and quality of the network as perceived by the user interacting with the network.

For this reason, we develop two performance measurements of a wireless WiFi network performance, as perceived by the end user. An implementation is deployed with Boomerang's open-source Javascript library and the second implementation is deployed with the open-source Javascript library of Speedtest. Measurements are collected through crowd-source techniques, without user intervention, and stored using the WiFiMon tool developed by GEANT. Then, the results of the measurements are then compared with the results of the measurements performed with an implementation developed with the NetTest open-source Javascript library and the speedtest by Ookla tool.

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί τον επίλογο των προπτυχιακών μου σπουδών στο Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής. Το περιεχόμενο της εργασίας σχετίζεται με την ανάπτυξη ενός συστήματος μέτρησης της ποιότητας ενός WiFi δικτύου από τη μεριά του τελικού χρήστη. Η εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτελεί το επιστέγασμα των πολύτιμων γνώσεων που είχα την τύχη και τη χαρά να αποκτήσω όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με στήριξαν και μου συμπαραστάθηκαν σε όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Χρήστο Μπούρα, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής και Επιστημονικό Υπεύθυνο της Ερευνητικής Μονάδας 6 του ΕΑΙΤΥ, ο οποίος ήταν και ο υπεύθυνος καθηγητής της διπλωματικής μου εργασίας. Θέλω να τον ευχαριστήσω θερμά για τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπλέον, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Βασίλειο Κόκκινο, μέλος της Ερευνητικής Μονάδας 6 στο ΙΤΥ-Ε (Διόφαντος), για την άψογη συνεργασία που είχαμε και την αμέριστη βοήθεια του στην υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ, στους γονείς μου, Ζώη και Αικατερίνη, για τη ψυχική και υλική υποστήριξη τους, χάρις στην οποία κατάφερα να ολοκληρώσω τις προπτυχιακές μου σπουδές.

Πάτρα, Μάρτιος 2018

Φώτιος Ζ. Σολδάτος

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

---

## Περιεχόμενα

<b>ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ</b> .....	1
<b>ΦΩΤΙΟΣ ΣΟΛΛΑΤΟΣ</b> .....	1
<b>ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:</b> .....	1
<b>ΠΑΤΡΑ 2018</b> .....	1
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	4
<b>EXECUTIVE SUMMARY</b> .....	5
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	6
Πάτρα, Μάρτιος 2018.....	6
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	7
<b>ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	10
<b>ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	14
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....	20
Κεφάλαιο 2: Συστήματα Παρακολούθησης Δικτύου (Network Monitoring Systems)....	26
2.1 Τι είναι Παρακολούθηση Δικτύων (Network Monitoring).....	26
2.2 Γιατί είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την κατάσταση του δικτύου. ....	27
2.3 Μέτρηση της απόδοσης του δικτύου .....	28
2.3.1 Πιθανά προβλήματα κατά την μέτρηση απόδοσης ενός δικτύου.....	28
2.4 Τι είναι άξιο παρακολούθησης και γιατί.....	29
2.5 Από τι πρέπει να αποτελείται ένα σύστημα παρακολούθησης δικτύου.....	32
Κεφάλαιο 3: Σχετικές Εργασίες.....	34
Κεφάλαιο 4: Εργαλείο WiFiMon της GEANT.....	45
4.1 Λόγοι δημιουργίας του εργαλείου WiFiMon.....	46
4.2 Αρχιτεκτονική εργαλείου WiFiMon .....	48
4.2.1 Στόχοι .....	48
4.2.2 Προ-απαιτήσεις .....	49
4.2.3 Λειτουργικότητα εργαλείου WiFiMon.....	49
4.2.4 Οδηγός.....	50

4.2.5 Σύνολο δεδομένων- απόδοση WiFi τοποθεσίας, εντοπισμός πελάτη & χρήστη. .....	51
4.3 Δομικά στοιχεία αρχιτεκτονικής.....	51
4.3.1 Πηγές Δεδομένων.....	52
4.3.2 Σχεσιακή Βάση Δεδομένων.....	54
4.3.3 Μηχανή Ανάλυσης.....	54
4.3.4 Παραγωγή ερωτημάτων και αναφοράς.....	54
4.3.5 Διαδικτυακό γραφικό περιβάλλον χρήστη (Front End).....	54
4.3.6 Πολιτική Απορρήτου.....	55
4.4 Τεχνολογίες υλοποίησης εργαλείου WiFiMon.....	56
4.4.1 PostgreSQL.....	56
4.4.2 phpPgAdmin.....	57
4.4.3 Grafana.....	58
4.4.4 InfluxDB.....	59
4.5 Browser-based υλοποιήσεις μετρήσεων απόδοσης δικτύου.....	59
4.5.1 Υλοποίηση με χρήση της JavaScript βιβλιοθήκης NetTest.....	60
4.5.2 Υλοποίηση με χρήση της JavaScript βιβλιοθήκης Boomerang.....	63
4.5.3 Υλοποίηση με χρήση του της JavaScript βιβλιοθήκης Speedtest.....	68
Κεφάλαιο 5: Πειραματικά Αποτελέσματα.....	75
5.1 Χαρακτηριστικά των πειραμάτων.....	75
5.2 Εκτενής ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπεράσματος ως προς τις ιδανικότερες υλοποιήσεις ανά browser. ....	76
5.2.1 Σημείο 1 – Απόσταση 6m από το router.....	77
5.2.2 Σημείο 2 – Απόσταση 20cm από το router.....	86
5.2.3 Σημείο 3 – Απόσταση 4m από το router.....	94
5.2.4 Σημείο 4 – Απόσταση 2m από το router.....	102
5.2.5 Σημείο 5 – Απόσταση 8m από το router.....	110
5.2.6 Τυπικές αποκλίσεις και των τριών ειδών μετρήσεων για κάθε μια από τις τρεις υλοποιήσεις ως προς την μέση τιμή των μετρήσεων του εργαλείου Speedtest by Ookla για κάθε έναν από τους 3 browsers.....	119
5.3 Εκτενής ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπεράσματος ως προς τις ιδανικότερες υλοποιήσεις ανεξαρτήτως του browser....	127
5.3.1 Σημείο 1 – Απόσταση 6m από το router.....	128
5.3.2 Σημείο 2 – Απόσταση 20cm από το router.....	131



5.3.3 Σημείο 3 – Απόσταση 4m από το router .....	133
5.3.4 Σημείο 4 – Απόσταση 2m από το router .....	136
5.3.5 Σημείο 5 – Απόσταση 8m από το router .....	138
5.3.6 Τυπικές αποκλίσεις και των τριών ειδών μετρήσεων για κάθε μια από τις τρεις υλοποιήσεις ως προς την μέση τιμή των μετρήσεων του εργαλείου Speedtest by Ookla .....	142
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα .....	146
Κεφάλαιο 7: Μελλοντική Εργασία .....	149
Κεφάλαιο 8: Αναφορές .....	152
Ακρωνύμια .....	158

# ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

---

---

Εικόνα 1: Τεχνική αρχιτεκτονικής-Δομικά στοιχεία .....	52
Εικόνα 2: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 6m από το router .....	77
Εικόνα 3: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 6m από το router .....	78
Εικόνα 4: Ping ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 6m από το router .....	78
Εικόνα 5: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 6m από το router .....	80
Εικόνα 6: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 6m από το router .....	80
Εικόνα 7: Ping ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 6m από το router .....	81
Εικόνα 8: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 6m από το router .....	83
Εικόνα 9: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 6m από το router .....	84
Εικόνα 10: Ping ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 6m από το router .....	84
Εικόνα 11: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 20cm από το router .....	86
Εικόνα 12: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 20cm από το router .....	87
Εικόνα 13: Ping ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 20cm από το router .....	87
Εικόνα 14: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 20cm από το router .....	89
Εικόνα 15: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 20cm από το router .....	90
Εικόνα 16: Ping ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 20cm από το router .....	90
Εικόνα 17: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 20cm από το router .....	92
Εικόνα 18: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 20cm από το router .....	92
Εικόνα 19: Ping ανά τύπο test για τον Opera στο σημείο 2 .....	93
Εικόνα 20: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 4m από το router .....	94
Εικόνα 21: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 4m από το router .....	95
Εικόνα 22: Ping ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 4m από το router .....	95
Εικόνα 23: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 4m από το router .....	97

Εικόνα 24: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 4m από το router .....	97
Εικόνα 25: Ping ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 4m από το router .....	98
Εικόνα 26: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 4m από το router .....	99
Εικόνα 27: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 4m από το router .....	100
Εικόνα 28: Ping ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 4m από το router .....	100
Εικόνα 29: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 2m από το router .....	102
Εικόνα 30: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 2m από το router .....	103
Εικόνα 31: Ping ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 2m από το router .....	103
Εικόνα 32: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 2m από το router .....	105
Εικόνα 33: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 2m από το router .....	105
Εικόνα 34: Ping ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 2m από το router .....	106
Εικόνα 35: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 2m από το router .....	107
Εικόνα 36: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 2m από το router .....	108
Εικόνα 37: Ping ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 2m από το router .....	108
Εικόνα 38: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 8m από το router .....	110
Εικόνα 39: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 8m από το router .....	111
Εικόνα 40: Ping ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 8m από το router .....	111
Εικόνα 41: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 8m από το router .....	113
Εικόνα 42: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 8m από το router .....	113
Εικόνα 43: Ping ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 8m από το router .....	114
Εικόνα 44: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 8m από το router .....	115
Εικόνα 45: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 8m από το router .....	116
Εικόνα 46: Ping ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 8m απο το router .....	116
Εικόνα 47: Τυπική απόκλιση του ρυθμού λήψης (download throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού λήψης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Chrome. ....	119
Εικόνα 48: Τυπική απόκλιση του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού μεταφόρτωσης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Chrome.....	120

Εικόνα 49: Τυπική απόκλιση του Ping ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του Ping του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Chrome. ....	120
Εικόνα 50: Τυπική απόκλιση του ρυθμού λήψης (download throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού λήψης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Mozilla Firefox. ....	122
Εικόνα 51: Τυπική απόκλιση του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού μεταφόρτωσης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Mozilla Firefox.....	123
Εικόνα 52: Τυπική απόκλιση του Ping ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του Ping του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Mozilla Firefox .....	123
Εικόνα 53: Τυπική απόκλιση του ρυθμού λήψης (download throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού λήψης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Opera. ....	125
Εικόνα 54: Τυπική απόκλιση του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού μεταφόρτωσης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Opera.....	126
Εικόνα 55: Τυπική απόκλιση του Ping ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του Ping του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Opera .....	126
Εικόνα 56: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 6m από το router .....	128
Εικόνα 57: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 6m από το router.....	129
Εικόνα 58: Ping ανά τύπο test σε απόσταση 6m από το router .....	129
Εικόνα 59: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 20cm από το router.....	131
Εικόνα 60: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 20cm από το router .....	131
Εικόνα 61: Ping ανά τύπο test σε απόσταση 20cm από το router .....	132
Εικόνα 62: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 4m από το router .....	133
Εικόνα 63: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 4m από το router.....	134
Εικόνα 64: Ping ανά τύπο test σε απόσταση 4m από το router .....	134
Εικόνα 65: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 2m από το router .....	136
Εικόνα 66: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 2m από το router.....	136
Εικόνα 67: Ping ανά τύπο test σε απόσταση 2m από το router .....	137
Εικόνα 68: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 8m από το router .....	138
Εικόνα 69: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 8m από το router.....	139
Εικόνα 70: Ping ανά τύπο test σε απόσταση 8m από το router .....	139

Εικόνα 71: Τυπική απόκλιση του ρυθμού λήψης (download throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού λήψης του εργαλείου Speedtest by Ookla.....	142
Εικόνα 72: Τυπική απόκλιση του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού μεταφόρτωσης του εργαλείου Speedtest by Ookla.....	143
Εικόνα 73: Τυπική απόκλιση του Ping ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του Ping του εργαλείου Speedtest by Ookla. ....	143

# ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

---

---

Πίνακας 1: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Boomerang στον Chrome. ....	79
Πίνακας 2: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του NetTest στον Chrome. ....	79
Πίνακας 3: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για το εργαλείο Ookla στον Chrome. ....	79
Πίνακας 4: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Speedtest στον Chrome. ....	79
Πίνακας 5: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Boomerang στον Mozilla Firefox. ....	81
Πίνακας 6: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του NetTest στον Mozilla Firefox. ....	81
Πίνακας 7: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για το εργαλείο Ookla στον Mozilla Firefox. ....	81
Πίνακας 8: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Speedtest στον Mozilla Firefox. ....	81
Πίνακας 9: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Boomerang στον Opera. ....	85
Πίνακας 10: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του NetTest στον Opera. ....	85
Πίνακας 11: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για το εργαλείο Ookla στον Opera. ....	85
Πίνακας 12: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Speedtest στον Opera. ....	85
Πίνακας 13: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Boomerang στον Chrome. ....	88
Πίνακας 14: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του NetTest στον Chrome. ....	88
Πίνακας 15: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για το εργαλείο Ookla στον Chrome. ....	88
Πίνακας 16: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Speedtest στον Chrome. ....	88
Πίνακας 17: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Boomerang στον Mozilla Firefox. ....	91
Πίνακας 18: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του NetTest στον Mozilla Firefox. ....	91
Πίνακας 19: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για το εργαλείο Ookla στον Mozilla Firefox. ....	91

Πίνακας 20: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Speedtest στον Mozilla Firefox.....	91
Πίνακας 21: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Boomerang στον Opera.....	93
Πίνακας 22: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του NetTest στον Opera.....	93
Πίνακας 23: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για το εργαλείο Ookla στον Opera.....	93
Πίνακας 24: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Speedtest στον Opera.....	93
Πίνακας 25: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Boomerang στον Chrome.....	96
Πίνακας 26: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του NetTest στον Chrome.....	96
Πίνακας 27: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για το εργαλείο Ookla στον Chrome.....	96
Πίνακας 28: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Speedtest στον Chrome.....	96
Πίνακας 29: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Boomerang στον Mozilla Firefox.....	98
Πίνακας 30: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του NetTest στον Mozilla Firefox.....	98
Πίνακας 31: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για το εργαλείο Ookla στον Mozilla Firefox.....	98
Πίνακας 32: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Speedtest στον Mozilla Firefox.....	98
Πίνακας 33: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Boomerang στον Opera.....	101
Πίνακας 34: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του NetTest στον Opera.....	101
Πίνακας 35: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για το εργαλείο Ookla στον Opera.....	101
Πίνακας 36: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Speedtest στον Opera.....	101
Πίνακας 37: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Boomerang στον Chrome.....	104
Πίνακας 38: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του NetTest στον Chrome.....	104
Πίνακας 39: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για το εργαλείο Ookla στον Chrome.....	104
Πίνακας 40: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Speedtest στον Chrome.....	104
Πίνακας 41: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Boomerang στον Mozilla Firefox.....	106

Πίνακας 42: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του NetTest στον Mozilla Firefox. ....	106
Πίνακας 43: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για το εργαλείο Ookla στον Mozilla Firefox. ....	106
Πίνακας 44: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Speedtest στον Mozilla Firefox. ....	106
Πίνακας 45: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Boomerang στον Opera. ....	109
Πίνακας 46: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του NetTest στον Opera. ....	109
Πίνακας 47: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για το εργαλείο Ookla στον Opera. ....	109
Πίνακας 48: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Speedtest στον Opera. ....	109
Πίνακας 49: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Boomerang στον Chrome. ....	112
Πίνακας 50: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του NetTest στον Chrome. ....	112
Πίνακας 51: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για το εργαλείο Ookla στον Chrome. ....	112
Πίνακας 52: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Speedtest στον Chrome. ....	112
Πίνακας 53: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Boomerang στον Mozilla Firefox. ....	114
Πίνακας 54: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του NetTest στον Mozilla Firefox. ....	114
Πίνακας 55: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για το εργαλείο Ookla στον Mozilla Firefox. ....	114
Πίνακας 56: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Speedtest στον Mozilla Firefox. ....	114
Πίνακας 57: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Boomerang στον Opera. ....	117
Πίνακας 58: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του NetTest στον Opera. ....	117
Πίνακας 59: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για το εργαλείο Ookla στον Opera. ....	117
Πίνακας 60: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Speedtest στον Opera. ....	117
Πίνακας 61: Συνοπτική παρουσίαση ιδανικότερων υλοποιήσεων ανά browser για κάθε ένα από τα 5 σημεία. ....	118
Πίνακας 62: Παρουσίαση των τυπικών αποκλίσεων όλων των ειδών μετρήσεων για κάθε υλοποίηση στον Chrome. ....	121
Πίνακας 63: Παρουσίαση των τυπικών αποκλίσεων όλων των ειδών μετρήσεων για κάθε υλοποίηση στον Mozilla Firefox. ....	124



Πίνακας 64: Παρουσίαση των τυπικών αποκλίσεων όλων των ειδών μετρήσεων για κάθε υλοποίηση στον Opera.....	127
Πίνακας 65: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Boomerang. ....	130
Πίνακας 66: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του NetTest. ....	130
Πίνακας 67: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για το εργαλείο Ookla.....	130
Πίνακας 68: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Speedtest. ....	130
Πίνακας 69: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Boomerang. ....	132
Πίνακας 70: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του NetTest. ....	132
Πίνακας 71: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για το εργαλείο Ookla.....	132
Πίνακας 72: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Speedtest. ....	132
Πίνακας 73: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Boomerang. ....	135
Πίνακας 74: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του NetTest. ....	135
Πίνακας 75: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για το εργαλείο Ookla.....	135
Πίνακας 76: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Speedtest. ....	135
Πίνακας 77: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Boomerang. ....	137
Πίνακας 78: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του NetTest. ....	137
Πίνακας 79: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για το εργαλείο Ookla.....	137
Πίνακας 80: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Speedtest. ....	137
Πίνακας 81: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Boomerang. ....	140
Πίνακας 82: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του NetTest. ....	140
Πίνακας 83: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για το εργαλείο Ookla.....	140
Πίνακας 84: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Speedtest. ....	140
Πίνακας 85: Συνοπτική παρουσίαση ιδανικότερων υλοποιήσεων για κάθε ένα από τα 5 σημεία. ....	141

Πίνακας 86: Παρουσίαση των τυπικών αποκλίσεων όλων των ειδών μετρήσεων για κάθε υλοποίηση..... 144

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Η διαχείριση δικτύου (network management) είναι το σύνολο των ενεργειών που εξασφαλίζει ότι όλοι οι πόροι του δικτύου θα τεθούν σε παραγωγική χρήση όσο το δυνατόν καλύτερα. Συνίσταται στη διατήρηση όλων των πόρων του δικτύου σε καλή κατάσταση και στη διάθεση τους στους χρήστες, σύμφωνα, πάντα, με τις προσδοκίες των χρηστών. Το άτομο που εκτελεί την διαχείριση του δικτύου ονομάζεται διαχειριστής δικτύου (network administrator).

Τα πρώτα δίκτυα υπολογιστών ήταν αρκετά απλά, αποτελούμενα κυρίως από ένα ή περισσότερα κεντρικά υπολογιστικά συστήματα που συνδέονταν με μερικά περιφερειακά συστήματα. Δεδομένου ότι ο αριθμός των πόρων του δικτύου ήταν πολύ μικρός, η διαχείριση τέτοιων δικτύων ήταν σχετικά απλή και οι ad-hoc τεχνικές ήταν αποτελεσματικές.

Συγκριτικά, τα σημερινά δίκτυα είναι πολύ πιο πολύπλοκα και επιπλέον η πολυπλοκότητα των δικτύων αυξάνεται συνεχώς. Η πολυπλοκότητα ενός δικτύου προκύπτει κυρίως από δύο πτυχές: το μεγάλο πλήθος των συσκευών του δικτύου και την ποικιλία αυτών. Τα κλασικά-τυπικά δίκτυα μπορούν να αποτελούνται από εκατοντάδες ή χιλιάδες συσκευές. Εκτός αυτού, τα σημερινά δίκτυα αποτελούνται συνήθως από μια ποικιλία συσκευών, όπως υπολογιστές, σταθμοί εργασίας, διακομιστές αρχείων, εκτυπωτές, δρομολογητές (routers), διανομείς (hubs), τείχη προστασίας (firewalls) κ.λπ. Κάθε συσκευή στο δίκτυο μπορεί να κατασκευαστεί από διαφορετικό κατασκευαστή και ως εκ τούτου, χαρακτηριστικά παρόμοιων συσκευών θα μπορούσε να είναι ευρέως ανόμοια. Λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας των δικτύων, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε αυτοματοποιημένα εργαλεία για τη διαχείριση δικτύων.

Ένα πρόσθετο πρόβλημα είναι ότι τα δίκτυα είναι δυναμικά. Τα δίκτυα συνήθως αλλάζουν συνεχώς. Προσθέτουμε συχνά περισσότερες συσκευές ή αντικαθιστούμε παλιές συσκευές με νεότερες συσκευές. Προστίθενται περισσότερες μηχανές στο δίκτυο και καθώς ο αριθμός των μηχανών σε ένα τοπικό δίκτυο (Local Area Network-LAN) αυξάνεται, το τοπικό δίκτυο συχνά διασπάται σε τμήματα που συνδέονται με δρομολογητές (routers). Επιπλέον, οι κατασκευαστές συχνά παρουσιάζουν νέες συσκευές που προσφέρουν βελτιωμένες δυνατότητες. Τέτοιες συσκευές ενσωματώνονται συχνά σε δίκτυα που αντικαθιστούν παλαιότερες συσκευές. Η παρακολούθηση ενός μεταβαλλόμενου δικτύου απαιτεί τη χρήση εξελιγμένων εργαλείων διαχείρισης δικτύου.

Η έλλειψη αξιοπιστίας των συσκευών του δικτύου είναι ένας άλλος παράγοντας που ενθαρρύνει τη δημιουργία καλών εργαλείων διαχείρισης του δικτύου. Τα μεγάλα δίκτυα κατασκευάζονται συνήθως με συνδέσεις επικοινωνίας που διασχίζουν μεγάλες αποστάσεις. Αυτοί οι σύνδεσμοι επικοινωνίας μπορεί να αποτύχουν επειδή υποβάλλονται σε εχθρικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως π.χ. ο καιρός. Επιπλέον, ενδέχεται να καταρρεύσουν μηχανές λόγω σφαλμάτων στο λειτουργικό σύστημα. Οι εκτυπωτές ενδέχεται να μπλοκάρουν ή να εξαντληθούν από χαρτί ή μελάνι κλπ. Οι δίσκοι ενδέχεται

να αλλοιωθούν προκαλώντας την έλλειψη διαθέσιμων διακομιστών αρχείων. Η τα εξαρτήματα υλικού ενδέχεται να αποτύχουν στην αναβάθμιση μιας συσκευής δικτύου. Η παρακολούθηση και η διόρθωση τέτοιων αποτυχιών στα στοιχεία του δικτύου είναι άλλες σημαντικές ενέργειες, όπου τα εργαλεία Διαχείρισης Δικτύου είναι χρήσιμα.

Ως σύστημα διαχείρισης δικτύου ορίζεται μια μεθοδολογία και ένα σύνολο εργαλείων που βοηθούν στην εκτέλεση της διαχείρισης του δικτύου. Το σημαντικότερο υποσύστημα, ενός συστήματος διαχείρισης δικτύου, αφορά την παρακολούθηση του δικτύου. Η παρακολούθηση ενός δικτύου είναι εξαιρετικά χρήσιμη και απαραίτητη για τους παρακάτω λόγους:

- Διαχείριση σφαλμάτων: Ένα σύστημα παρακολούθησης δικτύου θα βοηθήσει στην αποκατάσταση βλαβών του δικτύου. Πολλοί οργανισμοί παρέχουν ένα γραφείο υποστήριξης όπου οι υπάλληλοι καλούν αν αντιμετωπίζουν προβλήματα δικτύου. Το προσωπικό του γραφείου υποστήριξης καταγράφει το πρόβλημα και λαμβάνει διορθωτικά μέτρα. Αυτή η μορφή διαχείρισης ονομάζεται συχνά Reactive Network Management. Σε αντίθεση, ένα σύστημα παρακολούθησης δικτύου μπορεί να παρακολουθεί αυτόνομα το δίκτυο για την ανίχνευση βλαβών. Όταν ανιχνεύονται σφάλματα, το σύστημα το καταγράφει και μπορεί είτε να λάβει διορθωτικά μέτρα από μόνο του είτε να ενημερώσει το κατάλληλο προσωπικό που στη συνέχεια αποφασίζει τι πρέπει να κάνει. Αυτή η μορφή διαχείρισης ονομάζεται συχνά Proactive Network Management. Η προληπτική διαχείριση δικτύου είναι γενικά καλύτερη, καθώς ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις στους χρήστες. Στην ιδανική περίπτωση, ένα σφάλμα δικτύου θα πρέπει να ανιχνευθεί και να διορθωθεί πριν οι χρήστες να το καταλάβουν. Συχνά, ένα σφάλμα δικτύου μπορεί να εμφανιστεί ως μια σειρά από διαφορετικά σφάλματα. Για παράδειγμα, αν ένας σύνδεσμος πέσει κάτω, όλες οι μηχανές στην άλλη πλευρά του συνδέσμου μπορεί να φαίνεται ότι είναι κάτω. Ένα σύστημα παρακολούθησης δικτύου πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα συσχέτισης πολλαπλών σφαλμάτων δικτύου και να εντοπίζει ποιο σφάλμα είναι η κύρια αιτία και ποιες είναι οι παρενέργειες.
- Διαχείριση συσκευών: Όταν μια νέα συσκευή προστίθεται σε ένα δίκτυο, ενδέχεται να απαιτείται κάποια μορφή προσαρμογής ή διαμόρφωσης. Για παράδειγμα, οι ταχύτητες θύρας ίσως χρειαστεί να ρυθμιστούν ή για μια συσκευή ίσως πρέπει να ειπωθεί ποια είναι η διεύθυνση Internet Protocol (IP) της. Το σύστημα διαχείρισης δικτύου πρέπει να συμβάλει στην απλοποίηση αυτής της διαδικασίας. Επιπλέον, το σύστημα παρακολούθησης δικτύου θα πρέπει να είναι σε θέση να παρακολουθεί τις συσκευές και να εκτελεί οποιεσδήποτε ενέργειες διαχείρισης που απαιτούνται από αυτούς. Είναι σημαντικό το σύστημα διαχείρισης δικτύου να είναι σε θέση να χειρίζεται όλες τις συσκευές στο δίκτυο, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή της συσκευής. Είναι επίσης σημαντικό να είναι προσβάσιμες όλες οι συσκευές χρησιμοποιώντας μια ενιαία διεπαφή χρήστη.
- Διαχείριση διαμόρφωσης: Τα περισσότερα δίκτυα είναι δυναμικά, με συχνή προσθήκη και αφαίρεση συσκευών. Επιπλέον, καθώς τα δίκτυα αναπτύσσονται, μπορούν επίσης να χωριστούν σε πολλαπλά κομμάτια και να συνδεθούν

χρησιμοποιώντας πύλες. Το σύστημα διαχείρισης δικτύου θα πρέπει να διευκολύνει την εργασία διαχείρισης αλλαγών στη διαμόρφωση δικτύου. Για παράδειγμα, θα πρέπει να βοηθήσει στην παρακολούθηση των διευθύνσεων IP που έχουν εκχωρηθεί και ποιες είναι οι διευθύνσεις IP κάθε συσκευής.

- Διαχείριση απόδοσης: Ένα καλό σύστημα διαχείρισης δικτύου θα πρέπει να απλοποιήσει το έργο παρακολούθησης της απόδοσης του δικτύου. Θα πρέπει να συμβάλει στον εντοπισμό και την εξάλειψη των σημείων συμφόρησης του δικτύου. Για παράδειγμα, ένα υπερβολικό ποσό κίνησης δικτύου μπορεί να δρομολογηθεί μέσω μίας μόνο πύλης, με αποτέλεσμα τους αυξημένους χρόνους απόκρισης που παρατηρούνται από τους χρήστες. Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύσει αυτή την κατάσταση και να βοηθήσει στην αναμόρφωση του δικτύου για να επιλυθεί το πρόβλημα.
- Συντήρηση ιστορικού: Η διατήρηση ιστορικού των παρελθοντικών προβλημάτων του δικτύου και οι λόγοι εμφάνισής τους μπορεί να είναι χρήσιμοι για τον μελλοντικό προγραμματισμό. Για παράδειγμα, αν είναι εμφανές ότι κάποια συσκευή αποτυγχάνει συχνά, ενδέχεται να αποφασίσουμε να αντικαταστήσουμε όλες αυτές τις συσκευές με μια αντίστοιχη συσκευή από διαφορετικό προμηθευτή.
- Μέτρηση χρήσης πόρων: Οι οργανισμοί συχνά χρειάζονται έναν μηχανισμό για τον εντοπισμό της χρήσης των πόρων του δικτύου από διάφορους χρήστες. Αυτός ο μηχανισμός θα είναι χρήσιμος εάν ένας οργανισμός αποφασίσει να εφαρμόσει μια πολιτική χρέωσης χρηστών με βάση τη χρήση των πόρων. Ακόμα και αντίθετα, ένας λογιστικός μηχανισμός θα είναι χρήσιμος στην ανάλυση της χρήσης του δικτύου.
- Ασφάλεια: Η ασφάλεια δικτύου είναι κορυφαία προτεραιότητα για τους περισσότερους διαχειριστές δικτύου. Το σύστημα διαχείρισης δικτύου θα πρέπει να βοηθά στο έργο της επιβολής της ασφάλειας του δικτύου. Να βοηθήσει στην ανίχνευση και την αποτροπή παραβιάσεων της ασφάλειας. Για παράδειγμα, το σύστημα διαχείρισης δικτύου, μέσω του υποσυστήματος παρακολούθησης δικτύου, πρέπει να διατηρεί αρχεία καταγραφής σημαντικών συμβάντων, όπως άτομα που συνδέονται σε γέφυρες ή δρομολογητές.
- Απομακρυσμένη πρόσβαση: Η δυνατότητα πρόσβασης εξ αποστάσεως στο δίκτυο είναι ένα άλλο στοιχείο στη λίστα επιθυμιών του διαχειριστή. Ο διαχειριστής δικτύου ενδέχεται να μην είναι πάντα σε θέση να έχει πρόσβαση στο δίκτυο από την κύρια κονσόλα του. Είναι χρήσιμο να του επιτρέπεται η πρόσβαση στο δίκτυο από διάφορες τοποθεσίες, ίσως ακόμη και από το σπίτι. Είναι σημαντικό ο διαχειριστής να αλληλεπιδρά με το ίδιο είδος διεπαφής χρήστη με το σύστημα παρακολούθησης δικτύου, ανεξάρτητα από το πού προέρχεται η πρόσβαση. Είναι επίσης σημαντικό να διασφαλιστεί ότι η απομακρυσμένη πρόσβαση παρέχεται με ασφάλεια. Τα μη εξουσιοδοτημένα άτομα δεν θα πρέπει να μπορούν να έχουν πρόσβαση στο σύστημα παρακολούθησης δικτύου και να ξεκινούν να αναβαθμίζουν το δίκτυο.

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία καταπιανόμαστε με την ανάπτυξη δύο browser-based υλοποιήσεων που είναι αρμόδιες για την εκτέλεση μετρήσεων που έχουν ως σκοπό να καταδείξουν την ποιότητα και την απόδοση των WiFi δικτύων από την μεριά του τελικού χρήστη. Οι συγκεκριμένες υλοποιήσεις αναπτύχθηκαν με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού JavaScript και πιο συγκεκριμένα με JavaScript βιβλιοθήκες ανοιχτού κώδικα. Αυτές είναι οι βιβλιοθήκες του Boomerang και του Speedtest. Οι δύο υλοποιήσεις αναπτύχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να πυροδοτούνται χωρίς την παρέμβαση του χρήστη (crowd source) κάθε φορά που αυτός επισκέπτεται μια ιστοσελίδα στην οποία έχει τοποθετηθεί μια από τις δύο αυτές υλοποιήσεις.

Οι υλοποιήσεις έχουν ως στόχο την μέτρηση του χρόνου λήψης (download throughput), του χρόνου μεταφόρτωσης (upload throughput) και του χρόνου round-trip (ping) έτσι ώστε να σχηματιστεί μια γενική εικόνα για την απόδοση και την ποιότητα του δικτύου όπως ακριβώς την αντιλαμβάνεται και την βιώνει ο τελικός χρήστης. Οι μετρήσεις των δύο υλοποιήσεων που δημιουργήσαμε, καθώς και οι μετρήσεις μιας υλοποίησης που αναπτύχθηκε με χρήση της JavaScript βιβλιοθήκης του NetTest, αποθηκεύονται με την βοήθεια του εργαλείου WiFiMon που έχει αναπτυχθεί από την GEANT.

Ακολούθως, οι μετρήσεις των τριών υλοποιήσεων που προαναφέρθηκαν τίθενται σε σύγκριση με μετρήσεις που εκτελέστηκαν με την χρήση ενός ευρέως διαδεδομένου εργαλείου μέτρησης της απόδοσης WiFi δικτύων, του Speedtest by Ookla. Η σύγκριση γίνεται εφικτή λόγω της οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, με χρήση του εργαλείου MATLAB.

Πιο συγκεκριμένα, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή για τα συστήματα διαχείρισης δικτύων (Network Management Systems – NMS) και για τα συστήματα παρακολούθησης δικτύων τα οποία στην πληθώρα των περιπτώσεων αποτελούν υποσυστήματα των συστημάτων διαχείρισης δικτύων καθώς και μια εισαγωγή στις υλοποιήσεις που αναπτύχθηκαν.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια αναλυτικότερη περιγραφή των συστημάτων διαχείρισης δικτύων, των συστημάτων παρακολούθησης δικτύων και των λόγων για τους οποίους αυτά είναι απαραίτητα.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά σε εργασίες-εργαλεία που ασχολούνται με συστήματα παρακολούθησης δικτύων και έχουν υλοποιηθεί στο παρελθόν ώστε να αποκτήσουμε μια ευρύτερη εικόνα σχετικά με την έρευνα πάνω σε αυτόν τον τομέα.

Στο Κεφάλαιο 4 αναλύουμε το εργαλείο WiFiMon που έχει δημιουργηθεί υπό την αιγίδα της GEANT και το χρησιμοποιήσαμε για την αποθήκευση των μετρήσεων και μια αρχική οπτικοποίηση τους, τον αρχιτεκτονικό του σχεδιασμό, τα δομικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής του, της τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του και εν τέλει τις τρεις υλοποιήσεις που δημιουργήθηκαν με την χρήση των τριών διαφορετικών JavaScript βιβλιοθηκών.

Στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα πειραματικά αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν με την χρήση των τριών διαφορετικών υλοποιήσεων και γίνεται μια σύγκριση αυτών με άλλο γνωστό εργαλείο μέτρησης της ποιότητας των WiFi δικτύων, που χρησιμοποιούν JavaScript αρχεία για την εκτέλεση των μετρήσεων, όπως για παράδειγμα το Speedtest της Ookla.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα μας σχετικά με τις δυο υλοποιήσεις που αναπτύξαμε.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 παρατίθενται προτάσεις για πιθανή μελλοντική εργασία.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ  
(NETWORK MONITORING  
SYSTEMS)

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ (NETWORK MONITORING SYSTEMS)

---

Η διαχείριση δικτύων (network management) είναι ένας ευρύς τομέας ο οποίος αποτελείται από παρακολούθηση συσκευών, διαχείριση εφαρμογών, ασφάλεια εφαρμογών & συσκευών, συντήρηση, επίπεδα υπηρεσιών, αντιμετώπιση προβλημάτων και άλλες εργασίες οι οποίες συντονίζονται και επιβλέπονται από κάποιον διαχειριστή δικτύου. Οι διαχειριστές δικτύων χρειάζεται και πρέπει να ξέρουν τι συμβαίνει στο δίκτυο που διαχειρίζονται ανά πάσα στιγμή. Για να γνωρίζουν τι συμβαίνει στο δίκτυο τους απαιτούνται πληροφορίες πραγματικού χρόνου, ιστορικές πληροφορίες, πληροφορίες σχετικά με τις συσκευές που αποτελούν μέρος του δικτύου κ.α. Η σημαντικότερη λειτουργία ενός συστήματος διαχείρισης δικτύων, είναι η παρακολούθηση του δικτύου (network monitoring). Αυτό είναι λογικό καθώς για να γνωρίζει ο εκάστοτε διαχειριστής δικτύου τι και πότε συμβαίνει στο δίκτυο του οφείλει να έχει τον τρόπο να το παρακολουθεί συνεχώς.

Η παρακολούθηση δικτύων υφίσταται σαν έννοια από την έναρξη της ύπαρξης των δικτύων. Τα περισσότερα routers, switches, hubs και άλλες δικτυακές συσκευές συλλέγουν μέχρι ενός σημείου στατιστικά στοιχεία ως προς την μετάδοση της κίνησης. Οι συγκεκριμένες πληροφορίες είναι πολύ σημαντικές για τους διαχειριστές δικτύων ώστε να εργάζονται προς την εξασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας των δικτύων, επιλύοντας τα προβλήματα που παρουσιάζονται. Χωρίς την ύπαρξη των συστημάτων παρακολούθησης δικτύων θα ήταν πολύ δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να επιλυθούν πολλά από τα προβλήματα που παρουσιάζονται στα δίκτυα.

### 2.1 Τι είναι Παρακολούθηση Δικτύων (Network Monitoring)

Η παρακολούθηση δικτύων είναι η συστηματική προσπάθεια εύρεσης αργών ή κατεστραμμένων στοιχείων ενός δικτύου, όπως για παράδειγμα υπερφορτωμένοι ή κατεστραμμένοι διακομιστές, αποτυχημένοι δρομολογητές, αποτυχημένα switches ή άλλες προβληματικές συσκευές. Σε περίπτωση βλάβης, δυσλειτουργίας ή παρόμοιας διακοπής της λειτουργίας του δικτύου, το σύστημα παρακολούθησης του δικτύου ειδοποιεί τον διαχειριστή του δικτύου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η παρακολούθηση δικτύου αποτελεί λειτουργία της διαχείρισης δικτύου.

Γενικά, η παρακολούθηση δικτύου εκτελείται μέσω εφαρμογών και εργαλείων λογισμικού. Οι υπηρεσίες παρακολούθησης δικτύων χρησιμοποιούνται ευρέως για να ανιχνεύσουν αν ένας δεδομένος διακομιστής λειτουργεί και συνδέεται σωστά με τα υφιστάμενα δίκτυα. Πολλοί διακομιστές που εκτελούν αυτή τη λειτουργία παρέχουν μια πληρέστερη απεικόνιση τόσο του Διαδικτύου όσο και των δικτύων.

Το σύστημα παρακολούθησης δικτύου, ενώ παρακολουθεί συνεχώς την λειτουργία του δικτύου και αναζητεί προβλήματα, εντοπίζει και καταγράφει τις παραμέτρους του δικτύου. Τέτοιες παράμετροι είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, τα ποσοστά σφαλμάτων, οι ταχύτητες λήψης και μεταφόρτωσης, τα ποσοστά χρόνου χρήσης, ο χρόνος απόκρισης του χρήστη και άλλες πολλές. Όταν ξεπεραστούν κάποια προκαθορισμένα όρια παραμέτρων το σύστημα ειδοποιεί τον διαχειριστή και εκκινείται, είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα από τον διαχειριστή η διαδικασία αντιμετώπισης προβλημάτων (troubleshooting).

## **2.2 Γιατί είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την κατάσταση του δικτύου.**

Ένα υπέρ-φορτωμένο δίκτυο, για παράδειγμα, μπορεί να αντικατασταθεί πριν αυτό 'πέσει', αλλά μόνο εάν το γνωρίζεις εκ των προτέρων. Με την παρακολούθηση δικτύων, μπορείς να ξέρεις την κατάσταση όλων των στοιχείων του δικτύου σου χωρίς να χρειάζεται να τα παρακολουθείς ένα προς ένα και επιπλέον έχεις την δυνατότητα να δράσεις και να διορθώσεις προβλήματα, όταν απαιτείται.

Τη σημερινή εποχή τα δίκτυα είναι αρκετά περίπλοκα. Οι διάφορες συσκευές του δικτύου (routers, switches, hubs κ.α.) συνδέουν μεγάλο αριθμό από workstations σε εφαρμογές, διακομιστές και στο διαδίκτυο. Επίσης, υπάρχει πληθώρα εφαρμογών για ασφάλεια και επικοινωνία εγκατεστημένες στο δίκτυο, όπως για παράδειγμα firewalls, virtual private networks (VPN's) και φίλτρα για ιούς και spam.

Η γνώση της σύνθεσης, της τοπολογίας, της πολυπλοκότητας ενός δικτύου και η δυνατότητα να λαμβάνει ένας διαχειριστής πληροφορίες για το πως αποδίδει κάθε στοιχείο του δικτύου του ανά πάσα στιγμή, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επιτυχή διατήρηση της λειτουργίας του δικτύου που ο ίδιος διαχειρίζεται. Κάθε δίκτυο αποτελείται από χιλιάδες στοιχεία που, εν δυνάμει, παρακολουθούνται. Γι' αυτό είναι σημαντικό να είναι σε θέση ο διαχειριστής του δικτύου να έχει ενημέρωση, για αυτά τα στοιχεία, που είναι ακριβής και πραγματικού χρόνου.

Η μεγάλη πολυπλοκότητα των δικτύων ενισχύει την πιθανότητα κάτι να πάει στραβά. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, κάθε στοιχείο στο δίκτυο αξίζει παρακολούθησης και αποτελεί παράλληλα πιθανό σημείο αποτυχίας. Για τον λόγο αυτό, είναι σημαντικό να υπάρχουν εφεδρικά συστήματα έτσι ώστε να μειώνεται ο χρόνος που ένα δίκτυο παραμένει προβληματικό.

Πάντως, δεν είναι δυνατόν να επιλύονται όλα τα προβλήματα αποτελεσματικά πρώτου να υπάρξει κάποια ειδοποίηση από το σύστημα. Αν όμως υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, μπορείς να ανιχνεύσεις και να επιλύσεις τα προβλήματα που παρουσιάζονται πριν αυτά γίνουν ζημιογόνα για το δίκτυο. Παραδείγματος χάρη, ένα υπερφορτωμένο δίκτυο μπορεί να αντικατασταθεί πριν γίνει προβληματικό, αλλά μόνο αν η παρακολούθηση του είναι πραγματικού χρόνου. Έτσι, είναι

σημαντικό να παρακολουθείς ένα δίκτυο προκειμένου να έχεις την δυνατότητα να αντιμετωπίσεις τα εμφανιζόμενα προβλήματα όπου και όποτε το απαιτεί η κατάσταση.

## 2.3 Μέτρηση της απόδοσης του δικτύου

Όταν ένα δίκτυο δεν έχει την απόδοση που προβλέπεται, οι χρήστες του δικτύου διενεργούν παράπονα προς τους διαχειριστές του δικτύου απαιτώντας την βελτίωση του. Για να γίνει όμως βελτίωση του δικτύου, θα πρέπει να γνωρίζουν οι διαχειριστές τα αίτια των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι χρήστες. Για να καθοριστούν τα αίτια των προβλημάτων θα πρέπει οι διαχειριστές να διενεργήσουν μετρήσεις απόδοσης του δικτύου. Η βασική στρατηγική που ακολουθείται για την βελτίωση της απόδοσης ενός δικτύου περιλαμβάνει τα ακόλουθα 3 βήματα:

1. Μέτρηση των σχετικών παραμέτρων και της απόδοσης του δικτύου.
2. Προσπάθεια κατανόησης των αιτιών των προβλημάτων.
3. Αλλαγή παραμέτρων.

Τα παραπάνω βήματα εκτελούνται επαναληπτικά μέχρις ότου η απόδοση να είναι αρκετά καλή ή μέχρι να είμαστε σίγουροι ότι τα περιθώρια βελτίωσης έχουν εξαντληθεί.

Οι μετρήσεις μπορούν να εκτελεστούν σε πολλές τοποθεσίες και με πολλούς τρόπους. Το σημαντικότερο είδος μέτρησης είναι να πυροδοτήσουμε ένα χρονόμετρο κατά την έναρξη μιας δραστηριότητας, μετρώντας τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της. Κάποιες άλλες μετρήσεις γίνονται με μετρητές οι οποίοι καταγράφουν την συχνότητα εκτέλεσης κάποιου γεγονότος. Τέλος, κάποιες φορές χρειάζεται να γίνει γνωστός ο όγκος κάποιας ποσότητας, όπως για παράδειγμα το πλήθος των bit που λαμβάνονται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

### 2.3.1 Πιθανά προβλήματα κατά την μέτρηση απόδοσης ενός δικτύου.

Κατά την μέτρηση της απόδοσης και των παραμέτρων ενός δικτύου, μπορούν να παρουσιαστούν αρκετά προβλήματα. Παρακάτω αναφέρουμε μερικά από αυτά και επισημαίνουμε ότι θα πρέπει να αποφεύγονται κατά την απόπειρα κάθε μέτρησης της απόδοσης του δικτύου:

- Βεβαιωθείτε ότι το μέγεθος του δείγματος είναι αρκετά μεγάλο  
Μην μετράτε τον χρόνο αποστολής μιας TPDU (Transport Protocol Data Unit), αλλά επαναλάβετε τη μέτρηση αρκετές φορές και βρείτε τον μέσο όρο. Η δημιουργία μεγάλου δείγματος, μειώνει το ποσοστό λάθους της μετρούμενης μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης.

- Βεβαιωθείτε ότι τα δείγματα είναι αντιπροσωπευτικά  
Σε ιδανικές συνθήκες, ολόκληρη η ακολουθία των μετρήσεων θα πρέπει να επαναληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές για να δούμε πως επιδρά το σύστημα στις μετρήσεις. Για παράδειγμα, οι μετρήσεις για την συμφόρηση δεν έχουν αξία αν γίνονται κάποια στιγμή που δεν υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο (π.χ. στις 4 το πρωί, όπου οι περισσότεροι χρήστες ενός δικτύου κοιμούνται.).
- Προσοχή σε ανακριβή ρολόγια  
Τα ρολόγια των επεξεργαστών, των υπολογιστών, λειτουργούν αυξάνοντας κάποιο μετρητή ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, ένα χρονόμετρο millisecond αυξάνει τον μετρητή κατά μια μονάδα κάθε 1 msec. Η χρήση ενός τέτοιου μετρητή για την μέτρηση ενός γεγονότος που διαρκεί λιγότερο από 1 msec είναι δύσκολη, αλλά εφικτή.
- Βεβαιωθείτε ότι δεν συμβαίνει κάτι ασυνήθιστο κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων  
Η εκτέλεση μετρήσεων κατά την διάρκεια συμφόρησης ή μεγάλου φόρτου του δικτύου μπορεί να δώσει διαφορετικά αποτελέσματα από ότι αν εκτελέσουμε τις μετρήσεις κάποια άλλη στιγμή. Είναι καλύτερο να εκτελούμε τις μετρήσεις σε ένα αδρανές σύστημα και να δημιουργούμε μόνοι μας όλο το φορτίο.
- Οι κρυφές μνήμες μπορούν να επηρεάσουν τις μετρήσεις  
Ο προφανής τρόπος μέτρησης του χρόνου μεταφοράς ενός αρχείου είναι να ανοίξετε ένα μεγάλο αρχείο, να το διαβάσετε, να το κλείσουμε και να δείτε πόσος χρόνος χρειάστηκε. Στη συνέχεια, μπορείτε να επαναλάβετε την ίδια μέτρηση και να εξάγετε έναν μέσο όρο. Το σύστημα όμως, μπορεί να αποθηκεύσει το αρχείο στη κρυφή μνήμη, έτσι ώστε μόνο η πρώτη μέτρηση να περιέχει πραγματικά στοιχεία του χρόνου μεταφοράς, ενώ οι υπόλοιπες μετρήσεις θα αφορούν απλά αναγνώσεις από την κρυφή μνήμη. Επομένως, οι μετρήσεις θα σας είναι άχρηστες.
- Κατανόηση του τι μετράτε  
Όταν μετράτε τον χρόνο ανάγνωσης ενός απομακρυσμένου αρχείου, οι μετρήσεις σας εξαρτώνται από το δίκτυο, το λειτουργικό σύστημα του πελάτη και του διακομιστή, τις κάρτες δικτύου, τα προγράμματα οδήγησης τους και άλλους παράγοντες. Αν οι μετρήσεις γίνουν προσεκτικά, τότε θα ανακαλύψετε το χρόνο μεταφοράς αρχείων για τη διευθέτηση δικτύωσης που χρησιμοποιείτε. Αν όμως εκτελέσετε τις ίδιες μετρήσεις σε 2 διαφορετικά συστήματα ώστε να επιλέξετε ποια κάρτα δικτύου θα αγοράσετε, τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορεί να παραμορφωθούν από το γεγονός ότι ένα από τα προγράμματα οδήγησης δικτύου επιτυγχάνει μόνο 10% της συνολικής απόδοσης της κάρτας [68].

## 2.4 Τι είναι άξιο παρακολούθησης και γιατί

Για κάθε δίκτυο, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει η σωστή πληροφόρηση την σωστή στιγμή. Όπως επίσης είναι εξίσου σημαντικό να υπάρχει διαθέσιμη πληροφορία για τις δικτυακές συσκευές του δικτύου (δρομολογητές κλπ.) και τους διακομιστές του. Τέλος,

έχει μεγάλη σημασία να γνωρίζει ο διαχειριστής του δικτύου ότι σημαντικές υπηρεσίες του δικτύου (ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, μεταφορά δεδομένων κλπ.) είναι συνεχώς διαθέσιμες.

Όταν παρουσιάζονται προβλήματα στο δίκτυο, θα πρέπει να πυροδοτούνται ειδοποιήσεις άμεσα, είτε μέσω ηχητικών σημάτων, είτε μέσω της διεπαφής χρήστη του συστήματος παρακολούθησης. Όσο νωρίτερα γνωρίζει ο διαχειριστής του δικτύου τι συμβαίνει και όσο πιο ολοκληρωμένη είναι η πληροφορία, για την φύση και την προέλευση του προβλήματος που μεταφέρεται από την ειδοποίηση, τόσο πιο γρήγορα μπορεί να επιληφθεί του προβλήματος ο διαχειριστής. Οι ειδοποιήσεις, όμως, δεν πρέπει να πυροδοτούνται μόνο όταν προκύπτει ένα πρόβλημα ή ένα περιθώριο ξεπερνιέται, αλλά και όταν μια νέα εφαρμογή ή μια νέα συσκευή συνδέεται στο δίκτυο. Έτσι λοιπόν, οι ειδοποιήσεις θα πρέπει να περιέχουν πληροφορία σχετικά με την συσκευή, το πρόβλημα ή/και το γεγονός που τις πυροδότησε.

Επίσης, είναι σημαντικό, να παράγονται ειδοποιήσεις που έχουν νόημα και να ελαχιστοποιούνται οι ειδοποιήσεις που παράγονται από το ίδιο πρόβλημα. Για παράδειγμα, το σύστημα παρακολούθησης θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να μην πυροδοτεί ειδοποίηση όταν το δίκτυο βρίσκεται σε διαδικασία συντηρήσεως. Αν η πρόσβαση για πολλές συσκευές είναι περιορισμένη λόγω κάποιου προβλήματος σε μια δικτυακή συσκευή, η πυροδότηση των κατάλληλων ειδοποιήσεων βοηθάει τον διαχειριστή να διαγνώσει το πρόβλημα συντομότερα. Η εφαρμογή αυτών των κανόνων μειώνει την διαχειριστική πληροφορία που λαμβάνει ο διαχειριστής και βελτιώνει την ποιότητα και την αξιοπιστία των ειδοποιήσεων που παράγει το σύστημα κατά την εμφάνιση προβλημάτων στο δίκτυο.

Οι δέκα (10) σημαντικότεροι λόγοι για χρήση συστημάτων και εργαλείων παρακολούθησης αναφέρονται ακολούθως:

1. Γνώση του τι συμβαίνει στο δίκτυο:

Τα συστήματα παρακολούθησης μας κρατούν ενήμερους για την λειτουργία και συνδεσιμότητα των συσκευών και των πόρων στο δίκτυό μας.

2. Σχεδιασμός για βελτιώσεις ή αλλαγές:

Εάν μία συσκευή είναι συνεχώς προβληματική, ή το εύρος ζώνης σε ένα συγκεκριμένο υποδίκτυο τρέχει συνεχώς στο όριο, αυτό σημαίνει ότι πρέπει να αλλαχθεί. Τα συστήματα παρακολούθησης δικτύων επιτρέπουν την ανίχνευση τέτοιων πληροφοριών.

3. Γρήγορη διάγνωση προβλημάτων:

Ας υποθέσουμε ότι ένας διακομιστής είναι απροσπέλαστος από το διαδίκτυο. Χωρίς ένα σύστημα παρακολούθησης δεν μπορεί να απαντηθεί εάν το πρόβλημα

είναι ο διακομιστής, το switch που χρησιμοποιείται, ή ο δρομολογητής. Η γνώση της τοποθεσίας του προβλήματος μας βοηθά στο να κερδίσουμε χρόνο.

4. Η επίδειξη του τι συμβαίνει στους άλλους:

Η γραφική απεικόνιση βοηθά στην επεξήγηση του τι συμβαίνει σε ένα δίκτυο.

5. Γνώση του πότε να χρησιμοποιηθεί το εφεδρικό σύστημα:

Εάν υπάρχει προειδοποίηση μπορεί να μεταφερθεί η λειτουργία σημαντικών servers σε ένα backup σύστημα μέχρι το κυρίως σύστημα να επισκευαστεί και να επανέλθει on-line. Χωρίς ένα σύστημα παρακολούθησης δεν μπορούμε να γνωρίζουμε ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα μέχρις ότου είναι πολύ αργά.

6. Βεβαίωση ότι τα συστήματα ασφαλείας λειτουργούν κανονικά:

Οι εταιρείες ξοδεύουν πολλά χρήματα σε λογισμικό και υλικό ασφαλείας. Χωρίς ένα σύστημα παρακολούθησης πως μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι οι συσκευές ασφαλείας συνεχίζουν να τρέχουν όπως έχουν γίνει configure.

7. Παρακολούθηση των συσκευών που χρησιμοποιούν οι πελάτες μιας εταιρείας:

Πολλές συσκευές σε ένα δίκτυο είναι απλές εφαρμογές που τρέχουν σε ένα server (Hypertext Transfer Protocol (HTTP), File Transfer Protocol (FTP), mail, κ.τ.λ.). Ένα σύστημα παρακολούθησης μπορεί να παρακολουθεί αυτές τις εφαρμογές και να κάνει σίγουρο ότι οι πελάτες μπορούν να συνδεθούν σε servers και να δουν ότι χρειάζονται.

8. Ενημέρωση της κατάστασης του δικτύου από παντού:

Πολλές εφαρμογές παρακολούθησης δικτύων παρέχουν απομακρυσμένη διαχείριση από οπουδήποτε που υπάρχει σύνδεση internet. Με αυτόν τον τρόπο κάποιος που βρίσκεται σε διακοπές και προκύψει κάτι στο δίκτυο μπορεί να συνδεθεί στο Web Interface και να δει ποιο είναι το πρόβλημα.

9. Διατήρηση του uptime του πελάτη:

Εάν υπάρχουν πελάτες που εξαρτώνται από το δίκτυο, πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι αυτό τρέχει κάθε στιγμή. Είναι επιθυμητό την στιγμή που προκύπτει ένα πρόβλημα αυτό να διορθώνεται, πριν δεχθούμε τηλεφωνα από τον πελάτη.

10. Εξοικονόμηση χρημάτων:

Πάνω από όλα, τα συστήματα διαχείρισης βοηθούν στην εξοικονόμηση χρόνου όσον αφορά στο downtime για την διερεύνηση προβλημάτων. Αυτό μεταφράζεται σε λιγότερες εργατοώρες και λιγότερα χρήματα.

## **2.5 Από τι πρέπει να αποτελείται ένα σύστημα παρακολούθησης δικτύου**

Για να έχει κάποιος γνώση της κατάστασης ενός δικτύου, απαιτείται ένα σύστημα παρακολούθησης δικτύου, το οποίο θα του δίνει τη δυνατότητα να γνωρίζει, σε πραγματικό χρόνο, πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο από οπουδήποτε και όποτε το θελήσει. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να είναι φιλικό προς τον χρήστη, να εγκαθίσταται γρήγορα, το κόστος απόκτησης και συντήρησης του να είναι μικρό και να περιέχει όλες εκείνες τις λειτουργίες που απαιτούνται. Δηλαδή χρειάζεται ένα σύστημα με συγκεκριμένες δυνατότητες και αξιοπιστία ανάλογη του δικτύου που παρακολουθεί. Οπότε αν θέλουμε το δίκτυο μας να έχει υψηλή διαθεσιμότητα, χρειαζόμαστε ένα αξιόπιστο σύστημα παρακολούθησης.

Το σύστημα παρακολούθησης, παρακολουθεί ένα μεγάλο σύνολο αντικειμένων και συλλέγει αρκετή πληροφορία. Για να έχουμε την δυνατότητα να αξιοποιήσουμε αυτή την πληροφορία θα πρέπει να έχουμε καθαρή και γρήγορη οπτική της πληροφορίας. Για να έχουμε οπτική της πληροφορίας, θα πρέπει το σύστημα να περιλαμβάνει χάρτη δικτύου (network map), δεδομένα αναφοράς, ειδοποιήσεις και άλλες χρήσιμες πληροφορίες.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα οι ειδοποιήσεις του συστήματος παρακολούθησης είναι πολύ σημαντικές. Ωστόσο, οι ειδοποιήσεις θέλουμε να εμφανίζονται, όποτε το επιθυμούμε εμείς.

Τα δίκτυα βρίσκονται σε λειτουργία 24/7 ασχέτως από το ωράριο χρήσης τους από τους χρήστες. Πρέπει να υπάρχει πρόσβαση στο σύστημα παρακολούθησης του δικτύου από οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει, για διαφορετικούς λόγους ο καθένας, πολλοί άνθρωποι να έχουν πρόσβαση στο σύστημα παρακολούθησης, αλλά χωρίς να έχουν πρόσβαση όλοι στο ίδιο επίπεδο πληροφοριών για προφανείς λόγους. Χρειαζόμαστε ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει role-based πρόσβαση και το οποίο δίνει δικαιώματα (permissions) στους χρήστες. Αυτό όχι μόνον κάνει τους χρήστες πιο παραγωγικούς, αλλά επιπλέον θέτει και ένα σημαντικό επίπεδο ασφάλειας.

Τέλος, απαιτείται ένα σύστημα που να υποστηρίζει πολλαπλές μεθόδους παρακολούθησης των συσκευών. Το Simple Network Management Protocol (SNMP) είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει την διαχείριση και παρακολούθηση δικτυακών συσκευών και την αντιμετώπιση προβλημάτων σχετικά εύκολα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

---

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται εργασίες, που έχουν γίνει στο παρελθόν, σχετικά με την παρακολούθηση της ποιότητας υπηρεσιών και των παραμέτρων απόδοσης ασύρματων δικτύων τηλεπικοινωνιών όπως το Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.11(WiFi), το third Generation (3G), το fourth Generation (4G) κ.α.

Στην εργασία [1] αναφέρεται ότι η πρόβλεψη του εύρους ζώνης βάσει της γεωγραφικής τοποθεσίας μαζί με τον προσεκτικό προγραμματισμό της λήψης για τους πελάτες κινητών συσκευών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελαχιστοποιηθούν οι χρόνοι λήψης, να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και να βελτιωθεί η απόδοση των streaming υπηρεσιών. Παρά το γεγονός ότι οι crowd-sourced μετρήσεις παρέχουν ένα σημαντικό εργαλείο πρόβλεψης, δεν είναι γνωστό κατά πόσο αυτές οι πληροφορίες μπορούν να παρέχουν ακρίβεια και βελτίωση της πρόβλεψης. Οι συγγραφείς της εργασίας, χρησιμοποιούν ένα crowd-sourced και μεγάλης κλίμακας σύνολο δεδομένων από την κυρίαρχη υπηρεσία δοκιμών απόδοσης δικτύου της Σουηδίας, για να εκτιμήσουν την ακρίβεια της πρόβλεψης και τις επιτεύξιμες βελτιώσεις απόδοσης με τέτοιου είδους δεδομένα. Η διαδικασία εκτίμησης περιλαμβάνει 3 βήματα. Στο πρώτο βήμα παρουσιάζουν μια επεκτάσιμη μεθοδολογία χάρτη απόδοσης που επιτρέπει την γρήγορη εισαγωγή / ανάκτηση των γεωγραφικών μετρήσεων και ακολούθως χρησιμοποιούν την συγκεκριμένη μεθοδολογία προκειμένου να χαρακτηρίσουν την χρήση της συγκεκριμένης υπηρεσίας δοκιμών απόδοσης δικτύου της Σουηδίας. Στο δεύτερο βήμα αναλύουν τις μεταβολές του εύρους ζώνης και την προβλεψιμότητα των ταχυτήτων λήψης που παρατηρούνται εντός και μεταξύ διαφορετικών τοποθεσιών. Στο τρίτο και τελευταίο βήμα αξιολογούν τις σχετικές βελτιώσεις απόδοσης που επιτεύχθηκαν από τους χρήστες με την χρήση διαφορετικών υποσυνόλων δεδομένων.

Στην εργασία [2] αναφέρεται ότι η τεχνική του crowdsourcing είναι μια ελκυστική προσέγγιση για την συλλογή μεγάλης κλίμακας ασύρματων μετρήσεων, αλλά η κατανόηση της ποιότητας και της ποικιλίας των αποτελεσμάτων των μετρήσεων είναι μια δύσκολη διαδικασία και προτείνουν μια νέα εφαρμογή που χρησιμοποιεί μάθηση χωρίς επίβλεψη για την ανίχνευση κρυφού συσχετισμού μεταξύ των μετρήσεων, των χαρακτηριστικών τους και της ακρίβειας της τοποθεσίας. Τέλος, παρουσιάζεται ένας τρόπος βελτιστοποίησης των crowdsourced μετρήσεων ο οποίος βελτιώνει δραματικά την ακρίβεια της τοποθεσίας και μειώνει την διακύμανση.

Στην εργασία [3] αναφέρονται οι δυνατότητες της τεχνικής του crowdsourcing για την παρακολούθηση της απόδοσης δικτύων με την χρήση κινητών τηλεφώνων και παρουσιάζεται ένα εργαλείο παρακολούθησης δικτύου που ονομάζεται Portolan. Το Portolan χρησιμοποιεί τις κινητές συσκευές για να εκτελεί μετρήσεις. Οι χρήστες που χρησιμοποιούν το Portolan συλλέγουν ένα μικρό μέγεθος τοπικών μετρήσεων οι οποίες συνδυάζονται προκειμένου να κατασκευαστεί ένας αναλυτικός χάρτης του δικτύου.

Στην εργασία [4] παρουσιάζεται το εργαλείο CrowdWatch. Το CrowdWatch είναι ένα crowdsourcing πλαίσιο (framework) κινητών συσκευών το οποίο έχει μια μικρή λειτουργική υπηρεσία η οποία διανέμεται στην κινητή συσκευή του κάθε χρήστη. Με την χρήση της συγκεκριμένης υπηρεσίας τα κινητά των χρηστών συνεργάζονται και ως αποτέλεσμα αυτής της συνεργασίας δημιουργείται ένας επεκτάσιμος και ενεργειακά αποδοτικός crowdsourcing μηχανισμός που επιτρέπει τον εντοπισμό και την παρακολούθηση κρίσιμων πληροφοριών του δικτύου και των χρηστών που χρησιμοποιούν το CrowdWatch.

Στην εργασία [5], οι συγγραφείς της εργασίας, αναφέρονται στην εφαρμογή που δημιούργησαν, το WiFi-Scout. Στην εφαρμογή αυτή συνδυάζεται η τεχνική του crowdsourcing με ένα δίκτυο υποστήριξης για τον σχεδιασμό ενός συστήματος αίσθησης WiFi για μια εφαρμογή σε έξυπνες πόλεις (smart cities). Με αυτό το δίκτυο υποστήριξης, η εφαρμογή μπορεί να ποσοτικοποιήσει την αξιοπιστία των εκδοτών δεδομένων για να καταστήσει το σύστημα πιο αξιόπιστο. Με την χρήση της εφαρμογής, οι χρήστες οδηγούνται στη σύνδεση με καλύτερα WiFi hotspots.

Στην εργασία [6] αναλύεται η μεγάλη δυναμική που έχουν οι κατανεμημένες μετρήσεις απόδοσης δικτύου προς τους τελικούς κόμβους του δικτύου. Για να επιτευχθεί όμως ακριβής και αξιοκρατική αξιολόγηση της απόδοσης του δικτύου, οι συγγραφείς της εργασίας αναφέρουν ότι πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό των μετα-επεξεργαστικών σταδίων και στον υπολογισμό των σχετικών μετρήσεων απόδοσης, χωρίς εξωτερικά σημεία συμφόρησης που δυσχεραίνουν τη λειτουργία του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό οι τιμές των ακατέργαστων δεδομένων που συλλέγονται από τους τελικούς κόμβους μετατρέπονται σε ρεαλιστικές εκτιμήσεις της απόδοσης του δικτύου.

Στην εργασία [7] παρουσιάζεται το CrowdREM, ένα πλαίσιο (framework) που έχει ως στόχο την παρακολούθηση και την μοντελοποίηση ασύρματων κυψελοειδών δικτύων χρησιμοποιώντας crowdsourcing τεχνικές. Το CrowdREM δίνει την δυνατότητα εξαιρετικά αποδοτικής και ανεξάρτητης από τον φορέα συλλογής δεδομένων απόδοσης δικτύου από όλα τα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλου επικοινωνιών. Αυτές οι εκτεταμένες πληροφορίες σχετικά με το φορτίο του δικτύου, το εύρος της χρήσης ή την τοπική κάλυψη μπορούν να βοηθήσουν τους διαχειριστές να βελτιστοποιήσουν τα δίκτυα τους, την ποιότητα των υπηρεσιών τους και να επιτρέψουν βελτιωμένη λήψη αποφάσεων για τους καταναλωτές. Η συλλογή αυτών των πληροφοριών γίνεται από φθηνές κινητές συσκευές των χρηστών.

Στην εργασία [8] οι συγγραφείς αναφέρουν πως οι πάροχοι υπηρεσιών δικτύου απαιτούν ακριβή κατανόηση της απόδοσης των κυψελοειδών δικτύων που παραδίδουν στους χρήστες. Η απόκτηση μετρήσεων απόδοσης των δικτύων είναι απαιτητική εξαιτίας πολλών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου και του φυσικού πλαισίου που επηρεάζουν την απόδοση των κυψελοειδών δικτύων. Αρχικά, πραγματοποιούν μια μεγάλης κλίμακας μελέτη, βασισμένη σε δεδομένα μετρήσεων που συλλεχθήκαν από έναν μεγάλο πάροχο υπηρεσιών δικτύου και εκατοντάδες ελεγχόμενα πειράματα. Ακολούθως, σχεδιάζουν και αναπτύσσουν μια πρωτότυπη υπηρεσία ενεργών μετρήσεων για κινητά

Android που βασίζεται στην πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί. Η ανάλυση τους δείχνει ότι το σύστημα είναι ικανό να ανακτήσει μετρήσεις μέσου ρυθμού που ποσοτικοποιούν με ακρίβεια την εμπειρία που γίνεται αισθητή κατά την διάρκεια της ενεργής χρήσης της συσκευής και του δικτύου.

Στην εργασία [9] προτείνεται μια αρχιτεκτονική δικτύου που χρησιμοποιεί ενδείξεις των αισθητήρων για να αυξήσει και να βελτιώσει τα ασύρματα πρωτόκολλα. Η βασική ιδέα είναι να γίνει χρήση αυτών των ενδείξεων για να εξαχθεί το πλαίσιο στο οποίο λαμβάνει χώρα η επικοινωνία. Εφάρμοσαν αυτή την ιδέα για να αναπτύξουν πρωτόκολλα για την προσαρμογή του bitrate, την σύνδεση με τα σημεία πρόσβασης, την συντήρηση της τοπολογίας και την επιλογή μονοπατιού σε δίκτυα οχημάτων.

Στην εργασία [10] οι συγγραφείς της εργασίας παρουσιάζουν προκαταρκτικά αποτελέσματα από την έρευνα τους για το πως γίνεται παρακολούθηση και μέτρηση της απόδοσης δικτύου παρουσία των middleboxes. Τα αποτελέσματα τους αφορούν τρία πραγματικά λειτουργικά ασύρματα δίκτυα υπογραμμίζοντας τότε και πως τα middleboxes μπορούν να επηρεάσουν τις δραστηριότητες παρακολούθησης και μέτρησης. Τέλος, προτείνουν μια προσέγγιση χρήσης τόσο ενεργητικών όσο και παθητικών τεχνικών, κοιτάζοντας σε διαφορετικά επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλου χρησιμοποιώντας διαφορετικά προφίλ επισκευσιμότητας και στις δύο πλευρές των middleboxes.

Στην εργασία [11] σε μια προσπάθεια να αποδειχτεί ότι ο ασύρματος εξοπλισμός μπορεί να παράγει αποδοτικά SNMP στατιστικά ανά συσκευή, πραγματοποιούνται διάφορα πειράματα και χρησιμοποιούνται δύο αρκετά διαφορετικές τεχνικές για την συλλογή δεδομένων. Η μια είναι η τεχνική του Vicinity Sniffing και η δεύτερη είναι μια τεχνική βασισμένη στο πρωτόκολλο SNMP. Φαίνεται ότι τα αποτελέσματα που συλλέγονται με την τεχνική του Vicinity Sniffing είναι αρκετά συμπαγή και τέλος ότι σε μερικές περιπτώσεις η τεχνική του SNMP εκτελεί πιο ακριβή παρακολούθηση του δικτύου από την τεχνική του Vicinity Sniffing.

Στην εργασία [12] αναφέρεται ότι για την παροχή κατάλληλης ποιότητας υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες των ασύρματων LAN δικτύων είναι ζωτικής σημασίας η αναγνώριση των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι τελικοί χρήστες όταν χρησιμοποιούν τα δίκτυα. Την ίδια στιγμή είναι απαραίτητη η ύπαρξη παρακολούθησης και χαρτογράφησης των ασύρματων δικτύων. Έτσι, οι συγγραφείς, ερευνούν τρόπους παρακολούθησης ασύρματων LAN δικτύων και πιο συγκεκριμένα πως η παρακολούθηση και η μετρήσεις απόδοσης των ασύρματων δικτύων μπορούν να επωφεληθούν από τα δεδομένα τοποθεσίας των χρηστών.

Στην εργασία [13] γίνεται ένα από τα πρώτα βήματα κατανόησης της απόδοσης και των χαρακτηριστικών ισχύος των κινητών δικτύων 4G Long-Term Evolution (LTE). Κάνοντας χρήση του 4GTest, οι συγγραφείς, παρατηρούν ότι το LTE έχει σημαντικά υψηλότερο ρυθμό λήψης και μεταφόρτωσης σε σχέση με το 3G και το WiFi.

Στην εργασία [14] οι συγγραφείς καταδεικνύουν την ανάγκη ύπαρξης ποιότητας υπηρεσιών και βελτιστοποίησης των δικτύων τρίτης γενιάς (3G) στην Ταϊλάνδη.

Για το λόγο αυτό προτείνουν δύο εννοιολογικά πλαίσια (frameworks) για δοκιμές απόδοσης και βελτιστοποίηση δικτύων αντίστοιχα. Το πλαίσιο που αφορά την βελτιστοποίηση δικτύων αποτελείται από έναν ορισμό Key Performance Indicator (KPI), από μια διεπαφή παρακολούθησης της απόδοσης του δικτύου, από έναν ρυθμιστή παραμέτρων του δικτύου και από βελτιστοποιημένες διαδικασίες του δικτύου. Η διαδικασία παρακολούθησης της απόδοσης του δικτύου περιλαμβάνει μετρήσεις κίνησης (απ' την μεριά του διαχειριστή) και μετρήσεις ποιότητας υπηρεσιών (απ' την μεριά του χρήστη). Οι διαχειριστές χρειάζονται αυτές τις πληροφορίες για την παρακολούθηση της απόδοσης του δικτύου, για την ικανοποίηση των χρηστών και για την διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων του δικτύου.

Στην εργασία [15] τονίζεται η σημασία που έχει η γνώση του πλαισίου μέσα στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις δοκιμών απόδοσης των κινητών κυψελοειδών δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται ο αντίκτυπος του περιβάλλοντος χρήσης (εσωτερικό ή εξωτερικό) την στιγμή που γίνονται οι μετρήσεις. Η ανάλυση επικεντρώνεται σε μετρήσεις της ισχύς του σήματος και στην χρήση ενός συνδυασμού μεγάλων crowdsourced συνόλων δεδομένων και ελεγχόμενων μετρήσεων οι οποίες αποκαλύπτουν ότι το περιβάλλον χρήσης επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων και ως εκ τούτου η συγχώνευση μετρήσεων εσωτερικού και εξωτερικού χώρου θα πρέπει να αποφεύγεται καθώς μπορεί να οδηγήσει σε αναξιόπιστα ή και λανθασμένα συμπεράσματα.

Στην εργασία [16] οι συγγραφείς της εργασίας παρέχουν μια συνολική εικόνα των υπαρχόντων και αναδυόμενων υπηρεσιών, εργαλείων και testbeds μετρήσεων απόδοσης κινητών δικτύων. Παρά την σχετική ωριμότητα των υφιστάμενων πλατφορμών, αρκετά λειτουργικά κενά παραμένουν σε σχέση με τις ανάγκες των προγραμματιστών, των ερευνητών, των διαχειριστών δικτύων και των ρυθμιστικών αρχών για την αξιολόγηση της απόδοσης των κινητών δικτύων. Τα υπάρχοντα εργαλεία δεν υποστηρίζουν επαρκώς την ανίχνευση της διαμόρφωσης της κίνησης του δικτύου. Επίσης, η διάχυση των συσκευών σε πλατφόρμες με βάση την ad-hoc συμμετοχή των χρηστών σημαίνει ότι τα υπάρχοντα εργαλεία δεν είναι κατάλληλα για μακροπρόθεσμη παρακολούθηση της απόδοσης των δικτύων. Ακόμη, αρκετά testbeds δίνουν την δυνατότητα στους προγραμματιστές να προτυποποιήσουν την απόδοση των εφαρμογών τους πριν την ανάπτυξη τους. Ωστόσο, υπάρχει σημαντική διαφορά στον τρόπο με τον οποίο αυτά τα testbeds χρησιμοποιούν αυτή την λειτουργικότητα από την άποψη των μοντέλων εκτέλεσης και των Application Programming Interface (API). Τέλος, η ανταλλαγή κίνησης Point to Point (P2P), τα διαγνωστικά δικτύων, τα traceroutes Internet Control Message Protocol (ICMP), τα κριτήρια επιλογής συσκευών και το traversal Network Address Translation (NAT) δεν υποστηρίζονται μόνο επιλεκτικά από διαφορετικές πλατφόρμες.

Στην εργασία [17] εξετάζεται το ενδεχόμενο εφαρμογής ενός προγράμματος παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων σε σχέση με την απόδοση των υπηρεσιών ευρυζωνικού διαδικτύου στην Αυστραλία. Ένα πρόγραμμα παρακολούθησης και αναφοράς ευρυζωνικών επιδόσεων θα περιλαμβάνει δοκιμές των ποσοστών μεταφοράς δεδομένων και άλλες μετρήσεις ποιότητας υπηρεσιών για ευρυζωνικές υπηρεσίες. Στη

συνέχεια η επιτροπή θα συγκεντρώσει τα δεδομένα που προκύπτουν και θα δημοσιεύσει δημοσίως εκθέσεις που θα συζητούν τα αποτελέσματα. Σκοπός αυτής της διαδικασίας διαβούλευσης είναι να δοθεί η δυνατότητα στην επιτροπή να εκπονήσει ένα σχέδιο για ένα ισχυρό πρόγραμμα παρακολούθησης το οποίο θα παρέχει ουσιαστική και εμπειριστατομένη αναφορά στους ενδιαφερόμενους σχετικά με τις επιδόσεις των ευρυζωνικών υπηρεσίες στην Αυστραλία.

Στην εργασία [18], οι συγγραφείς της εργασίας, συζητούν την εμπειρία τους σχετικά με την διεξαγωγή speedtest-like μετρήσεων για την εκτίμηση της ταχύτητας λήψης που προσφέρεται από πραγματικά 3G/4G δίκτυα. Τα πειράματα τους έγιναν δυνατά από την διαθεσιμότητα της ανοιχτής πλατφόρμας MONROE, που έχει εκατοντάδες διάσπαρτους κόμβους σε 4 διαφορετικές χώρες και είναι ειδικά σχεδιασμένοι με στόχο την παροχή λύσεων υλικού και λογισμικού για τη διεξαγωγή πειραμάτων μεγάλης κλίμακας σε κινητά ευρυζωνικά δίκτυα.

Ως αποτέλεσμα, το βασικό συμπέρασμα της δουλειάς τους είναι ότι τα benchmarks για την αξιολόγηση των επιδόσεων των κινητών ευρυζωνικών δικτύων είναι απολύτως αναγκαία, προκειμένου να αποφευχθούν απλοϊκές, επιφανειακές, λανθασμένες ή και μεροληπτικές μελέτες, οι οποίες είναι δύσκολο να αποδειχθούν ψευδείς. Ο καθορισμός των benchmarks που μπορούν να παράσχουν αξιόπιστα αποτελέσματα δεν είναι εύκολος και απαιτεί προκαταρκτική έρευνα και εμπειρία, τα οποία είναι πλέον δυνατά χάρη στη διαθεσιμότητα μιας εκτεταμένης ευρωπαϊκής πλατφόρμας όπως η MONROE.

Στην εργασία [19], οι συγγραφείς της εργασίας, αναφέρουν ότι τα δίκτυα second Generation (2G) ήταν επικεντρωμένα στην φωνή. Ο έλεγχος της ποιότητας στα δίκτυα αυτά ήταν λιγότερο πολύπλοκος από τον έλεγχο ποιότητας στα δίκτυα 3G και ειδικά στα δίκτυα 4G. Αυτό συμβαίνει επειδή τα μέσα παροχής υπηρεσιών και οι κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες τα οποία είναι ευρέως διαδεδομένα, παροτρύνουν τους παρόχους ασύρματων δικτύων να μεταδίδουν δεδομένα μέσω διαφόρων εφαρμογών, δημιουργώντας διαφορετικά χαρακτηριστικά κυκλοφορίας δεδομένων ως αποτέλεσμα. Οι επιτυχημένες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες μπορούν να επιτευχθούν με τη διαχείριση της ποιότητας της εμπειρίας των χρηστών, προσελκύοντας και διατηρώντας τους πελάτες, βελτιώνοντας την ικανοποίηση των χρηστών και διευρύνοντας τη βάση των συνδρομητών. Η πρόκληση που αντιμετωπίζουν σήμερα οι επιχειρηματίες είναι ο τρόπος παρακολούθησης και βελτίωσης της ποιότητας των υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο και η παροχή διαφοροποιημένων υπηρεσιών. Όσο για τους διαχειριστές των δικτύων, η επιτυχία των πελατών θα χαρακτηρίζεται από την ικανότητά τους να προσφέρουν αυτές τις εφαρμογές με στόχο να προσφέρουν στους πελάτες σπουδαίες εμπειρίες. Κατά συνέπεια, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων πρέπει να βελτιώσουν τα μέσα παροχής υπηρεσιών ώστε να επιτύχουν τη μεγαλύτερη απόδοση επένδυσης (Return on Investment -ROI) και την εκτέλεση. Η παροχή δικτύων κινητής τηλεφωνίας πρέπει να είναι αποτελεσματική και να ανταποκρίνεται στην ποιότητα των υπηρεσιών (Quality of Service -QoS) προκειμένου να αντιμετωπίσει τέτοιες προκλήσεις. Εδώ, το δίκτυο LTE, το οποίο βασίζεται σε IP και έχει ήδη γίνει μια ευρεία

τάση στις υποδομές κινητής τηλεφωνίας, θα βοηθήσει στην απόκτηση περισσότερου εύρους ζώνης και στη βελτίωση της λανθάνουσας κατάστασης δεδομένων.

Στην εργασία [20] αναπτύσσεται μια μέθοδος παρακολούθησης της συμμόρφωσης ενός WiFi δικτύου, με βάση την ποιότητα της εμπειρίας των χρηστών. Για τον λόγο αυτό προτείνεται μια μέθοδος αξιολόγησης της ποιότητας της εμπειρίας των χρηστών βασισμένη στο Machine Learning (ML), η οποία επιτρέπει στους διαχειριστές του δικτύου και στους παρόχους υπηρεσιών να προβλέψουν της ποιότητας της εμπειρίας μέσω μετρήσεων απόδοσης του δικτύου.

Στην εργασία [21], οι συγγραφείς της εργασίας, χαρακτηρίζουν την απόδοση της κίνησης των χρηστών σε οικιακά ασύρματα δίκτυα από 66 οικίες σε 15 χώρες κάνοντας χρήση παθητικών μετρήσεων απόδοσης δικτύου. Αναλύουν παθητικά συλλεχθέντα ίχνη τόσο στο φάσμα των 2.4 GHz όσο και στο φάσμα των 5 GHz. Μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις κατά την εκτέλεση αυτής της εργασίας ήταν ο σχεδιασμός ενός εργαλείου μετρήσεων που θα μπορούσε να λειτουργήσει μέσα στους στενούς περιορισμούς ενός οικιακού δρομολογητή και να αντλήσει λογικά συμπεράσματα από ένα και μόνο σημείο. Η μελέτη τους πάνω σε αυτά τα στοιχεία πραγματικής κίνησης χρηστών σε οικιακά ασύρματα δίκτυα αποκάλυψε ότι οι περισσότερες Transmission Control Protocol (TCP) ροές στα οικιακά δίκτυα επιτυγχάνουν μόνο ένα μικρό κομμάτι του διαθέσιμου ρυθμού πρόσβασης, ότι τα ασύρματα χαρακτηριστικά έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην απόδοση της επισκεψιμότητας των χρηστών, ότι το κανάλι των 5 GHz παρουσιάζει καλύτερη απόδοση από το κανάλι των 2,4 GHz και ότι οι διακριτές συσκευές στο ίδιο σπίτι μπορούν να δουν πολύ διαφορετικές ασύρματες επιδόσεις.

Στην εργασία [22] αναφέρεται μια εγκατάσταση ασύρματου δικτύου με πολλαπλά σημεία πρόσβασης και σταθμούς που ονομάζεται “Dense WiFi network”. Οι ασύρματες τεχνολογίες χρησιμοποιούν την ίδια μη αδειοδοτούμενη Industrial, Scientific and Medical (ISM) ζώνη, επειδή τα διαθέσιμα κανάλια είναι λιγότερα σε αυτή την ζώνη. Η επαναχρησιμοποίηση καναλιού έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικά προβλήματα παρεμβολής μεταξύ καναλιών και επηρεάζει σημαντικά την ασύρματη απόδοση που λαμβάνει ο πελάτης. Η σωστή τοποθέτηση του σημείου πρόσβασης και της κατανομής των καναλιών είναι οι κοινές προκλήσεις σε ένα Dense WiFi δίκτυο.

Στην εργασία [23] οι συγγραφείς βασίζονται σε μετρήσεις στο ReMesh ασύρματο mesh δίκτυο της πόλης Niteroi της Βραζιλίας. Χρησιμοποιούν μια τροποποιημένη έκδοση του ad-hoc πρωτοκόλλου δρομολόγησης (Optimized Link State Routing Protocol-OLSR). Το πρωτόκολλο OLSR έχει στόχο την μεγιστοποίηση της απόδοσης μέσω της μείωσης του αριθμού των μεταδόσεων πάνω από το ασύρματο κοινόχρηστο μέσο, επιλέγοντας διαδρομές με βάση το άθροισμα του αναμενόμενου αριθμού μετάδοσης κάθε συνδέσμου από ένα κόμβο πηγής προς ένα κόμβο προορισμού.

Στην εργασία [24], οι συγγραφείς της εργασίας, παρουσιάζουν τα αποτελέσματα μετρήσεων από εκτεταμένα πειράματα πάνω σε μια μεγάλης κλίμακας, εσωτερικού χώρου, δοκιμαστική πλατφόρμα IEEE 802.11ac, μελετώντας τη συνολική επίδραση του εύρους

ζώνης καναλιού, του προφίλ της κυκλοφορίας, της πυκνότητας και τοποθέτησης των σημείων πρόσβασης στη συνολική και δίκαιη απόδοση σε επίπεδο δικτύου. Τα αποτελέσματα τους δείχνουν ότι τα μεγάλα κανάλια των 80 MHz είναι επωφελή μόνο σε πολύ πυκνές εφαρμογές με εξαιρετικά υψηλούς όγκους κυκλοφορίας, λόγω του Adjacent Channel Interference (ACI) που συνδυάζει στενότερα κανάλια. Ωστόσο, για TCP κυκλοφορία της τάξης των 35 Mbps, που είναι αντιπροσωπευτική των σύγχρονων οικιακών εφαρμογών WiFi, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι δεν υπάρχει πρόβλημα στην χρήση καναλιών χαμηλότερου εύρους ζώνης.

Στην εργασία [25], οι συγγραφείς, παρουσιάζουν την Android εφαρμογή που δημιούργησαν με όνομα “NetworkCoverage”. Η συγκεκριμένη εφαρμογή επιτρέπει την μέτρηση της ποιότητας κινητών και WiFi δικτύων μέσω εκτέλεσης ενεργών και παθητικών μετρήσεων. Οι βελτιώσεις της μετρήσιμης ταχύτητας και του αποθηκευμένου όγκου δεδομένων οπτικοποιούνται και συγκρίνονται με τις συμβατικές προσεγγίσεις. Τα συλλεγόμενα δεδομένα αποθηκεύονται τοπικά για ανάλυση του δικτύου και μεταφέρονται περιοδικά σε έναν διακομιστή για συνάθροιση δεδομένων και ανάλυση της συνολικής δικτυακής απόδοσης. Τα συναθροισμένα δεδομένα, όπως λαμβάνονται από τον διακομιστή, παρουσιάζονται στην συσκευή σε χάρτες δικτυακής ποιότητας, συμπεριλαμβανομένων των χαρτών του χρόνου round-trip και του εύρους ζώνης διαφορετικών παρόχων δικτύου.

Στην εργασία [26], οι συγγραφείς, μελετούν την δικτυακή απόδοση των κινητών συσκευών στο δίκτυο της πανεπιστημιούπολης του UConn. Ανακαλύπτουν ότι οι κινητές συσκευές, σε σχέση με τις μη-κινητές συσκευές, χρησιμοποιούν περισσότερο τους εκτεταμένους εξυπηρετητές της Akamai και της Google, γεγονός που ενισχύει την συνολική δικτυακή απόδοση τους. Επιπλέον, οι ροές κινητών συσκευών, ιδιαίτερα οι βραχείες ροές, επωφελούνται από το μεγάλο παράθυρο αρχικής συμφόρησης που υιοθέτησαν οι Akamai και Google διακομιστές. Δεύτερον, οι κινητές συσκευές τείνουν να έχουν μεγαλύτερες τοπικές καθυστερήσεις στο εσωτερικό του δικτύου WiFi και επηρεάζονται περισσότερο από τον αριθμό των ταυτόχρονων ροών. Τρίτον, το Android OS δεν μπορεί να επωφεληθεί από το μεγάλο παράθυρο αρχικής συμφόρησης που υιοθετήθηκε από πολλούς διακομιστές, ενώ το μεγάλο παράθυρο λήψης που υιοθετήθηκε από το iOS δεν αξιοποιείται πλήρως από τις περισσότερες ροές, οδηγώντας σε σπατάλη πόρων. Τέλος, ορισμένα πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής προκαλούν αναποτελεσματική χρήση των πόρων του δικτύου και του λειτουργικού συστήματος των κινητών συσκευών στα WiFi δίκτυα. Οι παρατηρήσεις τους παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη διανομή περιεχομένου, την παροχή υπηρεσιών διακομιστή, τον σχεδιασμό του συστήματος κινητών συσκευών και το σχεδιασμό πρωτοκόλλου σε επίπεδο εφαρμογών.

Στην εργασία [27], οι συγγραφείς, προτείνουν μια νέα εφαρμογή μετρήσεων, που ονομάζεται Mor-Eye, για την παρακολούθηση της δικτυακής απόδοσης ανά συσκευή μη rooted τηλεφώνων. Το Mor-Eye χρησιμοποιεί τόσο ενεργές όσο και παθητικές μετρήσεις απόδοσης του δικτύου. Αξιοποιώντας το VpnService API στο Android OS, το MorEye παρακολουθεί όλη την κυκλοφορία του δικτύου και στη συνέχεια την μεταδίδει στους



προορισμούς της κάνοντας χρήση των socket API. Επομένως, το MorEye μπορεί να μετρήσει τον χρόνο round-trip με ακρίβεια χωρίς να επιφέρει επιπλέον κίνηση.

Στην εργασία [28], ο συγγραφέας αναπτύσσει το CheesePi, μια κατανεμημένη πλατφόρμα μετρήσεων που επιτρέπει στους χρήστες να χαρακτηρίσουν την εμπειρία τους κατά την πλοήγηση τους στο Internet. Ο agent του CheesePi τρέχει σε ένα Raspberry Pi συνδεδεμένο σε έναν οικιακό δρομολογητή. Ο agent εκτελεί περιοδικά μετρήσεις ICMP, HTTP, traceroute και Voice over Internet Protocol (VoIP). Επιπλέον, αυξάνοντας τον αριθμό και τη διανομή των agents, το δίκτυο μπορεί να χαρακτηριστεί καλύτερα. Ένας πίνακας εργαλείων που φιλοξενείται τοπικά στο Raspberry Pi, χρησιμοποιείται για την απεικόνιση της συμπεριφοράς σύνδεσης. Τα αποτελέσματα μέτρησης δείχνουν ότι οι πελάτες με σύνδεση Ethernet παρουσίασαν σημαντικά καλύτερη καθυστέρηση και απώλεια πακέτων σε σύγκριση με τους χρήστες WiFi.

Στην εργασία [29], οι συγγραφείς, χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά των Radio Frequency (RF) συσκευών που δεν είναι Wi-Fi, αναλύοντας την επίδραση παρεμβολών σε δεδομένα, βίντεο και φωνητική κίνηση και εξετάζοντας τις παρεμβολές σε ένα ζωντανό δίκτυο πανεπιστημιούπολεων. Συνολικά, διαπιστώσανε ότι το δίκτυο πανεπιστημιούπολεων εκτίθεται σε μια μεγάλη ποικιλία συσκευών που δεν είναι WiFi και ότι αυτές οι συσκευές μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο επίπεδο παρεμβολών στο δίκτυο. Τα ελεγχόμενα πειράματά τους έδειξαν ότι, ακόμη και σε αποστάσεις έως και 30 μ., ορισμένες από αυτές τις μη WiFi συσκευές μπορεί να έχουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην κίνηση δεδομένων, βίντεο και φωνής.

Στην εργασία [30], οι συγγραφείς, εκτιμούν την ακρίβεια των εφαρμογών μέτρησης στα τηλέφωνα Android. Ξεπερνούν την κύρια πρόκληση της απόκτησης ακριβών χρονικών σημείων πακέτων από το ασύρματο μέσο και την εγκατάσταση μιας αξιόπιστης ασύρματης πλατφόρμας δοκιμών. Διαπιστώνουν ότι οι χρόνοι round-trip που μετρούνται από τις εφαρμογές είναι σημαντικά διογκωμένοι. Αφού διεξήγαγαν προσεκτικές έρευνες, εντοπίζουν ότι η επιβάρυνση καθυστερήσεων που εισάγεται από το Dalvik Virtual Machine (DVM) δεν είναι αμελητέα και συμμετρική στις κατευθύνσεις αποστολής και λήψης.

Στην εργασία [31], οι συγγραφείς, περιγράφουν μια μοναδική υποδομή μέτρησης και διαχείρισης, τη WiSe, για την εκτέλεση μετρήσεων εν σειρά των ασύρματων ιδιοτήτων σε σπίτια που χρησιμοποιούν τα σημεία πρόσβασης ως πλεονεκτικά σημεία. Αυτή η υποδομή λειτουργεί για περισσότερο από 6 μήνες σε 30 σπίτια. Η υποδομή τους λειτουργεί μέσω ενός ανοιχτού API και έτσι στο μέλλον μπορούν να προστεθούν στην υποδομή και άλλοι τύποι σημείων πρόσβασης.

Στην εργασία [32], οι συγγραφείς, ρίχνουν μια πρώτη ματιά στην από άκρο-σε-άκρο απόδοση από τις κινητές συσκευές, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων προγραμματισμένων μετρήσεων απόδοσης δικτύου που καλύπτουν περισσότερους από 100 φορείς σε διάστημα 17 μηνών. Ανακαλύπτουν ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές

απόδοσης μεταξύ των φορέων, των τεχνολογιών πρόσβασης, των γεωγραφικών περιοχών και με την πάροδο του χρόνου.

Ωστόσο, υπογραμμίζουν ότι οι ίδιες οι παραλλαγές δεν είναι ομοιόμορφες, καθιστώντας δύσκολή την διάγνωση της απόδοσης του δικτύου. Χρησιμοποιώντας συμπληρωματικές μετρήσεις όπως αναζητήσεις Domain Name System (DNS) και traceroutes, εντοπίζουν τους λόγους για τα επίμονα προβλήματα απόδοσης. Συνολικά, διαπιστώνουν ότι οι επιδόσεις στα κυψελοειδή δίκτυα δεν βελτιώνονται κατά μέσο όρο, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη για μεγαλύτερη παρακολούθηση και διάγνωση.

Στην εργασία [33], οι συγγραφείς, σχεδιάζουν και υλοποιούν μια νέα διάταξη εργασιακών ρυθμίσεων η οποία επιτρέπει συστηματικές μετρήσεις απόδοσης των νέων διαθέσιμων ασύρματων εξοπλισμών. Μέσω του επιπέδου 4 του μοντέλου Open Systems Interconnection (OSI), μετρήθηκαν η TCP απόδοση, το jitter και η ποσοστιαία απώλεια datagram και συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που ελήφθησαν για τους συνδέσμους Wi-Fi Protected Access (WPA) point-to-point και Open-to-multipoint. Σε σύγκριση με τους συνδέσμους Wireless Transaction Protocol (WTP) και PET Transfer Protocol (PTP), η TCP απόδοση, το jitter και η ποσοστιαία απώλεια datagram βρέθηκαν να έχουν μειωμένες επιδόσεις για συνδέσεις WPA point-to-multipoint communication (PTMP), όπου το σημείο πρόσβασης πρέπει να διατηρεί συνδέσεις μεταξύ υπολογιστών. Σε σύγκριση με τους ανοικτούς συνδέσμους PTMP, η TCP απόδοσή , το jitter και η ποσοστιαία απώλεια datagram βρέθηκαν να έχουν μειωμένες επιδόσεις για συνδέσεις WPA PTMP, όπου η κρυπτογράφηση αυξάνει το μήκος των δεδομένων. Στο επίπεδο 7 του μοντέλου OSI τα αποτελέσματα απόδοσης FTP έχουν δείξει τις ίδιες τάσεις που βρέθηκαν για τη διακίνηση TCP. Γενικά, βρέθηκαν ενδιαφέρουσες επιδόσεις υπό την κρυπτογράφηση WPA. Αυτό είναι σημαντικό, ειδικά στο επίπεδο του συστήματος επιχειρηματικών πληροφοριών, καθώς μπορεί να επιτευχθεί αυξημένη εμπιστευτικότητα χωρίς σημαντική υποβάθμιση της απόδοσης.

Στην εργασία [34], οι συγγραφείς, παρουσιάζουν, μέσω δυο εκτεταμένων περιπτώσιολογικών μελετών, ότι οι μετρήσεις μέσω των smartphones μπορούν να συμβάλουν στην απόκτηση μοναδικών στοιχείων σχετικά με την ανάπτυξη ασύρματων δικτύων μεγάλης κλίμακας, τα οποία είναι δύσκολο ή αδύνατο να συλλεχθούν από τις έρευνες του χώρου, στατικά ανεπτυγμένα sniffers ή αρχεία καταγραφής από την πλευρά υποδομής.

Στην εργασία [35], οι συγγραφείς, παρουσιάζουν το WBest, ένα νέο εργαλείο εκτίμησης του εύρους ζώνης για ασύρματα δίκτυα, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ακριβή εκτίμηση του εύρους ζώνης χωρίς υπερβολική παρεμβολή στην υπάρχουσα κυκλοφορία. Το WBest μετρά στατιστικά το σχετικό διαθέσιμο κλάσμα της πραγματικής χωρητικότητας, μετριάζοντας την εκτιμώμενη καθυστέρηση και τα αποτελέσματα των σφαλμάτων του ασύρματου καναλιού. Το WBest συγκρίνεται με άλλα διαθέσιμα εργαλεία εκτίμησης εύρους ζώνης σε μια ασύρματη πλατφόρμα δοκιμών υπό διάφορες συνθήκες ασύρματου δικτύου.

Στην εργασία [36], οι συγγραφείς, εξετάζουν την χρήση των smartphones και ανοιχτών αγορών για την δημιουργία μιας μεγάλης κλίμακας υποδομής μετρήσεων. Αποδεικνύουν ότι η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική για την εύρεση μια μεγάλης βάσης χρηστών από όλο τον κόσμο. Παρουσιάζουν παραδείγματα μελετών μέτρησης, στα οποία η μέθοδος καθιστά δυνατή την πραγματοποίηση παρατηρήσεων σχετικά με την ακρίβεια εντοπισμού, τα περιβάλλοντα δικτύου WiFi, τη σταθερότητα της ανάθεσης IP διεύθυνσης και τη γεωγραφική τους θέση.

Στην εργασία [37], οι συγγραφείς, αναφέρουν ότι ένα δίκτυο 3G είναι ένα εξαιρετικά περίπλοκο αντικείμενο ενσωματωμένο σε ένα εξαιρετικά ετερογενές περιβάλλον χρήσης. Συνδυάζει τη λειτουργική πολυπλοκότητα του ασύρματου κυτταρικού υποδείγματος με το πρωτόκολλο δυναμικής των δικτύων TCP-IP. Τόσο το δίκτυο όσο και το περιβάλλον χρήσης εξελίσσονται συνεχώς. Η κατανόηση ενός τέτοιου περιβάλλοντος είναι πιο επείγουσα και ταυτόχρονα δυσκολότερη από ό,τι για τα δίκτυα 2G παλαιού τύπου, τα οποία ήταν εγγενώς απλούστερα και υπόκεινται σε βραδύτερες αλλαγές.

Στην εργασία [38], οι συγγραφείς, παρουσιάζουν την Mobilyzer, μια εφαρμογή κινητών συσκευών που εκτελεί μετρήσεις απόδοσης δικτύου. Η εφαρμογή Mobilyzer παρέχει:

- Απομόνωση δικτύου για την εξασφάλιση έγκυρων αποτελεσμάτων μετρήσεων.
- Πληροφορίες για την εξασφάλιση κατάλληλου προγραμματισμού των μετρήσεων και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.
- Μια συνολική εικόνα των διαθέσιμων πόρων για την εκτέλεση δυναμικών και καταναμημένων πειραμάτων.
- Ένα μοντέλο ανάπτυξης με κίνητρα για τους πειραματιστές και τους προγραμματιστές εφαρμογών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΡΓΑΛΕΙΟ WIFIMON

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΡΓΑΛΕΙΟ WiFiMON της GEANT

---

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύσαμε τους λόγους για τους οποίους είναι σημαντική η διαχείριση και η παρακολούθηση της απόδοσης και της ποιότητας των υπηρεσιών των δικτύων. Συνοπτικά, αναφέραμε τι είναι η παρακολούθηση δικτύων, τους λόγους για τους οποίους είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την κατάσταση του δικτύου μας, πως και με ποιον τρόπο μετράμε την απόδοση του δικτύου μας, πιθανά προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την διάρκεια των μετρήσεων της απόδοσης, τι είναι άξιο παρακολούθησης σε ένα δίκτυο και από τι πρέπει να αποτελείται ένα σύστημα παρακολούθησης δικτύων ώστε να αποφεύγουμε όσο το δυνατόν περισσότερο την παρουσίαση προβλημάτων και τον χρόνο που το δίκτυο θα πρέπει να παραμείνει ανενεργό για λόγους συντήρησης ή για αντιμετώπιση προβλημάτων (troubleshooting).

Η παρακολούθηση της απόδοσης και της ποιότητας των ασύρματων “WiFi” δικτύων, όμως, είναι ιδιαίτερα απαιτητική και διαφέρει σημαντικά από την παρακολούθηση των ενσύρματων δικτύων. Παρόλο που τα ασύρματα LAN δίκτυα εισήγαγαν έναν νέο και ευέλικτο τρόπο εργασίας, παρουσιάζουν, επίσης, νέες και ιδιαίτερες προκλήσεις. Η διαχείριση της ασφάλειας, η συντήρηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, η διαλειτουργικότητα του υλικού και η απομόνωση των προβλημάτων που παρουσιάζονται μπορούν, εύκολα, να επηρεάσουν την απόδοση καθώς επίσης και την λαμβανόμενη ποιότητα υπηρεσιών των χρηστών των ασύρματων LAN δικτύων.

Επιπλέον, οι διαχειριστές των δικτύων αναμένουν ότι τα ασύρματα LAN δίκτυα θα έχουν το ίδιο επίπεδο ασφάλειας, διαχειρισσιμότητας και επεκτασιμότητας όπως τα ενσύρματα LAN δίκτυα. Με γνώμονα αυτές τις νέες προκλήσεις, τα εργαλεία διαχείρισης και παρακολούθησης ασύρματων LAN δικτύων αποτελούν πλέον αδήριτη ανάγκη παρά πολυτέλεια. Για τον λόγο αυτό πολλά συστήματα διαχείρισης και παρακολούθησης ενσύρματων δικτύων έχουν τροποποιηθεί ώστε να καλύπτουν και τις ανάγκες διαχείρισης και παρακολούθησης ασύρματων δικτύων. Ωστόσο, πολλά από αυτά τα εργαλεία αποτυγχάνουν να αντιμετωπίσουν επαρκώς τις δυναμικές πτυχές που σχετίζονται με τα ασύρματα δίκτυα και τα περιβάλλοντα κινητών συσκευών.

Τα εργαλεία διαχείρισης και παρακολούθησης ασύρματων δικτύων, μόλις πρόσφατα, φτάσανε σε ικανοποιητικά επίπεδα απόδοσης. Ένα εργαλείο διαχείρισης και παρακολούθησης της απόδοσης και ποιότητας ασύρματων δικτύων είναι μια χρήσιμη λύση για τους διαχειριστές δικτύων που αναπτύσσουν και επιβλέπουν ασύρματα δίκτυα επειδή ένας ασύρματος αναλυτής πρωτοκόλλων, που έχει την δυνατότητα παρακολούθησης όλων των επιπέδων της στοίβας πρωτοκόλλων, μπορεί να ανακαλύψει, γρήγορα, προβλήματα που παρουσιάζονται και ενδεχομένως άλλα εργαλεία αδυνατούν να ανακαλύψουν. Το βραχυπρόθεσμο όφελος ενός τέτοιου εργαλείου είναι η άμεση μείωση του χρόνου που αφιερώνεται στην διάγνωση και επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάζονται στο δίκτυο. Το μακροπρόθεσμο όφελος ενός τέτοιου εργαλείου είναι η

συνολική βελτίωση της απόδοσης και ποιότητας του δικτύου καθώς και η ενίσχυση της ασφάλειας του.

Η ταχεία ανάπτυξη και υιοθέτηση των ασύρματων LAN δικτύων την τελευταία δεκαετία κάτω από τα πρότυπα IEEE 802.11 a, b και g εισάγει νέες προκλήσεις στη διαχείριση δικτύων, συμπεριλαμβανομένης της διατήρησης της ποιότητας των δεδομένων, της διασφάλισης της ισχύος του σήματος, της συλλογής στοιχείων για στατιστικούς λόγους, για αυθεντικοποίηση ταυτότητας χρηστών και για συνολική απόδοση του ασύρματου δικτύου.

Γενικά, ένα σύστημα διαχείρισης ασύρματων δικτύων θα πρέπει να παρέχει τις ακόλουθες υπηρεσίες:

1. Διαχείριση παραμέτρων
2. Διαχείριση απόδοσης
3. Διαχείριση ποιότητας & έντασης της ισχύος του σήματος
4. Παρακολούθηση δικτύου σε πραγματικό χρόνο
5. Μετρήσεις απόδοσης του δικτύου.
6. Αντιμετώπιση σφαλμάτων και
7. Διαχείριση σφαλμάτων.

Παρά το γεγονός ότι η μέτρηση της απόδοσης και της ποιότητας των ασύρματων δικτύων είναι δύσκολη, τα υπάρχοντα εργαλεία έχουν την δυνατότητα παρακολούθησης της συνολικής απόδοσης και ποιότητας των ασύρματων δικτύων, όμως δεν έχουν την δυνατότητα να χαρακτηρίσουν την ποιότητα των υπηρεσιών όπως την βιώνουν οι τελικοί χρήστες του ασύρματου δικτύου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία του δικτύου μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε, ένα νέο εργαλείο, το WiFiMon, το οποίο έχει αναπτυχθεί από την GEANT και έχει την δυνατότητα μέτρησης, καταγραφής και εξαγωγής στατιστικών σχετικά με την ποιότητα των ασύρματων WiFi δικτύων, όπως ακριβώς την βιώνουν οι χρήστες, καλύπτοντας έτσι το κενό άλλων εργαλείων που δεν μπορούν να χαρακτηρίσουν την ποιότητα ενός WiFi δικτύου, με τον τρόπο με τον οποίο την βιώνουν οι τελικοί χρήστες. Οι μετρήσεις, πυροδοτούνται από τους τελικούς χρήστες όταν επισκέπτονται σελίδες στις οποίες έχει ενσωματωθεί ο κώδικας του WiFiMon και καταγράφονται, μέσω crowdsourcing τεχνικών, χωρίς την παρέμβαση των τελικών χρηστών. Έτσι, το εργαλείο WiFiMon έχει ως κύριο στόχο την παροχή πληροφοριών, στους διαχειριστές ασύρματων WiFi δικτύων, σχετικά με την συνολική ποιότητα των υπηρεσιών του δικτύου όπως την αντιλαμβάνονται οι τελικοί χρήστες του δικτύου μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία.

#### **4.1 Λόγοι δημιουργίας του εργαλείου WiFiMon**

Η νέα ασύρματη τεχνολογία χρησιμοποιεί πολλαπλές ισχυρές και πολύπλοκες τεχνολογίες. Αυτές οι τεχνολογίες εμφανίζονται στις πιο πρόσφατες και Wireless Local Area Network (WLAN) προδιαγραφές, στο πρότυπο IEEE802.11 a/b/g/n και στο eduoam. Έτσι, η μέτρηση της ποιότητας (της απόδοσης) του ασύρματου δικτύου μπορεί να είναι ιδιαίτερα απαιτητική και δύσκολη. Επί του παρόντος, από αυτό προκύπτει ότι δεν είναι δυνατή η εύρεση ενός μοναδικού εργαλείου που να καλύπτει πλήρως τις πτυχές της επαλήθευσης και παρακολούθησης της απόδοσης ενός ασύρματου δικτύου. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε το WiFiMon, ένα εργαλείο που είναι ικανό να συλλέγει και να οπτικοποιεί πληροφορίες σχετικά με το πόσο υγιές είναι ένα δίκτυο και να προσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι μεμονωμένοι τελικοί χρήστες (πελάτες) αλληλοεπιδρούν με το WiFi σε ένα δεδομένο μέρος του δικτύου και σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Με το eduoam<sup>1</sup> δημιουργείται μια νέα παροχή δυνατοτήτων επέκτασης δικτύου και μεγέθυνσης του αποτυπώματος δικτύου στο GEANT<sup>2</sup>. Αυτή η δυνατότητα θέτει νέα ερωτήματα σχετικά με τις μεθόδους μετρήσεις, τους βασικούς δείκτες επιχειρησιακής απόδοσης, τον τρόπο μέτρησης, την συλλογή δεδομένων μέτρησης της απόδοσης και την επαλήθευση των προβλημάτων απόδοσης στα ασύρματα (National Research and Education Networks – NRENs) δίκτυα των πανεπιστημίων.

Έτσι ο όρος επαλήθευση κερδίζει όλο και περισσότερη προσοχή και εμείς αναζητούμε μια δήλωση ποιότητας δικτύου. Δηλαδή, να γνωρίζουμε τα προβλήματα απόδοσης, αφού τα στατιστικά στοιχεία δεν είναι πλέον αρκετά. Είναι επίσης σημαντική η επαλήθευση τους, ο εντοπισμός τους και η οπτικοποίηση τους (π.χ. σε έναν χάρτη δικτύου) η οποία θα καταδεικνύει την έλλειψη ικανοποιητικής απόδοσης του δικτύου του πανεπιστημίου και θα εισάγει διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων της απόδοσης του δικτύου και βελτιώσεις της τοπολογίας του δικτύου.

Επί του παρόντος τρεις πηγές μπορούν να προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες για την μέτρηση και την επαλήθευση της απόδοσης:

- **Συσκευή Πελάτη:** Οι συσκευές των πελατών μπορεί να διαφέρουν τόσο σε λειτουργικό όσο και σε κατασκευαστή. Έτσι ξεχωρίζουμε τους φορητούς υπολογιστές και τις συσκευές έξυπνων τηλεφώνων που συνδέονται στα ασύρματα δίκτυα. Μπορούν να παρέχουν σημαντικές μετρήσεις απόδοσης, όπως τον ρυθμό δεδομένων, την ισχύ του σήματος καθώς ο προσαρμογέας του WLAN τις βλέπει.

---

<sup>1</sup> Το [eduroam](#) είναι ένα διεθνές δίκτυο περιαγωγής (roaming) ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο, το οποίο αναπτύχθηκε για την διεθνή ακαδημαϊκή και ερευνητική κοινότητα. Διασυνδέει ένα πλήθος από ακαδημαϊκά ιδρύματα και προσφέρει δωρεάν πρόσβαση στο διαδίκτυο. Χρήστες από όλη την Ευρώπη έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες που προσφέρουν τα ιδρύματα μέσω της υποδομής του eduroam. Έτσι χρήστες που επισκέπτονται άλλα ιδρύματα στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό τα οποία είναι μέλη της υπηρεσίας eduroam, μπορούν να χρησιμοποιήσουν δωρεάν την πρόσβαση στο διαδίκτυο κάνοντας χρήση των κωδικών που τους διαθέτει το ίδρυμα τους. Το eduroam μέσω της πολιτικής του, εξασφαλίζει την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων του χρήστη και προσδιορίζει ένα πλαίσιο συνεργασίας μεταξύ των ιδρυμάτων, που ευνοεί την ανταλλαγή υπηρεσιών και διευκολύνει τους χρήστες όταν αυτοί βρίσκονται σε ξένα ιδρύματα.

<sup>2</sup> Το [GEANT](#) είναι το πανευρωπαϊκό δίκτυο δεδομένων για την ερευνητική και εκπαιδευτική κοινότητα. Συνδέει τα εθνικά ερευνητικά και εκπαιδευτικά δίκτυα (NRENs) σε ολόκληρη την Ευρώπη, επιτρέποντας τη συνεργασία πάνω σε εργασίες σχετικά με πολλούς επιστημονικούς κλάδους. Το GEANT συνδυάζει ένα δίκτυο υψηλού εύρους ζώνης και χωρητικότητας με ένα αυξανόμενο φάσμα υπηρεσιών.

- Σημεία πρόσβασης (Access Points-APs)/Ελεγκτής: Από την διεπαφή διαχείρισης μπορούμε να δούμε την σύνδεση πραγματικού χρόνου στο δίκτυο, το αναγνωριστικό του συνόλου υπηρεσιών και λεπτομέρειες σχετικά με την σύνδεση και το μέγεθος της κίνησης. Αυτό που δεν μπορούμε να δούμε είναι ποια είναι η κίνηση και ποια είναι η συμπεριφορά απόδοσης των εφαρμογών.
- Συστήματα διαχείρισης δικτύου (NMS): Η λειτουργικότητα των NMS σήμερα είναι η παροχή ορατότητας μέσα σε αθροιστικές και μεμονωμένες εφαρμογές πελατών και το πόσο είναι καθαρό το φάσμα μέσα στο δίκτυο και το φάσμα που μετρείται στα σημεία πρόσβασης: σε πραγματικό χρόνο και με ιστορικό. Αυτό επιτρέπει την βασική αντιμετώπιση προβλημάτων στους πελάτες, τις διαδικασίες authN/Z, επιτυχημένες ή αποτυχημένες.

Η εστίαση σε αυτές τις τρεις πηγές, μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε αν το ασύρματο δίκτυο είναι εν γένει καλό. Από αυτές τις τρεις πηγές συλλέγουμε στατιστικά, αλλά δεν κερδίζουμε μια δήλωση ποιότητας για την συμπεριφορά απόδοσης του δικτύου.

Έτσι το κομμάτι που λείπει εδώ είναι η μέτρηση και η επαλήθευση απόδοσης της συμπεριφοράς των χρηστών στο ασύρματο δίκτυο του πανεπιστημίου.

## 4.2 Αρχιτεκτονική εργαλείου WiFiMon

Η Wireless Performance Monitoring & Verification (WPM&V) αρχιτεκτονική είναι μια προσέγγιση η οποία καταλήγει σε ένα πρότυπο το οποίο επιτρέπει την παροχή μιας υπηρεσίας WPM&V στο GEANT και στα NREN κέντρα διαχείρισης δικτύων (Network Operations Center-NOC).

### 4.2.1 Στόχοι

Αυτό που χρειαζόμαστε είναι ένα απλό εργαλείο που θα μας επιτρέπει να έχουμε μια εικόνα για την ασύρματη απόδοση διαφόρων τοποθεσιών κατά μήκος της πανεπιστημιούπολης ή πολλών πανεπιστημιούπολεων. Ακολουθεί μια περίληψη της λειτουργικότητας του εργαλείου και οι απαιτήσεις που ένας διαχειριστής δικτύου θα έχει, για να έχει μια χρήσιμη εικόνα της απόδοσης των δικτύων που είναι υπεύθυνος.

Η λειτουργικότητα αυτή δημιουργήθηκε, φτιάχνοντας το εργαλείο αυτό και προσθέτοντας επιπλέον λειτουργικότητες με έναν επαναληπτικό τρόπο. Η εμφάνιση και η αίσθηση της αλληλεπίδρασης με το εργαλείο είναι προς το παρόν ένα δευτερεύον θέμα. Τα παρακάτω θα μας βοηθήσουν να δημιουργήσουμε τα σύνολα δεδομένων που απαιτούνται, τις δηλώσεις ερωτημάτων, τις επιλογές του μενού και τις μορφές εξόδου για την εφαρμογή παρακολούθησης που είναι βασισμένη σε GUI. Θα χρειαστεί να εγκρίνουμε το αποσταθεροποιημένο σύνολο δεδομένων για να ικανοποιήσουμε την λειτουργικότητα που



απαιτείται. Επιπρόσθετα, θα χρειαστεί να παρέχουμε έναν οδηγό για την σύνδεση του πελάτη με ένα σημείο πρόσβασης στο σύστημα διαχείρισης δικτύου του συστήματος παρακολούθησης μέχρι την οπτικοποίηση των εξόδων των ερωτημάτων στο γραφικό περιβάλλον χρήστη (Graphical User Interface- -GUI).

## 4.2.2 Προ-απαιτήσεις

Ως προ-απαιτούμενα θεωρούμε:

- Ασύρματο δίκτυο με παροχέα ταυτότητας eduroam και δυνατότητα παροχής υπηρεσιών.
- Αρχεία καταγραφής εξυπηρετητή [Syslog](#)<sup>3</sup>.
- Αρχεία καταγραφής Remote Authentication Dial-In User Service ([RADIUS](#))<sup>4</sup>.
- Dynamic Host Configuration Protocol ([DHCP](#))<sup>5</sup> αρχεία καταγραφής.

## 4.2.3 Λειτουργικότητα εργαλείου WiFiMon

Η λειτουργικότητα των εφαρμογών ασύρματης παρακολούθησης περιγράφονται ως εξής:

- Διαδικασία για την ανίχνευση των σημείων πρόσβασης. Ύπαρξη κουμπιού στο γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής.

<sup>3</sup> Στην επιστήμη των υπολογιστών, το Syslog είναι ένα πρότυπο για την καταγραφή μηνυμάτων. Επιτρέπει τον διαχωρισμό του λογισμικού που παράγει τα μηνύματα, του συστήματος που τα αποθηκεύει και του συστήματος που τα αναφέρει και τα επεξεργάζεται. Κάθε μήνυμα φέρει μια ετικέτα που υποδεικνύει τον τύπο του λογισμικού που παράγει το μήνυμα. Το Syslog χρησιμοποιείται για διαχείριση συστημάτων, έλεγχο ασφάλειας καθώς και για εντοπισμό και ανάλυση σφαλμάτων. Μια ευρεία ποικιλία συσκευών, όπως εκτυπωτές, δρομολογητές και δέκτες μηνυμάτων σε πολλές πλατφόρμες, χρησιμοποιούν το πρότυπο Syslog. Αυτό επιτρέπει την ενοποίηση των δεδομένων καταγραφής από διαφορετικούς τύπους συστημάτων σε ένα κεντρικό αποθετήριο. Οι υλοποιήσεις του Syslog υπάρχουν για πολλά λειτουργικά συστήματα.

<sup>4</sup> Η υπηρεσία απομακρυσμένης επαλήθευσης ταυτότητας χρήστη RADIUS είναι ένα δικτυακό πρωτόκολλο που παρέχει διαχείριση κεντρικού ελέγχου ταυτότητας και εξουσιοδότησης για χρήστες που συνδέονται και χρησιμοποιούν μια δικτυακή υπηρεσία. Εξαιτίας της ευρείας υποστήριξης του και της φύσης του, το πρωτόκολλο RADIUS χρησιμοποιείται συχνά από παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου (Internet Service Providers-ISP) και επιχειρήσεις για τη διαχείριση της πρόσβασης στο Internet ή σε εσωτερικά δίκτυα, ασύρματα δίκτυα και ολοκληρωμένες υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Αυτά τα δίκτυα μπορούν να ενσωματώνουν μόντεμ, ψηφιακή γραμμή συνδρομητών, σημεία πρόσβασης, εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (Virtual Private Networks-VPN), θύρες δικτύου, διακομιστές ιστού κ.λπ. Το RADIUS είναι ένα πρωτόκολλο πελάτη-διακομιστή που τρέχει στο επίπεδο εφαρμογής και μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε TCP είτε UDP ως μεταφορά. Οι διακομιστές πρόσβασης δικτύου, οι πύλες που ελέγχουν την πρόσβαση σε ένα δίκτυο, περιέχουν συνήθως ένα στοιχείο πελάτη RADIUS που επικοινωνεί με το διακομιστή RADIUS. Το RADIUS είναι συχνά το back-end της επιλογής ταυτότητας 802.1X. Ο διακομιστής RADIUS είναι συνήθως μια διαδικασία παρασκηνίου που εκτελείται σε διακομιστή UNIX ή Microsoft Windows.

<sup>5</sup> Με τον όρο DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) αναφερόμαστε σε ένα μηχανισμό διαχείρισης πρωτοκόλλων TCP/IP. Το TCP/IP πρωτόκολλο είναι ουσιαστικά ένα λογισμικό που τρέχει σε έναν router και σε υπολογιστή και διευθετεί όλα τα θέματα επικοινωνίας με αυτόν τον υπολογιστή και άλλους που χρησιμοποιούν αυτό το πρωτόκολλο ως γλώσσα. Για να δουλέψει το ίδιο λογισμικό σε τόσους πολλούς υπολογιστές υπάρχει η ανάγκη να το ξεκινήσουμε σε κάθε υπολογιστή με τις αντίστοιχες παραμέτρους για αυτόν και για τη θέση του στο δίκτυο. Η αρχικοποίηση αυτή μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια της εκκίνησης (αν το πρωτόκολλο είναι συγχωνευμένο στο λειτουργικό σύστημα) ή με την κλήση του πρωτοκόλλου από κάποια εφαρμογή (αν το πρωτόκολλο υπάρχει στην εφαρμογή). Οι παράμετροι αυτές μπορούν να οριστούν τοπικά, για κάθε υπολογιστή ξεχωριστά. Κάτι τέτοιο όμως δημιουργεί αρκετά προβλήματα. Αυτά τα προβλήματα οδήγησαν στην ανάγκη για έναν αυτόματο μηχανισμό διαχείρισης των TCP/IP πρωτοκόλλων. Ο DHCP είναι αυτή τη στιγμή ο πιο προηγμένος μηχανισμός για τη δουλειά αυτή.

- Η παραπάνω διαδικασία εξάγει μια λίστα σημείων πρόσβασης που να βρίσκεται στο γραφικό περιβάλλον χρήστη της εφαρμογής.
- Δυνατότητα ομαδοποίησης των σημείων πρόσβασης (από την λίστα) επιλέγοντας ένα checkbox για κάθε σημείο πρόσβασης και δημιουργία ενός ονόματος τοποθεσίας. Ύπαρξη κουμπιού στο γραφικό περιβάλλον χρήστη.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη πολλών επιλεγμένων και ορισμένων ομάδων σημείων πρόσβασης. Κάθε ομάδα σημείων πρόσβασης αντιστοιχεί σε μια τοποθεσία (δωμάτιο, βιβλιοθήκη κλπ.). Αυτές οι ομάδες εμφανίζονται στο γραφικό περιβάλλον του χρήστη σαν μια συλλογή σημείων πρόσβασης, με την ονομασία που έχει οριστεί από τον χρήστη και με περιγραφές όπως:

- Ερώτημα για εξαγωγή των κορυφαίων 5 τοποθεσιών με τις καλύτερες επιδόσεις και προβολή σε πίνακα ελέγχου.
- Ερώτημα για εξαγωγή των 5 χειρότερων επιδόσεων και προβολή σε πίνακα ελέγχου.
- Πίνακες ελέγχου για ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο.

Πρέπει λοιπόν να διευκρινιστεί τι σημαίνει απόδοση, τα συγκεντρωτικά δεδομένα των μετρήσεων απόδοσης όλων των πελατών που συνδέονται σε όλα τα σημεία πρόσβασης στις επιλεγμένες τοποθεσίες που έχουν οριστεί. Με άλλα λόγια ποια είναι η συνολική απόδοση στην αίθουσα διαλέξεων A, ποια είναι η συνολική απόδοση στην αίθουσα διαλέξεων B κλπ. Ενώ μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο να εντοπίζουμε μεμονωμένες κινητές συσκευές πελατών, ίσως είναι καλύτερο να εστιάσουμε στην συνολική εικόνα της απόδοσης αντί σε προβλήματα μεμονωμένων χρηστών ή πελατών.

#### 4.2.4 Οδηγός

Ο οδηγός περιλαμβάνει, αλλά δεν περιορίζεται σε:

- Μια συσκευή πελάτη που συνδέεται με ένα ασύρματο σημείο πρόσβασης, πιστοποιεί (ή όχι) και λαμβάνει μια IP διεύθυνση από έναν Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) εξυπηρετητή. Δημιουργία αρχείου καταγραφής DHCP, δημιουργία αρχείου καταγραφής syslog, δημιουργία αρχείου καταγραφής Radius ( αρχείο καταγραφής πιστοποίησης) που επιτρέπει το ταίριασμα της Media Access Control (MAC) διεύθυνσης πελάτη με την IP διεύθυνση του κάνοντας χρήση ενός αναγνωριστικού σημείου πρόσβασης με σφραγίδες ημερομηνίας. Αυτά τα δεδομένα παράγονται μέσω διαμόρφωσης του ελεγκτή/σημείου πρόσβασης σε συλλέκτες δεδομένων.
- Δεδομένα που μπορούν να συλλεχθούν μέσω scripts και γεμίζουν αυτόματα πίνακες στην βάση δεδομένων του συστήματος παρακολούθησης.

- Πρόγραμμα περιήγησης ιστού στον πελάτη αρχικοποιεί μια σύνδεση σε μια συχνά προσπελάσιμη ιστοσελίδα όπως μια σελίδα ηλεκτρονικής μάθησης κλπ.
- Εκτέλεση αρχείων JavaScript στον πελάτη που υλοποιούν μια σειρά από δοκιμές απόδοσης δικτύου.
- Η εκτέλεση των αρχείων JavaScript είναι περιορισμένη για κάθε συσκευή για αποφυγή της επιβάρυνσης του προγράμματος περιήγησης του πελάτη.
- Οι τιμές δοκιμών απόδοσης για την IP διεύθυνση του πελάτη και οι χρονικές σημάνσεις καταγράφονται σε έναν πίνακα της βάσης δεδομένων του συστήματος παρακολούθησης.

Προκαθορισμένη δυνατότητα δημιουργίας αναφορών και ικανότητας αναφοράς ad-hoc που διατίθεται στον διαχειριστή δικτύου μέσω της διεπαφής GUI στο σύστημα παρακολούθησης.

#### **4.2.5 Σύνολο δεδομένων- απόδοση WiFi τοποθεσίας, εντοπισμός πελάτη & χρήστη.**

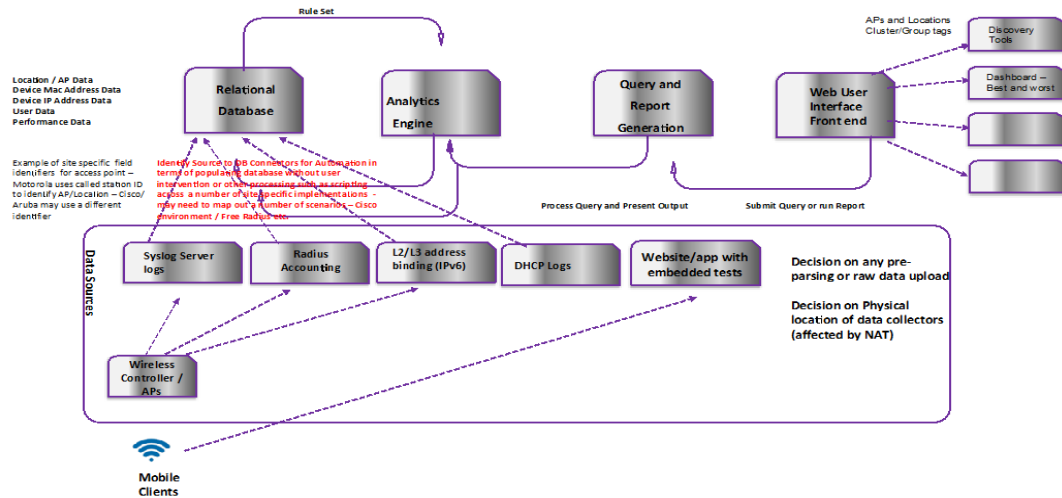
Το σύνολο δεδομένων περιλαμβάνει, αλλά δεν περιορίζεται σε:

- Χρονικές σημάνσεις για τις τιμές των δοκιμών απόδοσης.
- Χρονικές σημάνσεις για την IP διεύθυνση του πελάτη.
- Αναγνωριστικό σημείου πρόσβασης.
- MAC διεύθυνση πελάτη.
- IP διεύθυνση πελάτη.
- Όνομα χρήστη του πελάτη.

#### **4.3 Δομικά στοιχεία αρχιτεκτονικής**

Η περιγραφή της τεχνικής της αρχιτεκτονικής περιλαμβάνει τα δομικά στοιχεία με λεπτομερή περιγραφή των μερών, που απεικονίζονται στην Εικόνα 1, και αναφορές σε συγκεκριμένες τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη.

## Technical Architecture WiFiMon



Εικόνα 1: Τεχνική αρχιτεκτονικής-Δομικά στοιχεία

### 4.3.1 Πηγές Δεδομένων

Το επίπεδο πηγής δεδομένων είναι υπεύθυνο για:

1. Την παραγωγή πληροφοριών (μέσω ιστοτόπων με ενσωματωμένες διαδικασίες δοκιμών) σχετικά με την απόδοση του ασύρματου δικτύου όπως την βιώνουν οι χρήστες / μετακινούμενοι πελάτες και
2. την εξαγωγή δεδομένων από συλλέκτες πηγών δεδομένων, το Syslog, τα αρχεία καταγραφής DHCP και το Radius με βάση την σχεσιακή βάση δεδομένων.

Αυτό σημαίνει ότι :

- Εργαλεία ανοιχτού κώδικα όπως το Boomerang, το NetTest και το Speedtest ενσωματώνονται μέσα στις ιστοσελίδες προκειμένου να εξάγουν πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο μέσα σε ένα πρόγραμμα περιήγησης ιστού. Τέτοιες πληροφορίες περιλαμβάνουν δεδομένα απόδοσης όπως η ταχύτητα λήψης και μεταφόρτωσης εικόνων διαφόρων μεγεθών και ο χρόνος round-trip μέσω του ping όπως τον βιώνουν οι τελικοί χρήστες. Η διαδικασία πραγματοποιείται χωρίς την παρέμβαση του χρήστη και χωρίς την υπερφόρτωση του ασύρματου δικτύου. Στην πραγματικότητα το Boomerang βασίζεται σε JavaScript που σημαίνει ότι μετράει την απόδοση μια ιστοσελίδας από την σκοπιά του τελικού χρήστη. Το NetTest παρέχει έναν τρόπο συλλογής πληροφοριών δικτύου μέσα από έναν περιηγητή ιστού. Χρησιμοποιεί κλήσεις δικτύου που είναι διαθέσιμες σε JavaScript και Flash.
- Οι ασύρματοι ελεγκτές και τα σημεία πρόσβασης σε μια μικρότερη υλοποίηση μπορεί να παρέχουν τις πιο βασικές πληροφορίες που χρειάζονται τουλάχιστον για

επαλήθευση και παρακολούθηση απόδοσης σε ένα ασύρματο δίκτυο μιας πανεπιστημιούπολης. Μερικές υλοποιήσεις μπορεί να έχουν έναν ιδιόκτητο συλλέκτη πηγών δεδομένων. Έτσι, το WiFiMon επικεντρώνεται αρχικά σε υλοποιήσεις ανοιχτού κώδικα που μπορούν να εξάγουν τα δεδομένα σε συλλέκτες πηγών δεδομένων όπως το Syslog, τα αρχεία καταγραφής δεδομένων DHCP και Radius. Σε ορισμένες υλοποιήσεις συγκεκριμένων τοποθεσιών οι συλλέκτες ενσωματώνονται στον ελεγκτή/σημείο πρόσβασης, ενώ σε άλλες υλοποιήσεις είναι εξωτερικοί συλλέκτες που λαμβάνουν δεδομένα από σημεία πρόσβασης/ελεγκτές.

Έτσι οι πηγές δεδομένων ποικίλουν ανάλογα με το ποια δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν. Σε μερικές περιπτώσεις τα δεδομένα απόδοσης μαζί με μια μόνο πηγή συσκευής/σημείου πρόσβασης πληρούν όλες τις απαιτήσεις στο ελάχιστο για να επιτρέψουν τη συσχέτιση των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Ενδεικτικά δεδομένα από συλλέκτες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε:

- Ασύρματοι ελεγκτές και πληροφορίες σημείων πρόσβασης.
- MAC διεύθυνση συσκευή πελάτη.
- IP διεύθυνση συσκευή πελάτη.
- MAC διεύθυνση σημείου πρόσβασης.
- IP διεύθυνση σημείου πρόσβασης.
- Αναγνωριστικό θέσης σημείου πρόσβασης.
- Πληροφορίες σύνδεσης.
- Όνομα χρήστη που σχετίζεται με την συσκευή.
- Συσχετισμένη χρονική σήμανση UTC
- Όνομα συσκευής πελάτη
- Αρχεία καταγραφής DHCP
- Δεδομένα απόδοσης
- Απόδοση λήψης
- Απόδοση μεταφόρτωσης
- Χρόνος Round-trip
- Αναγνωριστικό προγράμματος περιήγησης χρήστη / περιηγητή ιστού
- Πληροφορίες γεωγραφικής θέσης (η ακρίβεια είναι σημαντική και δύσκολο να επιτευχθεί χωρίς παρέμβαση του χρήστη).

### **4.3.2 Σχεσιακή Βάση Δεδομένων**

Τα πρωτογενή δεδομένα από το επίπεδο πηγής δεδομένων συλλέγονται αυτόματα από την σχεσιακή βάση δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι τα πρωτογενή δεδομένα που παράγονται από το μπλοκ πηγών δεδομένων εισάγονται αυτόματα στη σχεσιακή βάση δεδομένων π.χ. μέσω script ή ορισμένων συνδέσμων βάσης δεδομένων χωρίς χειροκίνητη εισαγωγή / συσχετισμό των πρωτογενών δεδομένων από τον τελικό χρήστη/διαχειριστή του δικτύου. Η σχεσιακή βάση δεδομένων χρησιμοποιεί την γλώσσα SQL για την αναζήτηση και την συντήρηση. Ανάλογα με την επεκτασιμότητα που απαιτείται, η βάση δεδομένων μπορεί να εγκατασταθεί κεντρικά, έτσι ώστε τα πρωτογενή δεδομένα από όλα τα σημεία πρόσβασης να αποστέλλονται σε μία βάση δεδομένων ανά τοποθεσία/πανεπιστημιούπολη ή σε διάφορες υλοποιήσεις ιστοτόπου. Σε κάθε περίπτωση, η βάση δεδομένων θα βασίζεται σε τεχνολογίες ανοιχτού κώδικα όπως η PostgreSQL ή η MySQL.

### **4.3.3 Μηχανή Ανάλυσης**

Η μηχανή ανάλυσης είναι το μπλοκ αρχιτεκτονικής που είναι υπεύθυνο για την εξέταση / ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων της σχεσιακής βάσης δεδομένων και την προετοιμασία για την αναφορά των δεδομένων. Έτσι, η κύρια λειτουργία είναι να ταξινομεί τα πρωτογενή δεδομένα που συλλέγονται, να τα αναλύει και να παράσχει οπτικοποίηση μέσω εργαλείων που επιτρέπουν την επίγνωση της απόδοσης του ασύρματου δικτύου. Το έργο Spring XD είναι ένα έργο ανοιχτού κώδικα, μια ενοποιημένη, καταναεμημένη και επεκτάσιμη υπηρεσία για την κατάποση δεδομένων, την ανάλυση σε πραγματικό χρόνο, την επεξεργασία παρτίδων και την εξαγωγή δεδομένων.

### **4.3.4 Παραγωγή ερωτημάτων και αναφορές**

Ο παραγωγός ερωτημάτων και αναφορές χρησιμοποιείται για την λήψη συγκεκριμένων πληροφοριών από την σχεσιακή βάση δεδομένων και την μηχανή ανάλυσης. Ο κύριος σκοπός του είναι η αναζήτηση χρήσιμων πληροφοριών από αυτά τα δύο αρχιτεκτονικά μπλοκ και η αποστολή αυτών των πληροφοριών με την μορφή αναφορών ή επιλογών οπτικοποίησης στη διαδικτυακή διεπαφή του χρήστη.

### **4.3.5 Διαδικτυακό γραφικό περιβάλλον χρήστη (Front End)**

Τα διαθέσιμα δεδομένα από την σχεσιακή βάση δεδομένων και την μηχανή ανάλυσης είναι προσβάσιμα μέσω του web User Interface (UI) του διαχειριστή δικτύου που επιτρέπει την αναζήτηση των δεδομένων. Οι διαχειριστές δικτύου θα είναι οι τελικοί χρήστες που θα χρησιμοποιούν το web UI το οποίο επιτρέπει τη διερεύνηση των συλλεγόμενων δεδομένων αναφοράς απόδοσης και με τη σειρά του ελέγχει την κατάσταση του ασύρματου δικτύου.

Αυτό το μπλοκ αρχιτεκτονικής είναι επίσης υπεύθυνο για την προβολή των συλλεγόμενων δεδομένων και την παροχή οπτικών επιλογών σε πραγματικό χρόνο, όπως:

- Συλλεγόμενα δεδομένα για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- Συλλεγόμενα δεδομένα για ένα συγκεκριμένο σημείο πρόσβασης.
- Συλλεγόμενα δεδομένα για ένα συγκεκριμένο εργαλείο.
- Συλλεγόμενα δεδομένα για έναν συγκεκριμένο browser.
- Ελάχιστες, μέγιστες, μέσες τιμές μετρήσεων απόδοσης.
- Μη κανονικές μετρήσεις.
- Οι 5 κορυφαίες τοποθεσίες.
- Οι 5 χειρότερες τοποθεσίες.

Πρόσθετες λειτουργίες για αυτό το μπλοκ αρχιτεκτονικής περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε:

- Δυνατότητα εντοπισμού ενός συγκεκριμένου σημείου πρόσβασης.
- Δυνατότητα επιλογής από μια λίστα σημείων πρόσβασης και ομαδοποίηση τους κάτω από μια ομάδα σημείων πρόσβασης σε μια τοποθεσία.
- Δυνατότητα να πληκτρολογείτε ένα όνομα χρήστη με βάση το όνομα χρήστη, τη διεύθυνση MAC μιας συσκευής ή μια διεύθυνση IP μιας συσκευής και να παρακολουθείτε την απόδοση μιας συσκευής με την πάροδο του χρόνου σε ένα γράφημα που έχει επικαλυφθεί με τις πληροφορίες τοποθεσίας.
- Η ικανότητα γραφήματος των αποτελεσμάτων με την πάροδο του χρόνου σε διάφορες μορφές.
- Η δυνατότητα δημιουργίας μιας αναφοράς / γραφήματος απόδοσης σε μια τοποθεσία στο παρελθόν έναντι της απόδοσης τώρα.

#### **4.3.6 Πολιτική Απορρήτου**

Η επαλήθευση και μέτρηση της απόδοσης του Wireless Crowded sourced βασίζεται σε έγκυρα σύνολα δεδομένων που συλλέγονται από έναν τεράστιο αριθμό τελικών χρηστών που χρησιμοποιούν τα ασύρματα δίκτυα (N)REN της πανεπιστημιούπολης. Δεδομένου ότι τα σύνολα δεδομένων παράγονται από αυτούς τους συλλέκτες υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες γεωγραφικής τοποθεσίας, απόδοσης και τελικών χρηστών, οι οποίες θα αναλυθούν για την καθιέρωση μιας εμπειρογνομosύνης στον τομέα επιδόσεων του δικτύου και την παροχή συμβουλών στα ακαδημαϊκά ICT για την βελτίωση του σχεδίου ή της τοπολογίας του ασύρματου δικτύου τους. Η ομάδα εργασίας υλοποίησης του WiFiMon

έχει επίγνωση των θεμάτων της συλλογής και ανάλυσης των υψηλά ευαίσθητων δεδομένων από τους τελικούς χρήστες. Το γεγονός ότι χρησιμοποιεί το eduroam μπορεί να προωθήσει ή να απλοποιήσει την διαδικασία για μια ρύθμιση σχετικά με την συλλογή αυτών των δεδομένων, αλλά χρειάζεται έρευνα σχετικά με την διαφάνεια και την χρήση αυτών των δεδομένων από τους τελικούς χρήστες για σκοπούς ανάλυσης από κάποια μηχανή ανάλυσης.

Το γεγονός ότι οι τιμές των τελικών χρηστών συλλέγονται και είναι ορατές (π.χ. από τον διαχειριστή του παροχέα δικτύου) μέσω του eduroam σημαίνει ότι δεν πρέπει να υπάρχει ένα "carte blanche" για την αξιολόγηση ολόκληρου του φάσματος των διαθέσιμων παραμέτρων. Επιπλέον, η ύπαρξη μιας μηχανής ανάλυσης, η οποία επιτρέπει την οικοδόμηση προσωπικών προφίλ ώστε ο τελικός χρήστης να μπορεί να εντοπιστεί προκαλεί ανησυχίες και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή από το έργο.

Η διαφάνεια σχετικά με τον τελικό χρήστη είναι υποχρεωτική. Παραδείγματα υλοποίησης αυτής είναι:

- Να ενημερώνει τον τελικό χρήστη μέσω αναδυόμενων παραθύρων που παρέχουν δοκιμές απόδοσης με λειτουργίες αποδοχής ή απόρριψης
- Να έχει συνδέσμους ή αναδυόμενα παράθυρα που εξηγούν ποια είναι η διαδικασία συλλογής δεδομένων.
- Σε περίπτωση που πραγματοποιούνται δοκιμές μέτρησης χωρίς παρέμβαση και ειδοποίηση του χρήστη, βεβαιωθείτε ότι τα ευαίσθητα δεδομένα που σχετίζονται με το χρήστη θα αναλυθούν με προσοχή.

#### **4.4 Τεχνολογίες υλοποίησης εργαλείου WiFiMon**

Για την δημιουργία του εργαλείου παρακολούθησης και επαλήθευσης απόδοσης δικτύου WiFiMon από την GEANT και κυρίως για την συλλογή, αποθήκευση και οπτικοποίηση δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνολογίες που αναλύονται ακολούθως.

##### **4.4.1 PostgreSQL**

Η PostgreSQL [39] είναι μια σχεσιακή βάση δεδομένων ανοικτού κώδικα με πολλές δυνατότητες. Η ανάπτυξη της διαρκεί ήδη πάνω από δύο δεκαετίες και βασίζεται σε μια αποδεδειγμένα καλή αρχιτεκτονική η οποία έχει δημιουργήσει μια ισχυρή αντίληψη των χρηστών της γύρω από την αξιοπιστία, την ακεραιότητα δεδομένων και την ορθή λειτουργία.

Η PostgreSQL τρέχει σε όλα τα βασικά λειτουργικά συστήματα, στα οποία περιλαμβάνονται το Linux, το UNIX (AIX, BSD, HP-UX, SGI, IRIX, MAC OS X, Solaris,



Tru64) και τα Windows. Επίσης υποστηρίζει αποθήκευση μεγάλων δυαδικών αντικειμένων (binary), όπως εικόνες, ήχοι ή βίντεο. Διαθέτει επίσης περιβάλλοντα προγραμματισμού για τις γλώσσες προγραμματισμού C, C++, Java, Perl, Python, Ruby, Tcl, και υποστήριξη για την πλατφόρμα .NET και το πρότυπο ODBC, ενώ περιλαμβάνει και εξαιρετικό εγχειρίδιο χρήσης.

#### **4.4.1.1 Υποστηριζόμενοι τύποι δεδομένων PostgreSQL**

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να προσθέσει ένα νέο τύπο δεδομένων χρησιμοποιώντας την εντολή CREATE TYPE. Η PostgreSQL διαθέτει μια ευρεία ποικιλία τύπων δεδομένων:

- Λογικοί και δυαδικοί (Boolean and binary types)
- Χαρακτήρες(Character types)
- Αριθμητικοί (Numeric types)
- Ημερομηνία και ώρα (Date and time types)
- Γεωμετρικοί (Geometric types)
- Δικτυακοί (Network types)
- Συστήματος (System types)

#### **4.4.2 phpPgAdmin**

Το εργαλείο phpPgAdmin [40] στην PostgreSQL είναι το ίδιο με το εργαλείο PhpMyAdmin για την MySQL. Είναι μια web-based εφαρμογή που παρέχει πρόσβαση στις βάσεις δεδομένων του ιστότοπου σας και επιτρέπει την εύκολη διαχείριση τους. Αν χρησιμοποιείτε PostgreSQL βάσεις δεδομένων, το phpPgAdmin είναι το εργαλείο διαχείρισης που πρέπει να χρησιμοποιήσετε. Ακριβώς όπως το phpMyAdmin, είναι γραμμένο σε PHP και ο σκοπός του είναι να απλοποιήσει όσο το δυνατόν περισσότερο την δημιουργία και την χρήση βάσεων δεδομένων, ακόμη και για άπειρους χρήστες.

Το εργαλείο PhpPgAdmin είναι διαθέσιμο σε πολλές γλώσσες – επί του παρόντος σε 27 γλώσσες. Είναι εύκολο να εγκατασταθεί και να ρυθμιστεί και επιτρέπει τη διαχείριση πολλαπλών διακομιστών (servers) ταυτόχρονα. Μπορείτε να κάνετε οτιδήποτε μέσω της γραφικής διεπαφής του εργαλείου PhpPgAdmin, αλλά μπορείτε επίσης να χρησιμοποιήσετε SQL εντολές ή να εισάγετε διάφορα SQL scripts. Η απλή διεπαφή σας επιτρέπει να δημιουργείτε πίνακες δεδομένων και να εισάγετε περιεχόμενο σχεδόν αυτόματα.

##### **4.4.2.1 Χαρακτηριστικά phpPgAdmin**

Το εργαλείο PhpPgAdmin είναι απλό, αλλά είναι φορτωμένο με πολλά χαρακτηριστικά που αποτελούν το κλειδί για την ευελιξία και την αξιοπιστία του εργαλείου PostgreSQL. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εφαρμογή απλοποιεί την δημιουργία βάσεων δεδομένων PostgreSQL, την επεξεργασία των πινάκων, των στηλών, των πεδίων, καθώς επίσης και την εφαρμογή των SQL δηλώσεων και διαφόρων scripts. Επίσης με το phpPgAdmin μπορείτε επίσης:

- Να διαχειριστείτε δικαιώματα χρηστών και ομάδων χρηστών.
- Να εξάγετε και να εισάγετε δεδομένα διαφορετικών τύπων.
- Να εντοπίσετε, να τροποποιήσετε και να διαγράψετε δεδομένα εν τάχει.
- Να προηγηθείτε μέσα στα δεδομένα και πολλά ακόμη.

### 4.4.3 Grafana

Το Grafana [41] είναι ένα ανοιχτού κώδικα dashboard εργαλείο που λειτουργεί τόσο με το Graphite όσο και με το InfluxDB. Ήταν ένα front-end εργαλείο που απαιτούσε Elasticsearch για την αποθήκευση των πινάκων ελέγχου (dashboards), αλλά με την έκδοση v2.0, έρχεται με ένα back-end στοιχείο αποθήκευσης, για την αποθήκευση των dashboards που δημιουργούνται. Το Grafana σχεδιάστηκε για να δημιουργήσει ένα καλύτερο στοιχείο απεικόνισης για το εργαλείο Graphite, έτσι ώστε να είναι πολύ κατάλληλο για την αντικατάσταση του προεπιλεγμένου Graphite-web. Είναι αρκετά πλούσιο σε χαρακτηριστικά και εργάζεται σε σταθερό ρυθμό.

#### 4.4.3.1 Χαρακτηριστικά Grafana

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το εργαλείο Grafana είναι πλούσιο σε χαρακτηριστικά. Μερικά από αυτά αναφέρονται παρακάτω:

- Απεικόνιση (Visualize): Γρήγορα και ευέλικτα client-side γραφήματα με πολλές επιλογές. Παρέχει panel plugins για πολλούς διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης των μετρήσεων και των αρχείων καταγραφής (logs).
- Ειδοποίηση (Alerting): Οπτικός καθορισμός των κανόνων ειδοποιήσεων για τις σημαντικότερες μετρήσεις. Το εργαλείο Grafana αξιολογεί συνεχώς τις μετρήσεις και μπορεί να σας στέλνει ειδοποιήσεις ανάλογα με τους κανόνες που θέτετε.
- Ειδοποίηση ( Notifications): Όταν μια κατάσταση ειδοποίησης αλλάζει, στέλνει ειδοποιήσεις. Μπορείτε να λάβετε αυτές τις ειδοποιήσεις μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή μέσω των εφαρμογών Slack, PagerDuty, VictorOps, OpsGenie ή μέσω της εφαρμογής webhook.
- Δυναμικοί πίνακες ελέγχου (Dashboards): Δημιουργήστε δυναμικούς και επαναχρησιμοποιήσιμους πίνακες ελέγχου (dashboards) με προτυποποιημένες

μεταβλητές που εμφανίζονται σε ένα dropdown menu στο πάνω μέρος του πίνακα ελέγχου (dashboard).

- Μικτές πηγές δεδομένων: Αναμιξίστε διαφορετικές πηγές δεδομένων στο ίδιο γράφημα. Μπορείτε να καθορίσετε μια πηγή δεδομένων σε μια ανά query βάση. Αυτό λειτουργεί ακόμα και για προσαρμοσμένες πηγές δεδομένων.
- Σχολιασμοί: Σχολιάστε γραφήματα με πλούσια συμβάντα από διαφορετικές πηγές δεδομένων. Με τον δείκτη του ποντικιού πάνω στα συμβάντα εμφανίζονται τα πλήρη μετα-δεδομένα και οι πλήρεις ετικέτες του συμβάντος.
- Ad-hoc φίλτρα: Τα ad-hoc φίλτρα επιτρέπουν την δημιουργία νέων key/value φίλτρων, τα οποία εφαρμόζονται αυτόματα σε όλα τα ερωτήματα που χρησιμοποιούν αυτή την πηγή δεδομένων.

#### 4.4.4 InfluxDB

Το εργαλείο InfluxDB[42] είναι μια βάση δεδομένων χρονοσειρών ανοικτού κώδικα που αναπτύχθηκε από την ομάδα InfluxData. Είναι γραμμένο στην γλώσσα προγραμματισμού Go και βελτιστοποιείται για γρήγορη, υψηλής απόδοσης αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων χρονοσειρών σε πεδία όπως η παρακολούθηση λειτουργιών, οι μετρήσεις εφαρμογών, τα δεδομένα αισθητήρων του Internet of Things και οι αναλύσεις πραγματικού χρόνου. Επίσης, παρέχει υποστήριξη για επεξεργασία δεδομένων στο εργαλείο Graphite.

##### 4.4.4.1 Χαρακτηριστικά InfluxDB

Το εργαλείο InfluxDB δεν έχει εξωτερικές εξαρτήσεις και παρέχει μια γλώσσα τύπου SQL με ενσωματωμένες συναρτήσεις που βασίζονται στον χρόνο για την αναζήτηση μιας δομής δεδομένων που αποτελείται από μετρήσεις, σειρές και σημεία. Κάθε σημείο αποτελείται από διάφορα ζευγάρια κλειδιού-τιμής που ονομάζονται **fieldset** και **timestamp**. Όταν ομαδοποιούνται από ένα σύνολο ζευγαριών κλειδιού-τιμής που ονομάζονται **tagset**, ορίζουν μια σειρά. Τέλος, οι σειρές ομαδοποιούνται από ένα αναγνωριστικό τύπου string για να σχηματίσουν μια μέτρηση. Οι τιμές μπορούν να είναι 64-bit integers, 64-bit floats, συμβολοσειρές (string) και booleans. Τα σημεία ευρετηριάζονται από τον χρόνο και το tagset τους. Οι πολιτικές διατήρησης καθορίζονται σε μια μέτρηση και ελέγχουν τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα καταγράφονται και διαγράφονται. Τα συνεχόμενα ερωτήματα λειτουργούν περιοδικά, αποθηκεύοντας τα αποτελέσματα σε μια στοχευμένη μέτρηση. Το εργαλείο InfluxDB δέχεται δεδομένα με χρήση των πρωτοκόλλων HTTP, TCP και UDP.

#### 4.5 Browser-based υλοποιήσεις μετρήσεων απόδοσης δικτύου

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν η δημιουργία δύο (2) browser-based crowd-sourced υλοποιήσεων μετρήσεων απόδοσης δικτύου με χρήση της

τεχνολογίας Javascript. Η πυροδότηση των υλοποιήσεων αυτών γίνεται χωρίς την παρέμβαση του χρήστη κάθε φορά που αυτός επισκέπτεται μια ιστοσελίδα στην οποία έχει τοποθετηθεί μια από τις τρεις αυτές υλοποιήσεις. Αυτές οι υλοποιήσεις έχουν ως στόχο την μέτρηση του χρόνου λήψης, του χρόνου μεταφόρτωσης και του χρόνου round-trip έτσι ώστε να σχηματιστεί μια γενική εικόνα για την απόδοση και την ποιότητα του δικτύου όπως ακριβώς την αντιλαμβάνεται και την βιώνει ο τελικός χρήστης. Την στιγμή που ο τελικός χρήστης επισκέπτεται μια ιστοσελίδα, στην οποία έχει ενσωματωθεί μια από τις 2 παραπάνω υλοποιήσεις, ενεργοποιείται μια δοκιμή και μετρούνται δεδομένα σχετικά με τον χρόνο λήψης, χρόνο μεταφόρτωσης και τον χρόνο round-trip. Μόλις ολοκληρωθεί η μέτρηση των δεδομένων, αυτά αποστέλλονται στον Agent του εργαλείου WiFiMon και εκεί αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων και εν συνεχεία οπτικοποιούνται. Οι τρεις browser-based crowd-sourced υλοποιήσεις μετρήσεων απόδοσης δικτύου αναλύονται εκτενώς, ευθύς αμέσως.

#### **4.5.1 Υλοποίηση με χρήση της JavaScript βιβλιοθήκης NetTest**

Το Nettetst[43] είναι μια javascript βιβλιοθήκη μετρήσεων δικτύου που βασίζεται σε πρόγραμμα περιήγησης, ικανή να καθορίζει την απόδοση (throughput), την καθυστέρηση (latency) και άλλες παραμέτρους του δικτύου, χρησιμοποιώντας javascript ή/και Flash.

##### **4.5.1.1 Περιπτώσεις χρήσης**

Το Nettetst παρέχει μια εύκολα προσβάσιμη διεπαφή για την συλλογή πληροφοριών σχετικών με το δίκτυο μέσα σε ένα πρόγραμμα περιήγησης Web. Το Nettetst χρησιμοποιεί κλήσεις δικτύου διαθέσιμες σε javascript και Flash για να καθορίσει:

- Την απόδοση λήψης (download throughput),
- Την απόδοση μεταφόρτωσης (upload throughput) και
- Τον round-trip χρόνο (ping).

Το Nettetst μπορεί να χρησιμοποιήσει αρκετές διαφορετικές τεχνικές μέτρησης για να καθορίσει τις πληροφορίες δικτύου, παρέχοντας επίσης wrappers που επιλέγουν αυτόματα την καλύτερη μέθοδο μέτρησης. Εκτός από την μέτρηση αυτών των ποσοτήτων, μεταξύ του συνδεδεμένου πελάτη (web client) και του διακομιστή προέλευσης (web server), το Nettetst μπορεί επίσης να πάρει μετρήσεις ανάμεσα σε έναν πελάτη (web client) και έναν αυθαίρετο διακομιστή ιστού.

##### **4.5.1.2 Η υλοποίηση του NetTest (έχει δημιουργηθεί παλαιότερα)**

Η υλοποίηση που δημιουργήθηκε με χρήση της javascript βιβλιοθήκης Nettest αποτελείται από τέσσερα (5) αρχεία:

1. Το αρχείο `nettest.html`[44] το οποίο είναι μια δοκιμαστική html σελίδα μέσα από την οποία ενεργοποιούνται, χωρίς την παρέμβαση του χρήστη, τα scripts τα οποία υλοποιούν τις μετρήσεις δικτύου που θέλουμε. Είναι μια απλή «λευκή» ιστοσελίδα η οποία έχει δημιουργηθεί προκειμένου να ενεργοποιηθούν τα JavaScript scripts που βρίσκονται στις γραμμές **5** (`jquery-1.11.2.min.js`), **6** (`nettest-swfobject.js`), **7** (<https://www.google.com/jsapi>) και **9** (`runtest.js`) του αρχείου `nettest.html`. Στην γραμμή **8** με την μεταβλητή `hostingWebsite` ορίζεται ότι η ιστοσελίδα που θα σταλούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα ακολουθεί το πρωτόκολλο HTTP. Με την μεταβλητή `agentIP` ορίζεται η διεύθυνση του agent μας. Με την μεταβλητή `imagesLocation` ορίζεται ο φάκελος των εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση των δοκιμών απόδοσης του δικτύου. Και με την μεταβλητή `cookieTimeInMinutes` ορίζεται ο χρόνος που πρέπει να περάσει για να μπορέσει να ξαναεκτελεστεί η δοκιμή και στην ουσία πρόκειται για μια δικλείδα ασφαλείας ώστε να μην υπερφορτώνεται το δίκτυο με συνεχόμενες-άσκοπες μετρήσεις που πυροδοτούνται από τον τελικό χρήστη.
2. Το αρχείο [jquery-1.11.2.min.js](#)<sup>6</sup> το οποίο είναι απαραίτητο ώστε να γίνουν οι μετρήσεις δικτύου στο αρχείο `runtest.js`.
3. Το `nettest-swfobject.js`[45] το οποίο καλείται προκειμένου να διαχειριστεί η ajax post μέθοδος που χρησιμοποιείται στο αρχείο `runtest.js`.
4. Ένας φάκελος[46] που περιέχει τις εικόνες που χρησιμοποιούνται ώστε να μετρηθούν οι χρόνοι λήψης, μεταφόρτωσης και ping από το αρχείο `runtest.js`.
5. Το αρχείο `runtest.js`[47] μέσα στο οποίο υλοποιούνται οι μετρήσεις δικτύου που θέλουμε και ακολούθως στέλνονται μέσω του εργαλείου WiFiMon πίσω στον server μας για αποθήκευση, περαιτέρω ανάλυση και οπτικοποίηση.

Στο αρχείο `runtest.js` κρύβεται όλη η υλοποίηση των μετρήσεων απόδοσης του δικτύου οπότε κρίνεται απαραίτητη η εκτενής ανάλυση του:

- Στις γραμμές **7, 8, 9 και 10** του αρχείου γίνεται η δήλωση των μεταβλητών `download_throughput` (ταχύτητα λήψης), `upload-throughput` (ταχύτητα μεταφόρτωσης), `local_ping` (χρόνος ping) και `agent_ip` αντίστοιχα.
- Στις γραμμές από **11 έως 15** γίνεται έλεγχος της τοποθεσίας του φακέλου που περιέχει τις εικόνες που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση των δοκιμών απόδοσης. Αν ο φάκελος δεν έχει οριστεί στην γραμμή 8 του αρχείου `nettest.html` τότε χρησιμοποιείται ο φάκελος που βρίσκεται στο path <https://vm3-gn3-sa2t5.vm.grnet.gr/wifimon/images>.
- Στις γραμμές **16 έως 20** γίνεται εκχώρηση τιμής στην μεταβλητή `test_tool`

<sup>6</sup> Το [jQuery](#) είναι μια JavaScript βιβλιοθήκη πολλαπλών πλατφορμών που έχει σχεδιαστεί για να απλοποιήσει την δημιουργία scripts HTML από την μεριά του πελάτη. Είναι δωρεάν, λογισμικό ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιεί την άδεια MIT. Η ανάλυση του διαδικτύου δείχνει ότι είναι η πιο ευρύτερα διαδεδομένη JavaScript βιβλιοθήκη. Η σύνταξη του JQuery έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει την πλοήγηση σε ένα έγγραφο, για να επιλέγει στοιχεία DOM, να δημιουργεί κινούμενα σχέδια, να χειρίζεται συμβάντα και να αναπτύσσει εφαρμογές Ajax.

- Στις γραμμές **21 έως 25** γίνεται έλεγχος του χρόνου διαρκείας του cookie. Αν ο χρόνος δεν έχει οριστεί στην γραμμή 8 του αρχείου nettest.html τότε ο χρόνος διαρκείας του cookie θα είναι 1.5 λεπτά.
- Στις γραμμές **26 έως 28** γίνεται η δήλωση των μεταβλητών latitude, longitude και location\_method αντίστοιχα.
- Στις γραμμές **30 έως 34** γίνεται εκχώρηση τιμής στην μεταβλητή agent. Αν η μεταβλητή agentIp του αρχείου nettest.html δεν έχει τιμή ή έχει τιμή “https” τότε στην μεταβλητή agent εκχωρείται η τιμή “https://” + agent\_ip + “:8443/wifimon/” αλλιώς στην μεταβλητή agent εκχωρείται η τιμή “http://” + agent\_ip + “:9000/wifimon/”.
- Στις γραμμές **39 έως 46** ορίζεται η συνάρτηση που εκτελεί την μέτρηση της ταχύτητας λήψης του δικτύου. Η συνάρτηση αυτή είναι η NetTest.testDownload() και το αποτέλεσμα της εκχωρείται στην μεταβλητή download\_throughput που βρίσκεται στην γραμμή **42**. Στην γραμμή **43** καλείται η συνάρτηση που εκτελεί την μέτρηση της ταχύτητας μεταφόρτωσης του δικτύου. Η συνάρτηση αυτή είναι η NetTest.testUpload().
- Στις γραμμές **48 έως 54** ορίζεται η συνάρτηση που εκτελεί την μέτρηση της ταχύτητας μεταφόρτωσης του δικτύου, η NetTest.testUpload() και το αποτέλεσμα της εκχωρείται στην μεταβλητή upload\_throughput. Στην γραμμή **51** καλείται η συνάρτηση που εκτελεί την μέτρηση του χρόνου ping. Η συνάρτηση αυτή είναι η NetTest.testPing().
- Στις γραμμές **56 έως 62** ορίζεται η συνάρτηση που εκτελεί την μέτρηση του χρόνου ping, η NetTest.testPing() και το αποτέλεσμα της εκχωρείται στην μεταβλητή local\_ping. Στην γραμμή **59** καλείται η συνάρτηση postToAgent() της οποίας η λειτουργία θα αναλυθεί παρακάτω.
- Στις γραμμές **65 έως 71** ορίζεται η συνάρτηση geoTest() η οποία υπολογίζει την τοποθεσία του χρήστη. Η συνάρτηση αυτή πρακτικά δεν χρησιμοποιείται για λόγους προστασίας του απορρήτου των τελικών χρηστών. Όμως παραμένει στο αρχείο προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντική έκδοση.
- Στις γραμμές **74 έως 99** ορίζεται η συνάρτηση postToAgent(). Η συνάρτηση αυτή εκχωρεί στην μεταβλητή measurement (βλ. γραμμή **92**) τις μεταβλητές download\_throughput, upload\_throughput, local\_ping, latitude, longitude, location\_method και test\_tool. Όπως φαίνεται στις γραμμές **93 έως 98** μέσω της μεθόδου ajax POST (βλ. γραμμή **94**) και αφού η μεταβλητή measurement μετατραπεί σε JSON string (βλ. γραμμή **95**) στέλνεται στον agent μας (βλ. γραμμή **96**). Οι γραμμές **75 έως 89** εκχωρείται η τιμή 0 στις μεταβλητές download\_throughput, upload\_throughput, local\_ping, latitude, longitude και στην μεταβλητή location\_method η τιμή “N/A” αν αυτές δεν έχουν οριστεί νωρίτερα ή σωστά.
- Στις γραμμές **102 έως 105** ορίζεται η συνάρτηση NetTest.testGeneral() μέσα από την οποία καλούνται η συνάρτηση geotest() (βλ. γραμμή **103**) και την συνάρτηση NetTest.testDownload() η οποία με την σειρά της καλεί την συνάρτηση NetTest.testUpload() (βλ. γραμμή **43**) και η οποία με την σειρά της καλεί την

συνάρτηση `NetTest.testPing()` (βλ. γραμμή **51**). Στην ουσία η συνάρτηση `NetTest.testGeneral()` είναι αυτή που πυροδοτεί όλες τις συναρτήσεις που εκτελούν τις μετρήσεις απόδοσης του δικτύου.

- Στις γραμμές **108 έως 113** ορίζεται η συνάρτηση `setCookie()` η οποία με την σειρά της καθορίζει τον χρόνο διάρκειας που θα έχει το cookie.
- Στις γραμμές **116 έως 127** ορίζεται η συνάρτηση `getCookie()` η οποία ελέγχει τον χρόνο διάρκειας του cookie.
- Στις γραμμές **129 έως 136** ορίζεται η συνάρτηση `checkCookie()` η οποία καλεί την συνάρτηση `getCookie()` (βλ. γραμμή **130**) και αν αυτή δεν βρει cookie τότε καλεί την συνάρτηση `setCookie` (βλ. γραμμή **133**) ώστε να ορίσει την τιμή του cookie κάνοντας χρήση της μεταβλητής `cookie_time` και ακολούθως καλεί την συνάρτηση `NetTest.testGeneral()` (βλ. γραμμή **134**) ώστε να εκτελεστούν οι μετρήσεις απόδοσης του δικτύου.
- Στις γραμμές **138 έως 152** ορίζεται η συνάρτηση `runCheckCookie()` η οποία ελέγχει την ύπαρξη του cookie καλώντας την συνάρτηση `checkCookie()` (βλ. γραμμή **147**).
- Στην γραμμή **154** καλείται η συνάρτηση `runCheckCookie()`.

Στην ουσία λοιπόν, αφού ολοκληρωθούν οι λειτουργίες από την γραμμή 1 έως 153 το πρόγραμμα καλεί την συνάρτηση `runCheckCookie()`, η οποία με την σειρά της καλεί την συνάρτηση `checkCookie()`. Η συνάρτηση `checkCookie()` καλεί την συνάρτηση `getCookie()` και αν η `getCookie` δεν επιστρέψει αποτέλεσμα τότε η `checkCookie` καλεί την συνάρτηση `setCookie()` η οποία ορίζει τον χρόνο διάρκειας του cookie και εν τέλει η `checkCookie` ολοκληρώνεται καλώντας την συνάρτηση `NetTest.testGeneral()`. Η `NetTest.testGeneral()` με την σειρά της καλεί την συνάρτηση `geoTest()` και την συνάρτηση `NetTest.testDownload()`. Η `NetTest.testDownload()` με την σειρά της καλεί την `NetTest.testUpload()` και αυτή με την σειρά της καλεί την συνάρτηση `NetTest.testPing()`. Αφού ολοκληρωθεί και η μέτρηση του χρόνου ping η συνάρτηση `NetTest.testPing()` καλεί την συνάρτηση `postToAgent()` η οποία στέλνει τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον agent μας.

## 4.5.2 Υλοποίηση με χρήση της JavaScript βιβλιοθήκης Boomerang

Το Boomerang[48] είναι μια JavaScript βιβλιοθήκη, μέσω της οποίας μπορεί να γίνει μέτρηση της απόδοσης του δικτύου όπως ακριβώς την αντιλαμβάνεται και την βιώνει ο τελικός χρήστης. Έχει την δυνατότητα να στέλνει τις πληροφορίες αυτές πίσω στον διακομιστή σας προκειμένου να γίνει περαιτέρω ανάλυση αυτών. Το Boomerang είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα και κυκλοφορεί κάτω από την BSD άδεια.

### 4.5.2.1 Περιπτώσεις χρήσης

Το Boomerang έχει πολλές δυνατότητες παρόλα αυτά δεν έχει δυνατότητα μέτρησης του χρόνου μεταφόρτωσης και αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό του μειονέκτημα. Μερικοί από τους τρόπους χρήσης[49] του Boomerang είναι οι παρακάτω:

- Μέτρηση της απόδοσης μιας σελίδας: Είναι εξαιρετικά χρήσιμη η δυνατότητα μέτρησης του χρόνου που ο χρήστης θεωρεί ότι χρειάστηκε η σελίδα για να φορτώσει. Αυτός είναι συνήθως ο χρόνος μεταξύ της στιγμής που ο χρήστης κάνει κλικ σε έναν σύνδεσμο (ή της εισαγωγής μιας διεύθυνσης URL σε ένα πρόγραμμα περιήγησης) και της στιγμής που η ιστοσελίδα καθίσταται χρήσιμη. Αν και είναι αρκετά εύκολο να σημειωθεί η ώρα που κάποιος χρήστης κάνει κλικ σε έναν σύνδεσμο, αν ο σύνδεσμος αυτός βρίσκεται σε μια σελίδα που ελέγχεται από εσάς, δεν είναι εύκολο να εξακριβωθεί η ακριβής στιγμή που κάποιος χρήστης εισάγει μια διεύθυνση URL σε ένα πρόγραμμα περιήγησης και πατάει το πλήκτρο “Enter”. Συνεπώς, το boomerang επικεντρώνεται μόνο στα κλικ των συνδέσμων που βρίσκονται σε σελίδες που βρίσκονται κάτω από τον έλεγχο σας. Μια άγνωστη παράμετρος, είναι ο χρόνος κατά τον οποίο μια ιστοσελίδα γίνεται χρήσιμη. Για τις περισσότερες σελίδες αυτό συμβαίνει όταν πυροδοτείται το onload event, ωστόσο, μπορεί να υπάρξουν σελίδες στις οποίες το onload event πυροδοτείται πριν η σελίδα να γίνει πραγματικά χρήσιμη ή σελίδες που γίνονται χρήσιμες προτού πυροδοτηθεί το onload event. Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, οι δημιουργοί της ιστοσελίδας ξέρουν καλύτερα από τον καθένα την στιγμή που η ιστοσελίδα γίνεται χρήσιμη, έτσι πρέπει να έχουν την δυνατότητα να λένε στην βιβλιοθήκη τότε να πυροδοτήσουν την έναρξη της μέτρησης
- Μέτρηση της απόδοσης του περιεχομένου που φορτώνεται δυναμικά: Πολλές ιστοσελίδες ενδέχεται να φορτώνουν περιεχόμενο δυναμικά. Για παράδειγμα, οι εικόνες μιας προβολής διαφανειών ή το περιεχόμενο για τις καρτέλες μπορούν να φορτώνονται μέσω javascript. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις, αλλά και σε άλλες παρόμοιες, το πρόγραμμα περιήγησης ενδέχεται να μην πυροδοτήσει ένα συμβάν για την εκκίνηση ή την ολοκλήρωση της λήψης και η βιβλιοθήκη θα πρέπει να εκθέσει μεθόδους τις οποίες ο δημιουργός της σελίδας θα μπορεί να καλέσει όταν χρειάζεται.
- Μέτρηση του εύρους ζώνης μαζί με τον χρόνο φόρτωση της σελίδας: Δεδομένου ότι οι χρήστες περιηγούνται στον ιστό χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους Internet συνδέσεων, δεν είναι πάντα δυνατό να συγκεντρωθούν οι χρόνοι φόρτωσης της σελίδας για πολλαπλούς χρήστες, προκειμένου να αποκτηθεί μια ένδειξη ενός αριθμού που είναι στατιστικά αντιπροσωπευτικός για όλους τους χρήστες. Η γνώση του εύρους ζώνης του χρήστη, ωστόσο, επιτρέπει να συγκεντρωθούν δεδομένα από παρόμοιους χρήστες και να χρησιμοποιηθούν αυτοί οι αριθμοί ως αντιπροσωπευτικοί για τους χρήστες με αυτόν τον τύπο σύνδεσης δικτύου.
- Μέτρηση περισσότερων στοιχείων από τον χρόνο φόρτωσης της σελίδας: Πολλοί ιστότοποι μπορούν να αποτελούνται από χωριστά στοιχεία, που φορτώνονται από διαφορετικές back-end υπηρεσίες. Ενώ είναι σημαντικό να μετρηθεί ο συνολικός



χρόνος φόρτωσης μιας σελίδας, μπορεί να είναι επίσης χρήσιμο και διδακτικό να μετρηθεί ο χρόνος φόρτωσης κάθε στοιχείου ξεχωριστά. Αυτό θα επιτρέψει καλύτερη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

- Μέτρηση της HTTP καθυστέρησης: Η καθυστέρηση του δικτύου είναι ένας από τους μεγαλύτερους παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο φόρτωσης μιας ιστοσελίδας. Η HTTP καθυστέρηση, τυπικά, είναι υψηλότερη από τον απλό ping χρόνο επειδή απαιτεί μερικά πακέτα για να εγκαθιδρύσει την TCP σύνδεση και να κάνει ένα HTTP αίτημα. Υπάρχει επίσης μια επιβάρυνση που συμμετέχει στις επικεφαλίδες HTTP αιτήματος και HTTP απόκρισης που δεν συμβάλλουν στο πραγματικό περιεχόμενο της σελίδας. Η μέτρηση της HTTP καθυστέρησης ενός χρήστη παρέχει μια καλή ένδειξη του αντίκτυπου που μπορούν να έχουν οι παράλληλες λήψεις περιεχομένου για τον χρόνο φόρτωσης της συνολικής σελίδας.
- Ετικέτα αίτησης/σελίδας: Όταν υλοποιείται ανάλυση απόδοσης, είναι συχνά χρήσιμο να εκτελείται μια A/B δοκιμή που συγκρίνει την απόδοση δύο ή περισσότερων διαφορετικών σχεδίων ιστοσελίδας. Δεδομένου ότι αυτές οι ιστοσελίδες μπορούν να έχουν όλες την ίδια διεύθυνση URL, γίνεται απαραίτητη η προσθήκη κάποιων επιπλέον πληροφοριών στα πληροφορίες που στέλνονται στον server.
- Μέτρηση της DNS καθυστέρησης: Η DNS καθυστέρηση δίνει πληροφορίες σχετικά με το πόσο χρόνο χρειάζεται ένα DNS αίτημα για να γίνει. Αυτός ο χρόνος μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες συμπεριλαμβανομένης της ρύθμισης του DNS διακομιστή, του TTL και του τρόπου διαμόρφωσης των διακομιστών DNS και ISP του τελικού χρήστη. Η μέτρηση της συγκεκριμένης καθυστέρησης δίνει μια ένδειξη για τον αριθμό των domains που μπορούν να αναζητηθούν με ασφάλεια σε μια ιστοσελίδα.
- Προστασία των δεδομένων που στέλνονται πίσω στον διακομιστή, από κατάχρηση: Αν έχετε κάποιο σημείο εισαγωγής διευθύνσεων URL, είναι πιθανό να το καταχραστεί κάποιος, είτε σκόπιμα είτε τυχαία. Για παράδειγμα, έστω ότι σχεδιάζετε μια ιστοσελίδα και υλοποιείτε μέσω της javascript βιβλιοθήκης boomerang ένα τεστ μέτρησης της απόδοσης δικτύου και το συγκεκριμένο javascript αρχείο στέλνει πίσω στον διακομιστή σας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τώρα θεωρήστε ότι κάποιος χρήστης επισκέπτεται την σελίδα σας και του αρέσει η υλοποίηση που έχετε κάνει, οπότε αντιγράφει τον HTML κώδικα σας και τον τοποθετεί στον δικό του διακομιστή τροποποιώντας τον στον ελάχιστο βαθμό, αλλά αφήνοντας το javascript αρχείο να στέλνει τα δεδομένα των μετρήσεων του στον δικό σας διακομιστή. Έτσι ο φόρτος του διακομιστή σας αυξάνεται αλλά παίρνετε και μετρήσεις που δεν αφορούν την δική σας ιστοσελίδα. Η βιβλιοθήκη boomerang δίνει λύση σε αυτό το πρόβλημα παρέχοντας δικλίδες ασφαλείας.
- Συλλογή WebTiming πληροφοριών του προγράμματος περιήγησης: Τα σύγχρονα προγράμματα περιήγησης παρέχουν υποστήριξη για το Navigation Timing API το οποίο περιέχει πολλές χρονικές πληροφορίες απόδοσης σχετικές με την φόρτωση μιας σελίδας. Η πρόσθετη εφαρμογή, της βιβλιοθήκης boomerang, για το

Navigation Timing API μπορεί να συλλέγει αυτές τις πληροφορίες και να τις στέλνει στον διακομιστή σας.

#### 4.5.2.2 Η υλοποίησή μας

Η υλοποίηση που δημιουργήθηκε με χρήση της JavaScript βιβλιοθήκης Boomerang αποτελείται από επτά (7) αρχεία:

1. Το αρχείο boomerang.html το οποίο είναι μια δοκιμαστική html σελίδα μέσα από την οποία ενεργοποιούνται, χωρίς την παρέμβαση του χρήστη, τα scripts τα οποία υλοποιούν τις μετρήσεις δικτύου που θέλουμε. Είναι μια απλή «λευκή» ιστοσελίδα η οποία έχει δημιουργηθεί προκειμένου να ενεργοποιηθούν τα JavaScript scripts που βρίσκονται στις γραμμές 4 (jquery-1.11.2.min.js), 5 (<https://www.google.com/jsapi>[50]), 6 (boomerang.js), 7 (bw.js), 8 (rt.js), 10 (boomerang-trigger.js). Στην γραμμή 9 με την μεταβλητή hostingWebsite ορίζεται ότι η ιστοσελίδα που θα σταλούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα ακολουθεί το πρωτόκολλο HTTP. Με την μεταβλητή agentIP ορίζεται η διεύθυνση του agent μας. Και με την μεταβλητή cookieTimeInMinutes ορίζεται ο χρόνος που πρέπει να περάσει για να μπορέσει να ξαναεκτελεστεί η δοκιμή και στην ουσία πρόκειται για μια δικλείδα ασφαλείας ώστε να μην υπερφορτώνεται το δίκτυο με συνεχόμενες-άσκοπες μετρήσεις που πυροδοτούνται από τον τελικό χρήστη.
2. Το αρχείο jquery-1.11.2.min.js[51] το οποίο είναι απαραίτητο ώστε να γίνουν οι μετρήσεις δικτύου στο αρχείο boomerang-trigger.js[52].
3. Το αρχείο boomerang.js[53] το οποίο αποτελεί το βασικό κομμάτι της βιβλιοθήκης του Boomerang.
4. Το αρχείο bw.js[54] το οποίο είναι απαραίτητο για να γίνουν οι μετρήσεις απόδοσης της ταχύτητας λήψης του δικτύου.
5. Το αρχείο rt.js[55] το οποίο είναι απαραίτητο για να γίνουν οι μετρήσεις απόδοσης του ping του δικτύου.
6. Ένας φάκελος[56] που περιέχει τις εικόνες που χρησιμοποιούνται ώστε να μετρηθούν οι χρόνοι λήψης και ping απο το αρχείο boomerang-trigger.js
7. Το αρχείο boomerang-trigger.js μέσα στο οποίο πυροδοτούνται οι μετρήσεις δικτύου που θέλουμε και ακολούθως στέλνονται, μέσω του εργαλείου WiFiMon, πίσω στον server μας για αποθήκευση, περαιτέρω ανάλυση και οπτικοποίηση.

Στο αρχείο **boomerang-trigger.js**[57] κρύβεται όλη η υλοποίηση των μετρήσεων απόδοσης του δικτύου οπότε κρίνεται απαραίτητη η εκτενής ανάλυση του:

- Στις γραμμές 3 έως 13 γίνεται η δήλωση των μεταβλητών html, local\_ping, download\_throughput, upload\_throughput, latitude, longitude, location\_method, application, device και agent\_ip αντίστοιχα.
- Στις γραμμές 17 έως 21 γίνεται έλεγχος της τοποθεσίας του φακέλου που περιέχει τις εικόνες που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση των δοκιμών απόδοσης. Αν

ο φάκελος δεν έχει οριστεί στην γραμμή 9 του αρχείου boomerang.html τότε χρησιμοποιείται ο φάκελος που βρίσκεται στο path <https://vm3-gn3-sa2t5.vm.grnet.gr/wifimon/images>.

- Στις γραμμές **23 έως 36** καλείται η μέθοδος `BOOMR.init()`<sup>7</sup>. Στην μέθοδο αυτή στην μεταβλητή `user_ip` εκχωρείται η τιμή `agentIP` (βλ. γραμμή **25**). Στην μεταβλητή `autorun` εκχωρείται η τιμή `FALSE` έτσι ώστε να μην ξεκινάει αυτόματα η δοκιμή (βλ. γραμμή **26**). Στην γραμμή **28** ορίζεται το path των εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση του ρυθμού λήψης. Στην γραμμή **29** εκχωρείται η τιμή `TRUE` στην μεταβλητή `block_beacon` καθώς στέλνουμε με άλλο τρόπο τα αποτελέσματα των μετρήσεων πίσω στον agent μας.
- Στις γραμμές **40 έως 44** γίνεται έλεγχος του χρόνου διάρκειας του cookie. Αν ο χρόνος δεν έχει οριστεί στην γραμμή **9** του αρχείου boomerang.html τότε ο χρόνος διάρκειας του cookie θα είναι 1.5 λεπτά.
- Στις γραμμές **46 έως 51** γίνεται εκχώρηση τιμής στην μεταβλητή `agent`. Αν η μεταβλητή `agentIp` του αρχείου boomerang.html δεν έχει τιμή ή έχει τιμή “https” τότε στην μεταβλητή `agent` εκχωρείται η τιμή “<https://>” + `agent_ip` + “:8443/wifimon/” αλλιώς στην μεταβλητή `agent` εκχωρείται η τιμή “<http://>” + `agent_ip` + “:9000/wifimon/”.
- Στις γραμμές **54 έως 58** γίνεται εκχώρηση τιμής στην μεταβλητή `test_tool`.
- Στις γραμμές **63 έως 68** ορίζεται η συνάρτηση `setCookie()` η οποία με την σειρά της καθορίζει τον χρόνο διάρκειας που θα έχει το cookie.
- Στις γραμμές **72 έως 83** ορίζεται η συνάρτηση `getCookie()` η οποία ελέγχει τον χρόνο διάρκειας του cookie.
- Στις γραμμές **87 έως 94** ορίζεται η συνάρτηση `checkCookie()` η οποία καλεί την συνάρτηση `getCookie()` (βλ. γραμμή **88**) και αν αυτή δεν βρει cookie τότε καλεί την συνάρτηση `setCookie` (βλ. γραμμή **91**) ώστε να ορίσει την τιμή του cookie κάνοντας χρήση της μεταβλητής `cookie_time` και ακολούθως καλεί την μέθοδο `BOOMR.page_ready()`<sup>8</sup> (βλ. γραμμή **92**) ώστε να εκτελεστούν οι μετρήσεις απόδοσης του δικτύου.
- Στις γραμμές **98 έως 112** ορίζεται η συνάρτηση `runCheckCookie()` η οποία ελέγχει την ύπαρξη του cookie καλώντας την συνάρτηση `checkCookie()` (βλ. γραμμή **107**).
- Στην γραμμή **114** καλείται η συνάρτηση `runCheckCookie()`.
- Στις γραμμές **116 έως 214** καλείται η μέθοδος `BOOMR.subscribe()`<sup>9</sup> της βιβλιοθήκης του Boomerang.
- Στις γραμμές **118 έως 120** καταχωρείται το αποτέλεσμα της μέτρησης του χρόνου `ping` στην μεταβλητή `local_ping`.
- Στην γραμμή **124** εκχωρείται στην μεταβλητή `download_throughput` το αποτέλεσμα της μέτρησης του ρυθμού λήψης.

<sup>7</sup> Η μέθοδος [BOOMR.init\(\)](#) χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση της λειτουργίας του Boomerang

<sup>8</sup> Η μέθοδος [BOOMR.page\\_ready\(\)](#) χρησιμοποιείται για την πυροδότηση του γεγονότος `page_ready`. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται μόνο αν η μεταβλητή `autorun` έχει οριστεί ως `FALSE` στην κλήση της μεθόδου `BOOMR.init()`.

<sup>9</sup> Η μέθοδος [BOOMR.subscribe\(\)](#) χρησιμοποιείται για να εγγραφεί ένας χειριστής συμβάντων σε ένα από τα συμβάντα του boomerang.

- Στις γραμμές **129 έως 135** ορίζεται η συνάρτηση `geoTest()` η οποία υπολογίζει την τοποθεσία του χρήστη. Η συνάρτηση αυτή πρακτικά δεν χρησιμοποιείται για λόγους προστασίας του απορρήτου των τελικών χρηστών. Όμως παραμένει στο αρχείο προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντική έκδοση.
- Στις γραμμές **138 έως 173** ορίζεται η συνάρτηση `detectDevice()` η οποία εξακριβώνει το είδος της συσκευής στην οποία εκτελείται η μέτρηση. Η συνάρτηση αυτή δεν χρησιμοποιείται αλλά παραμένει προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντική έκδοση.
- Στην γραμμή **177** καλείται η συνάρτηση `detectDevice()`.
- Στην γραμμή **180** καλείται η συνάρτηση `postToAgent()`.
- Στις γραμμές **184 έως 211** ορίζεται η συνάρτηση `postToAgent()`. Η συνάρτηση αυτή εκχωρεί στην μεταβλητή `measurement` (βλ. γραμμή **203**) τις μεταβλητές `download_throughput`, `upload_throughput`, `local_ping`, `latitude`, `longitude`, `location_method` και `test_tool`. Όπως φαίνεται στις γραμμές **205 έως 210** μέσω της μεθόδου `ajax POST` (βλ. γραμμή **206**) και αφού η μεταβλητή `measurement` μετατραπεί σε `JSON string` (βλ. γραμμή **207**) στέλνεται στον `agent` μας (βλ. γραμμή **208**). Οι γραμμές **189 έως 201** εκχωρείται η τιμή `0` στις μεταβλητές `download_throughput`, `upload_throughput`, `local_ping`, `latitude`, `longitude` και στην μεταβλητή `location_method` η τιμή `"N/A"` αν αυτές δεν έχουν οριστεί ωρίτερα ή σωστά.

Στην ουσία λοιπόν, αφού ολοκληρωθούν οι λειτουργίες από την γραμμή 1 έως 112 το πρόγραμμα καλεί την συνάρτηση `runCheckCookie()`, η οποία με την σειρά της καλεί την συνάρτηση `checkCookie()`. Η συνάρτηση `checkCookie()` καλεί την συνάρτηση `getCookie()` και αν η `getCookie` δεν επιστρέψει αποτέλεσμα τότε η `checkCookie` καλεί την συνάρτηση `setCookie()` η οποία ορίζει τον χρόνο διάρκειας του `cookie` και εν τέλει η `checkCookie` ολοκληρώνεται καλώντας την μέθοδο του `Boomerang BOOMR.page_ready()` που στην ουσία πυροδοτεί τις δοκιμές απόδοσης. Εν τέλει, καλείται η μέθοδος του `Boomerang BOOMR.subscribe` και τα αποτελέσματα των μετρήσεων απόδοσης εκχωρούνται στις κατάλληλες μεταβλητές και στέλνονται στον `agent` μας.

### 4.5.3 Υλοποίηση με χρήση του της JavaScript βιβλιοθήκης Speedtest

Το `Speedtest` [58] είναι ένα `HTML5`, βασισμένο σε `XMLHttpRequest (XHR)`<sup>10</sup>, τεστ μέτρησης απόδοσης δικτύου το οποίο εκτελεί μετρήσεις για την ταχύτητα λήψης (`download throughput`), την απόδοση μεταφόρτωσης (`upload throughput`), τον `round-trip` χρόνο (`ping`) και το `jitter`.

<sup>10</sup> Το `XHR` είναι ένα `API` με τη μορφή ενός αντικειμένου του οποίου οι μέθοδοι μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ ενός προγράμματος περιήγησης ιστού και ενός διακομιστή ιστού. Το αντικείμενο παρέχεται από το περιβάλλον `JavaScript` του προγράμματος περιήγησης. Ιδιαίτερα, η ανάκτηση δεδομένων από το `XHR` με σκοπό τη συνεχή τροποποίηση μιας φορτωμένης ιστοσελίδας είναι η υποκείμενη έννοια του σχεδιασμού `Ajax`. Παρά το όνομα, το `XHR` μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πρωτόκολλα διαφορετικά από το `HTTP` και τα δεδομένα μπορούν να έχουν τη μορφή όχι μόνο `XML`, αλλά και `JSON`, `HTML` ή απλού κειμένου.

#### 4.5.3.1 Απαιτήσεις

Προκειμένου να λειτουργήσει επιτυχώς η υλοποίηση του Speedtest πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:

- Να χρησιμοποιούνται σύγχρονα προγράμματα περιήγησης: Internet Explorer 11, Microsoft Edge 12+, Mozilla Firefox (last 2 versions), Google Chrome/Chromium (last 2 versions), Apple Safari (τελευταία έκδοση). Η JavaScript πρέπει να είναι ενεργοποιημένη. Γενικά το τεστ υλοποιείται επιτυχώς αν υποστηρίζεται στα προγράμματα περιήγησης XHR επιπέδου 2 και Web Workers<sup>11</sup>.
- Να είναι ικανό το τεστ να χρησιμοποιήσει 500 MegaBytes μνήμης RAM της πλευράς του χρήστη (client side).
- Από την πλευρά του διακομιστή (server side) να υποστηρίζεται γρήγορη σύνδεση δικτύου (προτεινόμενη ταχύτητα: 100 Mbps) και να μπορεί να μπορεί να δεχτεί μεγάλα POST αιτήματα (μέχρι 20 MegaBytes).

#### 4.5.3.2 Γνωστά προβλήματα και περιορισμοί

Στο πρόγραμμα περιήγησης Chrome, παρατηρείται υψηλή χρήση του επεξεργαστή για μεγάλες ταχύτητες δικτύου, εξαιτίας των XHR αιτημάτων. Για τον λόγο αυτό, το τεστ μπορεί να παρέχει ανακριβή αποτελέσματα αν ο επεξεργαστής του υπολογιστή, στον οποίο τρέχει το τεστ, είναι αργός. Στο πρόγραμμα περιήγησης IE11, το τεστ μέτρησης της απόδοσης μεταφόρτωσης (upload throughput) δεν παρέχει ακριβή αποτελέσματα για υψηλές ταχύτητες δικτύου. Στο πρόγραμμα περιήγησης Safari, το τεστ λειτουργεί αλλά χρειάζεται περισσότερες δοκιμές και μερικές τροποποιήσεις για υψηλές ταχύτητες δικτύου.

#### 4.5.3.3 Η υλοποίησή μας

Η υλοποίηση που δημιουργήθηκε με χρήση της JavaScript βιβλιοθήκης Speedtest αποτελείται από επτά (7) αρχεία:

1. Το αρχείο speedworker.html[59] το οποίο είναι μια δοκιμαστική html σελίδα μέσα από την οποία ενεργοποιούνται, χωρίς την παρέμβαση του χρήστη, τα scripts τα οποία υλοποιούν τις μετρήσεις δικτύου που θέλουμε. Είναι μια απλή «λευκή» ιστοσελίδα η οποία έχει δημιουργηθεί προκειμένου να

---

<sup>11</sup> Οι [Web Workers](#) είναι ένα απλό μέσο για το περιεχόμενο του ιστού να εκτελεί scripts σε νήματα παρασκηνίου. Το νήμα του web worker μπορεί να εκτελέσει εργασίες χωρίς να παρεμβαίνει στη διεπαφή χρήστη. Επιπλέον, μπορούν να εκτελέσουν I / O χρησιμοποιώντας XMLHttpRequest (αν και τα χαρακτηριστικά responseXML και channel είναι πάντα null). Μόλις δημιουργηθεί, ένας worker μπορεί να στείλει μηνύματα στον κώδικα JavaScript που το δημιούργησε, τοποθετώντας μηνύματα σε έναν χειριστή συμβάντων που ορίστηκε από αυτόν τον κώδικα (και αντίστροφα).

ενεργοποιηθούν τα JavaScript scripts που βρίσκονται στις γραμμές **6** (jquery-1.11.2.min.js), **7** (<https://www.google.com/jsapi>) και **9** (speedworker-post.js). Στην γραμμή **8** με την μεταβλητή hostingWebsite ορίζεται ότι η ιστοσελίδα που θα σταλούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα ακολουθεί το πρωτόκολλο HTTP. Με την μεταβλητή agentIP ορίζεται η διεύθυνση του agent μας. Και με την μεταβλητή cookieTimeInMinutes ορίζεται ο χρόνος που πρέπει να περάσει για να μπορέσει να ξαναεκτελεστεί η δοκιμή και στην ουσία πρόκειται για μια δικλείδα ασφαλείας ώστε να μην υπερφορτώνεται το δίκτυο με συνεχόμενες-άσκοπες μετρήσεις που πυροδοτούνται από τον τελικό χρήστη.

2. Το αρχείο jquery-1.11.2.min.js το οποίο είναι απαραίτητο ώστε να γίνουν οι μετρήσεις δικτύου στο αρχείο nettest-post.js.
3. Το αρχείο speedtest\_worker.js[60] το οποίο αποτελεί το βασικότερο κομμάτι της JavaScript βιβλιοθήκης του speedtest.
4. Το αρχείο empty.dat[61] το οποίο χρησιμοποιείται από το αρχείο speedtest\_worker.js (βλ. γραμμές **22** και **23** του αρχείου speedtest\_worker.js) για τις μετρήσεις της ταχύτητας μεταφόρτωσης και του ping.
5. Το αρχείο garbage.php[62] το οποίο χρησιμοποιείται από το αρχείο speedtest\_worker.js (βλ. γραμμή **21** του αρχείου speedtest\_worker.js) για την μέτρηση της ταχύτητας λήψης.
6. Το αρχείο getIP.php[63] το οποίο χρησιμοποιείται από το αρχείο speedtest\_worker.js (βλ. γραμμή **24** του αρχείου speedtest\_worker.js) για την εύρεση της IP διεύθυνσης του χρήστη. Δεν χρησιμοποιείται, όμως, για λόγους προστασίας του απορρήτου των τελικών χρηστών.
7. Το αρχείο speedworker-post.js μέσα στο οποίο πυροδοτούνται οι μετρήσεις δικτύου που θέλουμε και ακολούθως στέλνονται, μέσω του εργαλείου WiFiMon, πίσω στον server μας για αποθήκευση, περαιτέρω ανάλυση και οπτικοποίηση.

Στο αρχείο **speedworker-post.js[64]** κρύβεται όλη η υλοποίηση των μετρήσεων απόδοσης του δικτύου οπότε κρίνεται απαραίτητη η εκτενής ανάλυση του:

- Στην γραμμή **2** εκχωρούμε στην μεταβλητή w τον νέο Worker<sup>12</sup> που κατασκευάζουμε ο οποίος εκτελεί το JavaScript αρχείο speedtest\_worker.js.
- Στις γραμμές **3 έως 5** γίνεται η δήλωση των μεταβλητών local\_ping, download\_throughput και upload\_throughput αντίστοιχα.
- Στις γραμμές **7 και 8** γίνεται η δήλωση των μεταβλητών download\_throughputMb και upload\_throughputMb αντίστοιχα.
- Στις γραμμές **10 έως 12** γίνεται η δήλωση των μεταβλητών latitude, longitude και location\_method αντίστοιχα.
- Στις γραμμές **14 και 15** γίνεται η δήλωση των μεταβλητών application και device αντίστοιχα.

---

<sup>12</sup> Ο constructor [Worker](#) () δημιουργεί ένα αντικείμενο Worker που εκτελεί το script που ορίζεται. Το script αυτό πρέπει να συμμορφώνεται με την πολιτική ίδιας προέλευσης (same-origin policy).

- Στην γραμμή **17** εκχωρείται στην μεταβλητή `agent_ip` η τιμή του `agent` μας.
- Στην γραμμή **18** εκχωρείται στην μεταβλητή `interval` το αποτέλεσμα της μεθόδου `setInterval()`<sup>13</sup> η οποία καλεί την μέθοδο `postMessage()`<sup>14</sup> και ελέγχει το `status` κάθε 100 ms.
- Στις γραμμές **22 έως 26** γίνεται έλεγχος του χρόνου διαρκείας του `cookie`. Αν ο χρόνος δεν έχει οριστεί στην γραμμή **8** του αρχείου `speedworker.html` τότε ο χρόνος διαρκείας του `cookie` θα είναι 1.5 λεπτά.
- Στις γραμμές **30 έως 34** γίνεται εκχώρηση τιμής στην μεταβλητή `agent`. Αν η μεταβλητή `agentIp` του αρχείου `speedworker.html` δεν έχει τιμή ή έχει τιμή “https” τότε στην μεταβλητή `agent` εκχωρείται η τιμή “<https://>” + `agent_ip` + “:8443/wifimon/” αλλιώς στην μεταβλητή `agent` εκχωρείται η τιμή “<http://>” + `agent_ip` + “:9000/wifimon/”.
- Στις γραμμές **37 έως 41** γίνεται εκχώρηση τιμής στην μεταβλητή `test_tool`.
- Στις γραμμές **45 έως 50** ορίζεται η συνάρτηση `setCookie()` η οποία με την σειρά της καθορίζει τον χρόνο διάρκειας που θα έχει το `cookie`.
- Στις γραμμές **54 έως 65** ορίζεται η συνάρτηση `getCookie()` η οποία ελέγχει τον χρόνο διάρκειας του `cookie`.
- Στις γραμμές **69 έως 188** ορίζεται η συνάρτηση `checkCookie()` η οποία καλεί την συνάρτηση `getCookie()` (βλ. γραμμή **70**) και αν αυτή δεν βρει `cookie` τότε καλεί την συνάρτηση `setCookie()` (βλ. γραμμή **73**) ώστε να ορίσει την τιμή του `cookie` κάνοντας χρήση της μεταβλητής `cookie_time`.
- Στις γραμμές **74 έως 185** ενεργοποιείται το γεγονός `event` όταν ενεργοποιείται το γεγονός `onMessage()`<sup>15</sup>.
- Στην γραμμή **76** εκχωρείται στην μεταβλητή `data` το πραγματικό περιεχόμενο του μηνύματος του γεγονότος `event`.
- Στην γραμμή **77** εκχωρείται στην μεταβλητή `status` το χαρακτηριστικό του σταδίου που βρίσκεται το `test`.
- Στις γραμμές **79 έως 81** εκχωρούνται στις μεταβλητές `download_throughputMb` και `upload_throughputMb` οι τιμές της ταχύτητας λήψης και μεταφόρτωσης αντίστοιχα μετρημένες σε `MegaBytes` ανά δευτερόλεπτο.
- Στις γραμμές **84 και 85** γίνεται μετατροπή των τιμών των μεταβλητών `download_throughputMb` και `upload_throughputMb` αντίστοιχα από `MB/s` σε `KB/s` και τα αποτελέσματα εκχωρούνται στις μεταβλητές `download_throughput` και `upload_throughput` αφού `τρογγυλοποιηθούν`.
- Στην γραμμή **86** `τρογγυλοποιείται` η τιμή της μεταβλητής `local_ping`.

<sup>13</sup> Η μέθοδος `setInterval()` καλεί μια συνάρτηση ή αξιολογεί μια έκφραση σε συγκεκριμένα διαστήματα (σε χιλιοστά του δευτερολέπτου). Η μέθοδος `setInterval()` θα συνεχίσει να καλεί τη λειτουργία έως ότου καλείται η εντολή `clearInterval()` ή το παράθυρο είναι κλειστό.

<sup>14</sup> Η μέθοδος `postMessage()` της διεπαφής `Worker` στέλνει ένα μήνυμα στο εσωτερικό πεδίο εργασίας του `Worker`. Αυτό δέχεται μία μόνο παράμετρο, η οποία είναι τα δεδομένα που αποστέλλονται στον `Worker`. Τα δεδομένα μπορεί να είναι οποιαδήποτε τιμή ή αντικείμενο `JavaScript` που διαχειρίζεται ο αλγόριθμος δομημένου κλώνου, ο οποίος περιλαμβάνει κυκλικές αναφορές.

<sup>15</sup> Το συμβάν `onMessage()` εμφανίζεται όταν λαμβάνεται ένα μήνυμα μέσω μιας πηγής συμβάντος.



- Στις γραμμές **89 έως 183** ορίζεται ένα if statement του οποίου ο κώδικας εκτελείται αν η μεταβλητή status έχει τιμή  $\geq 4$ . Δηλαδή αν η δοκιμή έχει ολοκληρωθεί ή εγκαταλειφθεί.
- Στην γραμμή **91** καλώντας την μέθοδο clearInterval()<sup>16</sup> σταματάμε τον χρόνο που μετράει η μέθοδος setInterval(). Έτσι διακόπτουμε την διαδικασία της δοκιμής.
- Στις γραμμές **96 έως 102** ορίζεται η συνάρτηση geoTest() η οποία υπολογίζει την τοποθεσία του χρήστη. Η συνάρτηση αυτή πρακτικά δεν χρησιμοποιείται για λόγους προστασίας του απορρήτου των τελικών χρηστών. Όμως παραμένει στο αρχείο προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντική έκδοση.
- Στις γραμμές **105 έως 140** ορίζεται η συνάρτηση detectDevice() η οποία εξακριβώνει το είδος της συσκευής στην οποία εκτελείται η μέτρηση. Η συνάρτηση αυτή δεν χρησιμοποιείται αλλά παραμένει προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντική έκδοση.
- Στην γραμμή **142** καλείται η συνάρτηση detectDevice().
- Στην γραμμή **145** καλείται η συνάρτηση postToAgent() της οποίας η λειτουργία αναλύεται παρακάτω.
- Στις γραμμές **149 έως 182** ορίζεται η συνάρτηση postToAgent(). Η συνάρτηση αυτή εκχωρεί στην μεταβλητή measurement (βλ. γραμμή **167 έως 173**) τις μεταβλητές download\_throughput, upload\_throughput, local\_ping, latitude, longitude, location\_method και test\_tool. Όπως φαίνεται στις γραμμές **176 έως 181** μέσω της μεθόδου ajax POST (βλ. γραμμή **177**) και αφού η μεταβλητή measurement μετατραπεί σε JSON string (βλ. γραμμή **178**) στέλνεται στον agent μας (βλ. γραμμή **179**). Οι γραμμές **150 έως 165** εκχωρείται η τιμή 0 στις μεταβλητές download\_throughput, upload\_throughput, local\_ping, latitude, longitude και στην μεταβλητή location\_method η τιμή “N/A” αν αυτές δεν έχουν οριστεί νωρίτερα ή σωστά.
- Στην γραμμή **186**, επί της ουσίας, ενεργοποιούνται οι μετρήσεις. Με την μεταβλητή time\_dl ορίζουμε ότι ο χρόνος διάρκειας της δοκιμής για την μέτρηση της ταχύτητας λήψης θα διαρκέσει 5 δευτερόλεπτα, με την μεταβλητή time\_ul ορίζουμε ότι ο χρόνος διάρκειας της δοκιμής για την μέτρηση της ταχύτητας μεταφόρτωσης θα διαρκέσει 5 δευτερόλεπτα, με την μεταβλητή count\_ping ορίζουμε ότι θα εκτελεστούν 5 μετρήσεις για το ping και με την μεταβλητή garbagePhp-chunkSize ορίζουμε ότι το μέγεθος των chunks, που θα στέλνει το αρχείο garbage.php, θα είναι 10.
- Στις γραμμές **192 έως 206** ορίζεται η συνάρτηση runCheckCookie() η οποία ελέγχει την ύπαρξη του cookie καλώντας την συνάρτηση checkCookie() (βλ. γραμμή **201**).
- Στην γραμμή **208** καλείται η συνάρτηση runCheckCookie().

Επί της ουσίας, λοιπόν, το πρόγραμμα ξεκινάει καλώντας την συνάρτηση runCheckCookie(). Η συνάρτηση runCheckCookie () καλεί την συνάρτηση checkCookie

<sup>16</sup> Η μέθοδος [clearInterval\(\)](#) διαγράφει ένα χρονόμετρο με τη μέθοδο setInterval (). Η τιμή ταυτότητας που επιστρέφεται από το setInterval () χρησιμοποιείται ως παράμετρος για τη μέθοδο clearInterval ().



() (βλ. γραμμή **201**). Η `checkCookie()` καλεί την συνάρτηση `getCookie()` αν η `getCookie()` δεν επιστρέψει αποτέλεσμα η συνάρτηση `checkCookie()` καλεί την συνάρτηση `setCookie()` (βλ. γραμμή **73**). Ακολούθως ξεκινάει η εκτέλεση των δοκιμών απόδοσης του δικτύου και ολοκληρώνονται όταν η μεταβλητή `status` έχει τιμή  $\geq 4$ . Ακολούθως τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποθηκεύονται στην μεταβλητή `measurement` (εφόσον `status`  $\geq 4$ ) και στέλνονται πίσω στον `agent` μας για περαιτέρω ανάλυση μέσω της συνάρτησης `postToAgent()`.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

---

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια εκτενής ανάλυση του εργαλείου WiFiMon και των browser-based υλοποιήσεων μετρήσεων απόδοσης δικτύου που δημιουργήσαμε. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παραθέσουμε τα πειραματικά αποτελέσματα που καταγράψαμε από την εφαρμογή των τριών (3) browser-based υλοποιήσεων μετρήσεων απόδοσης δικτύου καθώς και από το εργαλείο Speedtest by Ookla[65] που αποτελεί το πιο ευρέως διαδεδομένο και γνωστό εργαλείο μέτρησης της απόδοσης των WiFi δικτύων. Το εργαλείο Speedtest by Ookla θα χρησιμοποιηθεί σαν μέτρο σύγκρισης των τριών υλοποιήσεων που δημιουργήσαμε. Όποιο ή όποια από τις υλοποιήσεις, που δημιουργήσαμε, προσεγγίζουν καλύτερα τις μετρήσεις του εργαλείου Speedtest by Ookla θα θεωρηθούν και τα ιδανικότερα.

### 5.1 Χαρακτηριστικά των πειραμάτων

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι τα πειράματα διεξήχθησαν σε 5 διαφορετικά σημεία και σε 3 διαφορετικούς browsers (Chrome, Mozilla Firefox, Opera). Τα σημεία διαφέρουν ως προς της απόσταση τους από το router και ως προς τα εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ αυτών και του router. Τα πειράματα εκτελέστηκαν σε ένα υπολογιστικό σύστημα με τύπο επεξεργαστή: Intel(R) Core™ i5-2450M CPU, με συχνότητα επεξεργαστή: 2.5 GHz, με είδος κύριας μνήμης : DDR3, με μέγεθος κύριας μνήμης : 6GB και λειτουργικό σύστημα: Ubuntu 16.04.3 LTS (64bit). Το router ήταν ένα ZTE ZXHN H108L και το διαδίκτυο παρέχόταν από μια ADSL γραμμή με μέγιστη ταχύτητα λήψης τα 24Mbps. Τα πειράματα που εκτελέστηκαν σε κάθε ένα από τα 5 διαφορετικά σημεία είναι ενδεικτικά τα παρακάτω:

Για τον Chrome:

1. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του boomerang.
2. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του NetTest.
3. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του Speedtest.
4. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του Speedtest by Ookla.
5. Μέτρηση του **upload throughput** με την υλοποίηση του NetTest.
6. Μέτρηση του **upload throughput** με την υλοποίηση του Speedtest.
7. Μέτρηση του **upload throughput** με την υλοποίηση του Speedtest by Ookla.
8. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του boomerang.
9. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του NetTest.
10. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του Speedtest.
11. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του Speedtest by Ookla.

Για τον Mozilla Firefox:

1. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του boomerang.
2. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του NetTest.
3. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του Speedtest.
4. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του Speedtest by Ookla.
5. Μέτρηση του **upload throughput** με την υλοποίηση του NetTest.
6. Μέτρηση του **upload throughput** με την υλοποίηση του Speedtest.
7. Μέτρηση του **upload throughput** με την υλοποίηση του Speedtest by Ookla.
8. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του boomerang.
9. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του NetTest.
10. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του Speedtest.
11. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του Speedtest by Ookla.

#### Για τον Opera:

1. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του boomerang.
2. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του NetTest.
3. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του Speedtest.
4. Μέτρηση του **download throughput** με την υλοποίηση του Speedtest by Ookla.
5. Μέτρηση του **upload throughput** με την υλοποίηση του NetTest.
6. Μέτρηση του **upload throughput** με την υλοποίηση του Speedtest.
7. Μέτρηση του **upload throughput** με την υλοποίηση του Speedtest by Ookla.
8. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του boomerang.
9. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του NetTest.
10. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του Speedtest.
11. Μέτρηση του **ping** με την υλοποίηση του Speedtest by Ookla.

Τα αρχεία που περιέχουν τις μετρήσεις που εκτελέστηκαν με όλους τους browsers, ο κώδικας που αναπτύχθηκε για την δημιουργία των γραφικών παραστάσεων και οι εικόνες των γραφικών παραστάσεων βρίσκονται εδώ: [66]

## **5.2 Εκτενής ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπεράσματος ως προς τις ιδανικότερες υλοποιήσεις ανά browser.**

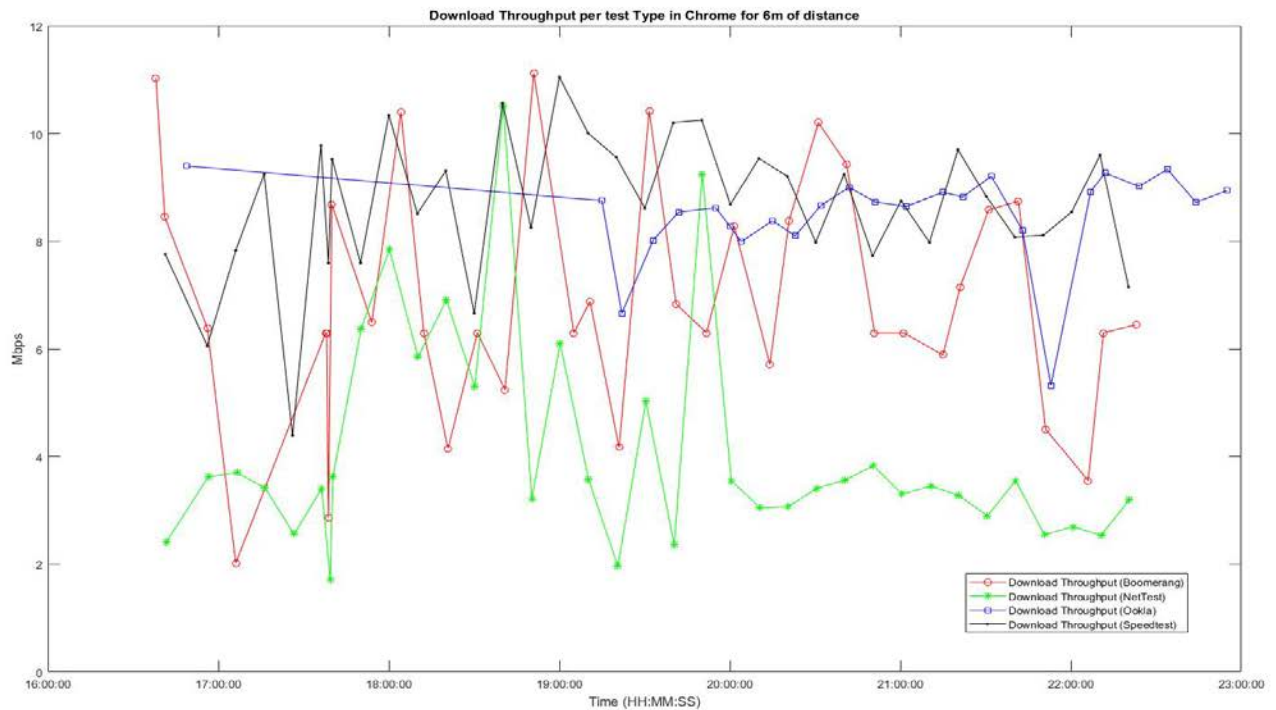
Η ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων θα γίνει με σκοπό να καταλήξουμε σε 2 πολύ συγκεκριμένα συμπεράσματα. Το πρώτο συμπέρασμα θα έχει να κάνει με το ποιες μετρήσεις των τριών υλοποιήσεων συγκλίνουν περισσότερο προς τις μετρήσεις του εργαλείου Speedtest by Ookla για κάθε έναν από τους τρεις browsers που εκτελέστηκαν τα πειράματα. Δηλαδή μας ενδιαφέρει να καταλήξουμε στο ποιες υλοποιήσεις είναι προτιμότερες για κάθε έναν από τους τρεις browsers τόσο για το download throughput και το upload throughput όσο και για το ping. Το δεύτερο συμπέρασμα έχει να κάνει πάλι με την εύρεση των προτιμότερων υλοποιήσεων, δηλαδή των υλοποιήσεων των οποίων τα πειραματικά αποτελέσματα συγκλίνουν περισσότερο σε αυτά του εργαλείου Speedtest by Ookla, χωρίς όμως να λαμβάνουμε υπόψη μας τους browsers που εκτελέστηκαν τα

πειράματα. Ακολουθεί η ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων προκειμένου να καταλήξουμε στα 2 συμπεράσματα που προαναφέρθηκαν.

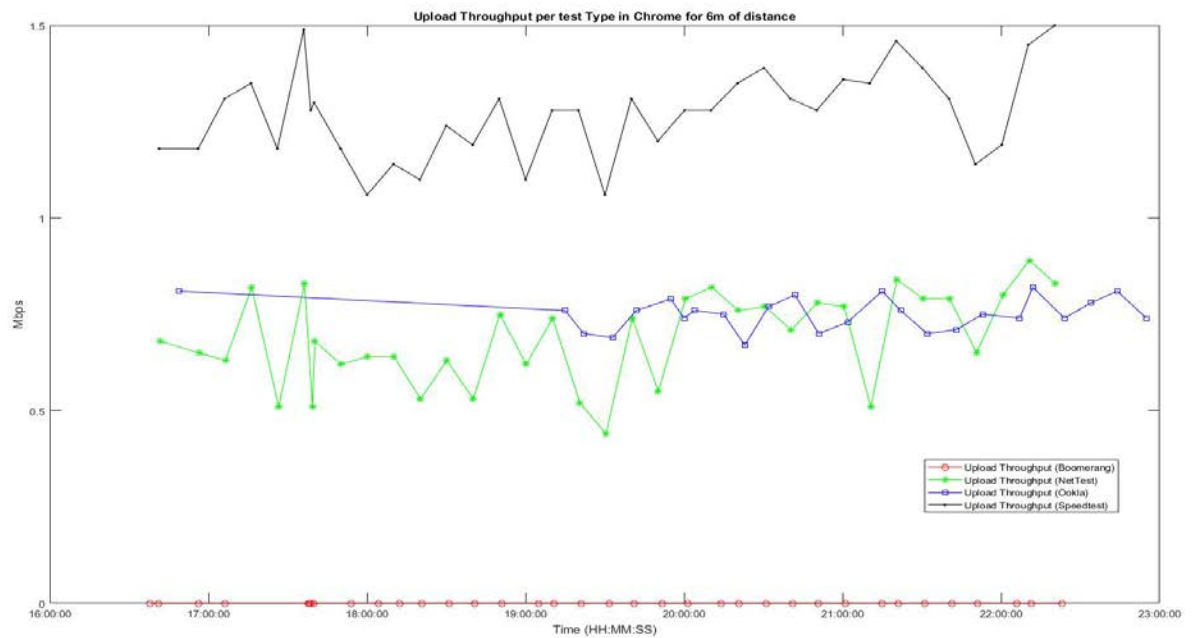
Αρχικά θα γίνει ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων προκειμένου να καταλήξουμε στο ποιες υλοποιήσεις είναι προτιμότερες για κάθε browser. Θα παρουσιάσουμε δηλαδή για κάθε σημείο και για κάθε browser τις γραφικές παραστάσεις του download throughput, upload throughput και ping καθώς και τους πίνακες με τις μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές αυτών για τις 3 υλοποιήσεις που δημιουργήσαμε και για τις μετρήσεις που πήραμε από το εργαλείο Speedtest by Ookla. Οι γραφικές παραστάσεις δημιουργήθηκαν με χρήση του εργαλείου Matlab.

## 5.2.1 Σημείο 1 – Απόσταση 6m από το router

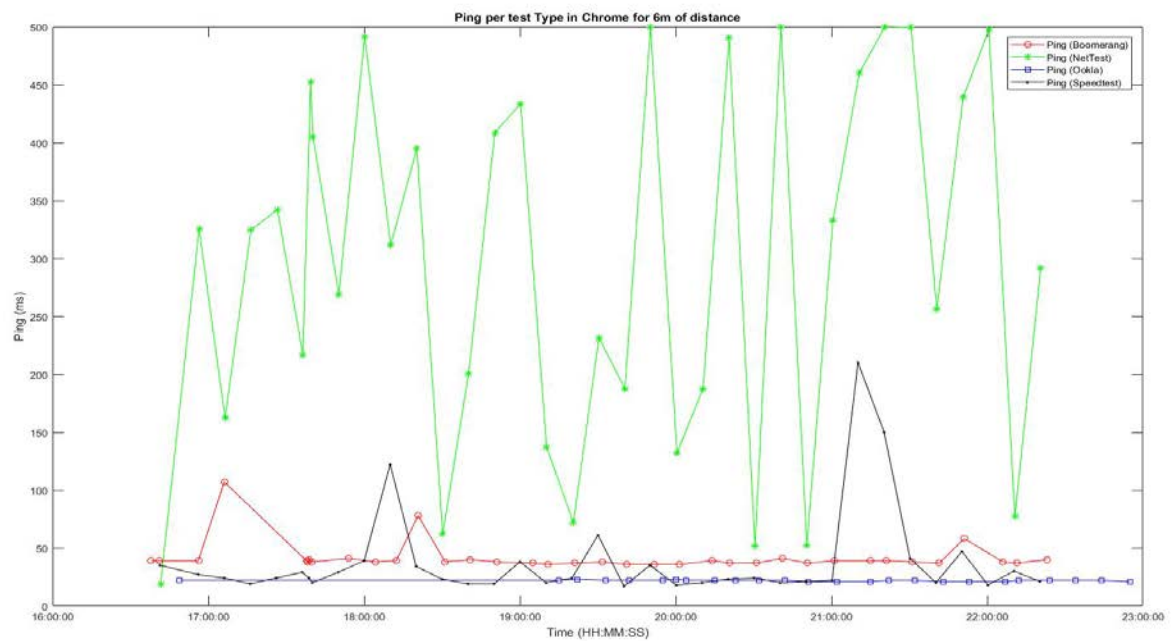
### 5.2.1.1 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 1 για τον Chrome



Εικόνα 2: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 6m από το router



Εικόνα 3: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 6m από το router



Εικόνα 4: Ping ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 6m από το router

<b>Boomerang</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	6.9 Mbps	0 Mbps	41.8 ms
<b>Max</b>	11.1 Mbps	0 Mbps	107 ms
<b>Min</b>	2 Mbps	0 Mbps	36 ms

Πίνακας 1: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Boomerang στον Chrome.

<b>Nettest</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	4.1 Mbps	0.7 Mbps	297.6 ms
<b>Max</b>	10.5 Mbps	0.9 Mbps	500 ms
<b>Min</b>	1.7 Mbps	0.4 Mbps	19 ms

Πίνακας 2: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του NetTest στον Chrome.

<b>Ookla</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	8.5 Mbps	0.75 Mbps	21.8 ms
<b>Max</b>	9.4 Mbps	0.82 Mbps	23 ms
<b>Min</b>	5.3 Mbps	0.67 Mbps	21 ms

Πίνακας 3: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για το εργαλείο Ookla στον Chrome.

<b>Speedtest</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	8.67 Mbps	1.27 Mbps	37.97 ms
<b>Max</b>	11.05 Mbps	1.5 Mbps	210 ms
<b>Min</b>	4.39 Mbps	1.06 Mbps	17 ms

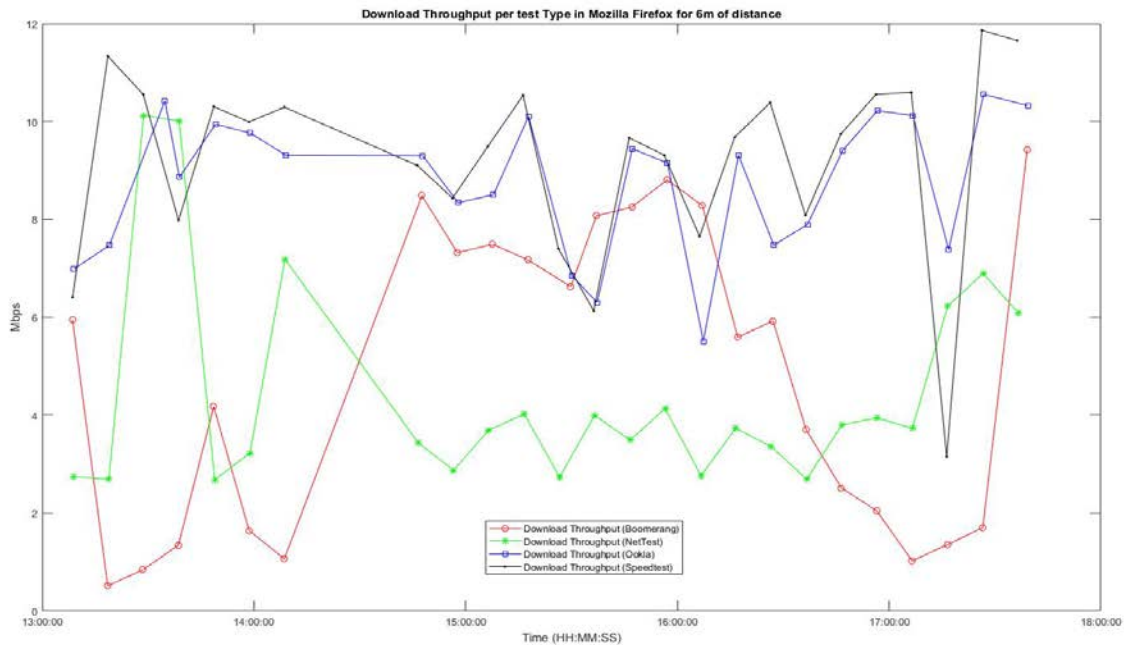
Πίνακας 4: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Speedtest στον Chrome.

Παρατηρώντας την εικόνα 2 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).

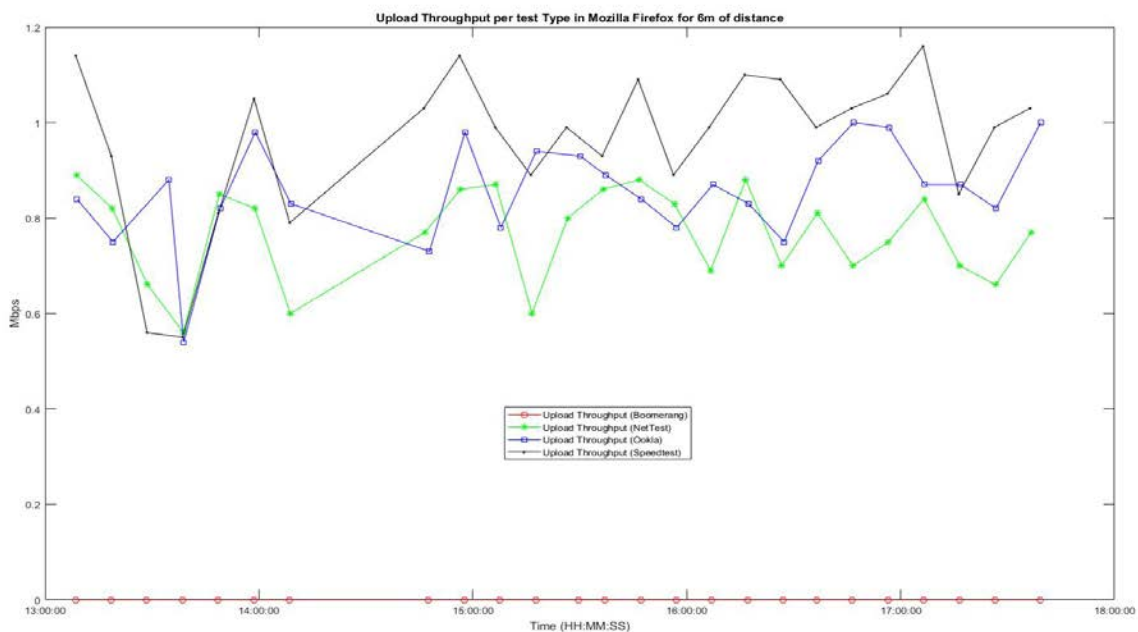
Παρατηρώντας την εικόνα 3 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 4 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).

### 5.2.1.2 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 1 για τον Mozilla Firefox

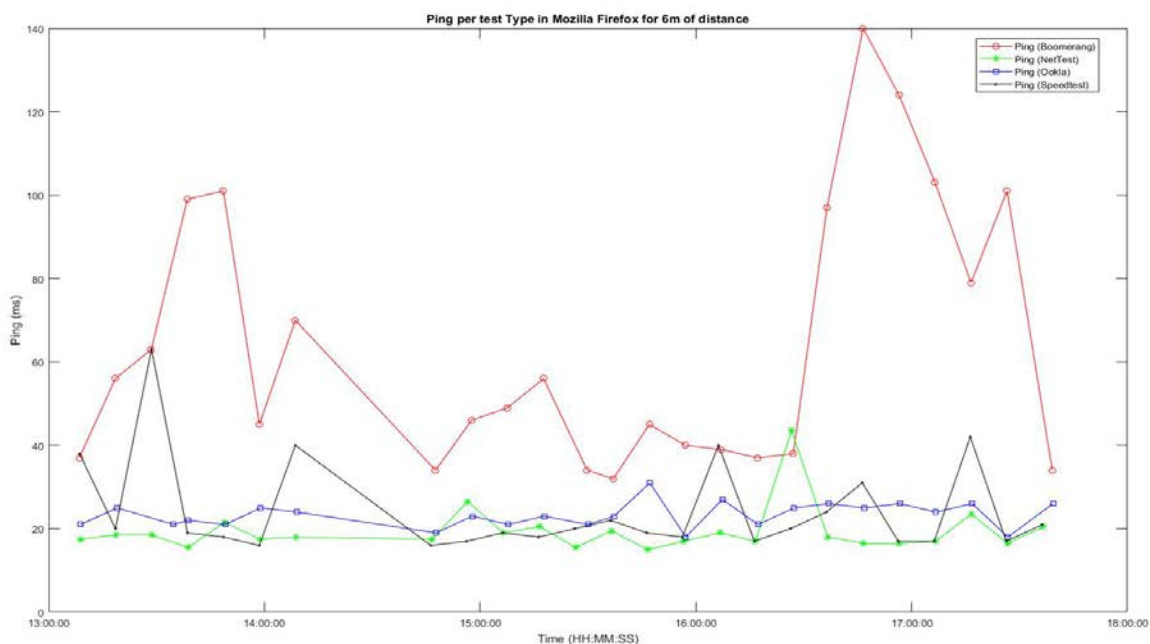


Εικόνα 5: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 6m από το router



Εικόνα 6: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 6m από το router





Εικόνα 7: Ping ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 6m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	4.76 Mbps	0 Mbps	63.96 ms
<b>Max</b>	9.42 Mbps	0 Mbps	140 ms
<b>Min</b>	0.51 Mbps	0 Mbps	32 ms

Πίνακας 5: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Boomerang στον Mozilla Firefox.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	4.4 Mbps	0.76 Mbps	19.42 ms
<b>Max</b>	10.12 Mbps	0.89 Mbps	43.5 ms
<b>Min</b>	2.68 Mbps	0.56 Mbps	15 ms

Πίνακας 6: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του NetTest στον Mozilla Firefox.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.75 Mbps	0.85 Mbps	23.28 ms
<b>Max</b>	10.55 Mbps	1 Mbps	31 ms
<b>Min</b>	5.51 Mbps	0.54 Mbps	18 ms

Πίνακας 7: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για το εργαλείο Ookla στον Mozilla Firefox.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	9.2 Mbps	0.96 Mbps	24.36 ms
<b>Max</b>	11.86 Mbps	1.16 Mbps	63 ms
<b>Min</b>	3.15 Mbps	0.55 Mbps	16 ms

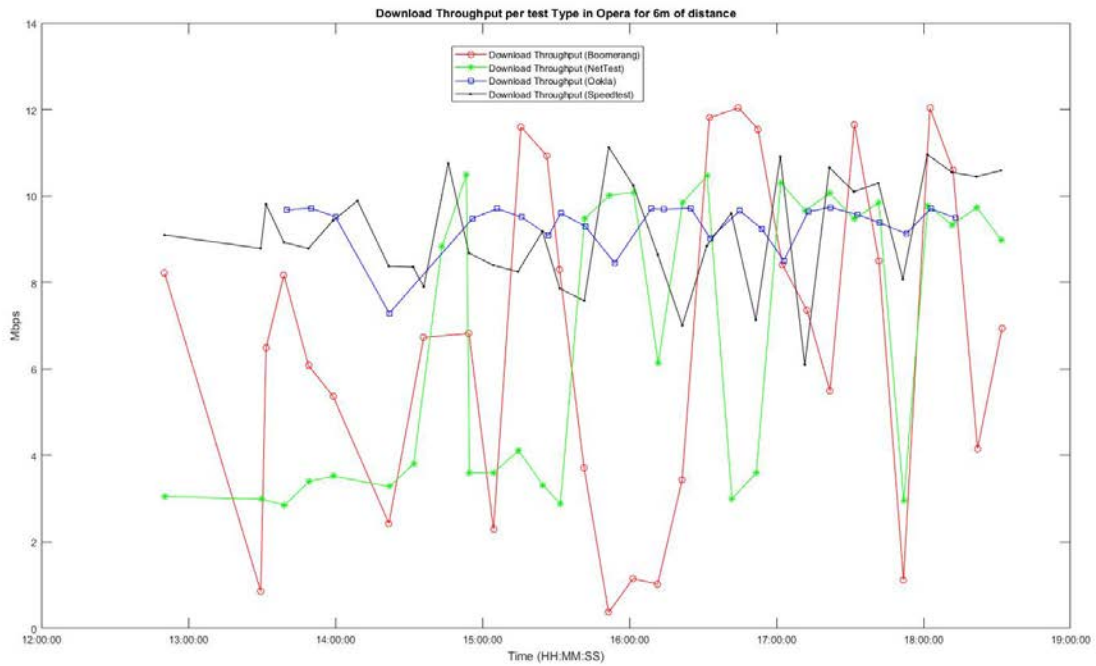
Πίνακας 8: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Speedtest στον Mozilla Firefox.

Παρατηρώντας την εικόνα 5 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).

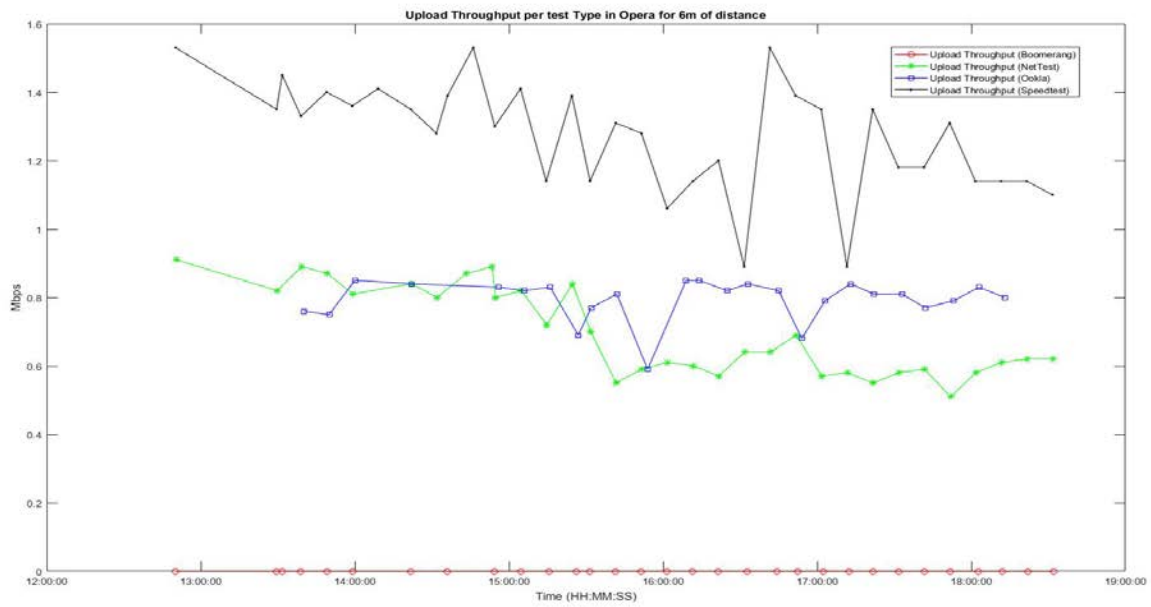
Παρατηρώντας την εικόνα 6 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 7 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).

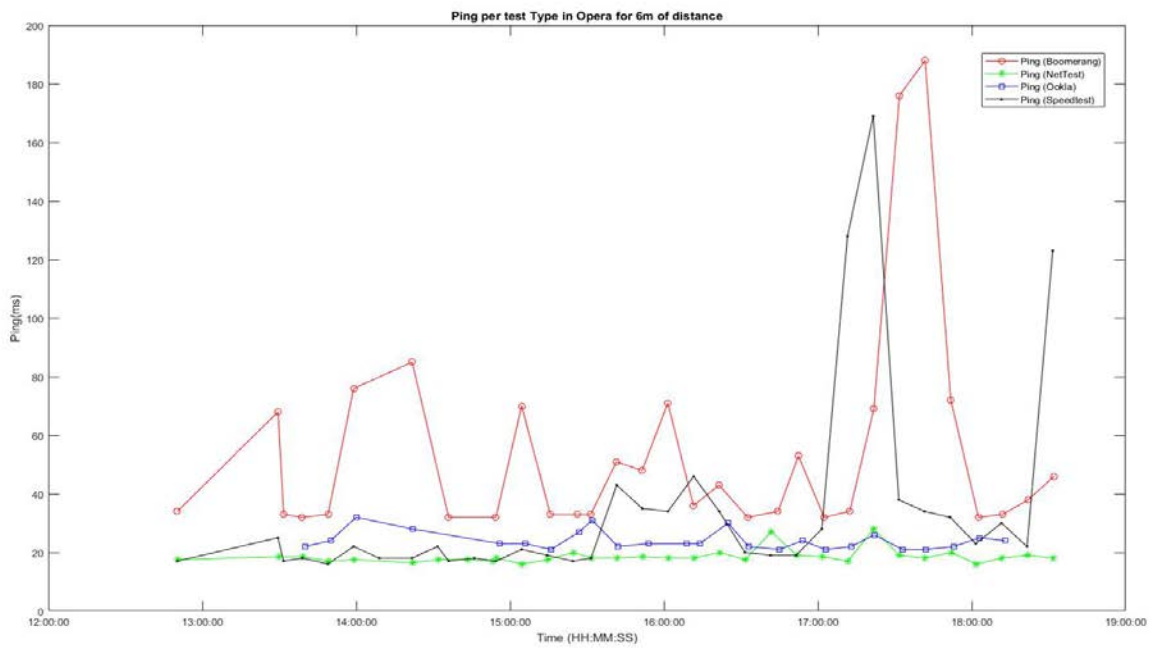
### 5.2.1.3 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 1 για τον Opera



Εικόνα 8: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 6m από το router



Εικόνα 9: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 6m από το router



Εικόνα 10: Ping ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 6m από το router

<b>Boomerang</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	6.63 Mbps	0 Mbps	54.25 ms
<b>Max</b>	12.04 Mbps	0 Mbps	188 ms
<b>Min</b>	0.37 Mbps	0 Mbps	32 ms

Πίνακας 9: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Boomerang στον Opera.

<b>Nettest</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	6.64 Mbps	0.69 Mbps	18.57ms
<b>Max</b>	10.49 Mbps	0.91 Mbps	28 ms
<b>Min</b>	2.85 Mbps	0.51 Mbps	16ms

Πίνακας 10: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του NetTest στον Opera.

<b>Ookla</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	9.34 Mbps	0.793 Mbps	24.04 ms
<b>Max</b>	9.74 Mbps	0.85 Mbps	32 ms
<b>Min</b>	7.29 Mbps	0.59 Mbps	21 ms

Πίνακας 11: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για το εργαλείο Ookla στον Opera.

<b>Speedtest</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	9.15 Mbps	1.27 Mbps	34.61 ms
<b>Max</b>	11.13 Mbps	1.53 Mbps	169 ms
<b>Min</b>	6.1 Mbps	0.89 Mbps	16 ms

Πίνακας 12: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Speedtest στον Opera.

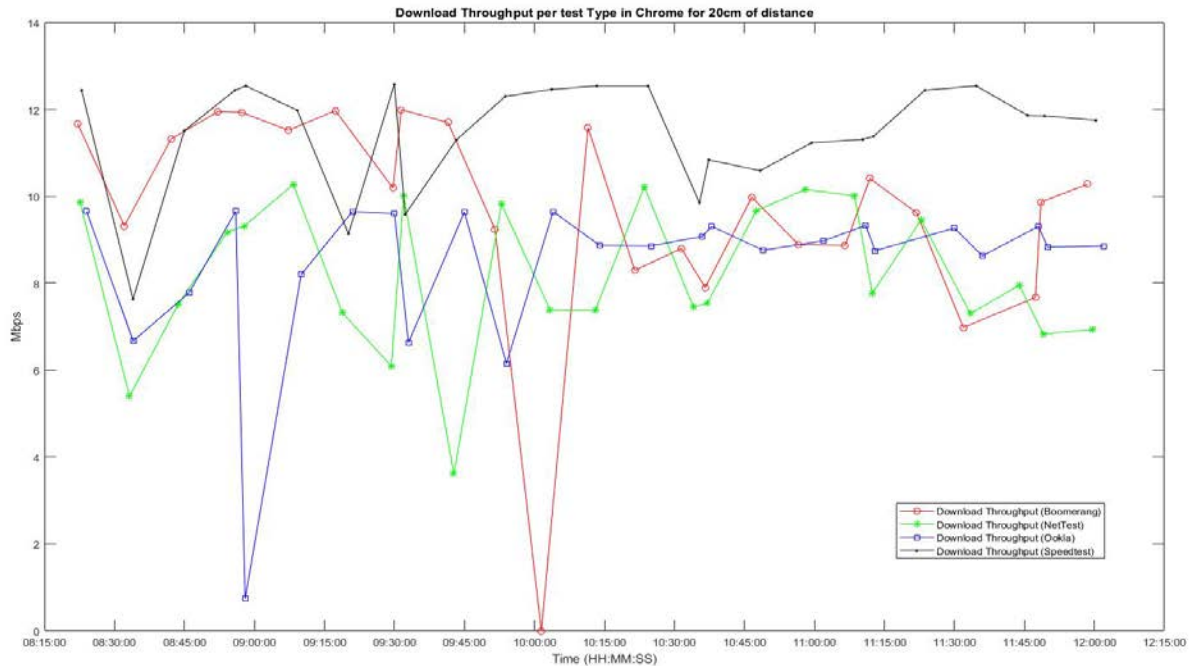
Παρατηρώντας την εικόνα 8 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).

Παρατηρώντας την εικόνα 9 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

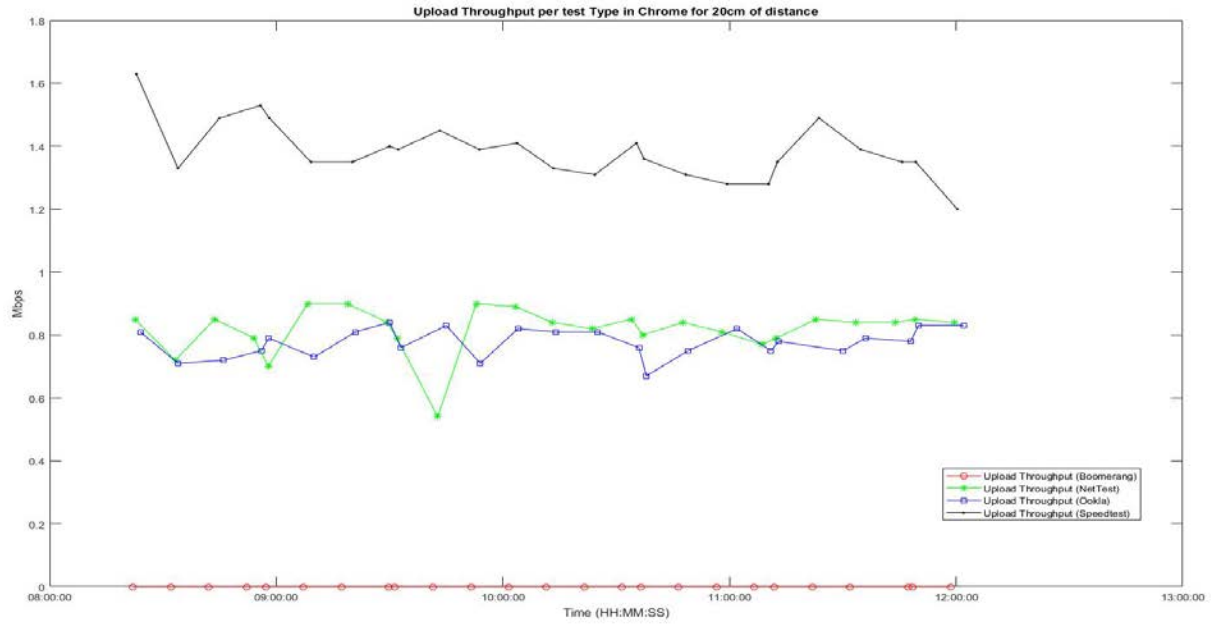
Παρατηρώντας την εικόνα 10 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

## 5.2.2 Σημείο 2 – Απόσταση 20cm από το router

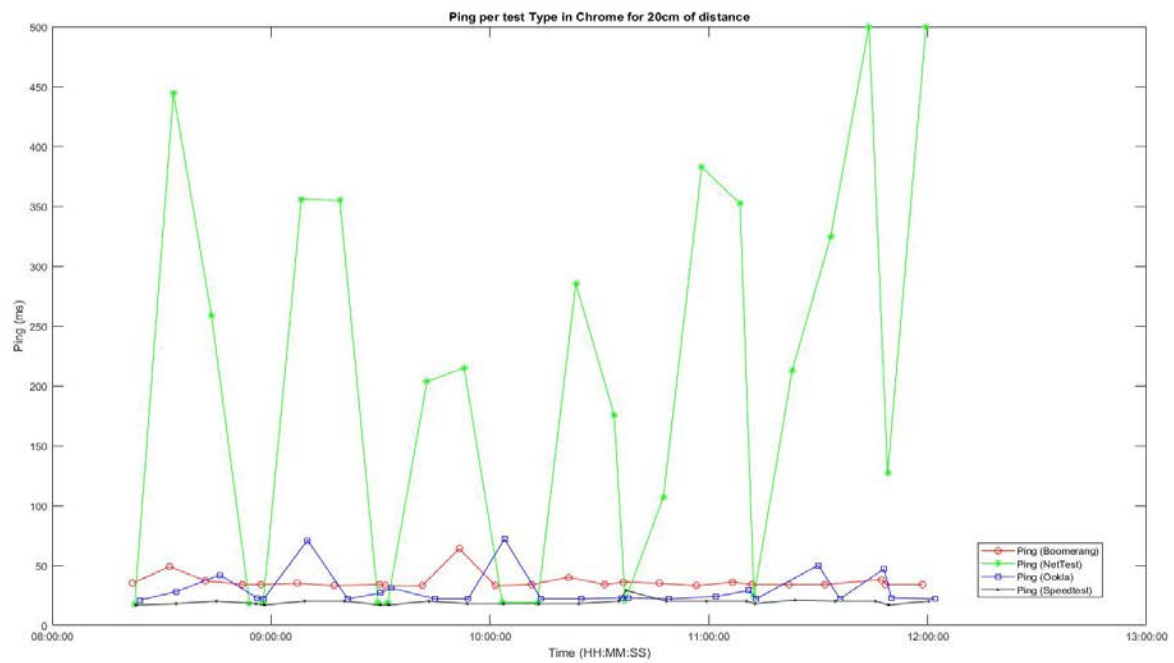
### 5.2.2.1 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 2 για τον Chrome



Εικόνα 11: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 20cm από το router



Εικόνα 12: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 20cm από το router



Εικόνα 13: Ping ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 20cm από το router

<b>Boomerang</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	9.68 Mbps	0 Mbps	36.4 ms
<b>Max</b>	11.99 Mbps	0 Mbps	64 ms
<b>Min</b>	0 Mbps	0 Mbps	33 ms

Πίνακας 13: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Boomerang στον Chrome.

<b>Nettest</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	8.18 Mbps	0.82 Mbps	198.94 ms
<b>Max</b>	10.27 Mbps	0.9 Mbps	500 ms
<b>Min</b>	3.62 Mbps	0.54 Mbps	17.5 ms

Πίνακας 14: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του NetTest στον Chrome.

<b>Ookla</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	8.43 Mbps	0.78 Mbps	30.16 ms
<b>Max</b>	9.66 Mbps	0.84 Mbps	72 ms
<b>Min</b>	0.74 Mbps	0.67 Mbps	21 ms

Πίνακας 15: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για το εργαλείο Ookla στον Chrome.

<b>Speedtest</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	11.46 Mbps	1.38 Mbps	19.24 ms
<b>Max</b>	12.58 Mbps	1.63 Mbps	29 ms
<b>Min</b>	7.63 Mbps	1.2 Mbps	17 ms

Πίνακας 16: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Speedtest στον Chrome.

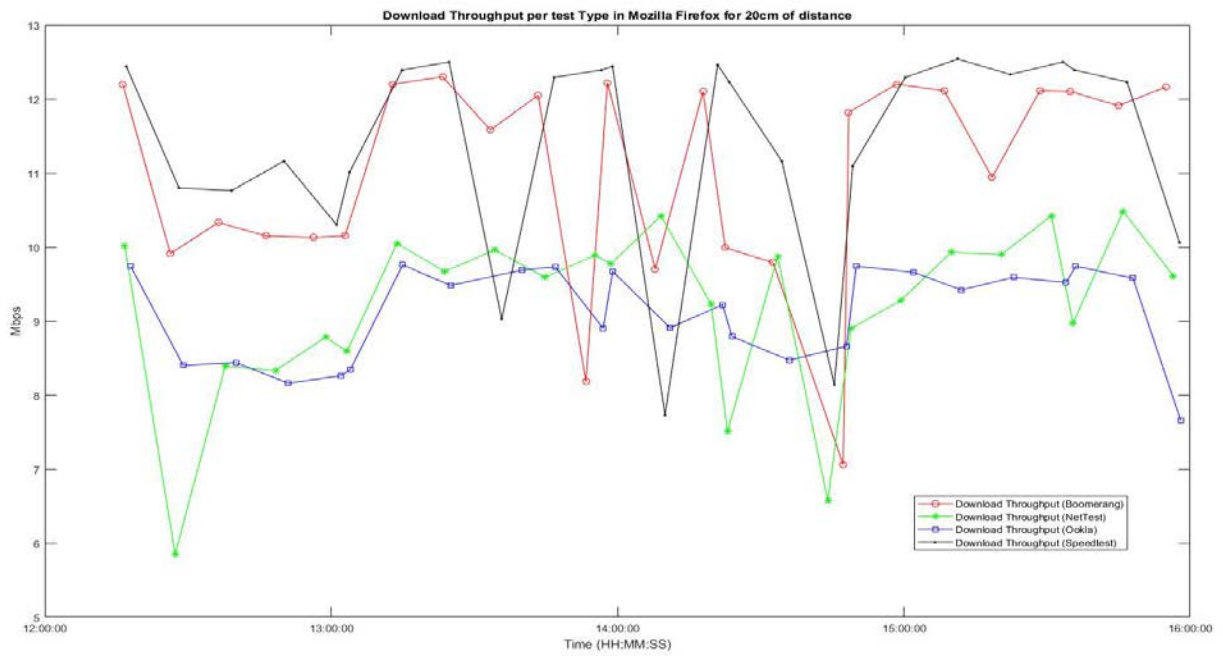
Παρατηρώντας την εικόνα 11 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 12 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

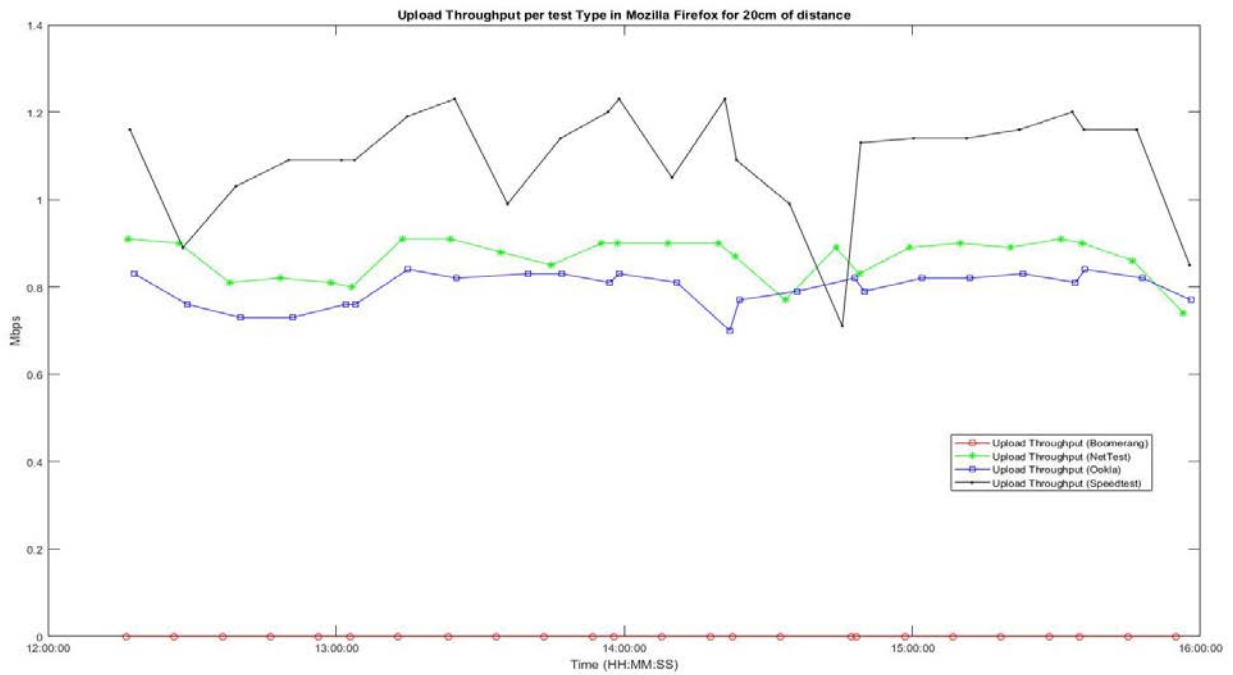
Παρατηρώντας την εικόνα 13 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Boomerang** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (NetTest και Speedtest).



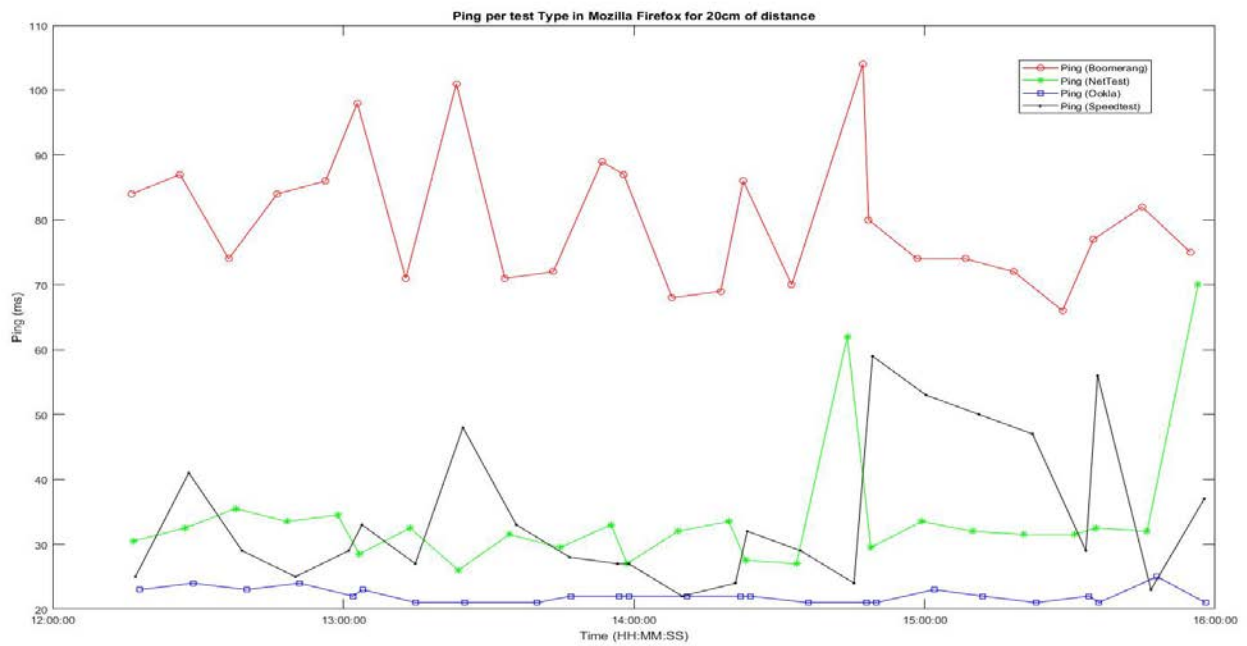
### 5.2.2.2 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 2 για τον Mozilla Firefox



Εικόνα 14: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 20cm από το router



Εικόνα 15: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 20cm από το router



Εικόνα 16: Ping ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 20cm από το router

<b>Boomerang</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	11.02 Mbps	0 Mbps	80.4 ms
<b>Max</b>	12.3 Mbps	0 Mbps	104 ms
<b>Min</b>	7.06 Mbps	0 Mbps	66 ms

Πίνακας 17: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Boomerang στον Mozilla Firefox.

<b>Nettest</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	9.20 Mbps	0.87 Mbps	33.96 ms
<b>Max</b>	10.48 Mbps	0.91 Mbps	70 ms
<b>Min</b>	5.85 Mbps	0.74 Mbps	26 ms

Πίνακας 18: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του NetTest στον Mozilla Firefox.

<b>Ookla</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	9.1 Mbps	0.8 Mbps	22.8 ms
<b>Max</b>	9.76 Mbps	0.84 Mbps	25 ms
<b>Min</b>	7.66 Mbps	0.7 Mbps	21 ms

Πίνακας 19: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για το εργαλείο Ookla στον Mozilla Firefox.

<b>Speedtest</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	11.39 Mbps	1.09 Mbps	34.28 ms
<b>Max</b>	12.54 Mbps	1.23 Mbps	59 ms
<b>Min</b>	7.73 Mbps	0.71 Mbps	22 ms

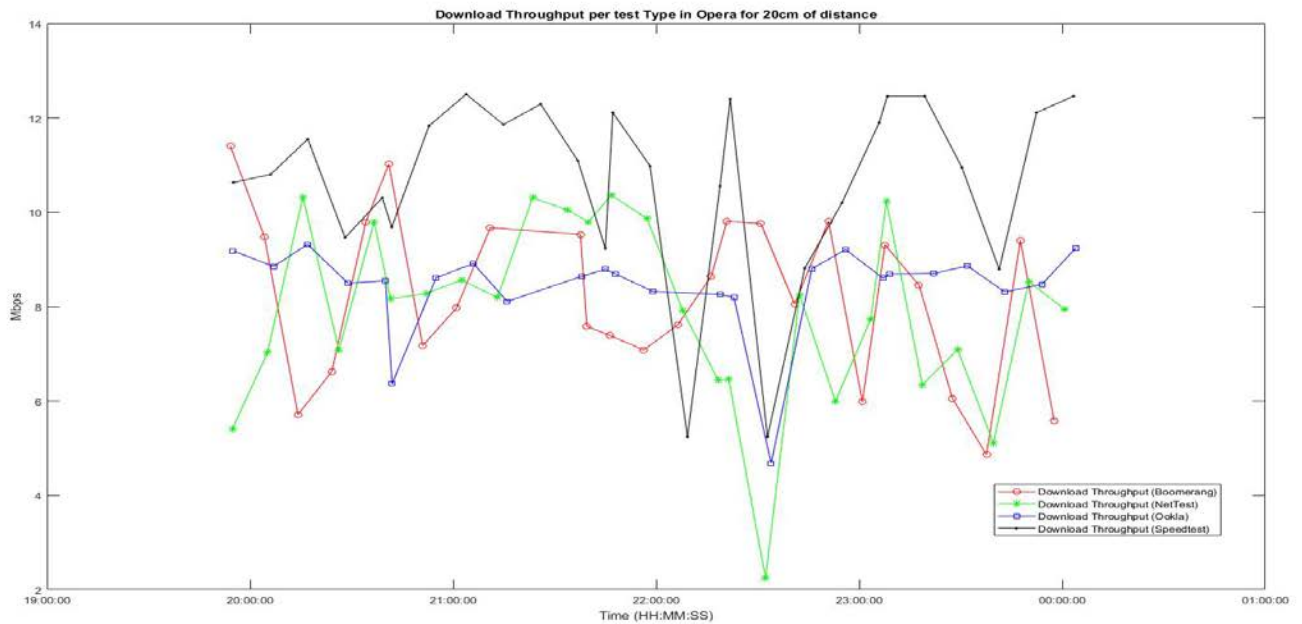
Πίνακας 20: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Speedtest στον Mozilla Firefox.

Παρατηρώντας την εικόνα 14 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

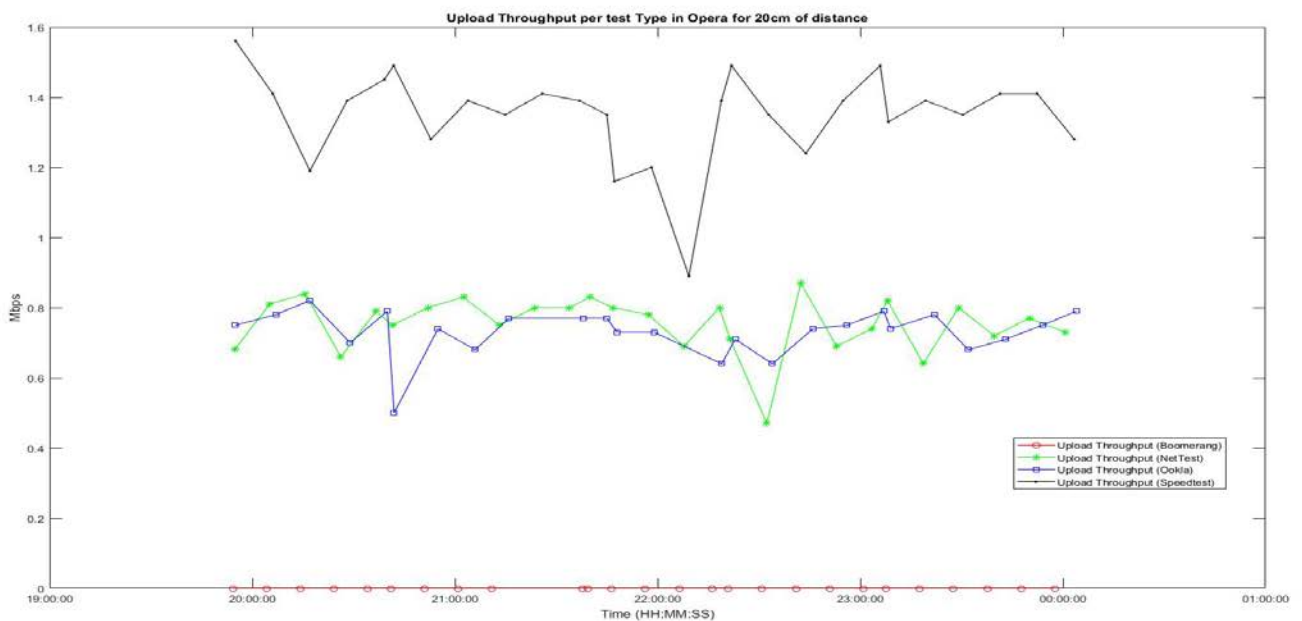
Παρατηρώντας την εικόνα 15 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 16 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

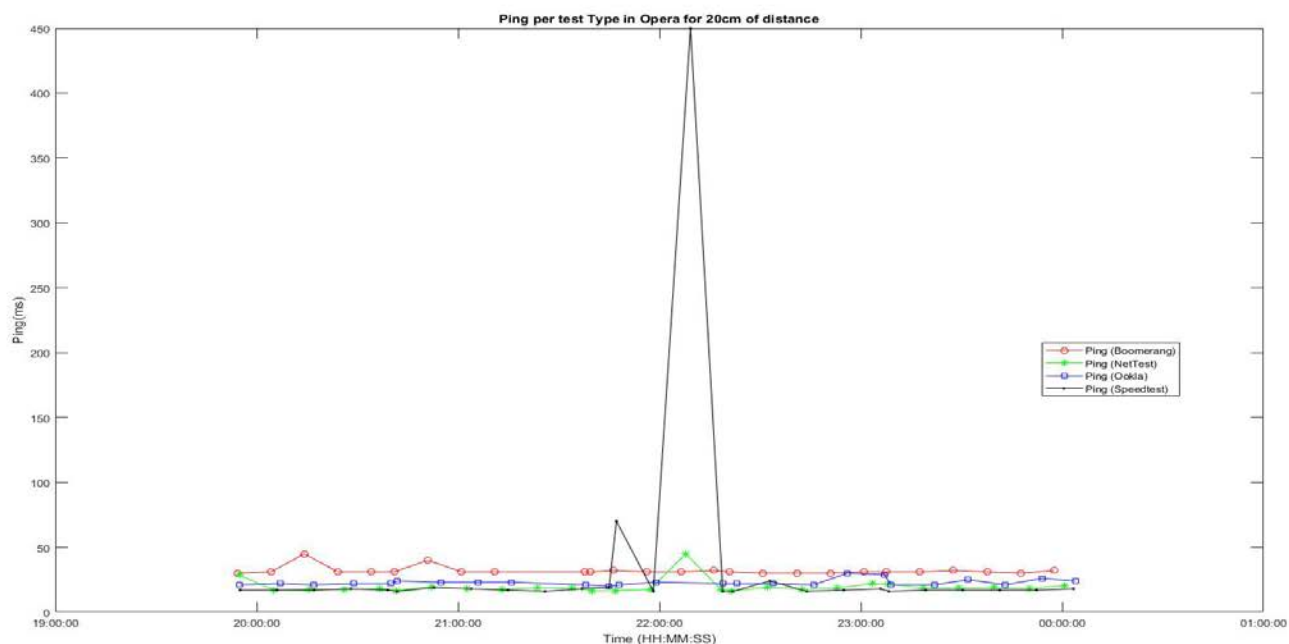
### 5.2.2.3 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 2 για τον Opera



Εικόνα 17: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 20cm από το router



Εικόνα 18: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 20cm απο το router



Εικόνα 19: Ping ανά τύπο test για τον Opera στο σημείο 2

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.22 Mbps	0 Mbps	31.85 ms
<b>Max</b>	11.4 Mbps	0 Mbps	45 ms
<b>Min</b>	4.86 Mbps	0 Mbps	30 ms

Πίνακας 21: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Boomerang στον Opera.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	7.91 Mbps	0.75 Mbps	19.61 ms
<b>Max</b>	10.36 Mbps	0.87 Mbps	45 ms
<b>Min</b>	2.24 Mbps	0.47 Mbps	16.5 ms

Πίνακας 22: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του NetTest στον Opera.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.43 Mbps	0.73 Mbps	22.8 ms
<b>Max</b>	9.32 Mbps	0.82 Mbps	30 ms
<b>Min</b>	4.68 Mbps	0.5 Mbps	20 ms

Πίνακας 23: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για το εργαλείο Ookla στον Opera.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	10.66 Mbps	1.35 Mbps	35.33 ms
<b>Max</b>	12.5 Mbps	1.56 Mbps	450 ms
<b>Min</b>	5.24 Mbps	0.89 Mbps	16 ms

Πίνακας 24: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Speedtest στον Opera.

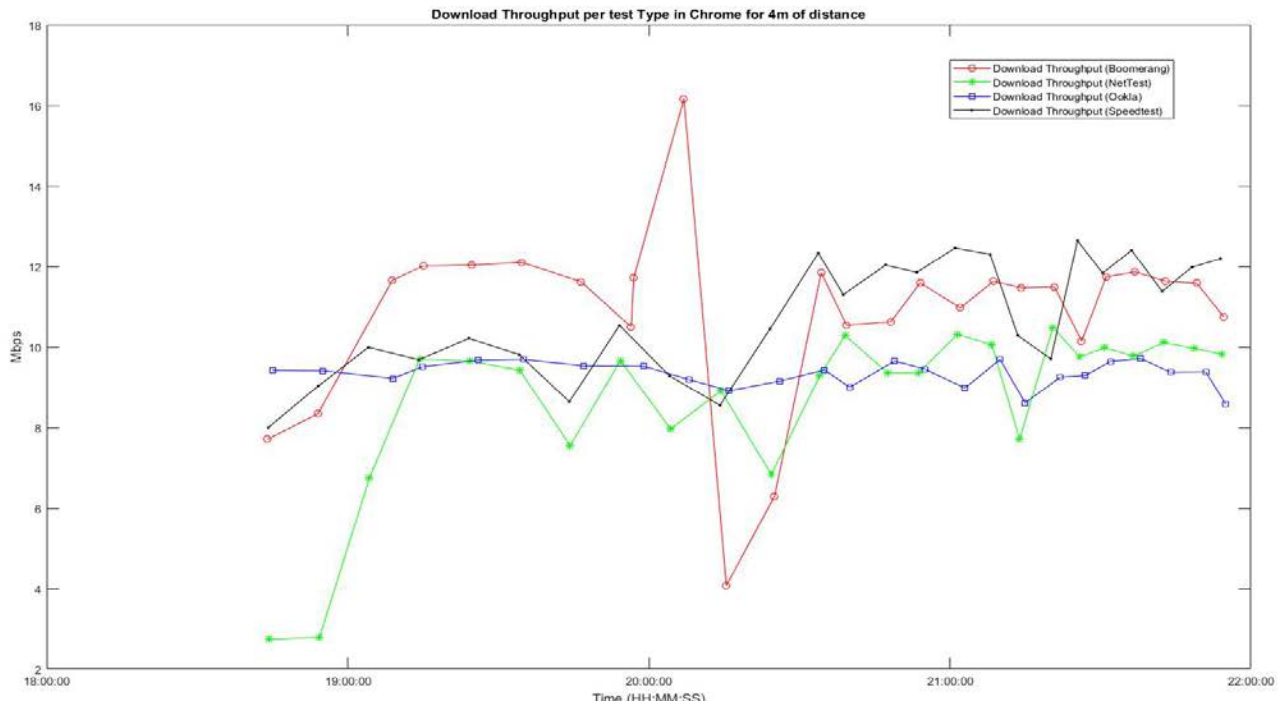
Παρατηρώντας την εικόνα 17 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Boomerang** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (NetTest και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 18 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

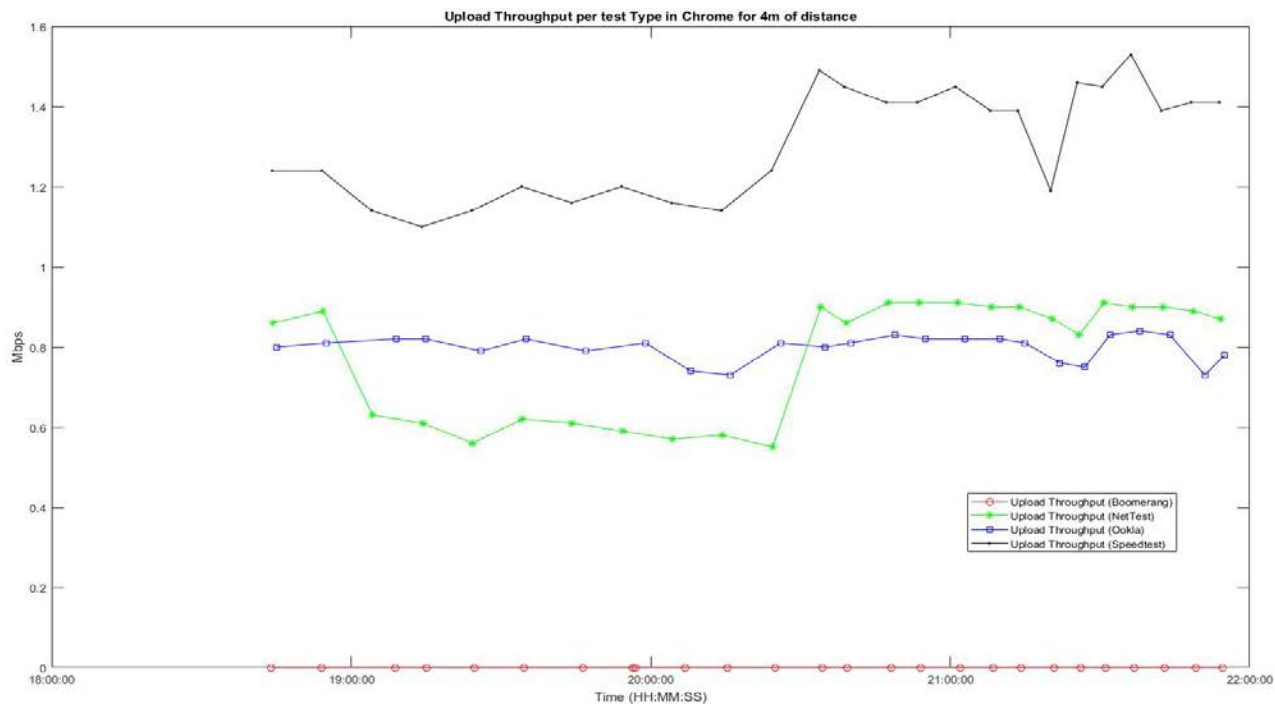
Παρατηρώντας την εικόνα 19 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

### 5.2.3 Σημείο 3 – Απόσταση 4m από το router

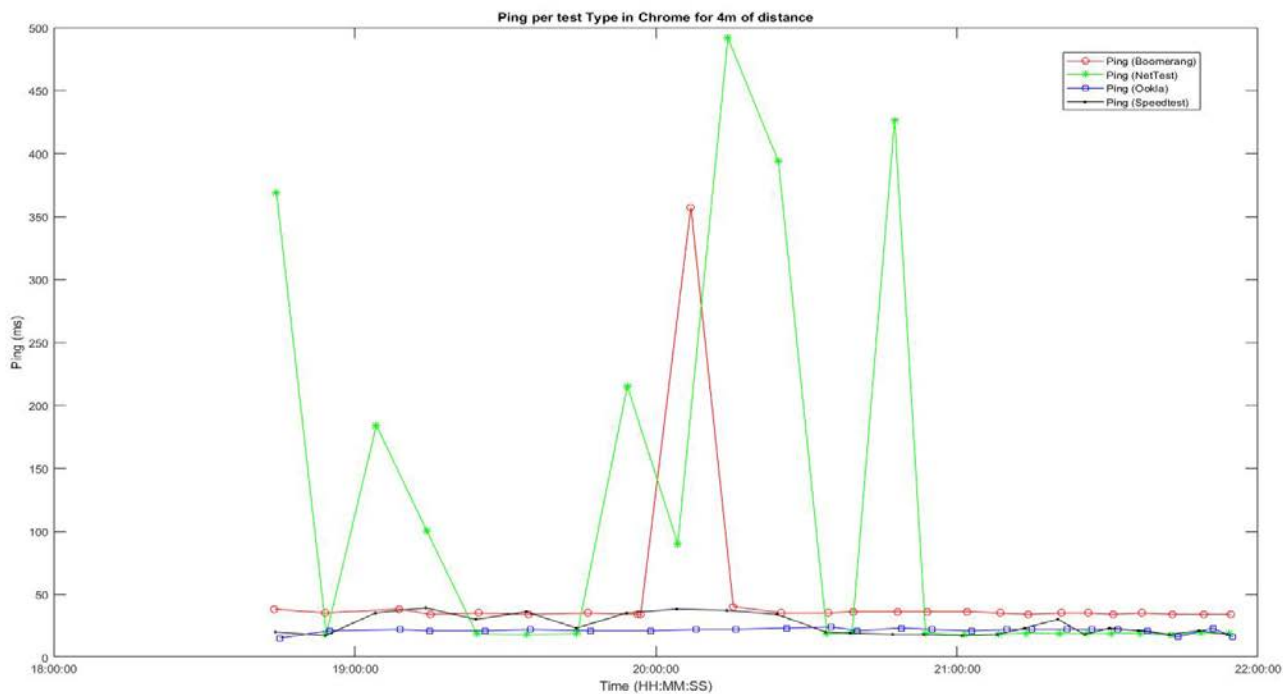
#### 5.2.3.1 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 3 για τον Chrome



Εικόνα 20: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 4m από το router



Εικόνα 21: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 4m από το router



Εικόνα 22: Ping ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 4m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	10.85 Mbps	0 Mbps	47.62 ms
Max	16.16 Mbps	0 Mbps	357 ms
Min	4.08 Mbps	0 Mbps	34 ms

Πίνακας 25: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Boomerang στον Chrome.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.73 Mbps	0.78 Mbps	103.4 ms
Max	10.48 Mbps	0.91 Mbps	491.5 ms
Min	2.74 Mbps	0.55 Mbps	17.5 ms

Πίνακας 26: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του NetTest στον Chrome.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	9.33 Mbps	0.8 Mbps	21.12 ms
Max	9.71 Mbps	0.84 Mbps	24 ms
Min	8.57 Mbps	0.73 Mbps	15 ms

Πίνακας 27: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για το εργαλείο Ookla στον Chrome.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	10.75 Mbps	1.31 Mbps	25.04 ms
Max	12.64 Mbps	1.53 Mbps	39 ms
Min	8 Mbps	1.1 Mbps	17 ms

Πίνακας 28: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Speedtest στον Chrome.

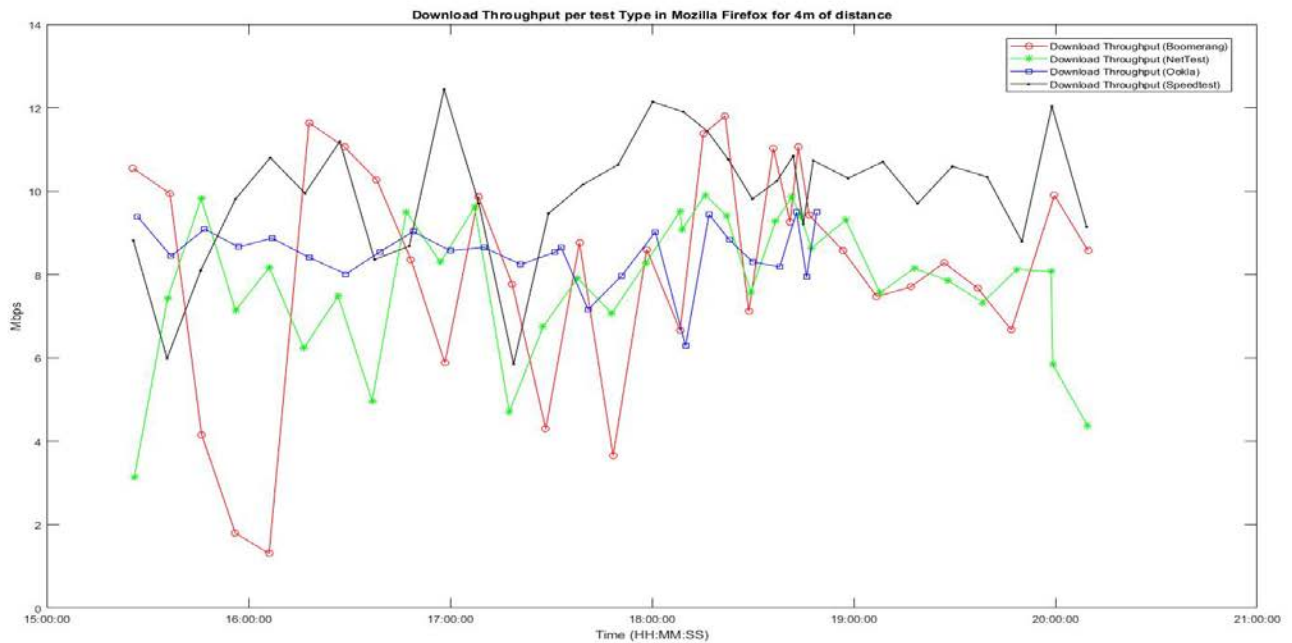
Παρατηρώντας την εικόνα 20 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 21 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

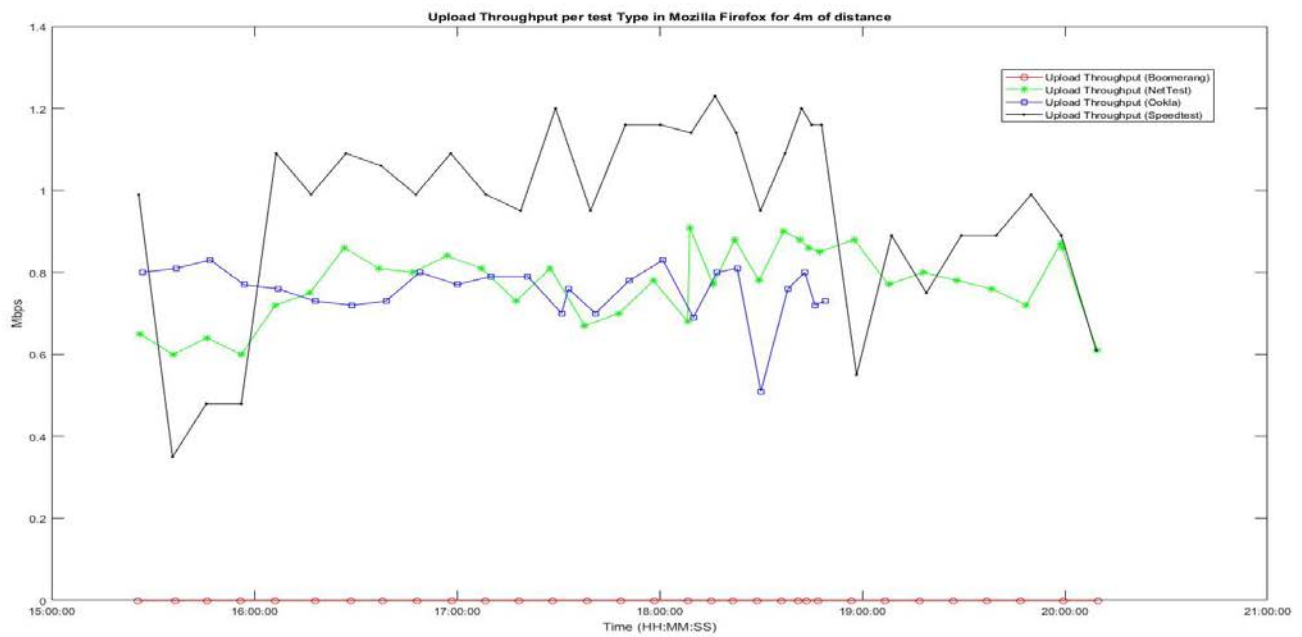
Παρατηρώντας την εικόνα 22 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).



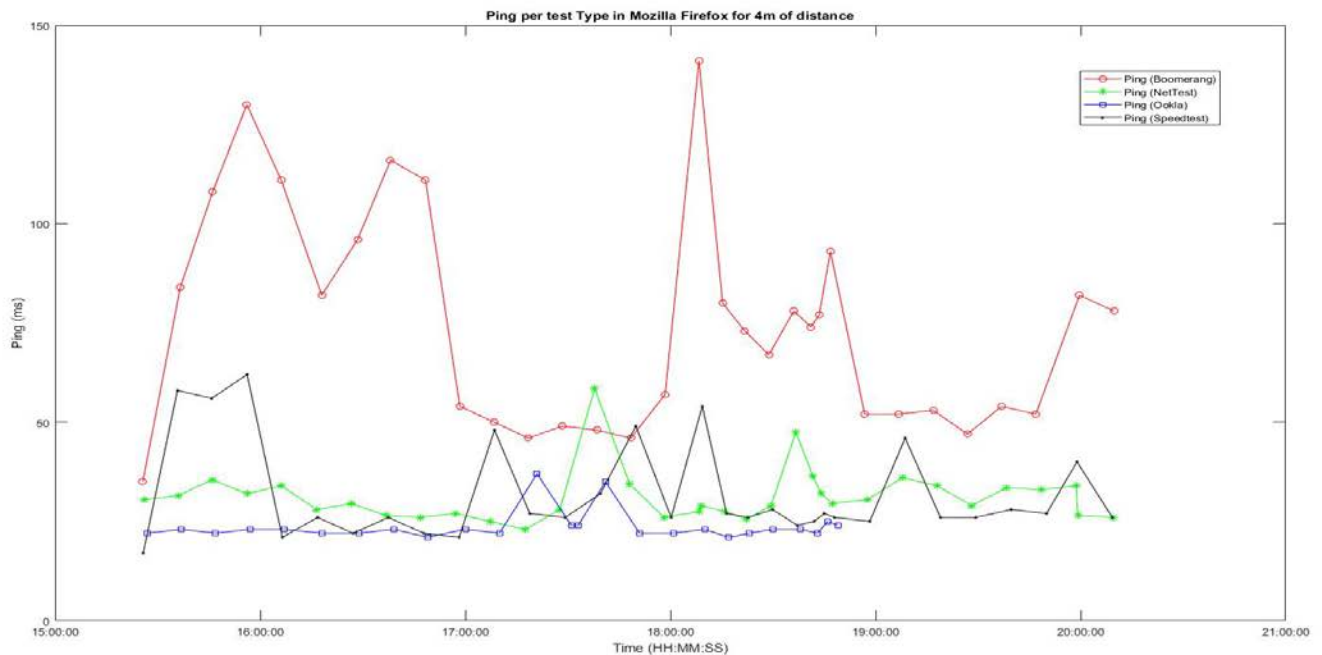
### 5.2.3.2 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 3 για τον Mozilla Firefox



Εικόνα 23: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 4m από το router



Εικόνα 24: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 4m από το router



Εικόνα 25: Ping ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 4m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.14 Mbps	0 Mbps	74.25 ms
<b>Max</b>	11.8 Mbps	0 Mbps	141 ms
<b>Min</b>	1.31 Mbps	0 Mbps	35 ms

Πίνακας 29: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Boomerang στον Mozilla Firefox.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	7.82 Mbps	0.77 Mbps	31.24 ms
<b>Max</b>	9.91 Mbps	0.91 Mbps	58.5 ms
<b>Min</b>	3.15 Mbps	0.6 Mbps	23 ms

Πίνακας 30: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του NetTest στον Mozilla Firefox.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.53 Mbps	0.76 Mbps	23.72 ms
<b>Max</b>	9.49 Mbps	0.83 Mbps	37 ms
<b>Min</b>	6.29 Mbps	0.51 Mbps	21 ms

Πίνακας 31: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για το εργαλείο Ookla στον Mozilla Firefox.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	9.96 Mbps	0.95 Mbps	31.88 ms
<b>Max</b>	12.44 Mbps	1.23 Mbps	62 ms
<b>Min</b>	5.85 Mbps	0.35 Mbps	17 ms

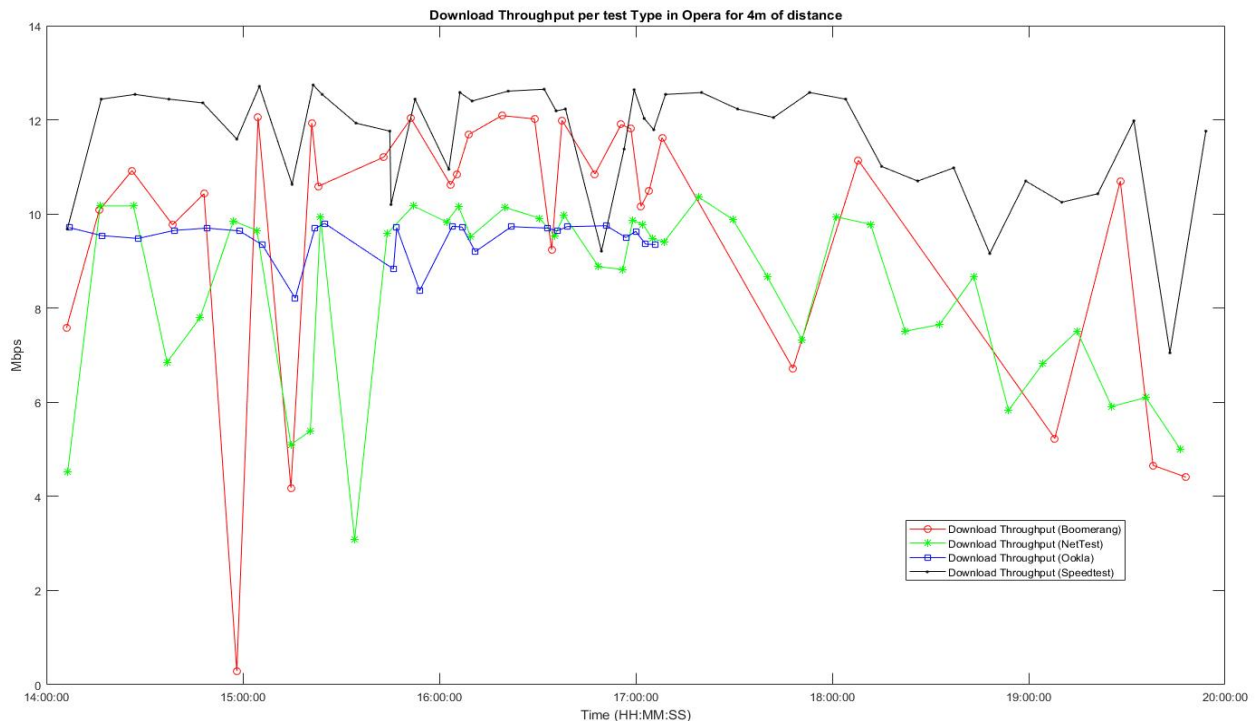
Πίνακας 32: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Speedtest στον Mozilla Firefox.

Παρατηρώντας την εικόνα 23 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Boomerang** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (NetTest και Speedtest).

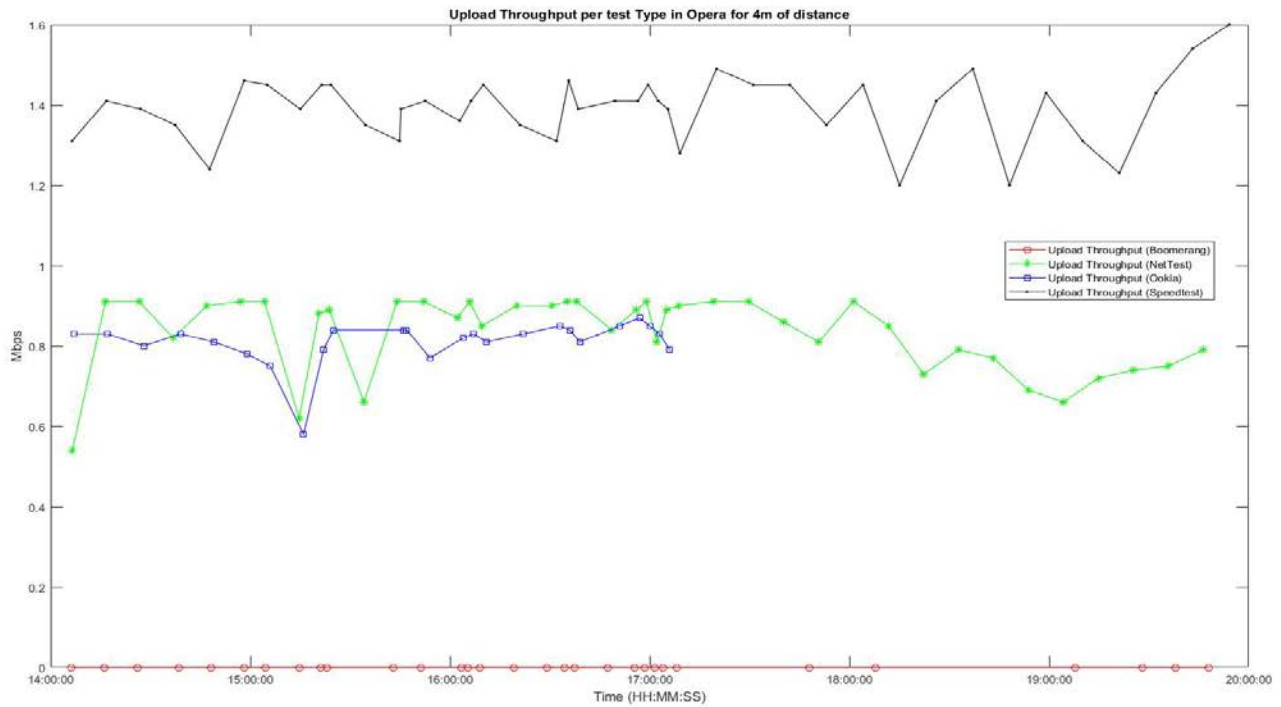
Παρατηρώντας την εικόνα 24 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 25 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

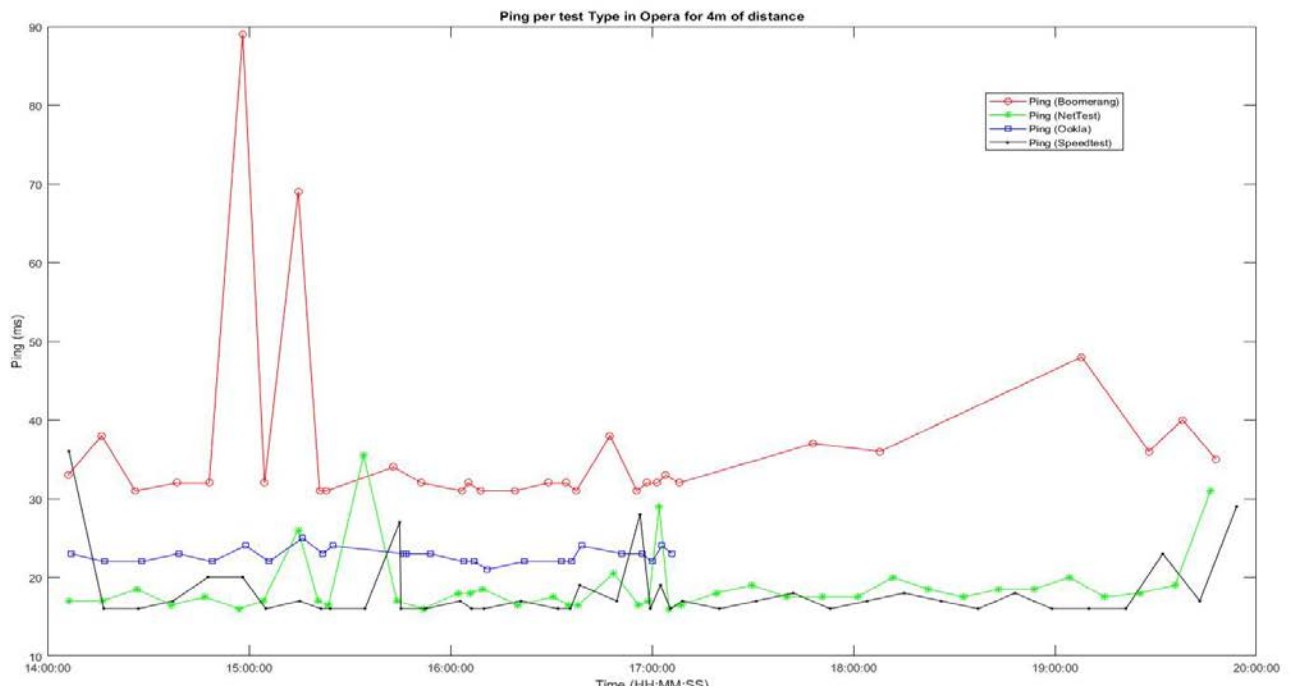
### 5.2.3.3 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 3 για τον Opera



Εικόνα 26: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 4m από το router



Εικόνα 27: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 4m από το router



Εικόνα 28: Ping ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 4m από το router

<b>Boomerang</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	9.65 Mbps	0 Mbps	36.58 ms
<b>Max</b>	12.09 Mbps	0 Mbps	89 ms
<b>Min</b>	0.29 Mbps	0 Mbps	31 ms

Πίνακας 33: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Boomerang στον Opera.

<b>Nettest</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	8.4 Mbps	0.83 Mbps	18.84 ms
<b>Max</b>	10.36 Mbps	0.91 Mbps	35.5 ms
<b>Min</b>	3.08 Mbps	0.54 Mbps	16 ms

Πίνακας 34: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του NetTest στον Opera.

<b>Ookla</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	9.47 Mbps	0.81 Mbps	22.76 ms
<b>Max</b>	9.8 Mbps	0.87 Mbps	25 ms
<b>Min</b>	8.21 Mbps	0.58 Mbps	21 ms

Πίνακας 35: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για το εργαλείο Ookla στον Opera.

<b>Speedtest</b>	<b>Download Throughput</b>	<b>Upload Throughput</b>	<b>Ping</b>
<b>Average</b>	11.6 Mbps	1.39 Mbps	18.21 ms
<b>Max</b>	12.74 Mbps	1.6 Mbps	36 ms
<b>Min</b>	7.05 Mbps	1.2 Mbps	16 ms

Πίνακας 36: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Speedtest στον Opera.

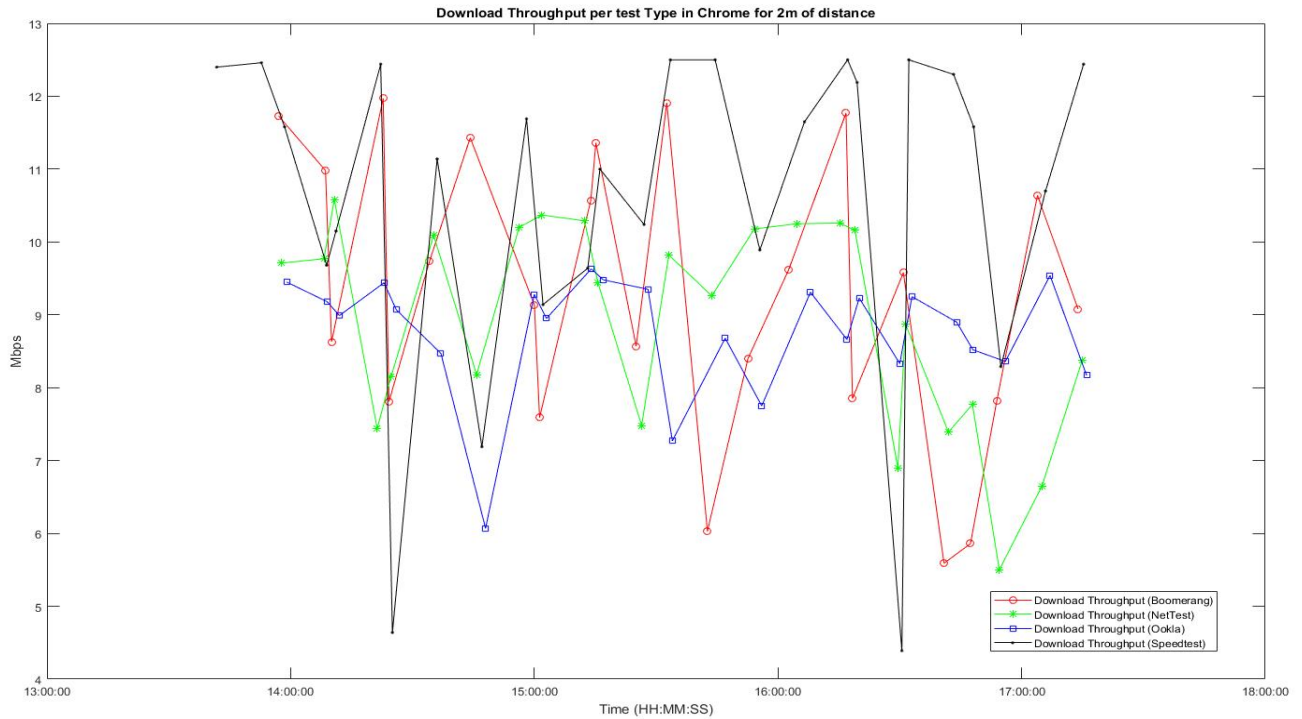
Παρατηρώντας την εικόνα 26 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Boomerang** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (NetTest και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 27 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

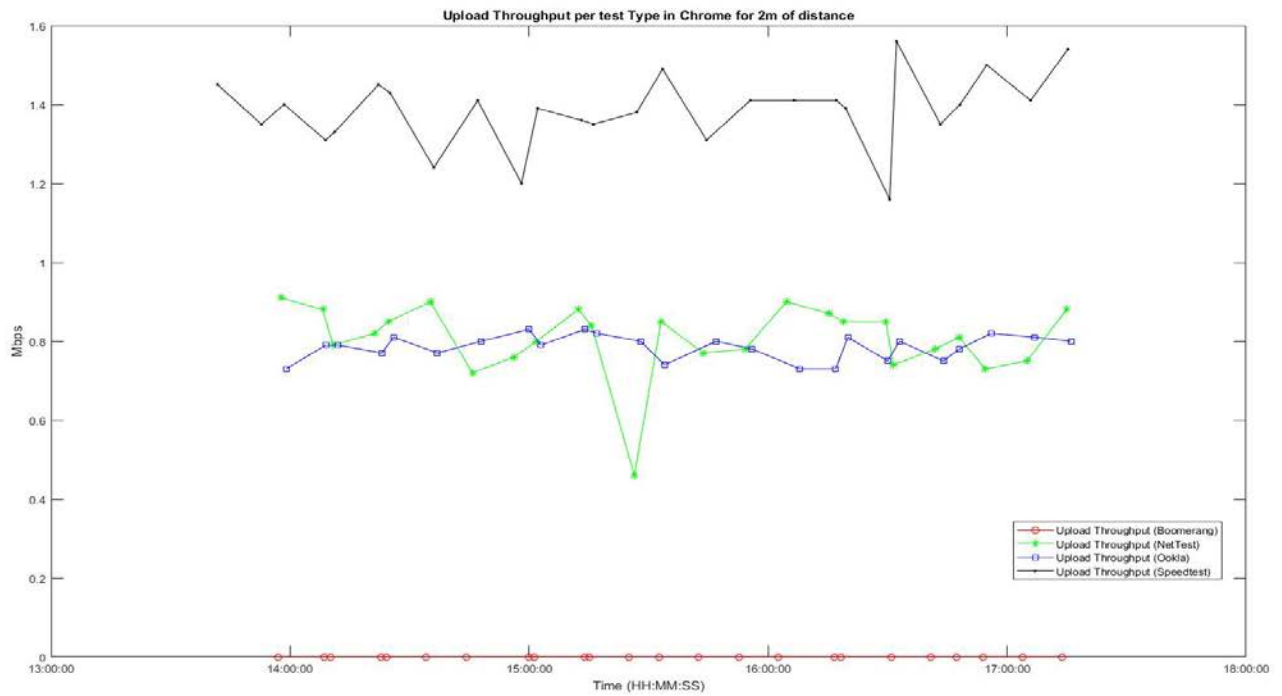
Παρατηρώντας την εικόνα 28 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

## 5.2.4 Σημείο 4 – Απόσταση 2m από το router

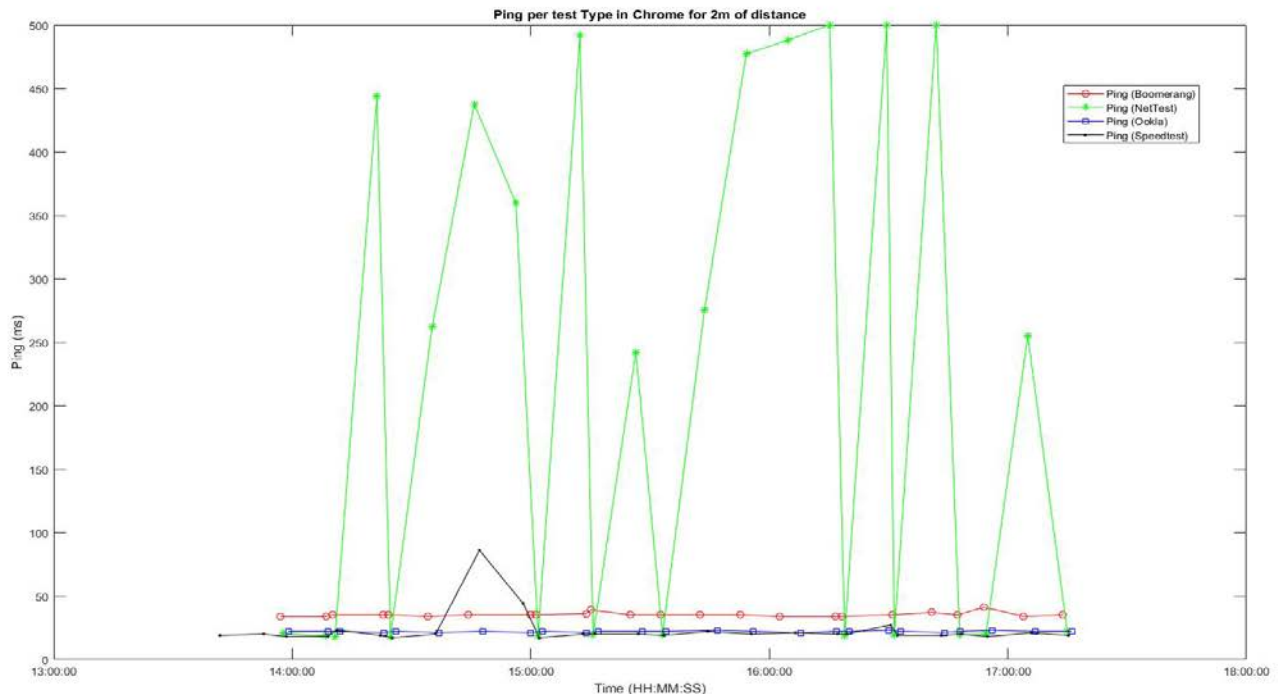
### 5.2.4.1 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 4 για τον Chrome



Εικόνα 29: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 2m από το router



Εικόνα 30: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 2m από το router



Εικόνα 31: Ping ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 2m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	9.32 Mbps	0 Mbps	35.25 ms
Max	11.97 Mbps	0 Mbps	41 ms
Min	5.59 Mbps	0 Mbps	34 ms

Πίνακας 37: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Boomerang στον Chrome.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.92 Mbps	0.81 Mbps	218.58 ms
Max	10.58 Mbps	0.91 Mbps	500 ms
Min	5.5 Mbps	0.46 Mbps	18 ms

Πίνακας 38: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του NetTest στον Chrome.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.77 Mbps	0.79 Mbps	21.88 ms
Max	9.63 Mbps	0.83 Mbps	23 ms
Min	6.07 Mbps	0.73 Mbps	21 ms

Πίνακας 39: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για το εργαλείο Ookla στον Chrome.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	10.62 Mbps	1.38 Mbps	23.19 ms
Max	12.5 Mbps	1.56 Mbps	86 ms
Min	4.39 Mbps	1.16 Mbps	17 ms

Πίνακας 40: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Speedtest στον Chrome.

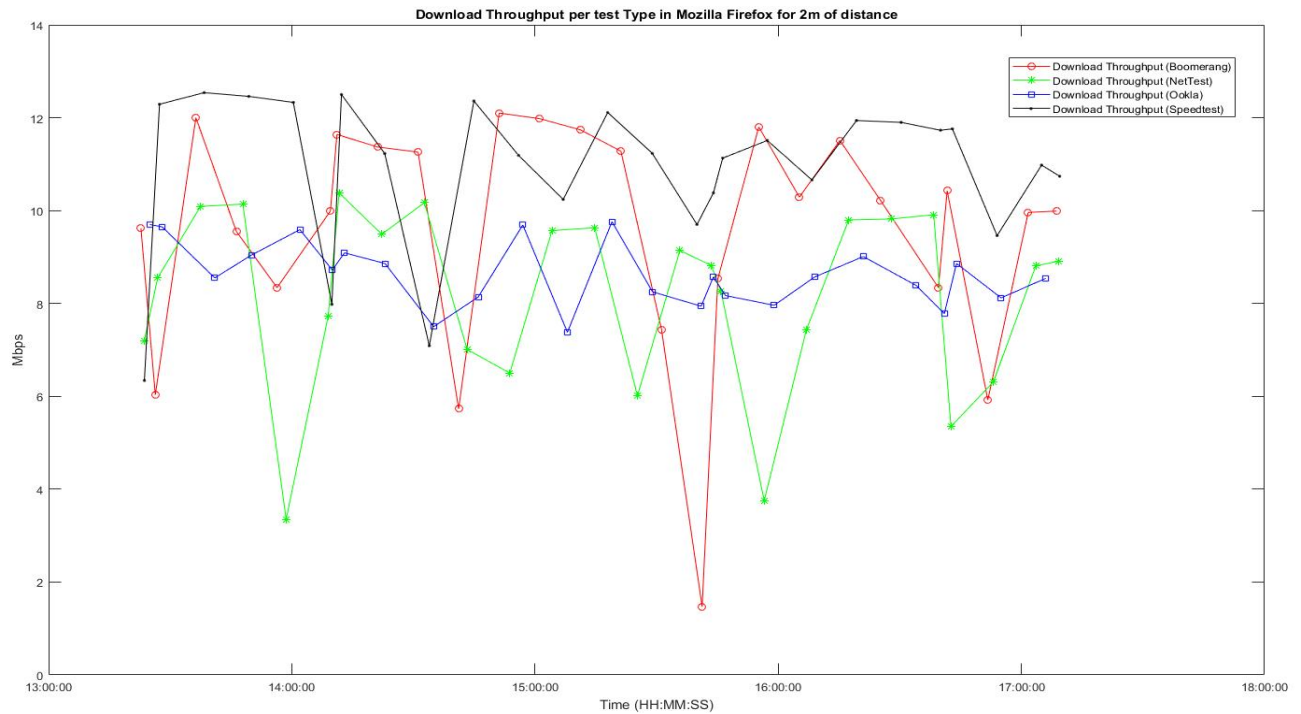
Παρατηρώντας την εικόνα 29 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 30 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

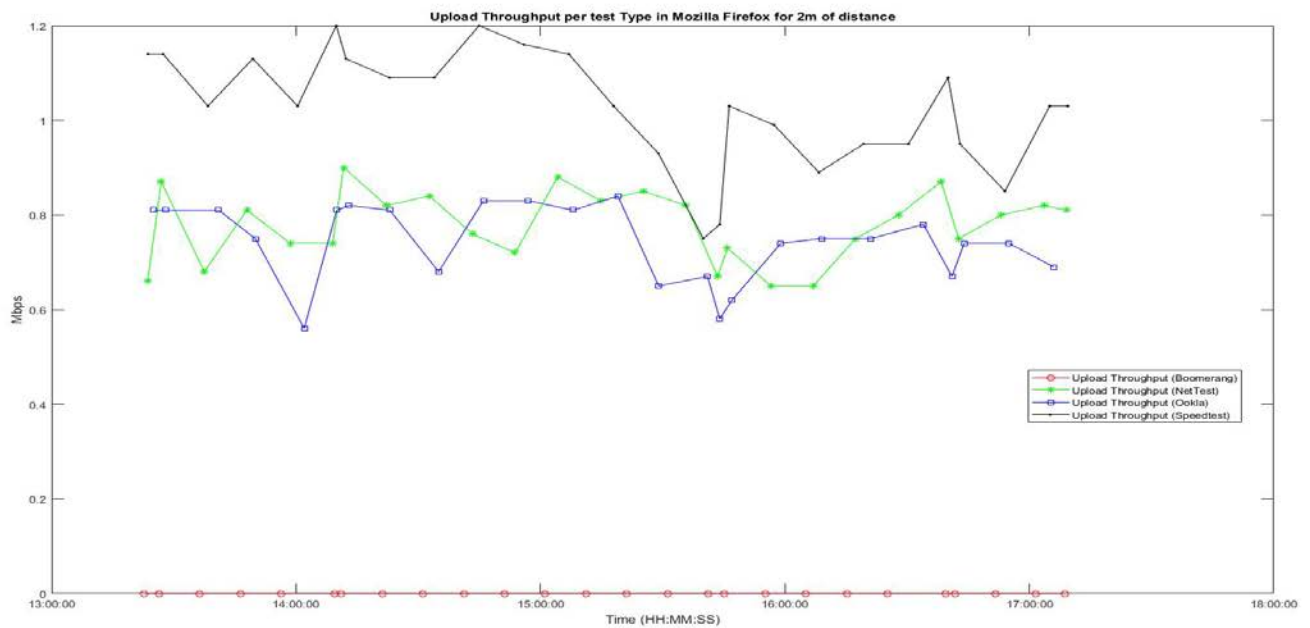
Παρατηρώντας την εικόνα 31 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).



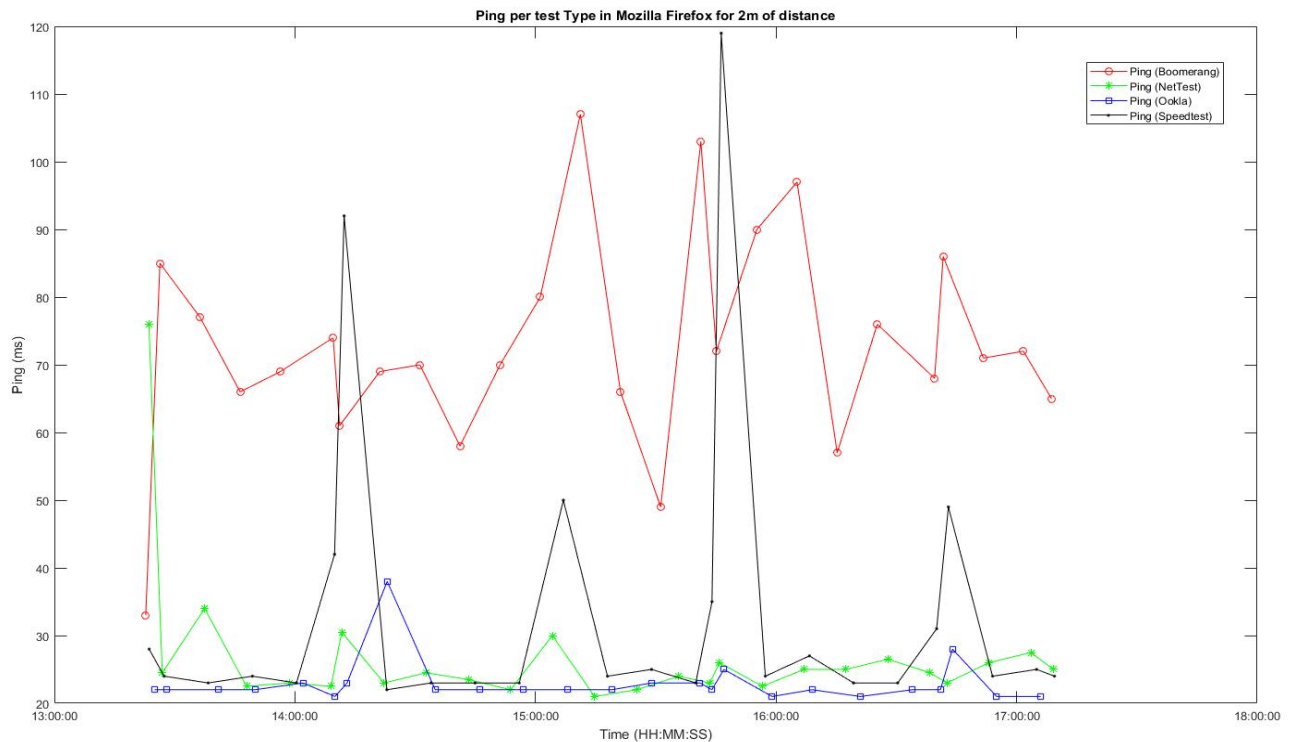
### 5.2.4.2 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 4 για τον Mozilla Firefox



Εικόνα 32: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 2m από το router



Εικόνα 33: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 2m από το router



Εικόνα 34: Ping ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 2m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	9.56 Mbps	0 Mbps	72.73 ms
<b>Max</b>	12.1 Mbps	0 Mbps	107 ms
<b>Min</b>	1.47 Mbps	0 Mbps	33 ms

Πίνακας 41: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Boomerang στον Mozilla Firefox.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.16 Mbps	0.78 Mbps	26.81 ms
<b>Max</b>	10.38 Mbps	0.9 Mbps	76 ms
<b>Min</b>	3.35 Mbps	0.65 Mbps	21 ms

Πίνακας 42: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του NetTest στον Mozilla Firefox.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.63 Mbps	0.74 Mbps	22.96 ms
<b>Max</b>	9.76 Mbps	0.84 Mbps	38 ms
<b>Min</b>	7.38 Mbps	0.56 Mbps	21 ms

Πίνακας 43: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για το εργαλείο Ookla στον Mozilla Firefox.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	10.91 Mbps	1.03 Mbps	33.58 ms
<b>Max</b>	12.54 Mbps	1.2 Mbps	119 ms
<b>Min</b>	6.34 Mbps	0.75 Mbps	22 ms

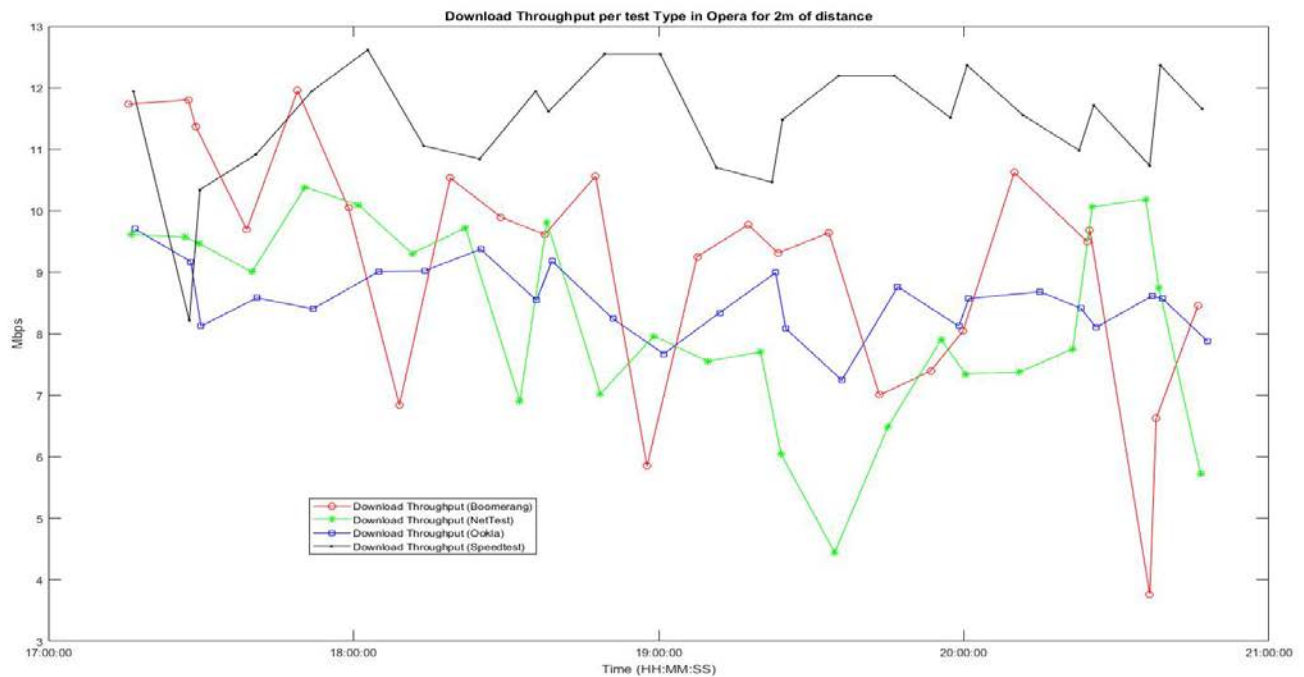
Πίνακας 44: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Speedtest στον Mozilla Firefox.

Παρατηρώντας την εικόνα 32 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

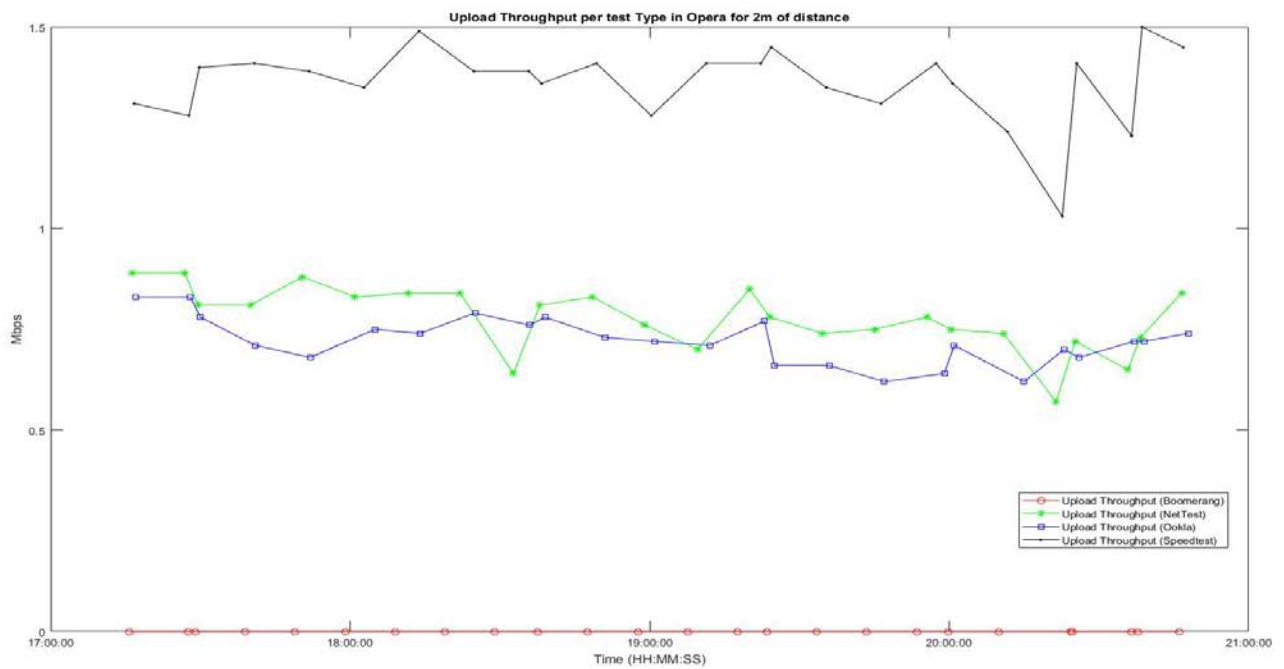
Παρατηρώντας την εικόνα 33 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 34 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

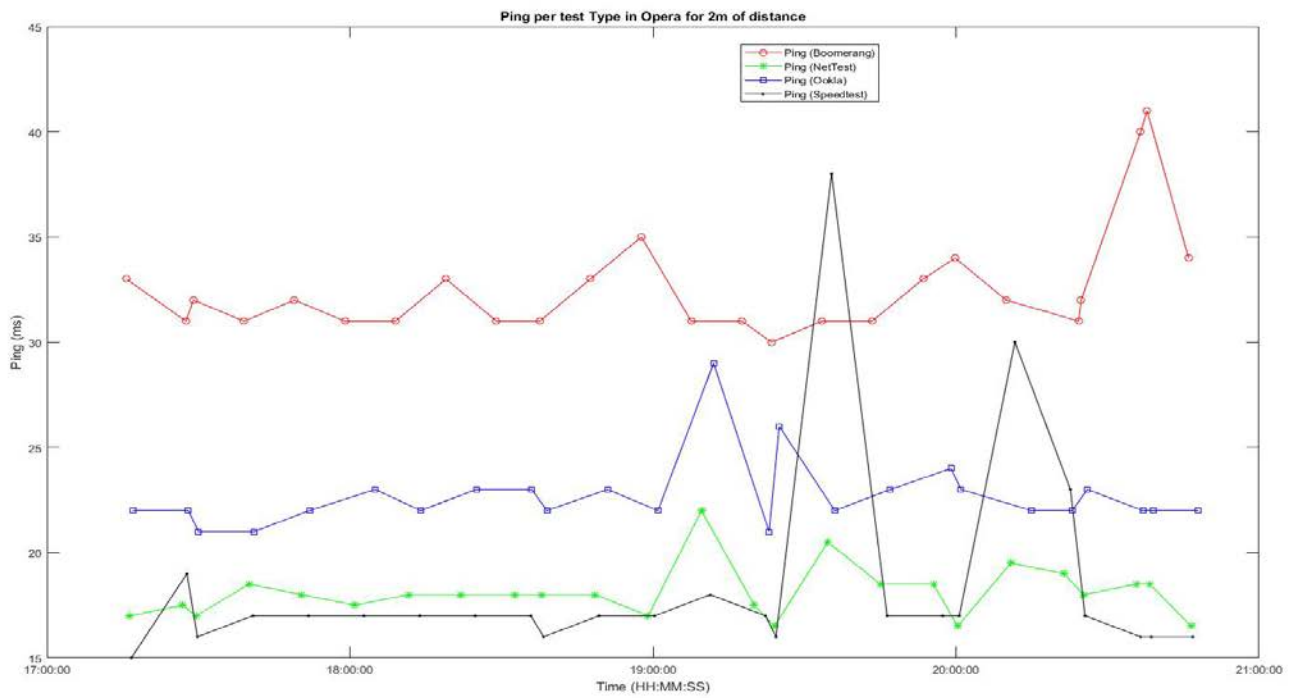
#### 5.2.4.3 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 4 για τον Opera



Εικόνα 35: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 2m από το router



Εικόνα 36: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 2m από το router



Εικόνα 37: Ping ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 2m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	9.16 Mbps	0 Mbps	32.6 ms
Max	11.95 Mbps	0 Mbps	41 ms
Min	3.76 Mbps	0 Mbps	30 ms

Πίνακας 45: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Boomerang στον Opera.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.24 Mbps	0.78 Mbps	18.1 ms
Max	10.38 Mbps	0.89 Mbps	22 ms
Min	4.44 Mbps	0.57 Mbps	16.5 ms

Πίνακας 46: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του NetTest στον Opera.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.53 Mbps	0.72 Mbps	22.68 ms
Max	9.7 Mbps	0.83 Mbps	29 ms
Min	7.24 Mbps	0.62 Mbps	21 ms

Πίνακας 47: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για το εργαλείο Ookla στον Opera.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	11.45 Mbps	1.36 Mbps	18.4 ms
Max	12.61 Mbps	1.5 Mbps	38 ms
Min	8.21 Mbps	1.03 Mbps	15 ms

Πίνακας 48: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Speedtest στον Opera.

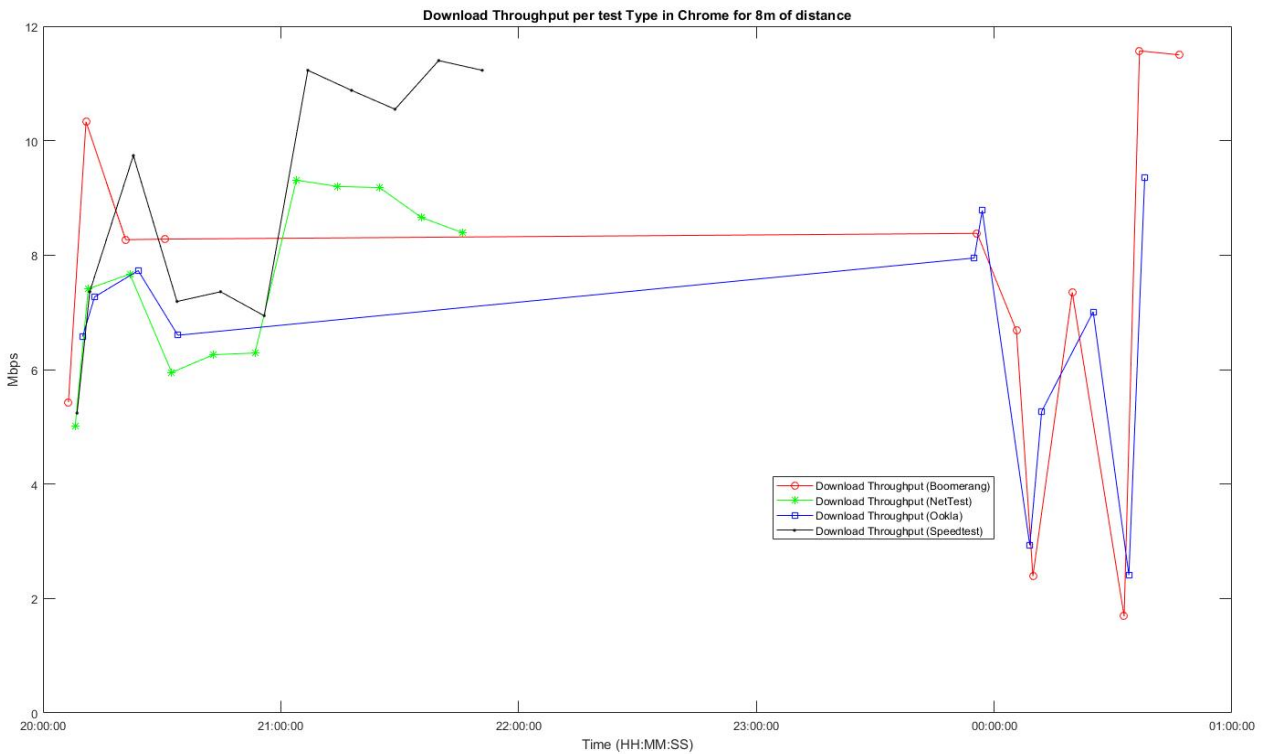
Παρατηρώντας την εικόνα 35 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 36 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

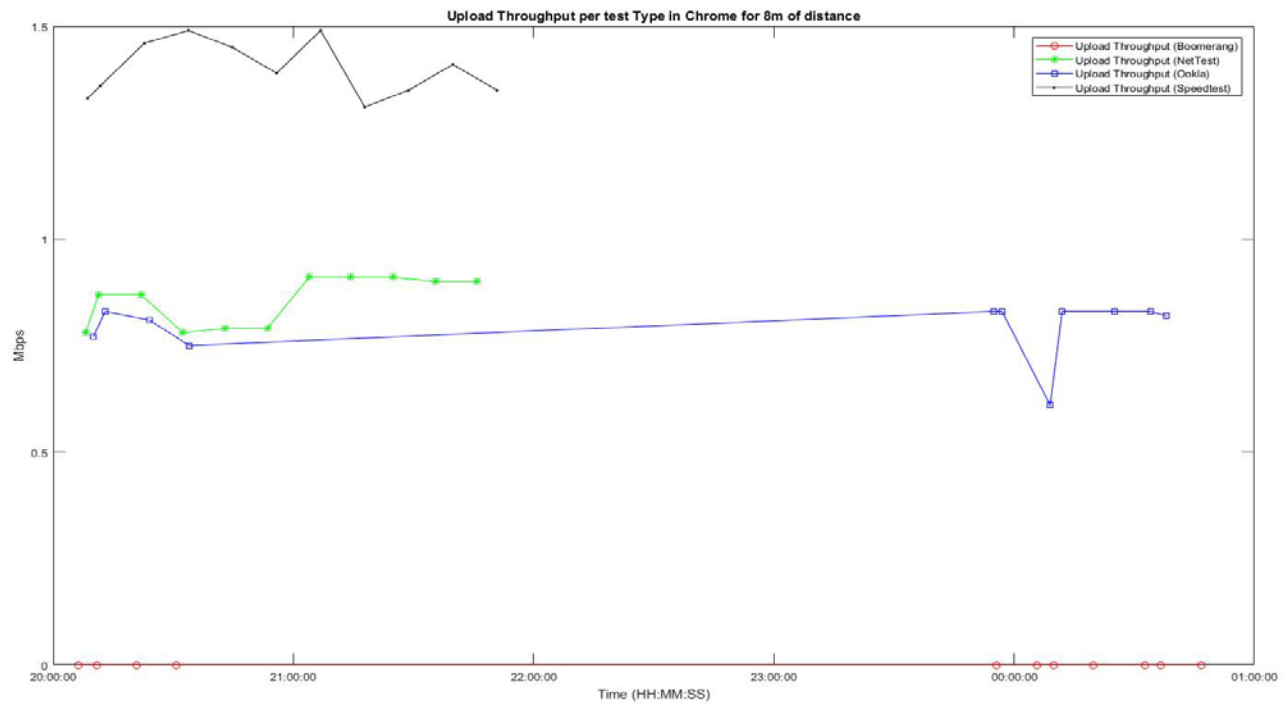
Παρατηρώντας την εικόνα 37 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

## 5.2.5 Σημείο 5 – Απόσταση 8m από το router

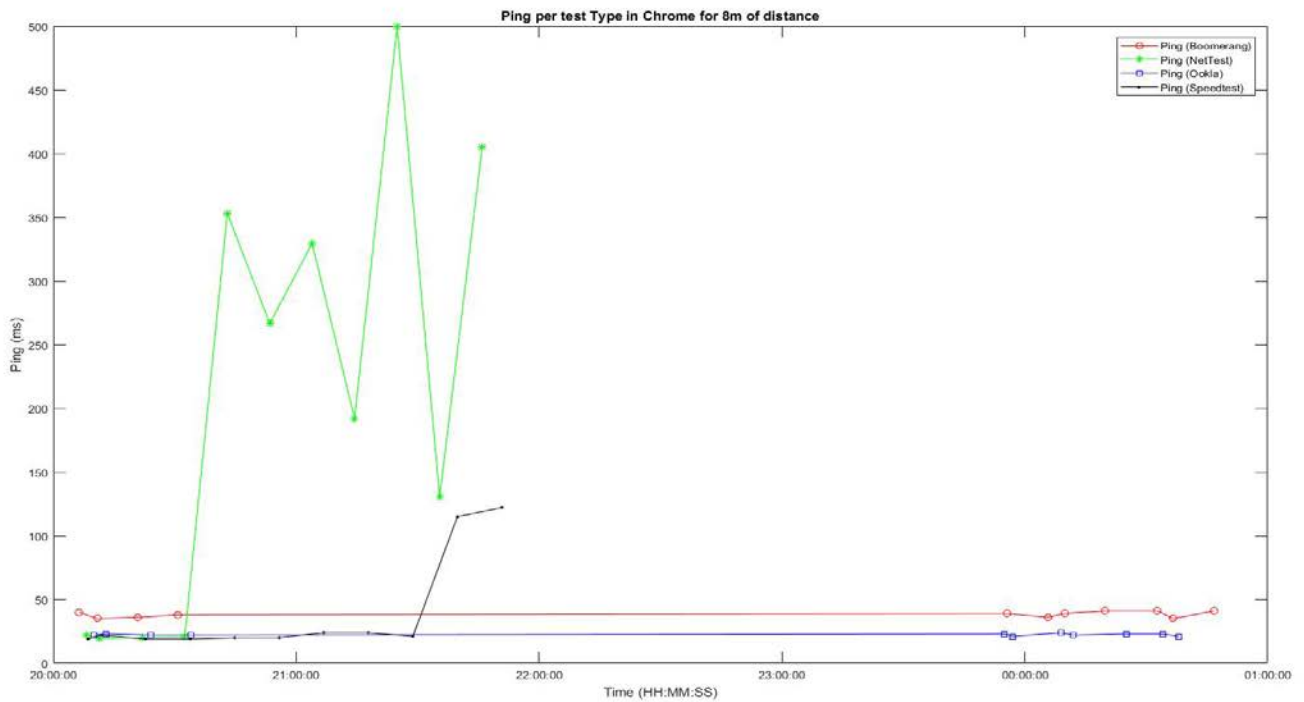
### 5.2.5.1 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 5 για τον Chrome



Εικόνα 38: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 8m από το router



Εικόνα 39: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 8m από το router



Εικόνα 40: Ping ανά τύπο test για τον Chrome σε απόσταση 8m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	7.44 Mbps	0 Mbps	38.27 ms
Max	11.57 Mbps	0 Mbps	41 ms
Min	1.69 Mbps	0 Mbps	35 ms

Πίνακας 49: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Boomerang στον Chrome.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	7.58 Mbps	0.86 Mbps	205.32 ms
Max	9.31 Mbps	0.91 Mbps	500 ms
Min	5.02 Mbps	0.78 Mbps	19.5 ms

Πίνακας 50: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του NetTest στον Chrome.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	6.53 Mbps	0.79 Mbps	22.36 ms
Max	9.35 Mbps	0.83 Mbps	24 ms
Min	2.41 Mbps	0.61 Mbps	21 ms

Πίνακας 51: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για το εργαλείο Ookla στον Chrome.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	9.01 Mbps	1.4 Mbps	38.64 ms
Max	11.4 Mbps	1.49 Mbps	122 ms
Min	5.24 Mbps	1.31 Mbps	19 ms

Πίνακας 52: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Speedtest στον Chrome.

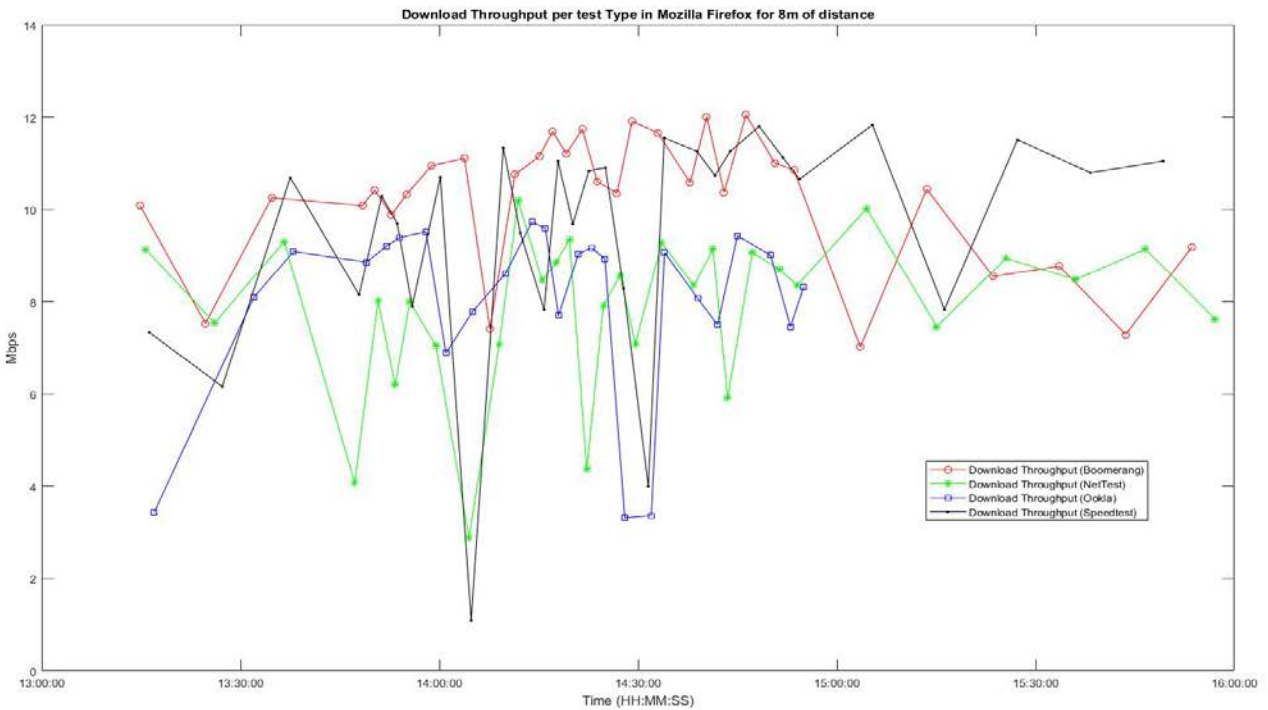
Παρατηρώντας την εικόνα 38 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Boomerang** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (NetTest και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 39 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

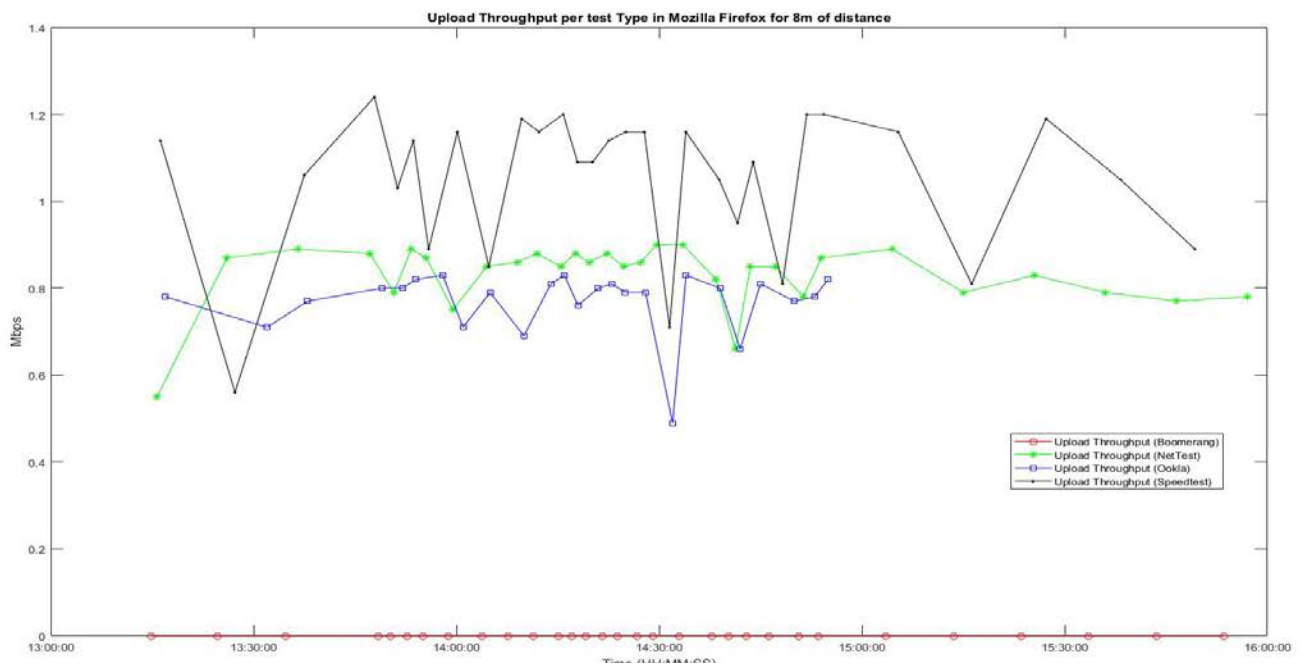
Παρατηρώντας την εικόνα 40 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Boomerang** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (NetTest και Speedtest).



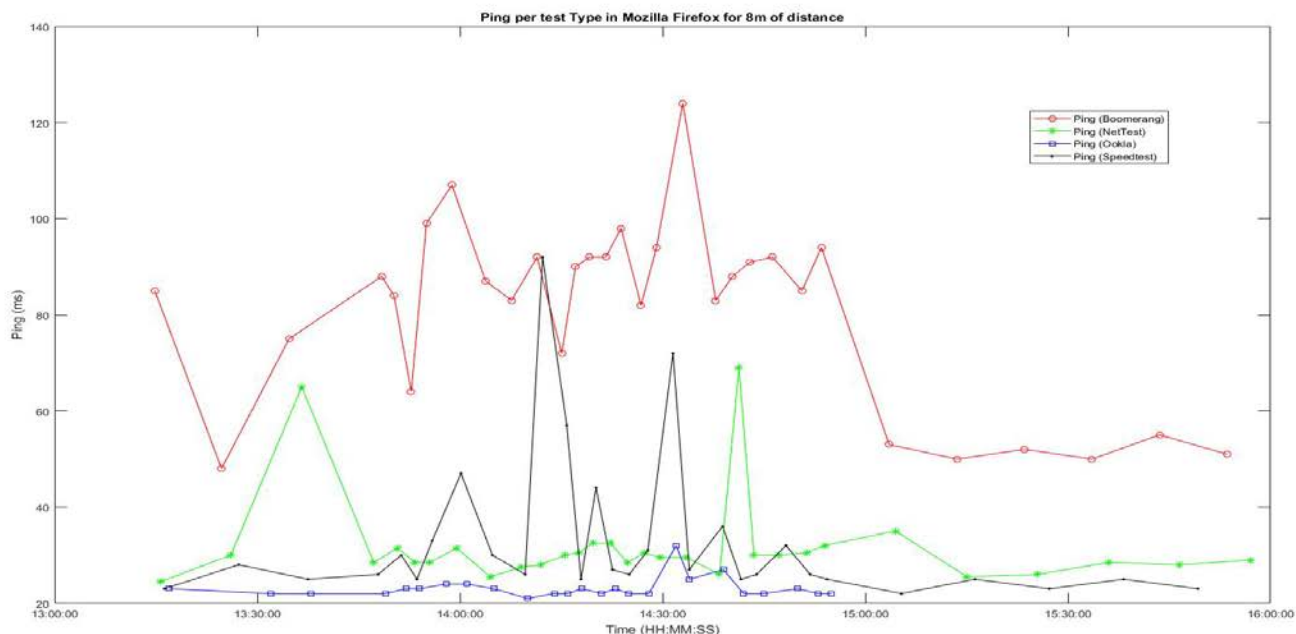
### 5.2.5.2 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 5 για τον Mozilla Firefox



Εικόνα 41: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 8m από το router



Εικόνα 42: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 8m από το router



Εικόνα 43: Ping ανά τύπο test για τον Mozilla Firefox σε απόσταση 8m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	10.23 Mbps	0 Mbps	80.65 ms
<b>Max</b>	12.05 Mbps	0 Mbps	124 ms
<b>Min</b>	7.02 Mbps	0 Mbps	48 ms

Πίνακας 53: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Boomerang στον Mozilla Firefox.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	7.89 Mbps	0.83 Mbps	31.68 ms
<b>Max</b>	10.19 Mbps	0.91 Mbps	69 ms
<b>Min</b>	2.88 Mbps	0.55 Mbps	24.5 ms

Πίνακας 54: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του NetTest στον Mozilla Firefox

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.02 Mbps	0.77 Mbps	23.12 ms
<b>Max</b>	9.73 Mbps	0.83 Mbps	32 ms
<b>Min</b>	3.32 Mbps	0.49 Mbps	21 ms

Πίνακας 55: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για το εργαλείο Ookla στον Mozilla Firefox.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	9.56 Mbps	1.05 Mbps	32.73 ms
<b>Max</b>	11.83 Mbps	1.24 Mbps	92 ms
<b>Min</b>	1.1 Mbps	0.56 Mbps	22 ms

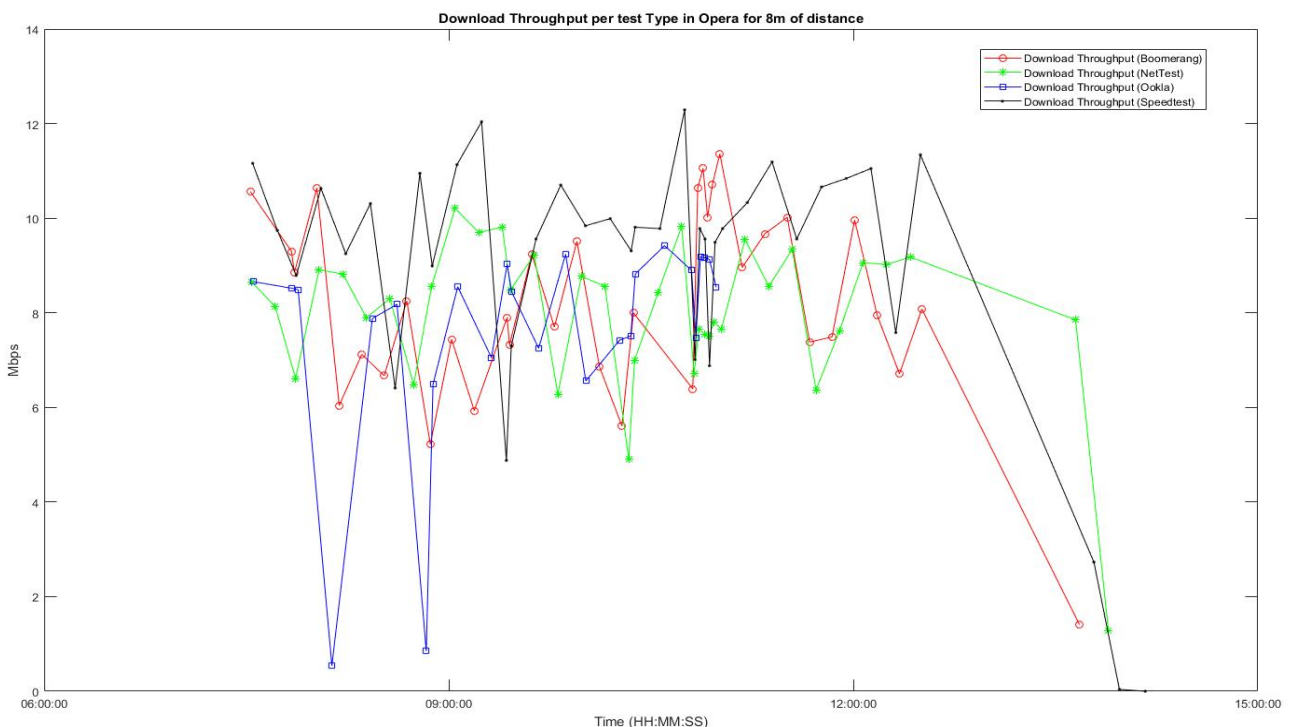
Πίνακας 56: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Speedtest στον Mozilla Firefox.

Παρατηρώντας την εικόνα 41 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

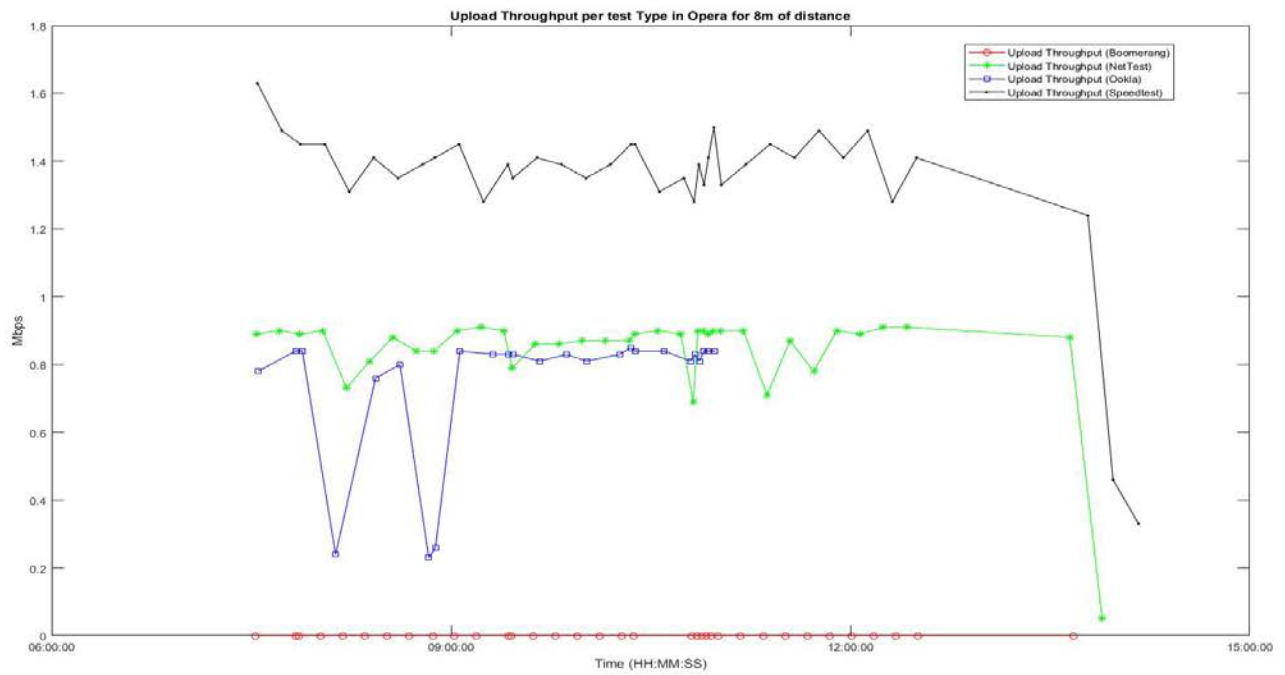
Παρατηρώντας την εικόνα 42 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 43 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

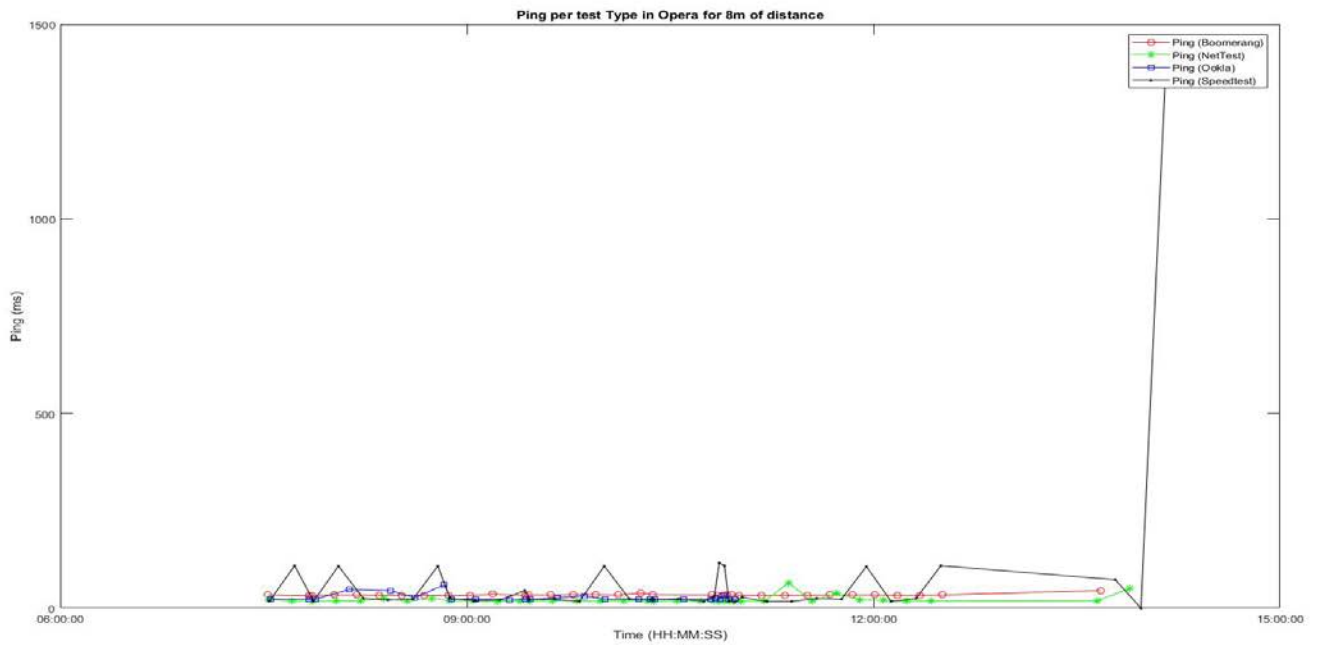
### 5.2.5.3 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων στο σημείο 5 για τον Opera



Εικόνα 44: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 8m από το router



Εικόνα 45: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 8m από το router



Εικόνα 46: Ping ανά τύπο test για τον Opera σε απόσταση 8m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.17 Mbps	0 Mbps	34.06 ms
Max	11.36 Mbps	0 Mbps	45 ms
Min	1.41 Mbps	0 Mbps	32 ms

Πίνακας 57: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Boomerang στον Opera.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.01 Mbps	0.84 Mbps	21.45 ms
Max	10.21 Mbps	0.91 Mbps	64.5 ms
Min	1.28 Mbps	0.05 Mbps	16.5 ms

Πίνακας 58: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του NetTest στον Opera.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	7.65 Mbps	0.75Mbps	27.08 ms
Max	9.42 Mbps	0.85 Mbps	60 ms
Min	0.54 Mbps	0.23 Mbps	21 ms

Πίνακας 59: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για το εργαλείο Ookla στον Opera.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.97 Mbps	1.34 Mbps	79.05 ms
Max	12.29 Mbps	1.63 Mbps	1455 ms
Min	0 Mbps	0.33 Mbps	0 ms

Πίνακας 60: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Speedtest στον Opera.

Παρατηρώντας την εικόνα 44 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 45 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 46 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, είναι αδύνατον να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα από τις παραπάνω γραφικές για το ποιες υλοποιήσεις είναι οι ιδανικότερες για κάθε έναν από τους 3 browsers. Αυτό συμβαίνει γιατί για κάθε ένα από τα 5 σημεία, διαφορετικές υλοποιήσεις φαίνεται να είναι οι ιδανικότερες για κάθε browser. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι ιδανικότερες υλοποιήσεις για κάθε browser σε κάθε σημείο με βάση τις μετρήσεις που έγιναν.

Browser	Είδη μέτρησης	Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Chrome	Download Throughput	Speedtest	NetTest	NetTest	NetTest	Boomerang
	Upload Throughput	NetTest	NetTest	NetTest	NetTest	NetTest
	Ping	Speedtest	Boomerang	Speedtest	Speedtest	Boomerang
Mozilla Firefox	Download Throughput	Speedtest	NetTest	Boomerang	NetTest	NetTest
	Upload Throughput	NetTest	NetTest	NetTest	NetTest	NetTest
	Ping	Speedtest	NetTest	NetTest	NetTest	NetTest
Opera	Download Throughput	Speedtest	Boomerang	Boomerang	NetTest	NetTest
	Upload Throughput	NetTest	NetTest	NetTest	NetTest	NetTest
	Ping	NetTest	NetTest	NetTest	Speedtest	NetTest

Πίνακας 61: Συνοπτική παρουσίαση ιδανικότερων υλοποιήσεων ανά browser για κάθε ένα από τα 5 σημεία.

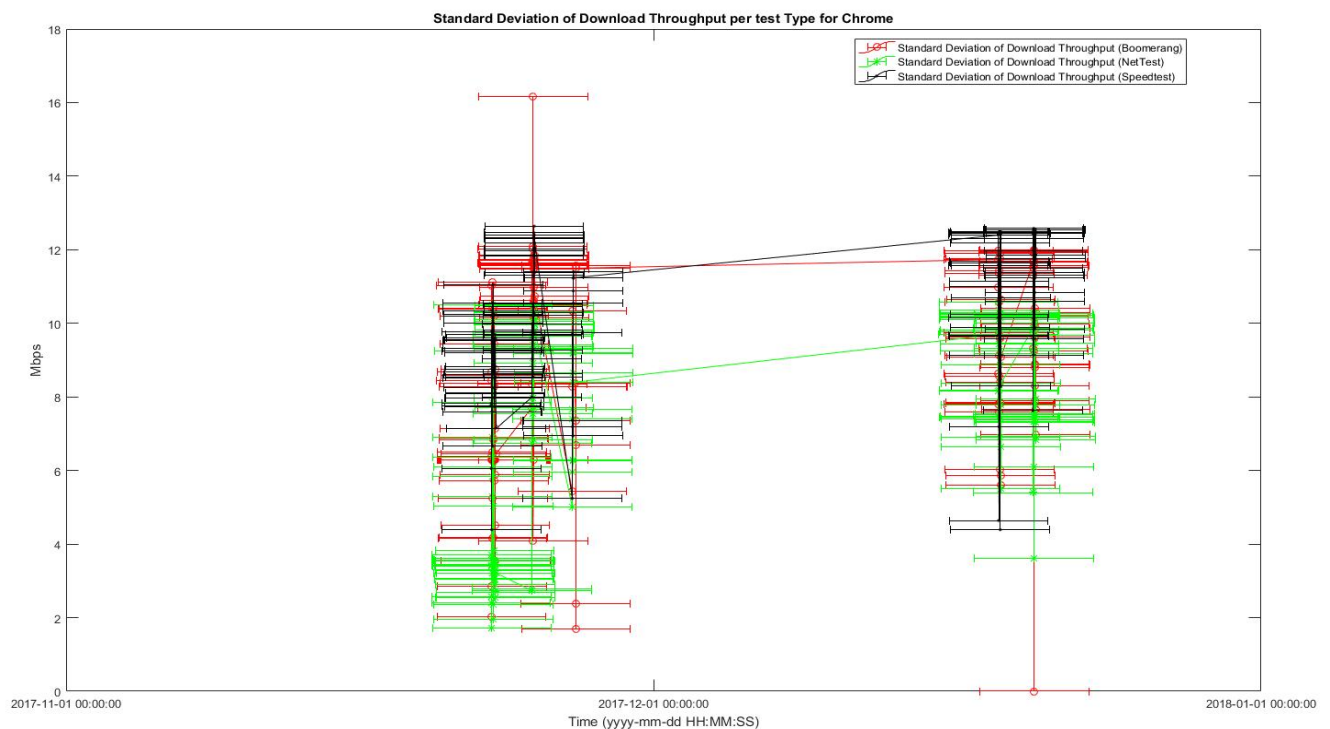
Προκειμένου να καταλήξουμε στις ιδανικότερες υλοποιήσεις για κάθε browser θα πρέπει να υπολογίσουμε την τυπική απόκλιση όλων των μετρήσεων που εκτελέστηκαν στον Chrome, στον Mozilla Firefox και στον Opera τόσο για το download throughput και το upload throughput όσο και για τον ping. Η τυπική απόκλιση υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

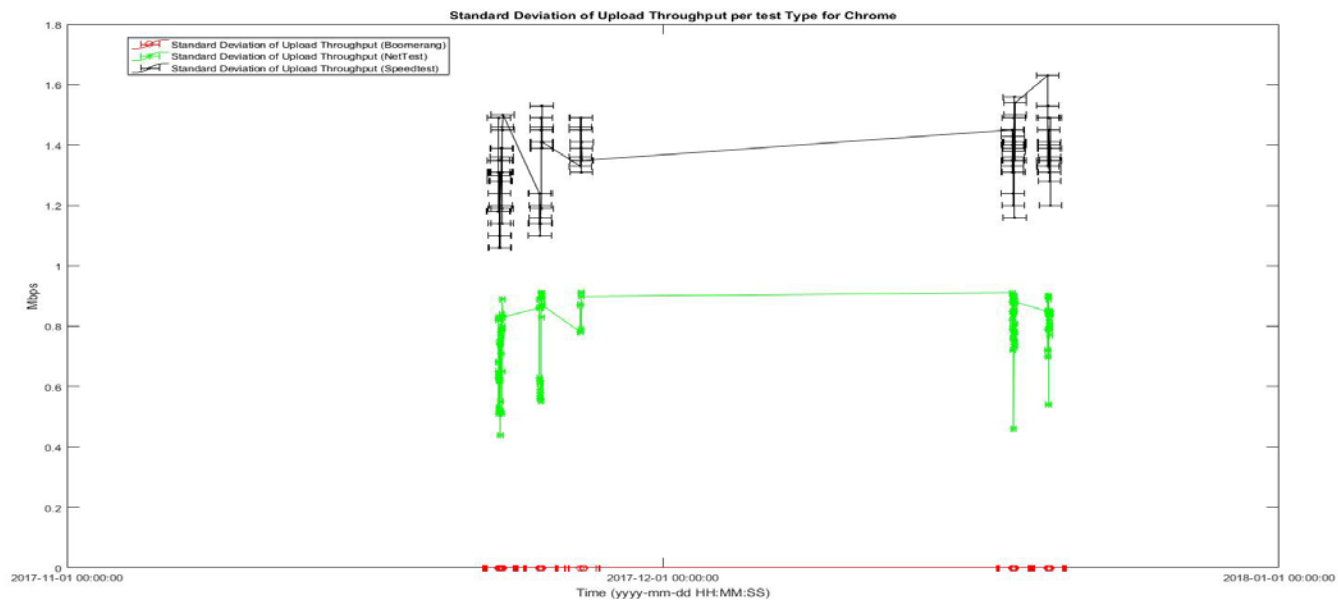
όπου ως  $\sigma$  ορίζεται η τυπική απόκλιση,  $N$  είναι το πλήθος των δειγμάτων του συνόλου δεδομένων,  $x_i$  είναι τα δείγματα και  $\mu$  ορίζεται η μέση τιμή ή η αναμενόμενη τιμή του συνόλου δεδομένων. Εμείς θα θέσουμε ως  $\mu$  την μέση τιμή των μετρήσεων του εργαλείου Speedtest by Ookla τόσο κατά τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης για το download throughput και το upload throughput όσο και κατά τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης του ping. Η τυπική απόκλιση με την μικρότερη τιμή θα καταδεικνύει και την ιδανικότερη υλοποίηση.

## 5.2.6 Τυπικές αποκλίσεις και των τριών ειδών μετρήσεων για κάθε μια από τις τρεις υλοποιήσεις ως προς την μέση τιμή των μετρήσεων του εργαλείου Speedtest by Ookla για κάθε έναν από τους 3 browsers

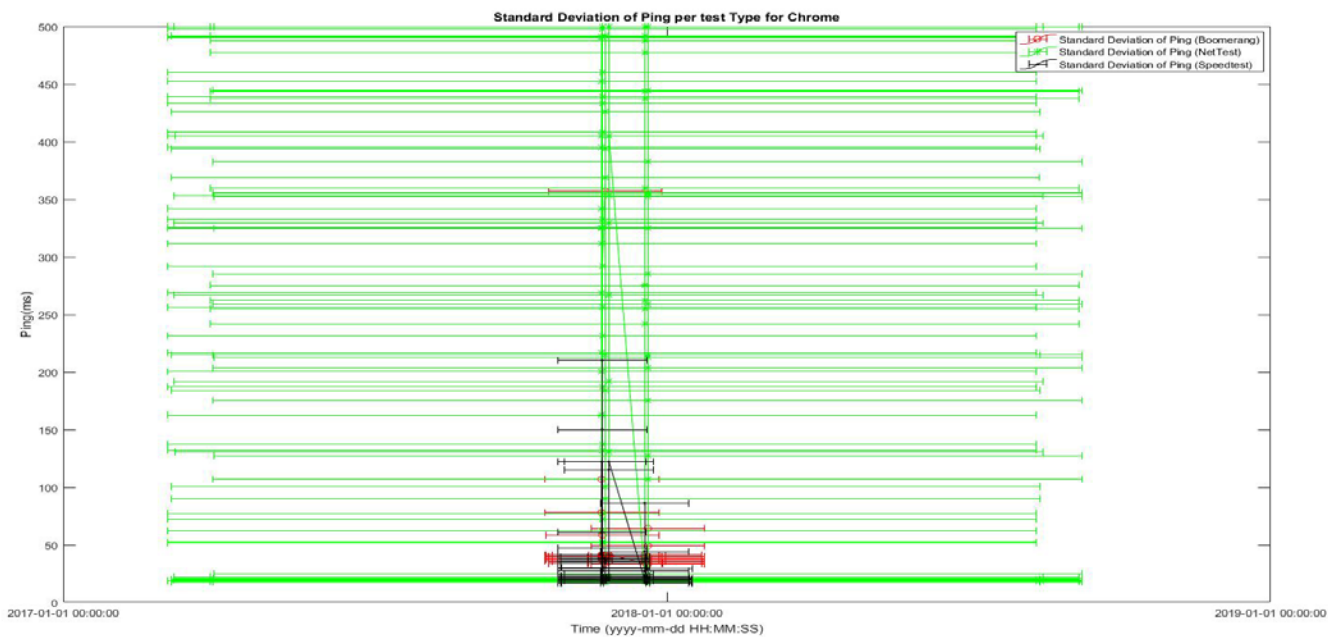
### 5.2.6.1 Τυπικές αποκλίσεις και των τριών ειδών μετρήσεων για κάθε μια από τις τρεις υλοποιήσεις ως προς την μέση τιμή των μετρήσεων του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Chrome



Εικόνα 47: Τυπική απόκλιση του ρυθμού λήψης (download throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού λήψης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Chrome.



Εικόνα 48: Τυπική απόκλιση του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού μεταφόρτωσης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Chrome.



Εικόνα 49: Τυπική απόκλιση του Ping ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του Ping του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Chrome.



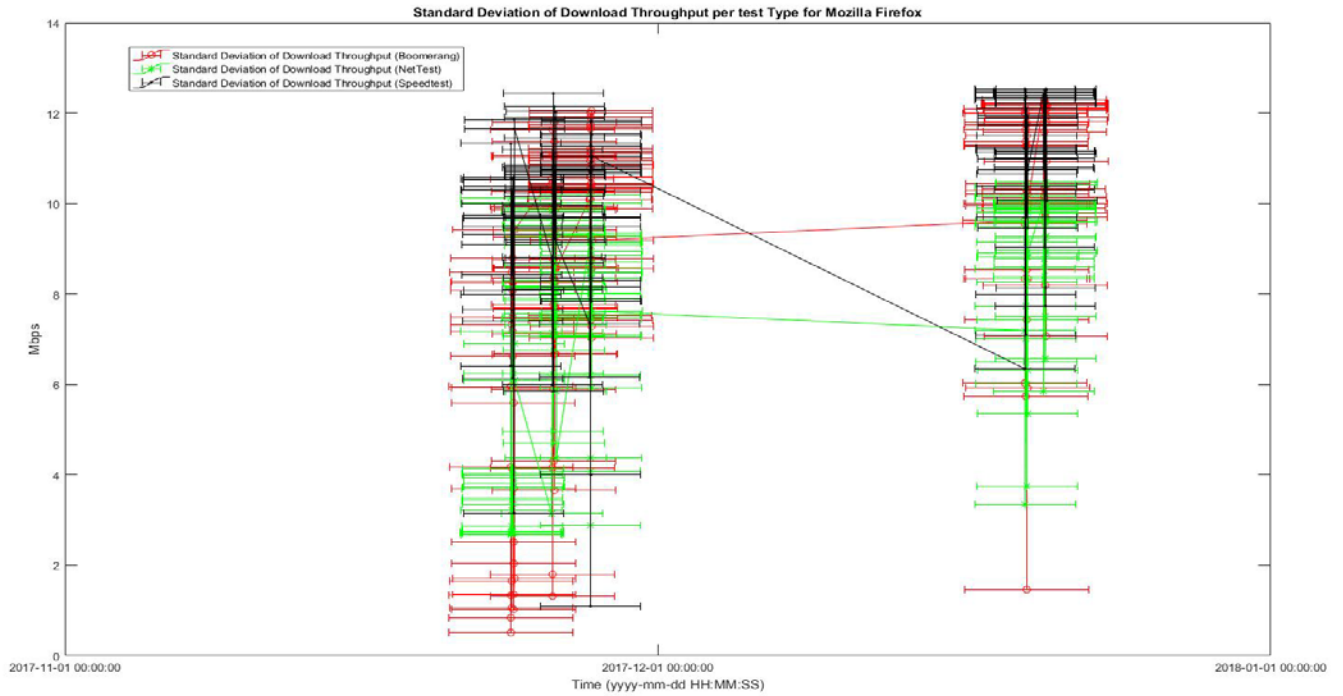
Τυπική απόκλιση	Chrome
Download throughput (Boomerang)	2.7774
Download throughput (NetTest)	3.0334
Download throughput (Speedtest)	<b>2.5258</b>
Upload throughput (Boomerang)	0.7796
Upload throughput (NetTest)	<b>0.1220</b>
Upload throughput (Speedtest)	0.5709
Ping (Boomerang)	34.3152
Ping (NetTest)	262.6171
Ping (Speedtest)	<b>26.7762</b>

Πίνακας 62: Παρουσίαση των τυπικών αποκλίσεων όλων των ειδών μετρήσεων για κάθε υλοποίηση στον Chrome.

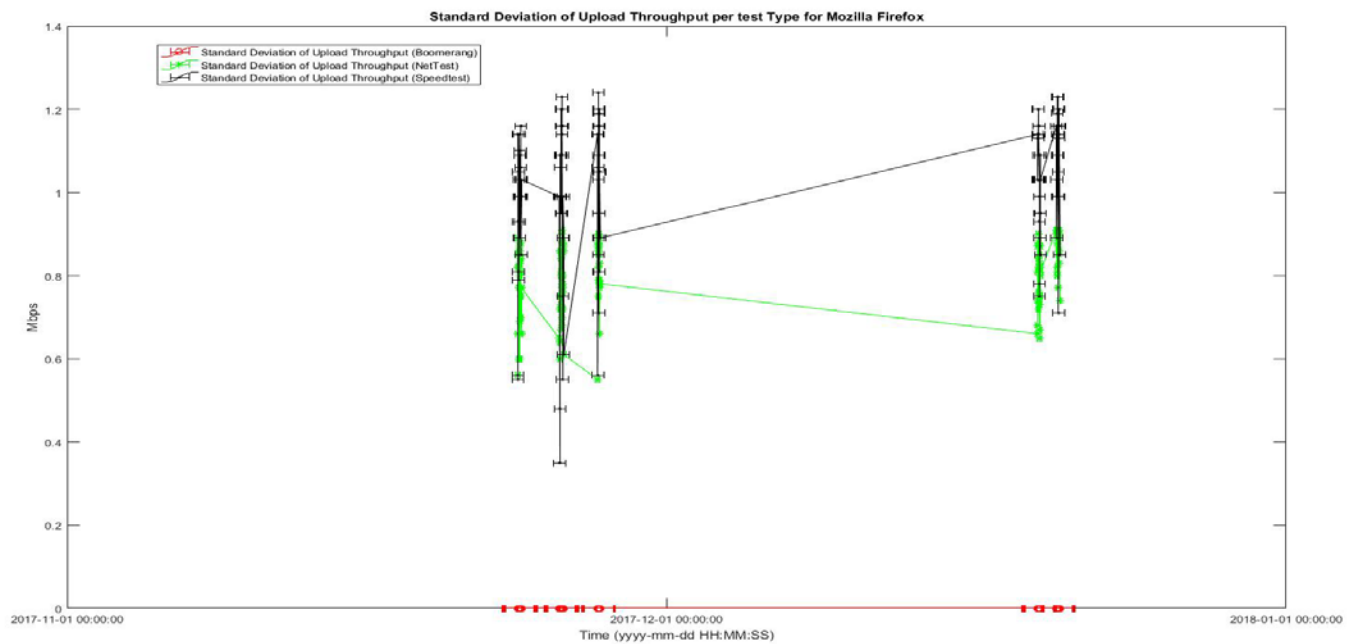
Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις και τον παραπάνω πίνακα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι ιδανικότερες υλοποιήσεις για τον Chrome είναι οι παρακάτω:

1. Για τον υπολογισμό του ρυθμού λήψης (download throughput) ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **Speedtest**.
2. Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **NetTest**.
3. Για τον υπολογισμό του Ping ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **Speedtest**.

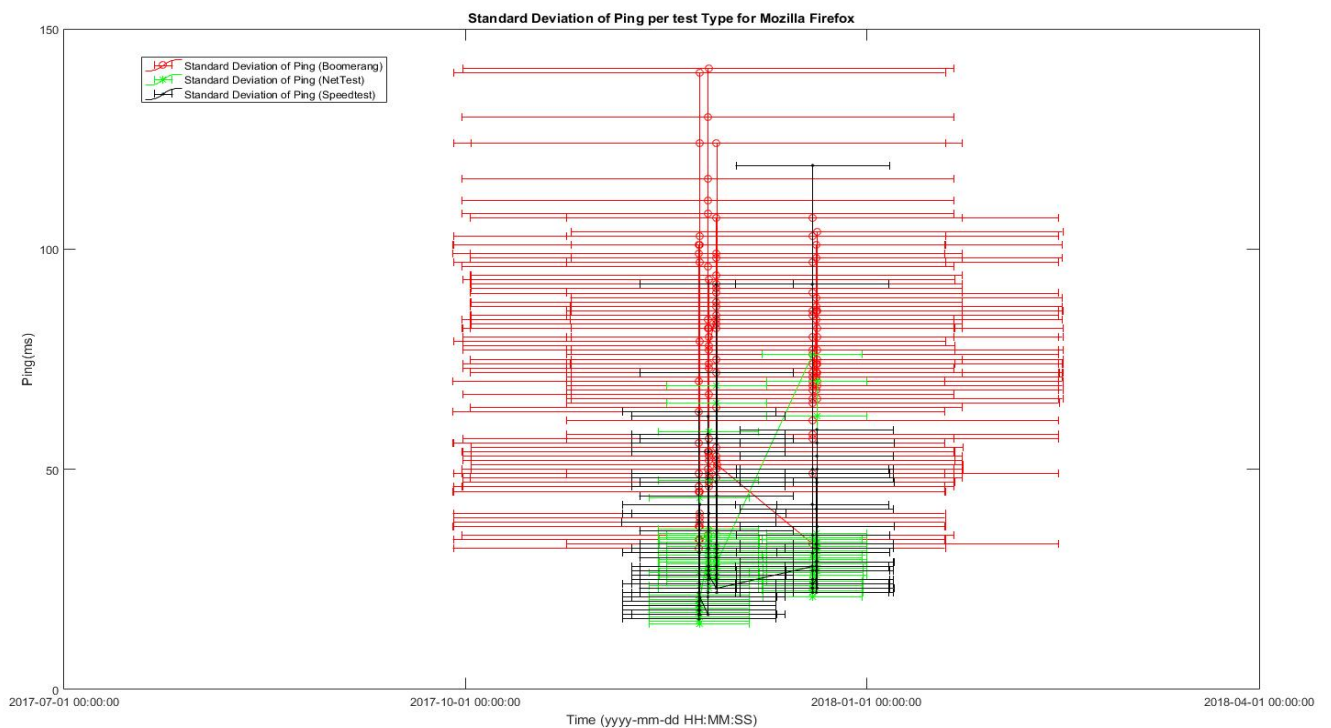
### 5.2.6.2 Τυπικές αποκλίσεις και των τριών ειδών μετρήσεων για κάθε μια από τις τρεις υλοποιήσεις ως προς την μέση τιμή των μετρήσεων του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Mozilla Firefox



Εικόνα 50: Τυπική απόκλιση του ρυθμού λήψης (download throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού λήψης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Mozilla Firefox.



Εικόνα 51: Τυπική απόκλιση του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού μεταφόρτωσης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Mozilla Firefox



Εικόνα 52: Τυπική απόκλιση του Ping ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του Ping του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Mozilla Firefox

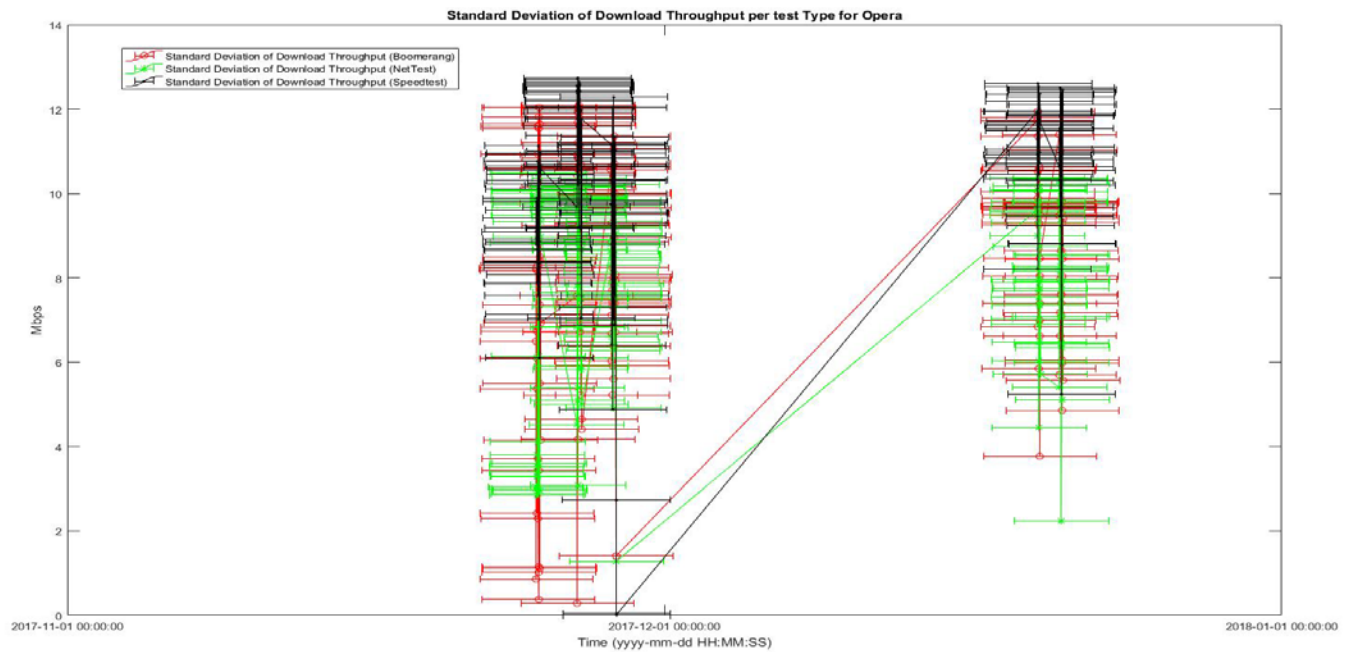
Τυπική απόκλιση	Chrome
Download throughput (Boomerang)	3.1306
Download throughput (NetTest)	2.5477
Download throughput (Speedtest)	<b>2.5277</b>
Upload throughput (Boomerang)	0.7843
Upload throughput (NetTest)	<b>0.0889</b>
Upload throughput (Speedtest)	0.2905
Ping (Boomerang)	56.3854
Ping (NetTest)	<b>11.4564</b>
Ping (Speedtest)	17.5826

Πίνακας 63: Παρουσίαση των τυπικών αποκλίσεων όλων των ειδών μετρήσεων για κάθε υλοποίηση στον Mozilla Firefox.

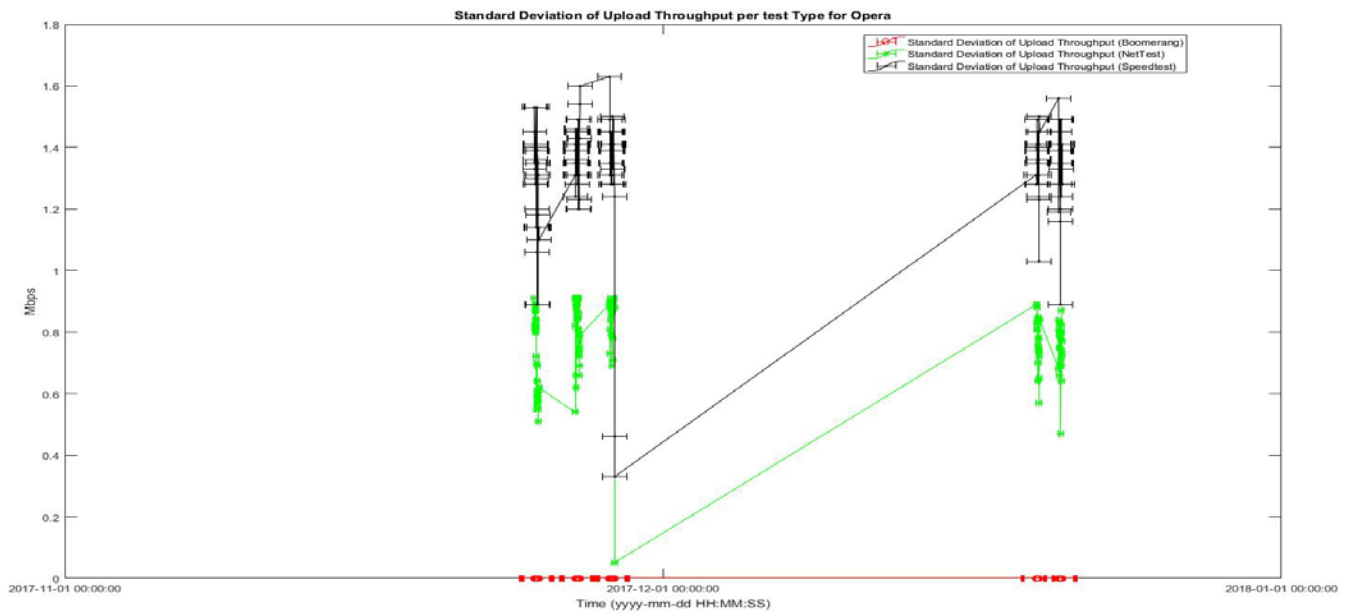
Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις και τον παραπάνω πίνακα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι ιδανικότερες υλοποιήσεις για τον Chrome είναι οι παρακάτω:

1. Για τον υπολογισμό του ρυθμού λήψης (download throughput) ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **Speedtest**.
2. Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **NetTest**.
3. Για τον υπολογισμό του Ping ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **NetTest**.

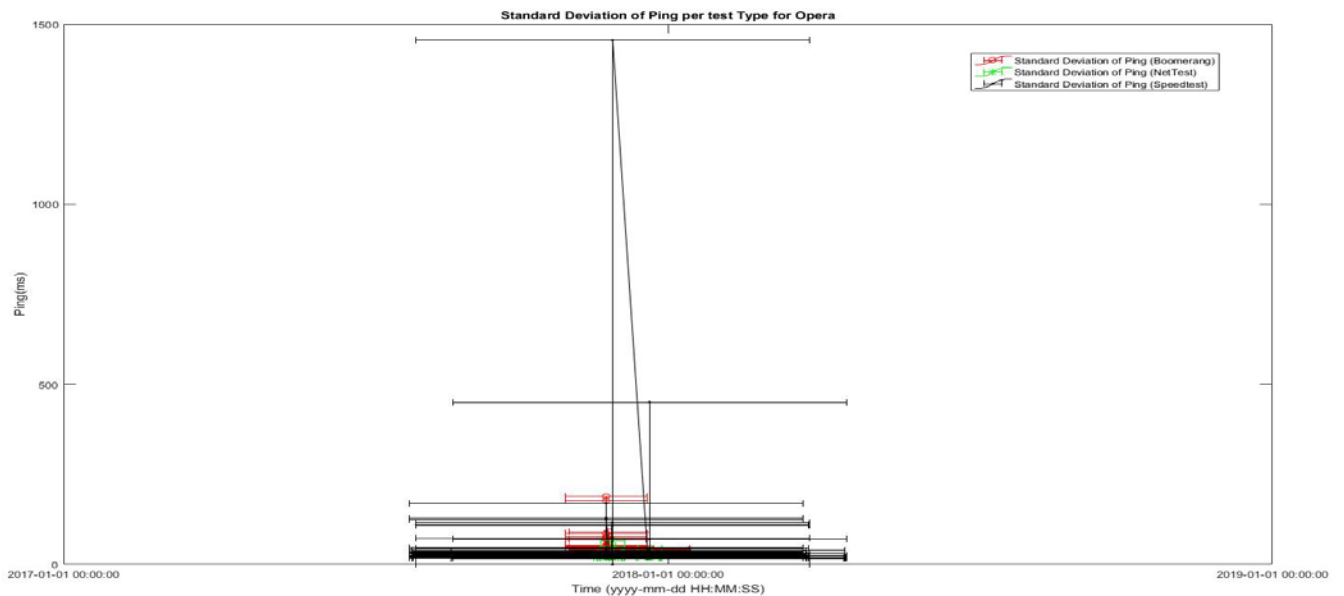
### 5.2.6.3 Τυπικές αποκλίσεις και των τριών ειδών μετρήσεων για κάθε μια από τις τρεις υλοποιήσεις ως προς την μέση τιμή των μετρήσεων του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Opera



Εικόνα 53: Τυπική απόκλιση του ρυθμού λήψης (download throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού λήψης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Opera.



Εικόνα 54: Τυπική απόκλιση του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού μεταφόρτωσης του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Opera



Εικόνα 55: Τυπική απόκλιση του Ping ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του Ping του εργαλείου Speedtest by Ookla για τον Opera

Τυπική απόκλιση	Chrome
Download throughput (Boomerang)	2.8506
Download throughput (NetTest)	<b>2.3693</b>
Download throughput (Speedtest)	2.6967
Upload throughput (Boomerang)	0.7622
Upload throughput (NetTest)	<b>0.1255</b>
Upload throughput (Speedtest)	0.6046
Ping (Boomerang)	24.5220
Ping (NetTest)	<b>7.2387</b>
Ping (Speedtest)	118.7955

Πίνακας 64: Παρουσίαση των τυπικών αποκλίσεων όλων των ειδών μετρήσεων για κάθε υλοποίηση στον Opera.

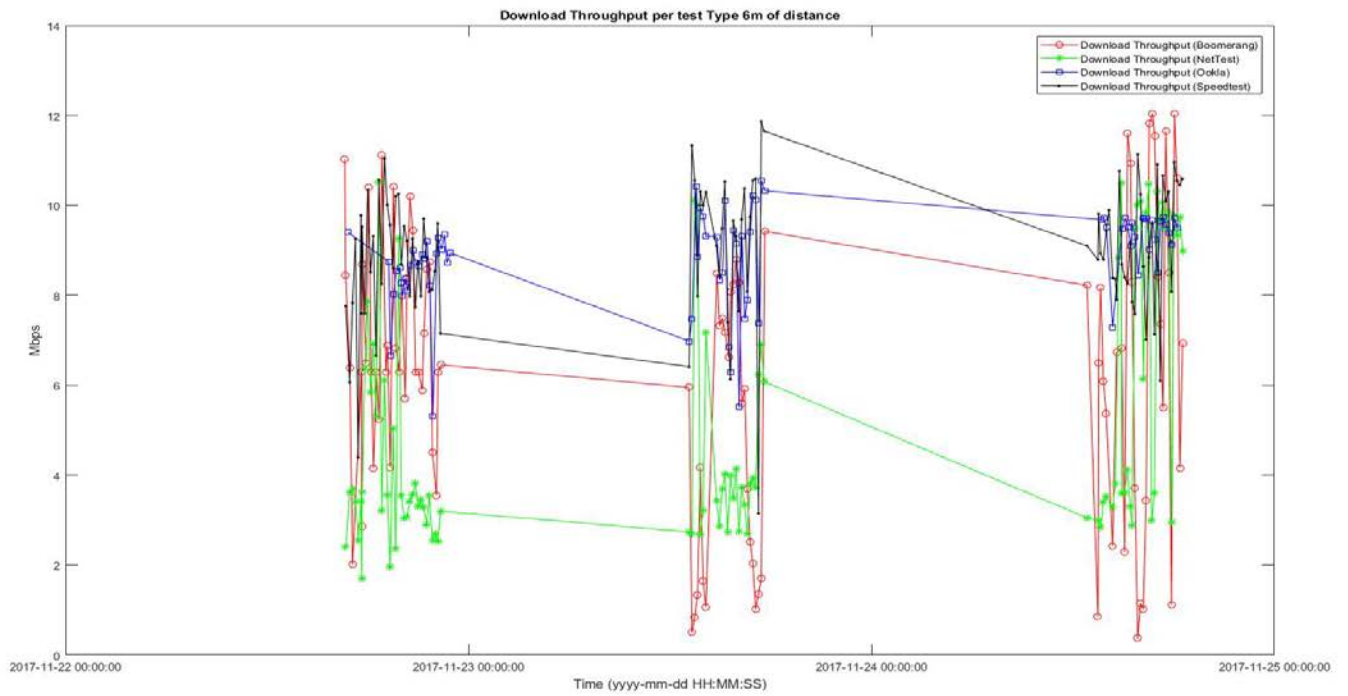
Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις και τον παραπάνω πίνακα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι ιδανικότερες υλοποιήσεις για τον Chrome είναι οι παρακάτω:

1. Για τον υπολογισμό του ρυθμού λήψης (download throughput) ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **NetTest**.
2. Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **NetTest**.
3. Για τον υπολογισμό του Ping ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **NetTest**.

### 5.3 Εκτενής ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπεράσματος ως προς τις ιδανικότερες υλοποιήσεις ανεξαρτήτως του browser.

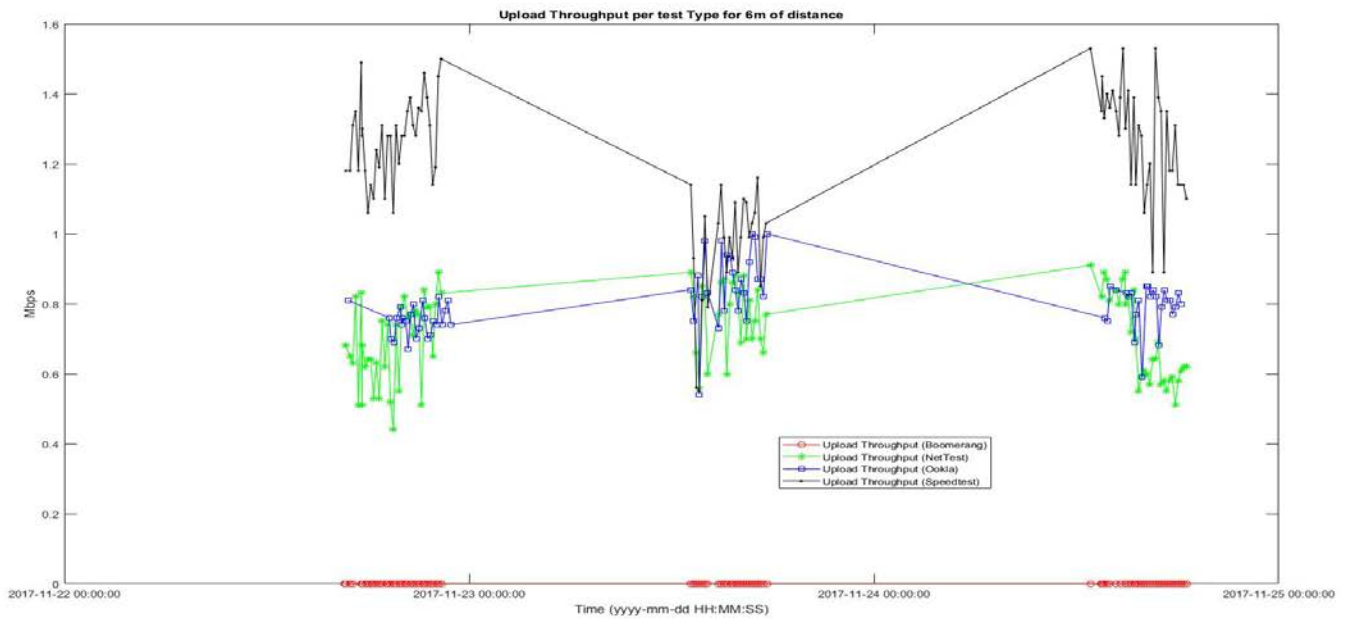
Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων προκειμένου να καταλήξουμε στο ποιες υλοποιήσεις είναι προτιμότερες ανεξαρτήτως των browser που χρησιμοποιήθηκαν. Θα παρουσιάσουμε δηλαδή για κάθε σημείο τις γραφικές παραστάσεις του ρυθμού λήψης (download throughput), του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) και ping καθώς και τους πίνακες με τις μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές αυτών για τις 3 υλοποιήσεις που δημιουργήσαμε και για τις μετρήσεις που πήραμε από το εργαλείο Speedtest by Ookla. Οι γραφικές παραστάσεις δημιουργήθηκαν με χρήση του εργαλείου Matlab.

### 5.3.1 Σημείο 1 – Απόσταση 6m από το router

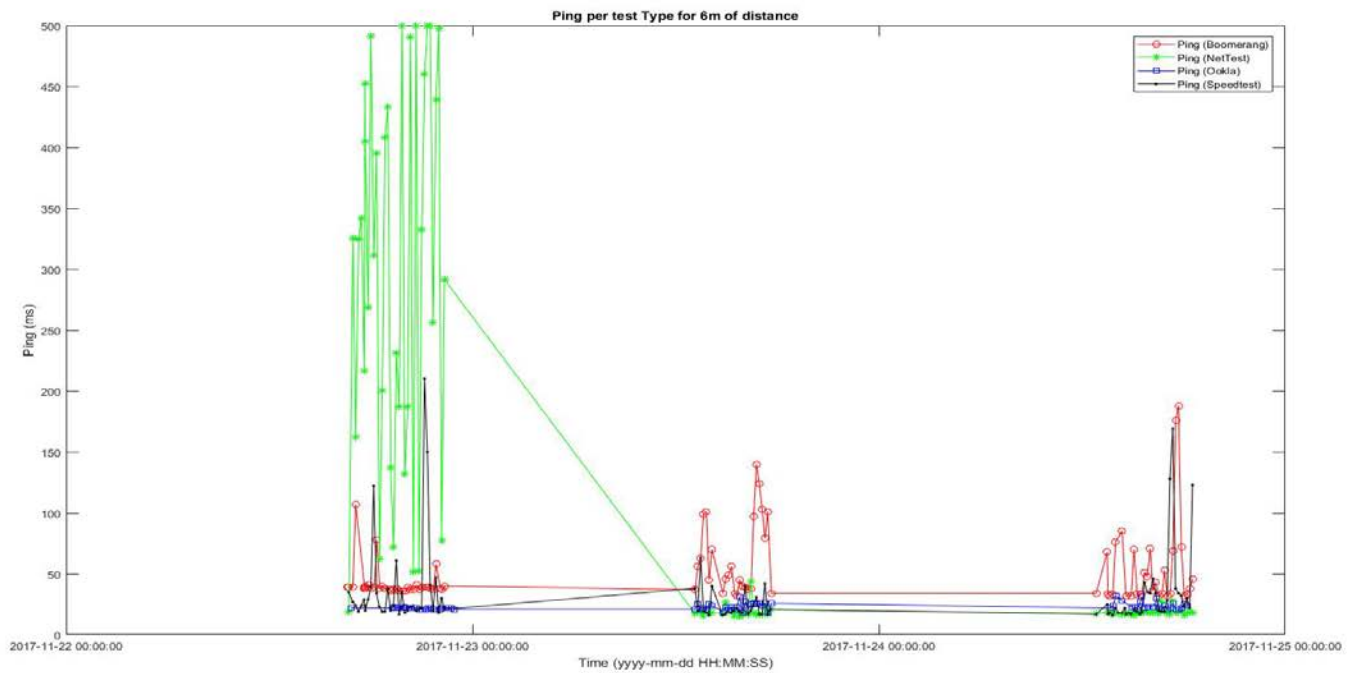


Εικόνα 56: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 6m από το router





Εικόνα 57: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 6m από το router



Εικόνα 58: Ping ανά τύπο test σε απόσταση 6m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	6.23 Mbps	0 Mbps	52 ms
Max	12 Mbps	0 Mbps	188 ms
Min	0.4 Mbps	0 Mbps	32 ms

Πίνακας 65: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Boomerang.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	5 Mbps	0.7 Mbps	126.8 ms
Max	10.5 Mbps	0.9 Mbps	500 ms
Min	1.7 Mbps	0.4 Mbps	15 ms

Πίνακας 66: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του NetTest.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.9 Mbps	0.8 Mbps	23 ms
Max	10.6 Mbps	1 Mbps	32 ms
Min	5.3 Mbps	0.55 Mbps	18 ms

Πίνακας 67: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για το εργαλείο Ookla.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.99 Mbps	1.19 Mbps	33.19 ms
Max	11.86 Mbps	1.53 Mbps	210 ms
Min	3.2 Mbps	0.6 Mbps	16 ms

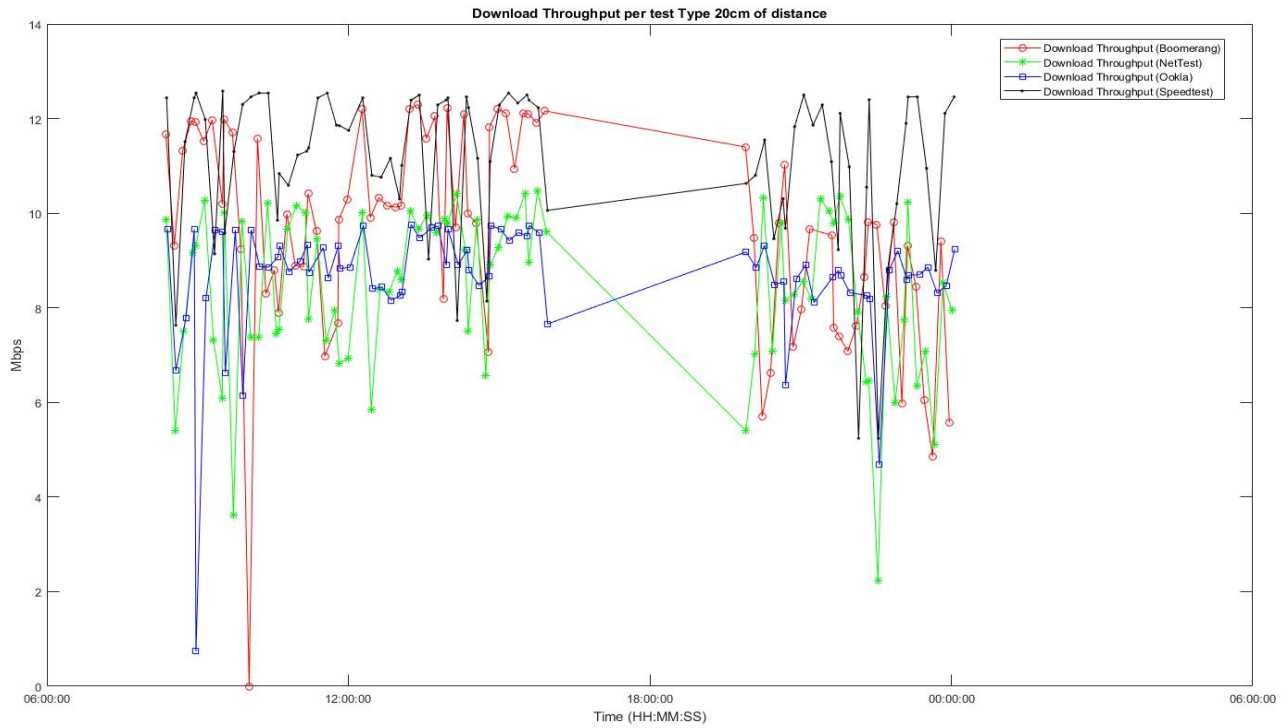
Πίνακας 68: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 1 για την υλοποίηση του Speedtest.

Παρατηρώντας την εικόνα 56 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).

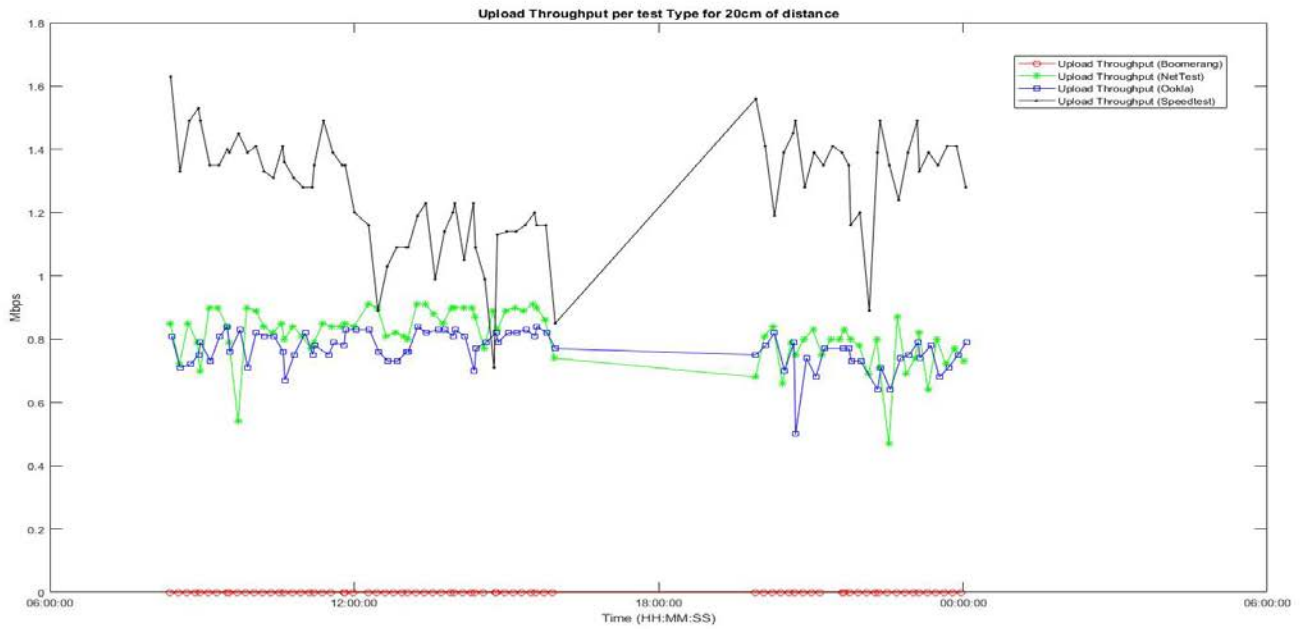
Παρατηρώντας την εικόνα 57 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 58 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).

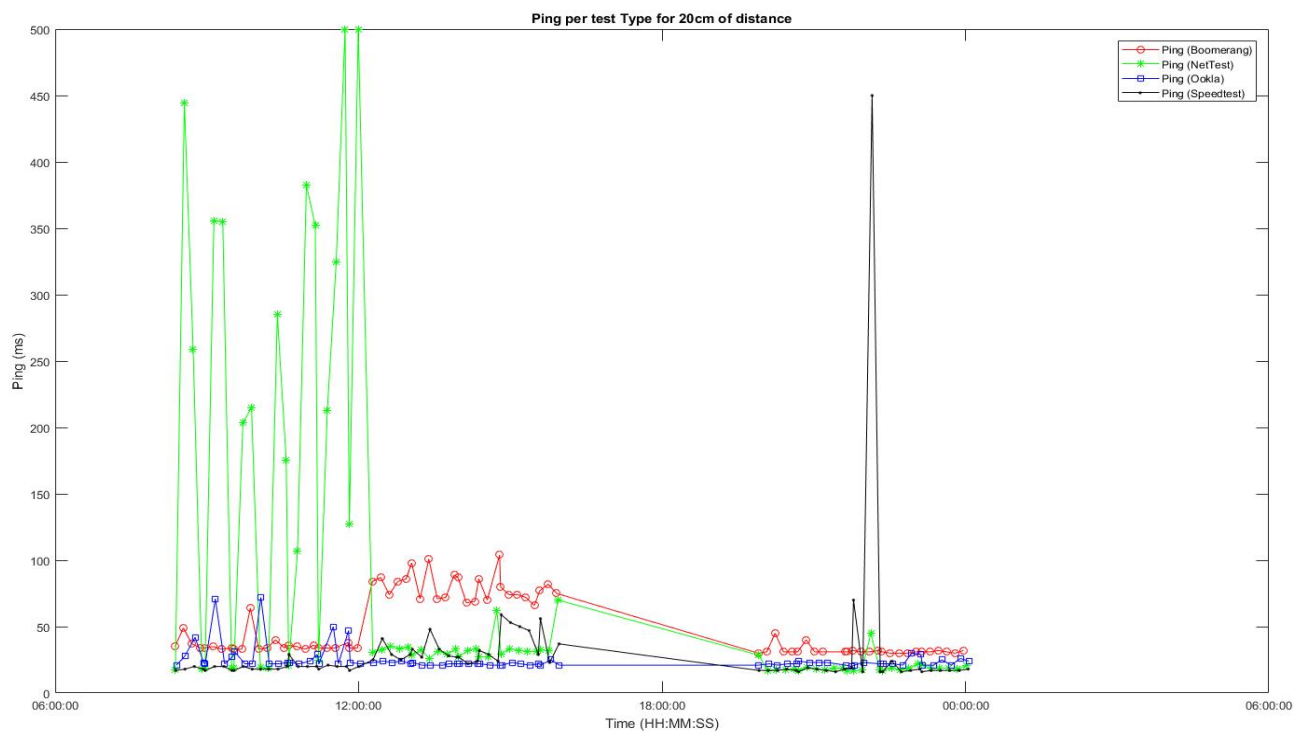
### 5.3.2 Σημείο 2 – Απόσταση 20cm από το router



Εικόνα 59: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 20cm από το router



Εικόνα 60: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 20cm από το router



Εικόνα 61: Ping ανά τύπο test σε απόσταση 20cm από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	9.62 Mbps	0 Mbps	49.2 ms
<b>Max</b>	12.3 Mbps	0 Mbps	104 ms
<b>Min</b>	0 Mbps	0 Mbps	30 ms

Πίνακας 69: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Boomerang.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.41 Mbps	0.81 Mbps	82.49 ms
<b>Max</b>	10.48 Mbps	0.91 Mbps	500 ms
<b>Min</b>	2.24 Mbps	0.47 Mbps	16.5 ms

Πίνακας 70: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του NetTest.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.66 Mbps	0.77 Mbps	25.01 ms
<b>Max</b>	9.76 Mbps	0.84 Mbps	72 ms
<b>Min</b>	0.74 Mbps	0.5 Mbps	20 ms

Πίνακας 71: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για το εργαλείο Ookla.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	11.16 Mbps	1.28 Mbps	29.77 ms
<b>Max</b>	12.58 Mbps	1.63 Mbps	450 ms
<b>Min</b>	5.24 Mbps	0.71 Mbps	16 ms

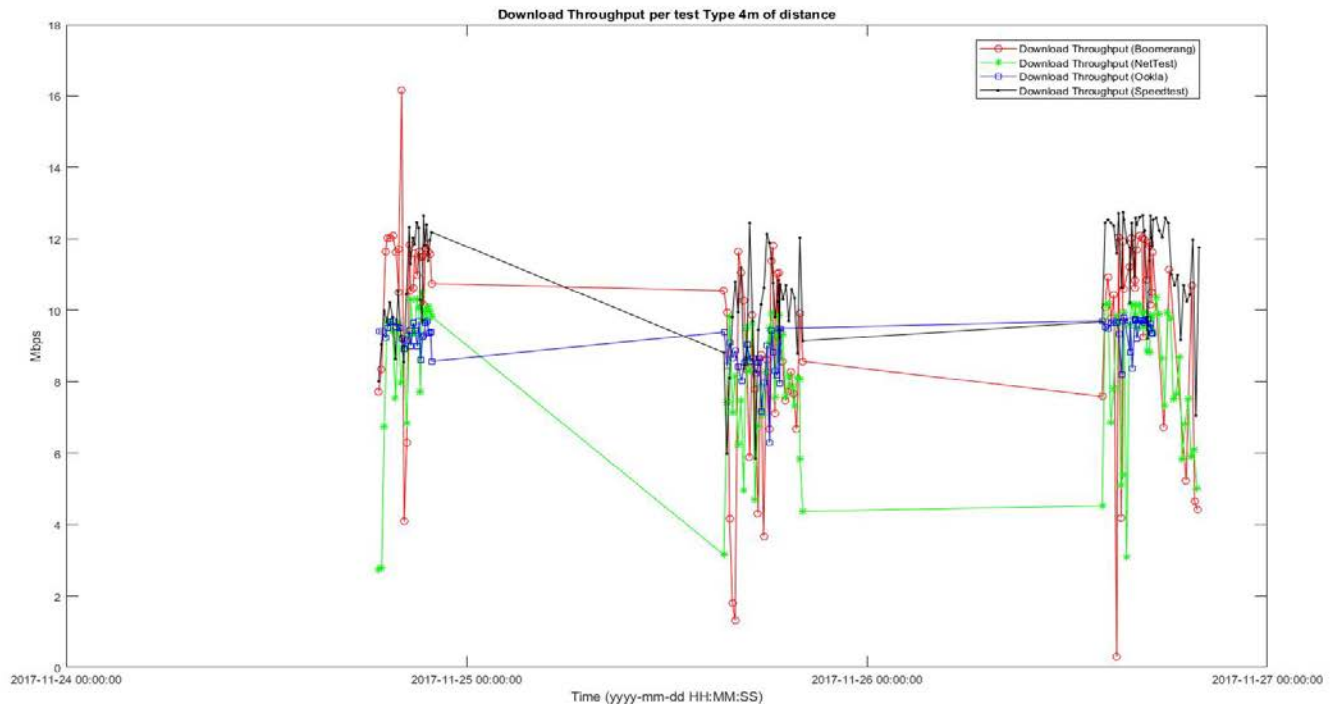
Πίνακας 72: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 2 για την υλοποίηση του Speedtest.

Παρατηρώντας την εικόνα 59 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

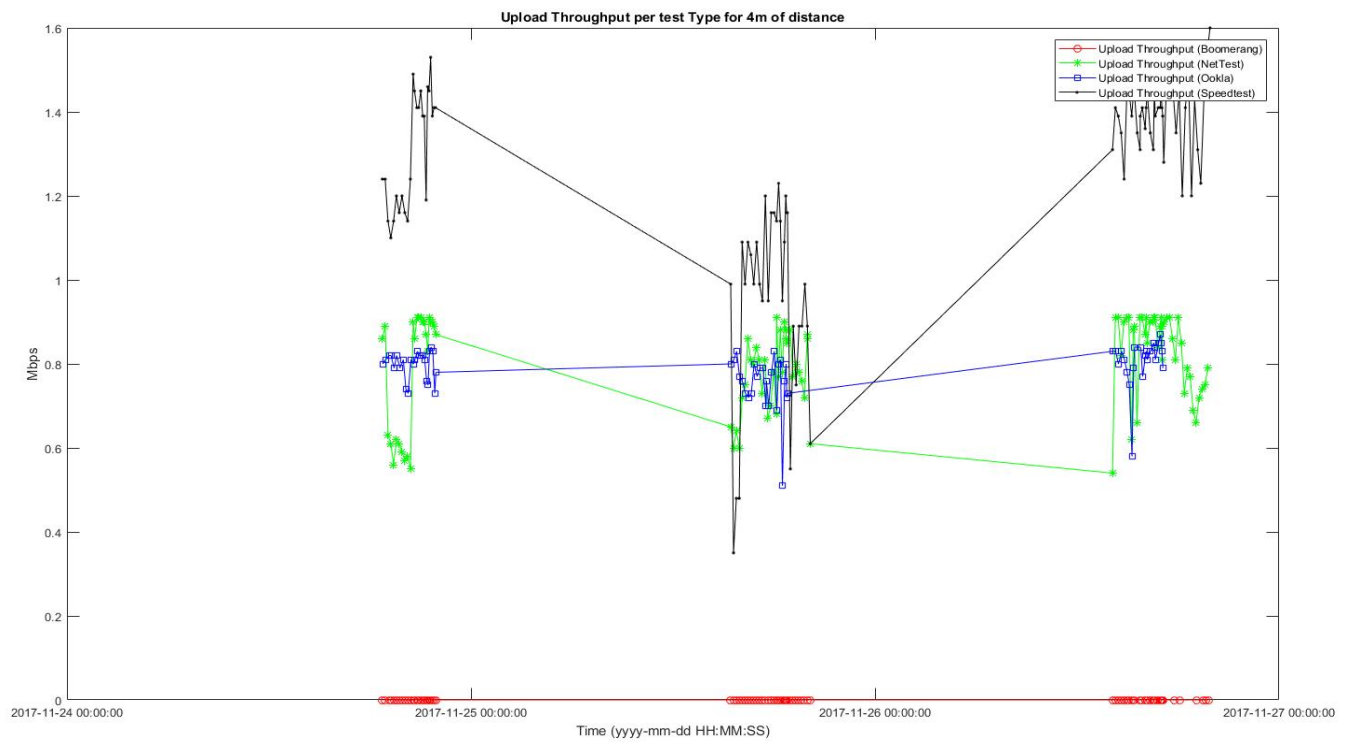
Παρατηρώντας την εικόνα 60 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 61 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).

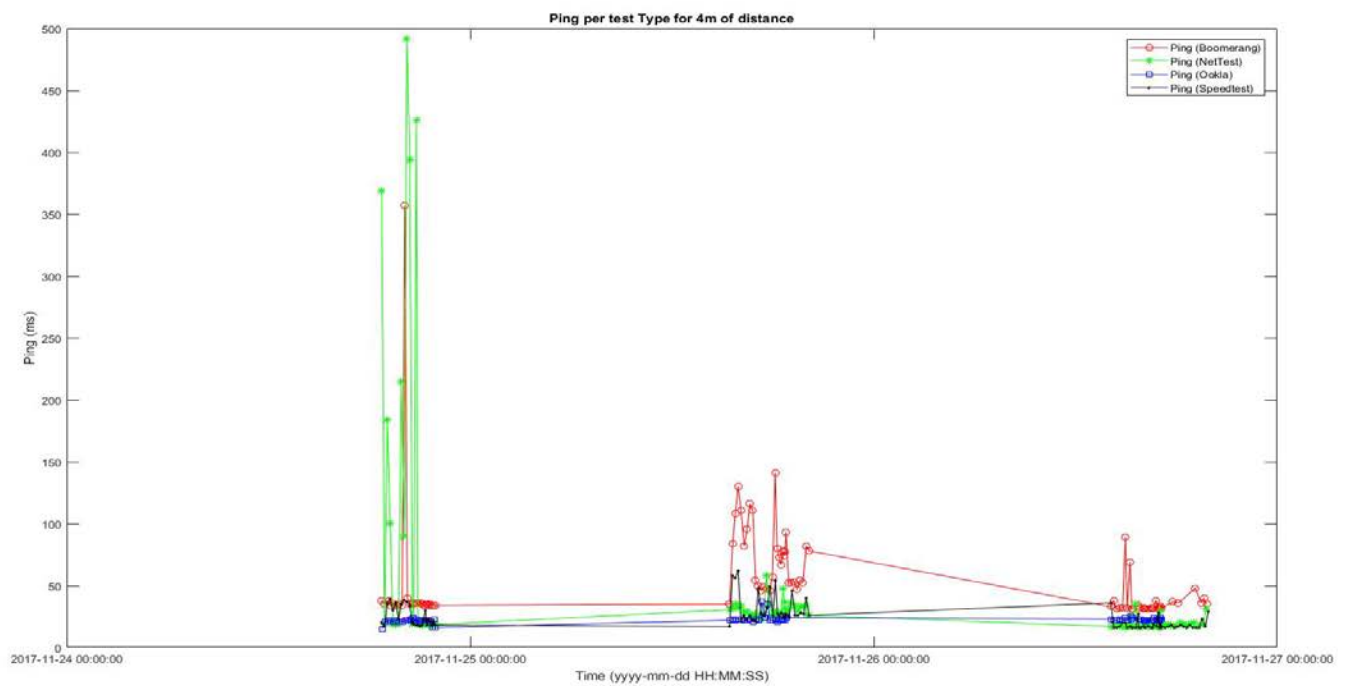
### 5.3.3 Σημείο 3 – Απόσταση 4m από το router



Εικόνα 62: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 4m από το router



Εικόνα 63: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 4m από το router



Εικόνα 64: Ping ανά τύπο test σε απόσταση 4m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	9.46 Mbps	0 Mbps	53.35 ms
Max	16.16 Mbps	0 Mbps	357 ms
Min	0.29 Mbps	0 Mbps	31 ms

Πίνακας 73: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Boomerang.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.28 Mbps	0.8 Mbps	44.2 ms
Max	10.48 Mbps	0.91 Mbps	491.5 ms
Min	2.74 Mbps	0.54 Mbps	16 ms

Πίνακας 74: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του NetTest.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	9.11 Mbps	0.79 Mbps	22.53 ms
Max	9.8 Mbps	0.87 Mbps	37 ms
Min	6.29 Mbps	0.51 Mbps	15 ms

Πίνακας 75: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για το εργαλείο Ookla.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	10.85 Mbps	1.23 Mbps	24.35 ms
Max	12.74 Mbps	1.6 Mbps	62 ms
Min	5.85 Mbps	0.35 Mbps	16 ms

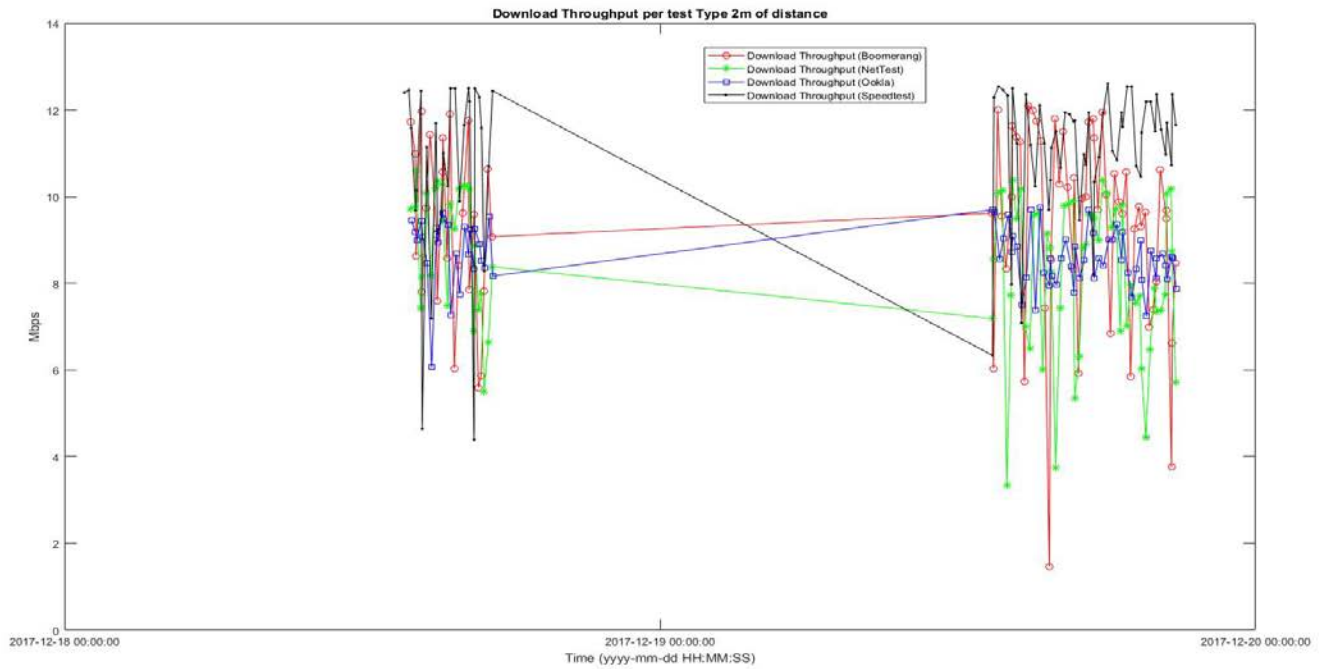
Πίνακας 76: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 3 για την υλοποίηση του Speedtest.

Παρατηρώντας την εικόνα 62 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Boomerang** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (NetTest και Speedtest).

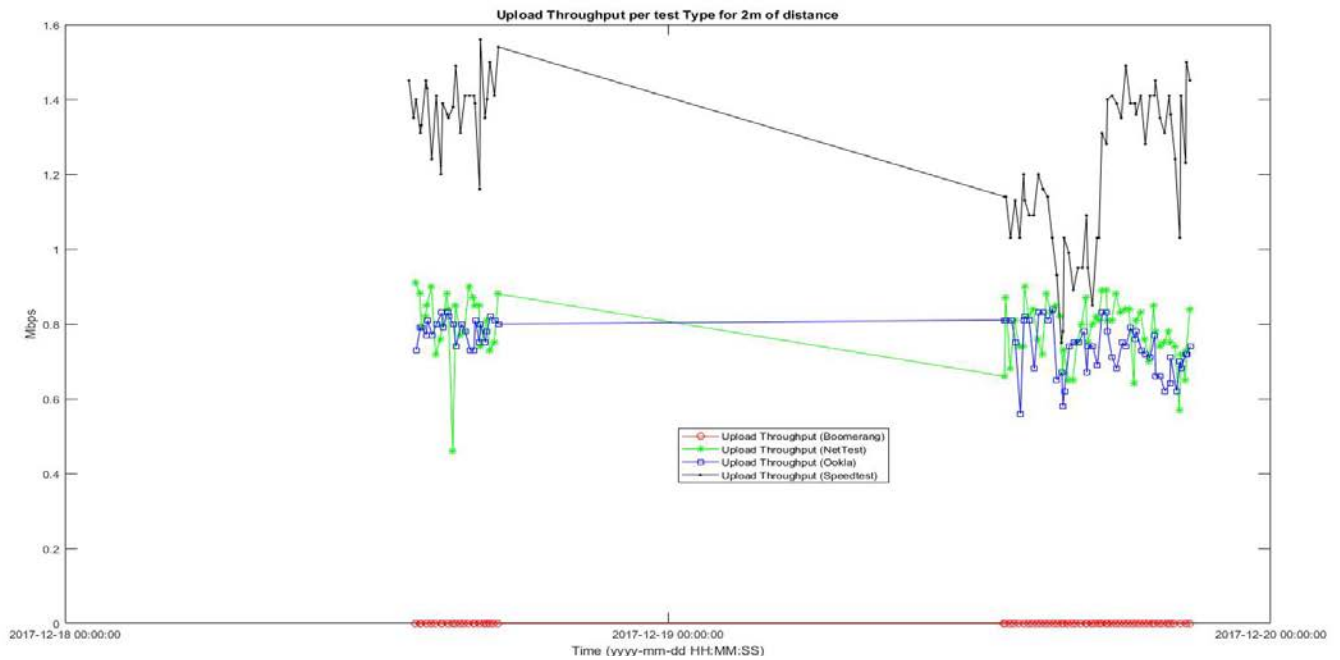
Παρατηρώντας την εικόνα 63 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 64 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).

### 5.3.4 Σημείο 4 – Απόσταση 2m από το router

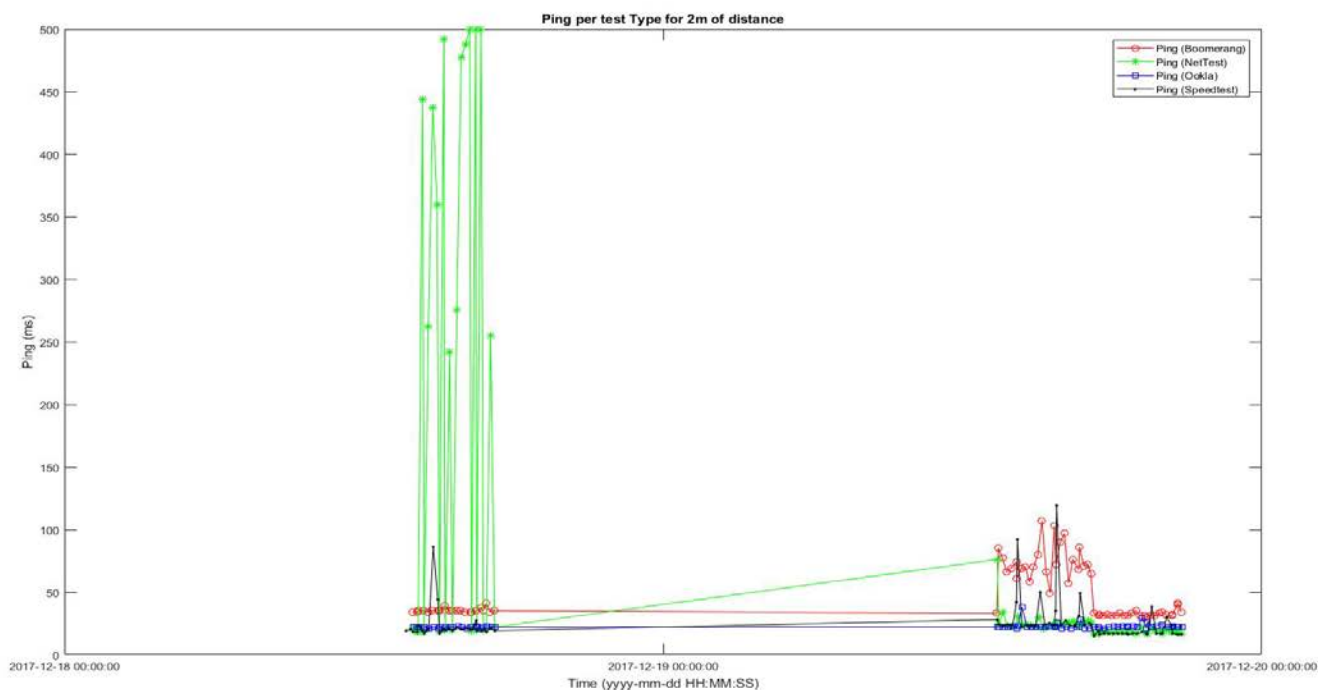


Εικόνα 65: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 2m από το router



Εικόνα 66: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 2m από το router





Εικόνα 67: Ping ανά τύπο test σε απόσταση 2m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	9.35 Mbps	0 Mbps	47.36 ms
<b>Max</b>	12.1 Mbps	0 Mbps	107 ms
<b>Min</b>	1.47 Mbps	0 Mbps	30 ms

Πίνακας 77: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Boomerang.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.44 Mbps	0.79 Mbps	87.3 ms
<b>Max</b>	10.58 Mbps	0.91 Mbps	500 ms
<b>Min</b>	3.35 Mbps	0.46 Mbps	16.5 ms

Πίνακας 78: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του NetTest.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	8.65 Mbps	0.75 Mbps	22.51 ms
<b>Max</b>	9.76 Mbps	0.84 Mbps	38 ms
<b>Min</b>	6.07 Mbps	0.56 Mbps	21 ms

Πίνακας 79: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για το εργαλείο Ookla.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
<b>Average</b>	10.99 Mbps	1.26 Mbps	25.12 ms
<b>Max</b>	12.61 Mbps	1.56 Mbps	119 ms
<b>Min</b>	4.39 Mbps	0.75 Mbps	15 ms

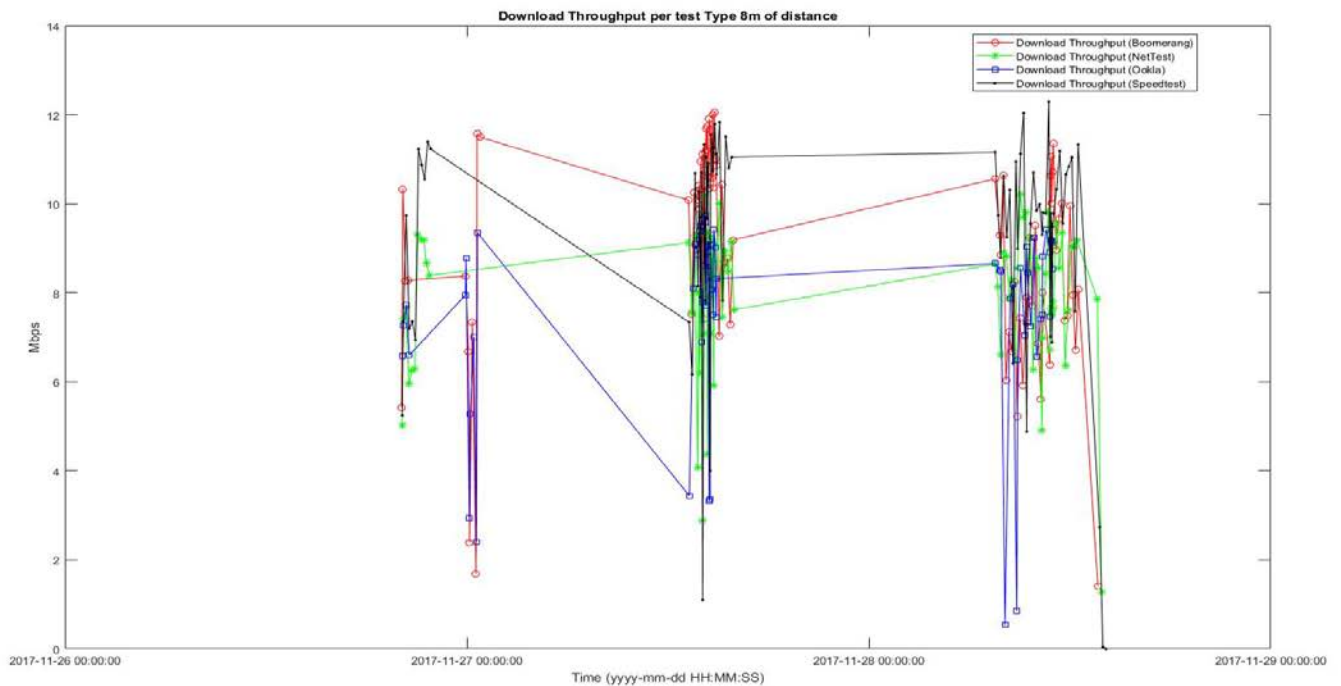
Πίνακας 80: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 4 για την υλοποίηση του Speedtest.

Παρατηρώντας την εικόνα 65 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

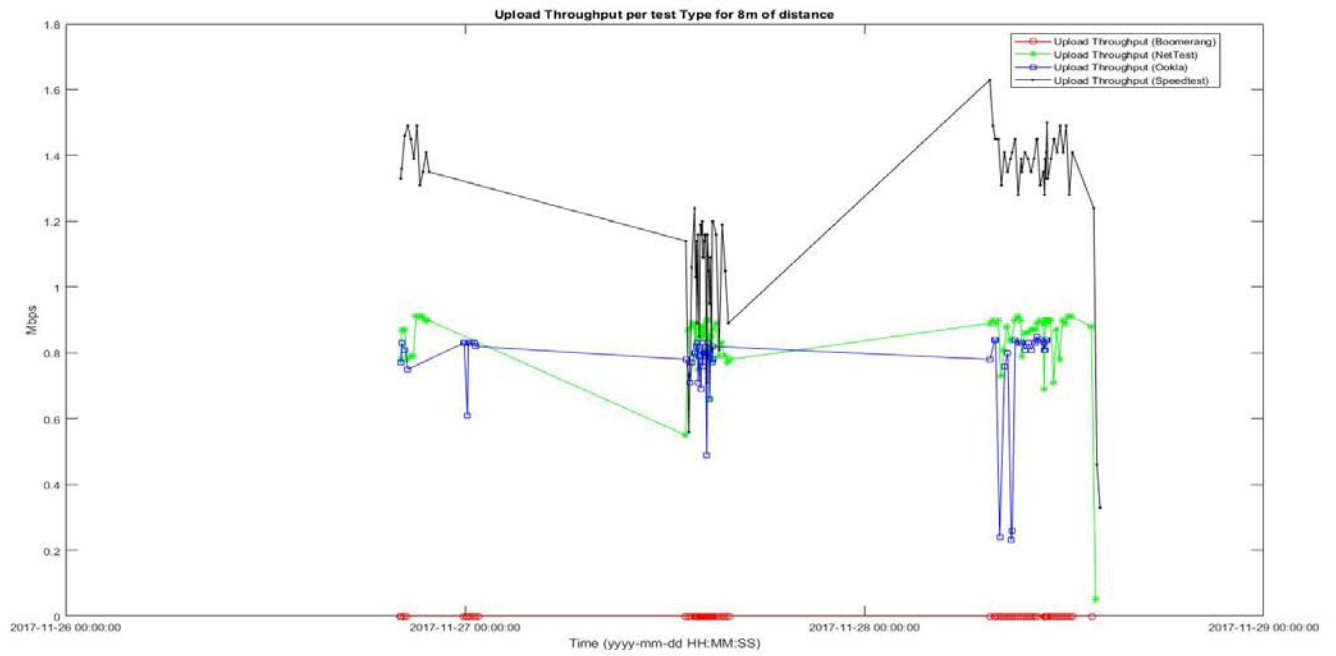
Παρατηρώντας την εικόνα 66 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 67 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **Speedtest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και NetTest).

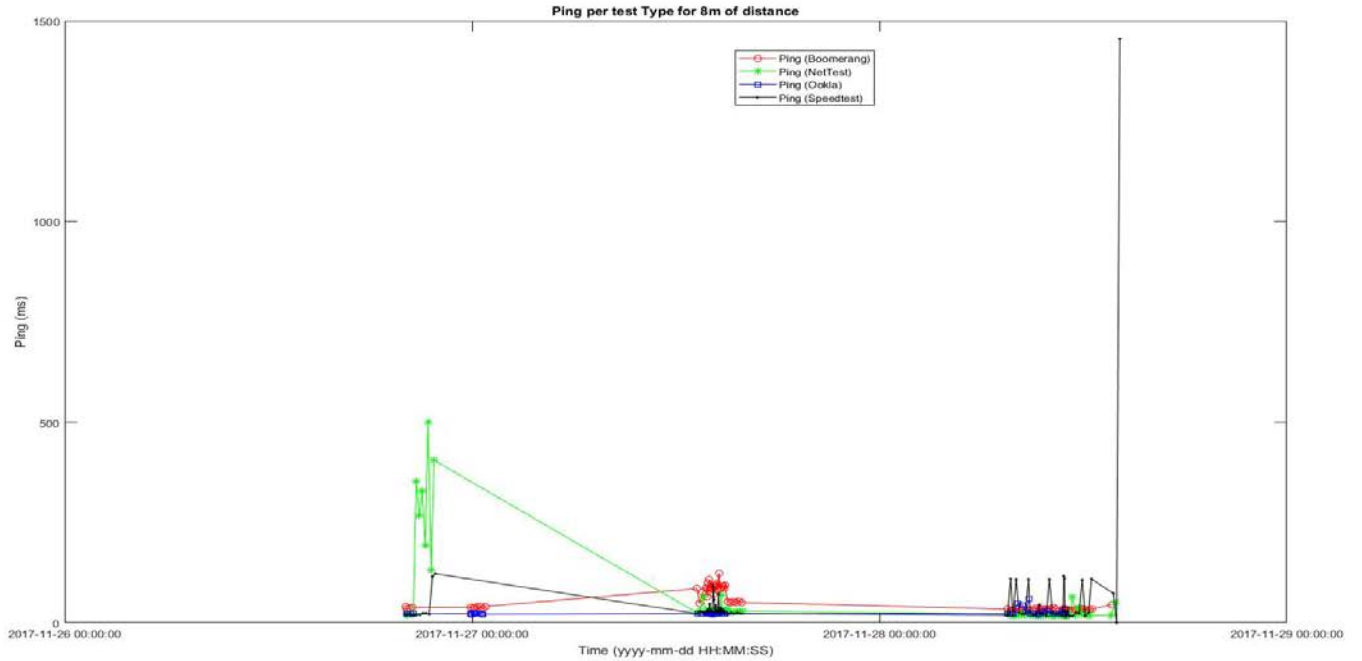
### 5.3.5 Σημείο 5 – Απόσταση 8m από το router



Εικόνα 68: Ρυθμός λήψης (download throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 8m από το router



Εικόνα 69: Ρυθμός μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο test σε απόσταση 8m από το router



Εικόνα 70: Ping ανά τύπο test σε απόσταση 8m από το router

Boomerang	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	8.9 Mbps	0 Mbps	53.42 ms
Max	12.05 Mbps	0 Mbps	124 ms
Min	1.41 Mbps	0 Mbps	32 ms

Πίνακας 81: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Boomerang.

Nettest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	7.9 Mbps	0.84 Mbps	51.06 ms
Max	10.21 Mbps	0.91 Mbps	500 ms
Min	1.28 Mbps	0.05 Mbps	16.5 ms

Πίνακας 82: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του NetTest.

Ookla	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	7.6 Mbps	0.77 Mbps	24.61 ms
Max	9.73 Mbps	0.85 Mbps	60 ms
Min	0.54 Mbps	0.23 Mbps	21 ms

Πίνακας 83: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για το εργαλείο Ookla.

Speedtest	Download Throughput	Upload Throughput	Ping
Average	9.2 Mbps	1.24 Mbps	55.84 ms
Max	12.29 Mbps	1.63 Mbps	1455 ms
Min	0 Mbps	0.33 Mbps	0 ms

Πίνακας 84: Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μετρήσεων στο σημείο 5 για την υλοποίηση του Speedtest.

Παρατηρώντας την εικόνα 68 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 69 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Παρατηρώντας την εικόνα 70 και τους παραπάνω πίνακες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η υλοποίηση του **NetTest** προσεγγίζει περισσότερο τις μετρήσεις για το ping του εργαλείου Speedtest by Ookla σε σχέση με τις άλλες υλοποιήσεις (Boomerang και Speedtest).

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, είναι αδύνατον να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα από τις παραπάνω γραφικές για το ποιες υλοποιήσεις είναι οι ιδανικότερες για κάθε ένα από τα 5 σημεία. Αυτό συμβαίνει γιατί για κάθε ένα από τα 5 σημεία, διαφορετικές υλοποιήσεις φαίνεται να είναι οι ιδανικότερες. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι ιδανικότερες υλοποιήσεις σε κάθε σημείο με βάση τις μετρήσεις που έγιναν.

Είδη μέτρησης	Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Download Throughput	Speedtest	NetTest	Boomerang	NetTest	NetTest
Upload Throughput	NetTest	NetTest	NetTest	NetTest	NetTest
Ping	Speedtest	Speedtest	Speedtest	Speedtest	NetTest

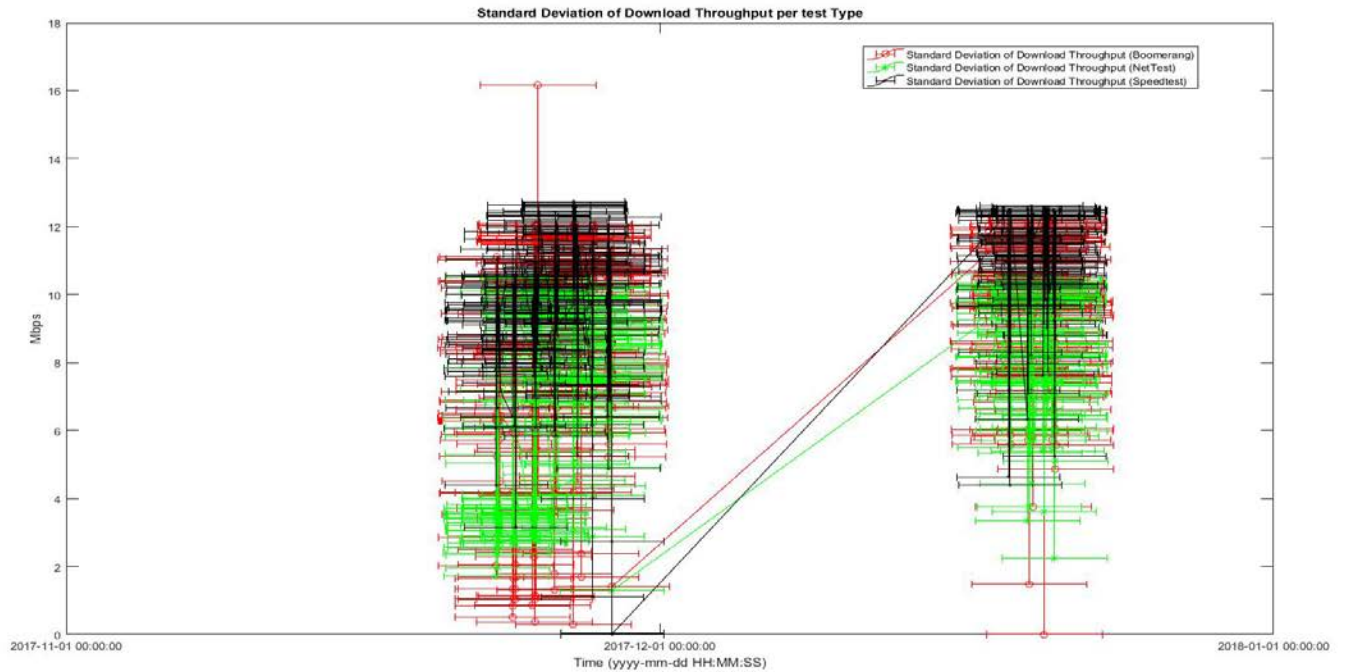
Πίνακας 85: Συνοπτική παρουσίαση ιδανικότερων υλοποιήσεων για κάθε ένα από τα 5 σημεία.

Προκειμένου να καταλήξουμε στις ιδανικότερες υλοποιήσεις θα πρέπει να υπολογίσουμε την τυπική απόκλιση όλων των μετρήσεων που εκτελέστηκαν τόσο για το download throughput και το upload throughput όσο και για τον ping. Η τυπική απόκλιση

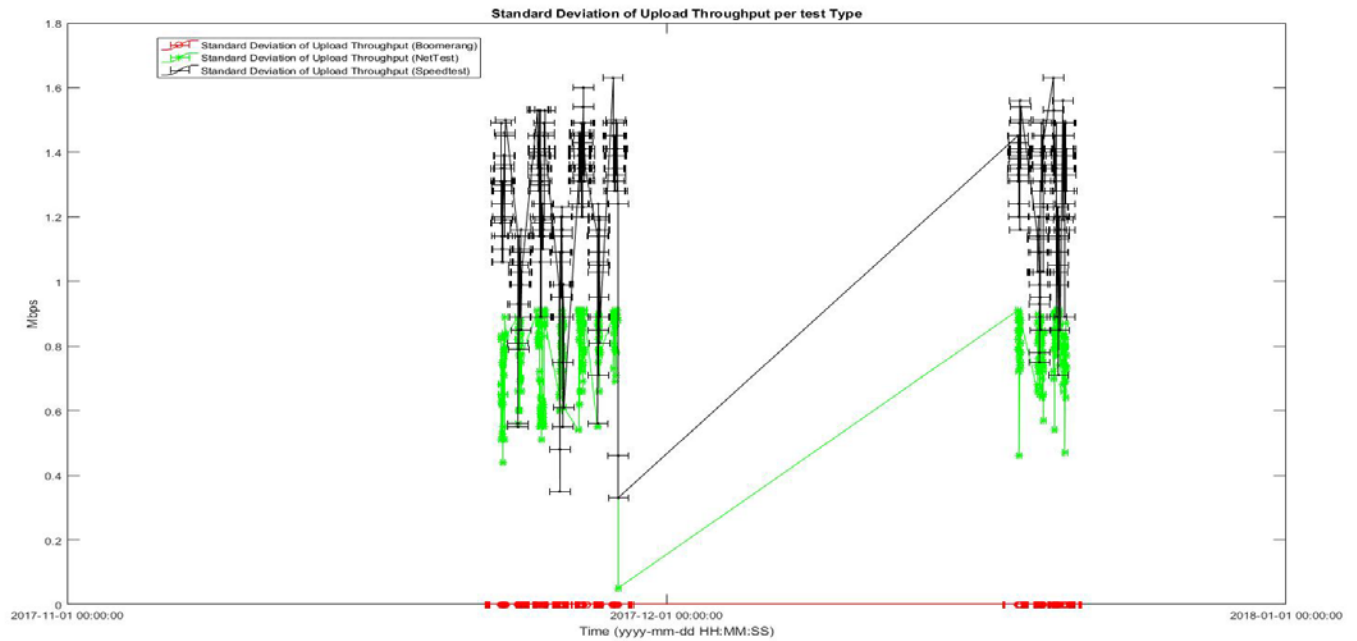
υπολογίζεται από τον τύπο:  $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$  όπου ως  $\sigma$  ορίζεται η τυπική απόκλιση,

$N$  είναι το πλήθος των δειγμάτων του συνόλου δεδομένων,  $x_i$  είναι τα δείγματα και  $\mu$  ορίζεται η μέση τιμή ή η αναμενόμενη τιμή του συνόλου δεδομένων. Εμείς θα θέσουμε ως  $\mu$  την μέση τιμή των μετρήσεων του εργαλείου Speedtest by Ookla τόσο κατά τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης για το download throughput και το upload throughput όσο και κατά τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης του ping. Η τυπική απόκλιση με την μικρότερη τιμή θα καταδεικνύει και την ιδανικότερη υλοποίηση.

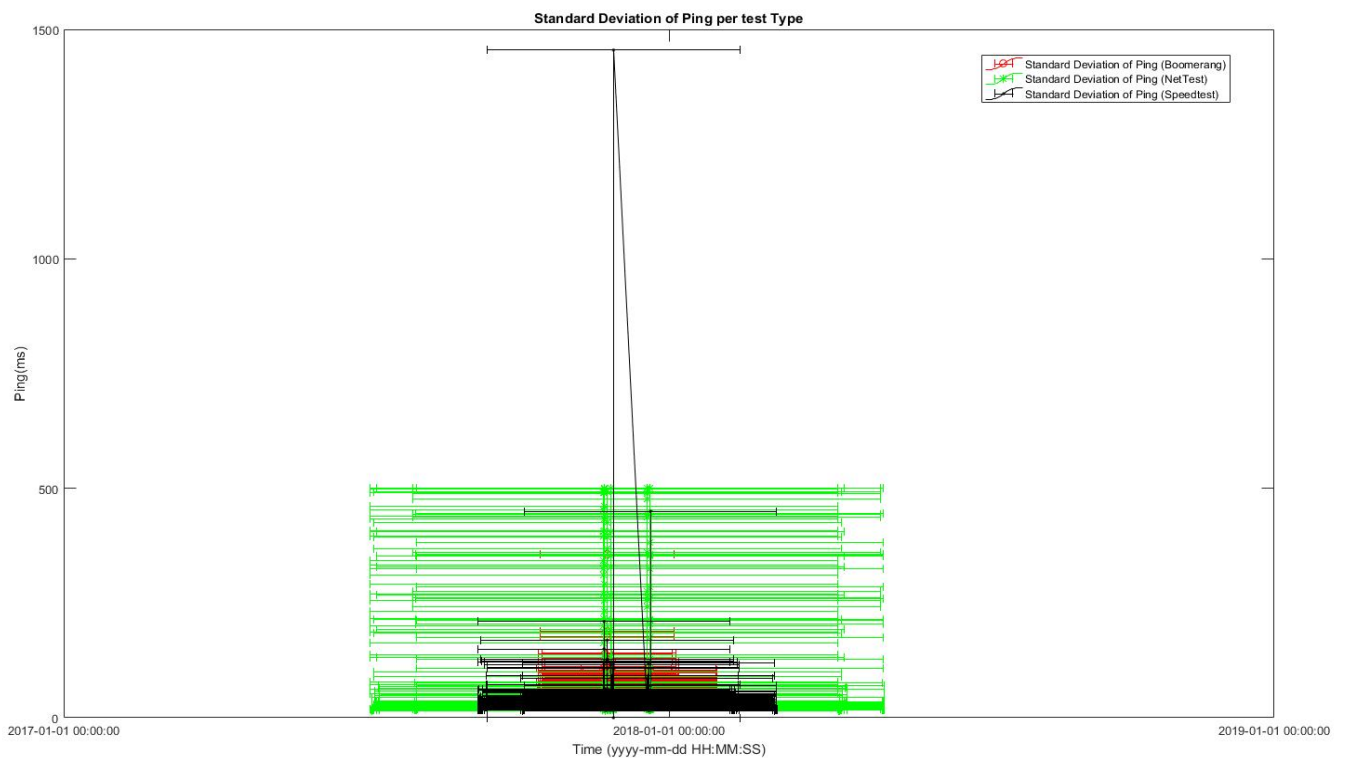
### 5.3.6 Τυπικές αποκλίσεις και των τριών ειδών μετρήσεων για κάθε μια από τις τρεις υλοποιήσεις ως προς την μέση τιμή των μετρήσεων του εργαλείου Speedtest by Ookla



Εικόνα 71: Τυπική απόκλιση του ρυθμού λήψης (download throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού λήψης του εργαλείου Speedtest by Ookla.



Εικόνα 72: Τυπική απόκλιση του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του ρυθμού μεταφόρτωσης του εργαλείου Speedtest by Ookla.



Εικόνα 73: Τυπική απόκλιση του Ping ανά τύπο υλοποίησης ως προς την αναμενόμενη τιμή (mean value) του Ping του εργαλείου Speedtest by Ookla.

Τυπική απόκλιση	Ανεξαρτήτως Browser
Download throughput (Boomerang)	2.9229
Download throughput (NetTest)	2.6373
Download throughput (Speedtest)	<b>2.5981</b>
Upload throughput (Boomerang)	0.7752
Upload throughput (NetTest)	<b>0.1133</b>
Upload throughput (Speedtest)	0.5103
Ping (Boomerang)	<b>40.4726</b>
Ping (NetTest)	140.9602
Ping (Speedtest)	76.0457

Πίνακας 86: Παρουσίαση των τυπικών αποκλίσεων όλων των ειδών μετρήσεων για κάθε υλοποίηση.

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις και τον παραπάνω πίνακα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι ιδανικότερες υλοποιήσεις για τον Chrome είναι οι παρακάτω:

1. Για τον υπολογισμό του ρυθμού λήψης (download throughput) ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **Speedtest**.
2. Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταφόρτωσης (upload throughput) ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **NetTest**.
3. Για τον υπολογισμό του Ping ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του **Boomerang**.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετάμε, εν γένει, την σημασία της ύπαρξης αξιόπιστων συστημάτων παρακολούθησης δικτύων (NMS). Η ανάγκη ύπαρξης αξιόπιστων συστημάτων παρακολούθησης δικτύων είναι μεγάλη γιατί οι διαχειριστές δικτύων χρειάζεται και πρέπει να ξέρουν τι συμβαίνει στο δίκτυο που διαχειρίζονται ανά πάσα στιγμή. Για να γνωρίζουν τι συμβαίνει στο δίκτυο τους απαιτούνται πληροφορίες πραγματικού χρόνου, ιστορικές πληροφορίες, πληροφορίες σχετικά με τις συσκευές που αποτελούν μέρος του δικτύου κ.α. Αυτές οι πληροφορίες παρέχονται μέσω των συστημάτων διαχείρισης δικτύων, η σημαντικότερη λειτουργία ενός συστήματος διαχείρισης δικτύων, είναι η παρακολούθηση του δικτύου (network monitoring). Αυτό είναι λογικό καθώς για να γνωρίζει ο εκάστοτε διαχειριστής δικτύου τι και πότε συμβαίνει στο δίκτυο του οφείλει να έχει τον τρόπο να το παρακολουθεί συνεχώς.

Όλα τα είδη δικτύων έχουν τις δικές τους ιδιαιτερότητες. Εμείς, σε αυτή την διπλωματική εργασία, καταπιανόμαστε με τα ασύρματα δίκτυα WiFi. Τα δίκτυα αυτά είναι δυναμικά, που σημαίνει ότι, συνήθως, η κατάσταση τους αλλάζει συνεχώς. Δηλαδή, μπορούμε να προσθέτουμε περισσότερες συσκευές ή να αντικαταστήσουμε παλιές συσκευές με νεότερες συσκευές. Όταν προστίθενται περισσότερες μηχανές στο δίκτυο και καθώς ο αριθμός των μηχανών σε ένα τοπικό δίκτυο (Local Area Network-LAN) αυξάνεται, το τοπικό δίκτυο συχνά διασπάται σε τμήματα που συνδέονται με δρομολογητές (routers). Επιπλέον, οι κατασκευαστές συχνά παρουσιάζουν νέες συσκευές που προσφέρουν βελτιωμένες δυνατότητες. Τέτοιες συσκευές ενσωματώνονται συχνά σε δίκτυα που αντικαθιστούν παλαιότερες συσκευές. Η παρακολούθηση ενός μεταβαλλόμενου δικτύου απαιτεί τη χρήση εξελιγμένων εργαλείων διαχείρισης δικτύου και είναι απαραίτητη καθώς η απόδοση & η ποιότητα των ασύρματων δικτύων WiFi εξαρτάται άμεσα τόσο από το πλήθος των χρηστών του δικτύου, τις καιρικές συνθήκες και την μορφολογία του χώρου όσο και από άλλους εξωγενείς παράγοντες.

Ένα τέτοιο σύστημα είναι και το εργαλείο WiFiMon που έχει αναπτυχθεί υπό την αιγίδα της GEANT και προσφέρει υπηρεσίες τόσο αποθήκευσης μετρήσεων απόδοσης ασύρματων WiFi δικτύων όσο και οπτικοποίηση αυτών προκειμένου ο εκάστοτε διαχειριστής δικτύων να έχει μια σφαιρική εικόνα του δικτύου του και να μπορεί να παρέμβει εύκολα και άμεσα όταν απαιτείται.

Το συγκεκριμένο εργαλείο χρησιμοποιούμε και εμείς ώστε να αποθηκεύσουμε τις μετρήσεις που εκτελέσαμε κάνοντας χρήση των δύο υλοποιήσεων μετρήσεων απόδοσης WiFi δικτύων που αναπτύξαμε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας· με χρήση της JavaScript βιβλιοθήκης του Boomerang και του Speedtest και μιας τρίτης υλοποίησης με χρήση της JavaScript βιβλιοθήκης του NetTest. Οι τρεις αυτές υλοποιήσεις εκτελούν μετρήσεις απόδοσης δικτύου και πιο συγκεκριμένα παίρνουν μετρήσεις για τον ρυθμό λήψης (download throughput), τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput) και τον χρόνο round-trip (ping) ενός ασύρματου δικτύου WiFi, εκτός από την υλοποίηση του

Boomerang που δεν δύναται να εκτελέσει μετρήσεις για τον ρυθμό μεταφόρτωσης (upload throughput). Στην συνέχεια όλες οι μετρήσεις που εκτελέστηκαν, και από τις τρεις υλοποιήσεις, συγκρίνονται με τις μετρήσεις που εκτελέστηκαν με την χρήση του εργαλείου Speedtest by Ookla. Η σύγκριση γίνεται με οπτικοποίηση των μετρήσεων, χρησιμοποιώντας το εργαλείο MATLAB.

Συνολικά εκτελέστηκαν πάνω από 1600 μετρήσεις (και από τα 4 εργαλεία μετρήσεων απόδοσης WiFi δικτύων) σε πέντε (5) διαφορετικά σημεία τα οποία διαφέρουν ως προς την απόσταση τους από το router και με την χρήση τριών διαφορετικών browsers (Chrome, Mozilla Firefox και Opera). Η σύγκριση γίνεται ώστε να δούμε ποια από τις τρεις υλοποιήσεις (Boomerang, NetTest και Speedtest) συγκλίνει περισσότερο στα αποτελέσματα των μετρήσεων του εργαλείου speedtest by Ookla που θεωρείται ιδιαίτερα αξιόπιστο. Η σύγκριση γίνεται σε δύο επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο η σύγκριση γίνεται ώστε να καταλήξουμε στο ποια υλοποίηση είναι η καλύτερη, για κάθε είδος μέτρησης, τόσο για τον Chrome όσο και για τον Mozilla Firefox και τον Firefox. Στο δεύτερο επίπεδο η σύγκριση γίνεται ώστε να καταλήξουμε στο ποια υλοποίηση είναι η καλύτερη, για κάθε είδος μέτρησης, γενικά χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη μας τον browser που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις.

Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς όσον αφορά το πρώτο επίπεδο φαίνεται ότι για κάθε browser διαφορετική υλοποίηση είναι η ιδανικότερη και αυτό έχει να κάνει με την κατάσταση του δικτύου (πλήθος χρηστών), με τους χρόνους εκτέλεσης των μετρήσεων της κάθε υλοποίησης σε κάθε ένας από τους τρεις browsers, για αυτό και τα αποτελέσματα ποικίλουν ανά browser. Όσον αφορά το δεύτερο επίπεδο, η πίτα είναι μοιρασμένη ανάμεσα στις τρεις υλοποιήσεις. Δηλαδή, για την μέτρηση του ρυθμού λήψης ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του speedtest, για την μέτρηση του ρυθμού μεταφόρτωσης ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του NetTest ενώ για την μέτρηση του χρόνου round-trip (ping) ιδανικότερη υλοποίηση είναι αυτή του Boomerang.

Πρέπει να αναφερθεί, επίσης, ότι παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων ακόμα και για μετρήσεις που εκτελούνται με χρήση της ίδιας υλοποίησης, στο ίδιο σημείο και με διαφορά ολίγων δευτερολέπτων. Τέλος, παρατηρείται ότι οι μετρήσεις που εκτελούνται με χρήση των υλοποιήσεων του NetTest και του Speedtest συγκλίνουν περισσότερο στις θεωρητικές τιμές που κλειδώνει ο πάροχος.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία καταφέραμε να αναπτύξουμε δύο υλοποιήσεις μετρήσεων της απόδοσης ενός ασύρματου WiFi δικτύου. Η μια υλοποίηση αναπτύχθηκε με την ανοιχτού κώδικα Javascript βιβλιοθήκη του Boomerang και η δεύτερη υλοποίηση αναπτύχθηκε με την ανοιχτού κώδικα Javascript βιβλιοθήκη του Speedtest. Ακολούθως τα αποτελέσματα των μετρήσεων τέθηκαν σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων που εκτελέστηκαν με μια υλοποίηση που έχει αναπτυχθεί με την ανοιχτού κώδικα Javascript βιβλιοθήκη του NetTest και με το εργαλείο speedtest by Ookla. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά καθώς φαίνεται ότι αναπτύξαμε δυο υλοποιήσεις, οι μετρήσεις των οποίων συγκλίνουν αρκετά, με τις μετρήσεις που εκτελέστηκαν με το εργαλείο speedtest που θεωρείται ιδιαίτερα αξιόπιστο. Θεωρούμε ότι οι παραπάνω υλοποιήσεις σε συνδυασμό με ένα αξιόπιστο σύστημα παρακολούθησης WiFi δικτύων όπως το εργαλείο WiFiMon, που έχει αναπτυχθεί από την GEANT, και χρησιμοποιήσαμε στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελούν ένα πρώτο βήμα προς την καλύτερη κατανόηση της απόδοσης & της παρεχόμενης ποιότητας ενός WiFi δικτύου, όπως την αντιλαμβάνονται οι τελικοί χρήστες.

Παρά το σημαντικό βήμα που έγινε προς την κατανόηση της απόδοσης & της παρεχόμενης ποιότητας ενός WiFi δικτύου, όμως, μπορούν να γίνουν πολλά ακόμα. Οι υλοποιήσεις που αναπτύξαμε σε συνδυασμό με το εργαλείο WiFiMon θα ήταν ιδανικά αν είχαμε να κάνουμε με ασύρματα WiFi δίκτυα αρκετά απλά τόσο όσον αφορά την τοπολογία τους αλλά και όσον αφορά τους χρήστες των δικτύων αυτών και των συσκευών που αυτοί χρησιμοποιούν.

Στη σύγχρονη εποχή, οι χρήστες των ασύρματων WiFi δικτύων απαιτούν υψηλά επίπεδα παρεχόμενων υπηρεσιών καθώς όταν συνδέονται σε ένα δίκτυο δεν αιτούνται, πλέον, μόνο υπηρεσίες φωνής και δεδομένων. Πολλές φορές αιτούνται πολυμεσικές υπηρεσίες οι οποίες απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης και υψηλούς ρυθμούς δεδομένων. Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα των σύγχρονων WiFi δικτύων, την πολυπλοκότητα των υπηρεσιών που αιτούνται οι χρήστες αλλά και τον πλουραλισμό των συσκευών τις οποίες χρησιμοποιούν οι χρήστες για να συνδεθούν σε ένα ασύρματο WiFi δίκτυο μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα σύγχρονα συστήματα παρακολούθησης δικτύων πρέπει να συμβαδίσουν με τις εξελίξεις. Η ανάγκη για εκσυγχρονισμό των συστημάτων παρακολούθησης δικτύων παρουσιάζεται ακόμα πιο σημαντική, αν αναλογιστεί κάποιος ότι η εποχή του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things) πλησιάζει όλο και πιο πολύ.

Ως μελλοντική εργασία λοιπόν, θα πρέπει λοιπόν τα συστήματα παρακολούθησης ασύρματων WiFi δικτύων και οι μετρήσεις που αυτά εκτελούν προκειμένου να διαπιστώσουν την κατάσταση του δικτύου τους να προσανατολιστούν έτσι ώστε οι διαχειριστές αυτών των δικτύων να εξασφαλίζουν την απαραίτητη ποιότητα εμπειρίας των χρηστών (Quality of Experience – QoE).

Η ποιότητα της εμπειρίας (Quality of Experience – QoE) των χρηστών μετράει την απόδοση του συνολικού συστήματος χρησιμοποιώντας υποκειμενικά και αντικειμενικά μέτρα ικανοποίησης του πελάτη. Διαφέρει από την ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of Service - QoS), η οποία αξιολογεί την απόδοση των υπηρεσιών υλικού και λογισμικού που παρέχονται από έναν πάροχο βάσει των όρων της σύμβασης [67].

Οι μετρήσεις που αφορούν το QoE θα πρέπει να γίνουν μέρος των υλοποιήσεων μετρήσεων που αναπτύχθηκαν αλλά και να μπορούν να αποθηκευτούν και να οπτικοποιηθούν από ένα σύστημα παρακολούθησης δικτύων, στην προκειμένη το εργαλείο WiFiMon. Αυτές οι μετρήσεις αφορούν την κατάσταση του WiFi δικτύου και την συσκευή που χρησιμοποιεί ο χρήστης. Όσον αφορά την κατάσταση του δικτύου μερικές από τις μετρήσεις που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν είναι οι ακόλουθες:

- Μετρήσεις για τα φυσικά φαινόμενα που επηρεάζουν το ασύρματο κανάλι (θόρυβος, εξασθένιση και παρεμβολή).
- Μετρήσεις που αφορούν την απόδοση του ασύρματου καναλιού (διακοπές ή θέματα ασφαλείας)
- Μετρήσεις για την ασύρματη χωρητικότητα (ταχύτητα λήψης και μεταφόρτωσης, κάλυψη, εύρος ζώνης, κοινόχρηστοι πόροι)
- Μετρήσεις για την ισχύ του σήματος που επηρεάζεται από την θερμοκρασία, την υγρασία, απόσταση από την κεραία ( Νόμος του Coulomb)

Όσον αφορά την συσκευή που χρησιμοποιεί ο χρήστης μερικές από τις μετρήσεις που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν είναι οι ακόλουθες:

- Μετρήσεις για την υπολογιστική ισχύ της συσκευής, χωρητικότητα αποθήκευσης, δυνατότητα επεξεργαστή κλπ.
- Μετρήσεις για την κεραία της συσκευής ( κέρδος και ευαισθησία)
- Μετρήσεις για την τοποθεσία της συσκευής ( απόσταση από την κεραία εκπομπής κ.α.)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΝΑΦΟΡΕΣ

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΝΑΦΟΡΕΣ

---

- [1] T. Linder, P. Persson, A. Forsberg, J. Danielsson and N. Carlsson, "On using crowd-sourced network measurements for performance prediction," *2016 12th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, Cortina d'Ampezzo, 2016, pp. 1-8.
- [2] Zhijing Li, Ana Nika, Xinyi Zhang, Yanzi Zhu, Yuanshun Yao, Ben Y. Zhao, and Haitao Zheng. 2017. "Identifying Value in Crowdsourced Wireless Signal Measurements". In Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web (WWW '17). International World Wide Web Conferences Steering Committee, Republic and Canton of Geneva, Switzerland, 607-616.
- [3] A. Faggiani, E. Gregori, L. Lenzini, V. Luconi and A. Vecchio, "Smartphone-based crowdsourcing for network monitoring: Opportunities, challenges, and a case study," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 1, pp. 106-113, January 2014.
- [4] Robin Kravets, Hilfi Alkaff, Andrew Campbell, Karrie Karahalios, and Klara Nahrstedt. 2013. "CrowdWatch: enabling in-network crowd-sourcing". In Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Mobile cloud computing (MCC '13).
- [5] F. J. Wu, T. Luo and J. C. J. Liang, "A crowdsourced WiFi sensing system with an endorsement network in smart cities," *2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, Singapore, 2015, pp. 1-2.
- [6] C. Midoglu and P. Svoboda, "Opportunities and challenges of using crowdsourced measurements for mobile network benchmarking a case study on RTR open data," *2016 SAI Computing Conference (SAI)*, London, 2016, pp. 996-1005.
- [7] Andreas Achtzehn, Janne Riihihjärvi, Irving Antonio Barriá Castillo, Marina Petrova, and Petri Mähönen. 2015. "CrowdREM: Harnessing the Power of the Mobile Crowd for Flexible Wireless Network Monitoring". In Proceedings of the 16th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (HotMobile '15).
- [8] Aaron Gember, Aditya Akella, Jeffrey Pang, Alexander Varshavsky, and Ramon Caceres. 2012. "Obtaining in-context measurements of cellular network performance". In Proceedings of the 2012 Internet Measurement Conference (IMC '12).
- [9] Lenin Ravindranath, Calvin Newport, Hari Balakrishnan, and Samuel Madden. 2011. "Improving wireless network performance using sensor hints". In Proceedings of the 8th USENIX conference on Networked systems design and implementation (NSDI'11).



- [10] A. Botta and A. Pescapé, "Monitoring and measuring wireless network performance in the presence of middleboxes," *2011 Eighth International Conference on Wireless On-Demand Network Systems and Services*, Bardonecchia, 2011, pp. 146-149.
- [11] Robert Bern Johnson. 2011. "Evaluating the Use of SNMP as a Wireless Network Monitoring Tool for IEEE 802.11 Wireless Networks". ProQuest / UMI.
- [12] Laurent Paquereau, Brynjar Viken, and Poul Einar Heegaard, "Combining performance monitoring and location data in wireless networks", 2005 Norsk informatikkonferanse (NIK).
- [13] Junxian Huang, Feng Qian, Alexandre Gerber, Z. Morley Mao, Subhabrata Sen, and Oliver Spatscheck. 2012. "A close examination of performance and power characteristics of 4G LTE networks". In Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '12).
- [14] Sanon Chimmanee and Suttisak Jantavongso, "The performance comparison of third generation (3G) technologies of Internet services in Bangkok", 2016 Journal of ICT, 15, No. 1 (June) 2016, pp: 1–31
- [15] Mahesh K. Marina, Valentin Radu, and Konstantinos Balampekos. 2015. Impact of Indoor-Outdoor Context on Crowdsourcing based Mobile Coverage Analysis. In Proceedings of the 5th Workshop on All Things Cellular: Operations, Applications and Challenges (AllThingsCellular '15).
- [16] U. Goel, M. P. Wittie, K. C. Claffy and A. Le, "Survey of End-to-End Mobile Network Measurement Testbeds, Tools, and Services," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 1, pp. 105-123, Firstquarter 2016.
- [17] Australian Competition & Consumer Commission (ACCA), "Broadband performance monitoring and reporting in the Australian context", 2013.
- [18] A. S. Khatouni *et al.*, "Speedtest-Like Measurements in 3G/4G Networks: The MONROE Experience," *2017 29th International Teletraffic Congress (ITC 29)*, Genoa, 2017, pp. 169-177.
- [19] Settapong Malisuwan, Dithdanai Milindavani, and Wassana Kaewphanuekrungsi, "Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) of the 4G LTE Perspective", *International Journal of Future Computer and Communication*, Vol. 5, No. 3, June 2016
- [20] Nasir, Muhammad Umar, "Monitoring Network Congestion in Wi-Fi, based on QoE in HTTP Video Steaming Services", *Eit.lth.se*, 2016.
- [21] Sundaresan S., Feamster N., Teixeira R., "Measuring the Performance of User Traffic in Home Wireless Networks". In: Mirkovic J., Liu Y. (eds) *Passive and Active Measurement. PAM 2015. Lecture Notes in Computer Science*, vol 8995. Springer, Cham

- [22] Swinky Mann, "Dense WiFi: Challenges and Performance Measurements", *Cse.iitb.ac.in*, 2016.
- [23] Diego Passos, Douglas Vidal Teixeira, Débora C. Muchaluat-Saade, Luiz C. Schara Magalhães, and Célio V. N. Albuquerque, "Mesh Network Performance Measurements", *Midiacom.uff.br*, 2005.
- [24] L. Simić, J. Riihijärvi and P. Mähönen, "Measurement study of IEEE 802.11ac Wi-Fi performance in high density indoor deployments: Are wider channels always better?" *2017 IEEE 18th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, Macau, 2017, pp. 1-9.
- [25] Kaup, Fabian, Florian Jomrich and David Hausheer. "Demonstration of NetworkCoverage – A Mobile Network Performance Measurement App." (2014).
- [26] Xian Chen, Ruofan Jin, Kyoungwon Suh, Bing Wang, and Wei Wei. 2012. "Network performance of smart mobile handhelds in a university campus WiFi network". In Proceedings of the 2012 Internet Measurement Conference (IMC '12).
- [27] WU, DAOYUAN; Li, Weichao; Chang, Rocky K. C.; and GAO, Debin. "MopEye: Monitoring Per-app Network Performance with Zero Measurement Traffic". (2015). 11th International Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies (CoNEXT 2015). Research Collection School of Information Systems.
- [28] B. G. Guulay, "CheesePi: Measuring Home Network Performance Using Dedicated Hardware Devices", Dissertation, 2015.
- [29] Aniket Mahanti, Niklas Carlsson, Carey Williamson, and Martin Arlitt. 2010. "Ambient interference effects in wi-fi networks". In Proceedings of the 9th IFIP TC 6 international conference on Networking (NETWORKING'10), Mark Crovella, Laura Marie Feeney, Dan Rubenstein, and S. V. Raghavan (Eds.).
- [30] W. Li, R. K. P. Mok, D. Wu and R. K. C. Chang, "On the accuracy of smartphone-based mobile network measurement," *2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, Kowloon, 2015, pp. 370-378.
- [31] Ashish Patro, Srinivas Govindan, and Suman Banerjee. 2013. "Observing home wireless experience through WiFi APs". In Proceedings of the 19th annual international conference on Mobile computing & networking (MobiCom '13).
- [32] Ashkan Nikravesh, David R. Choffnes, Ethan Katz-Bassett, Z. Morley Mao, and Matt Welsh. 2014. "Mobile Network Performance from User Devices: A Longitudinal, Multidimensional Analysis". In Proceedings of the 15th International Conference on Passive and Active Measurement - Volume 8362 (PAM 2014), Michalis Faloutsos and Aleksandar Kuzmanovic (Eds.)
- [33] J. Pacheco de Carvalho, H. Veiga, C. Ribeiro Pacheco and A. Reis, "Performance Evaluation of Laboratory Wi-fi Ieee 802.11a Wpa Point-to-multipoint Links", 2013.
- [34] J. Shi, L. Meng, A. Striegel, C. Qiao, D. Koutsonikolas and G. Challen, "A walk on the client side: Monitoring enterprise Wifi networks using smartphone channel scans",

IEEE INFOCOM 2016 - The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications, San Francisco, CA, 2016, pp. 1-9.

- [35] Mingzhe Li, Mark Claypool, and Robert Kinicki, "WBest: A Bandwidth Estimation Tool for IEEE 802.11 Wireless Networks", In Proceedings of 33rd IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN) Montreal, Quebec, Canada, October 14-16, 2008
- [36] Dongsu Han and Srinivasan Seshan, "A Case for World-wide Network Measurement using Smartphones and Open Marketplaces", February 2011, CMU-CS-11-106
- [37] Ricciato, Fabio, Philipp Svoboda, J. Motz, Wolfgang Fleischer, M. Sedlak, Martin Karner, René Pilz, Peter Romirer-Maierhofer, Eduard Hasenleithner and W. Jäger. "Traffic monitoring and analysis in 3G networks: lessons learned from the METAWIN project." *Elektrotechnik und Informationstechnik* 123 (2006): 288-296.
- [38] Nikraves, Ashkan, Hongyi Yao, Shichang Xu, David R. Choffnes and Zhuoqing Morley Mao. "Mobilyzer: An Open Platform for Controllable Mobile Network Measurements." *MobiSys* (2015).
- [39] "PostgreSQL: The world's most advanced open source database", *Postgresql.org*. [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [40] "phpPgAdmin", *Phppgadmin.sourceforge.net*. [Online]. Available: <http://phppgadmin.sourceforge.net/doku.php>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [41] "Grafana - The open platform for analytics and monitoring", *Grafana Labs*. [Online]. Available: <https://grafana.com/>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [42] T. Telegraf, T. Telegraf, T. Detection, T. Detection, M. Denver, P. Labs, M. Denver, C. developers, C. developers, M. SF, I. HQ and M. SF, "InfluxData (InfluxDB) | Time Series Database Monitoring & Analytics", *InfluxData*, 2018. [Online]. Available: <https://www.influxdata.com/>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [43] "Google Code Archive - Long-term storage for Google Code Project Hosting.", *Code.google.com*. [Online]. Available: <https://code.google.com/archive/p/nettest/>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [44] "fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/nettest/nettest.html>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [45] "fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/nettest/nettest-swfobject.js>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [46] "fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2018. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/tree/master/nettest/images>. [Accessed: 28- Feb- 2018].

- [47]"fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2018. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/nettest/runtest.js>. [Accessed: 28-Feb- 2018].
- [48]"this, is boomerang", *Yahoo.github.io*, 2018. [Online]. Available: <https://yahoo.github.io/boomerang/doc/>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [49]"Use cases for boomerang", *Yahoo.github.io*, 2018. [Online]. Available: <https://yahoo.github.io/boomerang/doc/use-cases.html>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [50]"Google jsapi", *Google.com*. [Online]. Available: <https://www.google.com/jsapi>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [51]"fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/nettest/jquery-1.11.2.min.js>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [52]"fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/boomerang/boomerang-trigger.js>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [53]"fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/boomerang/boomerang.js>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [54]"fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/boomerang/bw.js>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [55]"fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/boomerang/rt.js>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [56]"fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/tree/master/boomerang/images>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [57]"fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/boomerang/boomerang-trigger.js>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [58]"HTML5 Speedtest", *Speedtest.fdossena.com*, 2017. [Online]. Available: <http://speedtest.fdossena.com/>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [59]"fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: <https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/speedworker/speedworker.html>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [60]"fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available: [https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/speedworker/speedtest\\_worker.js](https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/speedworker/speedtest_worker.js). [Accessed: 28- Feb- 2018].

- [61] "fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available:  
<https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/speedworker/empty.dat>.  
[Accessed: 28- Feb- 2018].
- [62] "fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available:  
<https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/speedworker/garbage.php>.  
[Accessed: 28- Feb- 2018].
- [63] "fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available:  
<https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/speedworker/getIP.php>.  
[Accessed: 28- Feb- 2018].
- [64] "fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2017. [Online]. Available:  
<https://github.com/fotisolgr/Netspeed/blob/master/speedworker/speedworker-post.js>.  
[Accessed: 28- Feb- 2018].
- [65] "Flash Speedtest.net by Ookla - The Global Broadband Speed Test", *Speedtest.net*.  
[Online]. Available: <http://www.speedtest.net/>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [66] "fotisolgr/Netspeed", *GitHub*, 2018. [Online]. Available:  
<https://github.com/fotisolgr/Netspeed/tree/master/%CE%93%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82>. [Accessed: 28- Feb- 2018].
- [67] [https://en.wikipedia.org/wiki/Quality\\_of\\_experience](https://en.wikipedia.org/wiki/Quality_of_experience)
- [68] Mogul J.C., "IP Network Performance", 1993, in *Internet System Handbook*, Lynch, D.C. and Rose, M.T. (eds), pp. 575-675

---

## ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

---

- **2G:** Second Generation
- **3G:** Third Generation
- **4G:** Fourth Generation
- **ACI:** Adjacent Channel Interference
- **AP:** Access Point
- **API:** Application Programming Interface
- **DHCP:** Dynamic Host Configuration Protocol
- **DNS:** Domain Name System
- **DVM:** Dalvik Virtual Machine
- **FTP:** File Transfer Protocol
- **GUI:** Graphical User Interface
- **HTTP:** Hypertext Transfer Protocol
- **ICMP:** Internet Control Message Protocol
- **IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers
- **IP:** Internet Protocol
- **ISM:** Industrial, Scientific and Medical
- **KPI:** Key Performance Indicator
- **LAN:** Local Area Network
- **LTE:** Long-Term Evolution
- **MAC:** Media Access Control
- **ML:** Machine Learning
- **NAT:** Network Address Translation
- **NMS:** Network Management Systems
- **NOC:** Network Operations Center
- **NREN:** National Research and Education Network
- **OLSR:** Optimized Link State Routing Protocol
- **OSI:** Open Systems Interconnection
- **P2P:** Point to Point
- **PTMP:** Point-to-Multipoint communication
- **PTP:** PET Transfer Protocol
- **QoE:** Quality of Experience
- **QoS:** Quality of Service
- **RF:** Radio Frequency
- **ROI:** Return on Investment
- **SNMP:** Simple Network Management Protocol
- **TCP:** Transmission Control Protocol
- **TPDU:** Transport Protocol Data Unit
- **UI:** User Interface

- **VoIP:** Voice over Internet Protocol
- **VPN:** Virtual Private Network
- **WLAN:** Wireless Local Area Network
- **WPA:** Wi-Fi Protected Access
- **WPM&V:** Wireless Performance Monitoring & Verification
- **WTP:** Wireless Transaction Protocol

**Ημερομηνία:**

... / ... / ...

**Υπογραφή:**

.....