

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων



Πτυχιακή εργασία

“ Μελέτη, σχεδιασμός, εφαρμογή και εκτίμηση ενός
ασύρματου δικτύου τοπικής περιοχής βασισμένο στο
πρότυπο 802.11n. ”

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Διακάκη Δέσποινα

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: / /2009

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. Ευάγγελος Πάλλης

*Στην οικογένεια μου,
με ιδιαίτερη εκτίμηση και
αγάπη.*

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, η οποία υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων (ΠΑΣΙΦΑΗ) του Τ.Ε.Ι Κρήτης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους οι οποίοι βοήθησαν στην περάτωση της, και που μου συμπαραστάθηκαν σε αυτήν την προσπάθεια.

Κατά κύριο λόγο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου από το Τ.Ε.Ι Κρήτης, Δρ. Πάλλη Ευάγγελο, ο οποίος με υποστήριξε καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής εργασίας και μου εξασφάλισε την παροχή πλούσιας υλικοτεχνικής υποδομής, πολύτιμης για μια μελέτη όπως αυτή.

Θα ήθελα, επιπλέον, να εκφράσω την εκτίμηση μου προς τον υποψήφιο διδάκτορα Μαρκάκη Ευάγγελο, για την καθοδήγηση του προς την επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, καθώς επίσης και στους Δρ. Μαστοράκη Γεώργιο και στον υποψήφιο διδάκτορα Σιδέρη Ανάργυρο, για την επιστημονική και τεχνολογική υποστήριξη που μου παρείχαν, όποτε αυτό ήταν αναγκαίο.

Τέλος, ευχαριστώ όλους εκείνους που ήταν δίπλα μου σε όλη αυτή την προσπάθεια παρέχοντας απεριόριστη ψυχολογική υποστήριξη και κατανόηση.

Ηράκλειο, Νοέμβριος 2009

Δέσποινα Διακάκη

Περίληψη

Ο βασικός σκοπός αυτής της πτυχιακής είναι να καθορίσει, να αναπτύξει, να επιδείξει και να αξιολογήσει ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN), ικανό να παρέχει πρόσβαση σε αμφίδρομες IP πολυμεσιές υπηρεσίες. Το δίκτυο κάνει χρήση του προτύπου IEEE 802.11n, το οποίο μπορεί να παρέχει συνεχή επικοινωνία μεταξύ ενσύρματων και ασύρματων LANs (βασισμένα στην τεχνολογία Ethernet), και επιπλέον καθιστά ικανή τη λήψη κάτω από φορητές και κινούμενες τερματικές συσκευές. Προκειμένου να γίνει μέγιστη εκμετάλλευση των διαθέσιμων δικτυακών πόρων, η πτυχιακή εργασία ερευνά μια σειρά μεθόδων και τεχνικών διανομής (π.χ. multicast, unicast, broadcast), κατά την παροχή διαδραστικών οπτικοακουστικών υπηρεσιών.

Abstract

This final's project basic aim is to determine, develop, demonstrate and evaluate a wireless local network (WLAN), capable of providing access to interactive IP multimedia services. The network uses the standard IEEE 802.11n, which can provide continuous communication between wired and wireless LANs (based on technology Ethernet), and also enables the taking down and moving mobile terminal. In order to make maximum use of available network resources, the thesis investigates a series of techniques and methods of distribution (eg multicast, unicast, broadcast), in providing interactive audiovisual services.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Περιεχόμενα.....	6
1. Εισαγωγή.....	10
1.1. Γενικά.....	10
1.2. Αντικείμενο εργασίας – Οργάνωση.....	12
2. Θεωρητικό υπόβαθρο.....	13
2.1. Ιστορία του Standard IEEE 802.11.....	13
2.2. Τροποποιήσεις στα πρότυπα 802.11 με την 11n τροποποίηση.....	16
3. Το 802.11n.....	18
3.1. Παρακολούθηση των Παραγόντων.....	18
3.2. 802.11n: Η Βάση της Τεχνολογίας.....	21
3.3. Ραγδαία Μεταβολή.....	22
3.4. Χαρακτηριστικά 802.11n.....	23
4. Παρουσίαση και Υλοποίηση Αρχιτεκτονικής Δικτύου Πειραματικών Μετρήσεων.....	28
4.1. Σχεδιασμός Συστήματος.....	28
4.2. Περιγραφή πειραματικής Διαδικασίας.....	30
4.3. Χαρακτηριστικά απόδοσης.....	32
4.3.1. Η Ρυθμοαπόδοση (Throughput).....	33
4.3.2. Η Καθυστέρηση (Delay – Latency).....	34
4.3.3. Το Τρέμουλο (Jitter).....	38
4.3.4. Οι Απώλειες (Losses).....	39
4.4. Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν.....	41
5. Παρουσίαση και Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	43
5.1. Σενάριο 1ο.....	43
5.1.1. Μέρος 1ο.....	43
5.1.2. Μέρος 2ο.....	73
5.1.3. Μέρος 3ο.....	91
5.2. Σενάριο 2ο.....	133
5.2.1. Μέρος 2ο.....	133
5.2.2. Μέρος 2ο.....	154
5.2.3. Μέρος 3ο.....	171
5.3. Παρουσίαση Στατιστικών των Παραμέτρων.....	210
5.3.1. Στατιστικά Throughput.....	210
Παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία.....	211
5.3.2. Στατιστικά Round Trip Time.....	213
5.3.3. Στατιστικά Retransmitted Packets.....	215
5.3.4. Στατιστικά One Way Delay.....	217
5.3.5. Στατιστικά Smooth Jitter.....	219
5.3.6. Στατιστικά Total Packet Losses.....	221

<u>6. Conclusion.....</u>	<u>223</u>
<u>7. Future Work.....</u>	<u>224</u>
<u>8. Γλωσσάριο.....</u>	<u>225</u>
<u>9. Παράρτημα.....</u>	<u>227</u>
<u>10. Βιβλιογραφία</u>	<u>237</u>

1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Ο σημερινός τρόπος ζωής απαιτεί άμεση και ταχεία πρόσβαση σε πληροφορίες και δεδομένα για τον συνεχώς κινούμενο χρήστη. Αυτό το νέο δυναμικό περιβάλλον έχει δημιουργήσει μια διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για καλύτερες, απλούστερες, πιο αποτελεσματικές και παράλληλα πιο οικονομικές μεθόδους ασύρματης τοπικής πρόσβασης.

Με τον όρο τοπική πρόσβαση εννοούμε την πρόσβαση στο Διαδίκτυο και στο δημόσιο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο και την παροχή άλλων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (π.χ. τηλεφωνία, τηλεδιασκέψεις, κλπ) για τον τελικό χρήστη. Η ασύρματη τοπική πρόσβαση επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας μιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής ασύρματων δικτύων. Κύριο χαρακτηριστικό της υποδομής αυτής είναι ότι τα επί μέρους στοιχεία της μεταδίδουν τα δεδομένα από και προς τον τελικό χρήστη ασύρματα.

Η ανάπτυξη σημείων ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης (γνωστά και ως Wireless hotspots) σε χώρους με σημαντικό αριθμό συγκεντρωσης χρηστών / επισκεπτών αποτελεί μια από τις πλέον δυναμικά αναπτυσσόμενες διεθνείς πρακτικές. Το σχετικά μικρό κόστος υλοποίησης σε συνδυασμό με την περιορισμένη τεχνολογική πολυπλοκότητα που εμπεριέχονται σε μια τέτοια λύση, την καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική για επιχειρήσεις που έχουν στόχο να προσφέρουν νέες υπηρεσίες στους πελάτες τους και ενδεχομένως να αυξήσουν το πελατολόγιο και τον κύκλο εργασιών τους.

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα λειτουργούν με κανόνες ανάλογους εκείνων που ισχύουν για τα ασύρματα λειτουργούν με κανόνες ανάλογους εκείνων που ισχύουν για τα ασύρματα τηλέφωνα που χρησιμοποιούμε στο σπίτι. Η μετάδοση δεδομένων γίνεται ελεύθερα, όπως ακριβώς και η μετάδοση φωνής από τη συσκευή ενός ασύρματου τηλεφώνου. Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση χρηστών μέσα σε κτίριο ή σε ομάδα γειτονικών κτιρίων χωρίς τη χρήση καλωδίων. Η εφαρμογή των Wireless hotspots περιορίζεται σε τοπικό επίπεδο, διαφέροντας έτσι από τις ασύρματες λύσεις ευρείας κάλυψης, οι οποίες επεκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις με τη χρήση κυψελοειδούς ή δορυφορικής τεχνολογίας.

Συμπληρωματικά, ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless Local Area Network – WLAN) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επέκταση ή εναλλακτική λύση ενός κοινού ενσύρματου δικτύου, επιτρέποντας την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων ακόμη και στον εν κινήσει χρήστη.

Διάφορες τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί και τυποποιηθεί για την ασύρματη τοπική πρόσβαση. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι οι Bluetooth, HomeRF, και IEEE 802.11. Η τελευταία αποτελεί και την πλέον διαδεδομένη τεχνολογία για την ανάπτυξη ασύρματων τοπικών δικτύων, καθότι παρέχει τις υψηλότερες ονομαστικές ακτίνες κάλυψης (δηλ. μεγαλύτερη εμβέλεια), ενώ διατηρεί την απλότητα και την αποτελεσματικότητα των υποκειμενικών πρωτόκολλων επικοινωνίας.

Στα βασικά χαρακτηριστικά της ασύρματης δικτύωσης μέσω του προτύπου IEEE 802.11 περιλαμβάνονται:

- ✓ Το μικρό κόστος του εξοπλισμού
- ✓ Η ευκολία με την οποία μπορεί να υλοποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί μια σχετική εγκατάσταση, καθώς και
- ✓ Η ποιότητα / ταχύτητα της ασύρματης σύνδεσης.

- ✓ Τα παραπάνω υπήρξαν και οι σημαντικότεροι λόγοι για τους οποίους η τεχνολογία IEEE 802.11 χρησιμοποιείται επιτυχώς παγκοσμίως με το όνομα Wi-Fi (Wireless Fidelity).

Η ασύρματη τοπική πρόσβαση στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο γίνεται από τα «σημεία πρόσβασης» (access points) του hotspot. Αυτά αποτελούν συσκευές μικρού κόστους, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους όσο και με το τοπικό δίκτυο επιχείρησης, το δίκτυο πάροχου διαδικτυακών υπηρεσιών (Internet Service Provider –ISP) ή και ακόμη και το οικιακό δίκτυο, το οποίο συνδέεται στο Internet μέσω μιας dial-up PSTN, ISDN ή ADSL γραμμής.

Ο ρόλος των access points είναι η υλοποίηση της ασύρματης σύνδεσης με τον τερματικό εξοπλισμό (δηλ. τις κάρτες wi-fi για laptops, PDAs, κλπ). Ειδικότερα, ο τελικός χρήστης πρέπει να διαθέτει κάποια συσκευή με κατάλληλη κάρτα για επικοινωνία με το access point.

Σταδιακά, και καθώς το πρότυπο Wi-Fi γίνεται ολοένα και περισσότερο δημοφιλές, συσκευές που προορίζονται πρωτίστως για εφαρμογές με βάση το παραπάνω πρότυπο κάνουν όλο και συχνότερα την εμφάνισή τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα νέα ασύρματα τηλέφωνα τα οποία υποστηρίζουν VoIP (Voice over IP, δηλαδή τηλεφωνία βασισμένη στο πρωτόκολλο του Internet) πάνω από δίκτυα τεχνολογίας Wi-Fi. Από τους υπολογιστές παλάμης (PDAs) και τα κινητά τηλέφωνα, τα laptops, τα tablet PCs, έως τους εκτυπωτές και ένα πλήθος άλλων περιφερειακών συσκευών, όλο και περισσότερα προϊόντα εμφανίζονται καθημερινά να υποστηρίζουν το παραπάνω πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Η χρήση των ασύρματων δικτύων αποτελεί την ιδανική λύση για τη γρήγορη υλοποίηση ενός τοπικού δικτύου, για τη διασύνδεση κτιρίων που βρίσκονται σε μικρή σχετικά απόσταση ή και για τη πρόσβαση στο «τελευταίο μίλι» (last mile access). Η εφαρμογή δικτύων υπολογιστών από ένα συνεχώς αυξανόμενο αριθμό επιχειρήσεων σε όλο το φάσμα της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς και η ραγδαία ανάπτυξη του Internet και των διαφόρων online υπηρεσιών, αποδεικνύουν τη μεγάλη σημασία που έχει στη σημερινή οικονομία η δυνατότητα πρόσβασης σε μια πλειάδα από πληροφορίες χωρίς γεωγραφικούς περιορισμούς.

Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα πρόσβασης σε δεδομένα χωρίς τους περιορισμούς των καλωδίων και διαφόρων πολύπλοκων διαδικασιών εγκατάστασης. Ως κυριότερα πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων σε σύγκριση με το «παραδοσιακό» Ethernet μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

- ✓ Δυνατότητα κίνησης, τα wireless hotspots προσφέρουν στους εργαζόμενους πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο (real – time access) σε δεδομένα οπουδήποτε κι αν βρίσκονται και υπάρχει κάλυψη από το ασύρματο δίκτυο.
- ✓ Απλή και γρήγορη εγκατάσταση, η εγκατάσταση ενός wireless hotspot μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα χωρίς τους περιορισμούς της καλωδίωσης.
- ✓ Εύκολη προσαρμογή, η ασύρματη τεχνολογία επιτρέπει τη χρήση του δικτύου σε χώρους που δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλώδια (π.χ. διατηρητέα κτίρια).

- ✓ Μειωμένο κόστος χρήσης, ενώ το αρχικό κόστος για το hardware που θα υποστηρίξει ένα ασύρματο δίκτυο φαίνεται αρχικά μεγαλύτερο από αυτό ενός ενσύρματου, μακροπρόθεσμα τα οφέλη είναι μεγαλύτερα.
- ✓ Δυνατότητα επέκτασης, οι τοπολογίες μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν και περιλαμβάνουν από απλά ισότιμα δίκτυα κατάλληλα για μικρό αριθμό χρηστών, έως πλήρως εκτεταμένα δίκτυα με δυνατότητα περιαγωγής (roaming) που μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλο αριθμό χρηστών σε μεγάλες αποστάσεις.

1.2. Αντικείμενο εργασίας – Οργάνωση

Η Πτυχιακή αυτή εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη, σχεδίαση, υλοποίηση και αξιολόγηση ασύρματης δικτυακής υποδομής βασισμένης στο πρότυπο IEEE 802.11n.

Χτίστηκε ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο WLAN το οποίο παρέχει την ευρεία πρόσβαση σε αμφίδρομες IP υπηρεσίες. Παρείχε μια συνεχής επικοινωνία μεταξύ ενσύρματων και ασύρματων LANs.

Καθ' όλη τη διάρκεια των πειραματικών λήψεων / αποστολών χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά τυχαία demo πακέτα με κύριο σκοπό την εξέταση των χαρακτηριστικών τους κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας. Μέσω μιας σειράς πειραμάτων που θα γίνουν καλύπτοντας διαφορετικά πιθανά σενάρια. Η επικοινωνία πραγματοποιήθηκε με διαφορετικό πλήθος χρηστών σε συγχρονισμένη και ασύγχρονη επικοινωνία (TCP και UDP), σε κοντινή απόσταση μεταξύ του εξυπηρετητή και χρηστών και εν συνεχεία σε απομακρυσμένη.

Πραγματοποιείται ανάλυση των μετρήσεων που θα προκύψουν και θα εκτιμηθούν τα αποτελέσματα στα χαρακτηριστικά του δικτύου. Τα σενάρια των πειραματικών μετρήσεων που θα υλοποιηθούν θα μας δώσουν αποτελέσματα σε μετρήσιμα μεγέθη για να μπορέσουμε να τα αξιολογήσουμε με αντικειμενικά κριτήρια όπως είναι useful Throughput (ωφέλιμος ρυθμός διαμεταγωγής), RTT (Round Trip Time - χρόνος πλήρους διαδρομής), One Way Delay (μονόδρομη καθυστέρηση) και Losses (Απώλειες).

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1. Ιστορία του Standard IEEE 802.11

Με την εμφάνιση μεγάλης ταχύτητας συνδέσεων στο Διαδίκτυο όπως το DSL και τα καλωδιακά μόντεμ στη δεκαετία του '90 (που παρέχουν ποσοστά δεδομένων σε διάφορα Mbps, έναντι των ποσοστών 56 Kbps των dial up modems), καθώς επίσης και τη δημοτικότητα των φορητών υπολογιστών στο γραφείο, προέκυψε μεγάλο ενδιαφέρον για την παροχή πρόσβασης μεγάλων ασύρματων δικτύων [1- A. Molish, “Wireless Communications,” Wiley, West Sussex, 2005].

Αρχικά, πολλές επιχειρήσεις άρχισαν να αναπτύσσουν ασύρματα προϊόντα προσπαθώντας να επιτύχουν αυτές τις μεγάλες ταχύτητες. Εντούτοις, αυτά τα προϊόντα έπασχαν από πολλά ζητήματα, συμπεριλαμβανομένου του υψηλού κόστους παραγωγής και του χαμηλού όγκου παραγωγής, καθώς επίσης και το ασυμβίβαστο μεταξύ των προϊόντων και των προμηθευτών [2- A. Goldsmith, “Wireless Communications,” Cambridge, New York, 2005].

Σε μια προσπάθεια να επιλυθούν αυτά τα προβλήματα αναπτύχθηκε το Standard IEEE 802.11 το οποίο ολοκληρώθηκε το 1997. Παρείχε τρεις αρχικές προδιαγραφές για το φυσικό στρώμα (PHY) [3 – B. O’ Hara and A. Petrick, “IEEE 802.11 Handbook,” 2nd ed. IEEE Press, New York, 2005]. Δύο από τις τρεις προδιαγραφές περιγράφηκαν σε radio-based PHYs με έναν μεταφορέα 2.4 GHz. Το πρώτο ήταν ένα frequency hopping spread spectrum (FHSS) PHY. Το άλλο ήταν ένα direct - sequence spread spectrum (DSSS) PHY. Τέλος, ένα υπέρυθρο PHY (IR), που λειτουργεί στη ζώνη βάσης.

Τα ανωτέρω PHY στρώματα όλα είχαν ως σκοπό να υποστηρίξουν τα ποσοστά 1Mbps (Megabits ανά δευτερόλεπτο) και 2Mbps. Το δύο radio - based PHYs είχαν σχεδιαστεί για λειτουργία στα 2.4 GHz, τα οποία είναι μέρος του χωρίς άδεια φάσματος συχνότητας γνωστού ως ζώνη ISM (Industrial, Scientific, and Medical) band [1], [2]. Αν και αυτό το φάσμα συχνότητας είναι χωρίς άδεια (δηλ., μια άδεια της FCC δεν απαιτείται για τη χρήση της), αυτό καθιστά το φάσμα συχνότητας ελκυστικό στους υπεύθυνους για την ανάπτυξη επίσης άλλων συστημάτων, που οδηγούν στην παρέμβαση ανταγωνιστών (και των χωρίς άδεια) υπηρεσιών σε αυτήν την ζώνη (δηλ., Bluetooth, WiMAX).

Μέχρι το 1999, προστέθηκαν δύο τροποποιήσεις στα IEEE 802.11 πρότυπα. Η IEEE 802.11b (11b) τροποποίηση περιέγραφε μια επέκταση στο προηγούμενος-καθορισμένο PHY με DSSS, που παρέχει πρόσθετα ποσοστά δεδομένων μέχρι 11 Mbps, χρησιμοποιώντας ένα σχέδιο διαμόρφωσης γνωστό ως διαμόρφωση συμπληρωματικού-κώδικα **complementary-code keying** (CCK).

Εν τω μεταξύ, η άλλη τροποποίηση, IEEE 802.11a (11a), διευκρίνισε ένα νέο radio-based PHY σε 5.2 GHz χρησιμοποιώντας ένα σχέδιο μετάδοσης γνωστό ως Orthogonal Frequency - Division Multiplexing (OFDM), επιτρέποντας ταχύτητες δεδομένων μέχρι 54 Mbps. Αν και το 802.11b μπορεί να εμφανιστεί σαν ένα από τα παλαιότερα πρότυπα

(βασισμένα σε ένα παλαιότερο PHY, και τα προϊόντα 11a εισήχθησαν μετά από το 11b), η τροποποίηση για 802.11a προτάθηκε πριν από 802.11b.

Αν και το IEEE 802.11b PHY είναι ικανό των 11 Mbps, το επαληθευμένο throughput, στην πράξη, δεν υπερβαίνει τα 5 Mbps (λόγω των γενικών εξόδων πακέτων, των καθυστερήσεων, κ.λπ.) που είναι ανεπαρκείς για πολλές (in particular, video - based) εφαρμογές. Κατά συνέπεια, το ενδιαφέρον αυξήθηκε στην ανάπτυξη IEEE 802.11a των προϊόντων, τα οποία ήταν σε θέση να αποδώσουν throughput επάνω από 20 Mbps (δηλ., για το μισό ποσοστό 54 Mbps PHY δεδομένων).

Εντούτοις, τα πρότυπα IEEE 802.11a πάσχουν από το γεγονός ότι η χρήση του περιγράφεται από έναν μεταφορέα στα 5.2 GHz για το PHY. Αν και αυτό επιτρέπει τη συνύπαρξη 11b και 11a δικτύων χωρίς «over - the - air» παρέμβαση, το κόστος παραγωγής των συσκευών στο εύρος των 2.4 GHz και 5.2 GHz (για να υποστηρίξουν και τα δύο πρότυπα) έγινε ένα εμπόδιο αποτρέποντας τη μετάβαση από το 802.11b στα προϊόντα του 802.11a στην αγορά. Επιπλέον, η χρήση του μεταφορέα στα 5.2 GHz στην Ευρώπη ήταν γενικά περιορισμένη, καθιστώντας το πρότυπο IEEE 802.11a δημοφιλές μόνο στη Βόρεια Αμερική.

Για να επιλυθούν αυτά τα προβλήματα, αναπτύχθηκε το πρότυπο IEEE 802.11g. Αυτό το πρότυπο καθορίζει ένα στρώμα PHY με παρόμοιες προδιαγραφές με εκείνες του IEEE 802.11a (χρήση OFDM, PHY rates μέχρι 54 Mbps), αλλά βασίζεται σε έναν μεταφορέα στα 2.4 GHz. Η κύρια πρόκληση στην ανάπτυξη αυτών των προτύπων κυρίως περιλήφθηκε ως προς την εξασφάλιση προς τα πίσω συμβατότητας με τα πρότυπα IEEE 802.11b (συγκεκριμένα, που επιτρέπουν σε συσκευές 11b να ενωθούν με 11g δίκτυα).

Αν και το IEEE 802.11g καλύπτει την καλή εκτέλεση στις περισσότερες ανάγκες των χρηστών, μερικά πιθανά πρότυπα χρήσης, όπως η υποστήριξη του ταυτόχρονου, υψηλής ποιότητας βίντεο που ρέει για τους πολλαπλάσιους χρήστες (παραδείγματος χάριν, που καθιερώνουν τις πολλαπλάσιες συνόδους συνεδριάσεων μέσω video για ένα δίκτυο WLAN) μπορούν να οδηγήσουν στην παροχή μιας ενδιαφέρουσας gigabit - type throughput σε ένα ασύρματο τοπικό LAN. Τα πρότυπα IEEE 802.11n μας φέρνουν πιο κοντά προς αυτόν τον στόχο, εκτός από τη βελτίωση της λειτουργίας και της ποιότητας της υπηρεσίας quality-of-service (QoS).

Ανάπτυξη του IEEE 802.11n τροποποίησης στα πρότυπα άρχισε στα τέλη του 2003, όταν η IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) οργάνωσε την ομάδα εργασίας TGn (task group) για να αρχίσει την εργασία για την προδιαγραφή του. Αρχικά, ο στόχος ήταν να επιτραπουν ποσοστά τουλάχιστον 100 Mbps, διπλασιάζοντας ουσιαστικά το υπάρχον μέγιστο ποσοστό των 54 Mbps των προδιαγραφών 802.11a/g. Σε πρώτο στάδιο, πολλές επιχειρήσεις hardware και δικτύωσης είχαν προτάσεις για αυτήν την νέα τροποποίηση, με συνέπεια να φτάσουν τουλάχιστον στις 61 προτάσεις, οι οποίες και υποβλήθηκαν στην IEEE [4 - J.Farwell, "Wi-Fi on Steroids," PC Today, July 2006]. Εντούτοις μέχρι τον Φεβρουάριο του 2005, αυτά τα σχέδια πρότασης περιορίστηκαν σε δύο, και τα δύο με ισχυρή υποστήριξη από τις διάφορες επιχειρήσεις.

Η μια πρόταση ήταν από την WWiSE (World Wide Spectrum Efficiency) group, η οποία περιλάμβανε επιχειρήσεις όπως η Airgo Networks, Broadcom, η Motorola, και η Texas Instruments. Αυτή η πρόταση πρότεινε τη χρήση των καναλιών με παρόμοιο εύρος ζώνης - bandwidth στα υπάρχοντα δίκτυα 11b/g (20 MHz) καθώς επίσης και τη χρήση του πολλαπλάσιου παραλήπτη και εκπομπού των κεραίων, ή MIMO, για να επιτύχει τα ποσοστά throughput περίπου στα 135 Mbps σε πραγματικές συνθήκες (real-world).

Η άλλη πρόταση ήταν από την ομάδα TGn Sync group, η οποία θεωρήθηκε από τις Atheros Communications, Intel, Philips, Sony, μεταξύ των άλλων. Η πρόταση πρότεινε το εύρος ζώνης στα 40 MHz, ουσιαστικά το διπλό throughput. Επιπλέον, άλλες, περισσότερο περίπλοκες τεχνικές επεξεργασίας επέτρεψε στις συσκευές της TGn Sync να διαβιβάζει δεδομένα μέχρι και στα 315 Mbps.

Οι δύο προτάσεις εξελίχθηκαν μέσα στους επόμενους δύο μήνες για να διαμορφωθούν οι κύριες ανταγωνιστικές προτάσεις για το πρότυπο IEEE 802.11n. Και οι δύο προσφερόμενες παροχές για τις επικοινωνίες MIMO με μέχρι τέσσερις αποστολές κεραιές, και τέσσερις λαμβάνοντες κεραιές. Και οι δύο υποστήριζαν ένα προαιρετικό τρόπο εύρους ζώνης 40 MHz. Οι δύο προτάσεις διέφεραν επίσης στις περιοχές όπως στα παρεμβάλλοντα δεδομένα, στην κωδικοποίηση space-time, και στις εκτιμήσεις προσέγγισης καναλιών. Η πρόταση TGn Sync έχει επίσης τις περιπτώσεις για beamforming μετάδοση και τη χωρική διάδοση.

Λόγω της σημαντικής υποστήριξης σε κάθε πρόταση που επεξεργαζόταν, καμία πρόταση δεν ήταν σε θέση να λάβει το ψήφο πλειοψηφίας που απαιτούνταν για έγκριση προς το IEEE 802.11n πρότυπο.

Τέλος, τον Ιούλιο του 2005, μια ομάδα που αποτελείται από τα μέλη και των δύο ομάδων προτάσεων συμφώνησε να διαμορφώσει μια κοινή ομάδα προτάσεων, η οποία υπέβαλε μια νέα πρόταση στην ομάδα εργασίας TGn Ιανουαρίου 2006. Αυτή η πρόταση, καλούμενη η κοινή πρόταση TGn, συνδύασε τα οφέλη των άλλων προτάσεων, και αποτέλεσε τη βάση των τρεχόντων σχεδίων για τα πρότυπα 802.11n.

Προδιαγραφή	IEEE 802.11	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	HiperLAN/2	Bluetooth	HomeRF
Συχνότητα Λειτουργίας	N.A./Europe 2.4 - 2.483 Japan 2.47 - 2.499	5.15-5.25 5.25-5.35 5.725-5.825	N.A./Europe 2.4 - 2.483 Japan 2.47 - 2.499	N.A./Europe 2.4 - 2.483 Japan 2.47 - 2.499	5.15-5.35 5.47-5.725	N.A./Europe 2.4 - 2.483 Japan 2.47 - 2.499	N.A./Europe 2.4 - 2.483 Japan 2.47 - 2.499
Μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	TDMA	TDMA	TDMA/CSMA
Μέθοδος αμφιδρόμησης (Duplex)	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	FDD	TDD
Αριθμός διαθέσιμων διαύλων	FHSS: 79 DSSS: 3-5	12	3-5	3-5	12	FHSS: 79	FHSS: 79
Εύρος Ζώνης	2Mbps	54Mbps	11Mbps	54Mbps	20/54Mbps	1Mbps	10Mbps

Εικόνα 1 Πίνακας Ενδεικτικών Προτύπων Οικογένειας IEEE 802.11

2.2. Τροποποιήσεις στα πρότυπα 802.11 με την 11n τροποποίηση

Για να επιτευχθεί το αυξανόμενο throughput και η σειρά που προβλέπεται για την IEEE 802.11, η 11n τροποποίηση περιγράφει τις αυξήσεις και στα φυσικά στρώματα (PHY) και στα μέσα στρώματα ελέγχου προσπέλασης (MAC).

Τροποποιήσεις στο MAC περιλαμβάνουν την προσθήκη της συνάθροισης frame (δηλ., στέλνονται multiple MAC frames σε ένα πακέτο στρώματος PHY για να μειωθούν τα γενικά έξοδα), αυξήσεις φραγμών ACK (που αναγνωρίζουν frame φραγμούς, επίσης για να μειωθούν τα γενικά έξοδα), ένα πρωτόκολλο reverse direction (RD) (επιτρέπει στο σταθμό μετάδοσης κρατώντας ένα κανάλι αέρος να επιτευχθεί η μεταφορά αποτελεσματικά σε έναν άλλο σταθμό, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης άλλου σταθμού για να αρχίσει η μεταφορά δεδομένων) καθώς επίσης και τα σχέδια για τη συνύπαρξη με τις συσκευές κληρονομιών.

Άλλες τροποποιήσεις περιλαμβάνουν:

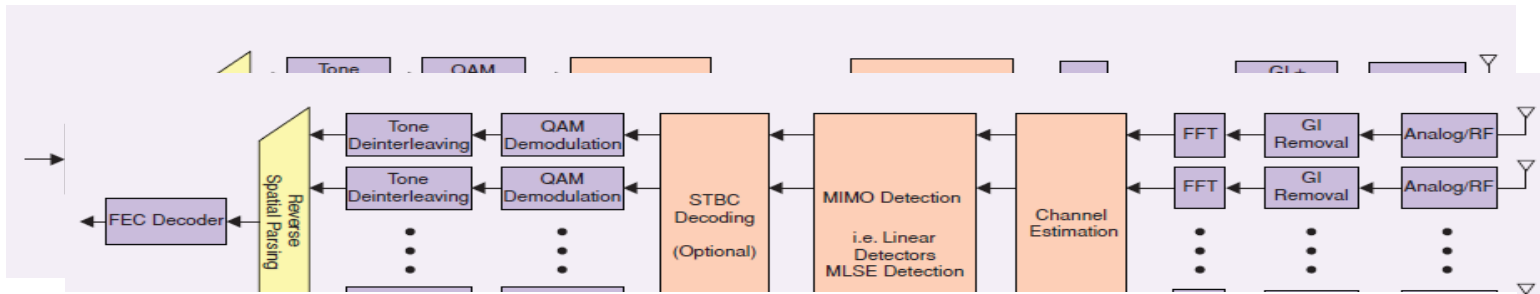
- ✓ Χαρακτηριστικά γνωρίσματα ποιότητας εξυπηρέτησης- Quality of Service (QoS), για να υποστηρίξει τις καθυστερήσεις σε ευαίσθητες εφαρμογές όπως η φωνή πέρα από WLAN (VoWLAN) και τη ροή πολυμέσων (multimedia, περιγραμμένη σε 802.11e),
- ✓ Power save multi - poll (ή PSMP) χαρακτηριστικό, ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα αποταμίευσης μπαταριών για WLAN φορητές συσκευές,
- ✓ Εκτεταμένη ανακοίνωση διακοπών καναλιών, δηλ., που επιτρέπει σε ένα σημείο πρόσβασης Access Point (AP) για να μεταστρέψει μεταξύ της υποστήριξης των 20 MHz μόνο, και 20 MHz/40 MHz (που περιγράφονται σε 802.11y),
- ✓ Βελτιωμένη ράδιο διαχείριση των πόρων, δηλ., αποδοτική χρήση πολλαπλών APs μέσα σε ένα δίκτυο (που περιγράφεται στο 802.11k),
- ✓ Υποστήριξη για γρήγορη δρομολόγηση, δηλ., τα γρήγορα handoffs μεταξύ των σταθμών βάσης, προοριζόμενοι για τη χρήση στα supporting mobile τηλέφωνα που χρησιμοποιούν VoIP και τα ασύρματα δίκτυα αντί των κυβελοειδών δικτύων (που περιγράφονται σε 802.11r).

Οι λεπτομέρειες των ανωτέρω αλλαγών μπορούν να βρεθούν μέσα [5 – IEEE P802.11n/D3.00, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 4: Enhancements for Higher Throughput], καθώς επίσης και οι άλλες τροποποιήσεις. Όσον αφορά τη συνάθροιση frame, ο αναγνώστης μπορεί να αναφερθεί [6 – Y. Xiao, “IEEE 802.11n: Enhancement for Higher Throughput in Wireless LANs,” IEEE Wireless Communications, Dec. 2005] για μια συζήτηση της απαραίτητης χρήσης του για την επίτευξη των throughput πέρα από 100 Mbps (ο αρχικός στόχος της 11n τροποποίησης).

Η εστίαση αυτού του τμήματος, εντούτοις, είναι στις τροποποιήσεις στο στρώμα PHY, οι οποίες περιλαμβάνουν:

- ✓ Η χρήση της πολλαπλής αποστολής και λήψης κεραιών (γνωστές ως MIMO),
- ✓ Κανάλι που συνδέει (δηλ., χρήση δύο ρευμάτων εύρους ζώνης 20 MHz),
- ✓ Προηγμένη κωδικοποίηση (δηλ., low-density έλεγχος ισότητας, ή LDPC, κώδικες).

Εξετάζεται πώς το εσωτερικό ασύρματο κανάλι μπορεί να διαμορφωθεί κάτω από MIMO. Κατόπιν, οι κύριες τεχνικές MIMO για τα επιθυμητά οφέλη throughput και σειράς. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται τα διαγράμματα blocks γενικού διαβιβαστή MIMO και λαμβάνουν δομές datapath για ένα IEEE 802.11n PHY.



Εικόνα 2 General MIMO TX Datapath

Εικόνα 3 General MIMO RX Datapath

2. Το 802.11n

Στις περισσότερες επιχειρήσεις, Ethernet μαζί με ένα μικρό WI-FI επιτυγχάνεται η πρόσβαση στο δίκτυο. Μερικές βιομηχανίες αναπτύσσουν ασύρματα LANs, αλλά συχνότερα, το WI-FI είναι μια ευκολία, που επεκτείνεται για να παρέχει την κινητή πρόσβαση στις πληροφορίες στους δημόσιους χώρους.

Οι υπερασπιστές των αναδυόμενων προτύπων 802.11n λένε ότι τα δυναμικά είναι ισορροπημένα με σκοπό την αλλαγή. Υποστηρίζουν ότι οι βελτιώσεις ταχύτητας και σειράς 11n θα αφήσουν τις οργανώσεις να στείλουν τις συνδέσεις με καλώδιο Ethernet στα στρώματα πυρήνων και διανομής του δικτύου.

Το Wi-Fi θα προκύψει ως κύριο μέσο πρόσβασης. Και φυσικά, αυτή η προσφάτως ανευρεθείσα κινητικότητα θα αλλάξει για πάντα την εργασία ανθρώπων τρόπων, που αυξάνει την παραγωγικότητα. Εάν το Ethernet είναι μια συμβατική δομή, λένε, το WI-FI είναι η μήτρα.

Η μεγάλη ερώτηση για αυτό είναι: Είναι ένα αναγκαίο όραμα από το μέλλον ή ακριβώς ένας άλλος κύκλος της βιομηχανίας και διαφημιστική εκστρατεία; Προς τα πάνω του WI-FI 200 εκατομμυρίων chipsets πωλήθηκαν το 2007, σύμφωνα με το InStat. Εν τω μεταξύ, τα πρότυπα 802.11n θα επικυρωθούν πιθανώς από το ίδρυμα από τους ηλεκτρικούς και μηχανικούς ηλεκτρονικής σε μέσο αργά το 2008, και 11n θα αποτελέσουν σύντομα τη μεγάλη πλειοψηφία WI-FI chipset και πωλήσεις συστημάτων.

3.1. Παρακολούθηση των Παραγόντων

Οι περισσότερες οργανώσεις δεν θα θεωρήσουν μια τεχνολογία δικτύων προτού να επικυρωθούν πλήρως τα πρότυπα. Οι πεπειραμένοι επαγγελματίες δικτύων είναι ικανοποιημένοι αναμένοντας για τις δεύτερης γενεάς 802.11n προσφορές, προωθώντας μερικούς πιλότους.

Κατ' αρχάς, ενώ οι πρόωρες φάσεις ανάπτυξης προτύπων 802.11n παρήγαγαν αφθονία στη συζήτηση σχεδίου, ήταν περισσότερο από έτος όπου οι περισσότεροι προμηθευτές συγχωνεύτηκαν γύρω από ένα πλαίσιο αναπτυσσόμενο από μια κοινοπραξία υπεύθυνων για την ανάπτυξη των ασύρματων τσιπ και κατασκευής εξοπλισμού.

Ενώ στον αρχικό σχεδιασμό στο οποίο το 11n στο σχέδιο 1 (draft 1) αναπτύχθηκε είχε ποικιλία ξεχωριστών ανεπαρκειών, το σχέδιο 2 (draft 2) είχε εύλογες προδιαγραφές.

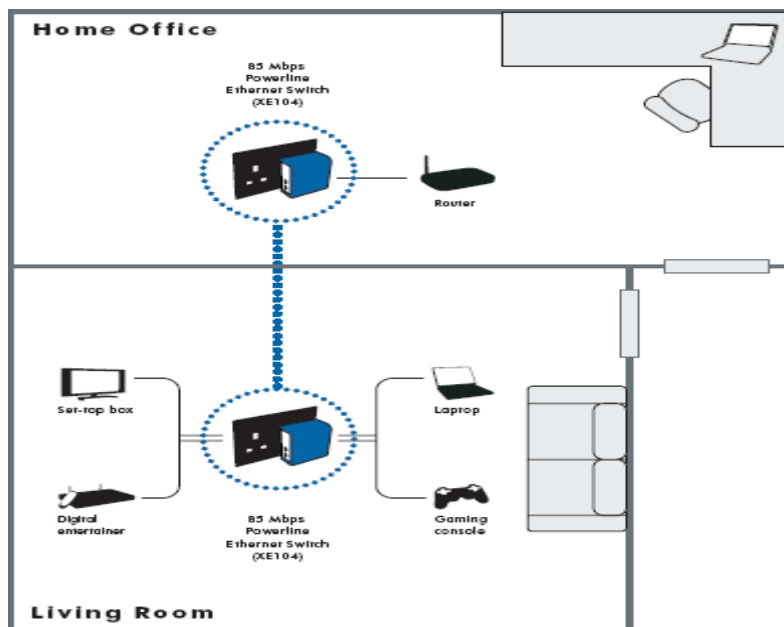
Η IEEE απάντησε σε χιλιάδες επίσημα σχόλια σχετικά και με τα δύο σχέδια, και οποιεσδήποτε αλλαγές που εφαρμόζονται από τώρα και μέχρι τα τελικά πρότυπα θα είναι πιθανώς προσπελάσιμες μέσω firmware των αναπροσαρμογών. Ούτε το χειρότερο σενάριο, στο οποίο μια αλλαγή γίνεται που δεν μπορεί να διορθωθεί firmware, δεν θα καταστήσει τα

προϊόντα σχεδίων μη επιδεχόμενα σε χειρουργική επέμβαση βασισμένη στην τελική προδιαγραφή. Στη χειρότερη περίπτωση, θα δούμε τα δευτερεύοντα προβλήματα σχετικά με την απόδοση ή την αποδοτικότητα μπαταριών.

Ο μετριάζοντας κίνδυνος δεύτερου παράγοντα είναι η απόφαση της συμμαχίας WI-FI να προωθήσει την πιστοποίηση με βάση την προδιαγραφή σχεδίων 2.0. Περισσότερα από 100 προϊόντα, συνήθως για μικρά και οικιακά γραφεία, έχουν επικυρωθεί. Ενώ είναι αλήθεια ότι η συμμαχία WI-FI πιστοποιεί μόνο ένα υποσύνολο της διαλειτουργικότητας προτύπων, παρέχει μια σίγουρη σφραγίδα έγκρισης που φέρνει ένα μεγάλο βάρος με τους καταναλωτές, τους επαγγελματίες των επιχειρήσεων, και τους κατασκευαστές εξοπλισμού.

Τέλος, επειδή τη καταναλωτική αγορά έχει πλημμυρίσει από προσφορές με το σχέδιο 2 του 802.11n, η ορμή μιλά ενάντια στις αλλαγές που θα μίκρυναν τη διαλειτουργικότητα. Τώρα που η αξία του σχεδίου 2 στο 802.11n στα προϊόντα του έχει μειωθεί κάτω από το μαγικό εμπόδιο \$100, λίγοι θα επιλέξουν τα σημεία πρόσβασης βασισμένα στα προηγούμενα πρότυπα.

Η ιστορία μας έχει διδάξει ότι υπάρχει μια ισχυρή σχέση μεταξύ της ασύρματης τεχνολογίας που οι άνθρωποι εγκαθιστούν στα σπίτια τους και τα συστήματα που εγκαθίστανται στις επιχειρήσεις. Τα δύο πρέπει να είναι συμβατά. Για πολλά έτη, έχουμε δει από μια απλή αρχή να προβλέπονται οι τάσεις στην υιοθέτηση επιχειρηματικού WI-FI: Ακολουθούμενες από τον πελάτη. Ενώ πρόωρα WLANs στηρίχθηκαν στα ραδιόφωνα καρτών PC, ήταν μέχρι που το WI-FI ενσωματώθηκε στις συσκευές πελατών που η αγορά άρχισε να βγάζει. Οι χρήστες δεν θέλουν να εξετάσουν τις πρόσθετες διεπαφές των δικτύων. Με την ενσωμάτωση των ασύρματων καρτών στις κινητές συσκευές, επιτυγχάνουμε τις οικονομίες δαπανών επίσης ενισχύοντας τη γενικές απόδοση και την αποδοτικότητα συστημάτων.



Εικόνα 4 Παράδειγμα συμβατότητας της τεχνολογίας

Το Centrino της Intel είναι το πιο εμβληματικό αυτής της τάσης, και η chipmaker έχει παραδώσει ήδη μια προσφορά 11n στο Centrino. Σε περίπτωση που η επιχείρησή σας αγοράσει higher-end και κατηγορίας επιχείρησης φορητούς υπολογιστές για τους υπαλλήλους, είναι πιθανό ότι αυτά τα συστήματα θα στείλουν ενσωματωμένη υποστήριξη του

802.11n. Εντούτοις, εάν προσπαθείτε να σώσετε τα χρήματα με την αγορά των καταναλωτικών σημειωματάρων, ακόμη και high-end, πρέπει ρητά να ζητήσετε 11n υποστήριξη-υποθέτοντας ότι αυτό είναι ακόμα και διαθέσιμο.

Ενώ τα σχέδια υιοθέτησης ποικίλλουν, οι τρίχρονοι κύκλοι αντικατάστασης για τα σημειωματάρια είναι κοινοί. Κατά συνέπεια, είναι απίθανο οι περισσότερες οργανώσεις να έχουν ενσωματώσει την υποστήριξη 11n σε περισσότερο από στους μισούς από τους πελάτες πριν το 2009. Αυτή η φάση μεταστροφής έχει νόημα, εν μέρει επειδή υπάρχει μια φυσική αποστρόφη στα προ-τυποποιημένα προϊόντα, και εν μέρει επειδή το σχέδιο και η εφαρμογή της επιχειρηματικής κατηγορίας 802.11n είναι σύνθετα.

Όσον αφορά smart phones και στις ασύρματες συσκευές VoIP, το 11n είναι ακόμα στην επιτροπή σχεδιασμού. [7 - Dave Moltz, “The 802.11n Factor”, 29 Oct. 2009]

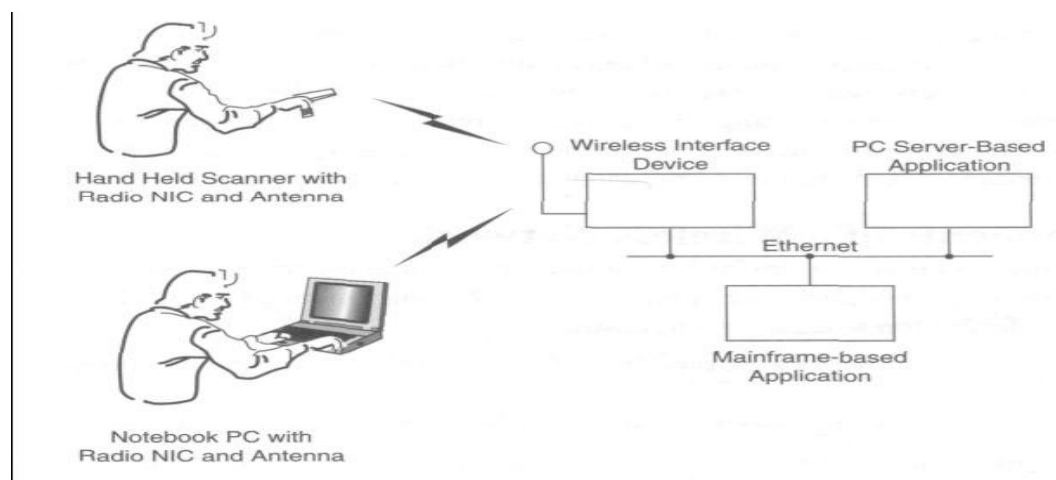
Το 802.11n είναι κάτι περισσότερο από τον καταλύτη για την wirefree (ασύρματη δικτύωση) του γραφείου. Είναι επίσης βιώσιμα mesh - based (βασισμένα στον τύπο πλέγματος) δίκτυα γραφείου. Mesh είναι η επέκταση της συνδεσιμότητας με τη χρήση ασύρματων και όχι ενσύρματων οπτιθοδρομικά. Κάθε πρόσβαση σε σημείο, ή κόμβο, συνδέεται πίσω με ένα άλλο κόμβο μέχρι να φτάσει σε μια πύλη, η οποία αποτελεί έναν κόμβο με μια ενσύρματη σύνδεση. Μέχρι σήμερα, εγκαταστάσεις mesh έχουν διεξαχθεί απλοϊκά χρησιμοποιώντας ένα WDS ασύρματο σύστημα διανομής. Ένα θέμα με το mesh είναι ότι με ένα μόνο ράδιο για backhaul (οπτιθοδρόμηση), κάθε πύλη σε ένα δίκτυο mesh (πλέγματος) έχει μειώσει το επίπεδο εφαρμογής. Όταν ασύρματα δίκτυα που λειτουργούν σε ώρες αιχμής οι ταχύτητες των 30 περίπου megabits ανά δευτερόλεπτο, το μισό ή το ένα τέταρτο από αυτό θα είναι λιγότερο από το αποδεκτό. Όμως, με ταχύτητες που κυμαίνονται από 120Mbps έως 140Mbps με 802.11n, και λίγες αλλαγές ακόμη θα δοθεί στους περισσότερους χρήστες επαρκής εμπειρία. Πωλητές προτιμούν να χρησιμοποιούν ένα ξεχωριστό ράδιο, που λειτουργεί παραδοσιακά στα 5GHz (προηγούμενα 802.11a, τώρα 802.11n), για το δίκτυο, ενώ με τη χρήση 802.11b / g στα 2,4GHz ή 5GHz για δεύτερο ράδιο. Τα Mesh μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των απαιτήσεων σε όλη την καλωδίωση του διοικητικού συμβουλίου, αλλά και πιο συχνά χρησιμοποιείται για την επέκταση συνδεσιμότητας σε περιοχές που είναι απρόσιτες για τις καλωδιώσεις, ή για εξωτερική υπηρεσία. Τα Mesh θα μπορούσαν να λειτουργήσουν καλύτερα ως δευτερεύοντα ή υψηλή διαθεσιμότητα σε περίπτωση που το ενσύρματο δίκτυο αποτυγχάνει. Στο πλαίσιο αυτό, το AP θα μπορούσε να συνδεθεί με ένα από τα ράδια σε ένα near – by κοντινό access point (AP) και να μεταφέρει τη κίνηση των πελατών μέσω του εν λόγω νέου ασύρματου δικτύου. Αεροκινητές επικοινωνούν με την έννοια αυτή πιο αποτελεσματικά με τη σειρά των προϊόντων, αλλά πολύ περισσότερο οι πωλητές της επιχείρησης WLAN υποστηρίζουν κάποια είδη προσφοράς mesh. Αυτά παρέχουν ευελιξία και επιβιωσιμότητα στην απόσταση. [8 - Frank Bulk, “Special Report Wireless Everywhere”, May 26 2008]

3.2. 802.11n: Η Βάση της Τεχνολογίας

Για περισσότερα από 100 χρόνια ιστορίας στις ραδιοεπικοινωνίες, το φαινόμενο των πολλαπλών παρεμβάσεων στις διαδρομές και η εξασθένιση είναι ένα αγιάθι στις πλευρές των μηχανικών RF (Radio Frequency Engineers) παντού. RF Engineers είναι οι ειδικοί στον τομέα του σχεδιασμού, και της συντήρησης, υπεύθυνοι για τη συντήρηση των σταθμών μετάδοσης σε μια εκπομπή εγκατάστασης υψηλής ισχύος πομπού, και συναφών

συστημάτων. Δεδομένου λοιπόν, ότι τα ράδιο σήματα αναπήδησαν από τους τοίχους και άλλες δομές, μίκρυναν τη σειρά μετάδοσης και παρήγαγαν εκείνα τα επίφοβα νεκρά σημεία. Η μαγική MIMO τεχνολογία (multiple input, multiple output) της ράδιο τεχνολογίας τα άλλαξε όλα αυτά, μετατρέποντας πολλαπλές διαδρομές και παραδίδοντας τη μεγαλύτερη απόδοση και τη σειρά. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια γρηγορότερη και πιο γερή ράδιο τεχνολογία που ικανοποιεί τις ανάγκες ακόμη και των πιο απαιτητικών χρηστών δικτύων.

Ο χωρικός πολλαπλασιασμός του MIMO είναι η σημαντικότερη βελτίωση στα πρότυπα 802.11n. Με τη χρησιμοποίηση πολλαπλών ράδιο/ κεραιών αλυσίδες και με την προηγμένη επεξεργασία ψηφιακού σήματος, μηχανικοί έχουν καταδείξει γραμμικές αυξήσεις απόδοσης. Ο αριθμός ράδιο και κεραιών που χρησιμοποιούνται από τους πελάτες και τα APs ποικίλει. Οι αλλαγές σχεδίου περιλαμβάνουν κόστος, φυσικό διάστημα και κατανάλωση ισχύος. Αυτό που αναμένουμε περισσότερο είναι οι εφαρμογές στον αρχικό πελάτη να έχουν MIMO σχέδια τα οποία να χρησιμοποιούν το ράδιο - αλυσίδες, ενώ τα APs θα έχουν είτε δύο είτε τρεις ράδιο - αλυσίδες.



Εικόνα 5 Διαφορετικές Ράδιο Ζώνες

Σημειώνεται ότι το dual-band στην πραγματικότητα προσφέρει τα χωριστά ράδιο για κάθε ζώνη, αν και πολλά τμήματα επεξεργασίας MIMO μοιράζονται μεταξύ των ζωνών συχνότητας. Τα 11n πρότυπα υποστηρίζουν τέσσερα.

Ενώ MIMO αντιπροσωπεύει τη σημαντικότερη αρχιτεκτονική πρόοδο σε 802.11n, τα πρότυπα περιλαμβάνουν τις πρόσθετες φυσικές αυξήσεις χαρακτηριστικών γνωρισμάτων στρώματος με σκοπό να ωθήσουν την απόδοση. Η πιο ξεχωριστή βελτίωση είναι υποστήριξη για 40MHz Ράδιο κανάλια, τα οποία έχουν δύο φορές τη θεωρητική ικανότητα υπαρχόντων 802.11 ραδιο καναλιών.

Η διαβίβαση beamforming θα επιτρέψει στα APs 802.11n να στρέψουν δυναμικά τα σχέδια μετάδοσής τους, που παρέχουν rate – versus - range οφέλη και για τα δυο 11n και των πελατών κληρονομιάς. Επιπλέον, η μέγιστη αναλογία που συνδυάζει (MRC) αναμένεται να ενισχύσει την ευαισθησία που λαμβάνει το ράδιο, για περαιτέρω βελτιωμένη σειρά. Εκτός από τις φυσικού στρώματος αυξήσεις, το 802.11n βελτιώνει επίσης στο στρώμα 2 τον έλεγχο προτύπου προσπέλασης μέσου. Οι νέες ικανότητες περιλαμβάνουν τη

συνάθροιση πλαισίων, εμποδίζουν τις αναγνωρίσεις, και το μειωμένο διάστημα διά-πλασίων, με σκοπό να μειώσουν υπερυψωμένο και να ενισχύσουν τη ρυθμοαπόδοση (throughput).

Επιπλέον, αρκετές βελτιώσεις έχουν γίνει στη διαχείριση της δύναμης στο 802.11, αν και δεν είναι ακόμα σαφές εάν αυτό θα οδηγήσει στην εκτεταμένη διάρκεια ζωής μπαταρίας δεδομένου ότι οι πολλαπλάσιες ράδιο αλυσίδες MIMO θα απαιτήσουν περισσότερη δύναμη να λειτουργήσουν.

3.3. Ραγδαία Μεταβολή

Η απόφαση των συστημάτων της Cisco να πηδήσει νωρίς με ένα Draft 2.0-υποχωρητικό access point - Cisco 1250 έχει βοηθήσει να νομιμοποιήσει το 11n στην αγορά. Οι δεύτερης σειράς προμηθευτές όπως οι Meru Networks και οι Colubris Networks επίσης έχουν κινηθεί επιθετικά στο 11n, ελπίζοντας να απευθυνθούν στους πρόωρους adopters.

Αλλά η υποστήριξη 11n δεν είναι σχεδόν τόσο απλή όπως να εφαρμόζεις ένα νέο ράδιο μέσα σε ένα παλιό μοντέλο AP. Υπάρχει μια σειρά προκλήσεων σχεδίου και εφαρμογής, αναγκάζοντας σε πολλές περιπτώσεις τους μηχανικούς δικτύων να επανεξετάζουν τις προσεγγίσεις τους στην ασύρματη επέκταση.

Η κεντρική ευκαιρία και πρόκληση συνδεδεμένη με το 11n είναι η υψηλότερη απόδοση. Με APs ικανά να προσφέρουν τουλάχιστον πέντε φορές μεγαλύτερης ρυθμοαπόδοσης, οι χρήστες είναι βέβαιο πως θα εντυπωσιαστούν, παρέχουν τη γενική αρχιτεκτονική που μπορεί να υποστηρίξει την πρόσθετη κυκλοφορία.

Τα παλαιότερα σχέδια μπορεί να χρειαστεί να επανεξεταστούν, και πολλοί προμηθευτές να κάνουν τις θεμελιώδεις αλλαγές στις αρχιτεκτονικές συστημάτων τους.

Στο απλούστερο επίπεδο, τα σημεία πρόσβασης AP θα χρειαστούν γρηγορότερες συνδεδεμένες με καλώδιο backhaul διεπαφές. Συνολική ασύρματη απόδοση σε μια dual-band, dual-radio 11n AP μπορεί εύκολα να υπερβεί τα 100 Mbps, έτσι η περισσότερη επιχείρηση APs θα ωφεληθεί από uplinks Gigabit Ethernet. Για να εκμεταλλευθεί πλήρως η βελτίωση απόδοσης, μπορεί να χρειαστεί να αναβαθμιστούν οι διακόπτες πρόσβασης -στρώματος. Ακόμα μεγαλύτερες προκλήσεις υπήρξαν όσον αφορά την τροφοδότηση αυτών των νέων 11n APs. Το ρεύμα συρμού υπερβαίνει εκείνων σε 802.11af σχεδιασμένα power - over - Ethernet.

Η ικανότητα wireless controller (ασύρματου ελέγχου) είναι επίσης μια σημαντική ανησυχία, που προτρέπει διάφορους προμηθευτές να εισαγάγουν τους νέους multitier ασύρματους διακόπτες. Ενώ πολλές επιχειρήσεις βελτιώνουν την επέκταση και τη διαχείριση με τη συγκέντρωση της λειτουργίας ελεγκτών στο Cisco's WISM - εξοπλισμένος καταλύτης 6500 είναι ένα πρώτο παράδειγμα -της υψηλότερης απόδοσης του 11n μπορεί να οδηγήσει μερικούς αρχιτέκτονες δικτύων να επανεξετάσει ένα σχέδιο στο οποίο όλη η κυκλοφορία μεταφέρεται πίσω στον πυρήνα για την επεξεργασία.

3.4. Χαρακτηριστικά 802.11n

Το 802.11 διαιρεί τις ζώνες σε κανάλια, ανάλογα στο πώς οι ζώνες ραδιοφωνικής μετάδοσης ραδιοφώνων και TV κομματιάζονται αλλά με το μεγαλύτερο πλάτος καναλιών και επικαλύπτουν. Παραδείγματος χάριν η ζώνη των 2,4000-2,4835GHz διαιρείται σε 13 κανάλια των οποίων κάθε ενός το πλάτος είναι 22 MHz αλλά χωρίζεται κατά διαστήματα σε μόνο 5 MHz χώρια, το πρώτο κανάλι 1 στρέφεται στα 2.412 MHz και το κανάλι 13 στα 2.472, στα οποία η Ιαπωνία προσθέτει ένα 14^ο κανάλι 12 MHz επάνω από το κανάλι 13.

Η διαθεσιμότητα των καναλιών ρυθμίζεται από τη χώρα, που περιορίζεται εν μέρει από το πώς κάθε χώρα διαθέτει το ράδιο φάσμα στις διάφορες υπηρεσίες. Από τη μια πλευρά η Ιαπωνία διαθέτει την ακραία άδεια, όπου επιτρέπει την χρήση και των 14 καναλιών (με τον αποκλεισμό 802.11g/n από το κανάλι 14), ενώ από την άλλη η Ισπανία επιτρέπεται μόνο στη διοχέτευση των 10 και 11 (αργότερα όλα τα 14 κανάλια επιτράπηκαν), και στην Γαλλία επιτράπηκαν μόνο 10, 11, 12 και 13 (τώρα διοχετεύει ως επιτρεπτά από 1 έως και 13). Οι περισσότερες άλλες ευρωπαϊκές χώρες είναι σχεδόν τόσο φιλελεύθερες όσο η Ιαπωνία απαγορεύοντας μόνο το κανάλι 14, ενώ στη Βόρεια Αμερική και κάποιες κεντρικές και νότιες - οι αμερικανικές χώρες απαγορεύουν τα περαιτέρω 12 και 13.

Εκτός από τη διευκρίνιση της κεντρικής συχνότητας κάθε καναλιού, 802.11 επίσης διευκρινίζεται μια φασματική μάσκα καθορίζοντας την επιτρεπόμενη διανομή της ισχύος πέρα από κάθε κανάλι. Η μάσκα απαιτεί ότι το σήμα μειώνεται από τουλάχιστον 30 DB από τη μέγιστη ενέργειά του σε ± 11 MHz από την κεντρική συχνότητα, η αίσθηση στην οποία τα κανάλια είναι αποτελεσματικά 22 MHz ευρέα. Μια συνέπεια είναι ότι οι σταθμοί μπορούν μόνο να χρησιμοποιήσουν κάθε τέταρτο ή πέμπτο κανάλι χωρίς επικάλυψη, χαρακτηριστικά 1, 6 και 11 στην Αμερική, 1, 5, 9 και 13 στην Ευρώπη, κ.λπ. Τα κανάλια 1-13 αποτελεσματικά απαιτούν τη ζώνη 2401-2483 MHz, οι πραγματικές κατανομές που είναι παραδείγματος χάριν 2400-2483.5 στο UK, 2402-2483.5 στις ΗΠΑ, κ.λπ.

Δεδομένου ότι η φασματική μάσκα καθορίζει μόνο τους περιορισμούς παραγωγής δύναμης μέχρι ± 22 MHz από την κεντρική συχνότητα που μειώνεται από 50 DB, συχνά υποτίθεται ότι η ενέργεια του καναλιού δεν επεκτείνεται πέρα από αυτά τα όρια. Είναι σωστότερο να ειπωθεί ότι, λαμβάνοντας υπόψη το χωρισμό μεταξύ των καναλιών 1, 6, και 11, το σήμα σε οποιοδήποτε κανάλι πρέπει να μειωθεί αρκετά για να παρεμποδίσει ελάχιστα μια συσκευή αποστολής σημάτων σε οποιοδήποτε άλλο κανάλι. Λόγω της απόστασης, επίκειται το πρόβλημα μια συσκευή αποστολής σημάτων να μπορεί να προσκρούσει σε έναν δέκτη σε ένα «μη-επικαλυμένο» κανάλι, αλλά μόνο εάν είναι κοντά στο δέκτη (μέσα σε έναν μετρητή) ή λειτουργία επάνω από τα επίπεδα δύναμης.

Αν και η δήλωση που τα κανάλια 1, 6, και 11 «μη-επικαλύπτουν» περιορίζεται στο διάστημα ή την πυκνότητα προϊόντων, η οδηγία 1-6-11 έχει την αξία. Εάν οι συσκευές αποστολής σημάτων είναι πιο στενές από τα κανάλια 1, 6, και 11 (παραδείγματος χάριν, 1, 4, 7, και 10), επικάλυψη μεταξύ των καναλιών μπορούν να προκαλέσουν την απaráδεκτη υποβάθμιση της ποιότητας και της ρυθμοαπόδοσης των σημάτων [9 - "Channel Deployment Issues for 2.4 GHz 802.11 WLANs". Cisco Systems, Inc. Retrieved on 2007-02-07]. Εντούτοις, τα επικαλύπτοντα κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπό

ορισμένες συνθήκες. Αυτός ο τρόπος, είναι διαθέσιμος στα περισσότερα κανάλια [10 - *Garvia Villegas, E.; et. al. (2007), "Effect of adjacent-channel interference in IEEE 802.11 WLANs", CrownCom 2007., ICST & IEEE*].

Τα τρέχοντα πρότυπα 802.11x καθορίζουν τους τύπους «πλαισίων - frames» για τη χρήση στη μεταβίβαση στοιχείων καθώς επίσης και στη διαχείριση και τον έλεγχο των ασύρματων συνδέσεων. Τα frames διαιρούνται σε πολύ συγκεκριμένα και τυποποιημένα τμήματα. Κάθε frame έχει έναν τομέα ελέγχου frames μεγέθους 2 bytes που παρέχει τις αναλυτικές πληροφορίες για την ασύρματη σύνδεση. Αυτός ο τομέας περιλαμβάνει 11 τρόπους και θα παρουσιαστεί στη σειρά, με τα πρώτα δύο bit που διατηρούνται για τον προσδιορισμό του χρησιμοποιήσεως του πρωτοκόλλου (π.χ. 802.11g, 802.11b, κ.λπ.).

Αυτοί οι τομείς αντίστοιχα δύο και τεσσάρων bit χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των τύπων frames που χρησιμοποιούνται. Τα επόμενα δύο τμήματα είναι διατηρημένα για τον τύπο και την υποκατηγορία. Τα επόμενα δύο bit είναι σε DS και από τους τομείς DS. Δείχνουν εάν ένα frame διευθύνεται για ένα διανεμημένο σύστημα. Όλα τα frames θα έχουν ένα από αυτά τα κομμάτια καθορισμένα. Το περισσότερο κομμάτι τεμαχισμού τίθεται ξεχωριστό όταν χωριστούν τα υψηλότερου επιπέδου πακέτα και τεθούν για όλα τα μη-τελικά τμήματα. Μερικά διοικητικά frames μπορούν να χωριστούν επίσης.

Μερικές φορές τα frames απαιτούν την αναμετάδοση, και για αυτό υπάρχει ένα κομμάτι επαναπροσπάθειας (retry) που τίθεται όταν αποκλείεται ένα frame. Αυτό βοηθά στην αποβολή της διπλής πλευράς σταθμών frames. Το διοικητικό κομμάτι δύναμης δείχνει τη διοικητική κατάσταση δύναμης του αποστολέα μετά από την ολοκλήρωση μιας ανταλλαγής frames. Τα σημεία πρόσβασης απαιτούνται για να διαχειριστούν τη σύνδεση και δεν θα θέτουν ποτέ το κομμάτι αποταμιευτών δύναμης. Το μεγαλύτερο κομμάτι στοιχείων χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσει τα frames που παραλαμβάνονται σε ένα διανεμημένο σύστημα. Το σημείο πρόσβασης χρησιμοποιεί αυτό το κομμάτι για να διευκολύνει τους σταθμούς στον τρόπο αποταμιευτών δύναμης. Δείχνει ότι τουλάχιστον ένα frame είναι διαθέσιμο και εξετάζει όλους τους σταθμούς που συνδέονται. Το κομμάτι WEP τροποποιείται μετά από να επεξεργαστεί ένα frame. Επιλέγεται αφότου έχει αποκρυπτογραφηθεί ένα frame ή εάν καμία κρυπτογράφηση δεν τίθεται θα είναι ήδη ένα.

Το τελευταίο κομμάτι είναι το κομμάτι διαταγής και τίθεται μόνο όταν υιοθετείται η μέθοδος παράδοσης «ακριβούς διαταγής». Τα frames και τα τεμάχια στέλνονται όχι πάντα στη διαταγή δεδομένου ότι προκαλεί μια ποινική ρήτρα απόδοσης μετάδοσης.

Οι επόμενες δύο bytes είναι διατηρημένα για τον τομέα της ταυτότητας της διάρκειας. Αυτός ο τομέας λαμβάνει επάνω τη μια από τρεις μορφές, τη διάρκεια, την ελεύθερη περίοδο (CFP), και την CP-ψηφοφορία.

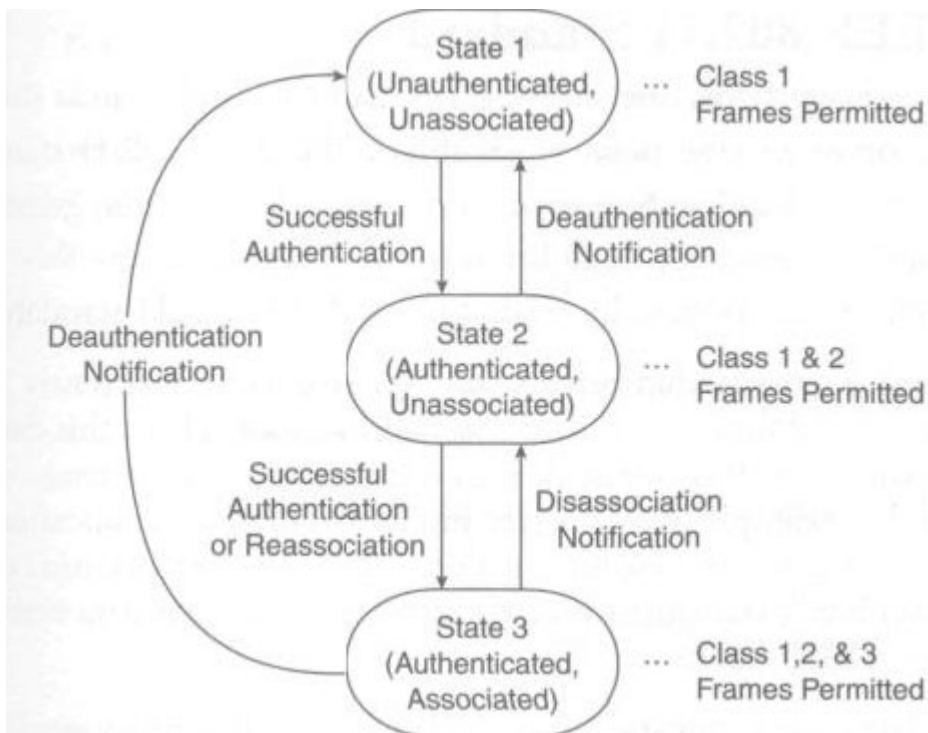
Ένα frame 802.11 μπορεί να περιέχει μέχρι τέσσερις τομείς διεύθυνσεων. Έξι bytes είναι διατηρημένα για κάθε τομέα διεύθυνσεων. Κάθε τομέας είναι αριθμημένος είναι χρησιμοποιείται για διαφορετικούς λόγους. Η διεύθυνση 1 είναι ο δέκτης, η διεύθυνση 2 είναι η συσκευή αποστολής σημάτων, η διεύθυνση 3 χρησιμοποιείται για λόγους φιλτραρίσματος από το δέκτη. Οι διευθύνσεις είναι μόνο 46 bit και υπάρχουν 48 bit που διατηρούνται για κάθε διεύθυνση, το πρώτο κομμάτι έχει μια πρόσθετη λειτουργία. 0

δείχνουν μια διεύθυνση ενιαίων σταθμών (unicast), ενώ το A1 αντιπροσωπεύει μια ομάδα σταθμών (πολλαπλής διανομής). Εάν όλα τα κομμάτια είναι 1 έπειτα το frame είναι η ραδιοφωνική μετάδοση σε όλο το σταθμό που συνδέεται με ένα σημείο πρόσβασης. Ο τομέας ελέγχου ακολουθίας είναι ένα τμήμα δύο bytes που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της διαταγής μηνυμάτων καθώς επίσης και την εξάλειψη των διπλών frames. Τα πρώτα 4 bit χρησιμοποιούνται για τον αριθμό τεμαχισμού και τα τελευταία 12 bit είναι ο αριθμός ακολουθίας. Ο τομέας σώματος frames είναι μεταβλητά σε μέγεθος, από 0 - 2132 bytes, περιέχει τις πληροφορίες από τα υψηλότερα στρώματα. Η ακολουθία ελέγχου frames (FCS) είναι τα τελευταία τέσσερα bytes στο τυποποιημένο frame 802.11. Συχνά αναφερόμενο ως κυκλικός έλεγχος πλεονασμού (κέντρο ανίχνευσης και ελέγχου), επιτρέπει τον έλεγχο ακεραιότητας των ανακτημένων frames. Δεδομένου ότι τα frames πρόκειται περίπου να σταλούν το FCS υπολογίζεται και επισυνάπτεται. Όταν ένας σταθμός λαμβάνει ένα frame μπορεί να υπολογίσει το FCS του frame και να το συγκρίνει με αυτό το λαμβανόμενο. Εάν ταιριάζουν υποτίθεται ότι το frame δεν διαστρεβλώθηκε κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. [11 - "802.11 Technical Section". Retrieved on 2008-12-15.]

Τα διοικητικά frames επιτρέπουν τη συντήρηση της επικοινωνίας. Μερικές κοινές υποκατηγορίες 802.11 περιλαμβάνουν:

- ✓ **Frame επικύρωσης (Authentication frame):** η επικύρωση αρχίζει με το WNIC στέλνοντας ένα frame επικύρωσης στο σημείο πρόσβασης που περιέχει την ταυτότητά της. Με μια επικύρωση ανοικτών συστημάτων το WNIC στέλνει μόνο ένα ενιαίο frame επικύρωσης και το σημείο πρόσβασης αποκρίνεται με ένα frame επικύρωσης δείχνοντας την αποδοχή ή την απόρριψή του. Με την κοινή βασική επικύρωση, αφότου στέλνει το WNIC το αρχικό αίτημα επικύρωσής του θα λάβει ένα frame επικύρωσης από το σημείο πρόσβασης που περιέχει το κείμενο πρόκλησης. Το WNIC στέλνει ένα frame επικύρωσης που περιέχει την κρυπτογραφημένη έκδοση του κειμένου πρόκλησης στο σημείο πρόσβασης. Το σημείο πρόσβασης εξασφαλίζει ότι το κείμενο κρυπτογραφήθηκε με το σωστό κλειδί με την αποκρυπτογράφηση του με το κλειδί του. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας καθορίζει τη θέση επικύρωσης του WNIC.
- ✓ **Frame αιτήματος ένωσης (Association request frame):** στέλνεται από έναν σταθμό και επιτρέπει στο σημείο πρόσβασης να διαθέσει τους πόρους και να συγχρονίσει. Το frame φέρνει τις πληροφορίες για το WNIC συμπεριλαμβανομένων των υποστηριγμένων ποσοστών στοιχείων και το SSID του δικτύου επιθυμώντας ο σταθμών να τους συνδέσει. Εάν το αίτημα γίνεται αποδεκτό επιφυλάσσεται στη μνήμη του σημείου πρόσβασης και καθιερώνεται και η ταυτότητα ένωσης για το WNIC.
- ✓ **Frame απάντησης ένωσης (Association response frame):** στέλνεται από ένα σημείο πρόσβασης σε έναν σταθμό που περιέχει την αποδοχή ή την απόρριψη σε ένα αίτημα ένωσης. Εάν είναι frame αποδοχής το frame περιέχει τις πληροφορίες, την ταυτότητα ένωσης και τα ποσοστά στοιχείων.

- ✓ **Frame αναγνωριστικών σημάτων (Beacon frame):** στέλνεται περιοδικά από ένα σημείο πρόσβασης για να αναγγείλει την παρουσία του και να παρέχει το SSID, και άλλες παραμέτρους για WNICs μέσα στη σειρά.
- ✓ **Frame Deauthentication:** στέλνεται από έναν σταθμό που επιθυμεί να ολοκληρώσει τη σύνδεση από έναν άλλο σταθμό.
- ✓ **Frame αποσύνδεσης (Disassociation frame) :** στέλνεται από έναν σταθμό που επιθυμεί να ολοκληρώσει τη σύνδεση. Είναι ένας κομψός τρόπος να επιτραπεί στο σημείο πρόσβασης να σταματήσει την κατανομή μνήμης και να αφαιρέσει το WNIC από τον πίνακα ένωσης.
- ✓ **Frame αιτήματος ελέγχων (Probe request frame):** στέλνεται από έναν σταθμό όταν επιθυμεί πληροφορίες από έναν άλλο σταθμό.
- ✓ **Frame απάντησης ελέγχων (Probe response frame):** στέλνεται από έναν σταθμό που περιέχει πληροφορίες ικανότητας, τα υποστηριγμένα ποσοστά στοιχείων, κ.λπ., μετά λαμβάνει ένα frame αιτήματος ελέγχων.
- ✓ **Reassociation frame αιτήματος (Reassociation request frame):** ένα WNIC στέλνει ένα reassociation αίτημα όταν χάνει τη σειρά του αυτήν την περίοδο σχετικού σημείου πρόσβασης, βρίσκει ένα άλλο σημείο πρόσβασης με ένα ισχυρότερο σήμα. Το νέο σημείο πρόσβασης συντονίζει την αποστολή οποιωνδήποτε πληροφοριών που μπορούν ακόμα να περιληφθούν στον απομονωτή του προηγούμενου σημείου πρόσβασης.
- ✓ **Reassociation frame απάντησης (Reassociation response frame):** στέλνεται από ένα σημείο πρόσβασης που περιέχει την αποδοχή ή την απόρριψη σε ένα reassociation WNIC frame αιτήματος. Το frame περιλαμβάνει τις πληροφορίες που απαιτούνται για την ένωση όπως την ταυτότητα ένωσης και τα υποστηριγμένα ποσοστά στοιχείων.



Εικόνα 6 Παράδειγμα λειτουργίας των frames

Δυνατότητα ελέγχου frames στην ανταλλαγή των frames των στοιχείων μεταξύ των σταθμών. Μερικά κοινά 802.11 frames ελέγχου περιλαμβάνουν:

- ✓ **Frame αναγνώρισης (Acknowledgement- ACK):** Μετά από τη λήψη ενός frame στοιχείων ο λαμβάνων σταθμός θα στείλει ένα frame ACK στο στέλνοντα σταθμό εάν δε βρισκείται κανένα λάθος. Εάν ο στέλνοντα σταθμός δεν λαμβάνει ένα frame ACK εντός μιας προκαθορισμένης χρονικής περιόδου ο στέλνοντα σταθμός θα στείλει εκ νέου το frame.

Αίτημα να σταλεί το frame (Request to Send - RTS): Τα frames RTS και CTS παρέχουν ένα προαιρετικό σχέδιο μείωσης σύγκρουσης για το σημείο πρόσβασης με τους κρυμμένους σταθμούς. Ένας σταθμός στέλνει ένα frame RTS ως πρώτο βήμα σε μια διπλής κατεύθυνσης χειραψία που απαιτείται πριν και στέλνει τα frame στοιχείων.

- ✓ **Frame επιβεβαίωσης διαθεσιμότητας σταθμού για αποστολή (Clear to Send - CTS):** Ένας σταθμός αποκρίνεται σε ένα frame RTS με ένα frame CTS. Παρέχει την εικαθάριση για το σταθμό αίτησης για να στείλει ένα frame στοιχείων. Το CTS παρέχει τη διαχείριση ελέγχου σύγκρουσης με τη συμπερίληψη μιας χρονικής αξίας για την οποία όλοι οι άλλοι σταθμοί πρόκειται να κρατήσουν μακριά τη μετάδοση ενώ οι σταθμοί αίτησης διαβιβάζουν.

Τα frame στοιχείων φέρνουν τα πακέτα από ιστοσελίδες, τα αρχεία, κ.λπ. μέσα στο σώμα. [12- "Understanding 802.11 Frame Types". Retrieved on 2008-12-14]

4. Παρουσίαση και Υλοποίηση Αρχιτεκτονικής Δικτύου Πειραματικών Μετρήσεων

4.1. Σχεδιασμός Συστήματος

Το σύστημα επικοινωνίας θα αποτελείται από το κεντρικό σημείο ευρυεκπομπής τον CMN και τους τελικούς χρήστες. Η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ ενός CMN και του σημείου ευρυεκπομπής απαιτεί την παρουσία δύο ζεύξεων, της κατερχόμενης ζεύξης (downlink) για την μετάδοση από το σημείο εκπομπής προς τους CMN's και της ανερχόμενης (uplink). Για να επιτευχθεί η ασύρματη επικοινωνία χρησιμοποιήθηκε ένα wireless router που υποστηρίζει το 802.11n standard, το NETGEAR RangeMax™ NEXT Wireless Router WNR834B. Το router αυτό αποτελείται από τον μηχανισμό του με ενσωματωμένη κεραία το οποίο έχει συνδεθεί στον CMN server εγκατεστημένο πάνω σε

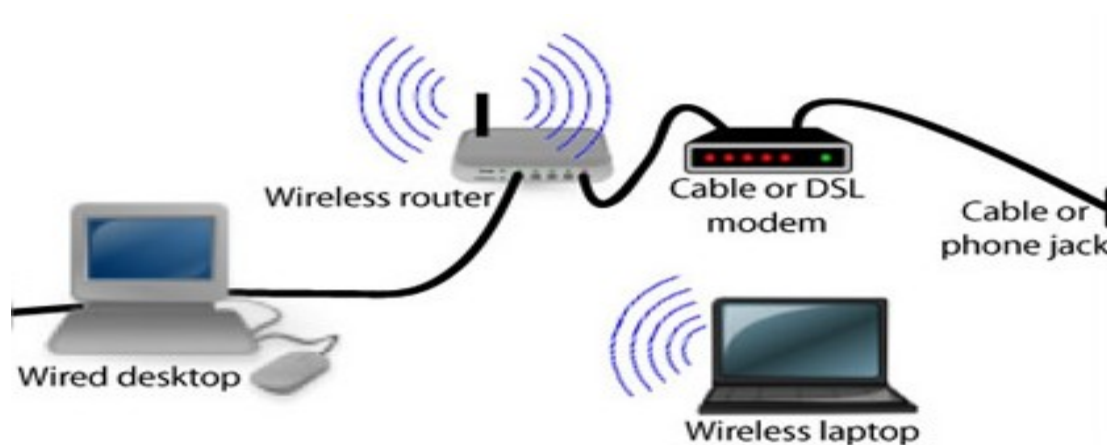


Εικόνα 7 NETGEAR RangeMax™ Wireless Router

Η τεχνολογία WLAN θα χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία της ανερχόμενης ζεύξης ή αλλιώς για το κανάλι επιστροφής. Το δίκτυο που ορίζουν αυτά τα δύο κανάλια επικοινωνίας αποτελεί το Δίκτυο Πυρήνα (Core Network) του συστήματος.

Η πρόσβαση στο δίκτυο πυρήνα επιτυγχάνεται με χρήση κάποιας από τις διαθέσιμες τεχνολογίες πρόσβασης. Οι τελικοί χρήστες μπορούν να επιλέξουν μεταξύ των τεχνολογιών WLAN, xDSL, PSTN και άλλων, για να συνδεθούν σε έναν CMN και αποκτήσουν επικοινωνία με το υπόλοιπο δίκτυο. Στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική θα χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία WLAN. Αυτή η διασύνδεση των χρηστών με τον CMN ορίζει το Δίκτυο Πρόσβασης (Access Network). Στην παρακάτω εικόνα αναπαρίσταται το

δίκτυο μας, στο πρώτο σενάριο, όπου είχαμε έναν χρήστη. Παρατηρούμε, λοιπόν, έναν υπολογιστή τον «wired desktop», ο οποίος λειτουργεί σε Linux ως Server και είναι ο λεγόμενος CMN Server, το Wireless Router είναι η βάση του Access Point που έχουμε ενώσει στον Server, και στη προκειμένη περίπτωση είναι το NETGEAR RangeMax™ NEXT Wireless Router WNR834B, το οποίο και ενώνεται ενσύρματα με τον Server. Στη συνέχεια έχουμε τοποθετήσει τον υπόλοιπο εξοπλισμό στο Wireless Laptop, και ο εξοπλισμός αυτός είναι η ασύρματη κάρτα – κεραία που επίσης αποτελεί το NETGEAR. Αυτά είναι τα βασικά μέρη που αποτελούν τη σύνθεση της δικτύωσης μας και η επικοινωνία μεταξύ Server και Client μπορεί να επιτευχθεί. Επιπρόσθετα σημειώνεται πως στον CMN Server έχουμε δώσει την διεύθυνση 172.16.0.1, στο Access Point την 172.16.0.2 και τέλος στον Client (Laptop) την διεύθυνση 172.16.0.5.



Εικόνα 8 Δίκτυα Πρόσβασης του συστήματος

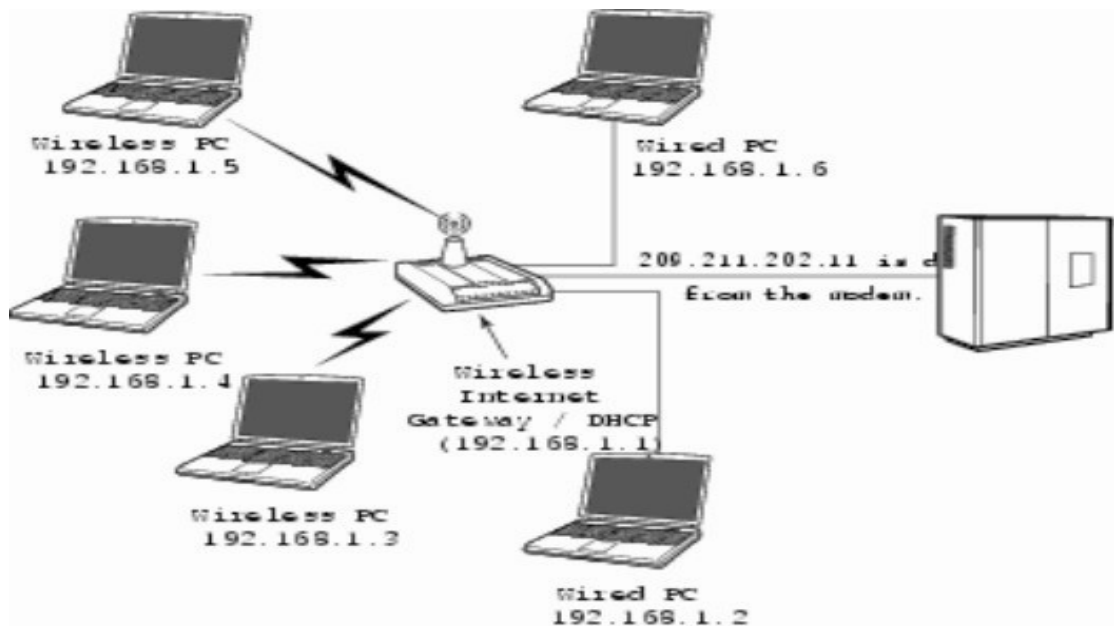
Στο ολοκληρωμένο δίκτυο που προκύπτει ο CMN, εκτός από την επικοινωνία των τελικών χρηστών, αναλαμβάνει και την ταξινόμηση, αστυνόμευση και διαμόρφωση της εισερχόμενης δικτυακής κίνησης. Οι δρομολογητές του δικτύου πυρήνα, διαχειρίζονται την κίνηση και την διασφάλιση της ποιότητας στις προσφερόμενες υπηρεσίες.

4.2. Περιγραφή πειραματικής Διαδικασίας

Στην ενότητα αυτή θα γίνει μια περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας που θα ακολουθηθεί μέσω κάποιων σεναρίων, κάθε ένα από τα οποία θα καλύψει συγκεκριμένες περιπτώσεις δικτυακής κίνησης. Σκοπός είναι να παρατηρηθεί η συμπεριφορά του δικτύου και να αξιολογηθεί η επίδοση του από την μέτρηση κάποιων χαρακτηριστικών που επηρεάζουν την ποιότητα των υπηρεσιών.

Αρχικά, στο πρώτο σενάριο θα μελετηθεί η συμπεριφορά του δικτύου πραγματοποιώντας την επικοινωνία μέσα στο εργαστήριο, σε μια κοντινή απόσταση μεταξύ του server (εξυπηρετητή) και των χρηστών. Διακρίνουμε έτσι τις εξής περιπτώσεις:

- i. Η παρουσία δικτυακής κίνησης πρωτοκόλλου μεταφοράς TCP με έναν χρήστη, με δύο, πέντε, δέκα, τριάντα και πενήντα χρήστες,
- ii. Με τις ίδιες συνθήκες δικτύωσης πραγματοποιείται επικοινωνία με πρωτόκολλο μεταφοράς UDP αντίστοιχα με έναν χρήστη, με δυο, πέντε, δέκα, τριάντα και πενήντα,
- iii. Τέλος, με τον ίδιο αριθμό χρηστών παράλληλα πραγματοποιείται επικοινωνία συνδυάζοντας τα πρωτόκολλα με



ταφοράς TCP και UDP.

Εικόνα 9 Βλέπουμε ένα παράδειγμα Server με πολλούς Clients, εδώ η επικοινωνία γίνεται μεταξύ Server και τριών ασύρματων και δυο ενσύρματων υπολογιστών. Να σημειωθεί πως σχετικά με την παραπάνω εικόνα, στη δική μας πειραματική διαδικασία δεν έχουμε ενσύρματα συνδεδεμένους Clients, παρά μόνο ασύρματους. Κάτι ακόμα που πρέπει να επισημανθεί είναι πως η πειραματική διαδικασία

προσομοιώνει την επικοινωνία πολυάριθμων χρηστών, δημιουργώντας και χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες πόρτες αλλά σε έναν υπολογιστή.

Στο **δεύτερο σενάριο** απομακρύνουμε τους χρήστες από τον server (εξυπηρετητή) σε μία απόσταση των 20 μέτρων. Ο server παραμένει στον χώρο του εργαστηρίου, ενώ οι χρήστες τοποθετούνται σε διαφορετικό δωμάτιο. Συνεχίζουμε λοιπόν αντίστοιχη με την προηγούμενη διαδικασία επικοινωνίας:

- i. Σε πρωτόκολλο μεταφοράς TCP σε μια συγχρονισμένη επικοινωνία, ο server στέλνει και λαμβάνει από έναν μόνο χρήστη, στην συνέχεια η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται με δύο, πέντε, δέκα, τριάντα και τέλος με πενήντα χρήστες.
- ii. Έπειτα ολοκληρώνεται μία ασύγχρονη επικοινωνία σε UDP πρωτόκολλο με την ίδια ακολουθία χρηστών.
- iii. Και τέλος σε παράλληλη επικοινωνία σε συνδυασμό των πρωτοκόλλων TCP και UDP όπου σε κάθε πρωτόκολλο συμμετέχουν από έναν χρήστη ως τους πενήντα.

Για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε το δίκτυο που αναφέρθηκε παραπάνω θα μετρήσουμε την δικτυακή κίνηση που δημιουργείται από τον service provider δημιουργούμε TCP κίνηση από τον Service Provider στον τελικό χρήστη και UDP μεταξύ του Service Provider των τελικών χρηστών. Η διάρκεια των μετρήσεων θα είναι 180sec και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα γίνει σε πραγματικό χρόνο (realtime) και παρουσιάζοντας τις μέσες τιμές από τα 180 δευτερόλεπτα της μέτρησης. Τα μεγέθη που θα εξετάσουμε για την αξιολόγηση της απόδοσης του δικτύου είναι ο ωφέλιμος ρυθμός διαμεταγωγής (useful throughput) ο χρόνος πλήρους διαδρομής (round trip time), η μονόδρομη καθυστέρηση (one way delay) και οι απώλειες (losses).

4.3. Χαρακτηριστικά απόδοσης

Βάση των μετρήσεων που εκτιμήθηκαν από την πειραματική διαδικασία που έχει αναφερθεί παραπάνω αξιολογείται η Ποιότητα Υπηρεσίας, η οποία είναι μια γενική έννοια, και εξαρτάται από τις τιμές ενός συνόλου χαρακτηριστικών μεγεθών, βάση των οποίων μπορεί να γίνει αξιολόγηση και μελέτη ενός δικτύου.

Τα χαρακτηριστικά αυτά περιγράφονται αναλυτικά στις παρακάτω ενότητες.

4.3.1. Η Ρυθμοαπόδοση (Throughput)

Ορίζεται σαν το πόσο των δεδομένων που μεταφέρονται από ένα δικτυακό κόμβο σε έναν άλλο ανά μονάδα χρόνου. Θεωρώντας το ρ τη συνολική απόδοση που μετράται κατά τη μεταφορά στο επίπεδο στρώματος, ορίζεται ως ο μέσος αριθμός του TCP ωφέλιμο φορτίο bits που μεταδίδονται επιτυχώς ανά μονάδα χρόνου. Για να υπολογιστεί η τιμή του ρ , αναλύουμε τα γεγονότα καναλιού μεταξύ δύο συνεχόμενων επιτυχών μεταδόσεων frame. Ας αναφέρουμε με $T_u(i,j)$ ένα εικονικό χρόνο μετάδοσης που ξεκινάει με το σύστημα στην κατάσταση $Y_{i,j}$. Με την ανάληψη και την ανανέωση των θεωρητικών επιχειρημάτων του ρ , πρέπει να σημειωθεί ότι το πρωτόκολλο MAC ανταποκρίνεται στη περίοδο που αντιστοιχεί στην έναρξη της $T_u(0,0)$ περιόδου. Στην πραγματικότητα, στη κατάσταση $Y_{0,0}$, όλα οι ασύρματοι σταθμοί έχουν αδειάσει τις ουρές μετάδοσης, καθώς και το AP είναι ο μόνος ενεργός κόμβο στο δίκτυο. Από τις ιδιότητες των αναγεννητικών διαδικασιών, προκύπτει ότι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών εποχών αναγέννησης αποτελεί έναν ανανεωτικό χρόνο για την στοχαστική διαδικασία που περιγράφει την ακολουθία των επιτυχών μεταδόσεων για το κανάλι. Θεωρούμε το $E[T_{\text{renewal}}]$ τη μέση διάρκεια της ανανέωσης του χρόνου. Από την θεωρία του renewal-reward, παίρνουμε ότι η τιμή του ρ δίνεται από $E[P_{\text{renewal}}] / E[T_{\text{renewal}}]$ όπου $E[P_{\text{renewal}}]$ είναι ο μέσος όρος των TCP bits ωφέλιμου φορτίου που μεταδίδονται με επιτυχία κατά τη διάρκεια της μέσης περιόδου ανανέωσης. Οι ακόλουθες αναδιατυπώσεις του ρ εκφράζονται έτσι ώστε να κάνει τη μαθηματική παραγωγή ευκολότερη:

Με την προϋπόθεση της ανεξαρτησίας των εικονικών χρόνων και εξετάζεται ένα p-ανθεκτικό MAC πρωτόκολλο,

Lemma 1. *By assuming the independence of virtual times and considering a p-persistent MAC protocol, it holds that*

$$\rho = \frac{\sum_{i=0}^{m_u} \sum_{j=0}^{m_d} b_{i,j} \cdot E[P_v(i,j)]}{\sum_{i=0}^{m_u} \sum_{j=0}^{m_d} b_{i,j} \cdot E[T_v(i,j)]} = \frac{E[P_v]}{E[T_v]}, \quad (4)$$

where $E[P_v(i,j)]$ is the average number of TCP payload bits transmitted during the $E[T_v(i,j)]$ period.

Με τον έλεγχο (4), παρατηρούμε ότι η ανάλυση του throughput μπορεί να διαιρεθεί σε δύο διακριτές φάσεις. Πρώτον, χρειάζεται το $b_{i,j}$ διανομής. Στη συνέχεια, θα υπολογιστεί η μέση διάρκεια μιας εικονικής περιόδου, δεδομένου ότι το δίκτυο είναι σε κατάσταση $Y_{i,j}$, δηλαδή $E[T_u(i,j)]$. Ένας σταθμός υποτίθεται πως μεταδίδει σε τυχαία επιλεγμένα slot και προσεγγίζει ισοδύναμες ανά-slot πιθανότητες μετάδοσης, το P_k , ενός δικτύου με

κορεσμένους ενεργούς κόμβους $k = n_{i,j}^a + n_i^u + n_j^d$ [6]. Η τιμή k αλλάζει μόνο μετά από επιτυχή μεταφορά και, σύμφωνα με τον αριθμό των TCP δεδομένων και τα πακέτα TCP

ACK που αποθηκεύονται στους σταθμούς στις ουρές εξόδου. Έτσι, η πιθανότητα P_k είναι σταθερή κατά τη διάρκεια όλης της περιόδου $T_u(i,j)$. Τέλος, είναι σημαντικό να διακρίνουμε μεταξύ του throughput που λήφθηκε είτε από το πρωτόκολλο TCP και τις upstream ροές ή το TCP και τις downstream ροές. Για το σκοπό αυτό, η έκφραση του ρ μπορεί εναλλακτικά

να γραφεί σαν $\rho = \rho^U + \rho^D$, όπου ο όρος ρ εις την δύναμη U είναι ο μέσος αριθμός bits του TCP ωφέλιμου φορτίου που μεταδίδονται επιτυχώς ανά μονάδα χρόνου από τους σταθμούς που δίνονται από την μεταβλητή S εις την δύναμη u, και ρ εις την δύναμη D είναι ο μέσος αριθμός των bits TCP ωφέλιμου φορτίου που λήφθηκαν με επιτυχία ανά μονάδα χρόνου από τους S εις την D σταθμούς. Πρέπει να αναγνωριστεί πως $\rho^U = E[P_v^U]/E[T_v]$ ($\rho^D = E[P_v^D]/E[T_v]$), όπου $E[P_v^U]$ ($E[P_v^D]$) είναι η συμβολή στο $E[P_v]$ λόγω του ωφέλιμου φορτίου TCP bits διαβιβάζονται από S^U (S^D) σταθμούς κατά τη διάρκεια του μέσου εικονικού χρόνου $E[T_v]$.

[Throughput Analysis and Measurements in IEEE 802.11 WLANs with TCP and UDP Traffic Flows Raffaele Bruno, Marco Conti, and Enrico Gregori]

4.3.2. Η Καθυστέρηση (Delay – Latency)

α) Στην **TCP επικοινωνία** είναι γνωστή σαν **Καθυστέρηση Κυκλικής Διαδρομής (Round-Trip delay Time – RTT)** και αναφέρεται στον χρόνο που διανύθηκε από τη στιγμή που στάλθηκε ένα πακέτο έως την στιγμή που λήφθηκε η επιβεβαίωση του. Η μέτρηση του χρόνο μεταβαλλόμενου RTT παίρνει εμπειρία από μια εφαρμογή και αποτελεί σημαντική πρόκληση. Αν το RTT αυξομειώνεται περισσότερο συχνά από τα δείγματα που μπορούν να παρθούν στη διάρκεια της διαδρομής τότε είναι ιδιαίτερα δύσκολο, επίσης εάν δεν παρέχεται πλήρη πρόσβαση σε κάθε πηδημα στη διαδρομή ενώ η αίτηση τρέχει. Μια κοινή προσέγγιση προϋποθέτει τον ενεργό σχολιασμό του μονοπατιού. Τροφοδοτούνται Extra πακέτα στο δίκτυο, και οι χρόνοι διαμετακόμισης συνήθως υπολογίζουν τη καθυστέρηση του δικτύου τη στιγμή που κάθε ενεργό καθετήρα που έχει σταλεί. Μια διαδρομή του RTT υπολογίζεται αθροίζοντας την ενεργή καθυστέρηση που έχει υπολογιστεί για κάθε κατεύθυνση. Ωστόσο, ο ενεργός καθετήρας κυκλοφορίας προσθέτει ένα πεπερασμένο, μη αμελητέο φορτίο στο ίδιο δίκτυο (ανάλογη με τον ρυθμό δειγματοληψίας) και ορισμένων τύπων των δραστικών πακέτων καθετήρα δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν οι ίδιες ανά-hop καθυστερήσεις ως πακέτα IP που ανήκουν σε τακτικές αιτήσεις [3]. Μια άλλη προσέγγιση είναι παθητική μέτρηση. Αυτό περιλαμβάνει τη μέτρηση της καθυστέρησης με εμπειρία από την παρούσα κυκλοφορία στο δίκτυο, και έτσι δεν προσθέτει επιπλέον φορτίο στο δίκτυο. Μία τεχνική μέτρα μονόδρομη (one-way) καθυστέρηση (OWD) σημειώνοντας το χρόνο που χρειάζεται ένα αυθαίρετο πακέτο για τη διαμετακόμιση μεταξύ δύο ακριβώς συγχρονισμένων σημείων [4-6]. Άλλη τεχνική απευθείας εκτίμησης RTT σε ένα ενιαίο σημείο μέτρησης από το χρόνο που απαιτείται για μια εφαρμογή αίτησης μεταφοράς πακέτου με το αίτημα σε μία κατεύθυνση που πρέπει να απαντηθεί από μια αντιστοίχιση (και αναμενόμενη) απάντηση πακέτων στην κατεύθυνση της επιστροφής [7-9].

Ενεργός μέτρηση περιλαμβάνει επιπλέον κίνηση στο δίκτυο και την παρακολούθηση της μετέπειτα συμπεριφοράς του δικτύου. Η κυκλοφορία μπορεί να χορηγείται με διάφορες μορφές προσαρμοσμένες σε ειδικές μετρήσεις στόχους και να ακολουθήσουν συγκεκριμένες εφαρμογές. Για παράδειγμα, μπορεί ενιαία πακέτα να εγχυθούν σε ομοιόμορφη απόσταση σε σύντομο χρονικό διάστημα ή ένα από τα πακέτα να σπάσει και να εγχυθεί σε διαφορετικά μεγέθη πακέτων και μεταξύ των διαστημάτων των πακέτων κατά την έκρηξη. Δυστυχώς, η ενεργός μέτρηση έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Το δίκτυο μπορεί να αντιμετωπίζει με διαφορετικό τρόπο τους ενεργούς ανιχνευτές (που οδηγεί σε αντιπροσωπευτικές μετρήσεις) και πολλά εργαλεία μπορούν να αποτύχουν να μιμηθούν τη ρεαλιστική εφαρμογή των μοτίβων κίνησης. Για παράδειγμα, οι άνθρωποι χρησιμοποιούν συχνά "ring" ως ένα απλό ενεργό εργαλείο αν και συχνά routers χειρίζονται ICMP πακέτα σε αργή πορεία (με αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση των RTT) [3]. Ενεργείς μετρήσεις επίσης μπορεί να δημιουργήσουν επιπλέον φορτίο σχετικά με το δίκτυο. Το φορτίο αυτό μπορεί να αλλάξει τη συνολική συμπεριφορά του δικτύου και τις επιδόσεις κατά τη διάρκεια της περιόδου μέτρησης. Δυστυχώς, η μεγαλύτερη ακρίβεια που επιθυμείται τυχαίνει να έχει διακυμάνσεις και λανθάνουσα τροχιά πιο συχνά από αυτή που απαιτείται από τα ενεργά πακέτα στο δίκτυο. Αυτό προκαλεί περαιτέρω αποκλίσεις στα χαρακτηριστικά των δικτύων υπό δοκιμή. Η ανάλυση του ενεργού τρόπου είναι ιδιαίτερα προβληματική στη σύνδεση μέσω τεχνολογιών όπως τα 802,11 WLANs, όπου μέτρια φορτία σε πακέτα ανά δευτερόλεπτο είναι γνωστό ότι προκαλούν αισθητή υποβάθμιση της υπηρεσίας (έστω και όταν το πρόσθετο φορτίο activeprobing είναι χαμηλό όταν μετράται σε bits / sec). [13 - Minimally Intrusive Round Trip Time Measurements Using Synthetic Packet-Pairs* Sebastian Zander*, Grenville Armitage*, Thuy Nguyen*, Lutz Mark, Brandon Tyo Centre for Advanced Internet Architectures (CAIA). Technical Report 060707A Swinburne University of Technology Melbourne, Australia]

β) Στην **UDP επικοινωνία** είναι γνωστή με τον όρο **Μονόδρομη Καθυστέρηση (One Way Delay)** και αναφέρεται στον χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο για να μεταδοθεί από ένα δικτυακό κόμβο σε έναν άλλο. One Way Delay ενός πακέτου Type-P* από την διεύθυνση της πηγής σε έναν άλφα προορισμό είναι χρήσιμη για διάφορους λόγους:

- ✓ Μερικές εφαρμογές δεν αποδίδουν καλά (ή καθόλου) εάν η καθυστέρηση end-to-end μεταξύ των χρηστών είναι μεγάλη σχετικά την αξία κατώτατων ορίων.
- ✓ Ακανόνιστη διακύμανση στην καθυστέρηση καθιστά δύσκολο (ή και αδύνατο) να υποστηριχθούν πολλές εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real time).
- ✓ Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της καθυστέρησης, τόσο πιο δύσκολο είναι η διατήρηση υψηλού εύρους ζώνης για μεταφορές σε στρώμα πρωτόκολλα.
- ✓ Η ελάχιστη τιμή της μέτρησης είναι ένδειξη για της καθυστέρησης η οποία οφείλεται μόνο στη διάδοση και την καθυστέρηση μετάδοσης.
- ✓ Η ελάχιστη τιμή της μέτρησης είναι ένδειξη για τη καθυστέρηση που θα πιθανόν να θα προκύψει όταν το μονοπάτι όπου διέρχεται είναι ελαφρά φορτωμένο.

- ✓ Τιμές των μετρικών πάνω από την ελάχιστη τιμή αποτελεί ένδειξη της συμφόρησης που υπάρχει στο δρόμο.

Η μέτρηση του **One Way Delay** αντί του **Round Trip Delay** υπαγορεύεται από τους εξής παράγοντες:

- ✓ Στο σημερινό Διαδίκτυο, η διαδρομή από πηγή σε έναν προορισμού μπορεί να να είναι διαφορετική από τη διαδρομή από τον τόπο προορισμού πίσω στην πηγή ("ασύμμετρα μονοπάτια"), έτσι ώστε οι δρομολογητές χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες για προς τα εμπρός κατευθύνσεις και αντίστροφα (προς τα πίσω). Ως εκ τούτου Round Trip μετρήσεις πράγματι μετράνε την επίδοση των δύο διακριτών διαδρομών μαζί. Μετρείται κάθε διαδρομή ανεξάρτητα τις υπογραμμίσεις της διαφορετικής απόδοσης μεταξύ των δύο διαδρομών που μπορούν να διέρχονται οι διάφορες παροχές υπηρεσιών Διαδικτύου, και οι διαφορετικοί τύποι δικτύων (για παράδειγμα, η έρευνα έναντι εμπορικά δίκτυα, ή ATM έναντι packet-over-SONET).
- ✓ Ακόμα και όταν οι δύο διαδρομές είναι συμμετρικές, μπορεί να έχουν τελείως διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης λόγω ασύμμετρης κατανομής σε σειρά.
- ✓ Απόδοση της αίτησης μπορεί να εξαρτάται κυρίως από την απόδοση προς μία κατεύθυνση. Για παράδειγμα, η μεταφορά αρχείων με χρήση του πρωτοκόλλου TCP μπορεί να εξαρτώνται περισσότερο από την απόδοση προς την κατεύθυνση της ροής των δεδομένων, και όχι τη κατεύθυνση προς την οποία στέλνονται πακέτα αναγνώρισης (acknowledgments).

Στην ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας Quality Of Service (QoS) επέτρεψε στα δίκτυα, εφοδιασμό σε μια κατεύθυνση μπορεί να είναι ριζικά διαφορετική από την τροφοδότηση της αντίθετης κατεύθυνσης, και έτσι οι QoS εγγυήσεις διαφέρουν. Μέτρηση των διαδρομών επιτρέπουν ανεξάρτητα τον έλεγχο και των δύο εγγυήσεων.

Οι μετρικές παράμετροι είναι: **Src (source)** Πηγαία διεύθυνση IP του αποστολέα, **Dst (destination)** Προορισμού διεύθυνση IP του αποστολέα, και **T (time)** ένας χρόνος. Η τιμή του ενός Type-P-One-way-Delay είναι είτε ένας πραγματικός αριθμός, είτε απροσδιόριστος (ανεπίσημα, άπειρος) αριθμός δευτερολέπτων.

Ορισμός: Για ένα πραγματικό αριθμό $dT, >>$ το Type-P-One-way-Delay από τη Src στο Dst σε T είναι $dT <<$ σημαίνει ότι Src έστειλε το πρώτο bit τύπου P πακέτων στο Dst σε χρόνο T και ο Dst έλαβε το τελευταίο bit του πακέτου σε χρόνο T + dT. Το Type-P-One-way-Delay από τη Src στο Dst σε T είναι απροσδιόριστο (ανεπίσημα, άπειρο), σημαίνει ότι η Src έστειλε το πρώτο bit του Τύπου-P πακέτων στο Dst σε χρόνο T και ο Dst ότι δεν έλαβε το πακέτο. Τα ακόλουθα θέματα είναι πιθανόν να καταλήξουν στην πράξη:

- ✓ Πραγματικές τιμές καθυστέρησης μπορεί να είναι θετικές. Ως εκ τούτου, δεν γίνεται να εκτεθεί μια αρνητική τιμή ως πραγματική καθυστέρηση. Ωστόσο, μια επιμέρους μηδενική ή αρνητική τιμή καθυστέρησης μπορεί να είναι χρήσιμη ως μέρος του ρεύματος, όταν προσπαθούν να ανακαλύψουν μια κατανομή ρεύματος στις τιμές καθυστέρησης.

- ✓ Δεδομένου ότι η τιμή καθυστέρησης θα είναι συχνά τόσο χαμηλή όσο 100 usec έως 10 msec φάσματος, θα είναι σημαντικό για τη Src και το Dst να συγχρονιστούν πολύ στενά. Συστήματα GPS παρέχουν έναν τρόπο για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός εντός των usec αρκετά 10s. Ο συγχρονισμός εξαρτάται από την σταθερότητα και τη συμμετρίας των ιδιοτήτων της καθυστέρησης.
- ✓ Μια δεδομένη μεθοδολογία θα πρέπει να περιλαμβάνει έναν τρόπο να προσδιορίσει εάν η καθυστέρηση έχει άπειρη τιμή ή αν είναι απλώς πολύ μεγάλη (και το πακέτο ακόμη για να καταλήξουμε στο Dst). Όπως σημειώνεται από Mahdavi και Paxson [4], απλά άνω όρια (όπως το 255 δευτερόλεπτα θεωρητικό άνω όριο για τη διάρκεια ζωής των πακέτων IP[5]) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, αλλά ορθά, συμπεριλαμβάνεται η κατανόηση της ζωής των πακέτων, θα χρειαστεί στην πράξη.
- ✓ Εάν το πακέτο διπλασιάζεται κατά μήκος της διαδρομής (ή τα μονοπάτια), έτσι ώστε πολλαπλά μη διεφθαρμένα αντίγραφα να φθάνουν στον προορισμό τους, τότε το πακέτο υπολογίζεται όταν λαμβάνεται, και το πρώτο αντίγραφο που φτάνει καθορίζει το πακέτο του One Way Delay.
- ✓ Εάν το πακέτο είναι κατακερματισμένο και εάν, για οποιονδήποτε λόγο, δεν επανασυναρμολογηθεί, τότε το πακέτο θα πρέπει να θεωρηθεί χαμένο.

Η αναλυτική μεθοδολογία εξαρτάται από τον P-τύπο (π.χ., αριθμός πρωτοκόλλου, UDP / TCP αριθμό σταθμού, το μέγεθος, την προτεραιότητα). Γενικά, για ένα συγκεκριμένο τύπο-P, η μέθοδος που θα ακολουθείται ως εξής:

- ✓ Τακτοποιείται ότι η Src και ο DST είναι συγχρονισμένες. Δηλαδή, ότι έχουν ρολόγια καλά συγχρονισμένα μεταξύ τους και αρκετά κοντά στο πραγματικό χρόνο.
- ✓ Στη Src, επιλέγονται οι Src και DST IP διευθύνσεις, και αποτελούν μια δοκιμή πακέτων του τύπου P με τις διευθύνσεις αυτές. Κάθε "padding" μερίδα του πακέτου που απαιτείται μόνο για να γίνει η δοκιμή πακέτων σε ένα δεδομένο μέγεθος πρέπει να γεμιστεί με τυχαία bits για να αποφευχθεί να μετρηθεί η καθυστέρηση σαν μικρότερη από ότι θα ήταν διαφορετικά, λόγω τεχνικών συμπίεσης κατά μήκος της διαδρομής.
- ✓ Το Dst, φροντίζει για την παραλαβή των πακέτων.
- ✓ Το Src, τοποθετεί ένα timestamp σε προετοιμασμένα πακέτα τύπου P, και το αποστέλλει προς το Dst.
- ✓ Εάν το πακέτο φθάσει σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα, λαμβάνει ένα timestamp, το συντομότερο δυνατόν μετά την παραλαβή του πακέτου. Αφαιρούνται τα δύο timestamps, και υπολογίζεται μια εκτίμηση του One Way Delay. Πάντα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν το σφάλμα εφαρμογής της μεθόδου σχετικά με την εγγύτητα του συγχρονισμού μεταξύ Src και DST. Εάν είναι γνωστή η καθυστέρηση μεταξύ

timestamp του Src και της πραγματικής αποστολής του πακέτου, τότε η εκτίμηση θα μπορούσε να εκτιμηθείμε την αφαίρεση αυτού του ποσού. Ομοίως, αν είναι γνωστή η καθυστέρηση μεταξύ της πραγματικής παραλαβής του πακέτου και του timestamp του Dst, τότε η εκτίμηση θα μπορούσε να προσαρμοστεί με την αφαίρεση αυτού του ποσού, λαμβάνοντας υπ' όψιν την αβεβαιότητα της λάθος ανάλυσης.

Εάν το πακέτο αποτύχει να καταλήξει μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα, το One Way Delay πρέπει να θεωρηθεί undefined (ανεπίσημα, άπειρο).

Ορισμός για δείγματα One Way Delay: Η ιδέα του δείγματος είναι να επιλεγεί ένα συγκεκριμένο δεσμευτικό από τις παραμέτρους Src, Dst, και τύπου-P, το οποίο να καθορίζει ένα δείγμα των τιμών των παραμέτρων T. Τα μέσα για τον καθορισμό των τιμών του T είναι να επιλεγεί ένα χρονικό διάστημα που αρχίζει τη χρονική στιγμή T₀, και την τελική στιγμή T_f, και ενός μέσου συντελεστή λάμδα, τότε καθορίζεται μια διαδικασία του συντελεστή λάμδα ψευδο-τυχαία Poisson, όπου οι τιμές πέφτουν μεταξύ των T₀ και T_f. Το χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών τιμών του T θα είναι 1/λάμδα. (Σχόλιο: Poisson δειγματοληψία είναι μόνο ένας τρόπος για τον προσδιορισμό ενός δείγματος). **Μετρικές παράμετροι:** Src το IP της πηγής, Dst το IP του προορισμού, T₀ ένας χρόνος, T_f ένας χρόνος, λ ποσοστό σε παράλληλα δευτερόλεπτα. **Μετρικές ενότητες:** μια ακολουθία ζεύγη, τα στοιχεία του κάθε ζεύγους είναι: T ένας χρόνος (όπου οι τιμές του T στην ακολουθία είναι μονότονη αύξηση), και dT είτε πραγματικός αριθμός ή ένας απροσδιόριστος αριθμός των δευτερολέπτων.

Ορισμός: Δεδομένου των T₀, T_f και λ, υπολογίζουμε μια ψευδο-τυχαία διαδικασία Poisson που αρχίζει στο ή πριν από το T₀, με μέσο συντελεστή άφιξης λ, και που λήγει στο ή μετά το T_f. Αυτές οι τιμές του χρόνου μεγαλύτερες ή ίσες του T₀ και μικρότερες ή ίσες με την T_f τότε είναι επιλεγμένα. Σε κάθε τιμή του χρόνου στη διαδικασία αυτή, αποκτούμε την τιμή του type P One Way Delay σε αυτό το χρόνο. Η τιμή του δείγματος είναι η ακολουθία που προκύπτει από τα ζεύγη <time, delay>. Εάν δεν υπάρχουν τέτοια ζεύγη, το μήκος της ακολουθίας είναι μηδέν και το δείγμα φέρεται να είναι κενό.

4.3.3. Το Τρέμουλο (Jitter)

Είναι η διακύμανση της καθυστέρησης, δηλαδή του χρόνου μεταφοράς από άκρο σε άκρο των στατιστικών interarrival πακέτων. Η IETF στο RFC 1889 καθόρισε το jitter να είναι η μέση απόκλιση (εξομαλύνεται η απόλυτη τιμή) των πακέτων, αλλάζοντας την απόσταση μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη [SCFJ96]. Η Sicsophone στέλνει πακέτα του μεγέθους σε σταθερά διαστήματα πράγμα που σημαίνει ότι S_j - S_i (φορές αποστολής των δύο συνεχόμενων πακέτων) είναι σταθερή. Η διαφορά του διαστήματος των πακέτων μετονομάζεται D, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του interarrival jitter.

$$J_i = J_{i-1} + (|D(i-1, i)| - J_{i-1})/16.$$

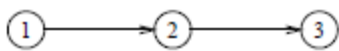
Σύμφωνα με το RFC, το interarrival jitter θα πρέπει να υπολογίζεται συνεχόμενα ως κάθε πακέτο που λαμβάνεται. Για ένα συγκεκριμένο πακέτο το interarrival jitter $J_i - 1$ για το προηγούμενο πακέτο $i - 1$ υπολογίζεται ως εξής: Σύμφωνα με το RFC "η παράμετρος του κέρδους $1 / 16$ δίνει μια καλή αναλογία μείωσης θορύβου με παράλληλη διατήρηση ενός λογικού συντελεστή σύγκλισης ". Λόγω buffering jitter προσθέεται μια καθυστέρηση στην εφαρμογή. Ο "πραγματικός" χρόνος που απαιτείται για την de-jittering εξαρτάται από τον πραγματικό χρόνο απόστασης μεταξύ των πακέτων που θα πρέπει να αποκατασταθούν. Για παράδειγμα, εάν ένα και μόνο πακέτο buffer απασχολείται έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση σε επιπλέον 20ms όπου προστίθενται στη συνολική καθυστέρηση. Σημειώνεται ότι τα πακέτα που φθάνουν με απόσταση μεγαλύτερη από 20ms θα πρέπει να απορρίπτονται από την αίτηση, σαν να είναι πολύ αργά για replay. Πολλαπλά των 20ms μπορεί να διατεθούν για κάθε πακέτο που πραγματοποιήθηκε πριν από playout σε αυτό το απλό παράδειγμα. Συνοψίζοντας, η υπάρχει καθυστέρηση λόγω του de-jittering η οποία εξαρτάται από την εφαρμογή του ρεύματος που φθάνει.

[14 - Wide Area Measurements of Voice Over IP Quality, Ian Marsh¹, Fengyi Li and Gunnar Karlsson, SICS AB, Kista S-164 29, Sweden, Department of Microelectronics and Information Technology KTH, Royal Institute of Technology S-164 40 Kista, Sweden]

4.3.4. Οι Απώλειες (Losses)

α) Στην TCP επικοινωνία σαν απώλειες θεωρείται ο αριθμός των αναμεταδόσεων των πακέτων που χάθηκαν στην διαδρομή. β) Στην UDP κίνηση ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των πακέτων που ελήφθησαν προς τον αριθμό των πακέτων που στάλθηκαν. Οι απώλειες πακέτων στα δίκτυα είναι αποτέλεσμα διαφόρων αιτιών, στα οποία περιλαμβάνονται η συμφόρηση, buffer υπερχείλιση, και, σε ασύρματα δίκτυα, σύνδεση βλάβη οφείλεται στην εξασθένιση. Έτσι, είναι απαραίτητη μια μέθοδο για την εξασφάλιση αξιόπιστης επικοινωνίας, και η επικρατούσα προσέγγιση για τον παραλήπτη και για την αποστολή είναι αιτήσεις για την αναμετάδοση των χαμένων πακέτων πάνω από κάποιο κανάλι ανατροφοδότησης. Υπάρχουν, ωστόσο, ορισμένα μειονεκτήματα σε μια τέτοια προσέγγιση, τα οποία είναι εμφανή κυρίως σε περιβάλλοντα υψηλής απώλειας και multicast συνδέσεις. Και στις δύο περιπτώσεις, απαιτούνται συνήθως πολλές αιτήσεις για την αναμετάδοση, οι οποίες θέτουν ένα περιττό φορτίο στο δίκτυο και μπορεί να ξεπερνούν την πηγή. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, υπάρχει το πρόσθετο

πρόβλημα που πακέτα συχνά αναμεταδίδονται χρησιμοποιούνται μόνο σε ένα υποσύνολο των δεικτών και είναι συνεπώς περιττό στο υπόλοιπο. Μια προσέγγιση που ξεπερνά αυτά τα μειονεκτήματα είναι η χρήση κωδικών διαγραφής-διόρθωσης. Κάτω από μια τέτοια προσέγγιση, τα αρχικά πακέτα ανασχηματίζονται από εκείνα που έχουν ληφθεί και απαιτείται ανατροφοδότηση. Αυτή η προσέγγιση έχει πρόσφατα επιβεβαιωθεί και από ψηφιακή πηγή των κωδικών [1, 2, 3], όπου είναι γρήγορη, σχεδόν βέλτιστη διαγραφή κωδικών. Οι εν λόγω κώδικες μπορούν να προσεγγίσουν την ικανότητα των συνδέσεων πάνω από τα χαμένα πακέτων δικτύων, με την προϋπόθεση ότι στο σύνολό τους, θεωρούνται ως ένα μόνο κανάλι και η κωδικοποίηση γίνεται μόνο στην πηγή κόμβο.



Ένα δίκτυο που αποτελείται από δύο συνδέσεις ταυτόχρονα. Αν και οι δύο σύνδεσμοι είναι χαμένοι, τότε η μεγαλύτερη χωρητικότητα που μπορεί να επιτευχθεί για τη σύνδεση μεταξύ κόμβου 1 και 3 όχι από την κατεργασία τους ως ένα μόνο κανάλι, αλλά με τη δυνατότητα κωδικοποίησης στον κόμβο 2.

Αλλά στα δίκτυα χαμένων πακέτων, όλοι οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα για κωδικοποίηση, όπως η επικάλυψη των δικτύων που χρησιμοποιούν το UDP και ασύρματα δίκτυα, η μεγαλύτερη ικανότητα μπορεί στην πραγματικότητα να επιτευχθεί αν δεν το κάνουμε. Για παράδειγμα το παραπάνω δίκτυο που αποτελείται από δύο δεσμούς σε συνδυασμό με την εικόνα. Ας υποθέσουμε ότι και οι δύο σύνδεσμοι μπορούν να μεταδώσουν ένα πακέτο ανά μονάδα χρόνου και ότι τα πακέτα χάνονται στις συνδέσεις (1, 2) και (2, 3) με πιθανότητες ϵ_{12} και ϵ_{23} , αντίστοιχα. Βλέπουμε ότι, χρησιμοποιώντας τη διαγραφή κωδικοποίησης (όπως η ψηφιακή κωδικοποίηση βρύσης), είμαστε σε θέση να μεταδώσουμε πακέτα από τον κόμβο 1 έως τον 3 σε ποσοστά που δεν υπερβαίνει $(1-\epsilon_{12})(1-\epsilon_{23})$ πακέτα ανά μονάδα χρόνου. Αλλά αν, αντί την θεραπεία της σύνδεσης μεταξύ του κόμβου 1 και κόμβο 3 ως ένα μόνο κανάλι, αναγνωρίζουμε ότι αποτελείται από δύο ξεχωριστά κανάλια, στη συνέχεια, επιτρέποντας στον κόμβο 2 επίσης κώδικα, είμαστε σε θέση να μεταδώσουμε πακέτα από τον κόμβο 1 στον κόμβο 3 τα ποσοστά δεν υπερβαίνουν $\min(1-\epsilon_{12}, 1-\epsilon_{23})$ πακέτα ανά μονάδα χρόνου [4], όπου είναι, σε γενικές γραμμές, μεγαλύτερο από $(1-\epsilon_{12})(1-\epsilon_{23})$ πακέτα ανά μονάδα χρόνου. Ένας προφανής τρόπος για την προσέγγιση αυτής της ικανότητας, για τη χρησιμοποίηση ενός κώδικα μεταξύ διαγραφή κόμβων 1 και 2 και η άλλη μεταξύ των κόμβων 2 και 3. Ένα τέτοιο σύστημα, όμως, θα εισάγει σημαντική καθυστέρηση, εφόσον θα απαιτούσε ένα ολόκληρο μπλόκο πακέτων που πρέπει να λάβει ο κόμβος 2, αποκωδικοποιημένα, στη συνέχεια, εκ νέου κωδικοποιημένα,

και αποστέλλονται στον κόμβο 3. Εξάλλου, η σοβαρότητα της παρούσας καθυστέρησης είναι πρόβλημα που σαφώς αυξάνει με το μέγεθος του δικτύου. Κάθε κόμβος εκτελεί κωδικοποίηση, αλλά δεν περιμένει για ένα πλήρες μπλοκ πακέτων που πρόκειται να ληφθούν πριν από αυτό στέλνει κωδικοποιημένα πακέτα. Αντίθετα, έχει μια μνήμη στην οποία αποθηκεύει τα πακέτα που έλαβε, καθώς και ότι αποτελεί κωδικοποιημένα πακέτα με τυχαίους γραμμικούς συνδυασμούς της μνήμης περιεχόμενων όποτε έχει την ευκαιρία μετάδοσης. Το πρόγραμμα είναι αποκεντρωμένο, δεν απαιτεί συντονισμό και μπορεί να λειτουργεί χωρίς κόστος, μπορεί να λειτουργεί επ'αόριστον, μέχρι την επιτυχή λήψη (και στο στάδιο αυτό το γεγονός είναι ότι σηματοδότησε όλους τους κόμβους, και απαιτεί ένα συγκριτικά ασήμαντο ποσό των σχολίων), που είναι μια ιδιαίτερα χρήσιμη ιδιότητα, το ποσοστό της απώλειας δεν είναι γνωστό με ακρίβεια. Η προσέγγιση της ικανότητας των συνδέσεων πάνω από τα δίκτυα μεταφοράς πακέτων όπου όλοι οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν αυθαίρετη κωδικοποίηση. Η δουλειά αυτή βασίζεται στα τη μία πλευρά από τις προτάσεις της Chou et al. [5] και Ho et al. [6, 7], πρώτα είναι τυχαία γραμμικά συστήματα κωδικοποίησης για δίκτυα δίχως απώλειες, καθώς και από την άλλη από LT κωδικοποίησης [1], και οι επεκτάσεις, οι οποίες είναι τυχαία γραμμικά συστήματα κωδικοποίησης για κανάλια με απώλειες. Από δίχως απώλειες δίκτυα και κανάλια είναι ειδικές περιπτώσεις δικτύων με απώλειες. Βλέποντας την εξέταση unicast σύνδεσης, multicast σύνδεσης. Το μοντέλο πέρα από τα συμβατικά το lossy point-to-point συνδέσεων που θεωρούν lossy εκπομπή συνδέσεων ότι είναι, σύνδεσμοι που μοντελοποιούνται και μεταδίδονται από τη διαγραφική καναλιών.

Από μελέτες που έχουν γίνει οι τιμές που θεωρούνται καλές για τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι : για την καθυστέρηση 0 - 150 ms, για το jitter 0 – 20 ms και για τις απώλειες 0 – 0.5%. Σαν αποδεκτά όρια τιμών θα είναι : για την καθυστέρηση 150 - 300 ms, για το jitter 20 – 50 ms και για τις απώλειες 0.5 – 1.5%. Κακές τιμές θα θεωρηθούν : για την καθυστέρηση μεγαλύτερες από 300 ms, για το jitter μεγαλύτερες από 50 ms και για τις απώλειες μεγαλύτερες από 1.5%.

4.4. Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν

Για να επιτευχθεί η επικοινωνία στο λογισμικό των LINUX, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες λογισμικές εντολές και προγράμματα. Τα προγράμματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την παραγωγή δικτυακής κίνησης, την παρουσίαση και ανάλυση των

χαρακτηριστικών αυτής και για την υλοποίηση του μηχανισμού των Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών.

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα παρακάτω:

- ✓ **Iperf:** Το Iperf είναι ένα εργαλείο το οποίο δημιουργεί και στέλνει TCP κίνηση. Μερικά από τα χαρακτηριστικά του γνωρίσματα είναι ότι παρέχει χρήσιμες πληροφορίες και αποτελέσματα για το εύρος ζώνης, τις απώλειες, την διακύμανση της καθυστέρησης και γενικότερα για την απόδοση του δικτύου. Παράλληλα καθορίζει τον χρόνο αποστολής (σε δευτερόλεπτα), την διεύθυνση που ξεκινούν τα πακέτα και που καταλήγουν, όπως επίσης και το πόσοι χρήστες θα συμμετέχουν στην επικοινωνία. Το iperf λειτουργεί σε όλα τα συστήματα (Unix, Windows, MacOS κλπ.).
- ✓ **MGEN:** Το MGEN (Multi-Generator) είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα και το οποίο παρέχει τη δυνατότητα να εκτελεστούν μετρήσεις για την απόδοση δικτύων που παρέχουν IP υπηρεσίες, δημιουργώντας UDP κίνηση. Το πρόγραμμα αυτό παίρνει input από το iptv.sh ένα πρόγραμμα τύπου notepad.
- ✓ **Tcpdump:** Το Tcpdump είναι ένα εργαλείο παρακολούθησης και αποθήκευσης της δικτυακής κυκλοφορίας, το οποίο σε συνεργασία με άλλα προγράμματα βοηθάει στην ανάλυση των διαφόρων χαρακτηριστικών των δικτυακών κινήσεων.
- ✓ **Tcptrace:** Το Tcptrace είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την ανάλυση αρχείων που έχουν δημιουργηθεί από τα προγράμματα σύλληψης της δικτυακής κίνησης, όπως το tcpdump. Το tcptrace μπορεί να παράγει αρχεία τα οποία περιέχουν διαφόρους τύπους πληροφοριών για κάθε υπαρκτή κίνηση, όπως ρυθμοαπόδοση, καθυστέρηση και επαναμεταδόσεις και άλλα. Μπορεί επίσης να παράγει γραφικές παραστάσεις για κάθε μια από τις παραπάνω πληροφορίες.
- ✓ **Gnuplot** και **Xplot:** τα δύο αυτά προγράμματα χρησιμοποιούνται για την γραφική απεικόνιση συνόλων δεδομένων.

5. Παρουσίαση και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν, τα οποία θα παρουσιαστούν γραφικά, δίνοντας επεξηγήσεις κατά την ανάλυση τους. Ο χρόνος προσομοίωσης σε κάθε επικοινωνία είναι 180 δευτερόλεπτα. Σε όλα τα σενάρια συμπεριλαμβάνεται QoS (παροχή ποιότητας υπηρεσίας), η οποία ουσιαστικά αναφέρεται στον έλεγχο του μηχανισμού κράτησης πακέτων παρά την επίτευξη της ποιότητας των υπηρεσιών. Είναι η δυνατότητα της παροχής προτεραιότητας σε διάφορες εφαρμογές, στους χρήστες ή στην ροή των δεδομένων, ή για την διασφάλιση μίας ροής σε ένα επίπεδο απόδοσης. Για παράδειγμα, ένα απαιτούμενο bit rate, delay, jitter, packet dropping πιθανότητα και/ ή ένα λάθος bit rate μπορεί να εγγυηθεί. Κατά την απουσία συμμόρφωσης του δικτύου, δεν απαιτούνται μηχανισμοί QoS.

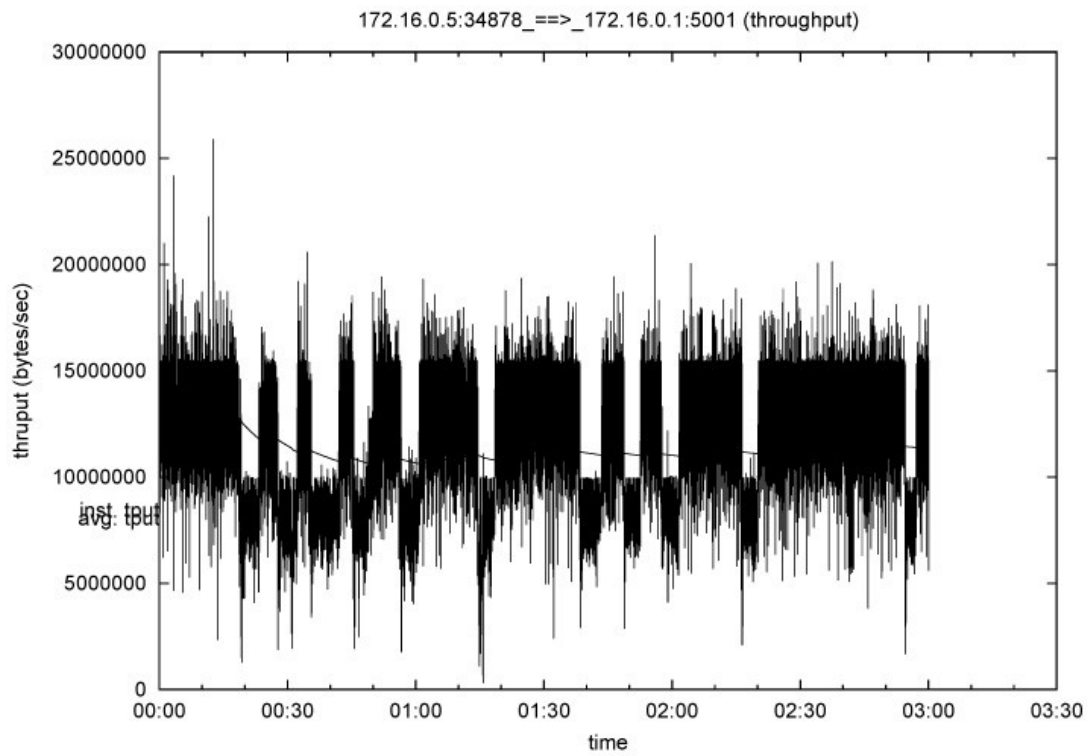
5.1. Σενάριο 1ο

Στο πρώτο σενάριο η επικοινωνία πραγματοποιήθηκε μέσα στο εργαστήριο, όπου ο CMN Server είναι σε **κοντινή απόσταση** με τον χρήστη και εν συνεχεία με περισσότερους χρήστες.

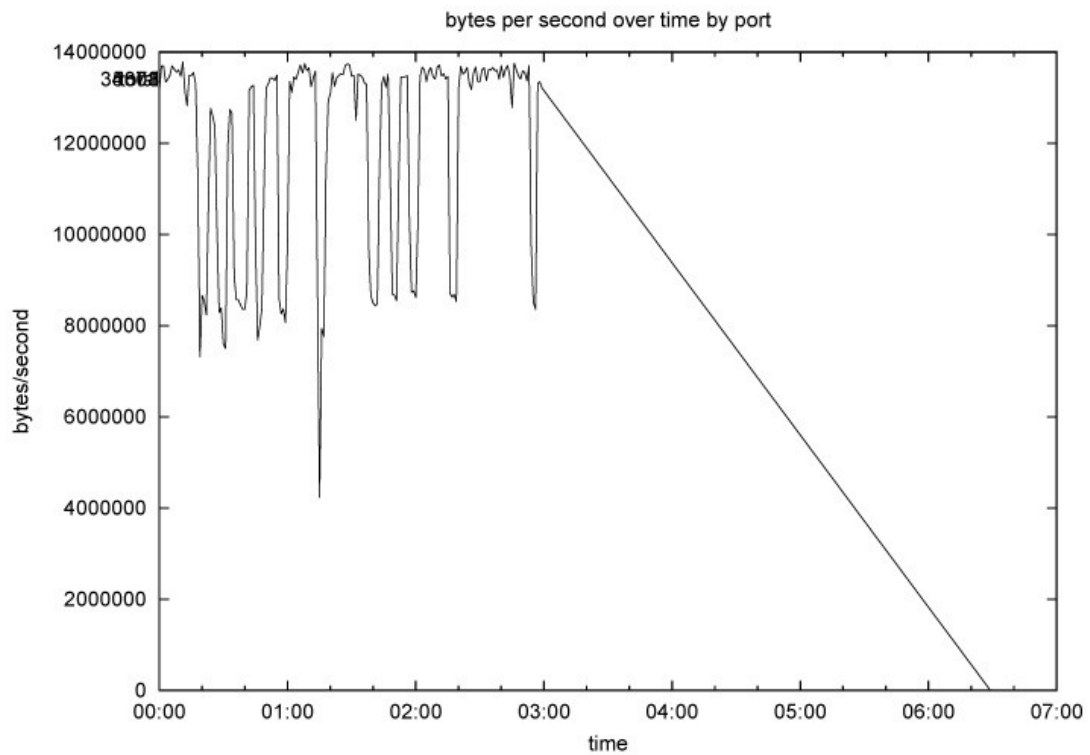
5.1.1. Μέρος 1^ο

Το πρώτο μέρος αυτού του σεναρίου πραγματοποιήθηκε με πρωτόκολλο επικοινωνίας το TCP κάνοντας χρήση όλου του διαθέσιμου εύρους ζώνης, δηλαδή, σε συγχρονισμένη επικοινωνία. Ο Server Provider παίρνει IP, στη συνέχεια παίρνουν IP και οι χρήστες, εντοπίζεται ο Server και η επικοινωνία αρχίζει. Τα πακέτα που στέλνονται είναι ορισμένα στα 1.024 bytes, με τυχαίο περιεχόμενο. Ο χρόνος προσομοίωσης του κάθε τύπου επικοινωνίας έχει ρυθμιστεί στα 180 seconds.

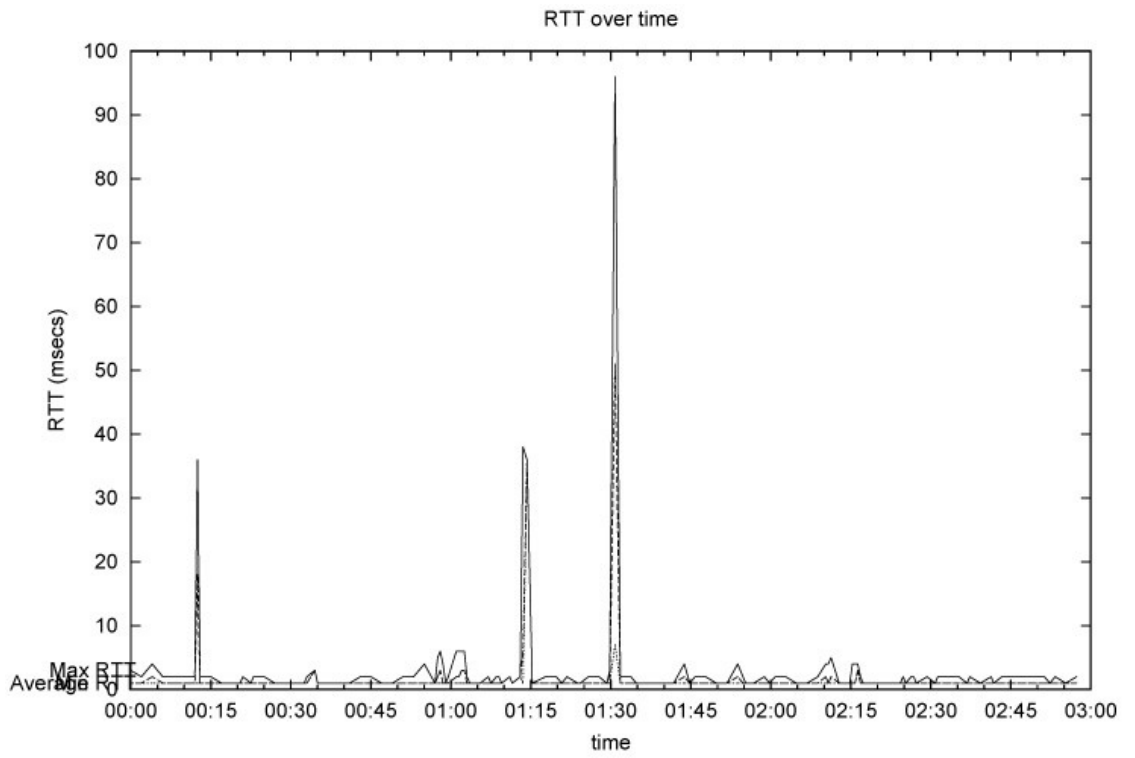
✓ **TCP** επικοινωνία με έναν χρήστη.



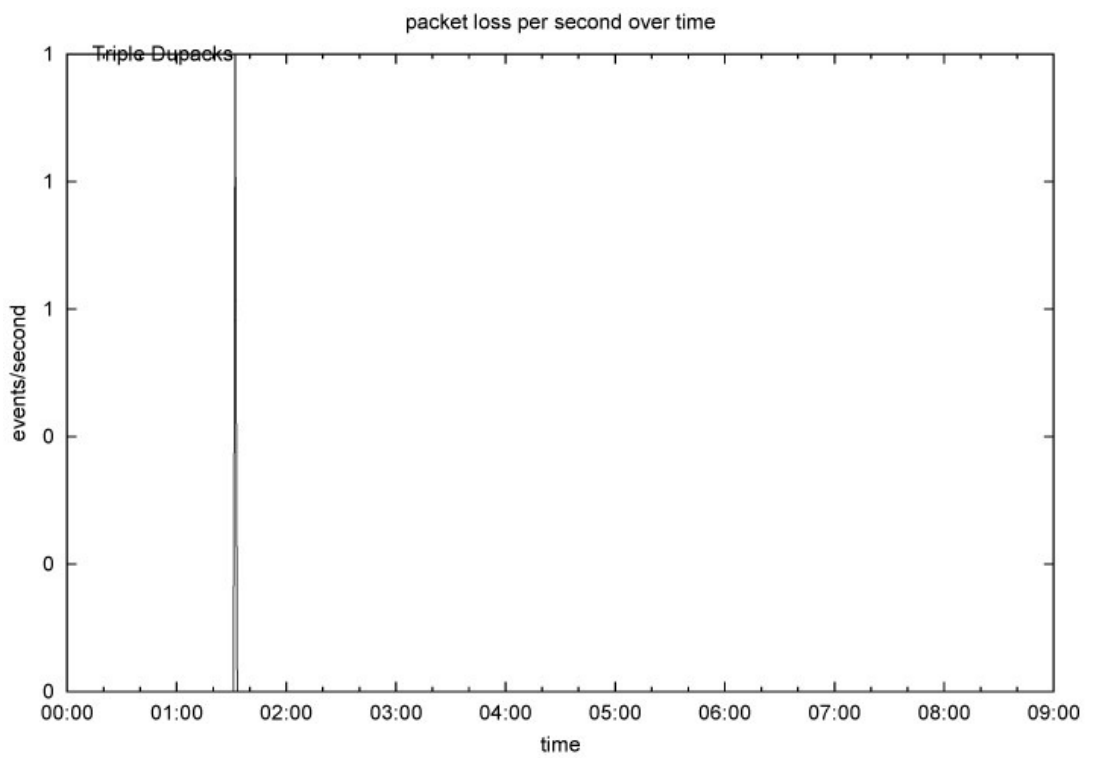
Εικόνα 10 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 11 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)



Εικόνα 12 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

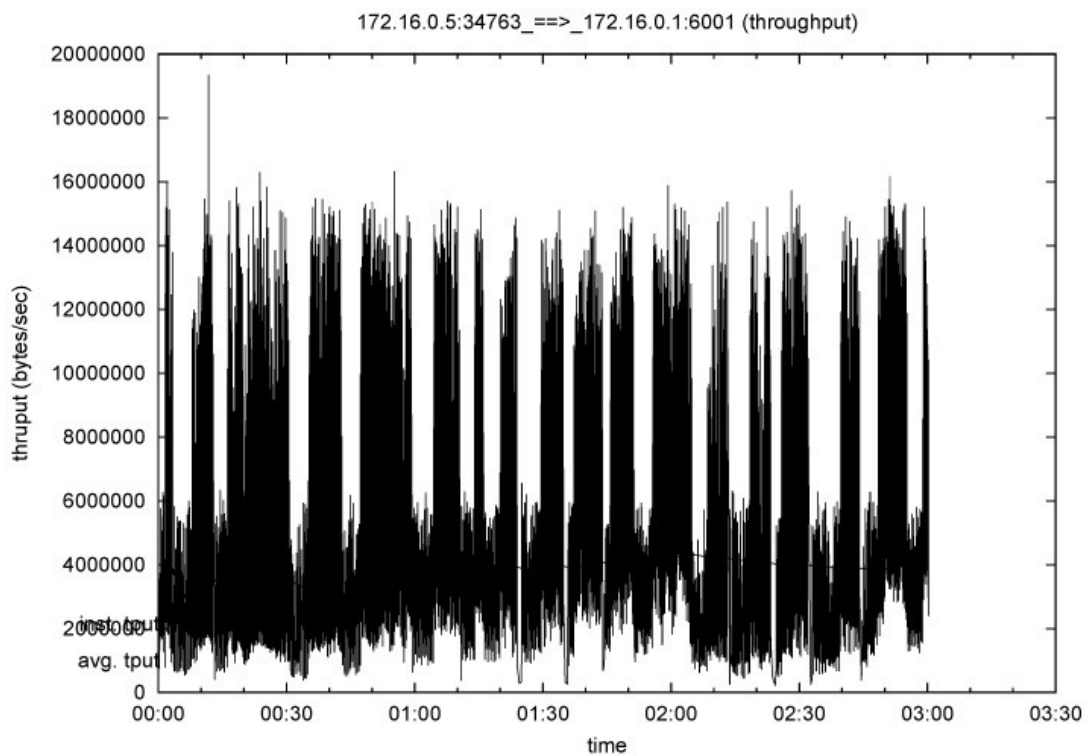


Εικόνα 13 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

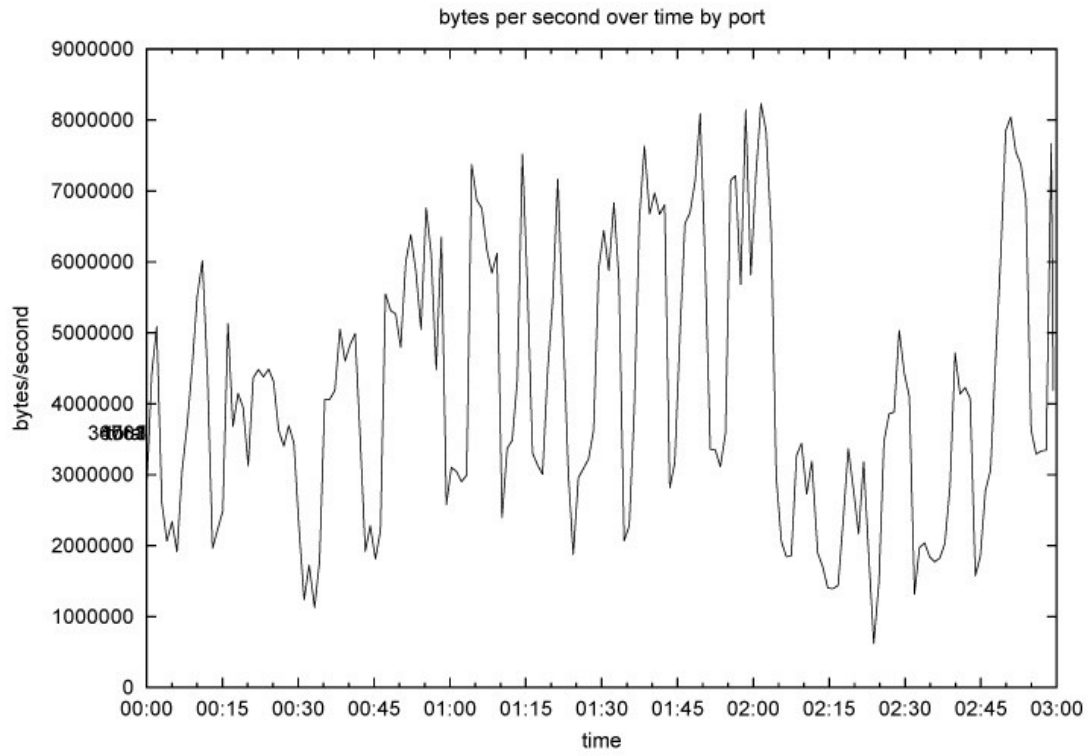
Στην πρώτη αυτή μετάδοση η απόδοση της επικοινωνίας κρίνεται αρκετά καλή. Αρχικά παρατηρώντας το throughput κυμαίνεται στα 76,63 Mbps, το δίκτυο χρησιμοποιείται σε όλο το εύρος του και ο εξυπηρετούμενος χρήστης είναι ένας. Δε σημειώνονται ιδιαίτερες καθυστερήσεις καθώς κρίνοντας από τη γραφική παράσταση του Round Trip Time (RTT), οι αυξομειώσεις είναι ελάχιστες. Πιο συγκεκριμένα μια μεγάλη αύξηση στο 1.30' του χρόνου προσομοίωσης, η οποία επαληθεύεται και στην γραφική παράσταση του Traffic Losses. Συμπίπτει λοιπόν το πακέτο που χάθηκε και στον ίδιο χρόνο με αφορμή την επαναποστολή υπήρξε αυτή η καθυστέρηση. Σε γενικές γραμμές κρίνεται μια καλή απόδοση του δικτύου, είτε από την χρησιμοποίηση του δικτύου που είναι η μέγιστη και δίχως απώλειες και καθυστερήσεις. Σημειώνεται πως η επικοινωνία κοντινής απόστασης πραγματοποιήθηκε στον χώρο του εργαστηρίου, εκεί παράλληλα πραγματοποιούνται και άλλες μεταδόσεις σε κοντινές – ίδιες συχνότητες μετάδοσης. Επίσης άτομα περιηγούνται στον χώρο. Για παράδειγμα, λοιπόν, θα μπορούσε στο 1.30' της διάρκειας της προσομοίωσης κάποιος να πέρασε σε κοντινή απόσταση από την κεραία και να άσκησε μια μικρή επιρροή.

✓ **TCP επικοινωνία με 2 χρήστες.**

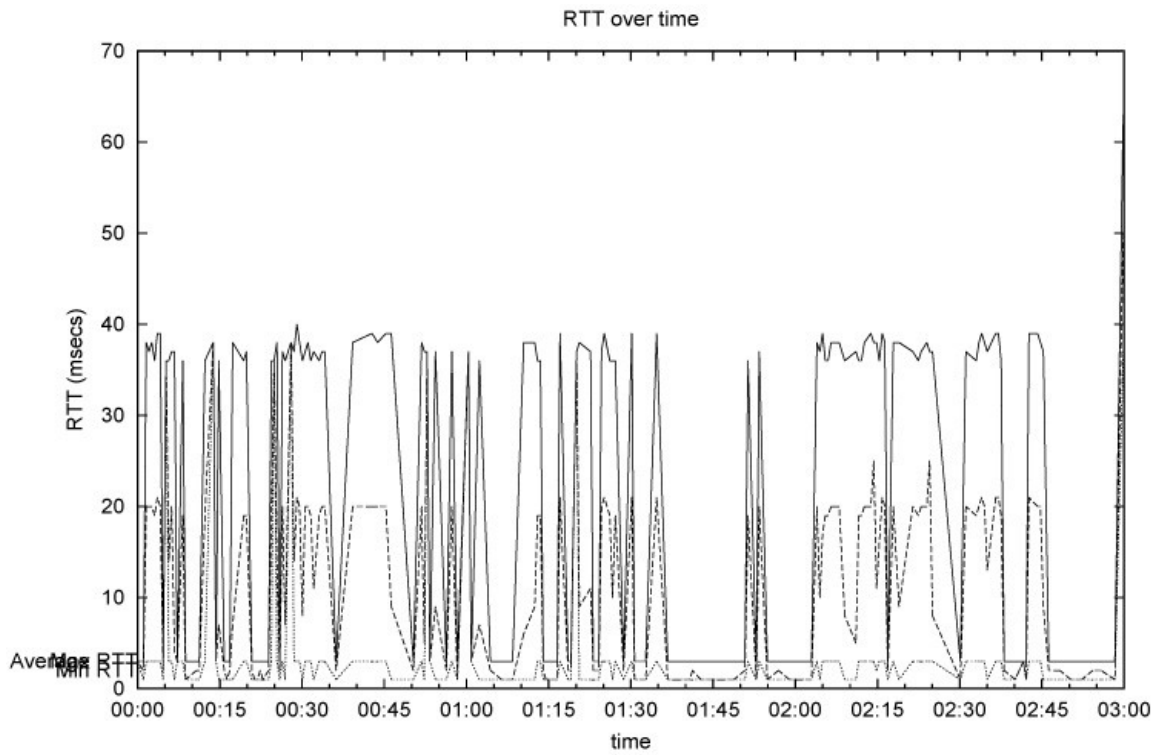
User 1



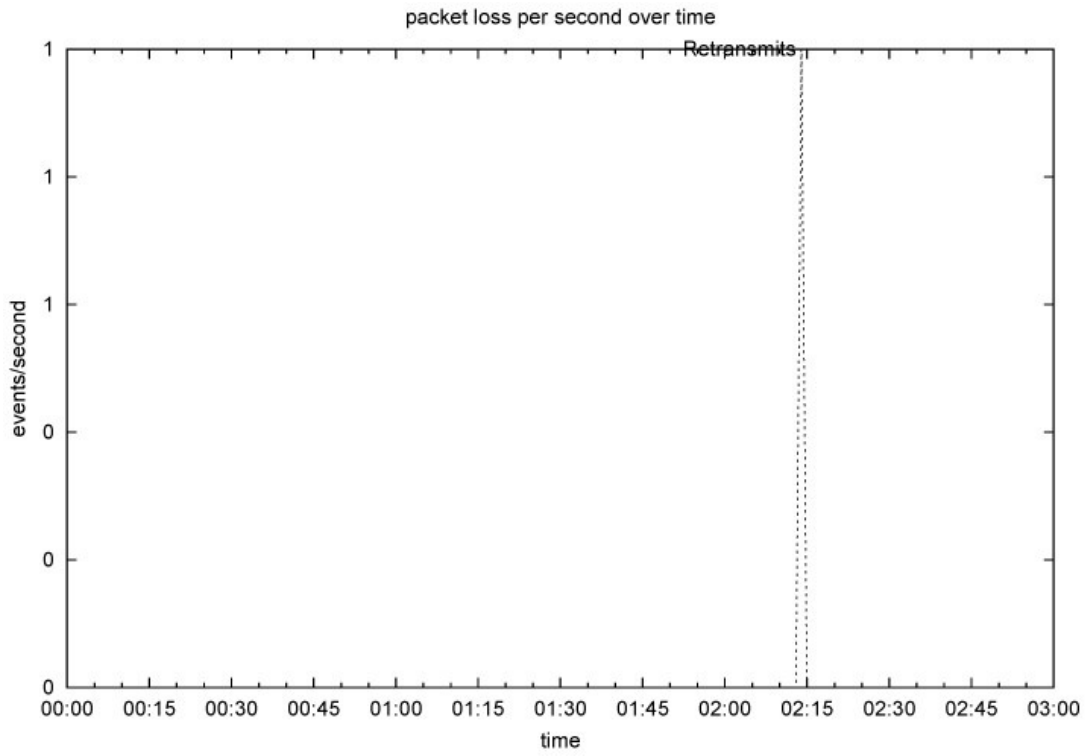
Εικόνα 14 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 15 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

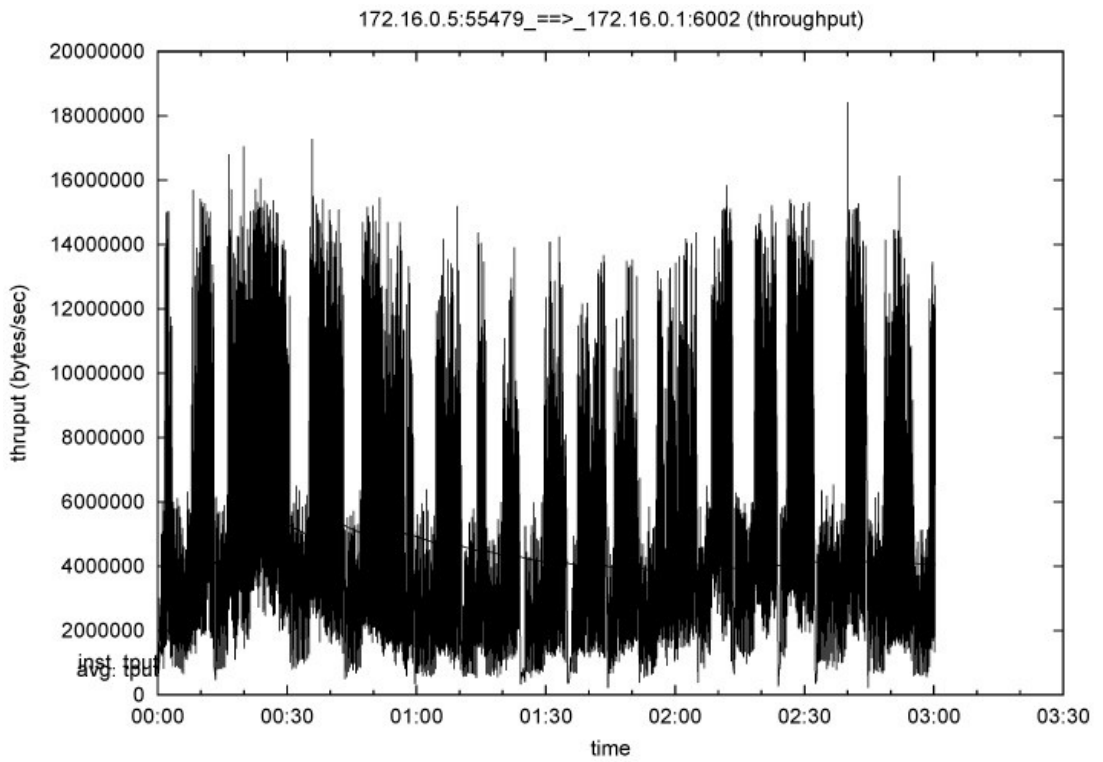


Εικόνα 16 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

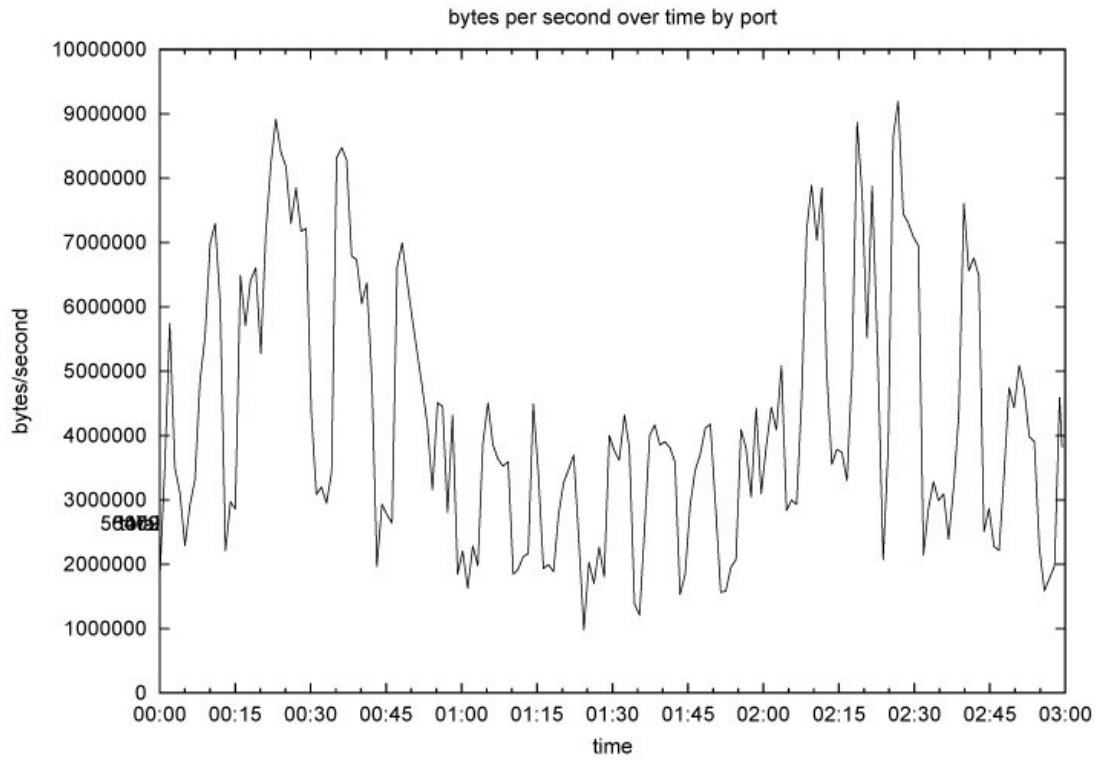


Εικόνα 17 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

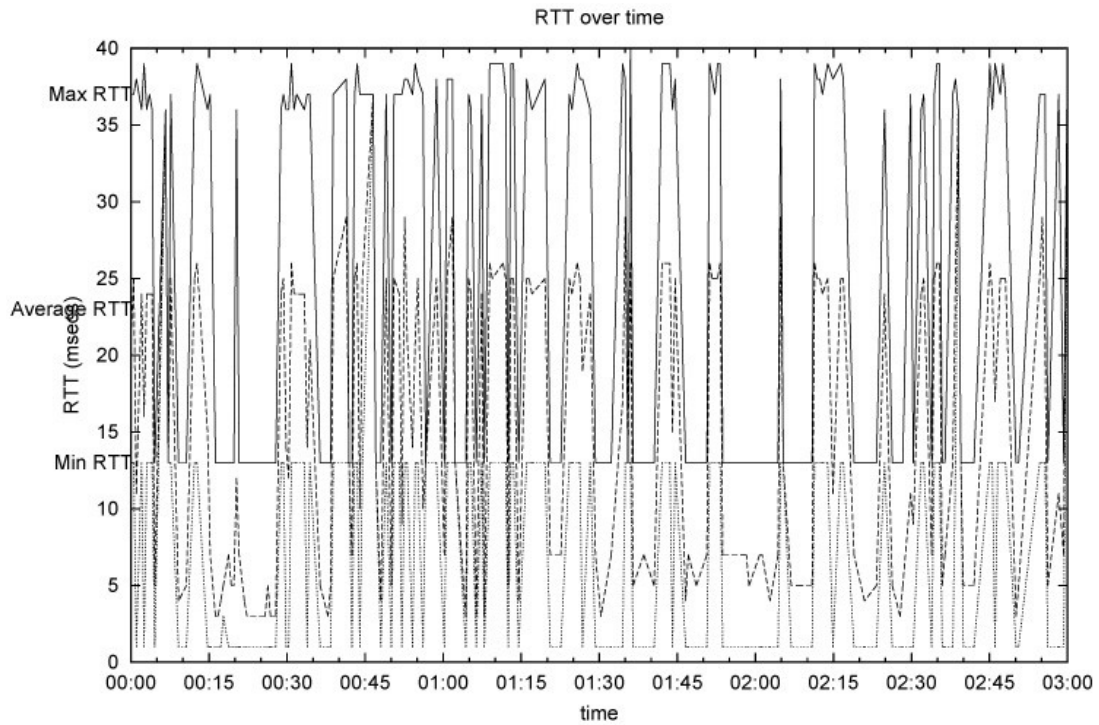
User2



Εικόνα 18 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 19 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)



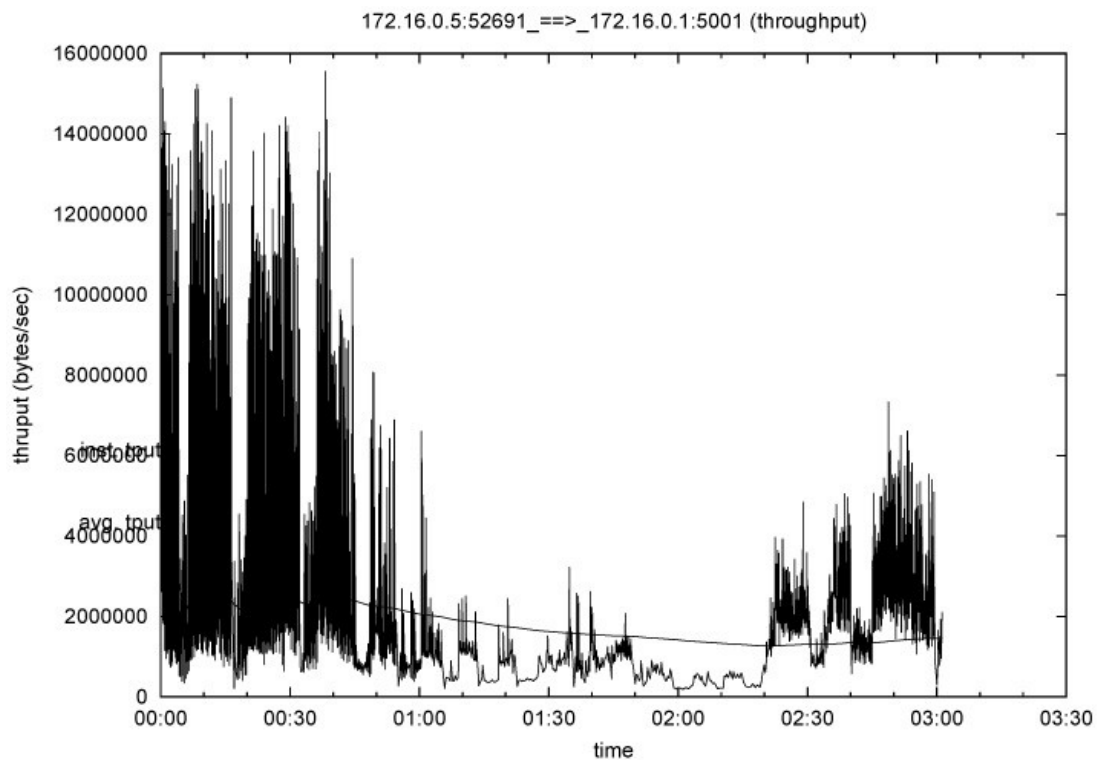
Εικόνα 20 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

Δεν υπάρχουν Traffic Losses (Απώλειες).

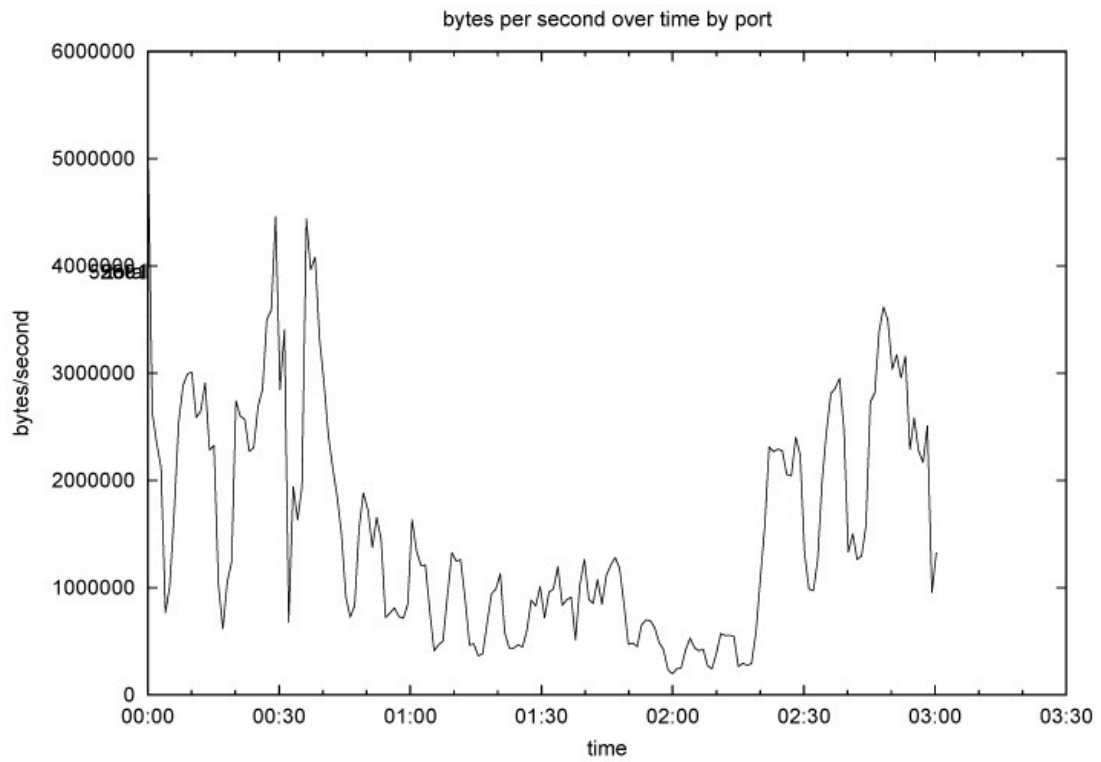
Μπαίνοντας δεύτερος χρήστης στην επικοινωνία παρατηρούμε το throughput να πέφτει κάτω από τα μισά της παραπάνω περίπτωσης. Παρατηρείται λοιπόν στους χρόνους που ανεβαίνει το throughput του user 1 πέφτει του user 2 και αντίστροφα. Σημειώνεται λοιπόν το μέσο throughput των δύο χρηστών στα 26,86 Mbps. Ο δεύτερος χρήστης επίσης παίρνει έυρος του δικτύου γι' αυτό και παρατηρείται αυτή η πτώση κάτω από τα μισά, καθώς μοιράζεται η ανταλλαγή πακέτων σε δύο. Έν συνεχεία, το Round Trip Time (RTT) είναι επίσης χαμηλό καθώς ο χρόνος της καθυστέρησης που σημειώθηκε σε αυτό το στάδιο είναι 33,5 msec για τον πρώτο χρήστη και 6,9 msec για τον δεύτερο. Αυτό σημαίνει πως δεν έχουμε χαμένα πακέτα και επαναποστολές. Πράγματι από τις αναφορές που πήραμε, το οποίο και επιβεβαιώνεται και από την παραπάνω γραφική, στον δεύτερο χρήστη δεν σημειώθηκαν απώλειες ενώ στον πρώτο χρήστη έχουμε μια απώλεια στο 2.14' στη διάρκεια της επικοινωνίας.

✓ **TCP επικοινωνία με 5 χρήστες.**

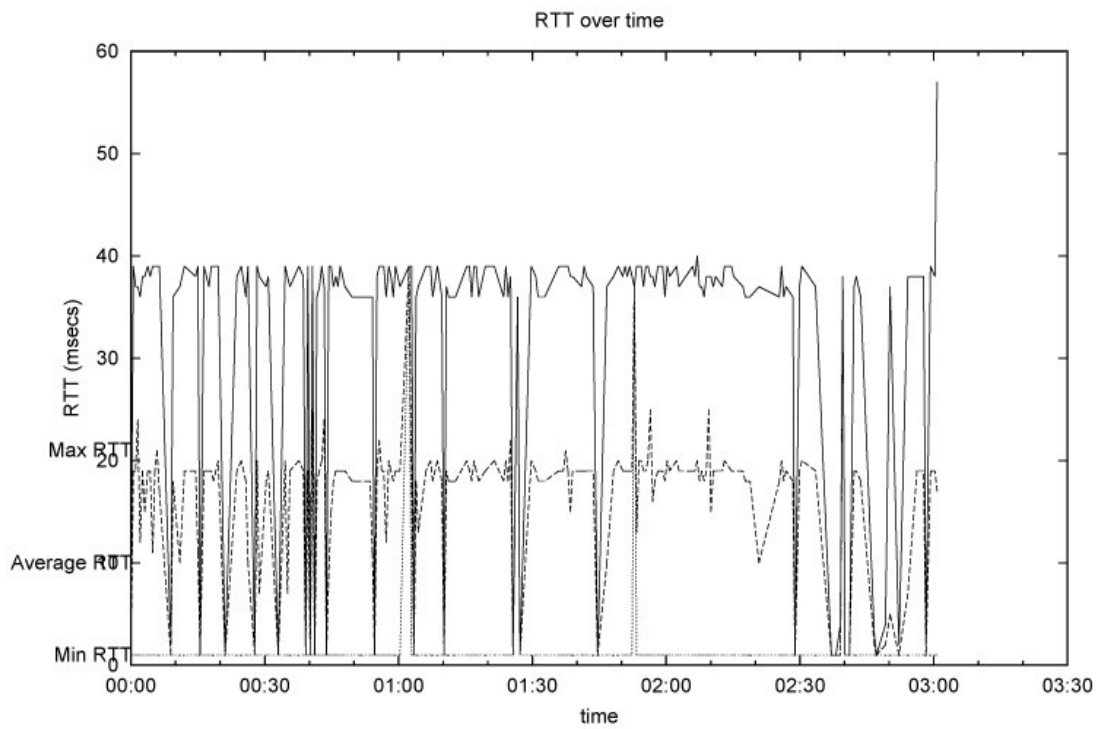
User 1



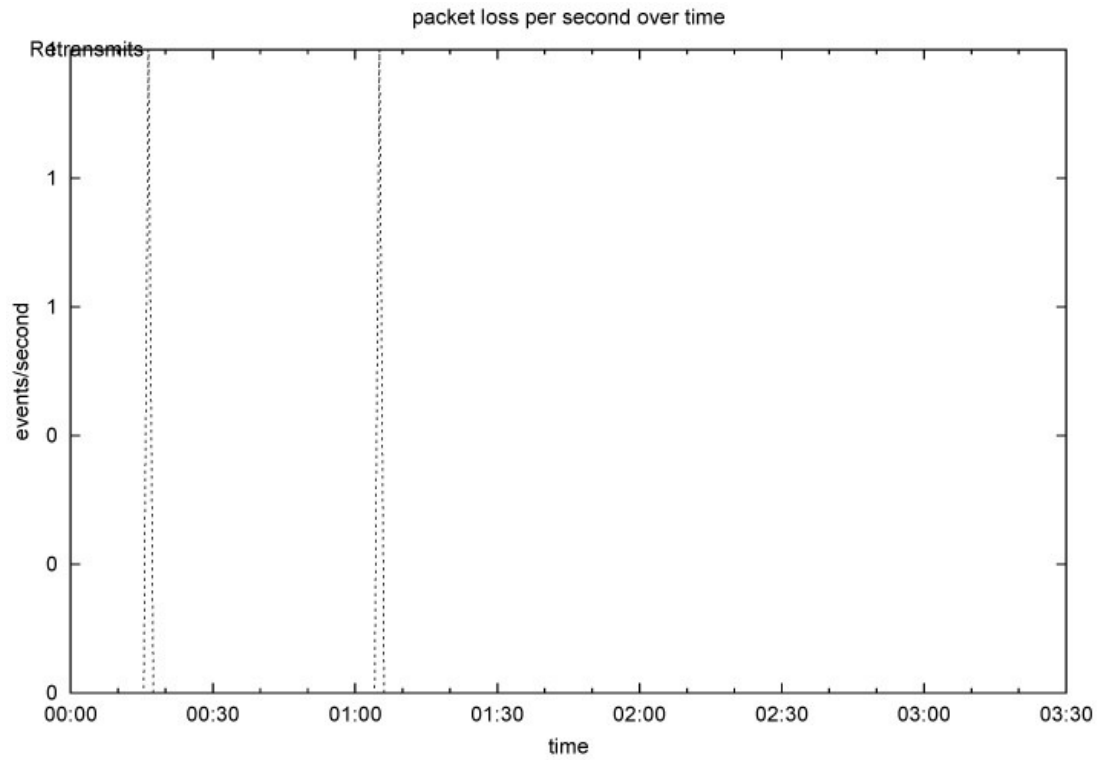
Εικόνα 21 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



\Εικόνα 22 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

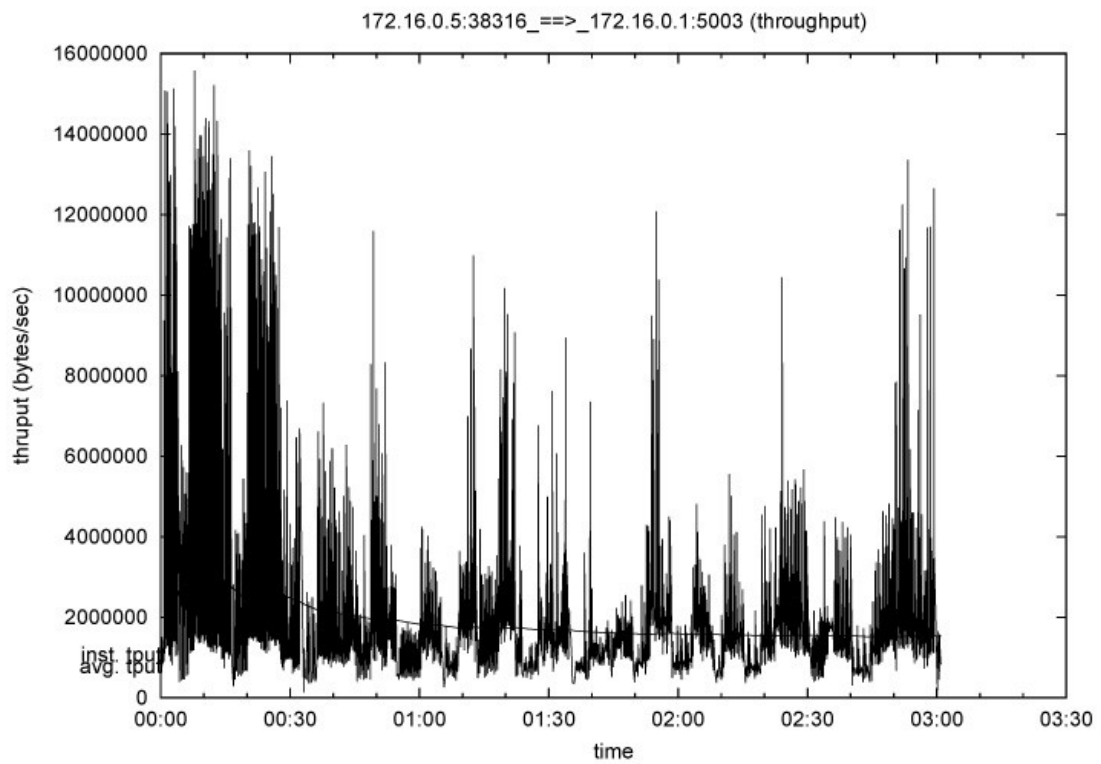


Εικόνα 23 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

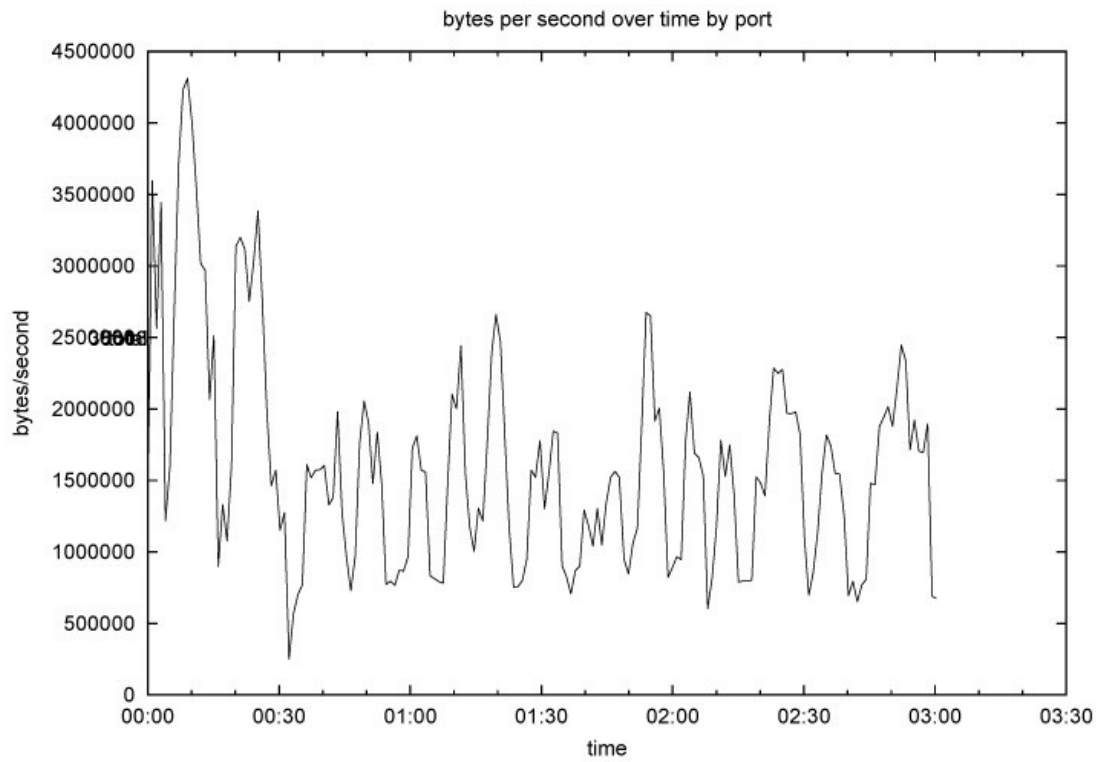


Εικόνα 24 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

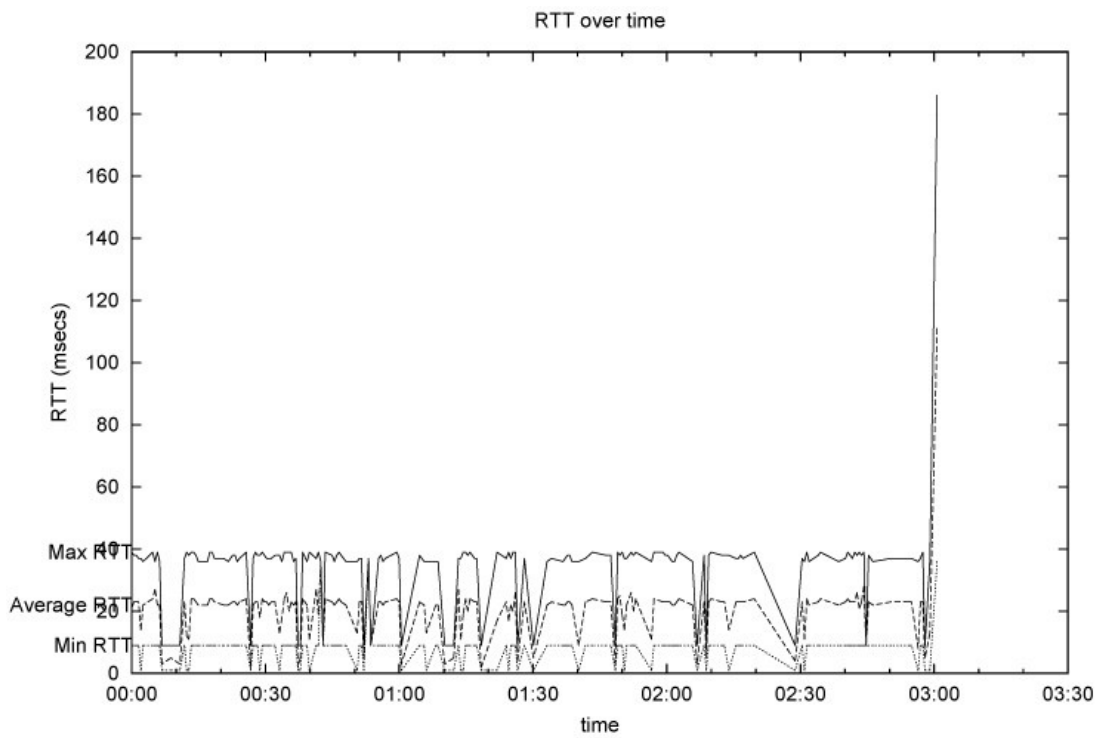
User3



Εικόνα 25 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



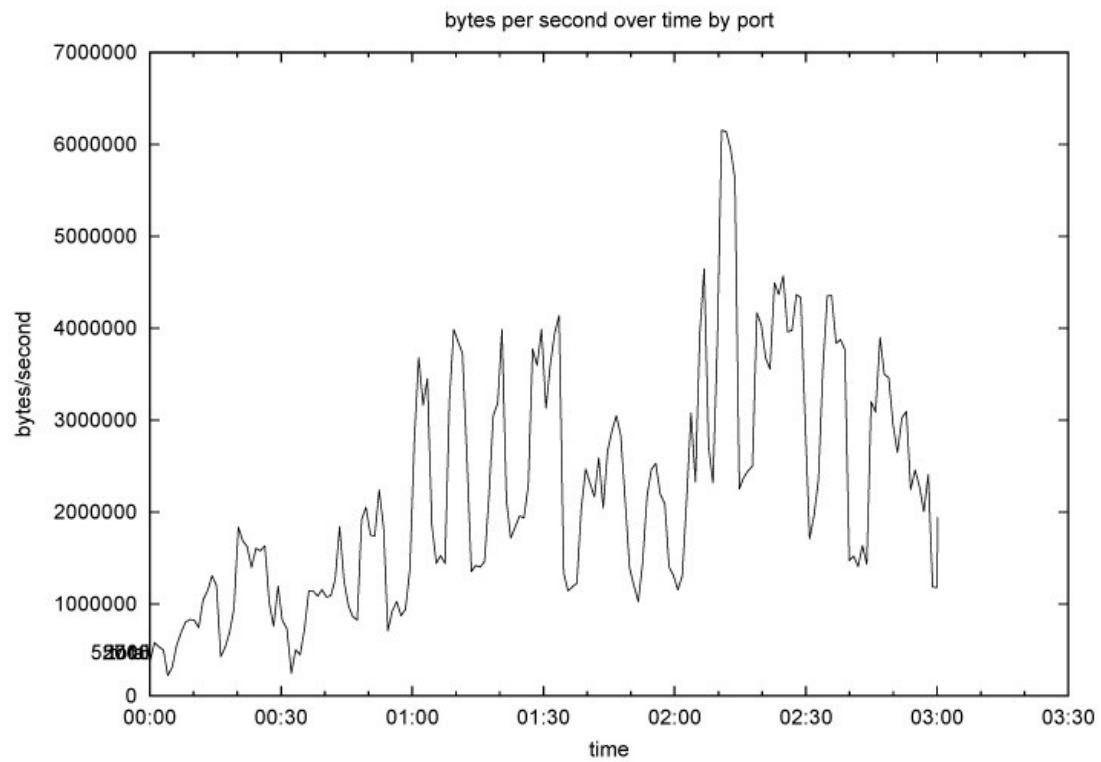
Εικόνα 26 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)



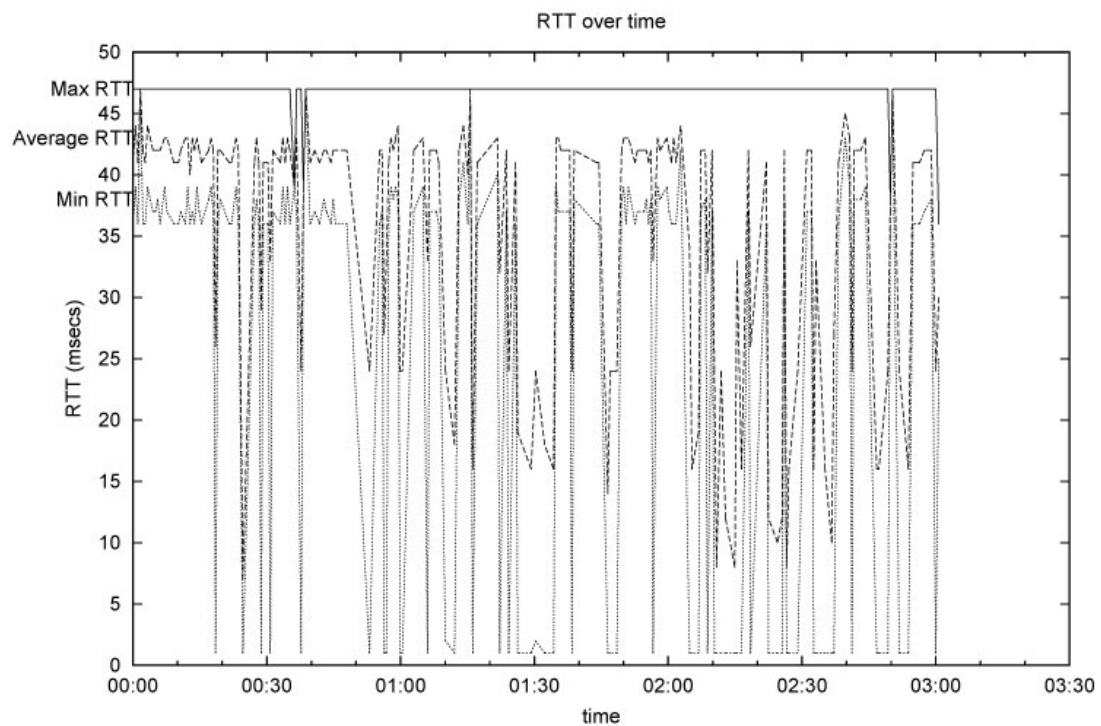
Εικόνα 27 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

Δεν υπάρχουν Traffic Losses (Απώλειες).

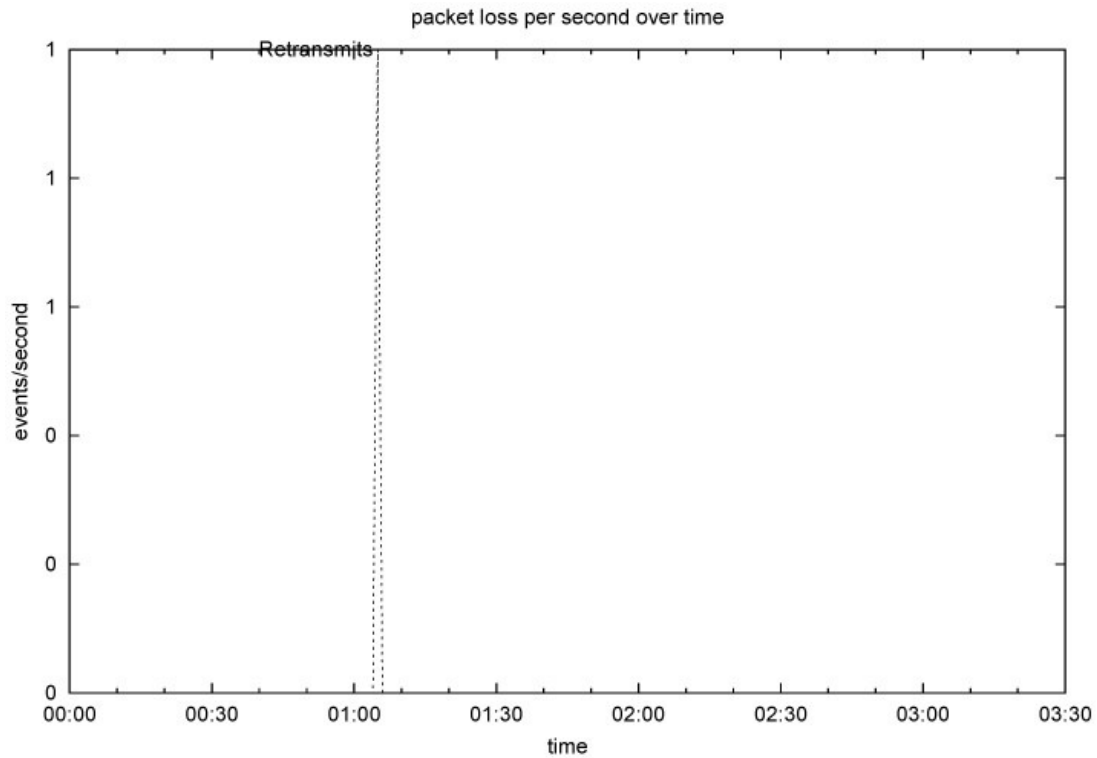
User5



Εικόνα 28 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)



Εικόνα 29 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

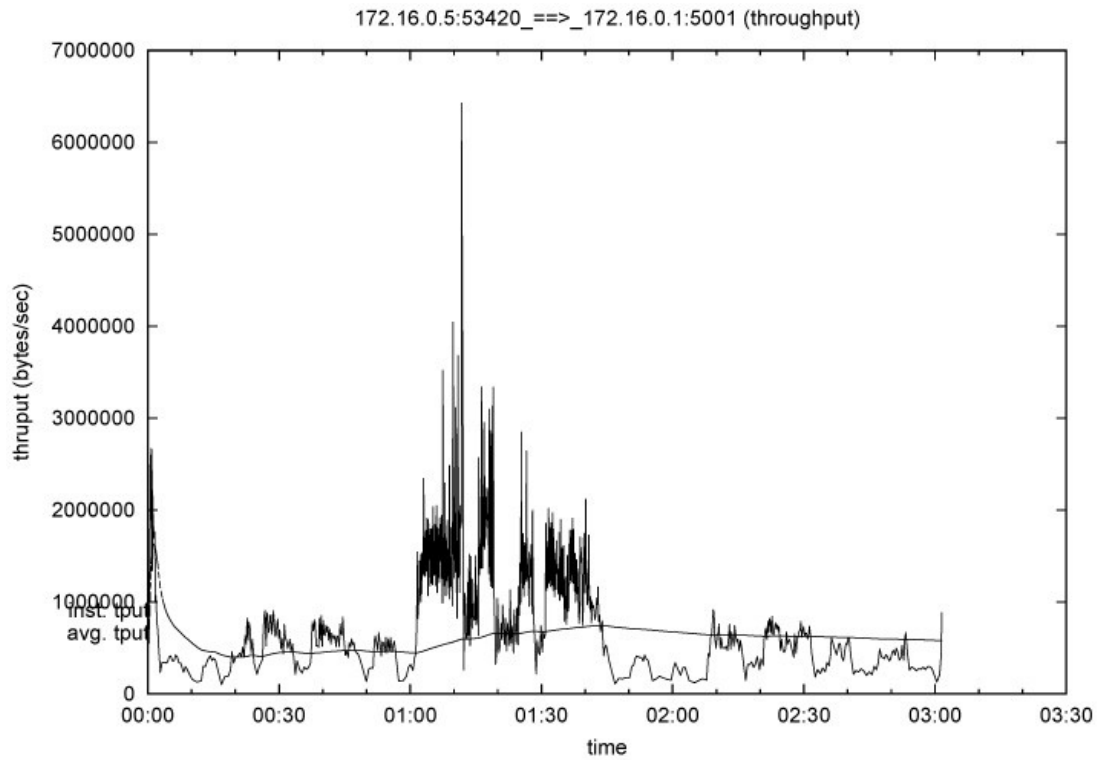


Εικόνα 30 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

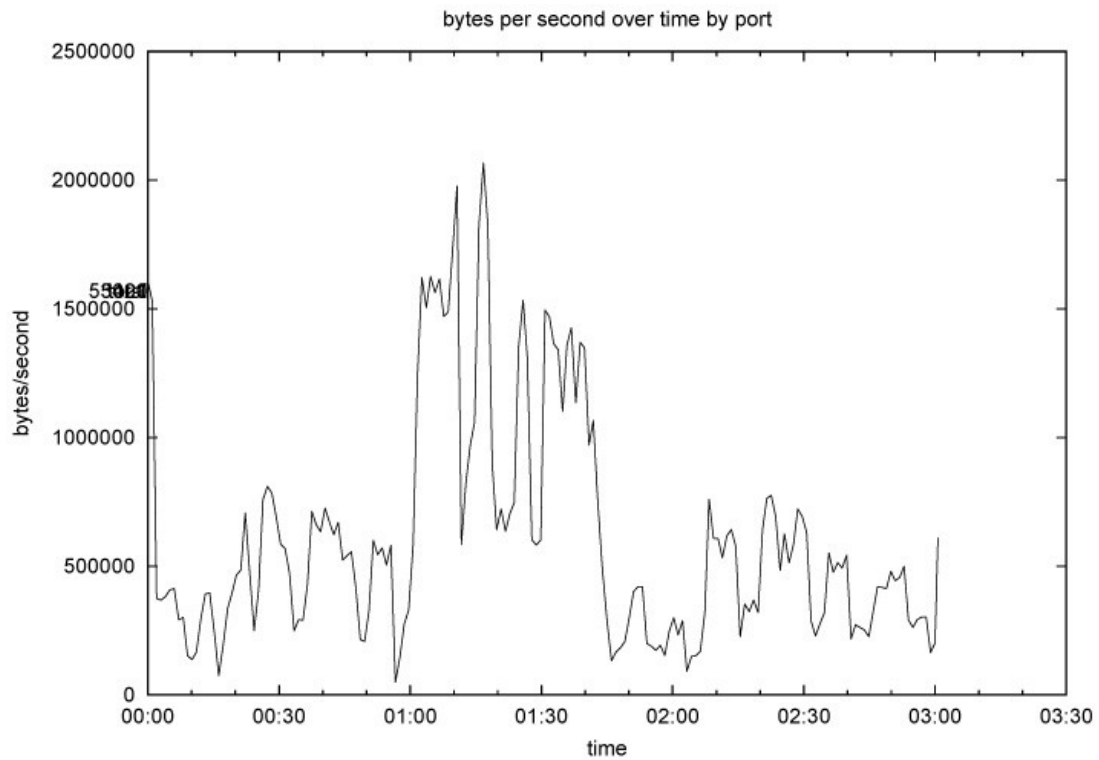
Στην επικοινωνία μεταξύ πέντε χρηστών αναπαρίστανται ενδεικτικά οι τρεις από αυτούς, ο πρώτος, ο τρίτος και ο πέμπτος. Παρατηρείται λοιπόν μια εναλλαγή της χρησιμοποίησης του δικτύου από κάθε χρήστη κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, για παράδειγμα στα πρώτα δευτερόλεπτα παρατηρείται μεγάλο throughput στον πρώτο χρήστη κοκ. Το μέσο throughput αυτής της επικοινωνίας υπολογίστηκε στα 10,88 Mbps. Υπήρξαν μικρές καθυστερήσεις με μέσο όρο RTT 0,12 msec, ενώ παράλληλα δεν υπήρξαν απώλειες στους χρήστες 2 και 3. Οι χρήστες 1 και 4 είχαν απώλειες δύο πακέτων και ο πέμπτος ένα πακέτο.

✓ **TCP** επικοινωνία με 10 χρήστες.

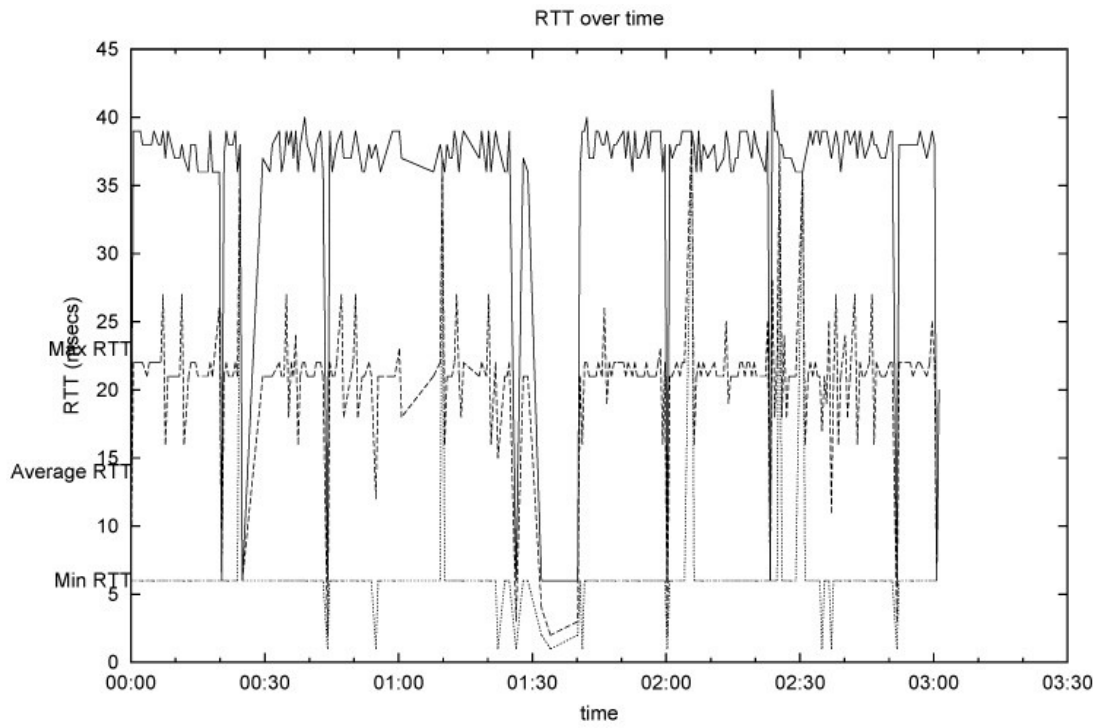
User1



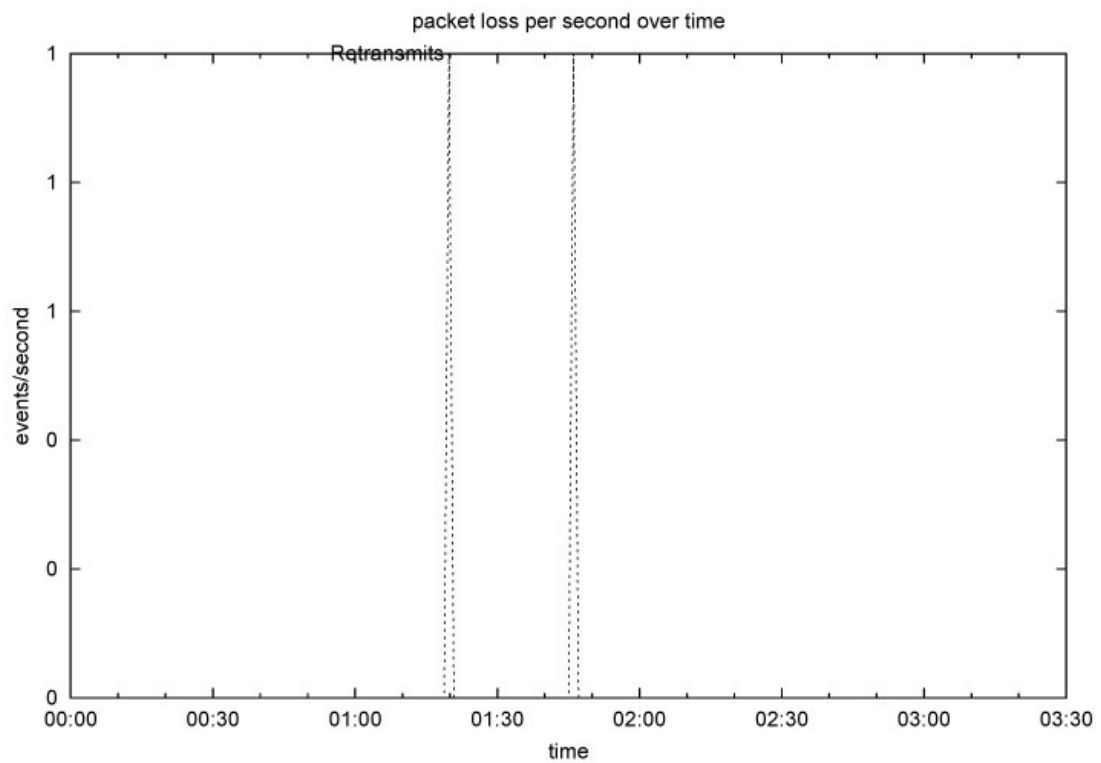
Εικόνα 31 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 32 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

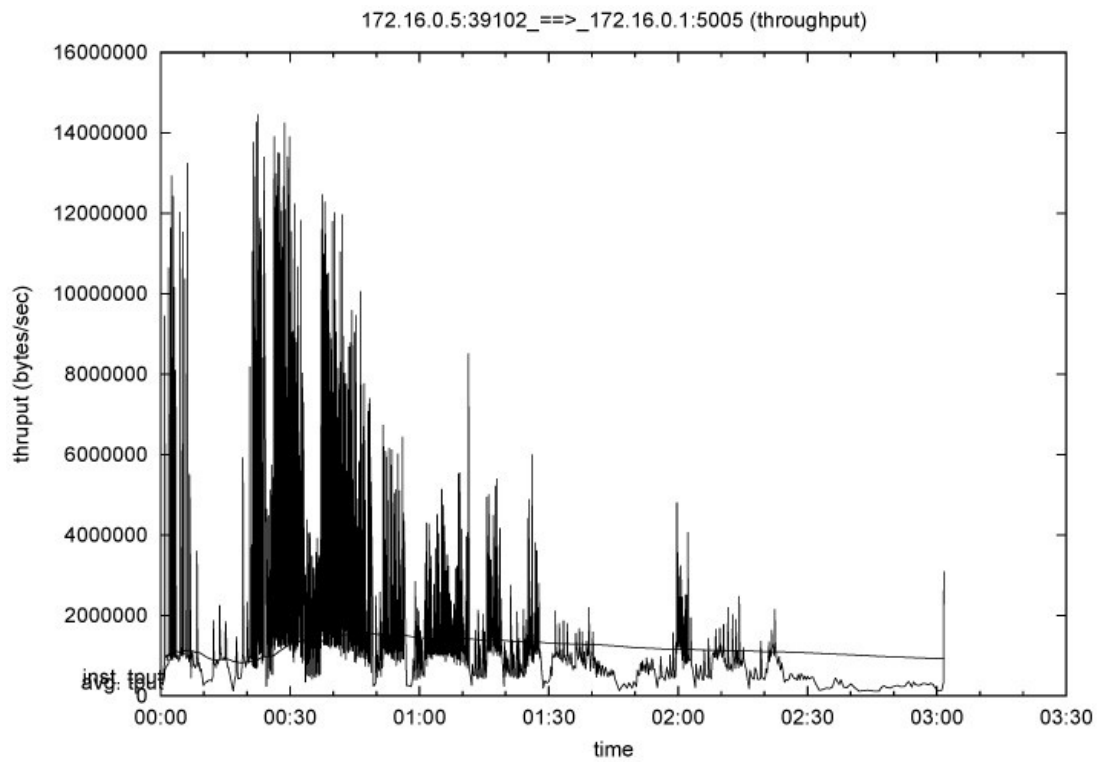


Εικόνα 33 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

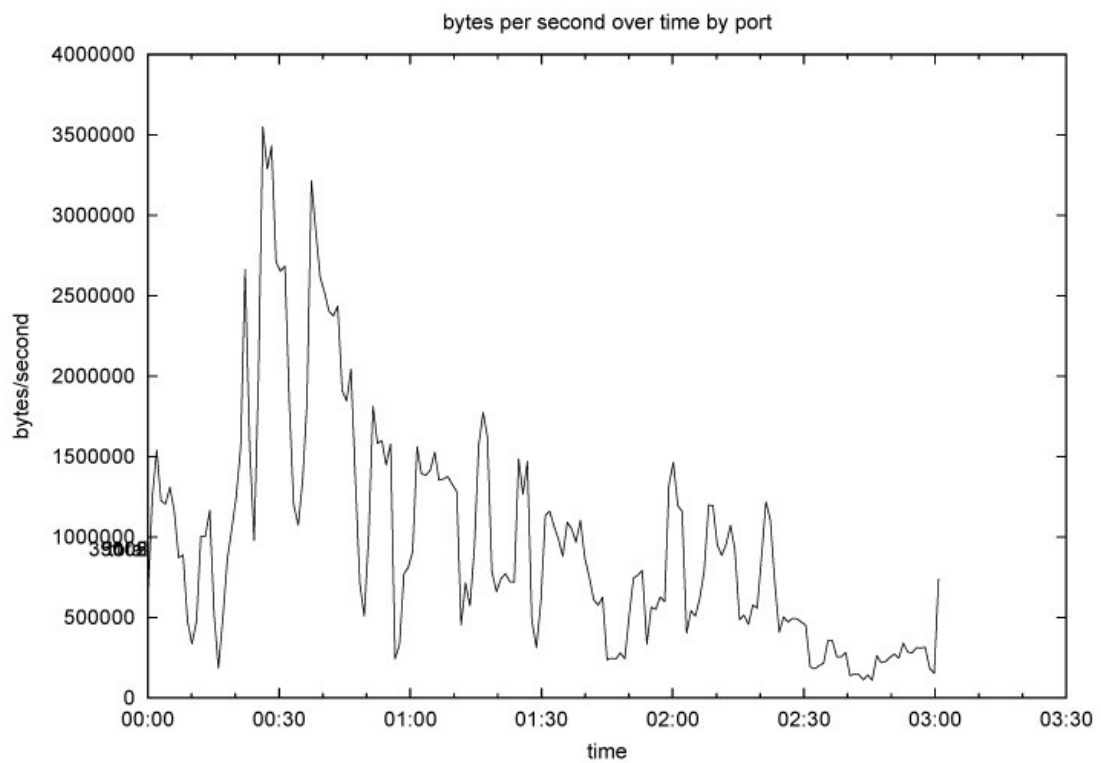


Εικόνα 34 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

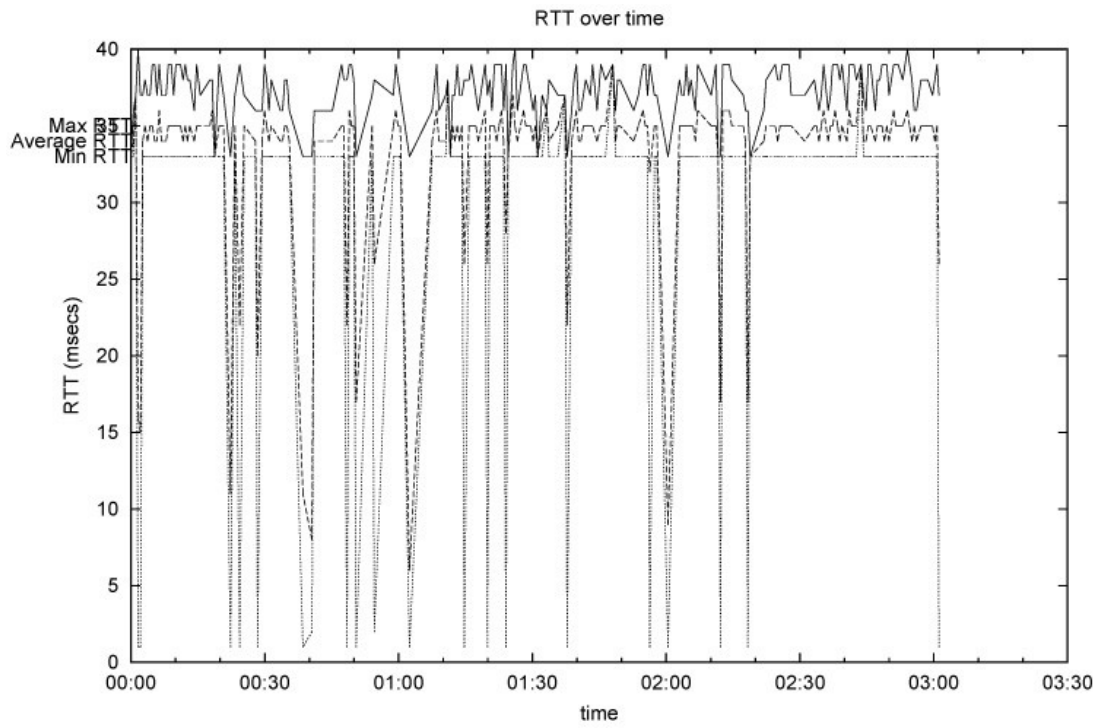
User5



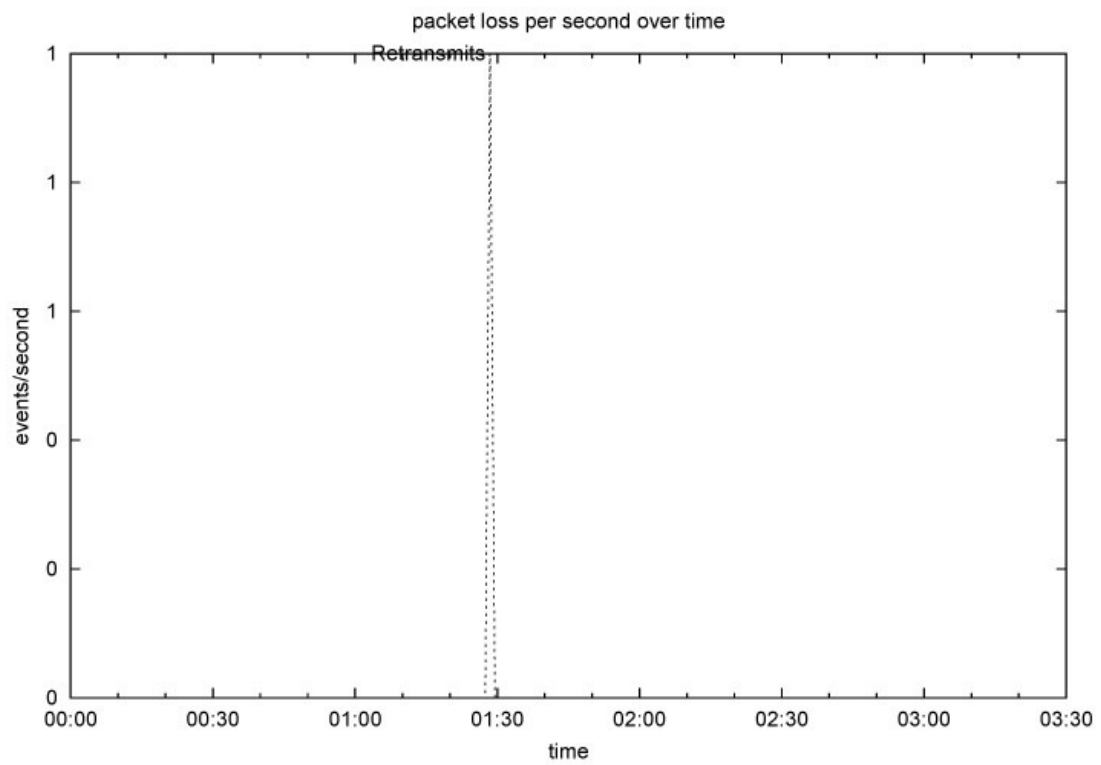
Εικόνα 35 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 36 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

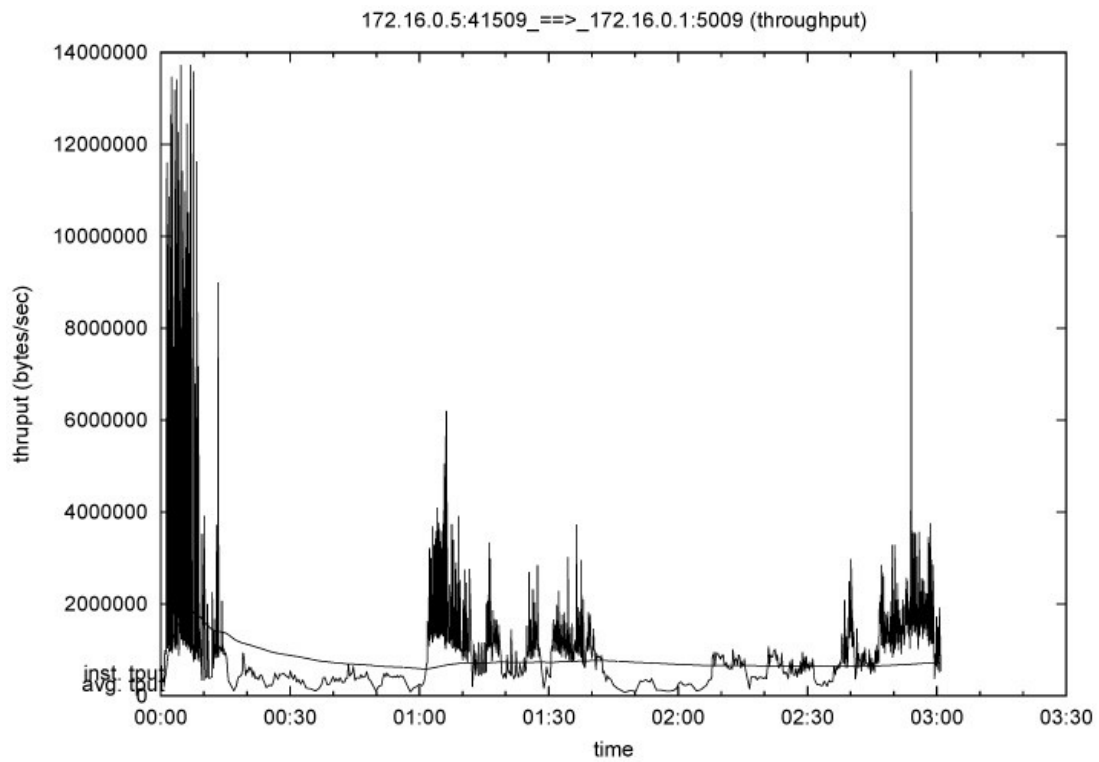


Εικόνα 37 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

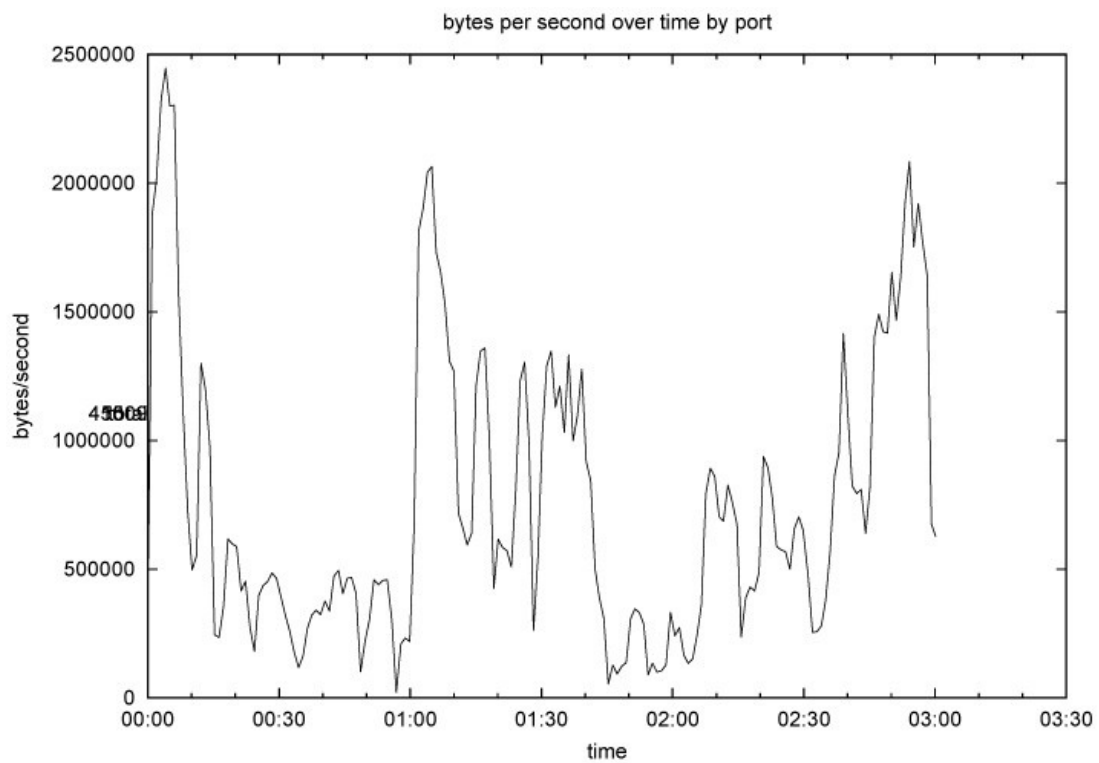


Εικόνα 38 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

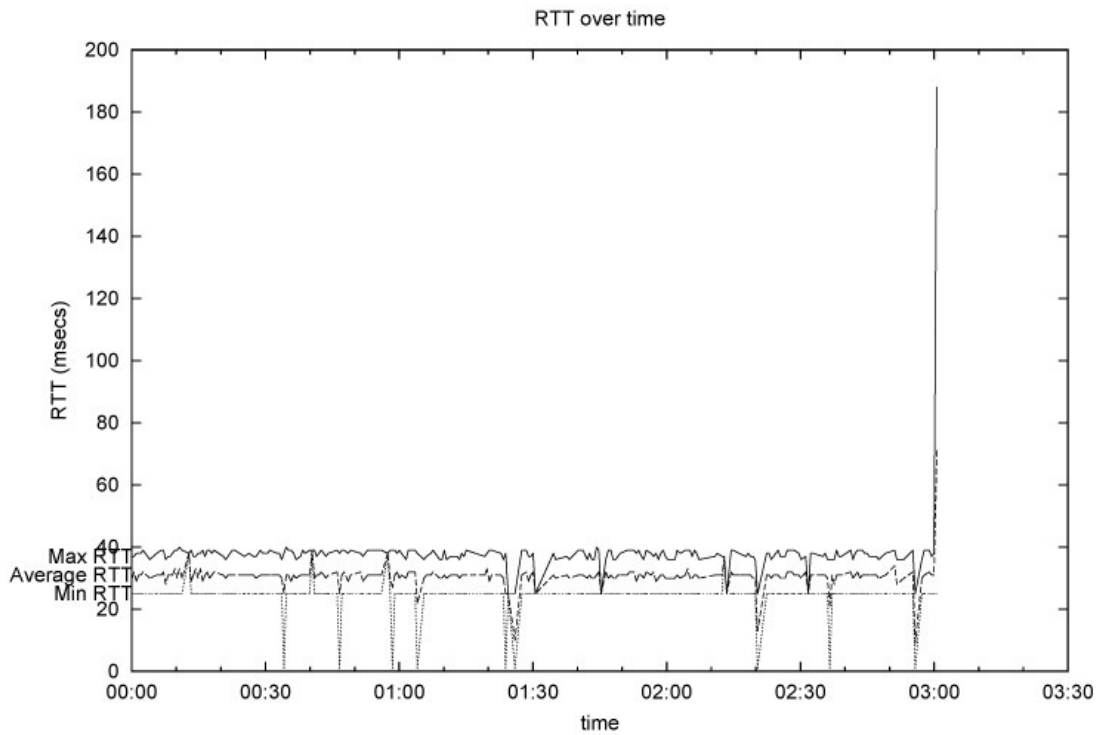
User10



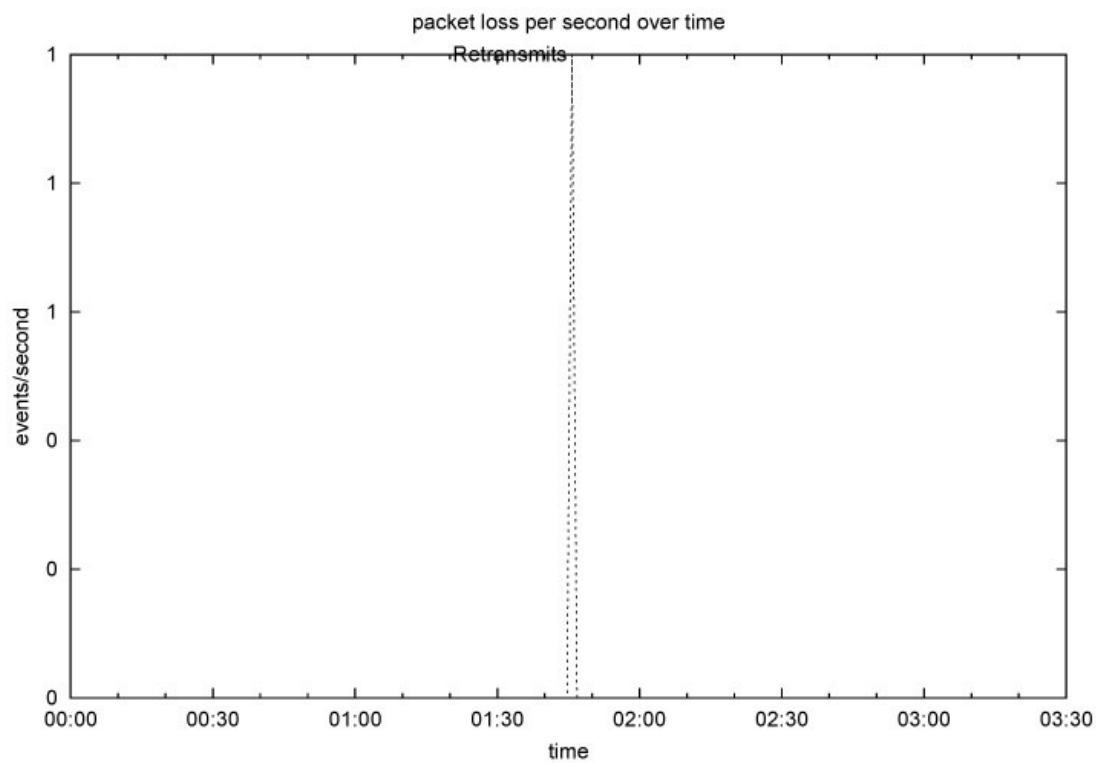
Εικόνα 39 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 40 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)



Εικόνα 41 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)



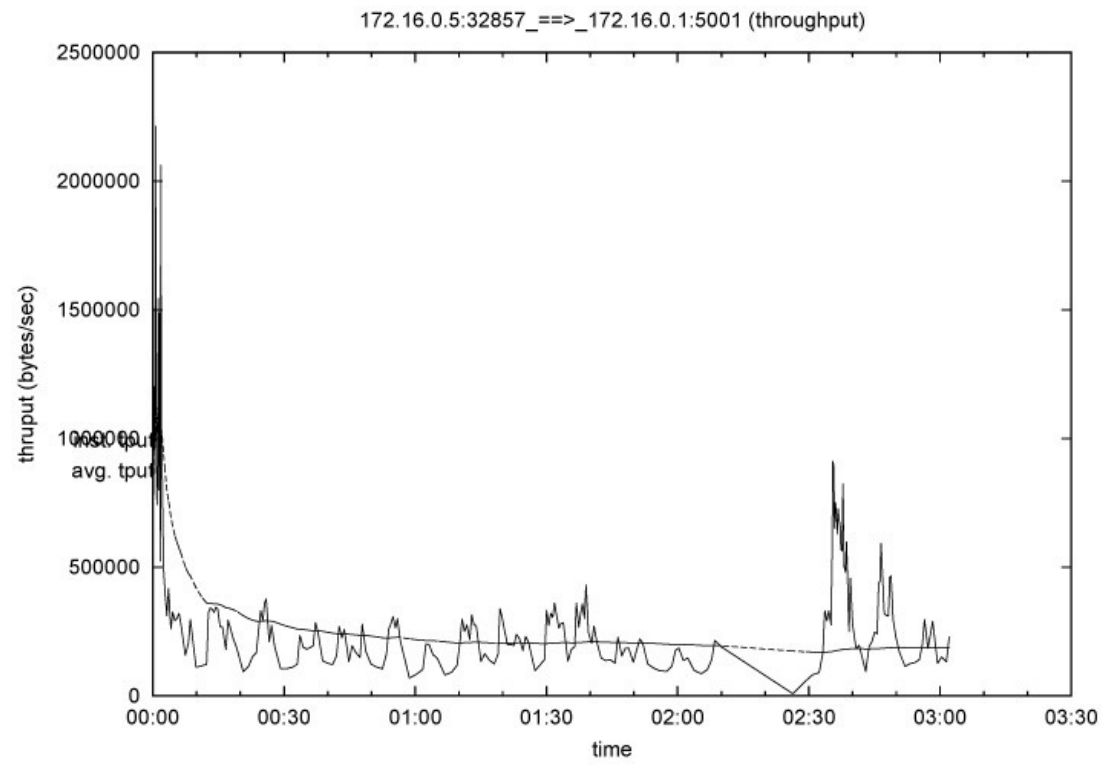
Εικόνα 42 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

Στην περίπτωση των δέκα χρηστών αναπαρίστανται οι χρήστες 1, 5 και 10. Παρατηρούμε, όπως και νωρίτερα στην επικοινωνία των πέντε χρηστών, πως εμφανίζεται κατά κάποιο τρόπο σειριακή χρησιμοποίηση του δικτύου με μέσο όρο throughput 5,7 Mbps. Παρ' όλα αυτά υπήρξε και μεγαλύτερη χρησιμοποίηση του δικτύου με υψηλές τιμές throughput, του ύψους 8,2 Mbps για τον τέταρτο χρήστη, τιμή που λήφθηκε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Αυξάνεται η καθυστέρηση στους χρήστες με μέσο όρο RTT

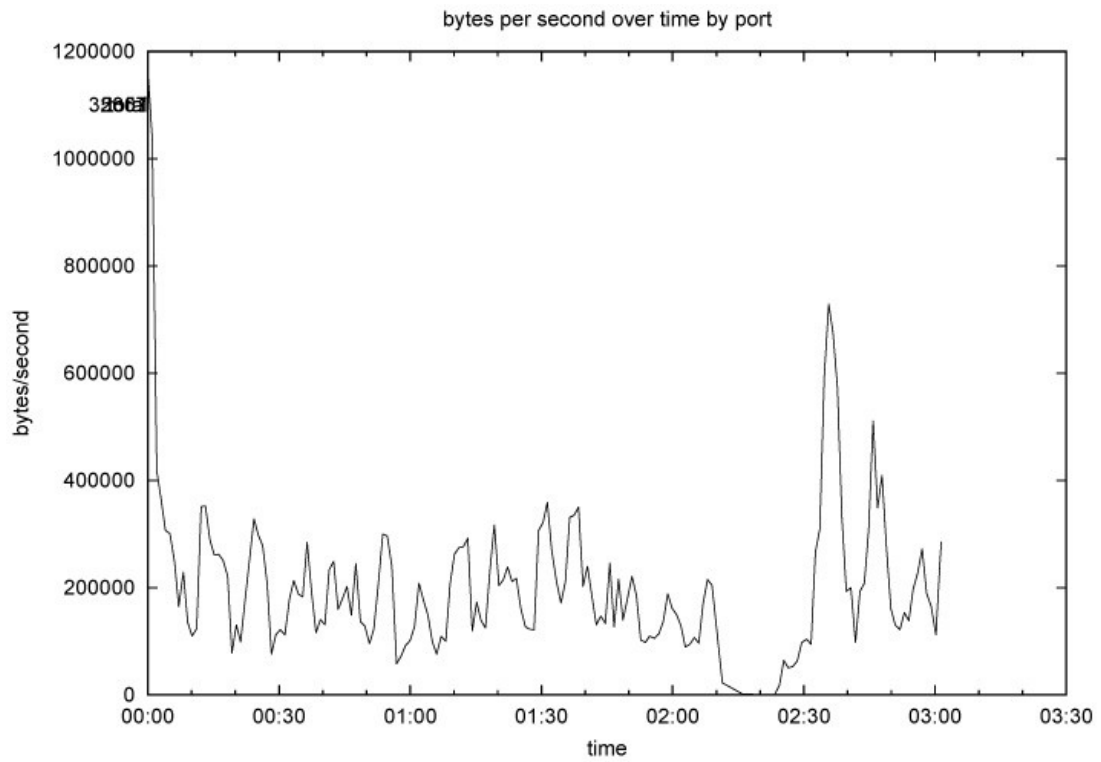
0,32 msec, παρουσιάζοντας σαν μικρότερη καθυστέρηση 0,2 msec και μεγαλύτερη 0,5 msec. Τέλος, ο μέσος όρος απωλειών είναι ένα πακέτο ενώ πολλοί χρήστες δεν είχαν καμία απώλεια μέχρι τη λήξη του χρονικού της μετάδοσης.

✓ **TCP επικοινωνία με 30 χρήστες.**

User1

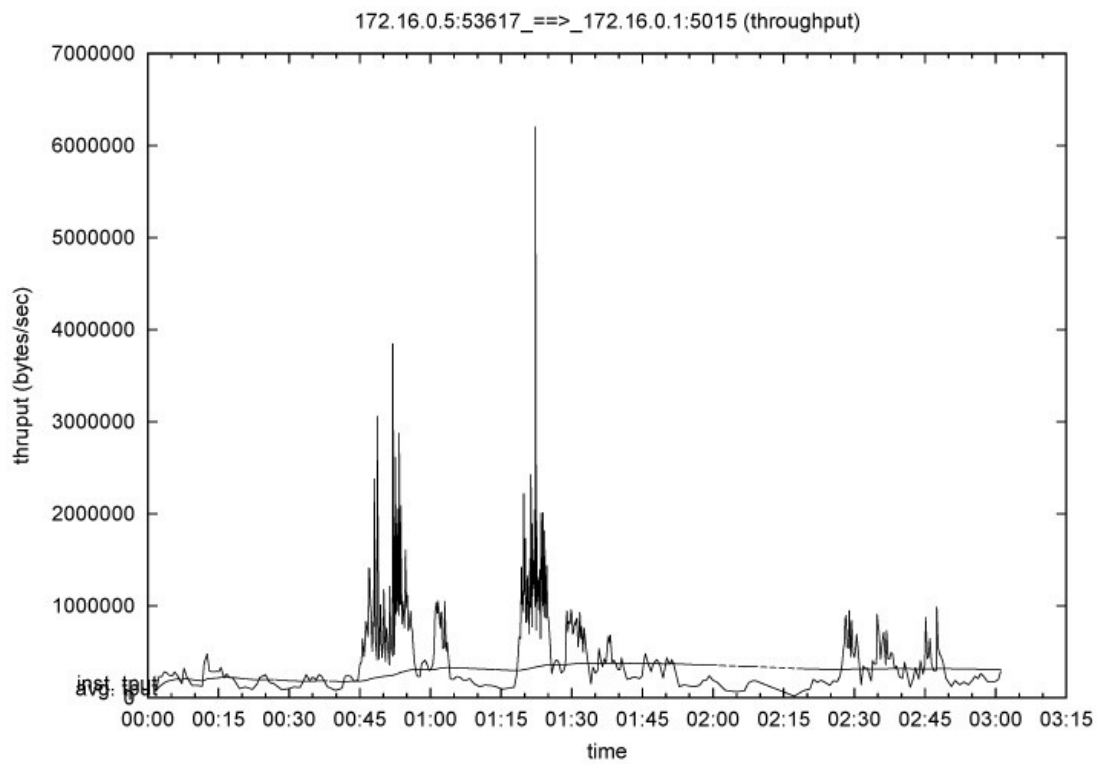


Εικόνα 43 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)

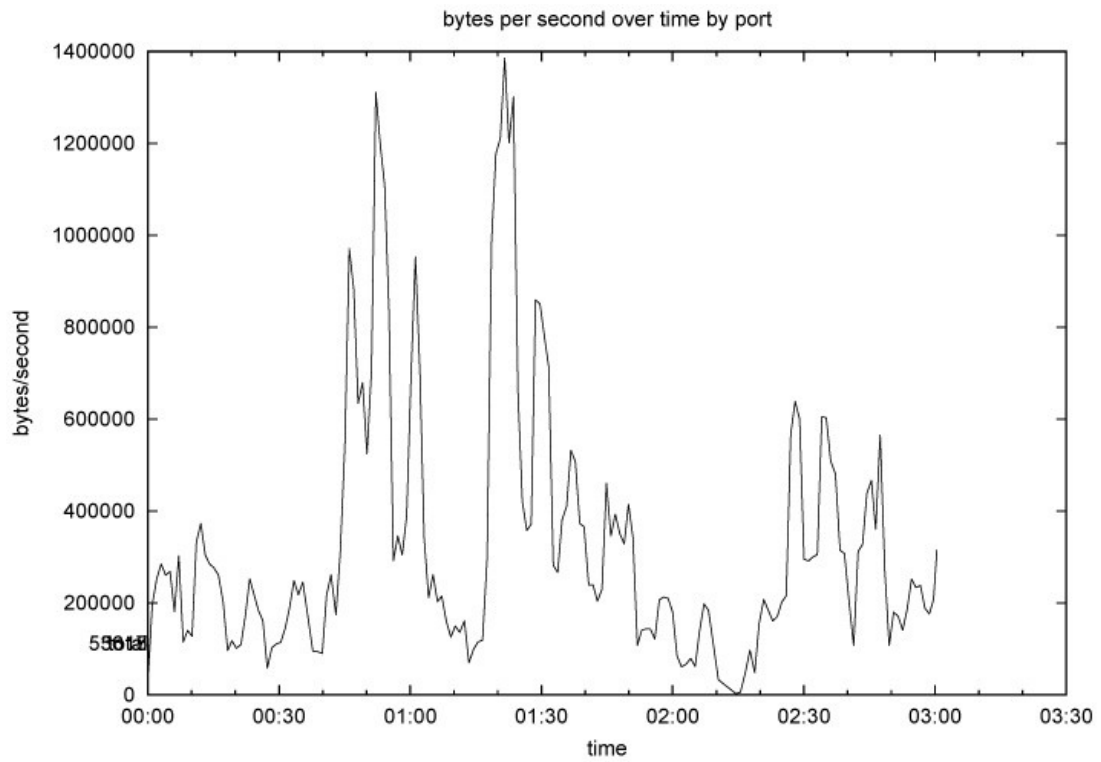


Εικόνα 44 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

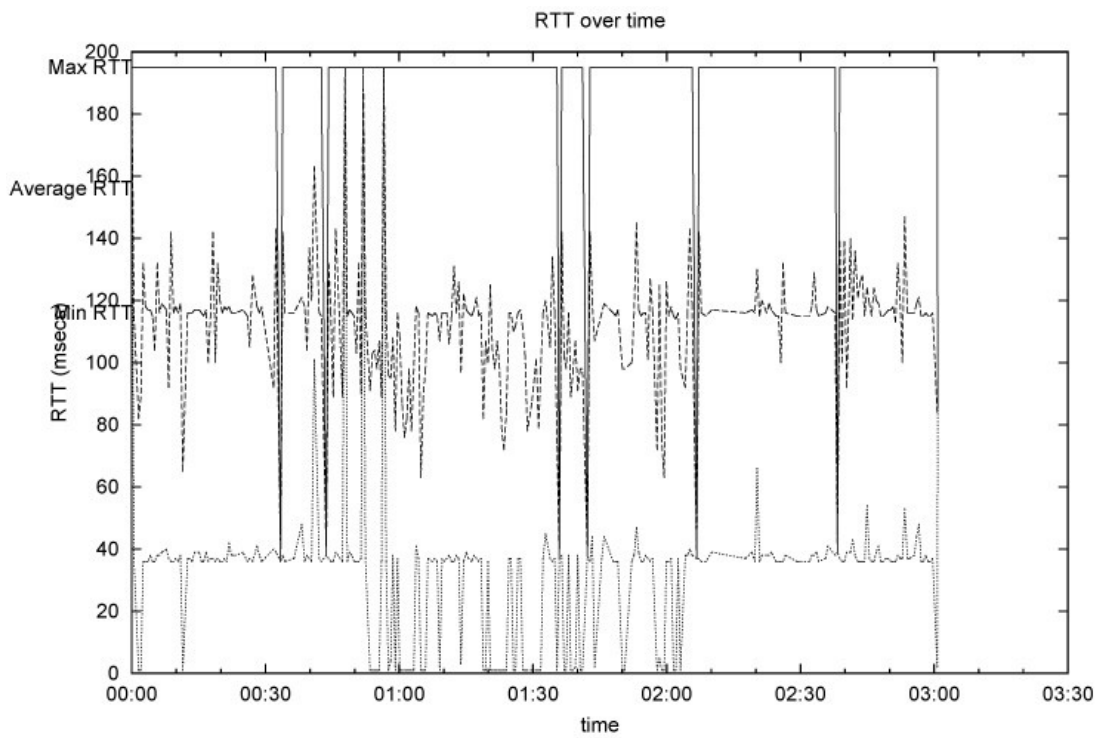
User15



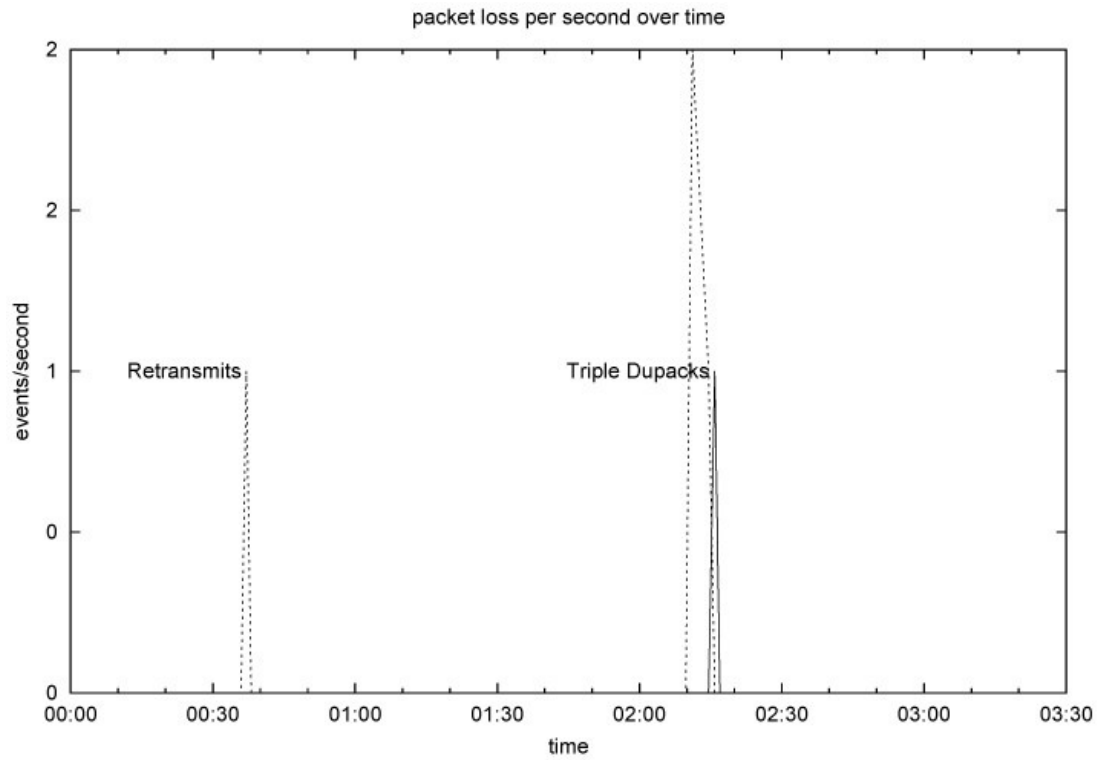
Εικόνα 45 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 46 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

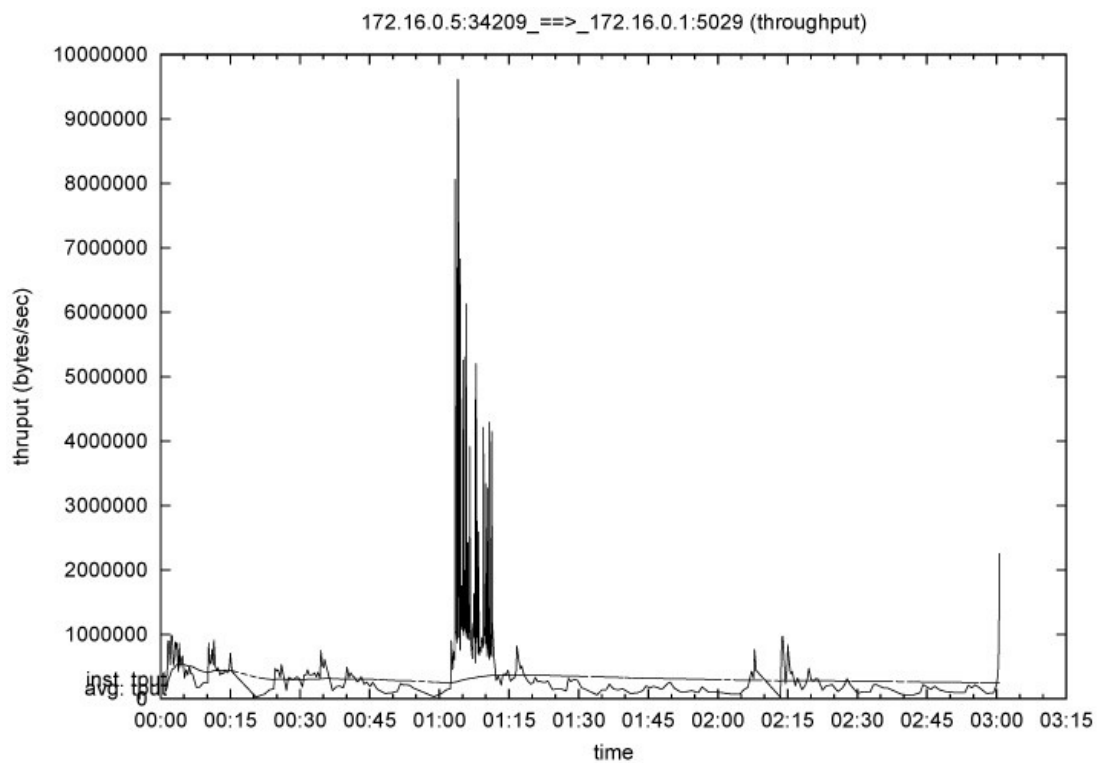


Εικόνα 47 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

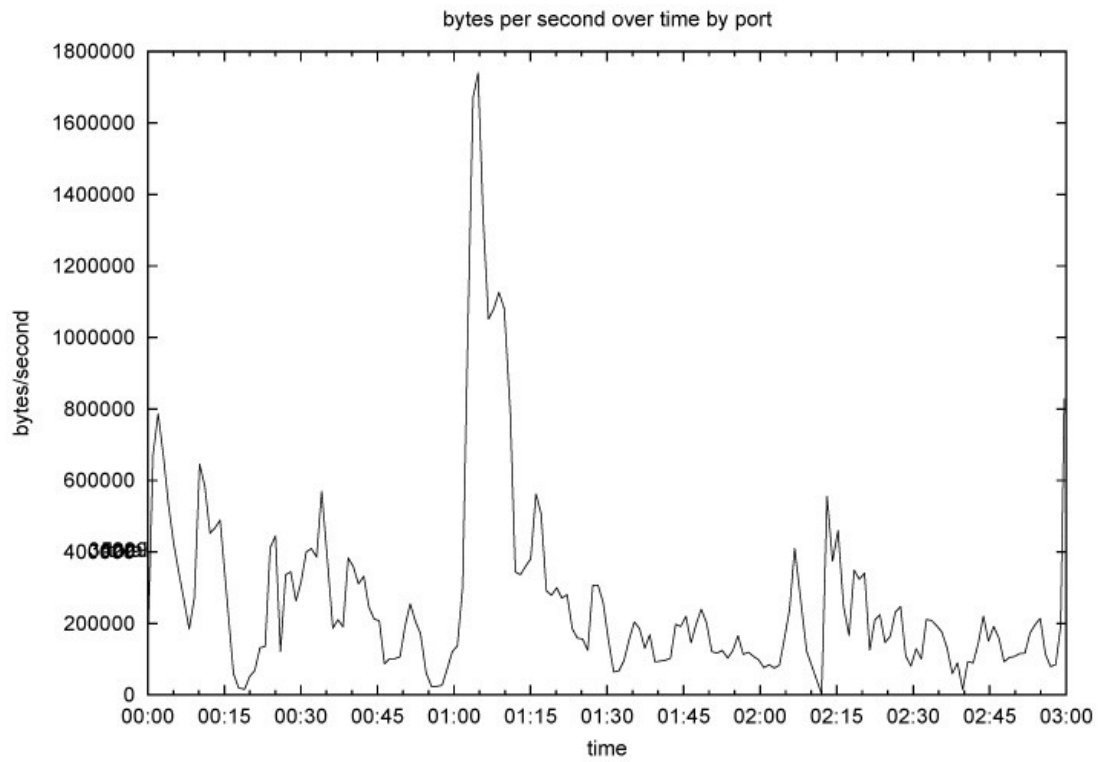


Εικόνα 48 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

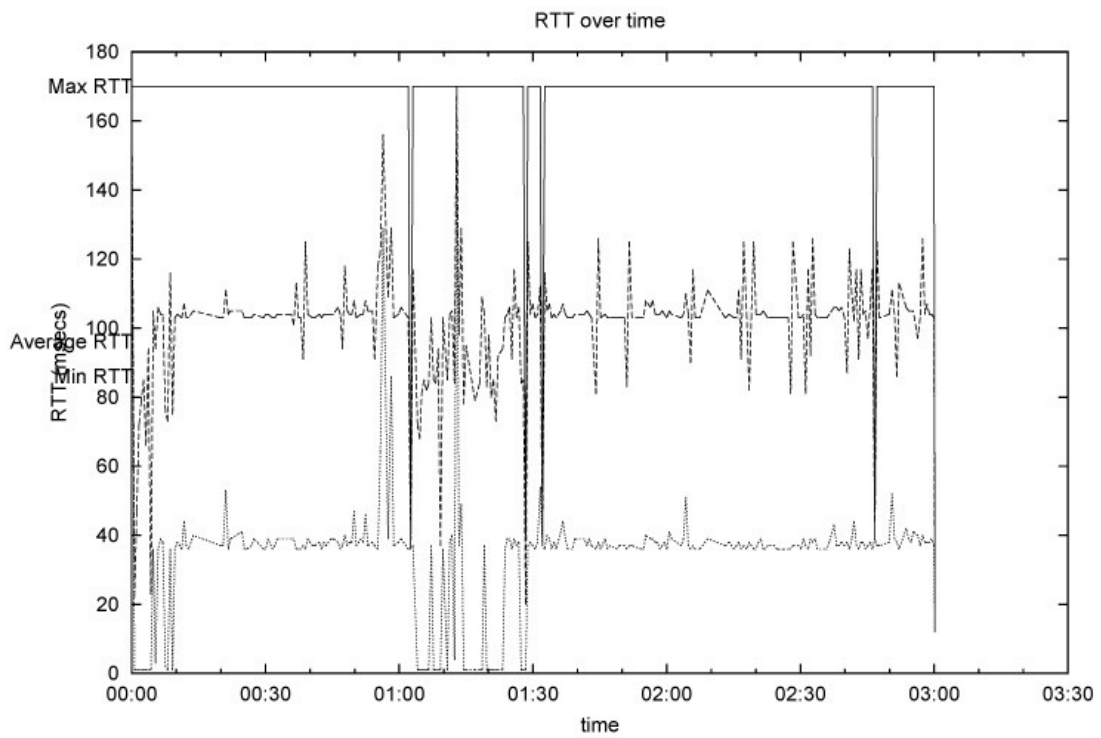
User29



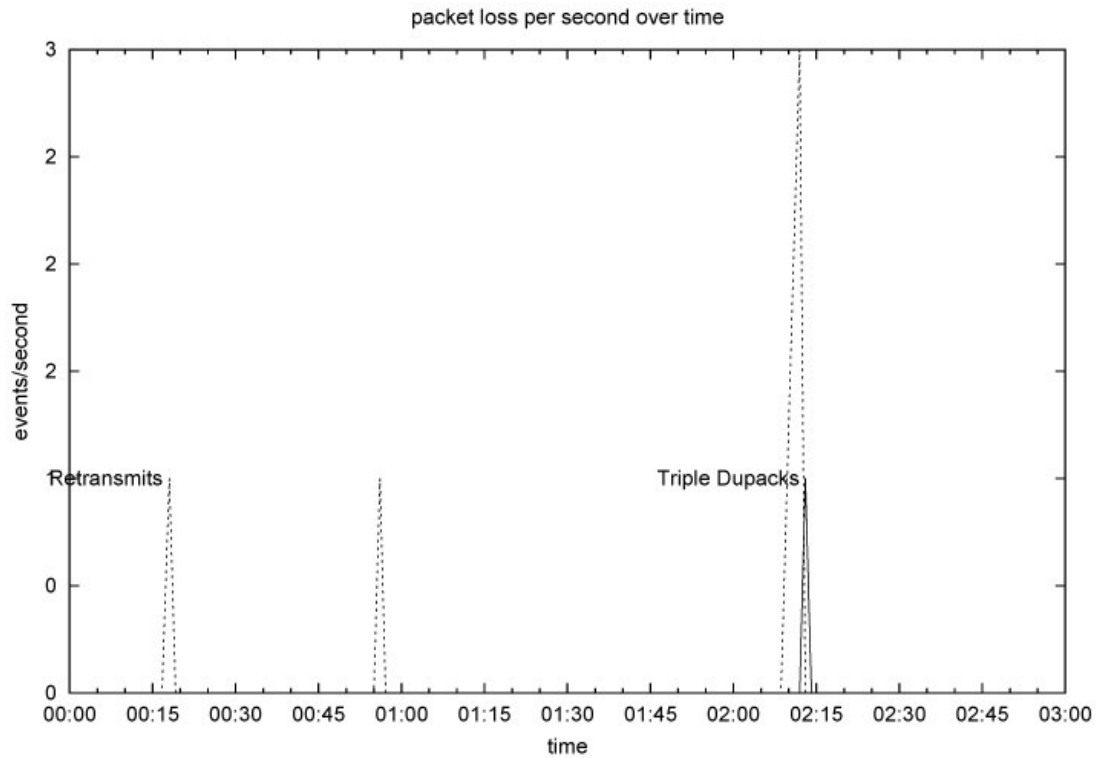
Εικόνα 49 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 50 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)



Εικόνα 51 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

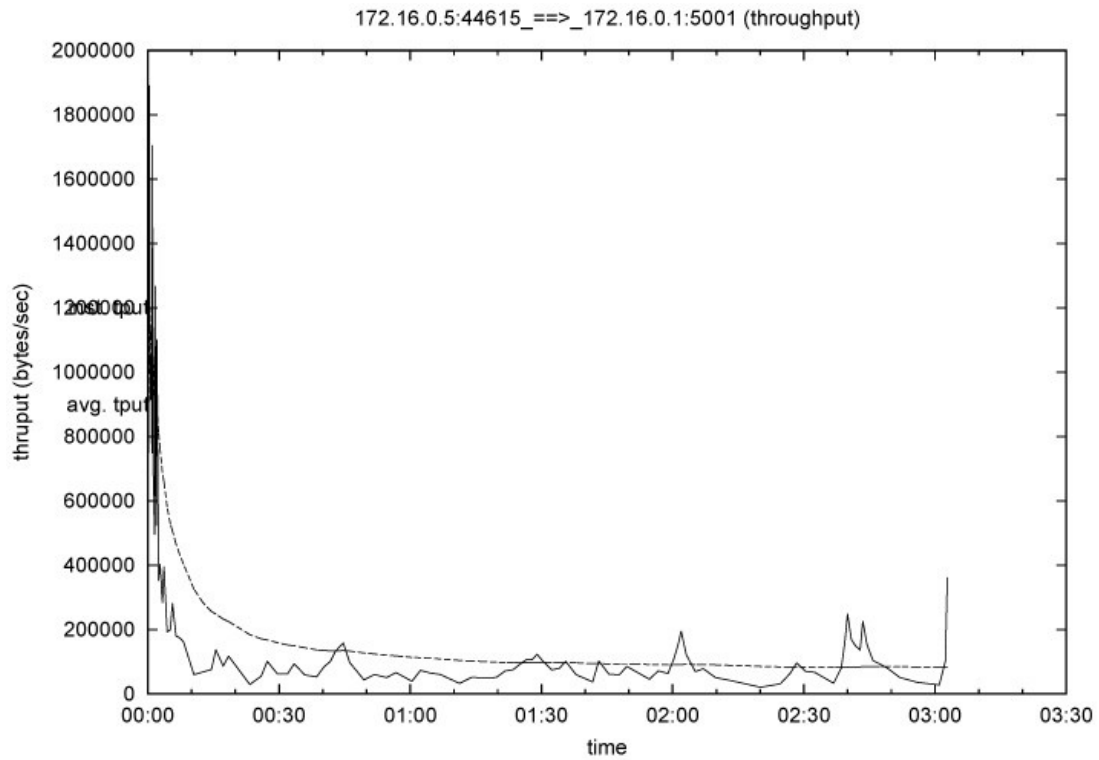


Εικόνα 52 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

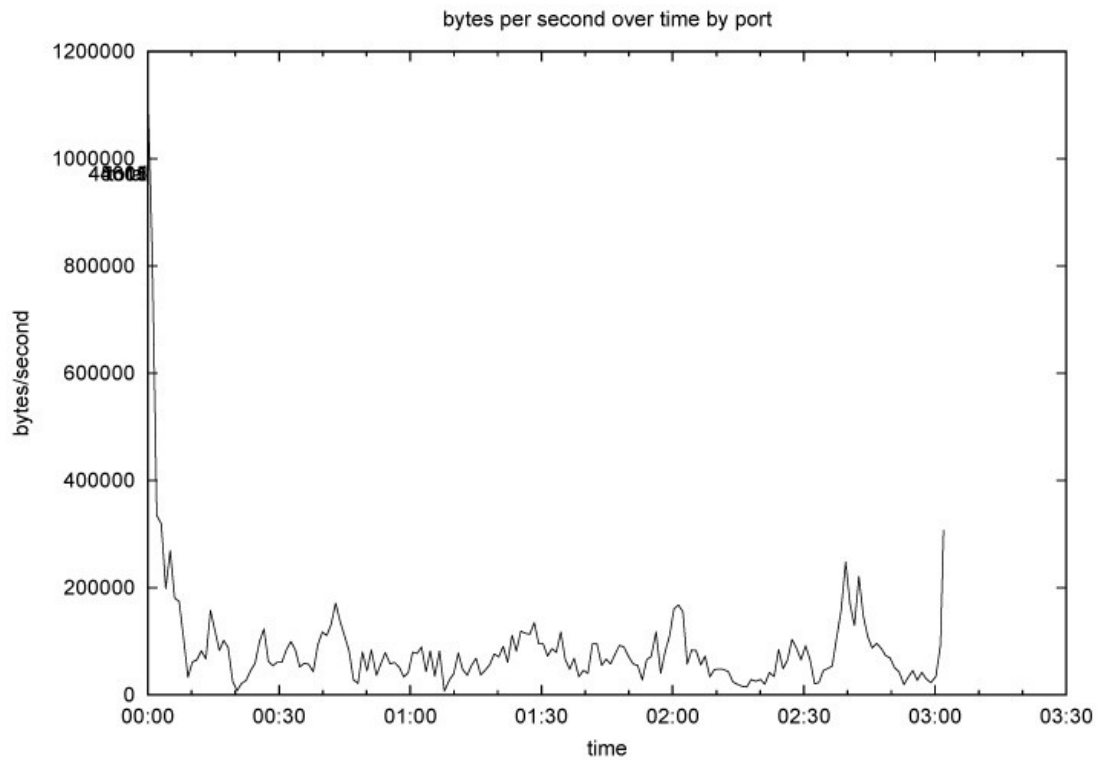
Μεγαλύτερη πτώση throughput έχουμε σε αυτή τη φάση του πρώτου σεναρίου κοντινής και συγχρονισμένης επικοινωνίας των τριάντα χρηστών. Ο μέσος όρος throughput είναι 1,7 Mbps και σημειώνεται το μέγιστο throughput 2,25 Mbps στον τρίτο χρήστη και το ελάχιστο 1,2 Mbps. Το throughput το βλέπουμε και παραπάνω στις γραφικές παραστάσεις throughput των χρηστών 1, 15 και 29 με τιμές 1,25 Mbps, 2,08 Mbps και 1,7 Mbps αντίστοιχα. Το throughput αναπαρίσταται με συντελεστή τον χρόνο και σε φάσεις. Όσον αφορά τη καθυστέρηση, ο μέσος όρος για όλους τους χρήστες είναι 1,5 msec και τα πακέτα που έχουν χαθεί είναι ο μέσος όρος τους 3 πακέτα, τα οποία κ έχουν επαναποσταλεί.

✓ **TCP** επικοινωνία με 50 χρήστες.

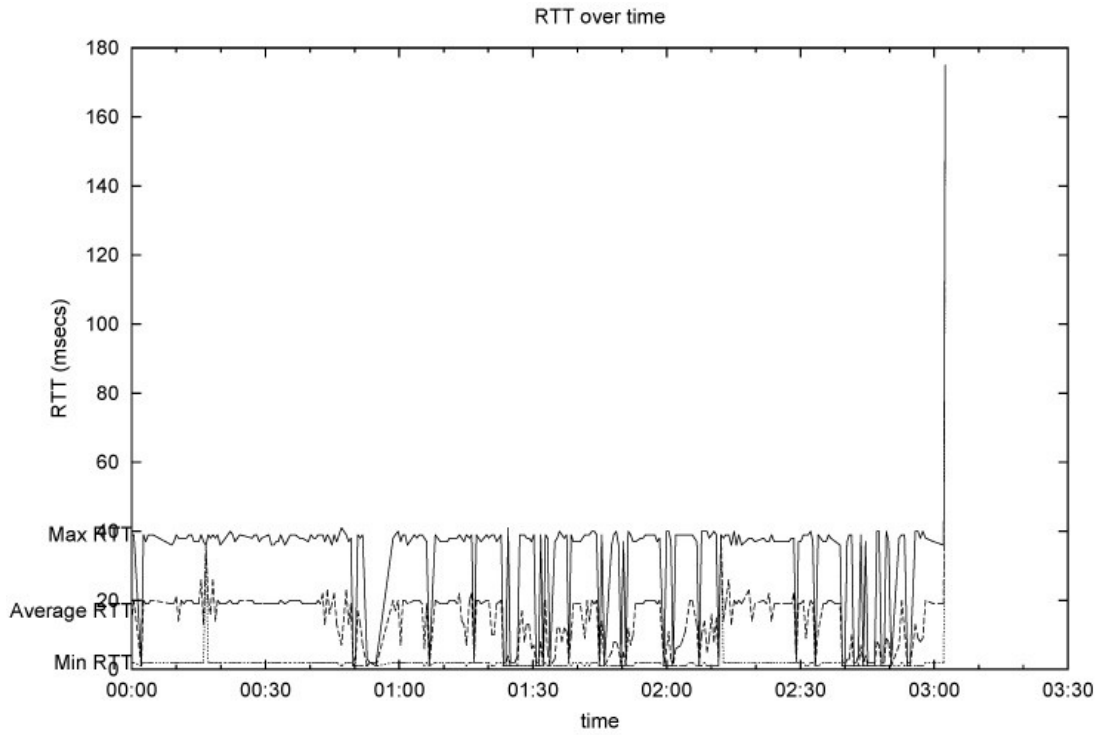
User1



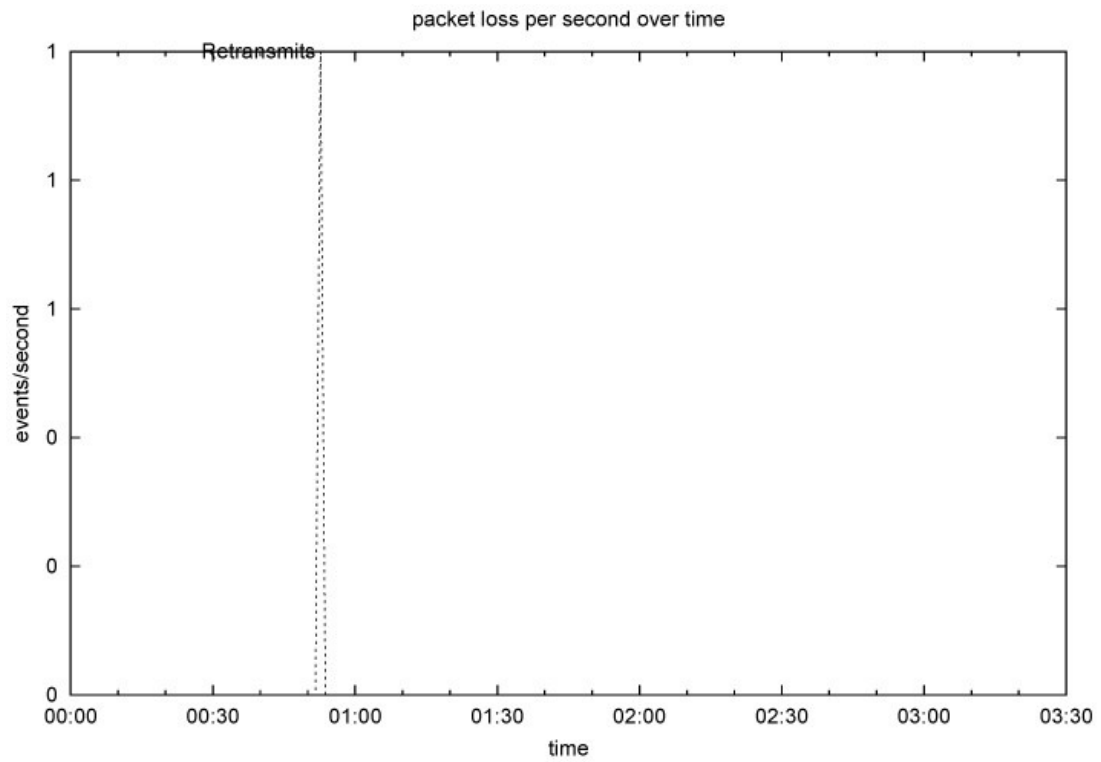
Εικόνα 53 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 54 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

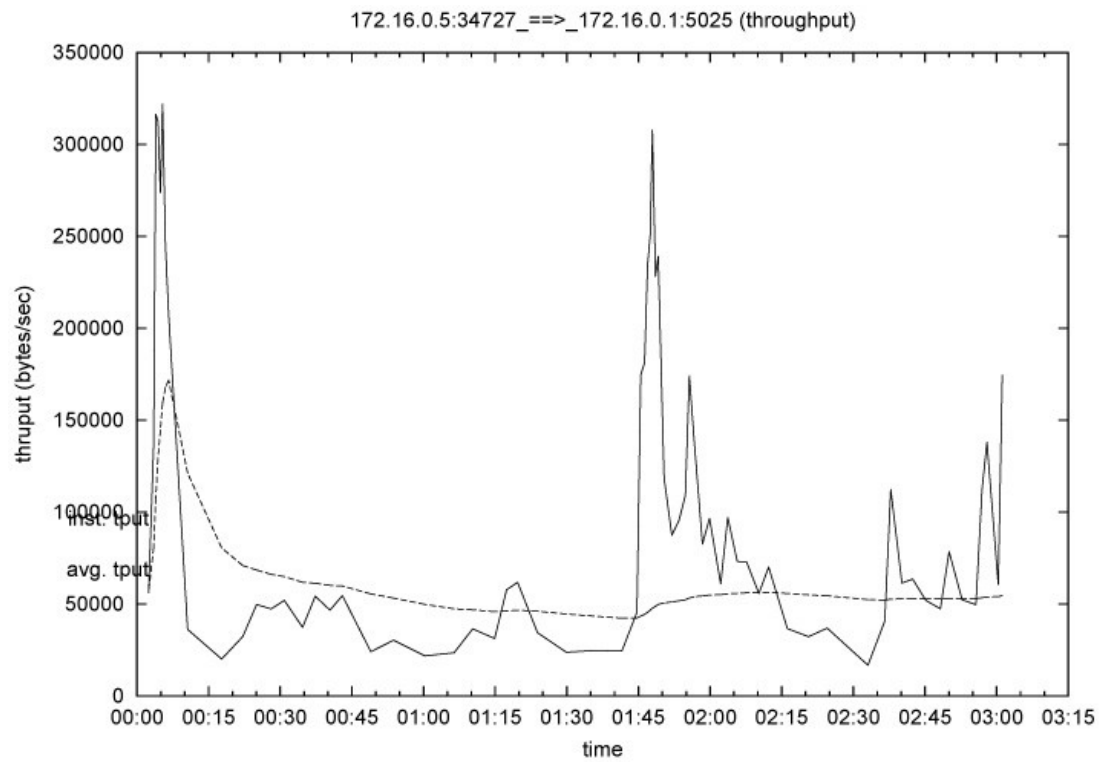


Εικόνα 55 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

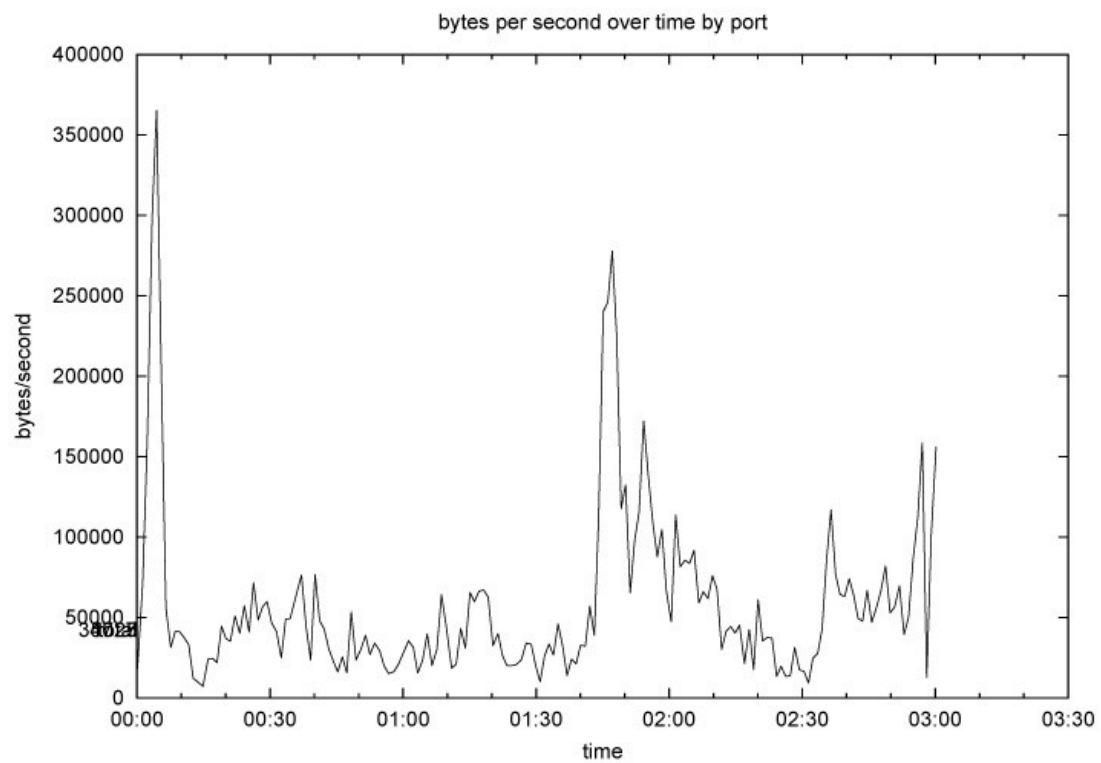


Εικόνα 56 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

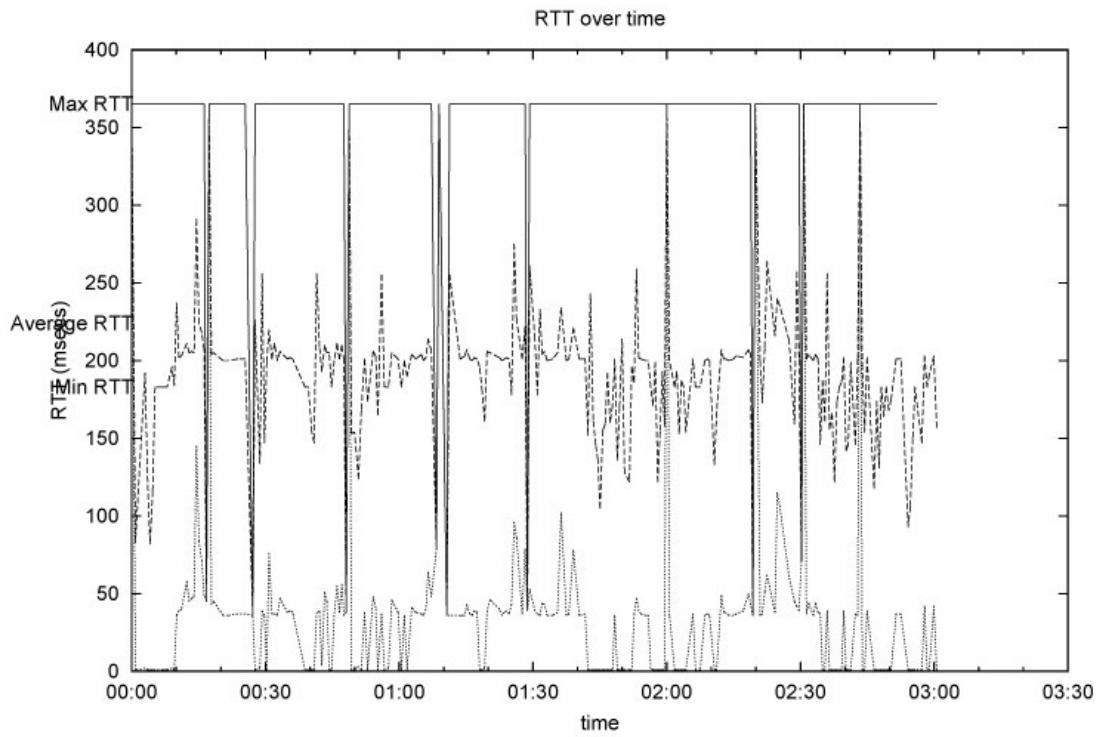
User25



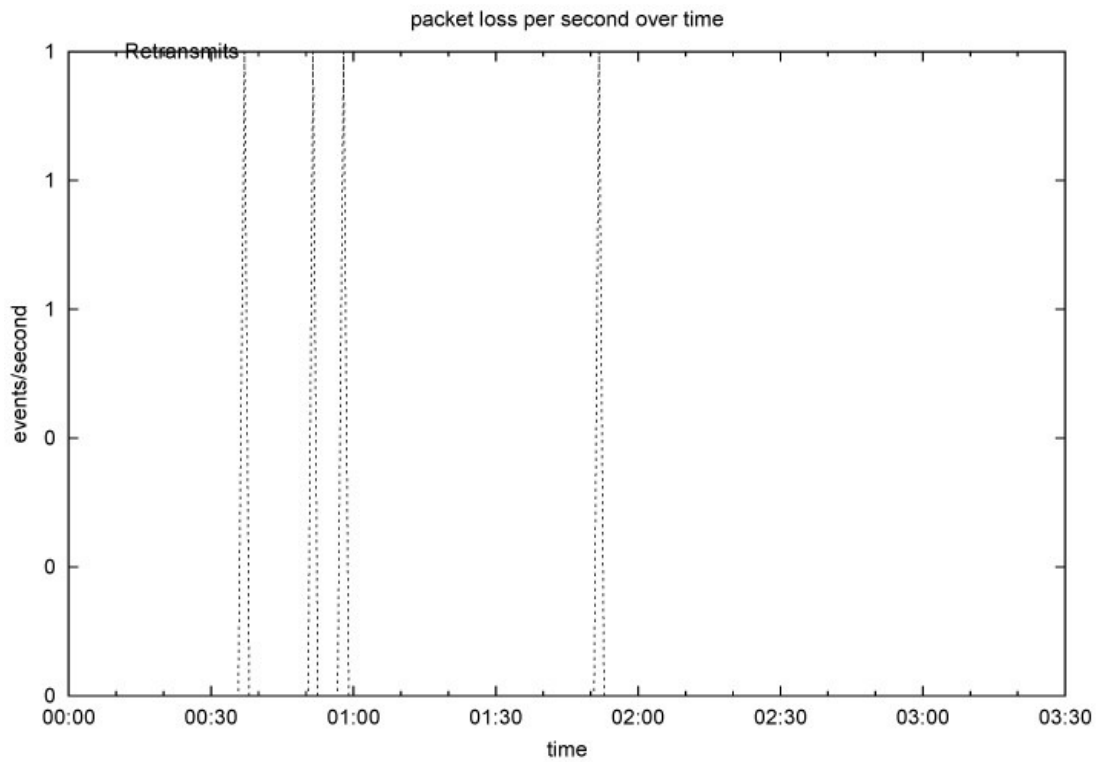
Εικόνα 57 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 58 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

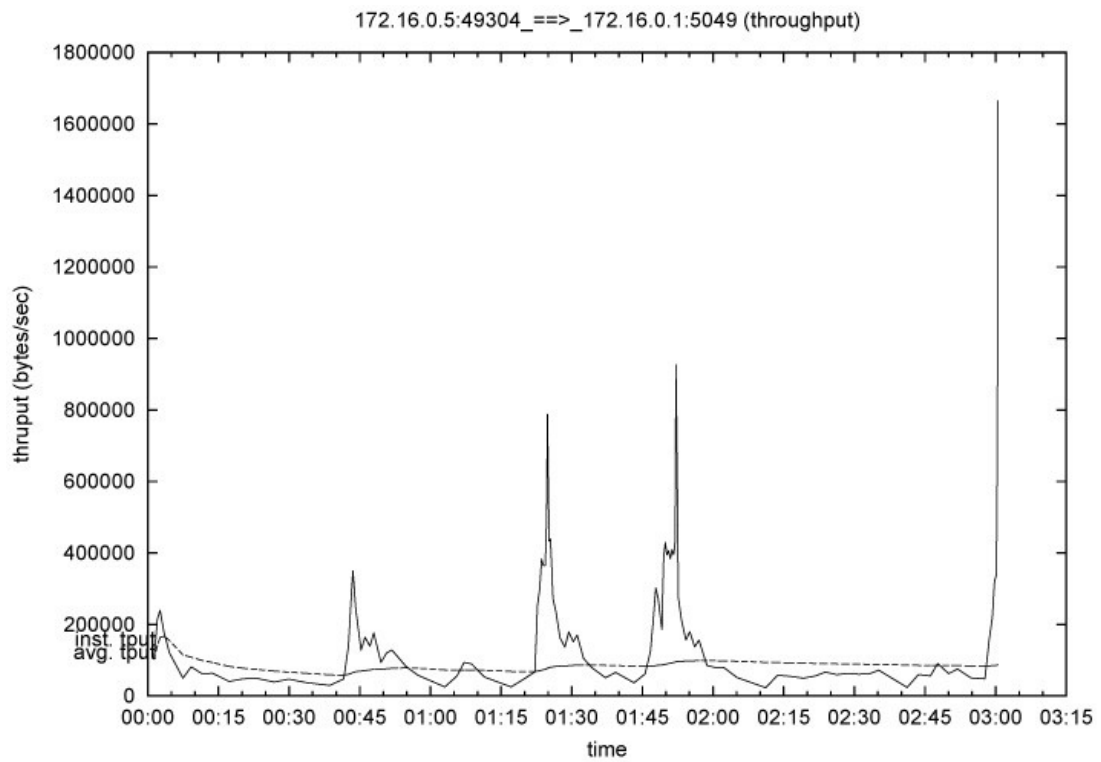


Εικόνα 59 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

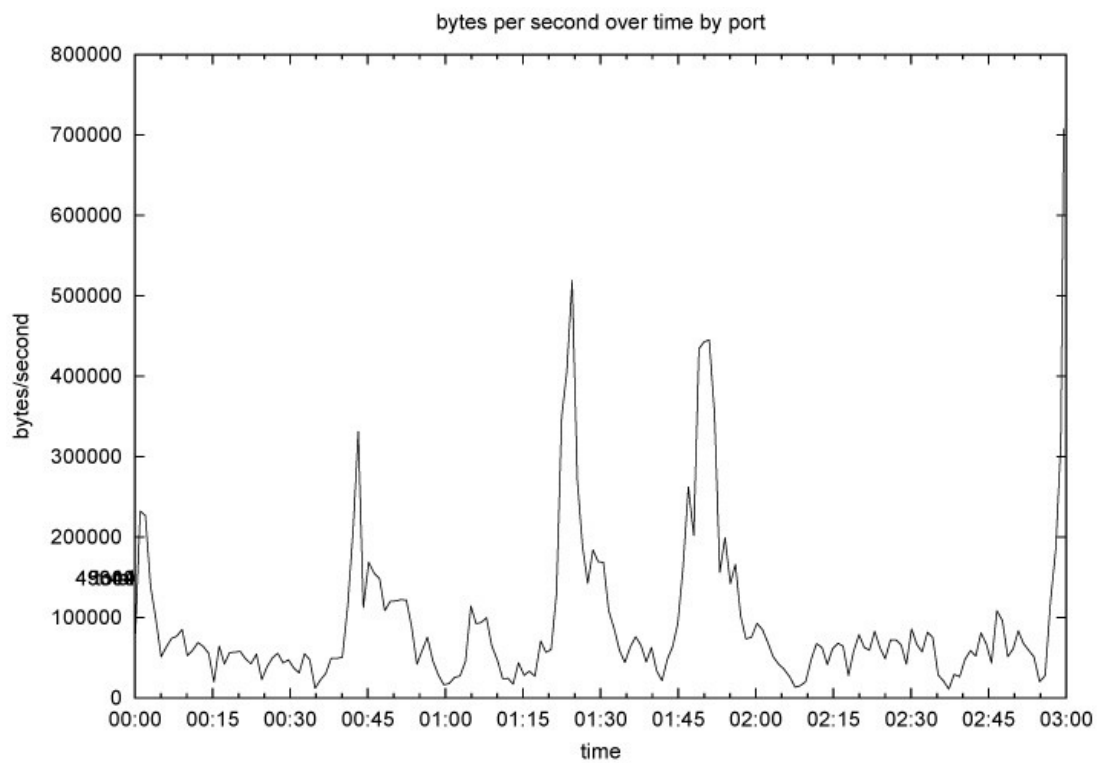


Εικόνα 60 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

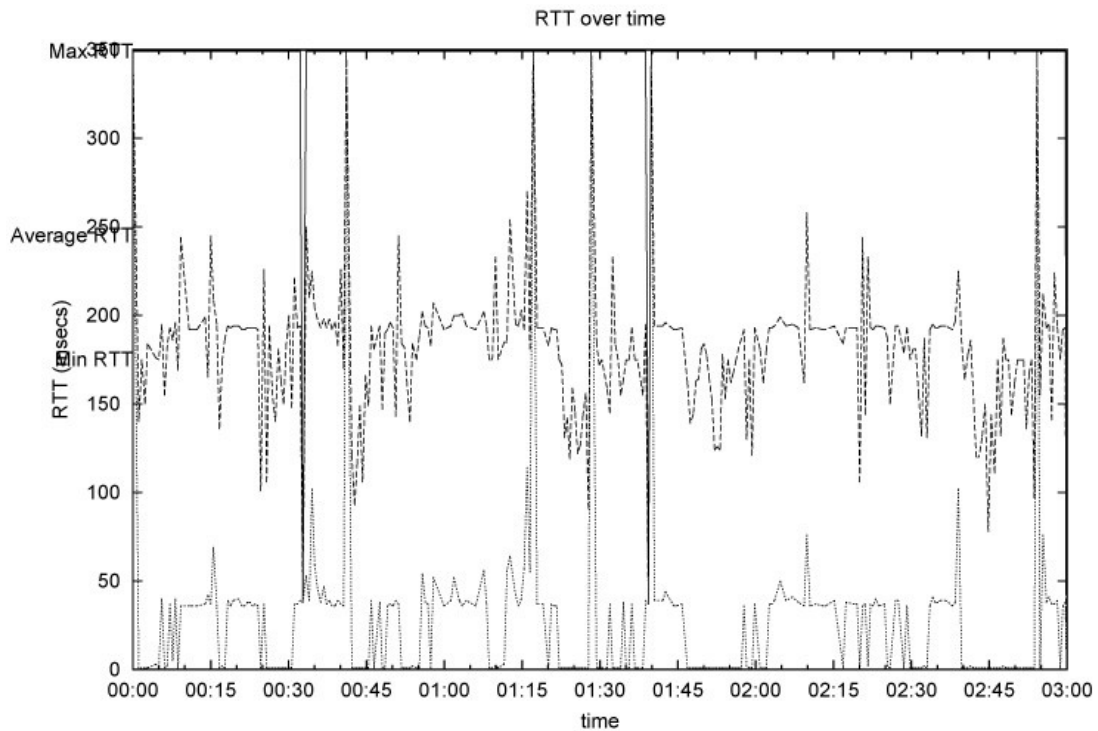
User49



Εικόνα 61 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 62 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)



Εικόνα 63 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

Σε αυτόν τον χρήστη δεν υπάρχουν απώλειες (traffic losses).

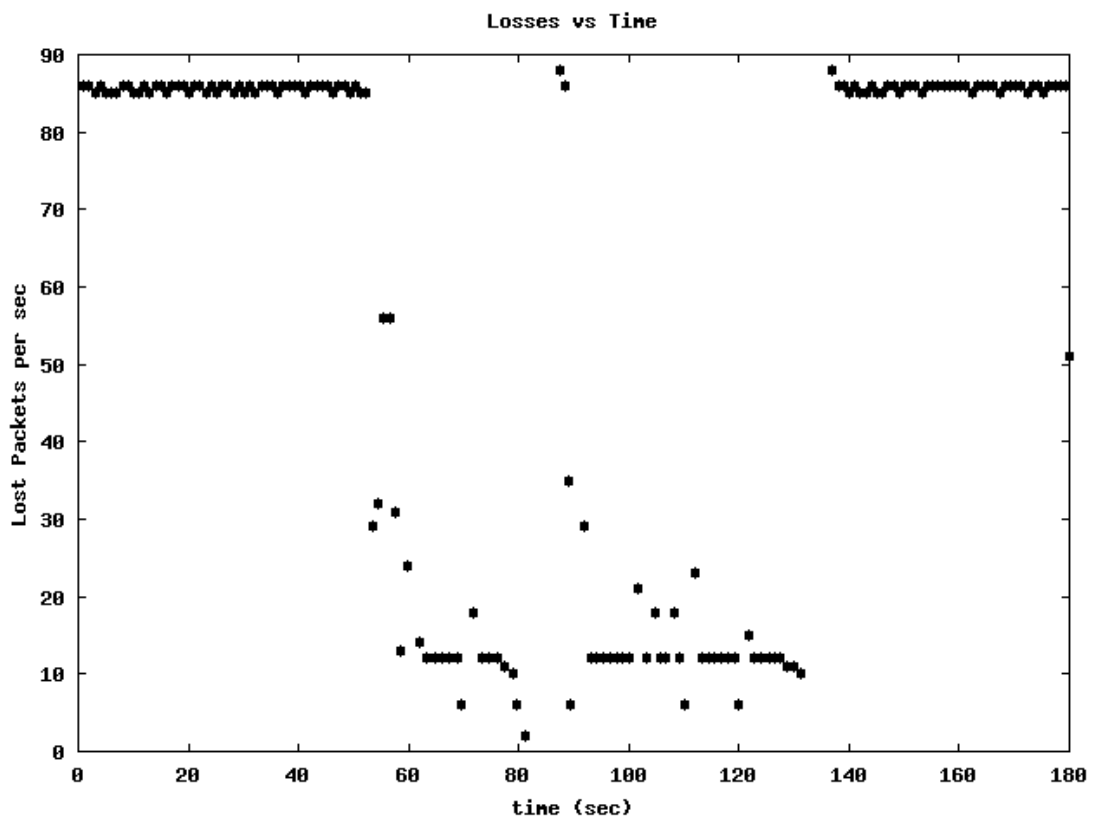
Το τελευταίο μέρος του πειράματος του σεναρίου σε κοντινή συγχρονισμένη επικοινωνία, περιλαμβάνει πενήντα χρήστες, από το οποίο εμείς έχουμε συ περιλάβει τις γραφικές παραστάσεις των τριών χρηστών, του χρήστη 1, 25 και 49. Σε αυτήν την περίπτωση το throughput σημειώνει μεγάλη πτώση σε σχέση με τους προηγούμενους συνδυασμούς χρηστών. Η τιμή αυτή είναι, όπως υπολογίστηκε από τον μέσο όρο και των πενήντα χρηστών, 0,61 Mbps (613 kbps). Πιο συγκεκριμένα, βάση της παραπάνω γραφικής του πρώτου χρήστη, παρατηρείται πως το throughput είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με τις προηγούμενες περιπτώσεις, είναι 605 kbps. Εν συνεχεία το throughput του χρήστη 25 κυμαίνεται στα 402,5 kbps και ο χρήστης 49 στα 633 kbps. Σχετικά με τις αναμενόμενες τιμές του throughput βάση των δυνατοτήτων που γνωρίζουμε πως παρέχει το πρότυπο που μελετάμε οι τιμές που αναφέρονται εδώ δεν είναι ικανοποιητικές. Παράλληλα όμως μέσα σε τρία λεπτά προσομοίωσης της επικοινωνίας μεταξύ πενήντα χρηστών με την προϋπόθεση ότι το εύρος μοιράζεται μεταξύ τους και όλοι συμμετέχουν ικανοποιητικά στην επικοινωνία, δε μπορεί να αναφερθεί το throughput ως πολύ μικρό. Υλοποιήσαμε έναν τύπο επικοινωνίας με μεγάλες απαιτήσεις απόδοσης. Όσον αφορά τα επόμενα χαρακτηριστικά αυτής της περίπτωσης η μέση καθυστέρηση κυκλικής διαδρομής RTT είναι 2,9 msec και ο μέσος αριθμός των χαμένων πακέτων είναι 2, καθώς πολλοί είναι οι χρήστες μέσα στα τρία λεπτά της επικοινωνίας είχαν μηδενικές απώλειες. Βλέποντας και τις γραφικές παρατηρούνται αναλυτικότερα οι διακυμάνσεις στα χαρακτηριστικά αυτά και πιο συγκεκριμένα σε ποιους χρόνους είχαν μεγαλύτερη χρησιμοποίηση του δικτύου ο κάθε χρήστης και σε ποιους χρόνους υπήρξαν οι απώλειες τους.

5.1.2. Μέρος 2°

Στο δεύτερο μέρος αυτού του σεναρίου πραγματοποιήθηκε ασύγχρονη επικοινωνία UDP.

Ο Server Provider παίρνει IP και στέλνει πακέτα στις διευθύνσεις που του δίνονται σαν ενεργοί χρήστες. Ο Server κατά τη διάρκεια αυτού του τύπου επικοινωνίας δεν λαμβάνει acknowledgement μηνύματα, δηλαδή μηνύματα επιβεβαίωσης. Τα πακέτα που στέλνονται αυθαίρετα και είναι ορισμένα στα 1.024 bytes, με τυχαίο περιεχόμενο. Ο χρόνος προσομοίωσης του κάθε τύπου επικοινωνίας έχει ρυθμιστεί στα 180 seconds.

- ✓ **UDP επικοινωνία με έναν χρήστη.**



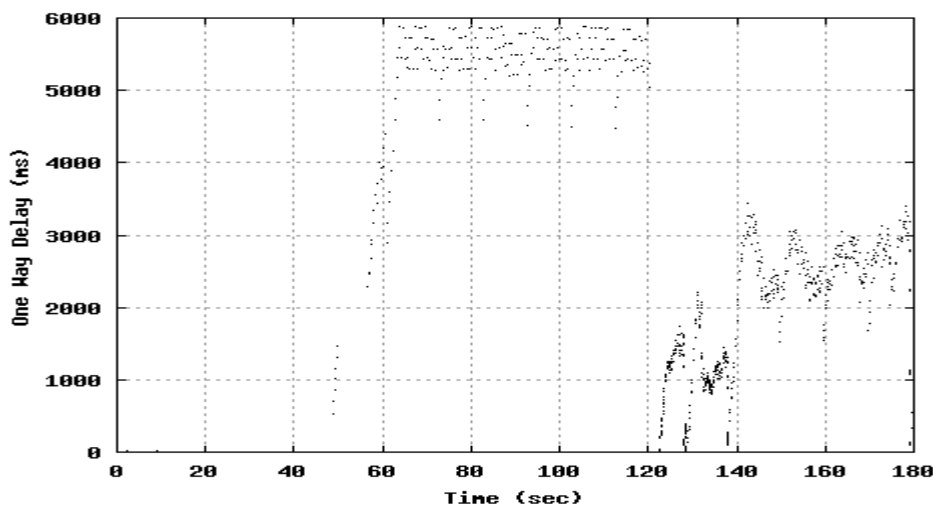
Εικόνα 64 Γραφική Παράσταση του Average Packet Losses

Έχοντας υλοποιήσει σε αυτό το μέρος του πειράματος την σύγχρονη επικοινωνία και σε κοντινή απόσταση μεταξύ του πελάτη και του εξυπηρετητή η μόνη γραφική που μπορούμε να αποτυπώσουμε είναι αυτή των απωλειών. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων πήραμε το ποσοστό των απωλειών 100%, κάτι το

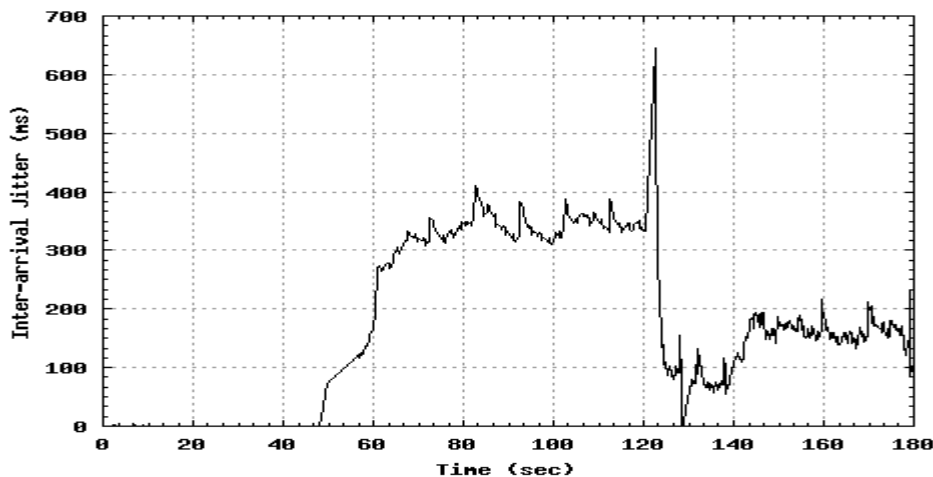
οποίο σημαίνει πως στην ουσία δεν πραγματοποιήθηκε επικοινωνία. Αυτό επαληθεύεται και από την ανάλυση της καθυστέρησης (One Way Delay) και του Smooth Jitter, τα οποία είναι μηδενικά. Αναλύοντας λοιπόν τη γραφική των απωλειών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, μέχρι το 48'' (δευτερόλεπτο) σημειώθηκαν 100% απώλειες, εν συνεχεία μέχρι το 128'' (δευτερόλεπτο), έχουμε λιγότερες απώλειες του ύψους 10% και μετά από το χρόνο αυτό μέχρι το τέλος οι απώλειες εξακολούθησαν να είναι 100%. Όλα αυτά τα αποτελέσματα μας αποδεικνύουν πως η επικοινωνία σε αυτό το στάδιο ήταν εξ' ολοκλήρου ανεπιτυχής. Ο εξυπηρετητής εξακολούθησε να στέλνει πακέτα κατά όλη τη διάρκεια των 180'', αλλά αναλύοντας τις αναλύσεις της πλευράς του χρήστη, αυτός προφανώς δεν έλαβε τίποτα.

✓ **UDP επικοινωνία με δύο χρήστες.**

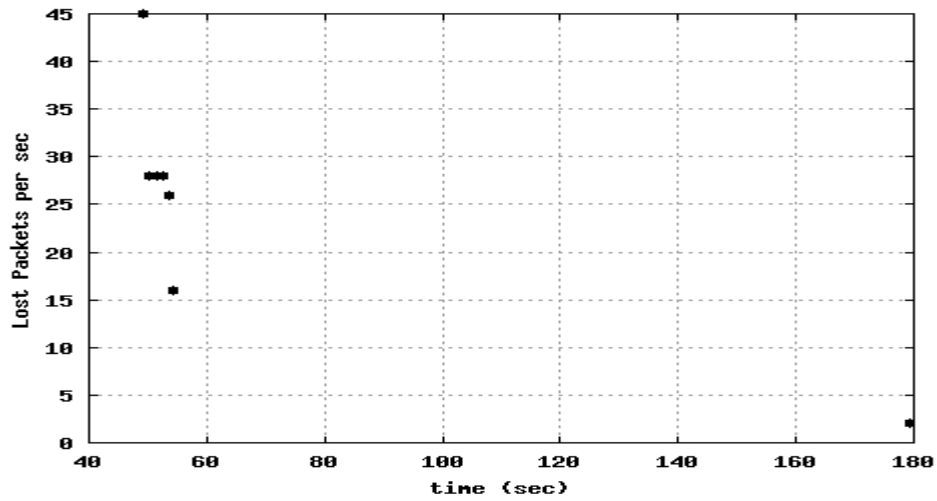
User1



Εικόνα 65 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

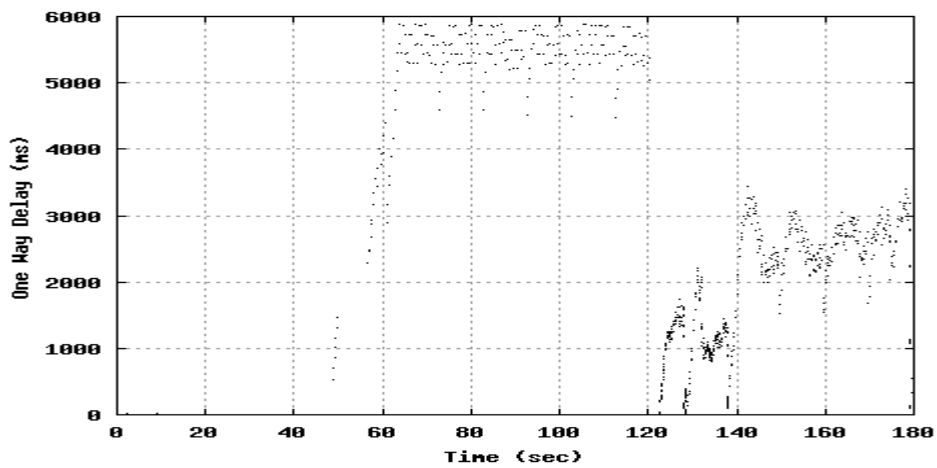


Εικόνα 66 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

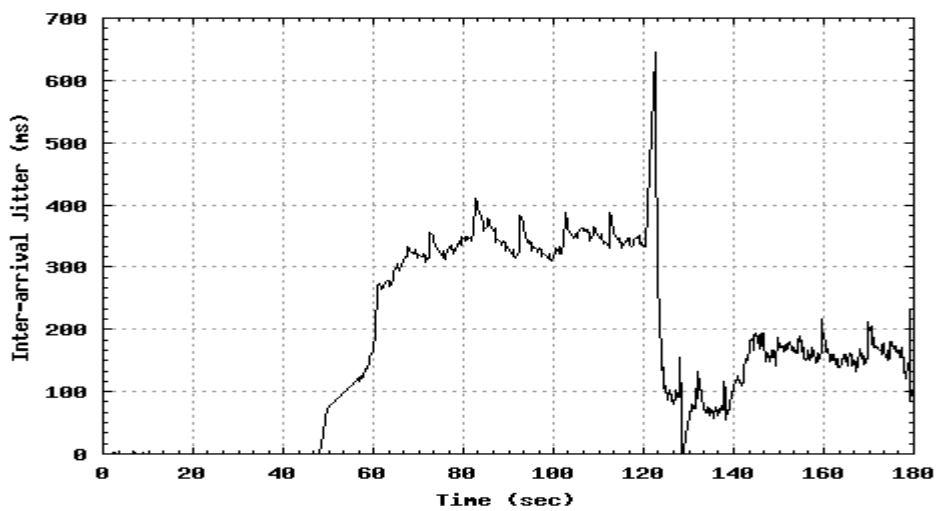


Εικόνα 67 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

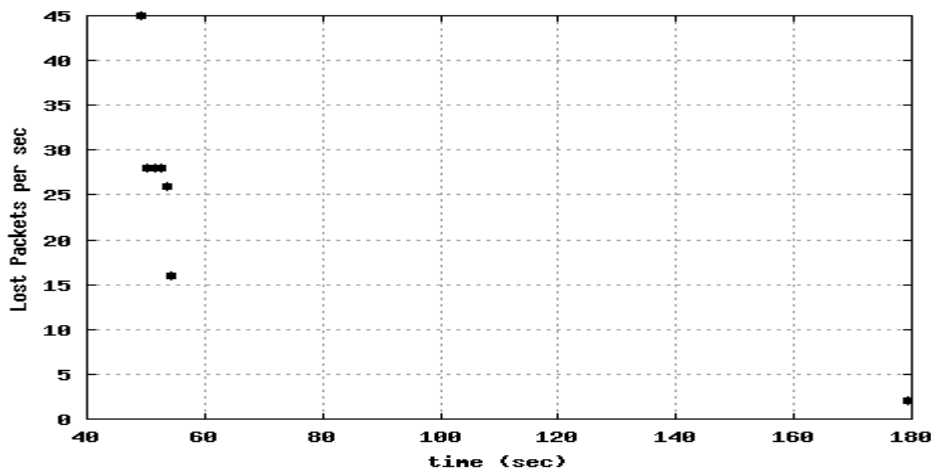
User2



Εικόνα 68 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 69 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

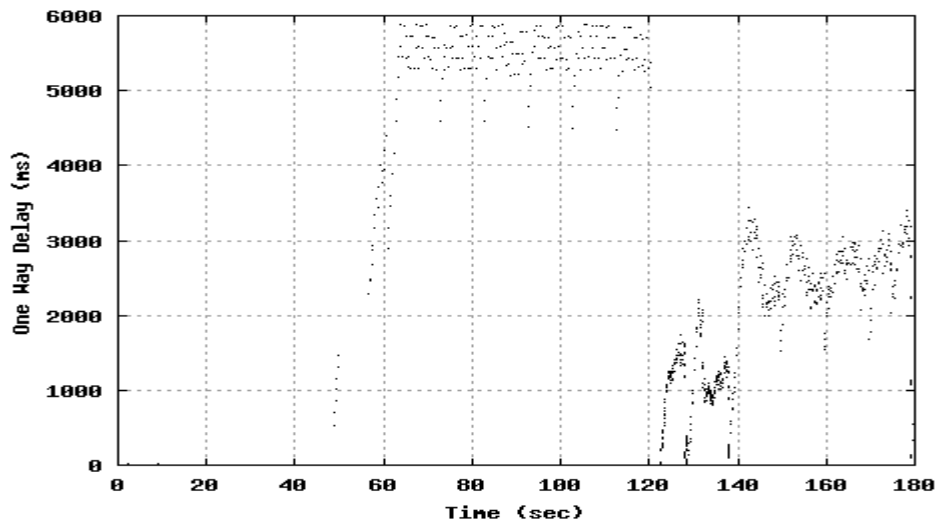


Εικόνα 70 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

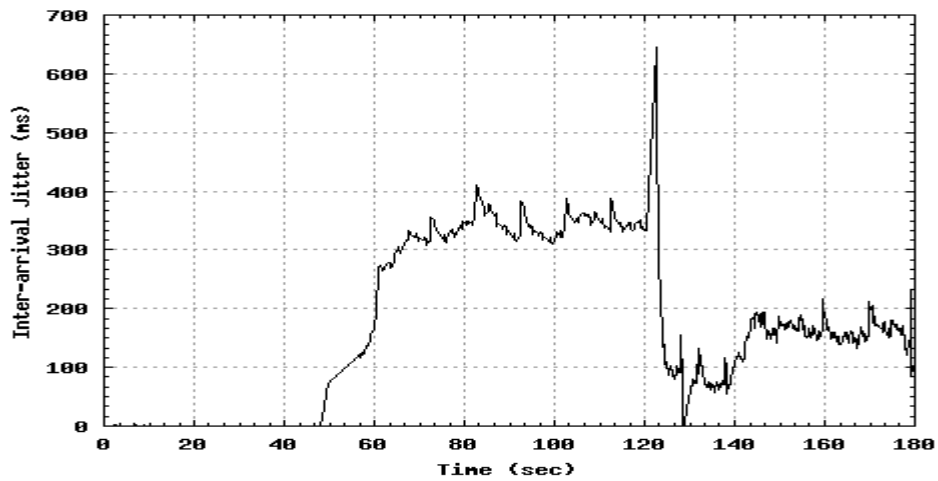
Συνεχίζοντας με τον ίδιο τύπο επικοινωνίας και με δύο πλέον χρήστες παρατηρούμε την επικοινωνία να βελτιώνεται κατά πολύ. Βάση βέβαια των γραφικών του One Way Delay και του Smooth Jitter, παρατηρείται πως μέχρι το 45” δεν υπήρξαν απώλειες, άρα δεν υπήρξε και επιτυχής επικοινωνία μέχρι αυτόν τον χρόνο, κάτι το οποίο έπειτα αλλάζει. Παράλληλα οι απώλειες ήταν πολύ μικρές και υπήρξαν μόνο στα πρώτα 45”. Ο πρώτος χρήστης είχε ένα ποσοστό απωλειών 3,25% και ο δεύτερος 3,36%, έχοντας σαν μέσο όρο απωλειών όλης της επικοινωνίας 3,3%, ενώ μετά τα 45” δεν υπήρξαν καθόλου απώλειες (100% επιτυχής επικοινωνία). Μεγάλη βελτίωση, πράγμα που μπορεί να οφείλεται σε παρεμβολές κατά τη διάρκεια των 180” της προηγούμενης περίπτωσης. Πιθανόν κάποιος να προσπαθούσε να στείλει δεδομένα στον ίδιο χρόνο και στην ίδια συχνότητα με εμάς. Αυτό μπορεί να υπερφόρτωσε το δίκτυο και να πήραμε τα παραπάνω αποτελέσματα. Αργότερα προστέθηκαν καθυστερήσεις και για τους δυο χρήστες, με μέσο όρο καθυστέρησης 512,4 msec και αντίστοιχα ο μέσος όρος του Jitter ήταν 34,85 msec. Λέγοντας καθυστέρηση, εννοούμε μονόδρομη καθυστέρηση, και είναι ο χρόνος που χρειάστηκε κάθε πακέτο να μεταδοθεί από τον ένα κόμβο στον άλλο, ενώ το Jitter την διακύμανση της καθυστέρησης, δηλαδή του χρόνου.

- ✓ **UDP επικοινωνία με 5 χρήστες.**

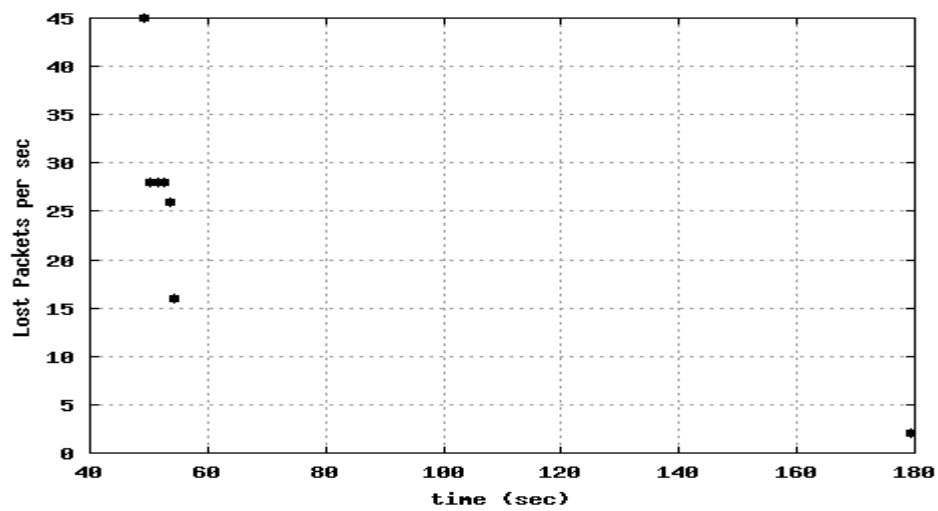
User1



Εικόνα 71 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

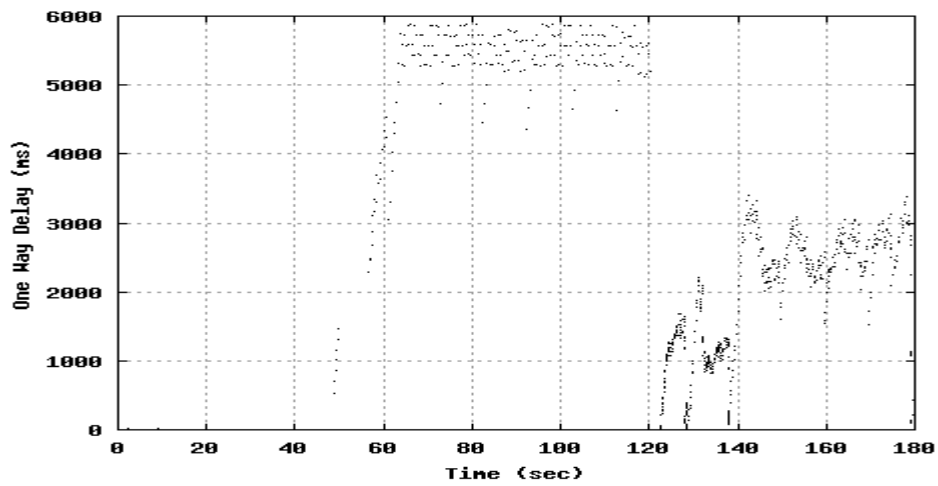


Εικόνα 72 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

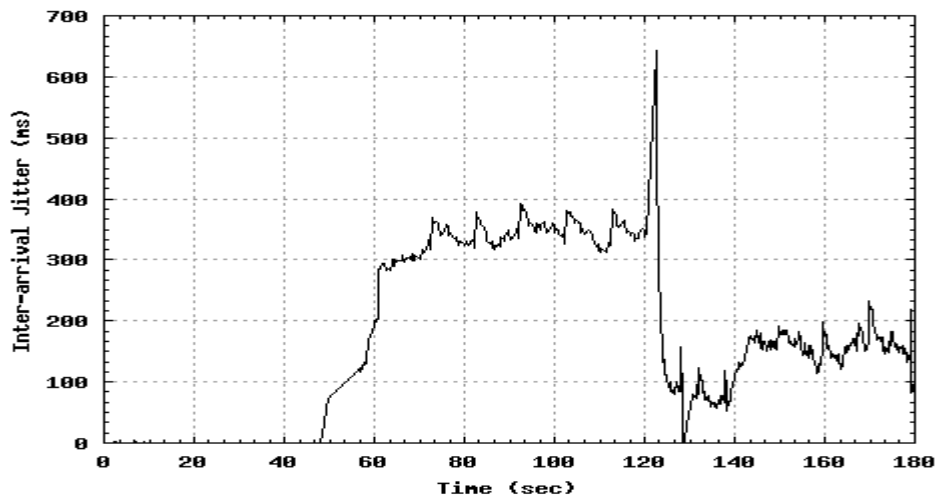


Εικόνα 73 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

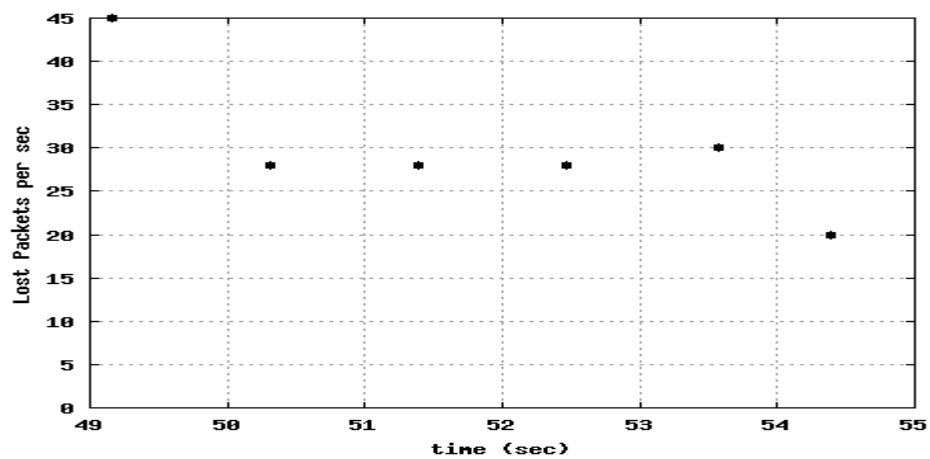
User2



Εικόνα 74 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

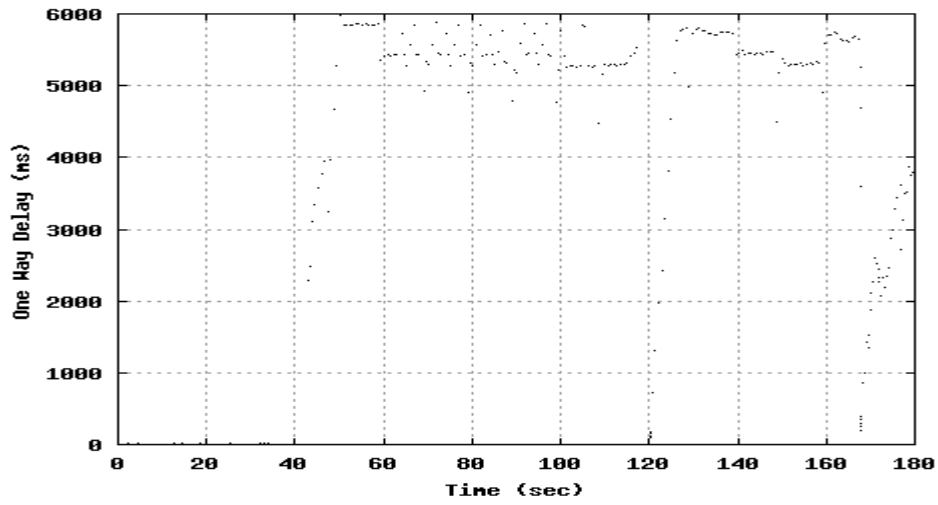


Εικόνα 75 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

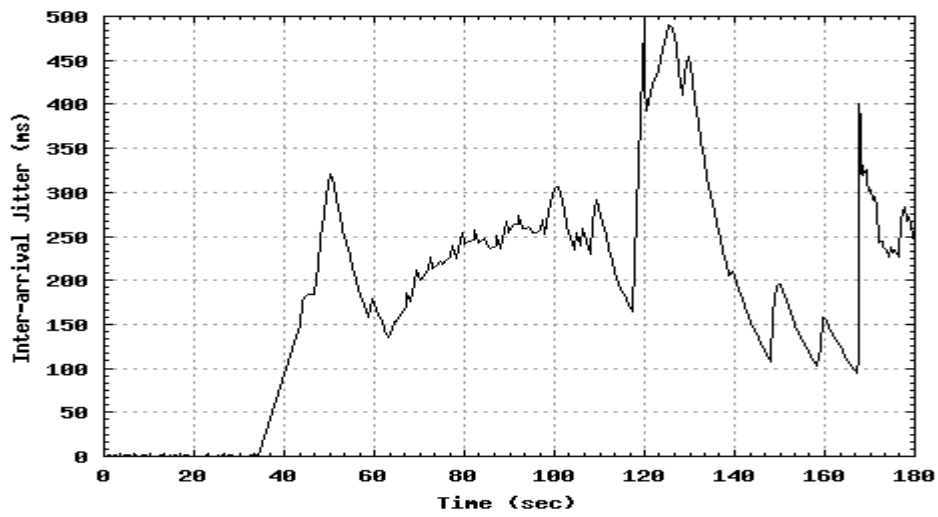


Εικόνα 76 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

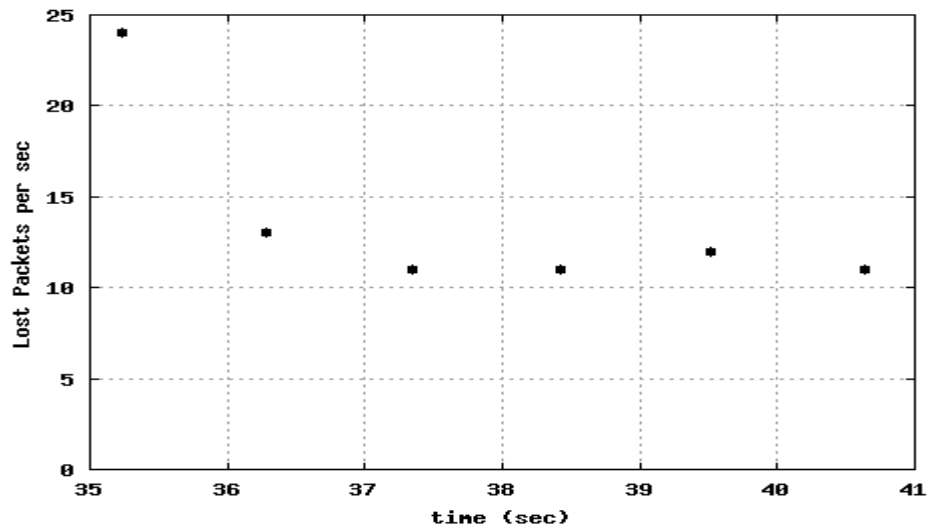
User5



Εικόνα 77 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 78 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

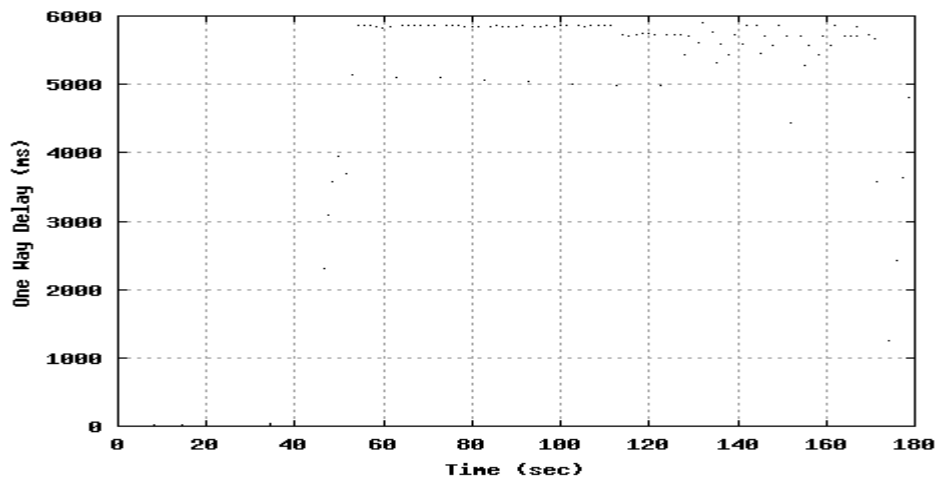


Εικόνα 79 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

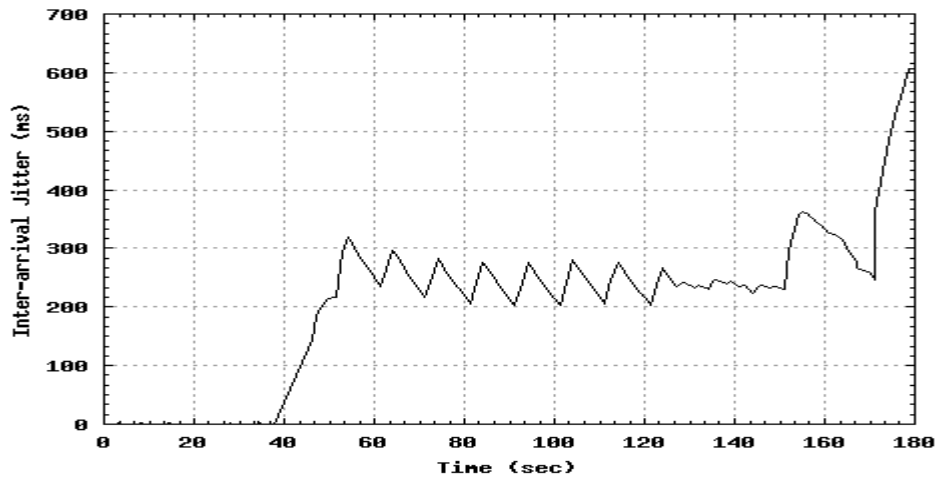
Προστίθενται ακόμα τρεις χρήστες και η επικοινωνία ολοένα και βελτιώνεται. Συνεχίζεται να υπάρχει ανεπιτυχής – μηδενική επικοινωνία τα πρώτα 40”, οι χρήστες στην ασύγχρονη επικοινωνία δεν ενεργοποιούνται χειροκίνητα όπως στη συγχρονισμένη, ώστε να οφείλεται εκεί η καθυστέρηση στην έναρξη των αποστολών, έτσι είναι πιθανό αυτή τη καθυστέρηση να τη προσθέτει ο εξυπηρετητής μέχρι να ξεινήσει να στέλνει στον πρώτο χρήστη. Παρ’ όλα αυτά οι απώλειες πακέτων είναι ακόμα λιγότερες από τη προηγούμενη περίπτωση και παίρνουμε σαν μέσο όρο απωλειών 2,5% και για τους πέντε χρήστες και μόνο στον αρχικό χρόνο των 40”, όπως φαίνεται και στις γραφικές, έπειτα και μέχρι το τέλος της επικοινωνίας οι απώλειες είναι μηδενικές και οι καθυστερήσεις σε κάθε χρήστη μικρότερες σε σχέση με το προηγούμενο τύπο επικοινωνίας. Ο μέσος όρος καθυστέρησης των χρηστών είναι 340,3 msec, έχει πέσει κατά 200 msec από πριν και το Jitter είναι ο μέσος όρος 20 msec, το οποίο έχει επίσης πέσει κατά 15 msec. Παρατηρείται γενικά μια καλή απόδοση του δικτύου.

✓ **UDP επικοινωνία με 10 χρήστες.**

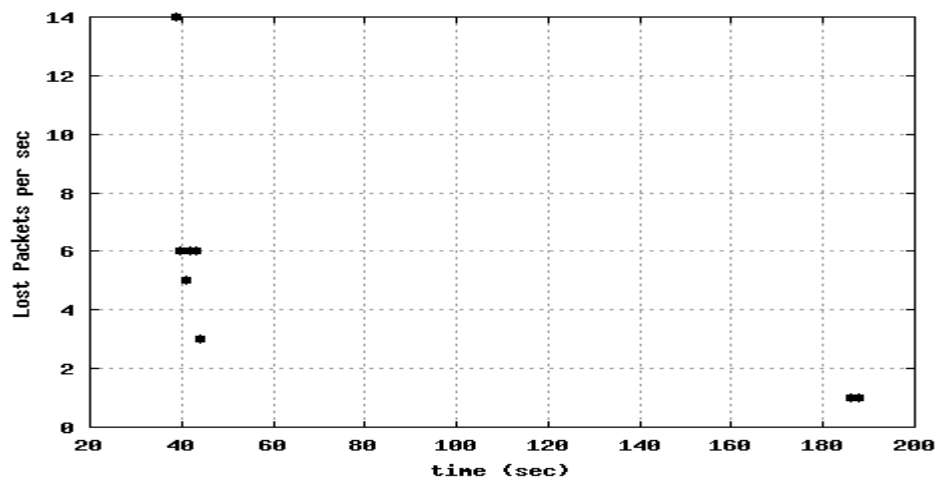
User1



Εικόνα 80 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

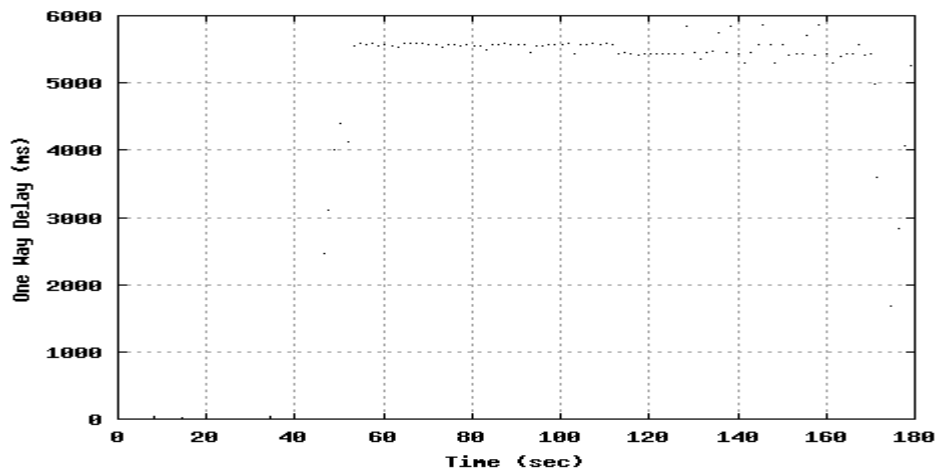


Εικόνα 81 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

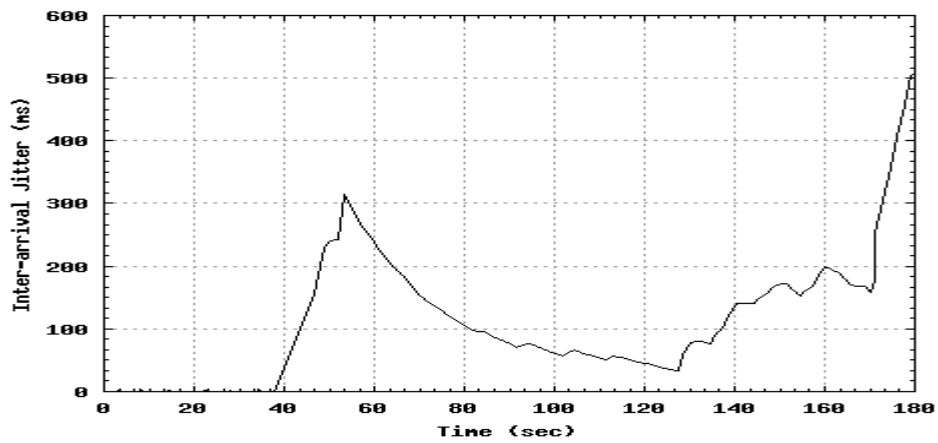


Εικόνα 82 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

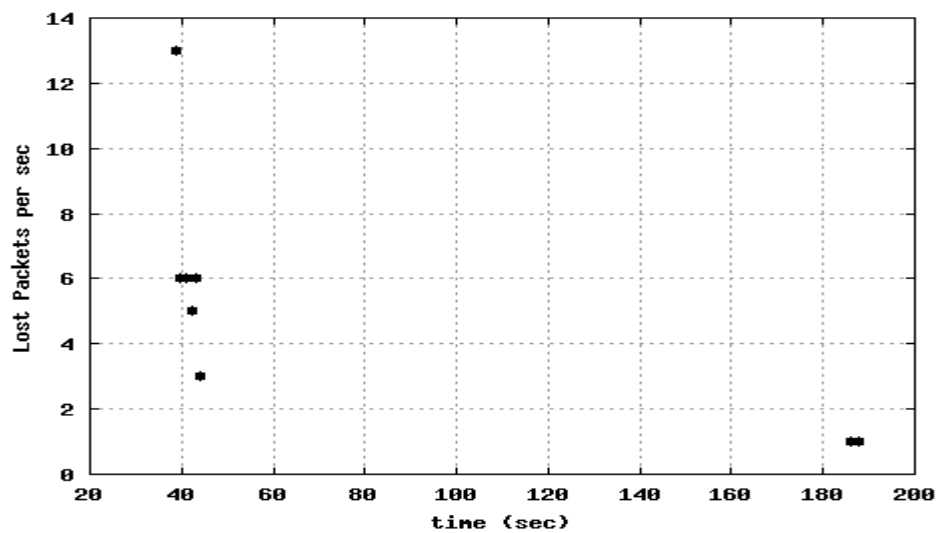
User5



Εικόνα 83 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



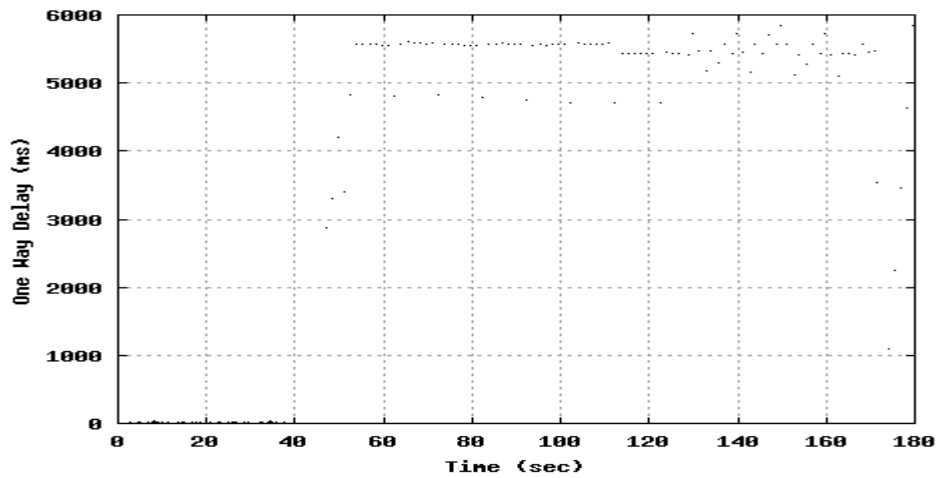
Εικόνα 84 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter



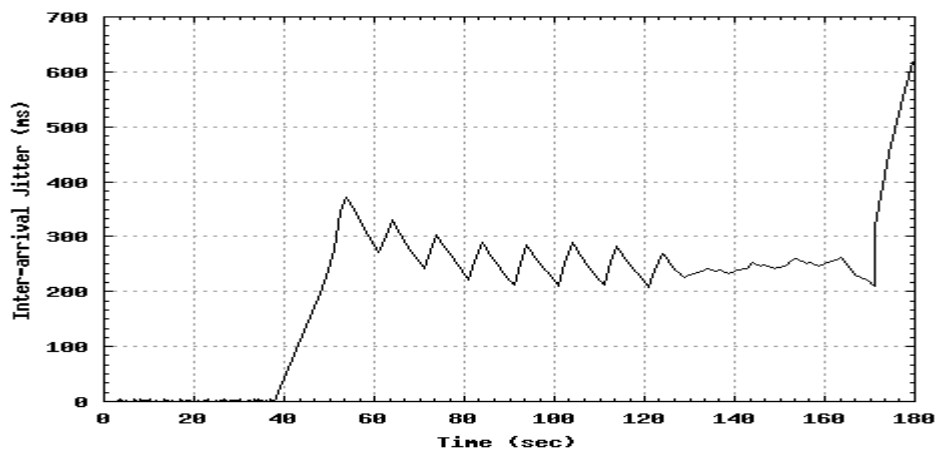
Εικόνα 85 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

User9

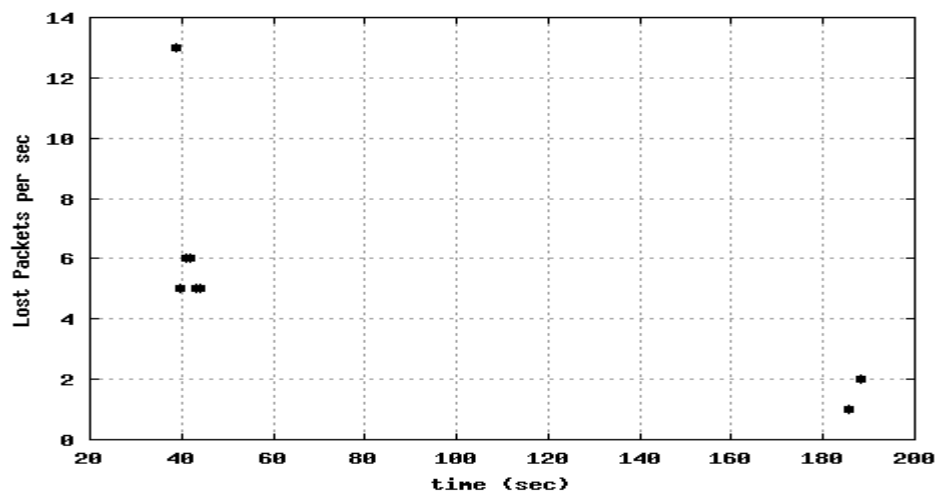
(Ο 10^{ος} χρήστης δεν πρόλαβε να συμμετάσχει στην επικοινωνία μέσα στον χρόνο της προσομοίωσης, δεν έλαβε κανένα πακέτο και έτσι δεν έχουμε γραφικές γι' αυτόν τον χρήστη.)



Εικόνα 86 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 87 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

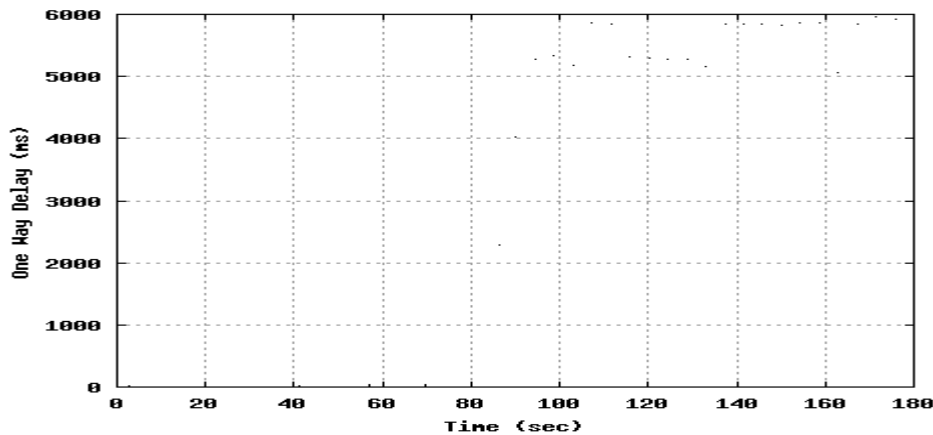


Εικόνα 88 Γραφική Παράσταση του Packet losses

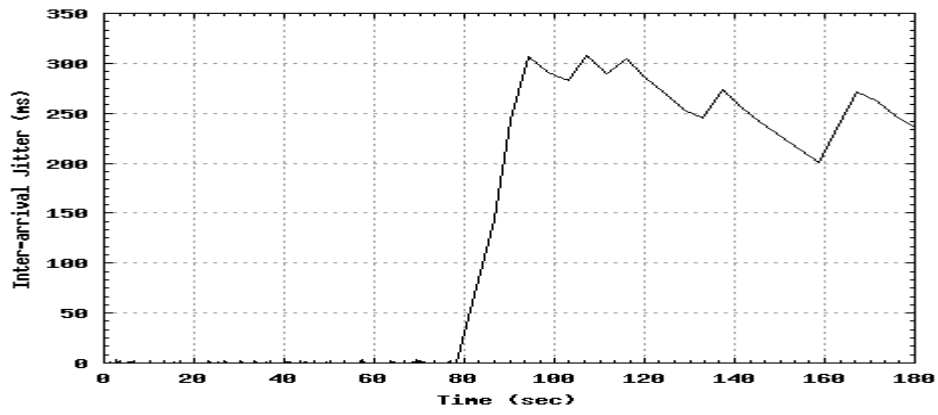
Και σε αυτό το στάδιο επικοινωνίας παρατηρείται η μη χρησιμοποίηση του δικτύου στα πρώτα 40", σε αυτόν τον χρόνο δεν υπήρξε επικοινωνία. Παράλληλα σε αυτό το χρόνο υπήρξαν και οι μοναδικές απώλειες που παρατηρήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας και είναι για τον πρώτο χρήστη 1,25%, για τον πέμπτο 1,22% και για τον ένατο 1,28%. Ο μέσος όρος απωλειών για όλους τους χρήστες είναι 1,3%. Αυτές οι τιμές πάρθηκαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, ενώ στις γραφικές παραστάσεις μπορούμε να δούμε πιο αναλυτικά τις σταδιακές αυξομειώσεις τόσο στις απώλειες (χαμένα πακέτα) και στις καθυστερήσεις. Πρόσθετα παρατηρείται πως ολοένα και πέφτουν οι καθυστερήσεις σε κάθε χρήστη χωριστά, αυτό οφείλεται στο γεγονός πως όσο προστίθενται οι χρήστες σε μια επικοινωνία τόσο η χρησιμοποίηση του δικτύου μειώνεται και διαιρείται. Μέσα στον ίδιο χρόνο πρέπει να εξυπηρετηθούν όλοι οι χρήστες ή τουλάχιστον όσο το δυνατόν περισσότεροι. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να διαιρείται ο χρόνος διάρκειας της επικοινωνίας με τον αριθμό χρηστών και ο εξυπηρετητής να προσπαθεί σειριακά να επικοινωνήσει με όλους τους χρήστες. Σε αυτή τη διαίρεση λοιπόν, οι καθυστερήσεις είναι λογικό να μειώνονται για κάθε χρήστη, καθώς ο κάθε χρήστης συμμετέχει λιγότερο στην πεπερασμένη διάρκεια της προσομοίωσης. Εδώ είχαμε σαν μέσο όρο One Way Delay 163,5 msec και μέσο όρο Smooth Jitter 8,16 msec. Ο 10^{ος} χρήστης δεν πρόλαβε να συμμετάσχει στην επικοινωνία μέσα στον χρόνο της προσομοίωσης, δεν έλαβε κανένα πακέτο και έτσι δεν έχουμε γραφικές γι' αυτόν τον χρήστη.

✓ **UDP επικοινωνία με 30 χρήστες.**

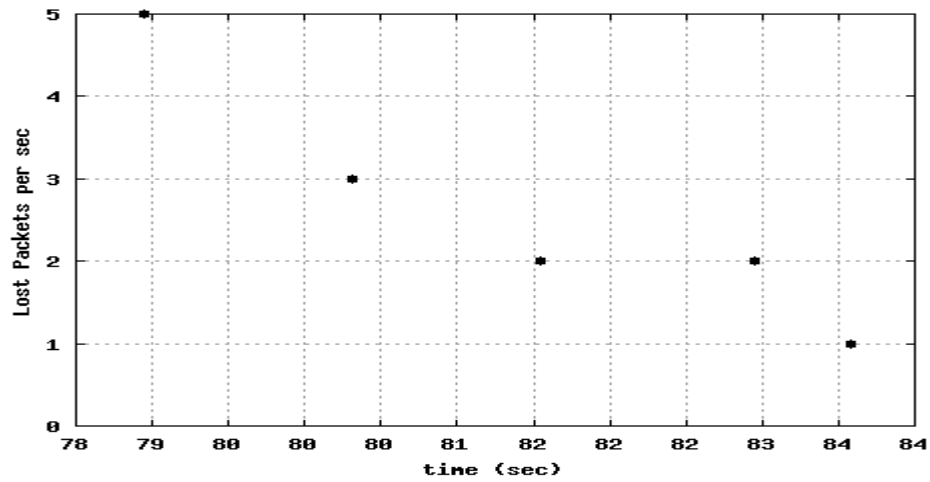
User1



Εικόνα 89 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

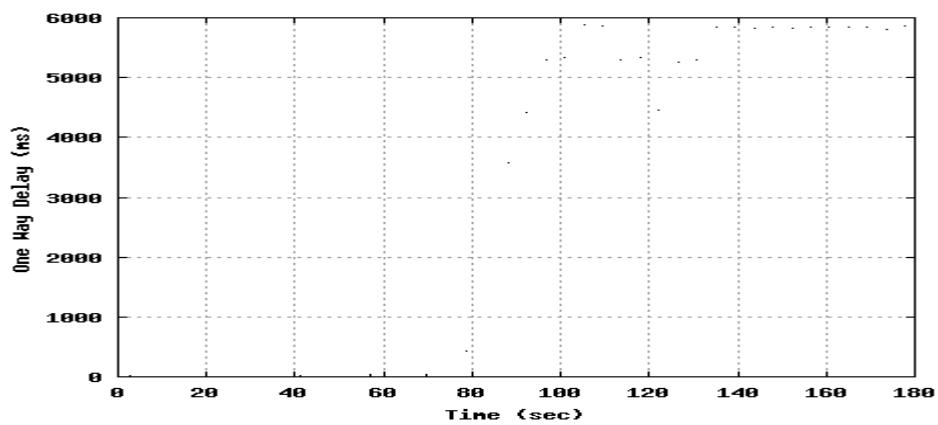


Εικόνα 90 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

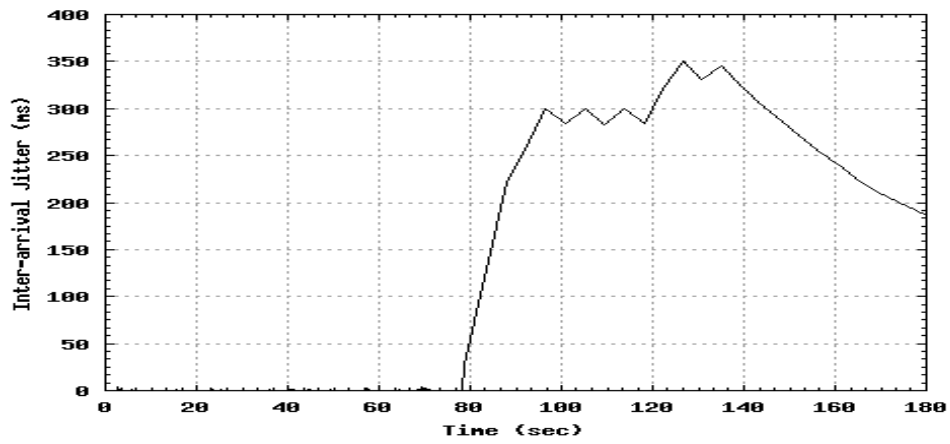


Εικόνα 91 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

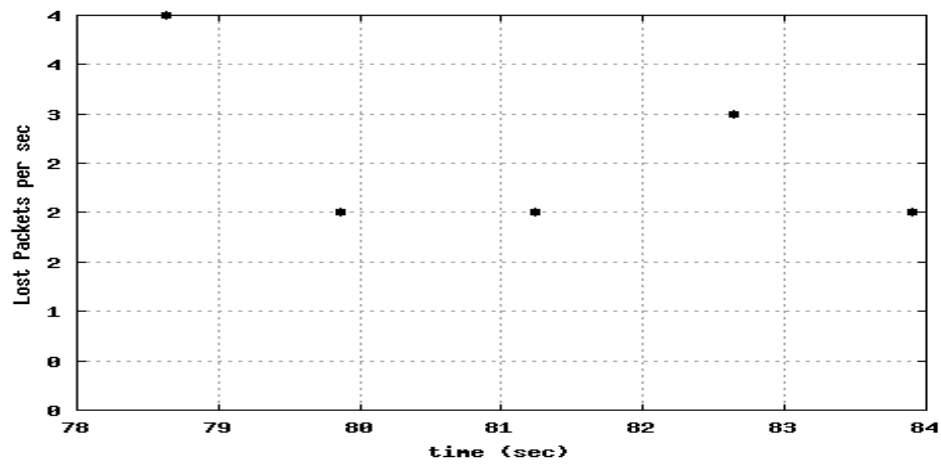
User15



Εικόνα 92 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

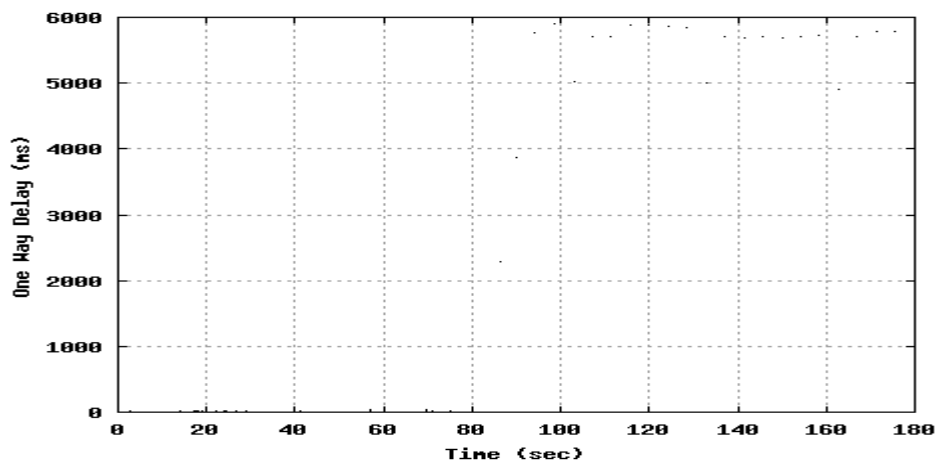


Εικόνα 93 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

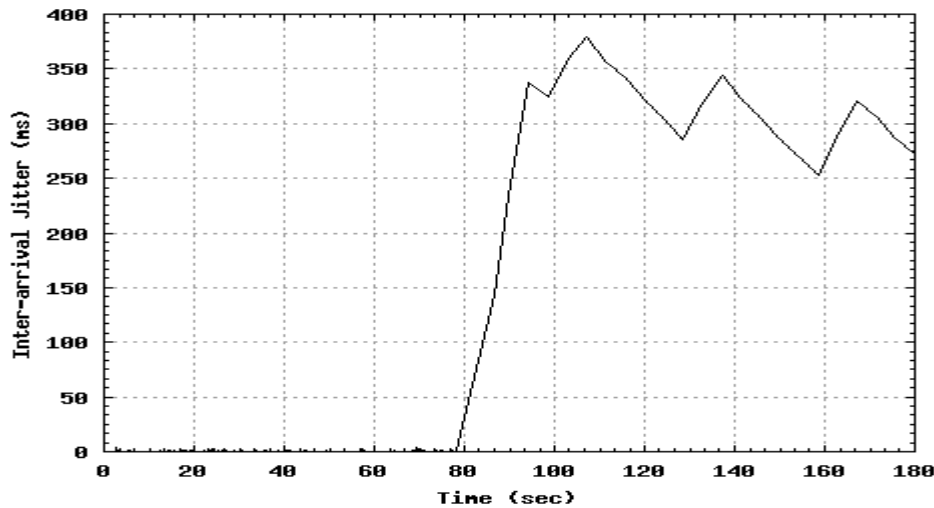


Εικόνα 94 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

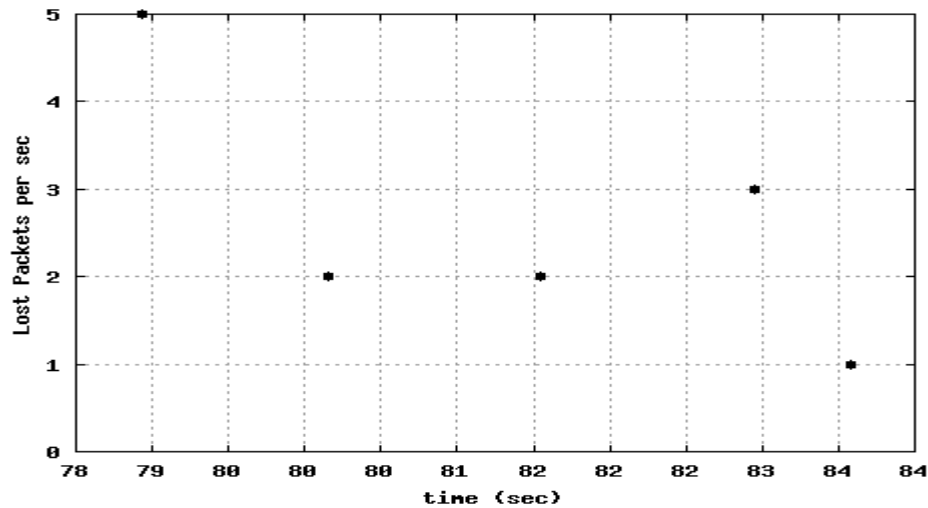
User30



Εικόνα 95 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 96 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

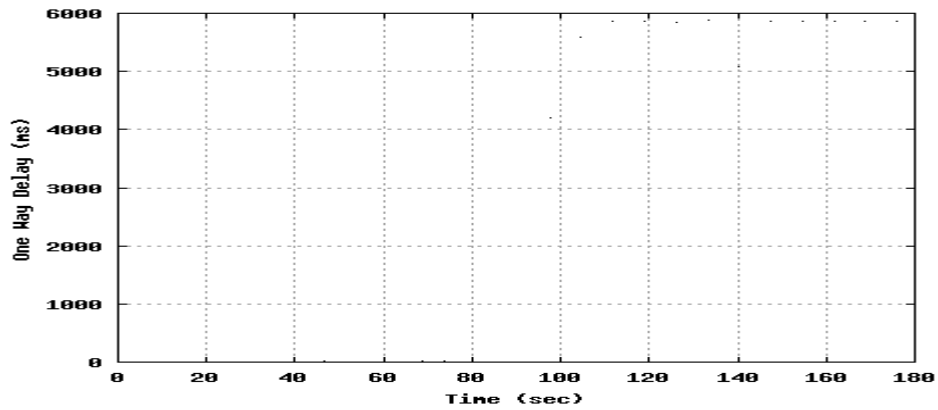


Εικόνα 97 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

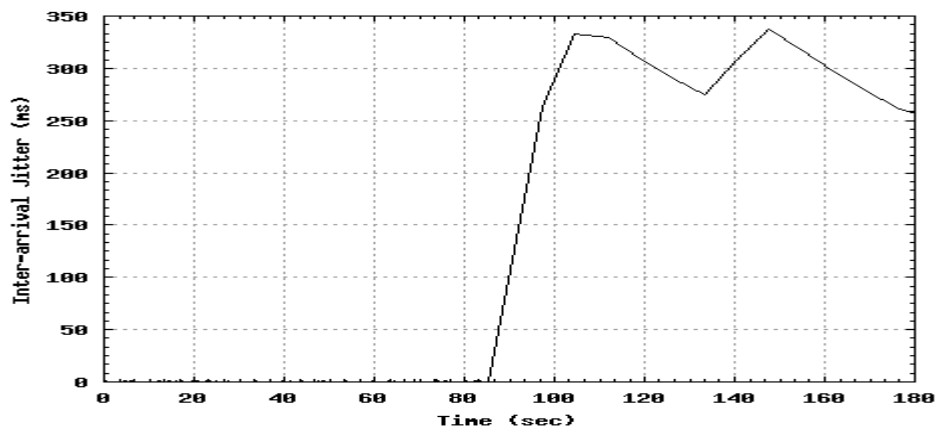
Στην επικοινωνία των 30 χρηστών μειώνονται αισθητά οι καθυστερήσεις, παράλληλα όμως μειώθηκε και ο χρόνος διάρκειας της επικοινωνίας καθώς όπως παρατηρείται από τις γραφικές, όλη η επικοινωνία για κάθε χρήστη ξεκίνησε μετά το 80". Σε αυτό έχουμε αναφερθεί και νωρίτερα, ο εξυπηρετητής προσθέτει μια καθυστέρηση και έπειτα ξεκινάει να στέλνει σε όλους τους υπάρχοντες χρήστες. Σε αυτό το μέρος του πειράματος λόγω των πολλών συμμετεχόντων χρηστών υπάρχουν απώλειες πακέτων και κατά την διάρκεια των αποστολών, σε κάθε χρήστη, και όχι μόνο στον αρχικό χρόνο των καθυστερήσεων που είχαμε παρατηρήσει στις προηγούμενες περιπτώσεις. Έτσι, οι απώλειες είναι σε μέσο όρο για όλους 0,20% ενώ εκεί κυμαίνονται όλοι χωρίς ιδιαίτερες αυξομειώσεις, οι απώλειες είναι σχεδόν σταθερές για όλους τους χρήστες. Το One Way Delay για τον πρώτο χρήστη κινήθηκε στα 64,4 msec σχεδόν σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια λήψεων, για τον 15^ο πάλι ήταν σταθερή η καθυστέρηση του στα 24 msec και τέλος ο 30^{ος} χρήστης είχε καθυστέρηση 22,5 msec. Σαν μέσο όρο One Way Delay για όλους πήραμε τα 32,06 msec. Σχετικά με το Jitter, ο μέσος όρος για όλους ήταν 2 msec.

✓ **UDP επικοινωνία με 50 χρήστες.**

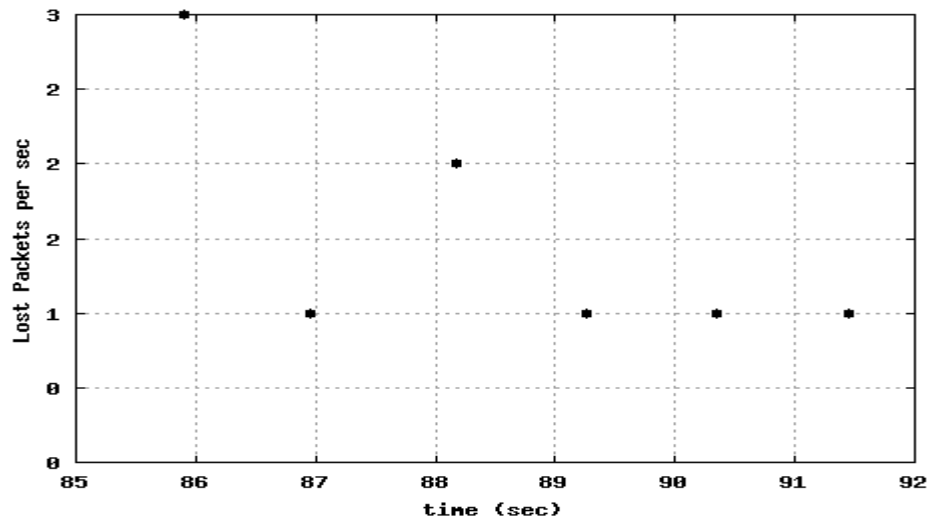
User1



Εικόνα 98 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

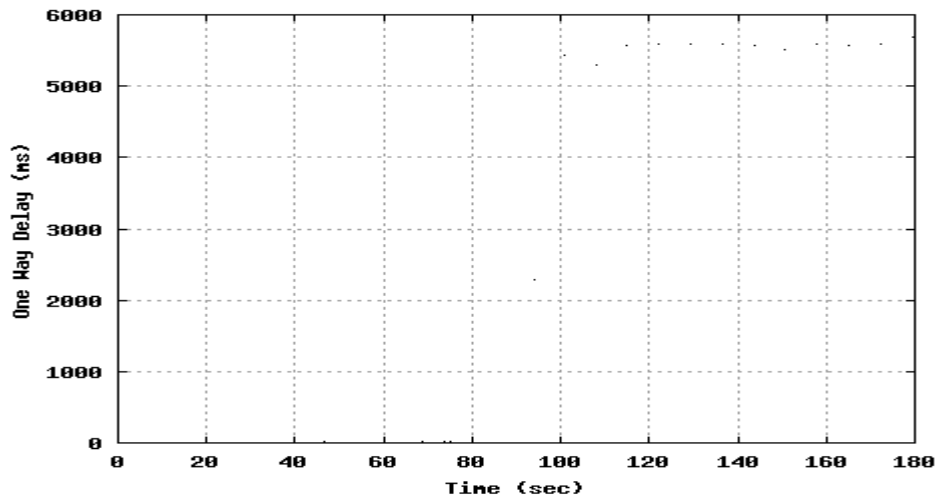


Εικόνα 99 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

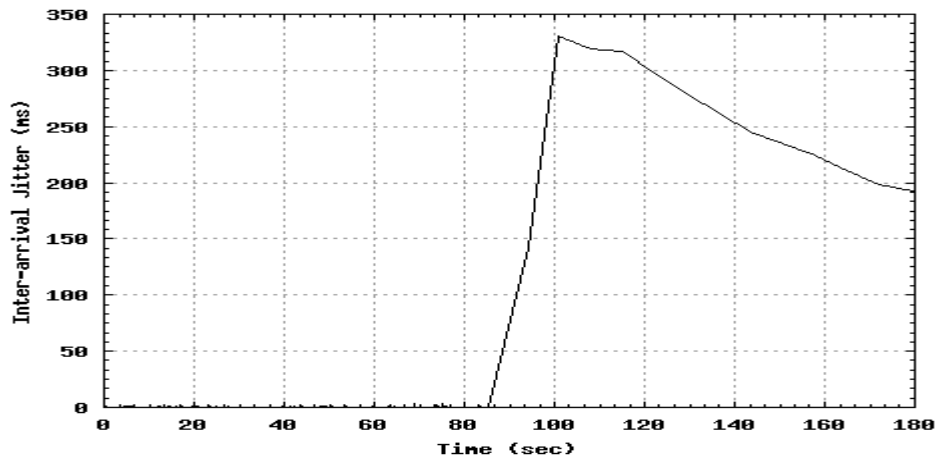


Εικόνα 100 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

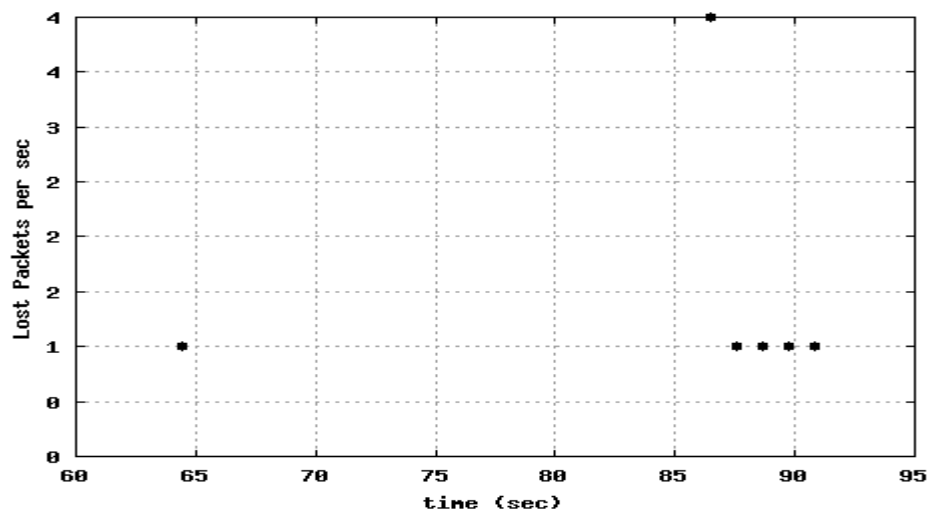
User25



Εικόνα 101 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

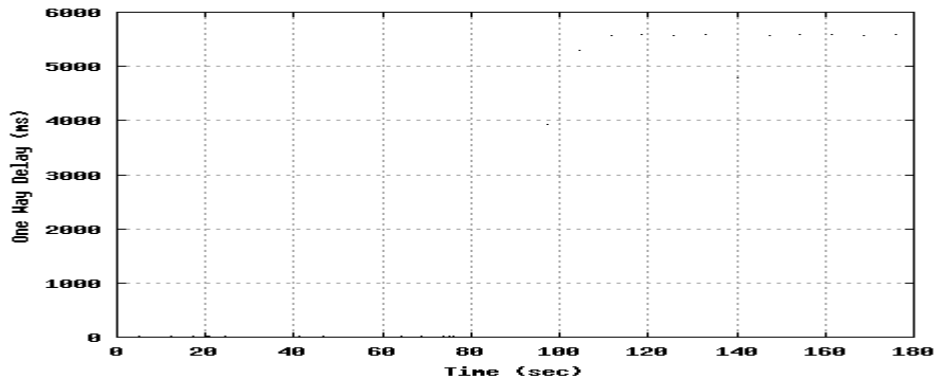


Εικόνα 102 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

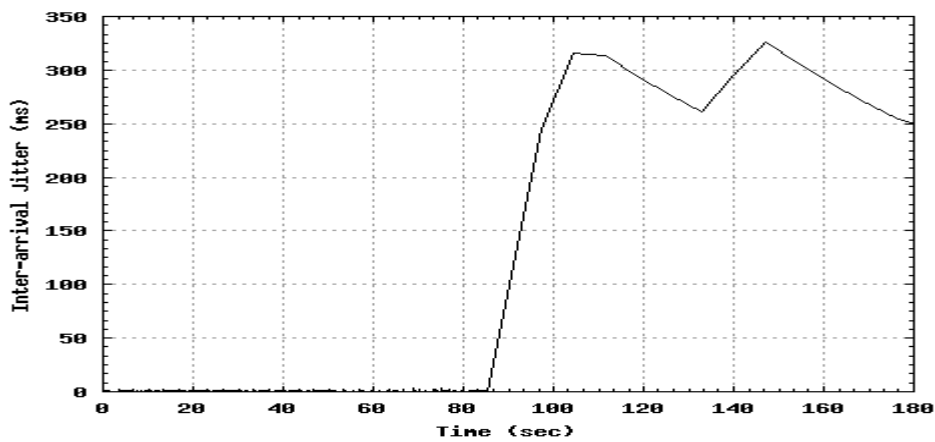


Εικόνα 103 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

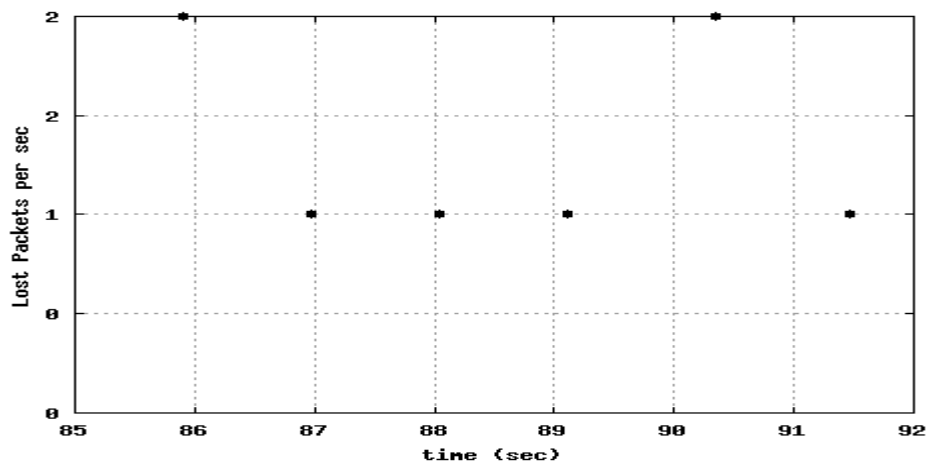
User49



Εικόνα 104 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 105 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter



Εικόνα 106 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

Στο τελευταίο μέρος της κοινής UDP επικοινωνίας, όπου οι συμμετέχοντες παραλήπτες ήταν 50, παρατηρήθηκε παρόμοια συμπεριφορά με την προηγούμενη περίπτωση των 30 χρηστών. Βέβαια καθώς οι συμμετέχοντες ήταν πολλοί, στη διάρκεια των τριών λεπτών της αποστολής του Server Provider τρεις από αυτούς δεν έλαβαν κάποιο πακέτο. Πιο συγκεκριμένα οι χρήστες που δεν έλαβαν κανένα πακέτο ήταν ο 24^{ος}, ο 37^{ος} και ο 50^{ος}, αυτοί είχαν μηδενικές καθυστερήσεις και 100% απώλειες. Οι υπόλοιποι σημείωσαν

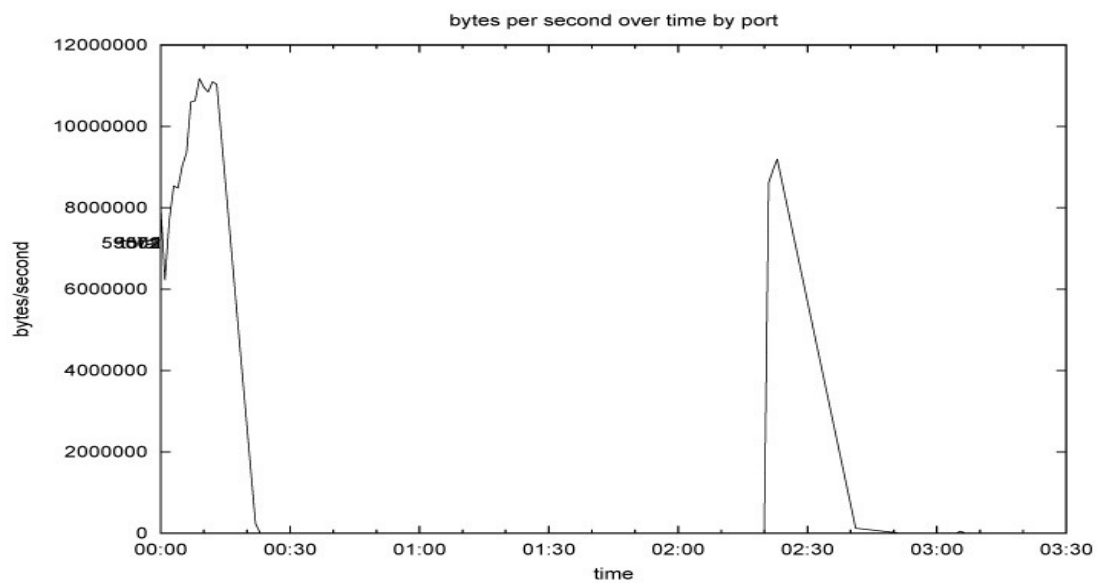
μέσο όρο απωλειών 0,13% και παρουσίασαν απώλειες από την αρχή μέχρι το τέλος της διάρκειας της προσομοίωσης. Η καθυστέρηση τους ήταν 16 msec και το Jitter 0,8 msec.

5.1.3. Μέρος 3^ο

Στο τελευταίο μέρος του σεναρίου όπου επίσης ο Server Provider βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με τον Client πραγματοποιείται παράλληλα και συγχρονισμένη αλλά και ασύγχρονη επικοινωνία. Συνδυάζονται δηλαδή τα πρωτόκολλα TCP και UDP, στον ίδιο χρόνο. Σε κάθε περίπτωση θα έχουμε τον διπλάσιο αριθμό χρηστών να συμμετέχουν στην λήψη/ αποστολή σε αντίθεση με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

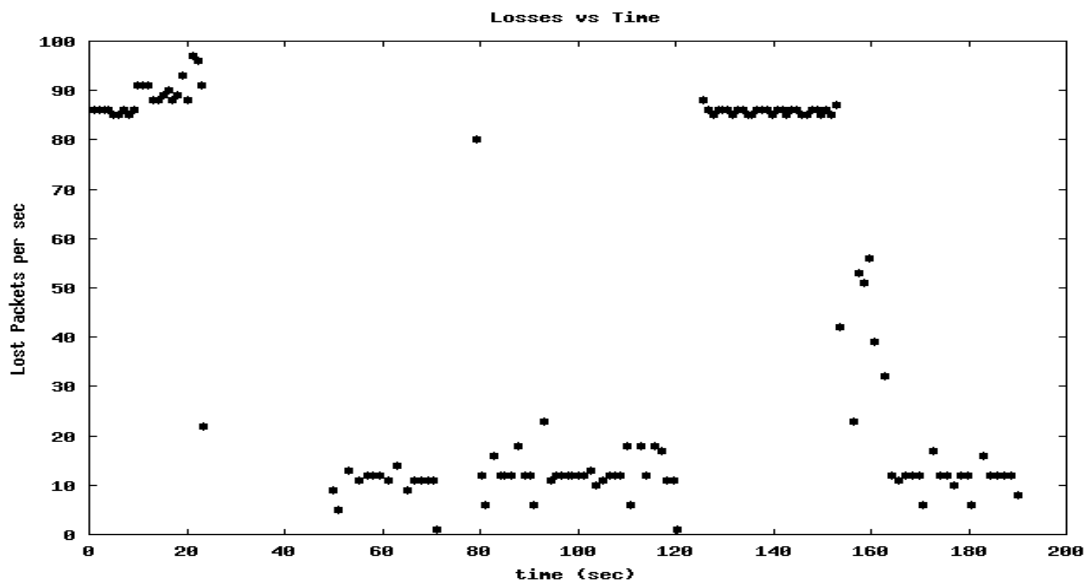
- ✓ **Παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία με έναν χρήστη σε κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας.**

TCP User1



Εικόνα 107 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

UDP User1

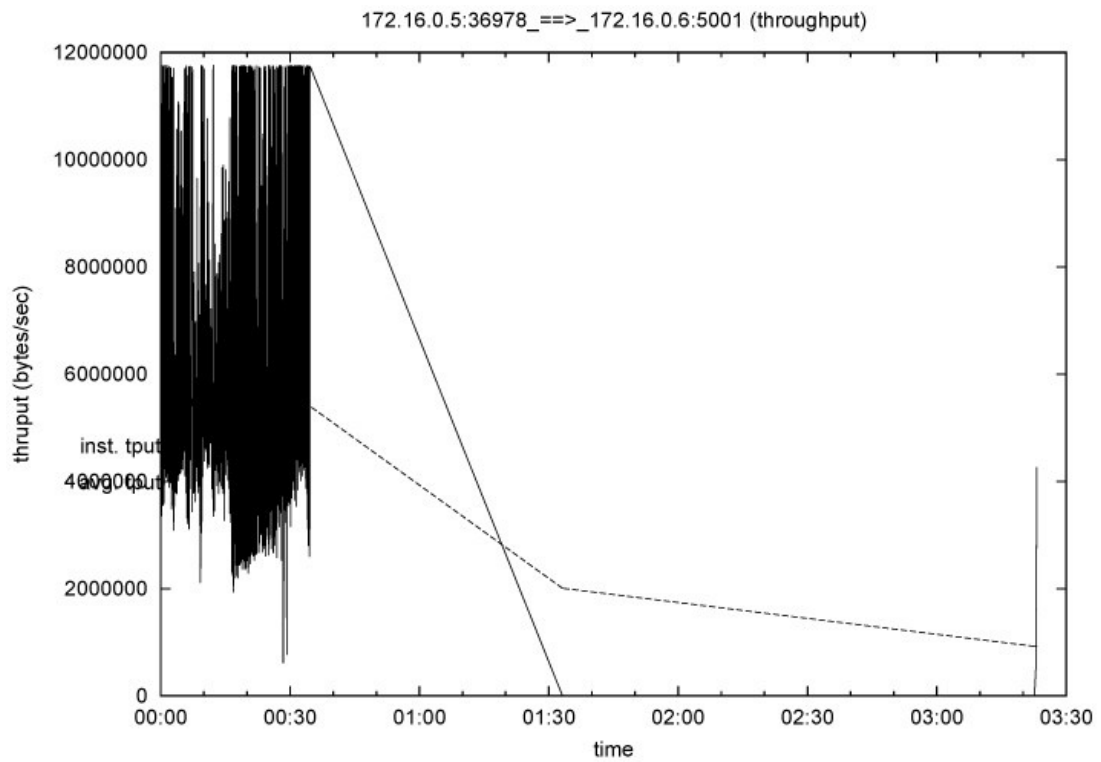


Εικόνα 108 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

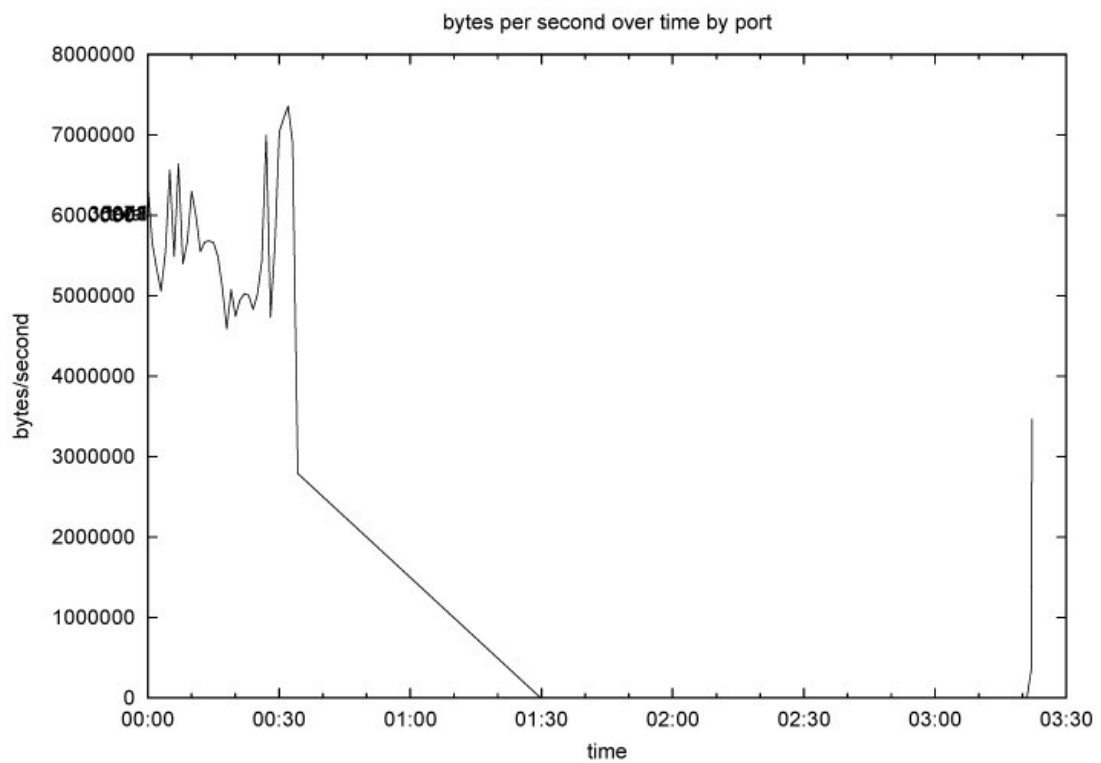
Παρατηρώντας παραπάνω την γραφική παράσταση του throughput του χρήστη, φαίνεται πως υπάρχει μια σειριακή αποστολή του εξυπηρετητή, μια στέλνει σε TCP επικοινωνία σε κάποιο χρόνο, μόλις λάβει ο χρήστης τα πακέτα συνεχίζει σε UDP επικοινωνία και έπειτα πάλι σε TCP. Από την αρχή της επικοινωνίας μέχρι το 28'' και από 2.27' μέχρι 2.50' υλοποιείται η TCP επικοινωνία και παρουσιάζει μέσο όρο throughput 6.553 kbps. Οι απώλειες που υπολογίστηκαν από τις αναλύσεις ήταν μεγάλες, έτσι για ένα χρήστη είχαμε 11.026 χαμένα πακέτα και οι καθυστερήσεις (RTT) ήταν 24,9 msec. Όσον αφορά την UDP επικοινωνία δεν επιτεύχθηκε καθώς βάση της ανάλυσης δεν υπήρξαν καθυστερήσεις, άρα δεν υπήρξε και κίνηση αλλά και οι απώλειες ήταν 100%. Από τη γραφική βέβαια παρατηρούμε πως άγγιζαν το 100% τη διάρκεια που εξελισσόταν η TCP επικοινωνία αλλά στον υπόλοιπο χρόνο κινούταν στο 10 – 20%. Παρ' όλα αυτά δεν ο χρήστης δεν έλαβε UDP πακέτα.

- ✓ **Παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία με δυο χρήστες σε κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας.**

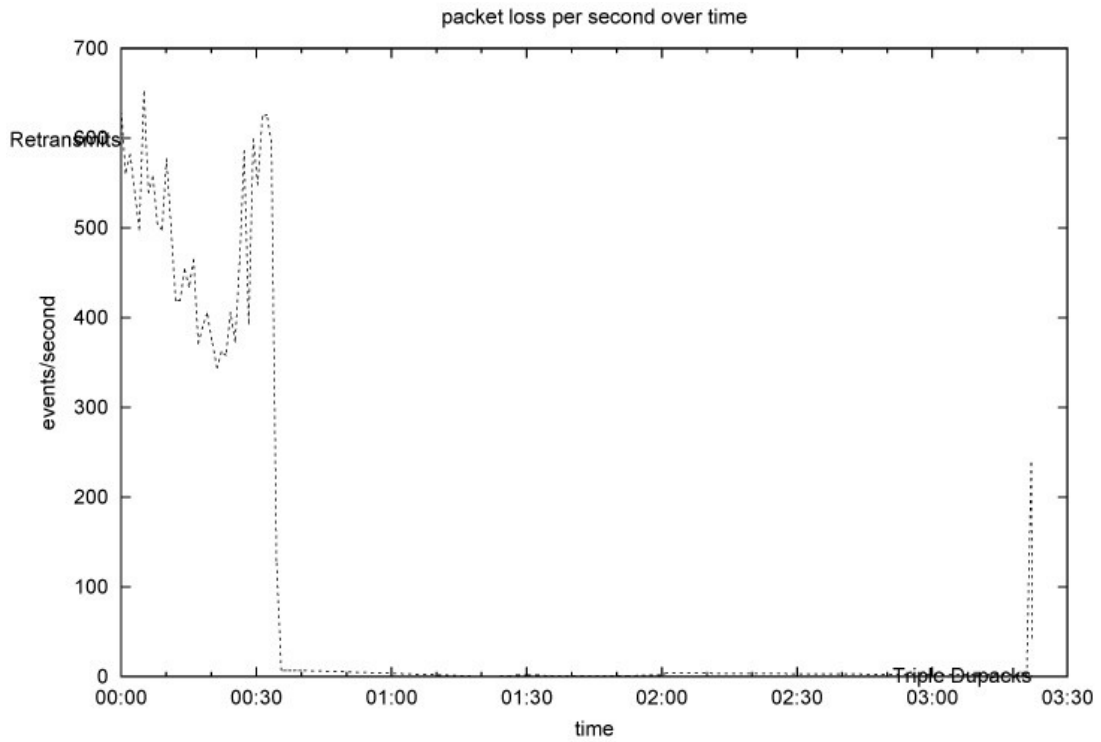
TCP User1



Εικόνα 109 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)

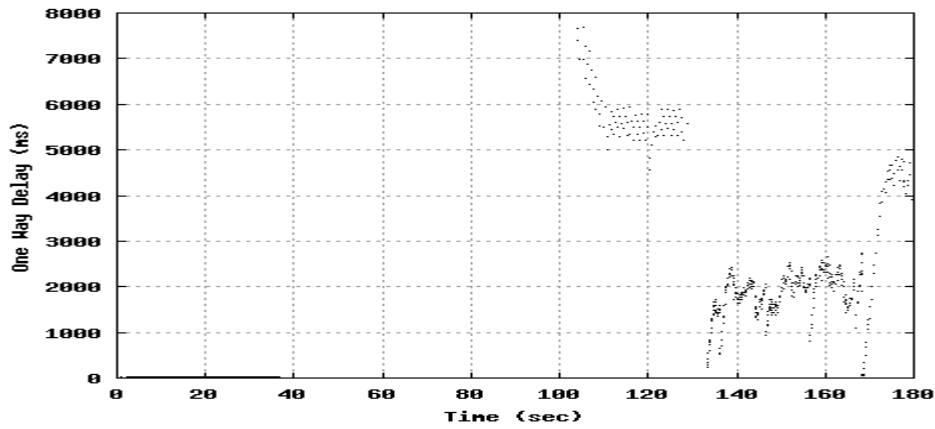


Εικόνα 110 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

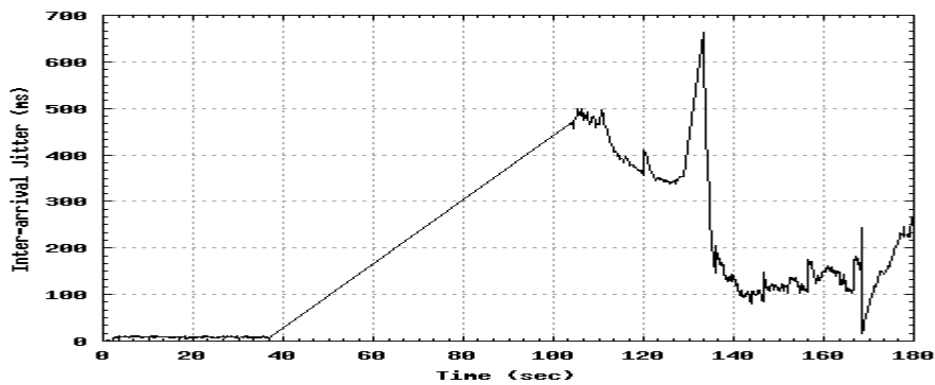


Εικόνα 111 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

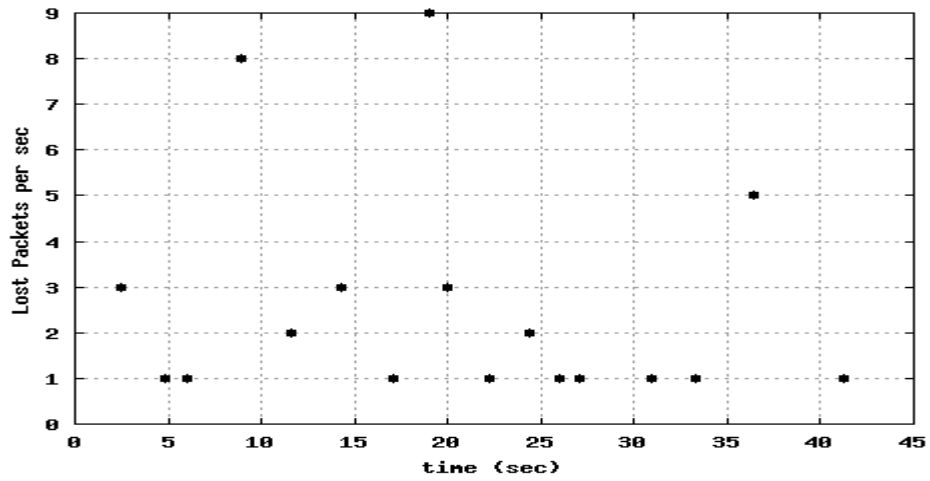
UDP User1



Εικόνα 112 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

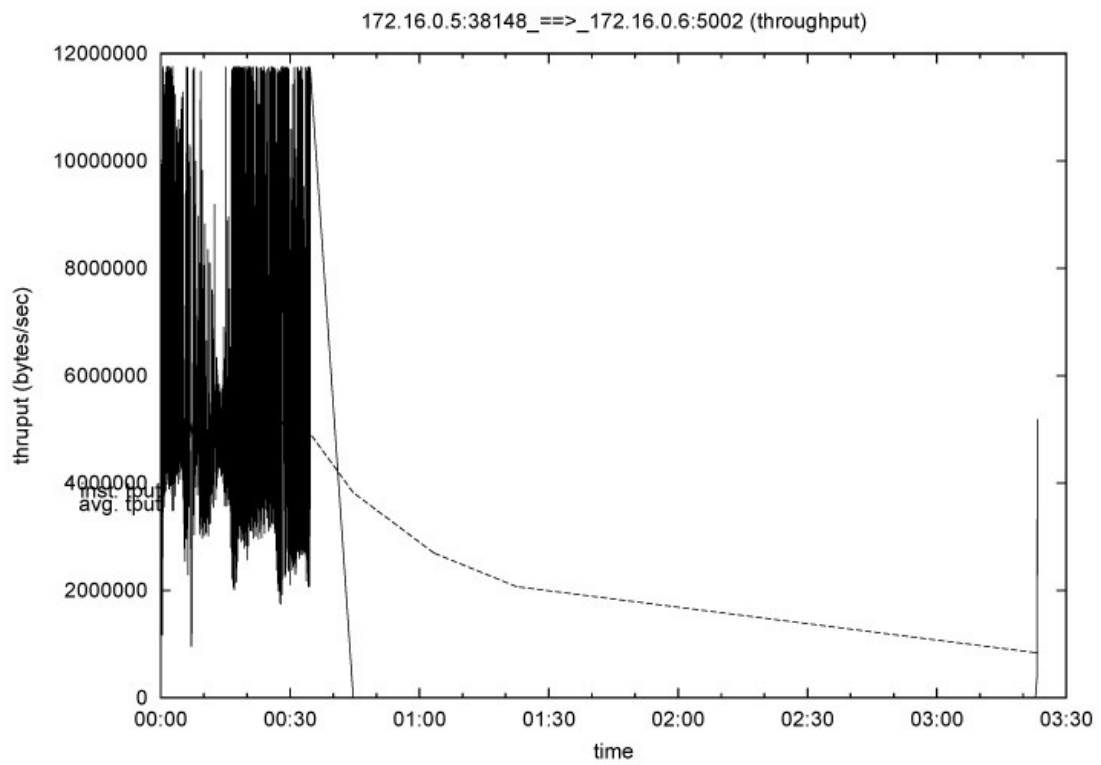


Εικόνα 113 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

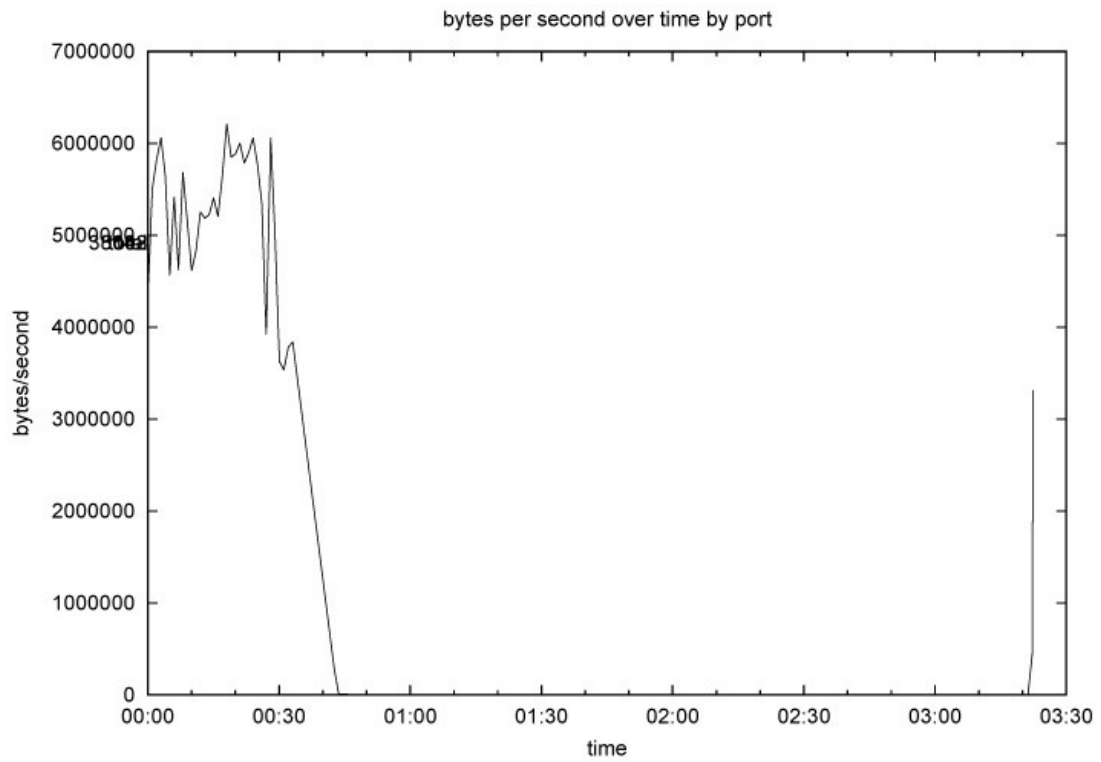


Εικόνα 114 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

TCP User2

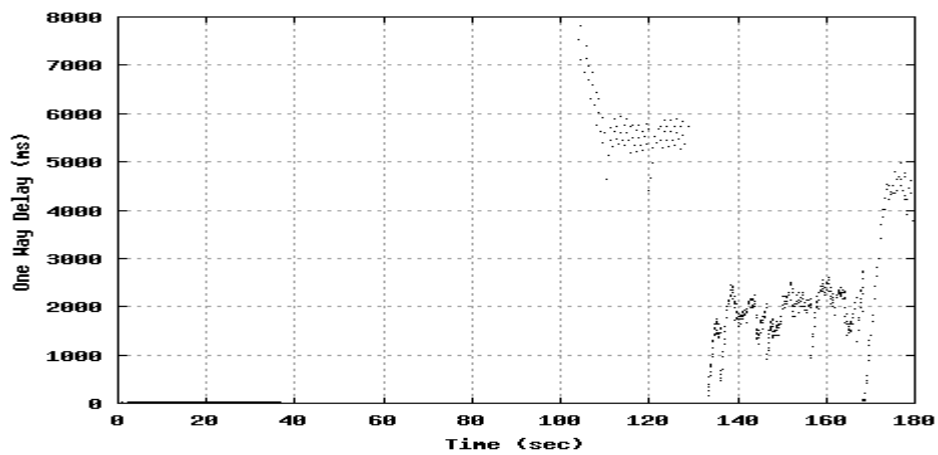


Εικόνα 115 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)

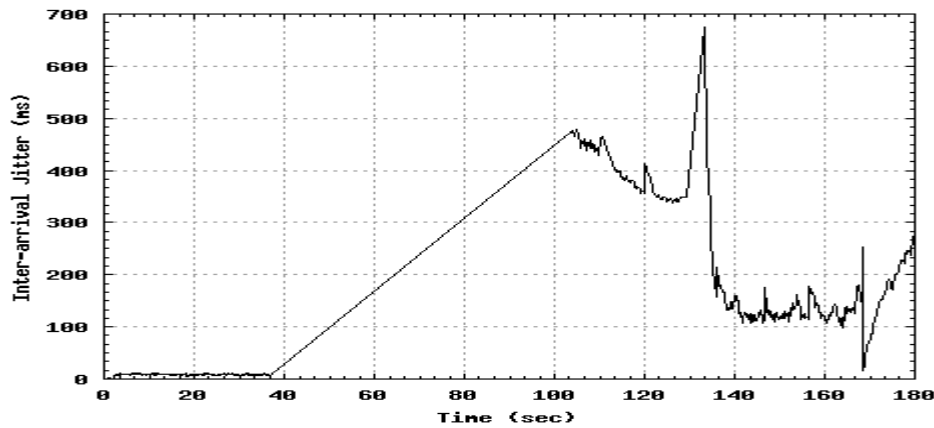


Εικόνα 116 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

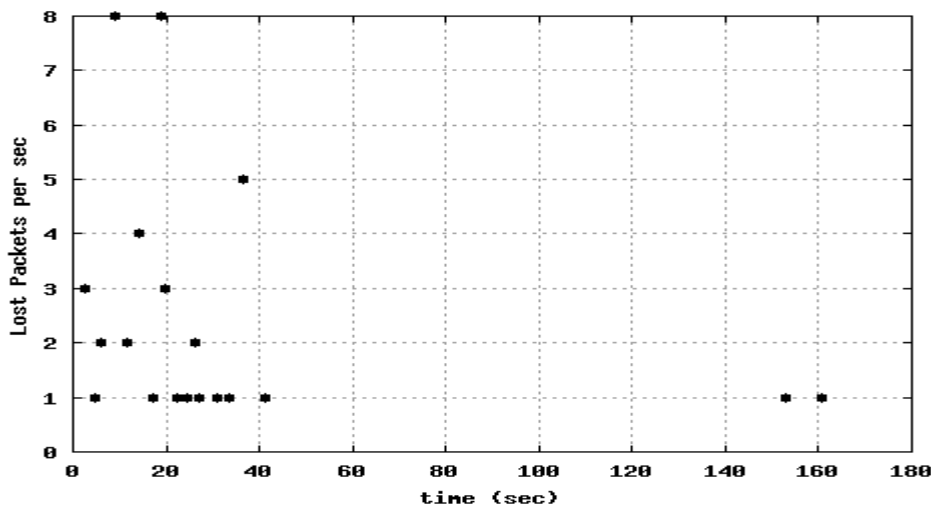
UDP User2



Εικόνα 117 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 118 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

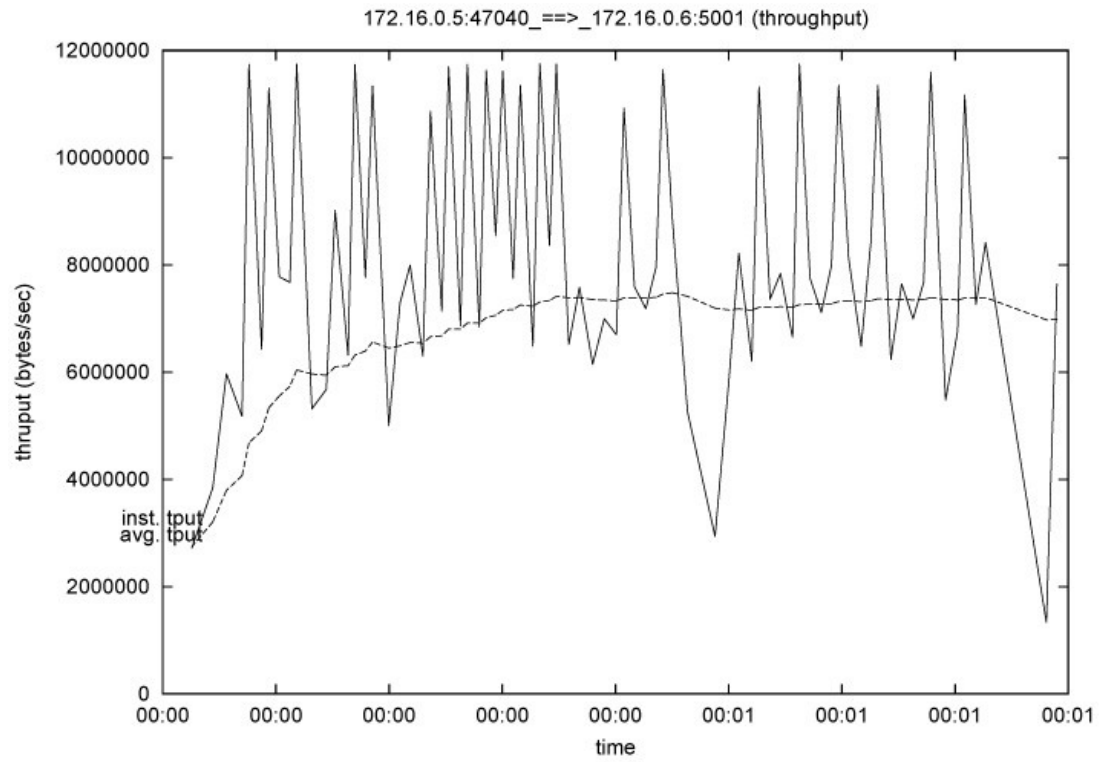


Εικόνα 119 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

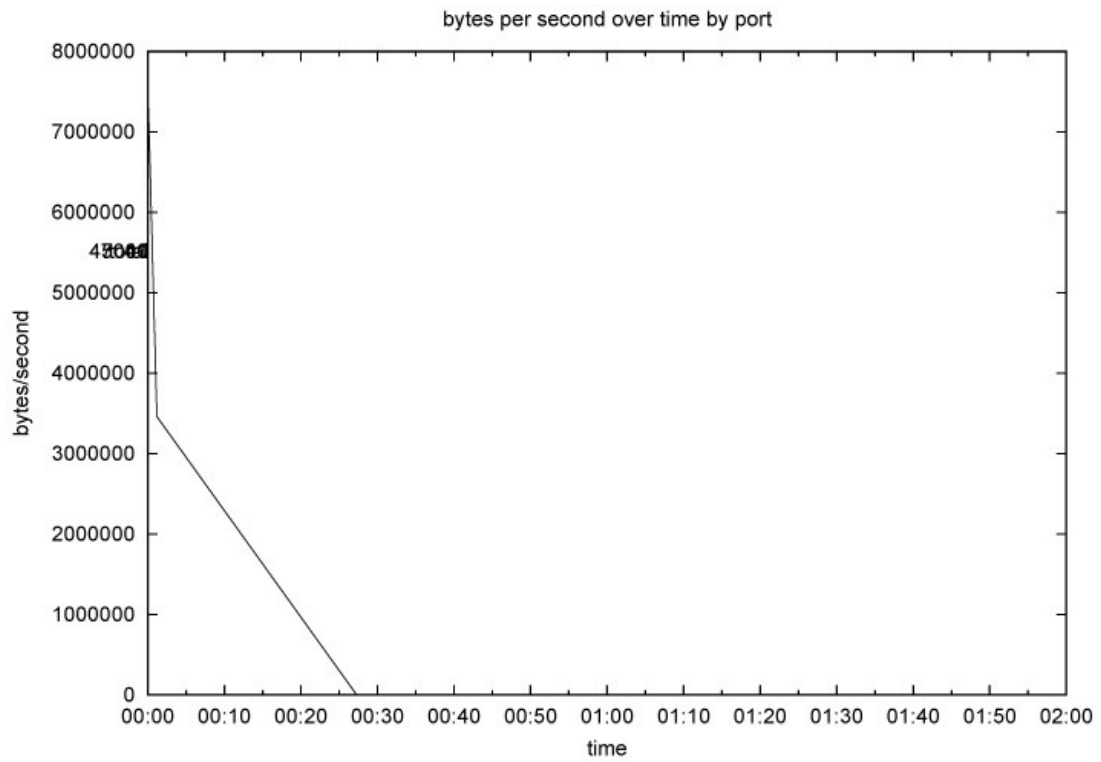
Προχωρώντας το σενάριο της παράλληλης ασύγχρονης και συγχρονισμένης επικοινωνίας σε κοντινή απόσταση προσθέτοντας ακόμα έναν χρήστη παρατηρούμε το εξής, η επικοινωνία ξεκινάει σε TCP και για τους δύο χρήστες. Ο ένας χρήστης χρησιμοποιεί το δίκτυο σε TCP το πρώτο ενάμισι λεπτό και εκεί, όπως βλέπουμε από τις γραφικές, ξεκινάνε οι UDP αποστολές. Παρόμοια και για τον δεύτερο χρήστη η TCP επικοινωνία υλοποιείται μέχρι το 50^ο και έπειτα ξεκινούν οι UDP αποστολές. Δεν παρατηρείται κύκλος, δηλαδή επανάληψη της TCP επικοινωνίας. Όσον αφορά το throughput στη διάρκεια της υλοποίησης ήταν σε μέσο όρο και για τους δύο χρήστες 7.100 kbps. Βάση των αναφορών υπήρξαν πολλές απώλειες, τόσο για την TCP όσο και για την UDP. Πιο συγκεκριμένα οι χρήστες στην συγχρονισμένη επικοινωνία είχαν σε μέσο όρο 16.367 απώλειες, ενώ στην ασύγχρονη 1,22%. Οπού ο 1^{ος} χρήστης είχε χαμένα UDP πακέτα καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ ο 2^{ος} περιορίστηκε με χαμένα UDP πακέτα μόνο στη διάρκεια της TCP επικοινωνίας. Επανεξετάζοντας την συγχρονισμένη επικοινωνία είχαμε μέσο όρο καθυστέρησης RTT 22 msec. Οι καθυστερήσεις στην ασύγχρονη επικοινωνία είναι, ο μέσος όρος του One Way Delay και για τους δυο χρήστες 459,3 msec και το Jitter 39,5 msec. Η απόδοση του δικτύου σε αυτή τη φάση δεν είναι καθόλου ικανοποιητική στην TCP επικοινωνία τουλάχιστον, καθώς σημειώνεται πολύ χαμηλό throughput σε σχέση παρόμοια φάση των πειραμάτων με δύο χρήστες, παράλληλα οι απώλειες ήταν πάρα πολλές, μιλώντας για χιλιάδες χαμένα πακέτα. Ας δούμε όμως και τη συνέχεια προσθέτοντας και άλλους χρήστες στο ίδιο σενάριο.

- ✓ Παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία με πέντε χρήστες σε κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας.

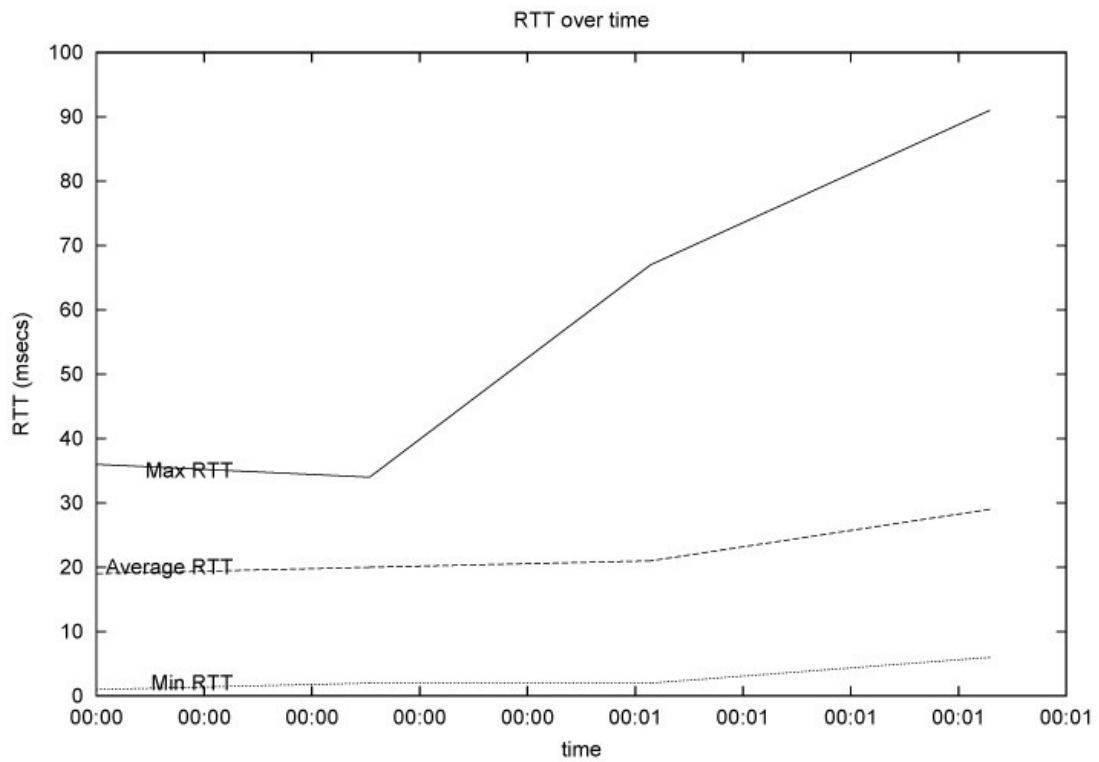
TCP User1



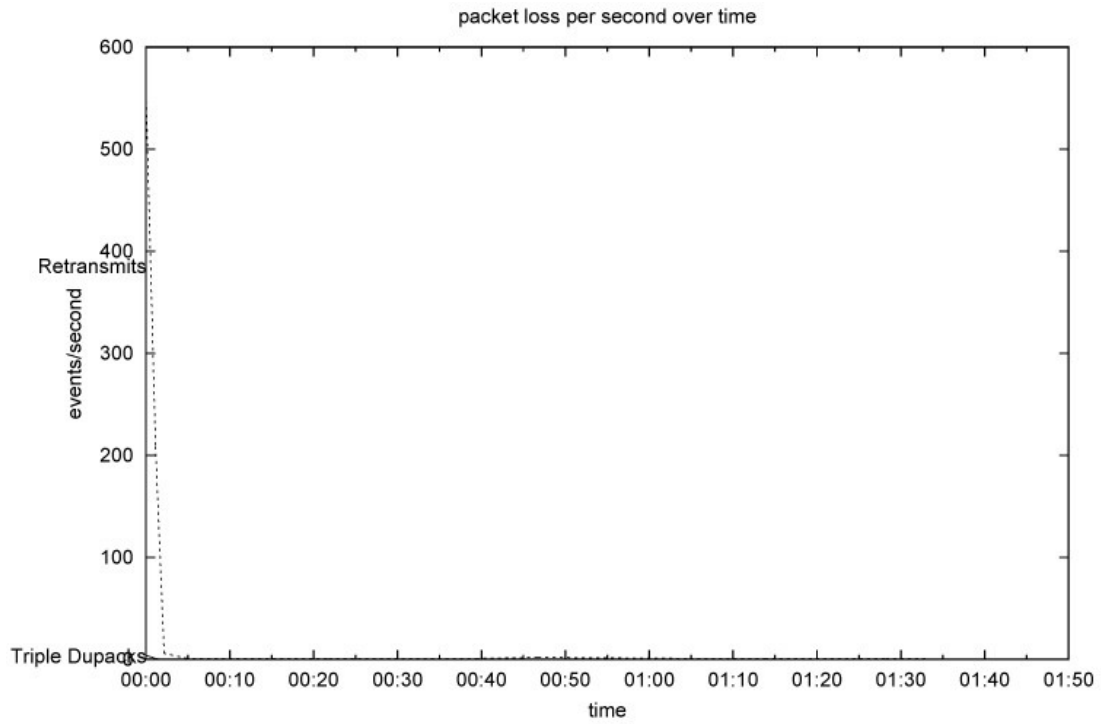
Εικόνα 120 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 121 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

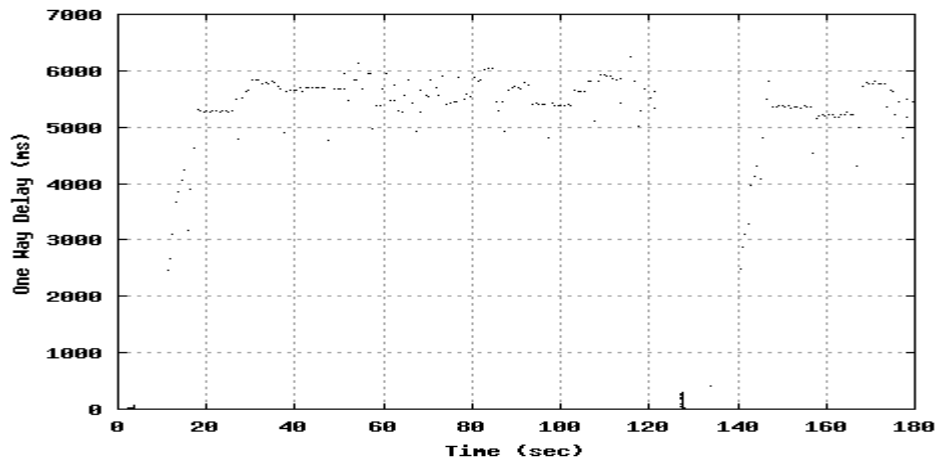


Εικόνα 122 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

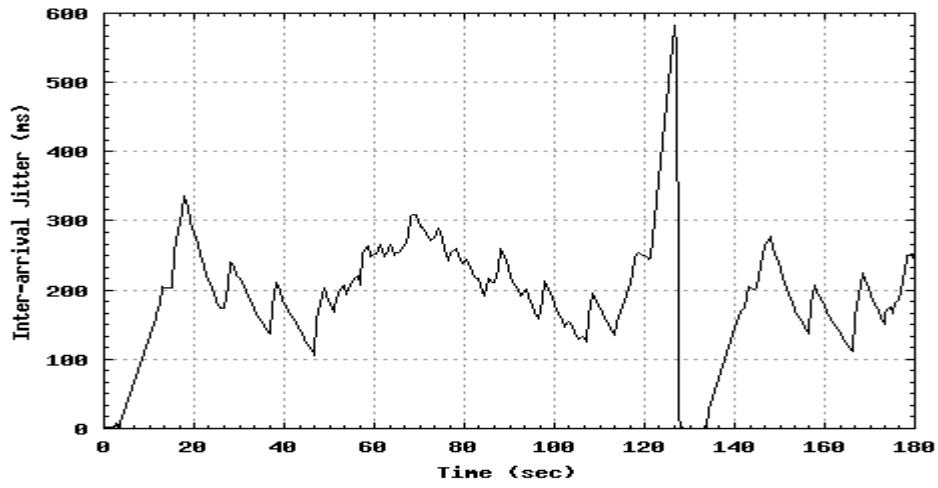


Εικόνα 123 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

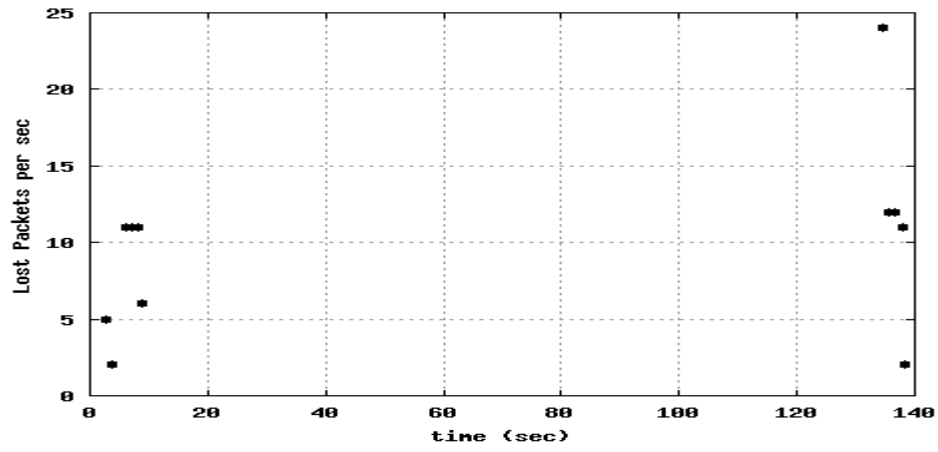
UDP User1



Εικόνα 124 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

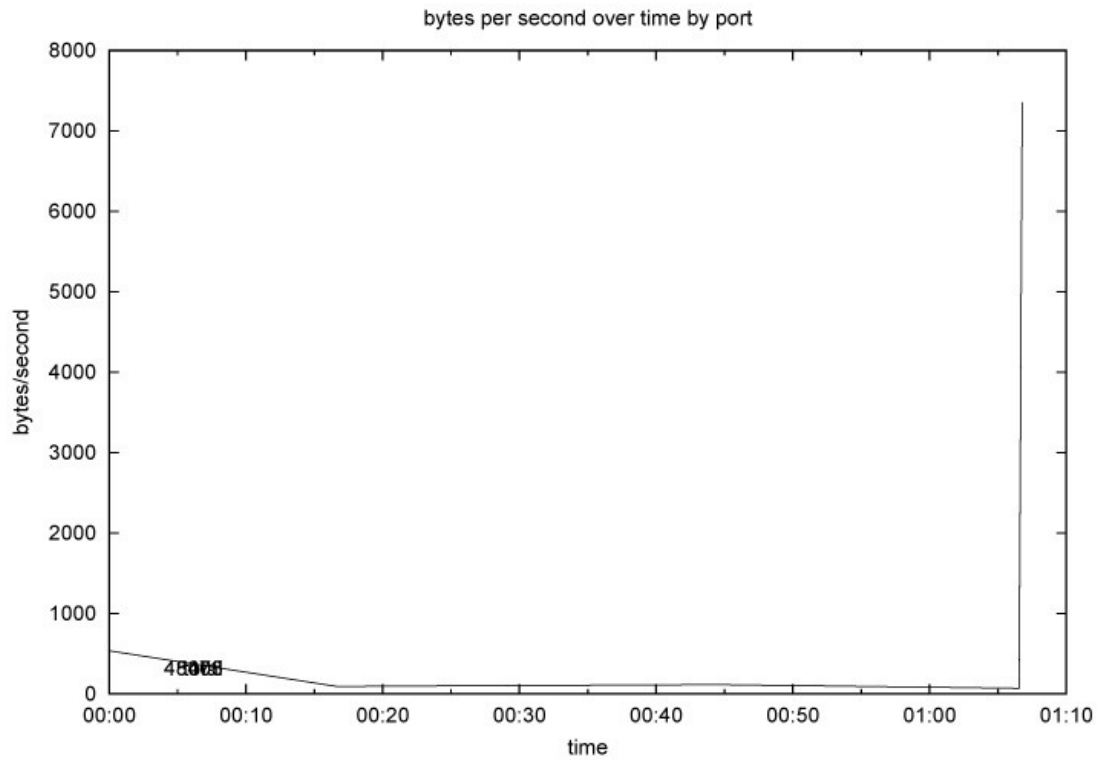


Εικόνα 125 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

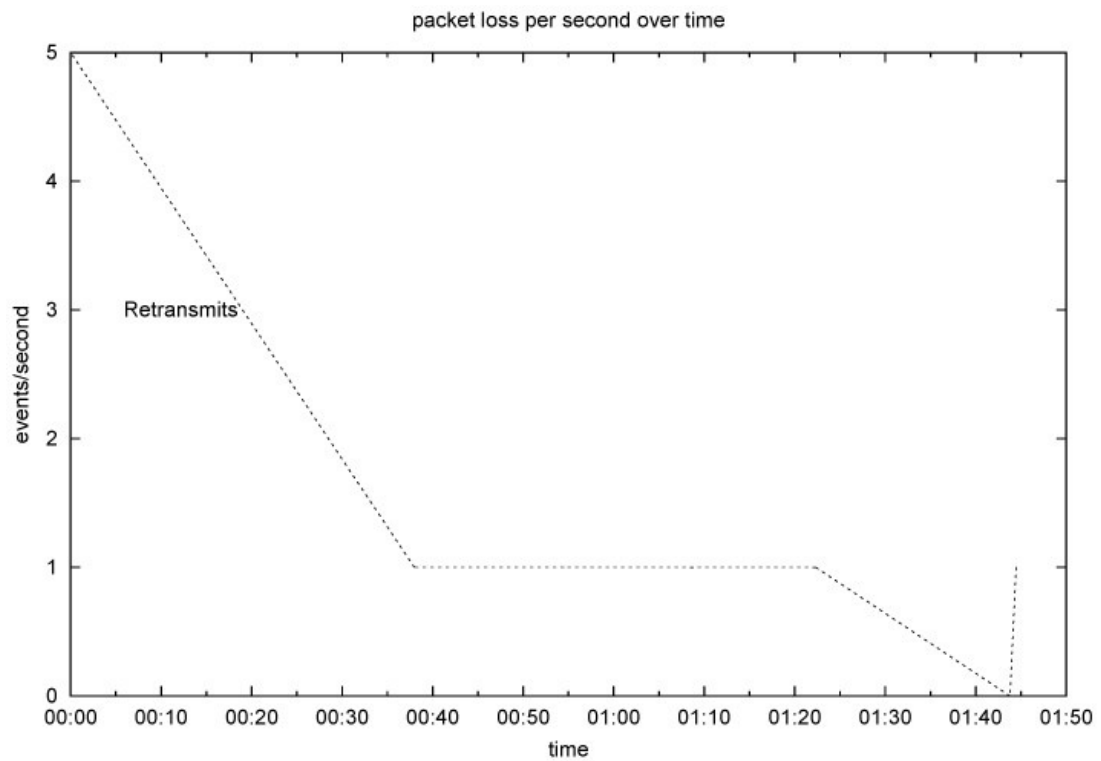


Εικόνα 126 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

TCP User3

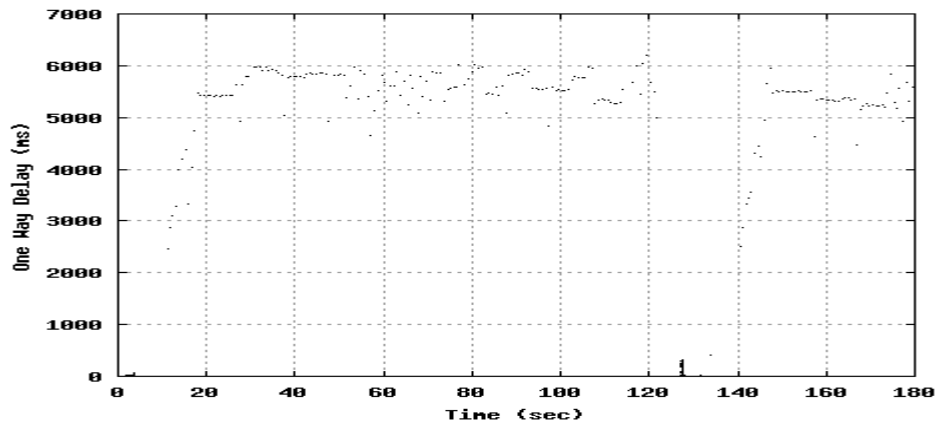


Εικόνα 127 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

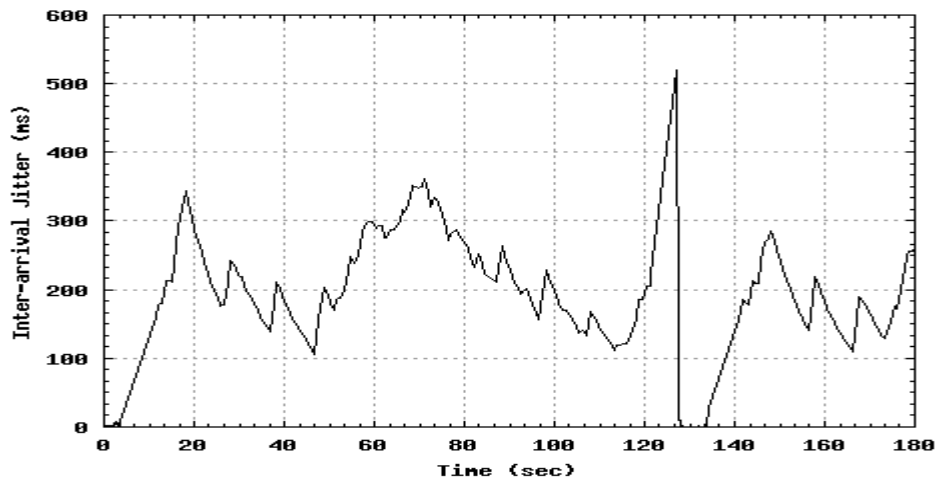


Εικόνα 128 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

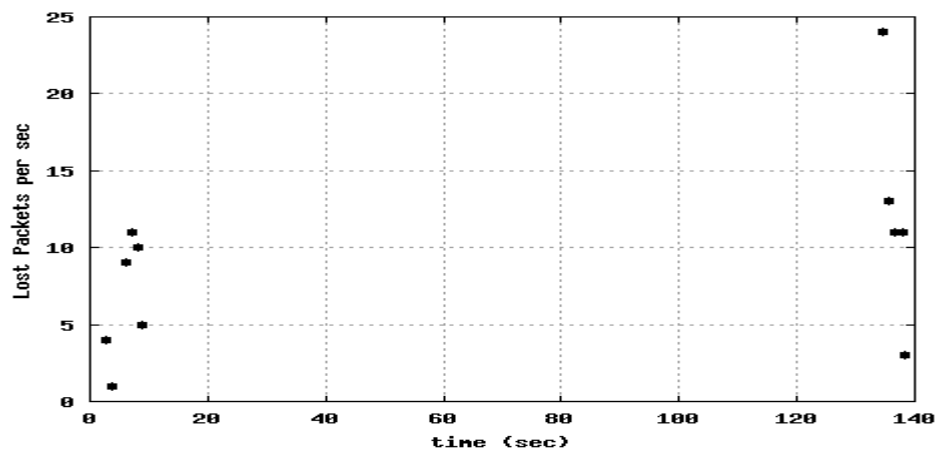
UDP User3



Εικόνα 129 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

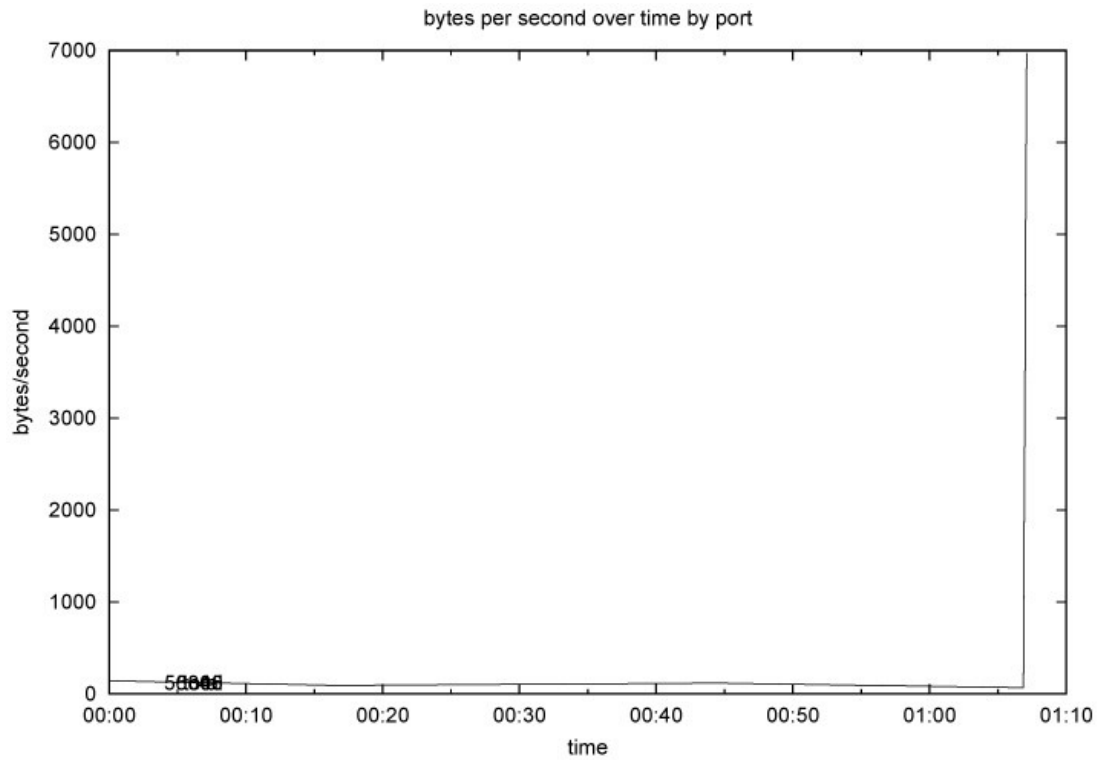


Εικόνα 130 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter



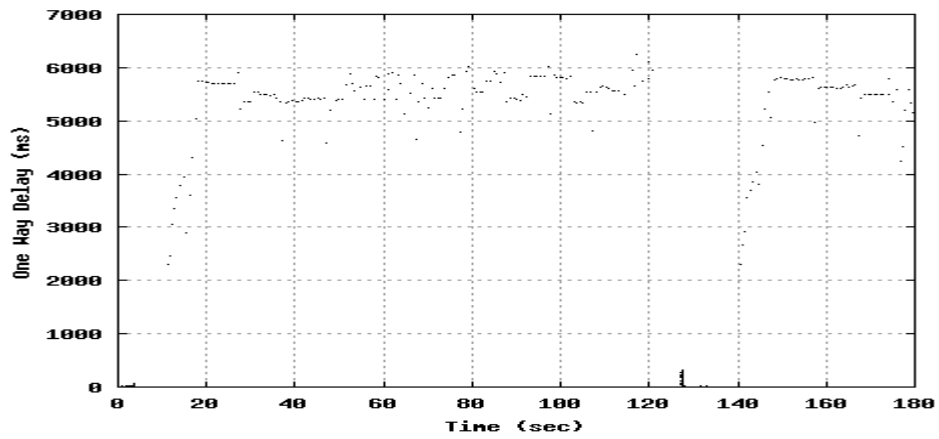
Εικόνα 131 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

TCP User5

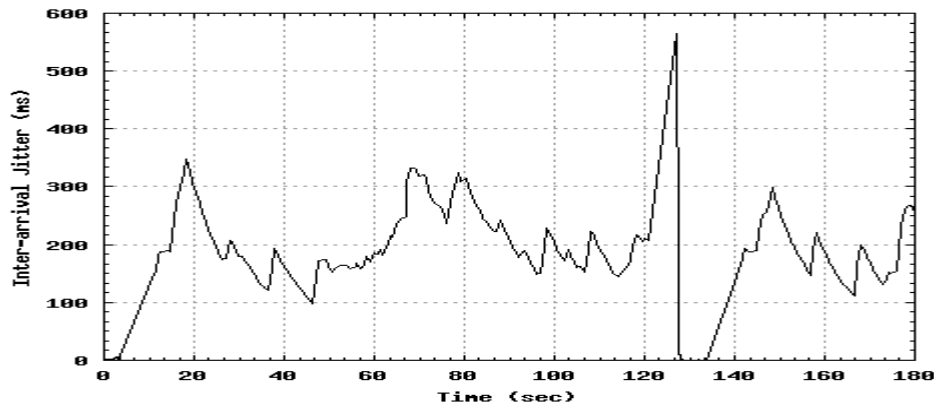


Εικόνα 132 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

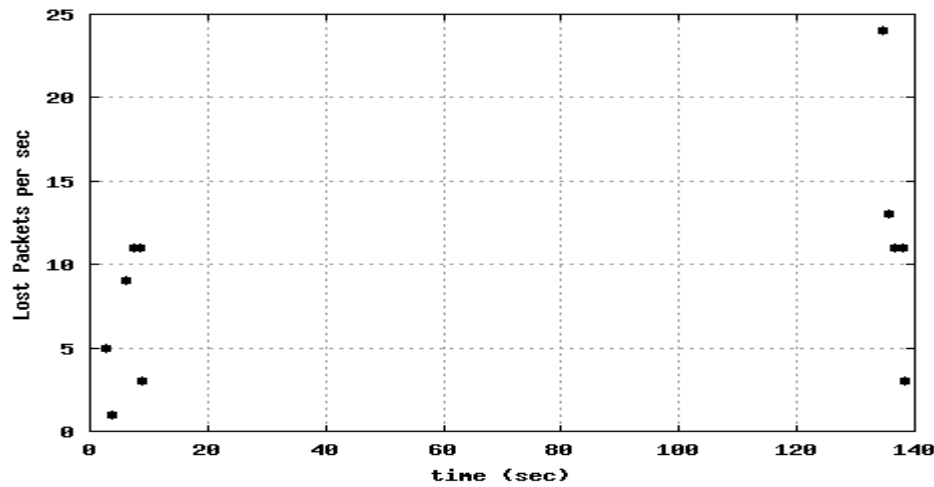
UDP User5



Εικόνα 133 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 134 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

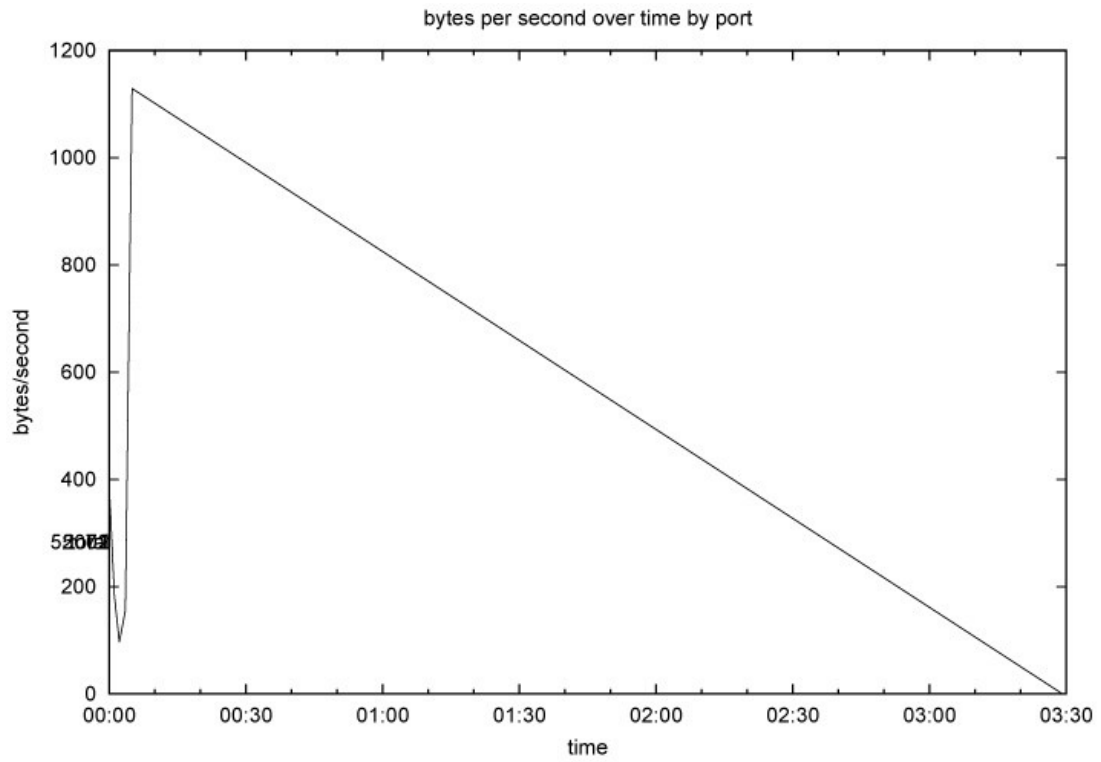


Εικόνα 135 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

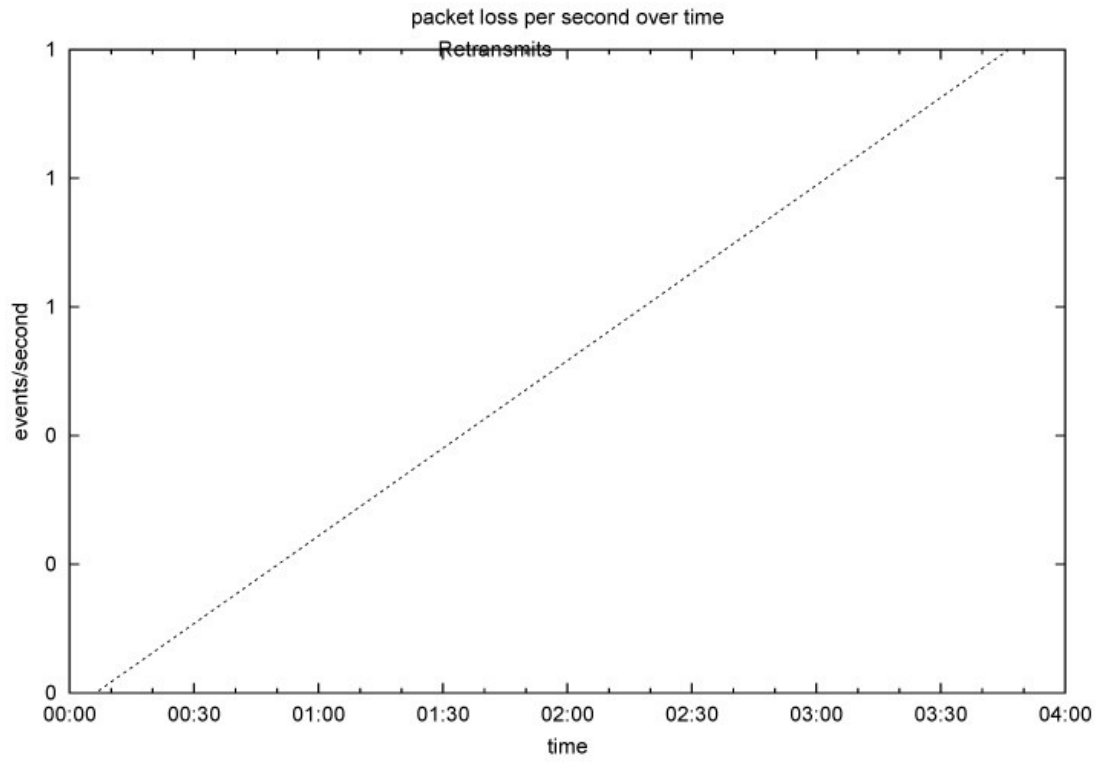
Βλέποντας τις γραφικές του throughput για όλους τους χρήστες δεν αναμένεται καθόλου καλή απόδοση του δικτύου, σε σύγκριση με άλλες περιπτώσεις. Η απόδοση αυτή επαληθεύεται και από τις αναλύσεις. Αρχικά για τον 1^ο χρήστη παρατηρείται ένα απότομο pick του throughput το 1^ο δευτερόλεπτο της επικοινωνίας και αμέσως απότομη πτώση μέχρι και το 28^ο δευτερόλεπτο όπου μηδενίζεται τελείως, αυτό δείχνει μη ολοκληρωμένη επικοινωνία, τουλάχιστον για αυτόν τον χρήστη. Χαμηλό throughput και παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και για τους επόμενους χρήστες, ελάχιστη χρήση του δικτύου και χαμηλή απόδοση, σχεδόν μηδενική. Αυτό έχει ακολουθούν και μικρές καθυστερήσεις, αναμενόμενο σε ανεπιτυχείς επικοινωνίες και λίγα χαμένα πακέτα. Αρχικά στο pick του πρώτου χρήστη παρουσιάστηκε ένα throughput 785 kbps αλλά στη συνέχεια έπεσε σχεδόν κατακόρυφα, όπως φαίνεται και στην γραφική, ο τρίτος χρήστης είχε σαν μέσο όρο 1,5 kbps και μόνο στα 15 πρώτα δεύτερα και τέλος ο πέμπτος χρήστης 0,512 kbps σταθερά καθ' όλη τη διάρκεια. Μέσο όρος χαμένων πακέτων για όλους τους χρήστες είναι τα 165 πακέτα και καθυστερήσεις 20 msec. Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως η TCP επικοινωνία για όλους τους χρήστες επαναλαμβάνεται μεταξύ 120'' και 140'', όπου και επίσης γίνεται ένα pick για όλους τους χρήστες και στον ίδιο χρόνο παρατηρείται πτώση της UDP επικοινωνίας. Ας δούμε αναλυτικότερα την απόδοση της UDP επικοινωνίας για τους ίδιους χρήστες, όπου από τις γραφικές φαίνεται πως αποστέλλονται πακέτα καθ' όλη τη διάρκεια σε αντίθεση με την συγχρονισμένη που κόβεται και πως κυρίως απώλειες υφίστανται στα πρώτα δεύτερα της παράλληλης UDP επικοινωνίας και μεταξύ των 120'' και 140''. Οι καθυστερήσεις One Way Delay είναι 1.193,5 msec και Smooth Jitter 59 msec, μέσος όρος απωλειών 8,43%.

- ✓ Παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία με δέκα χρήστες σε κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας.

TCP User1

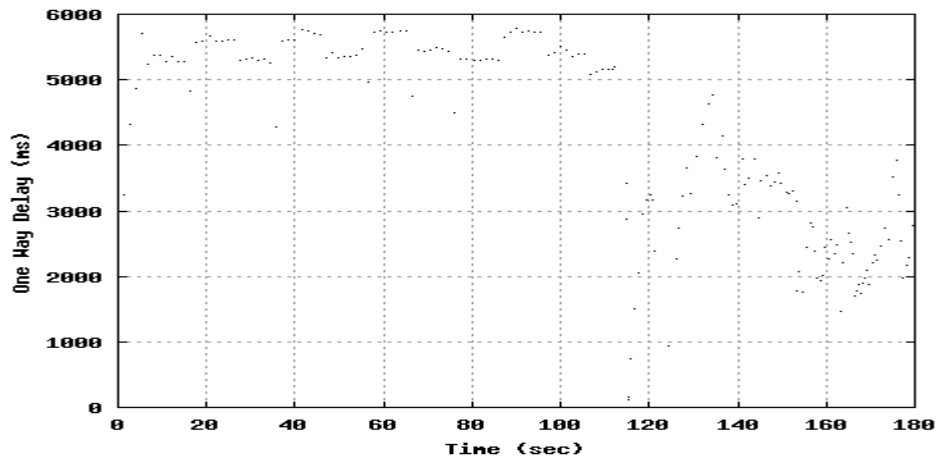


Εικόνα 136 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

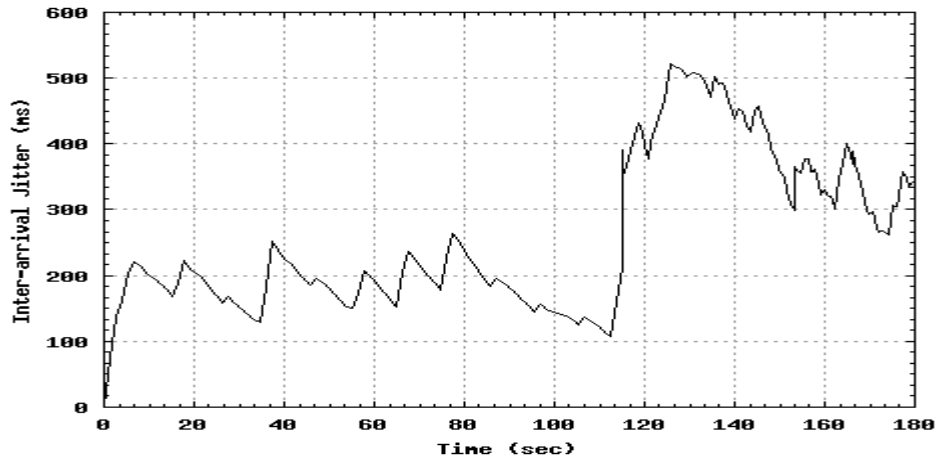


Εικόνα 137 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

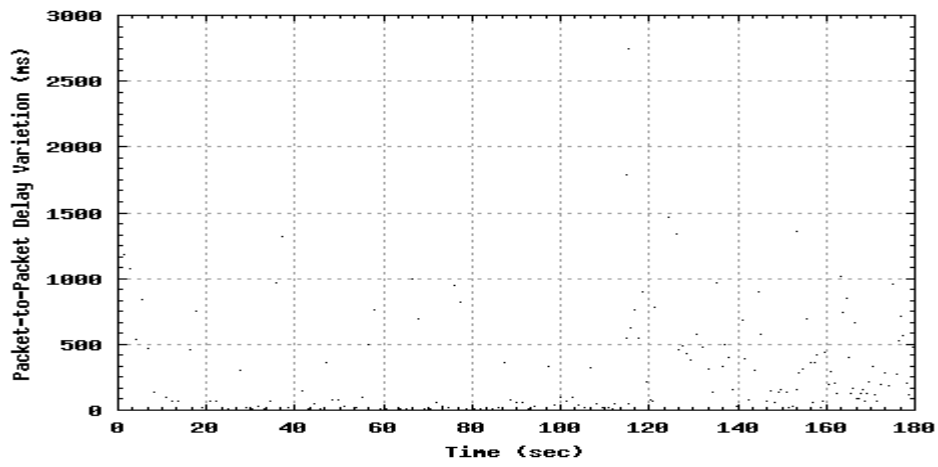
UDP User1



Εικόνα 138 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

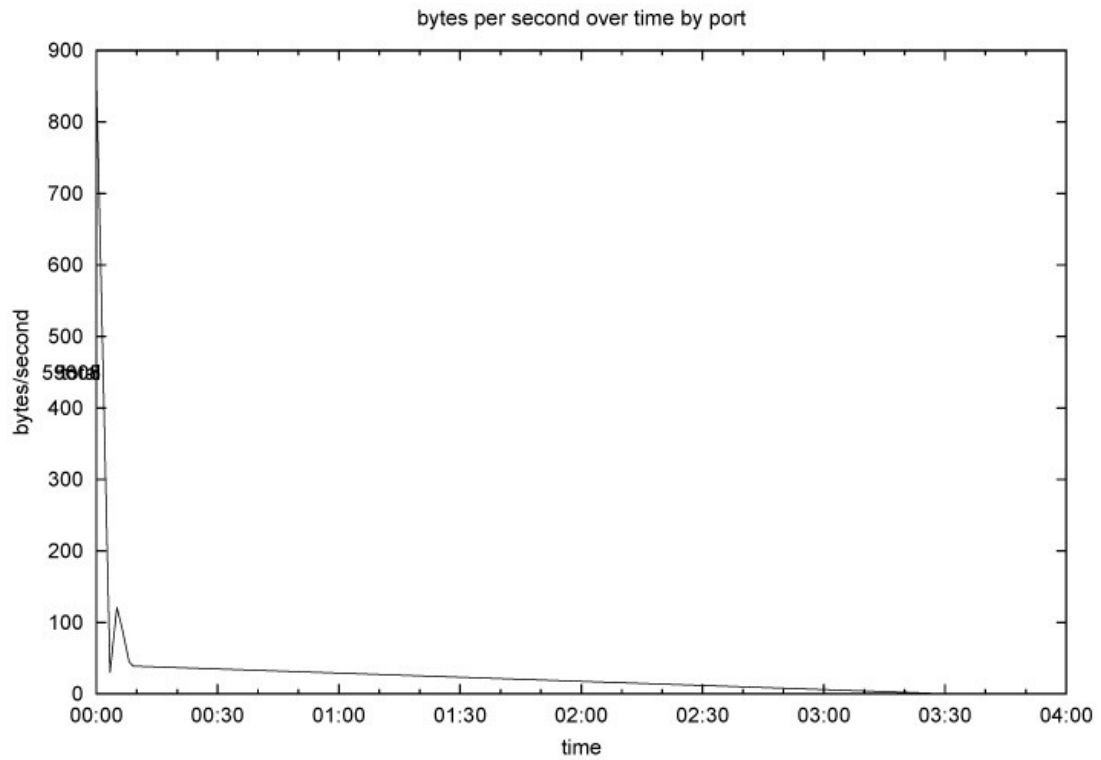


Εικόνα 139 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

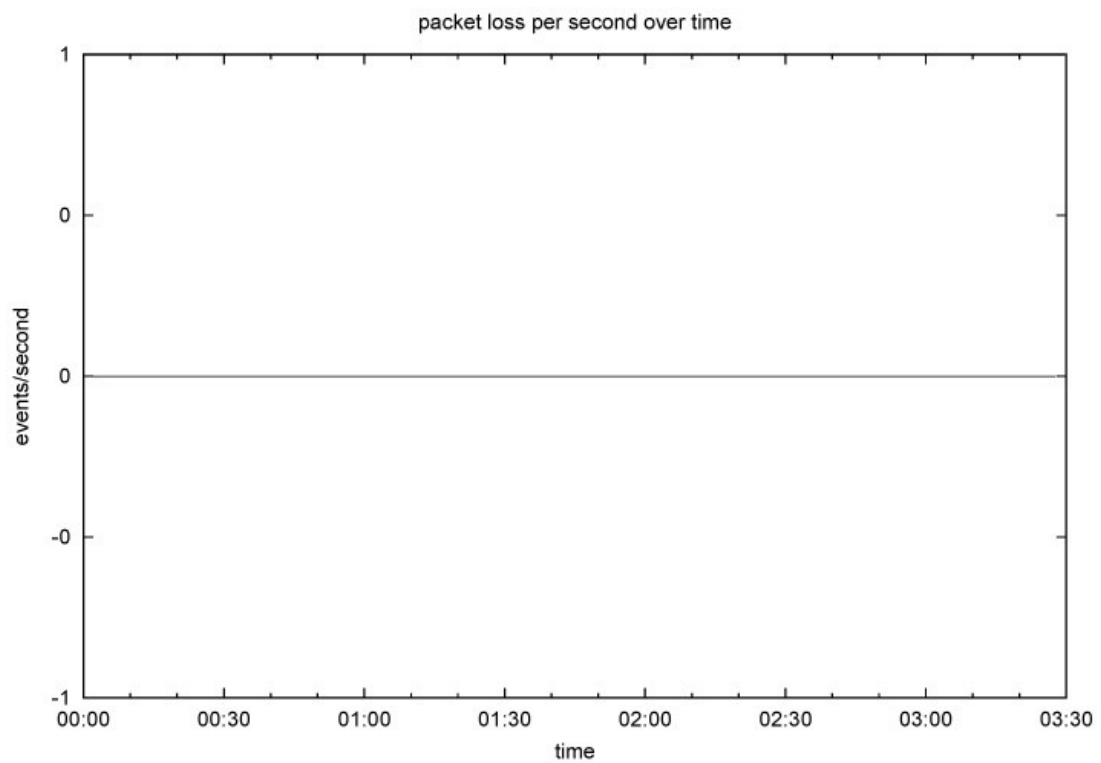


Εικόνα 140 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

TCP User5

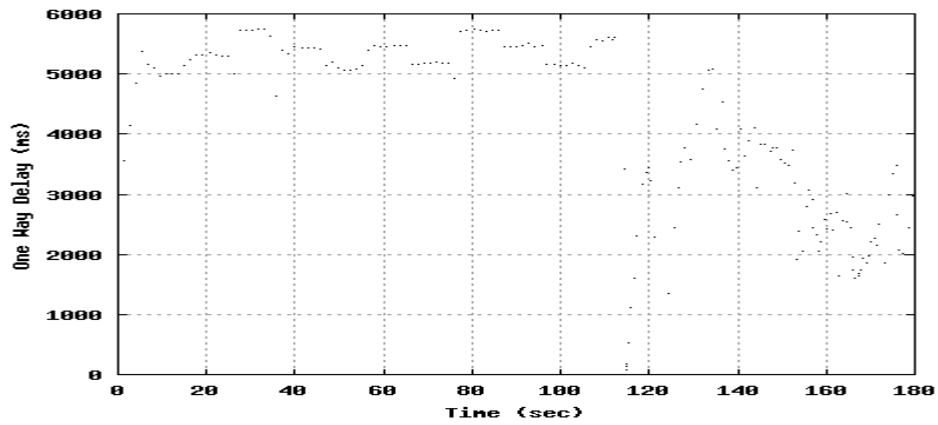


Εικόνα 141 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

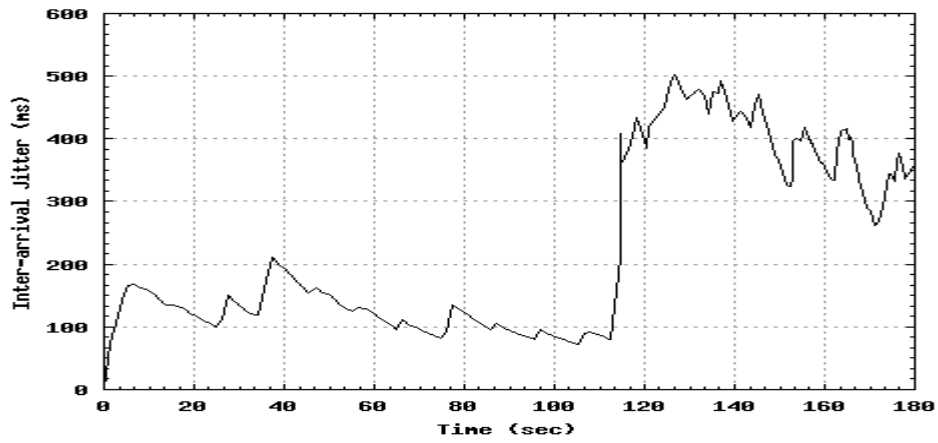


Εικόνα 142 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

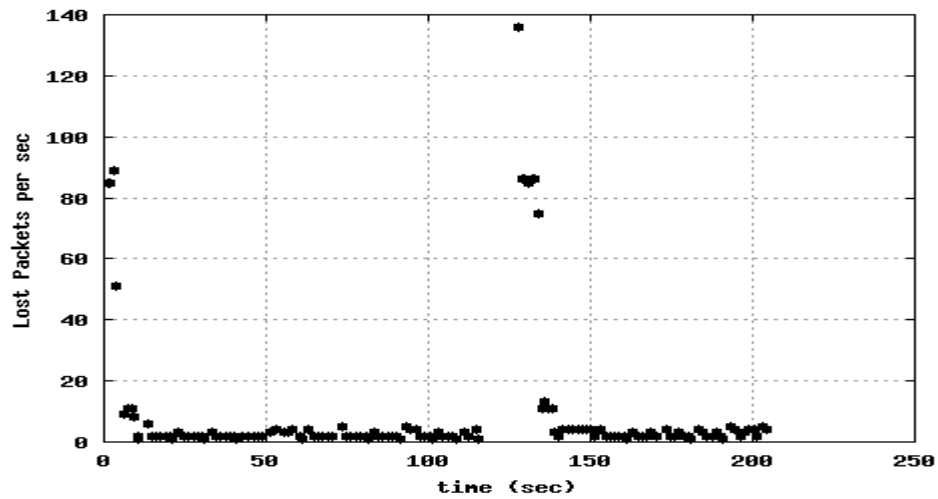
UDP User5



Εικόνα 143 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

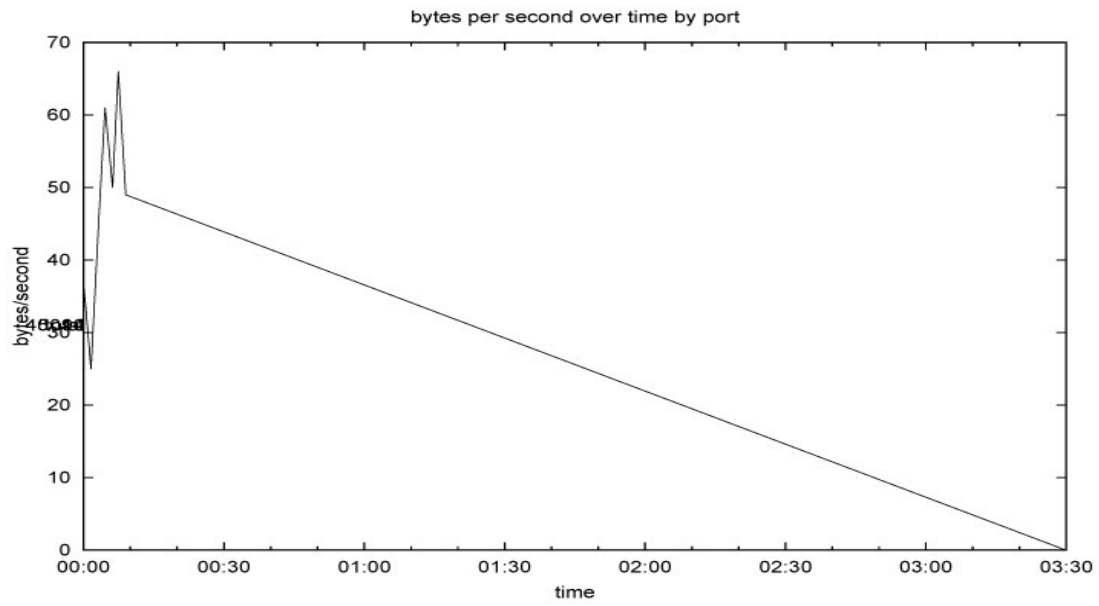


Εικόνα 144 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter



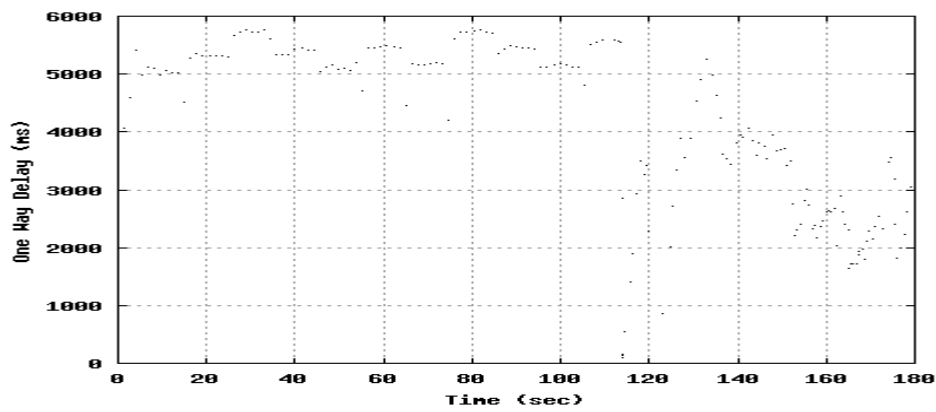
Εικόνα 145 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

TCP User10

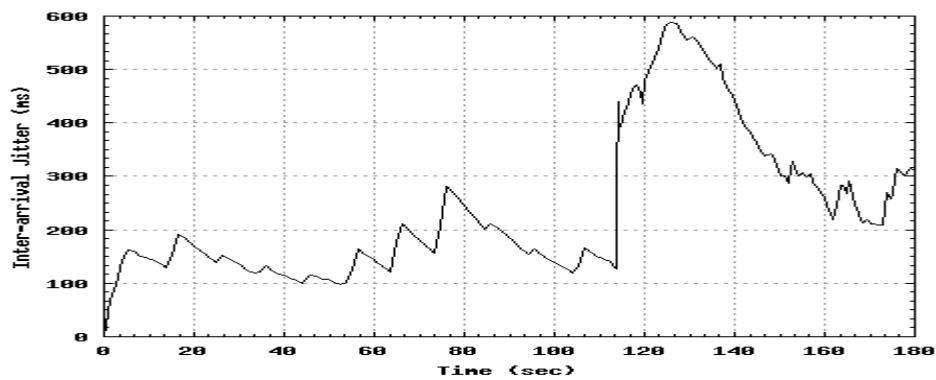


Εικόνα 146 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

UDP User10



Εικόνα 147 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

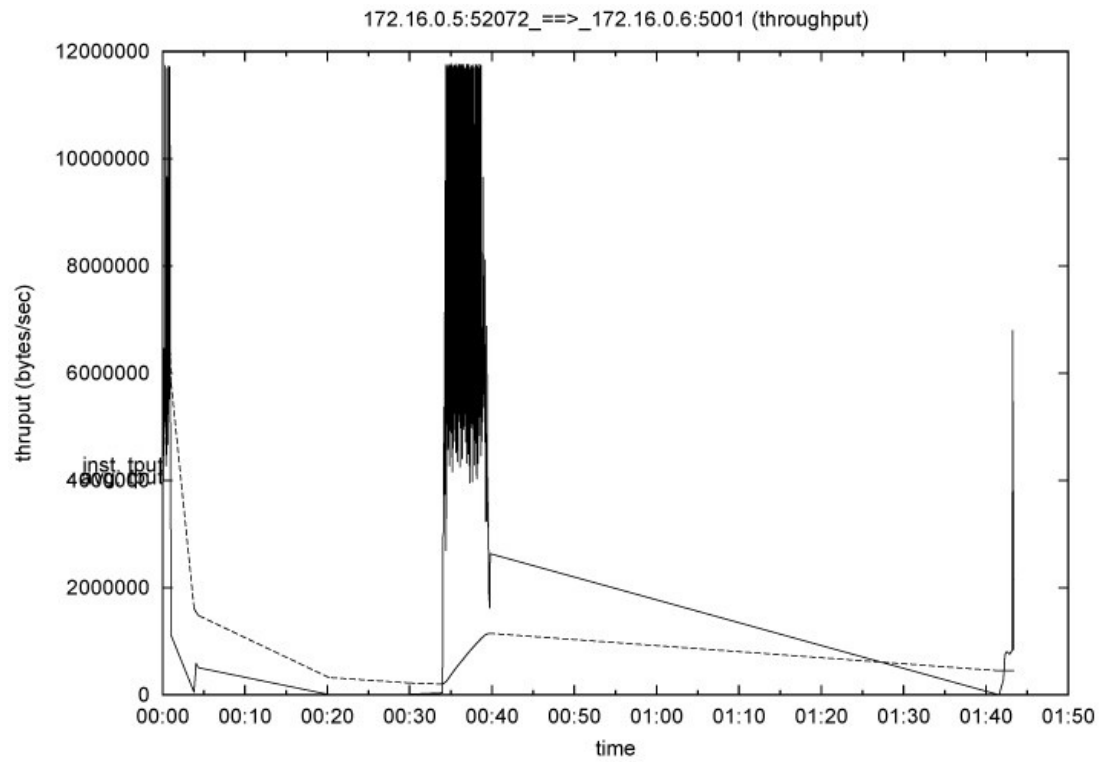


Εικόνα 148 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

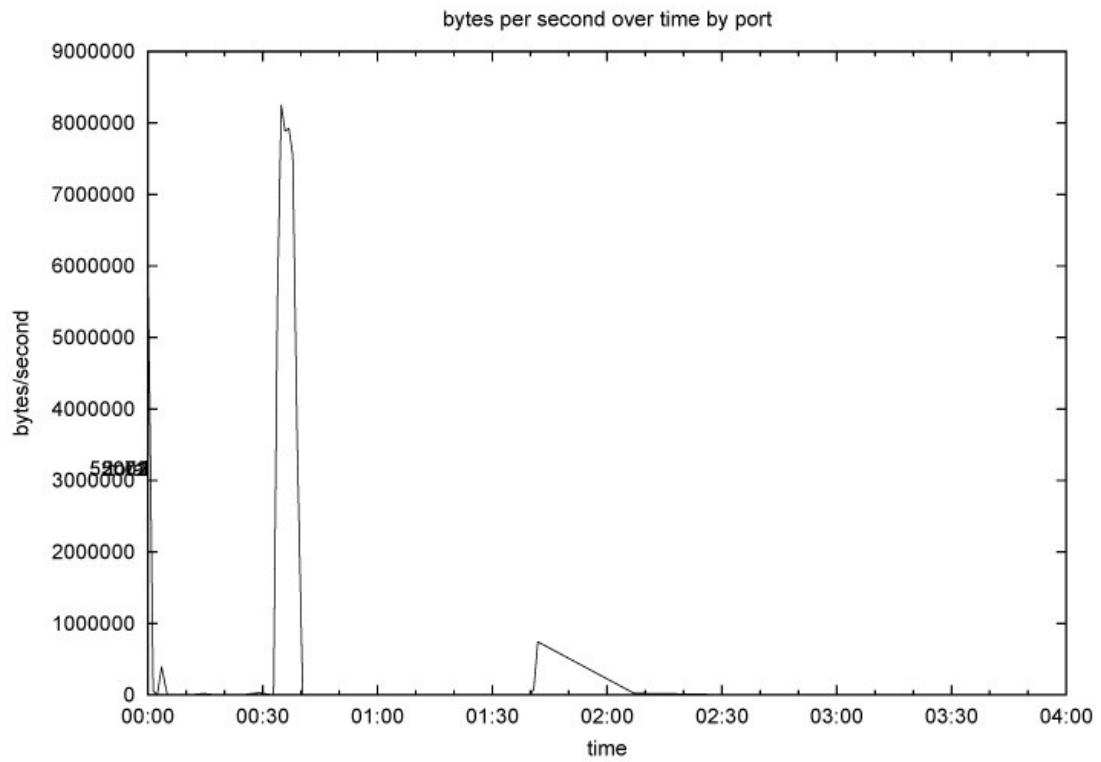
Ξεινώντας από τον 1^ο χρήστη και παρατηρώντας την γραφική του throughput, συμπεραίνεται πως τα πρώτα 10^{''} υπήρχε μεγάλη χρησιμοποίηση του δικτύου και παράλληλα μια απότομη αύξηση, ενώ στη συνέχεια σημειώνεται απότομη πτώση, μέχρι και το τέλος της προσομοίωσης. Αυτός ο χρήστης δεν ξανασυμμετείχε στην TCP επικοινωνία, παρά μόνο τα 10 αυτά πρώτα δευτερόλεπτα. Συνεχίζοντας με τη γραφική που αναπαριστά τις απώλειες φαίνεται πως δεν υπήρξαν, παρά μόνο ένα πακέτο που φαίνεται να χάθηκε σε αναλογία με το χρόνο ως ότου το τέλος των 3'. Δεν υπήρξαν και καθυστερήσεις αφού δεν πήραμε γραφική με μη μηδενική παράσταση αλλά επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση. Το throughput τα πρώτα 10^{''} αυτού του χρήστη, βάση της ανάλυσης υπολογίστηκαν στα 1,26 kbps, πολύ χαμηλό σε σχέση με το αναμενόμενο άρα και μικρή χρησιμοποίηση του δικτύου. Εν συνεχεία ο 5^{ος} χρήστης, όπως φαίνεται στη γραφική παράσταση του throughput, παραπάνω, ξεκινάει με ένα pick μεγάλου throughput, στη συνέχεια πέφτει χαμηλά στην τιμή των 1,056 kbps, όπου και εξασθενεί αναλογικά μέχρι να μηδενιστεί στο τέλος της προσομοίωσης, όπως φανερά παρατηρούμε πως κινείται. Είχαμε μηδενικές απώλειες, όπως φαίνεται στη γραφική αυτού του χρήστη αλλά και από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, όπως επίσης δεν υπήρξε και καθυστέρηση RTT. Τέλος εξετάζοντας ακόμα τον τελευταίο χρήστη, τον 10^ο που συμμετείχε στην TCP επικοινωνία, ξεκινώντας τα πρώτα 15^{''} παρουσίασε αυξομειώσεις στο throughput να κυμαίνεται στα 0,56 kbps και στα 0,40 kbps, όπου και με συνεχόμενη πτώση φτάνει στο μηδενικό throughput μέχρι το τέλος των 3'. Αυτός ο χρήστης έχασε τρία πακέτα, χαμηλός αριθμός, αλλά λογικός για μια μη ικανοποιητική επικοινωνία. Δεν υπήρξαν επίσης καθυστερήσεις. Όσον αφορά λοιπόν την TCP επικοινωνία σε αυτό το μέρος του πειράματος δεν πήραμε την ικανοποιητική απόδοση που περιμέναμε και βάση των προηγούμενων μετρήσεων σε αυτό το πειραματικό στάδιο αλλά και στο προηγούμενο με μεμονωμένη TCP επικοινωνία, αυτό όμως συμβαίνει σε οποιοδήποτε πρωτόκολλο σε μια μικρή διάρκεια μιας επικοινωνίας, λόγω εξωτερικών, αναμενόμενων και μη παραγόντων να φέρει σαν αποτέλεσμα την μη πραγματοποίηση της επικοινωνίας. Αυτό όμως θα μπορούσαμε να το κρίνουμε καλύτερα στο τέλος όλων των πειραματικών σταδίων και συνδυασμών, έχοντας πιο σφαιρική και ρεαλιστική εικόνα. Συνεχίζοντας λοιπόν σε αυτό το μέρος της πειραματικής διαδικασίας εκτός από την συγχρονισμένη επικοινωνία, υλοποιούνταν και παράλληλη ασύγχρονη επικοινωνία με τον ίδιο αριθμό χρηστών. Στην ασύγχρονη επικοινωνία τα πρώτα 120^{''} του πρώτου χρήστη, βλέπουμε στη γραφική πως υπήρξαν μεγάλες καθυστερήσεις, ενώ μέχρι το τέλος των 180^{''} οι καθυστερήσεις ελαττώθηκαν, και παρατηρώντας μια κίνηση στον χρήστη συμπεραίνεται πως σε αυτό το διάστημα πραγματοποιήθηκε η ενεργός λήψη πακέτων από τον εξυπηρετητή. Ο μέσος όρος του One Way Delay για αυτόν τον χρήστη, από την ανάλυση σημειώθηκε στα 3.781,86 msec και αντίστοιχα το Smooth Jitter 289,96 msec, ενώ απώλειες πακέτων παρατηρούνται καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και κυρίως στον χρόνο που υλοποιείται η λήψη του χρήστη διατυπώνεται έντονη αυξομείωση. Για τον 5^ο χρήστη η διάρκεια λήψης του δεδομένων παρατηρήθηκε μεταξύ 120^{''}- 140^{''}, στο διάστημα αυτό δεν υπήρξαν σχεδόν καθόλου χαμένα πακέτα. Ο μέσος όρος One Way Delay είναι 3.762,33 msec και Smooth Jitter 278,46 msec. Παρόμοια με τους δύο αυτούς χρήστες λαμβάνει και ο τελευταίος ο 10^{ος} χρήστης, τα τρία παραδείγματα αυτά ήταν ενδεικτικά για να συμπεράνουμε και τη συμπεριφορά των άλλων χρηστών. Γενικά ο μέσος όρος που πήραμε από όλους στη κυκλική καθυστέρηση ήταν 3.781,45 msec και για το Jitter 270,604 msec. Παρ' ότι στις γραφικές μας αποτυπώθηκαν απώλειες πακέτων και γενικά κίνηση στο δίκτυο, από την αναφορά πήραμε το ποσοστό 0% των απωλειών. Συμπερασματικά τόσο στην TCP, όσο και στην UDP επικοινωνία των 10 χρηστών δεν ικανοποιηθήκαμε από την απόδοση τους, αυτό μπορούμε να το δικαιολογήσουμε με κάποιους τρόπους, αλλά ας περιμένουμε να δούμε κ τη συνέχεια, ούτως ώστε να το κρίνουμε ολοκληρωμένα.

- ✓ Παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία με 30 χρήστες σε κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας.

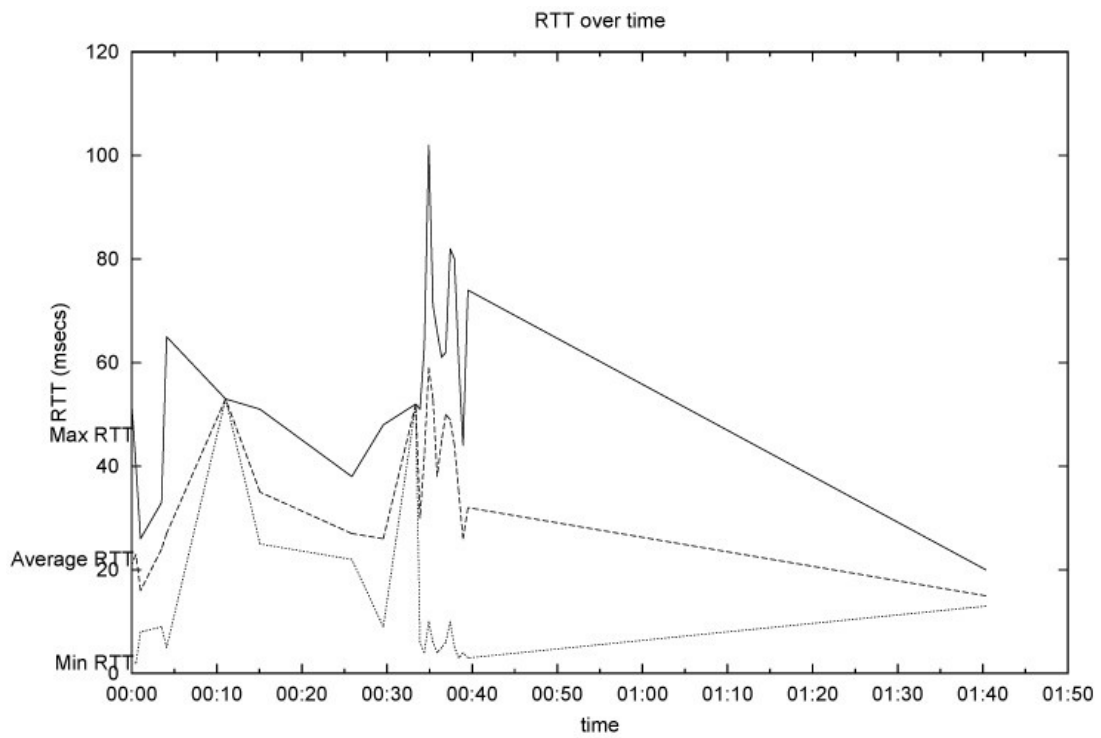
TCP User1



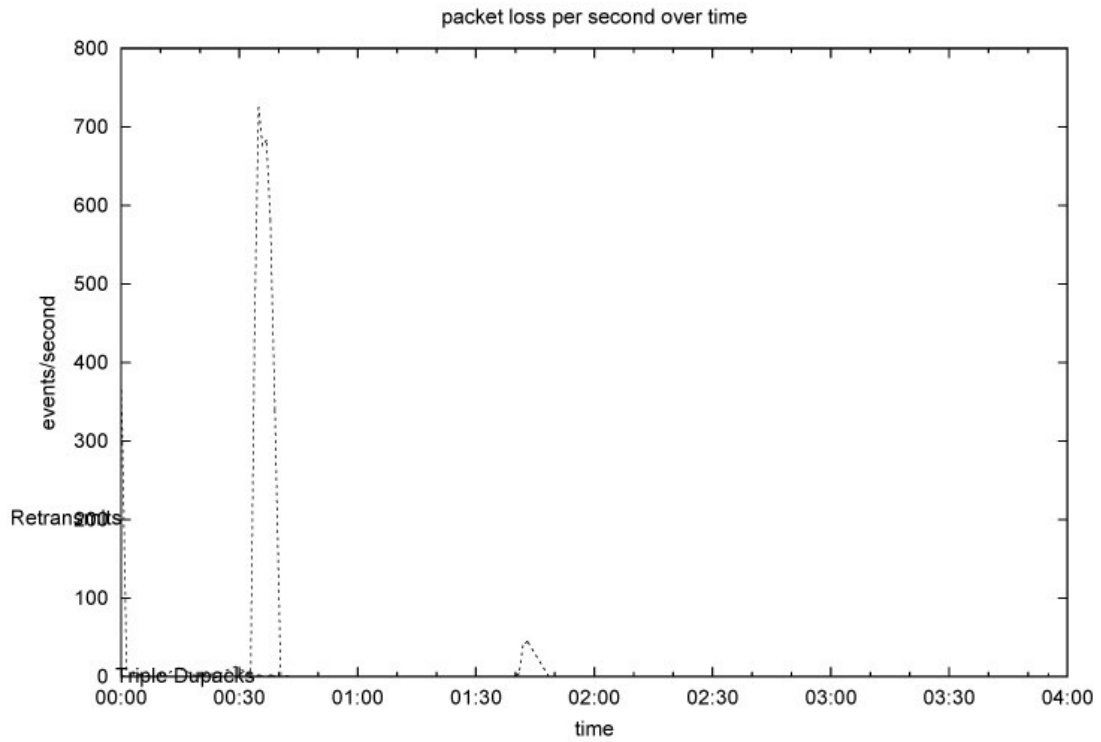
Εικόνα 149 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 150 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

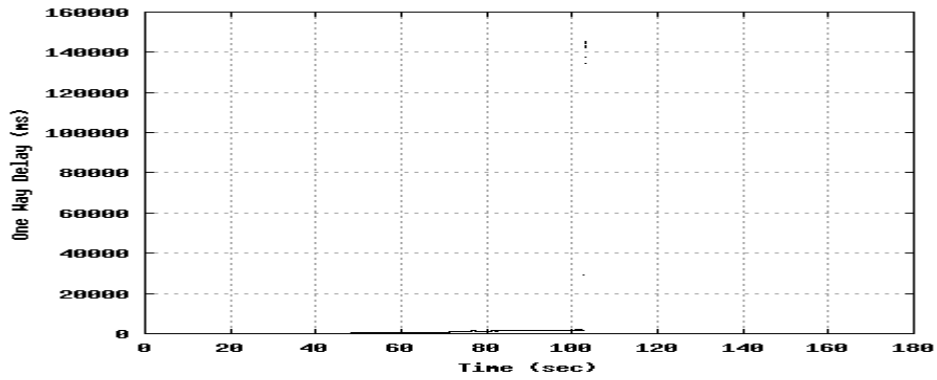


Εικόνα 151 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

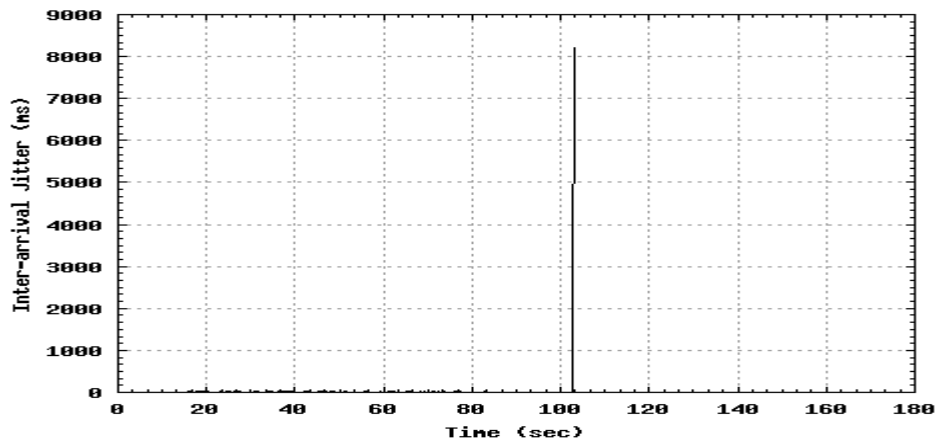


Εικόνα 152 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

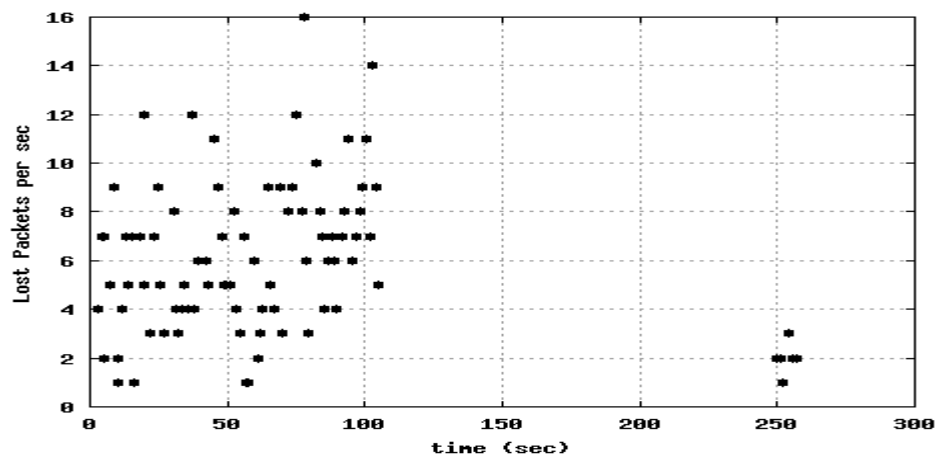
UDP User1



Εικόνα 153 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

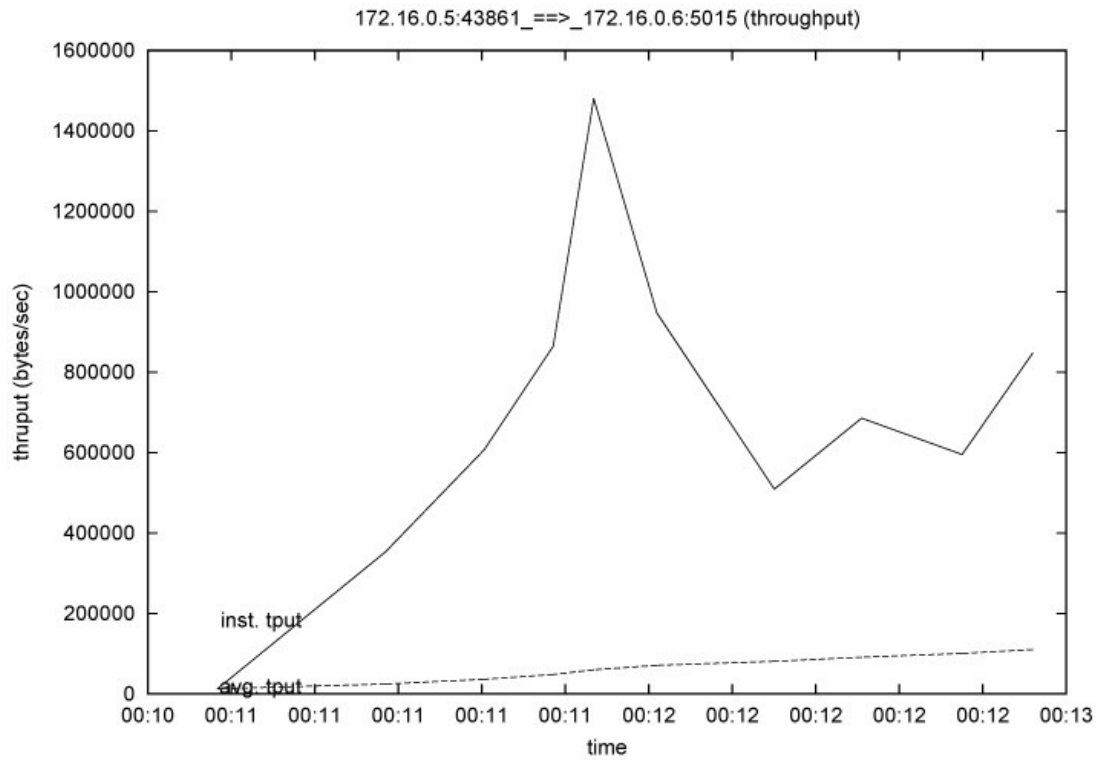


Εικόνα 154 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

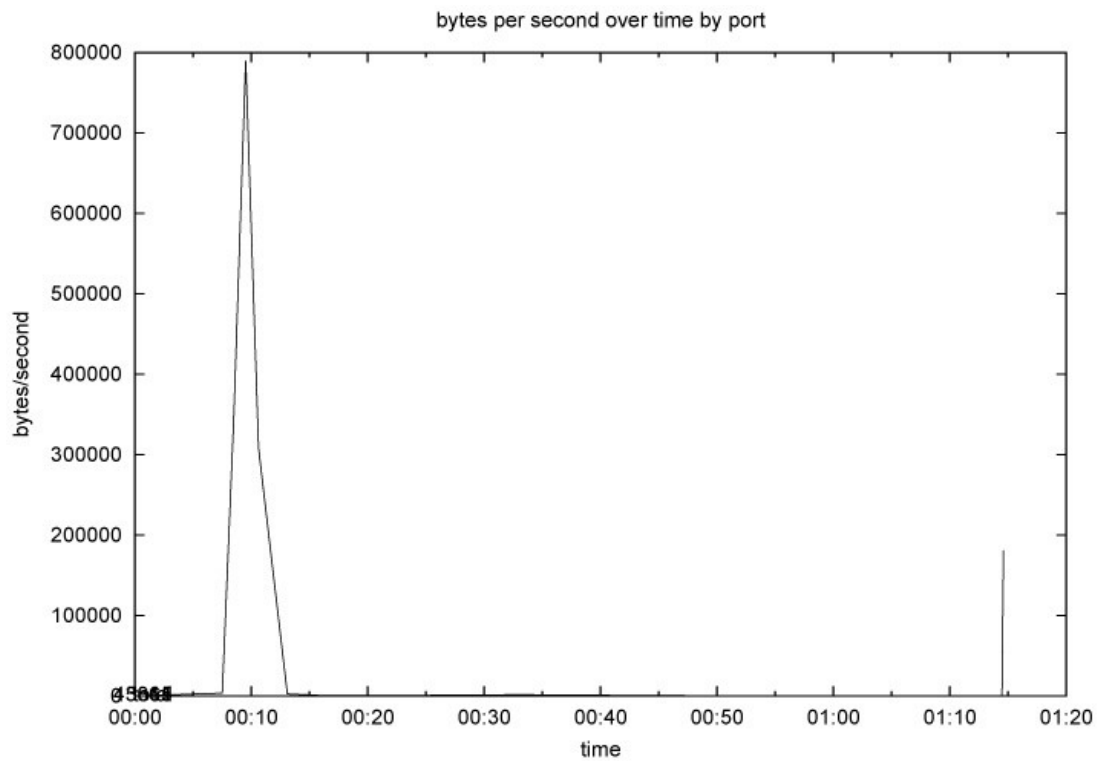


Εικόνα 155 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

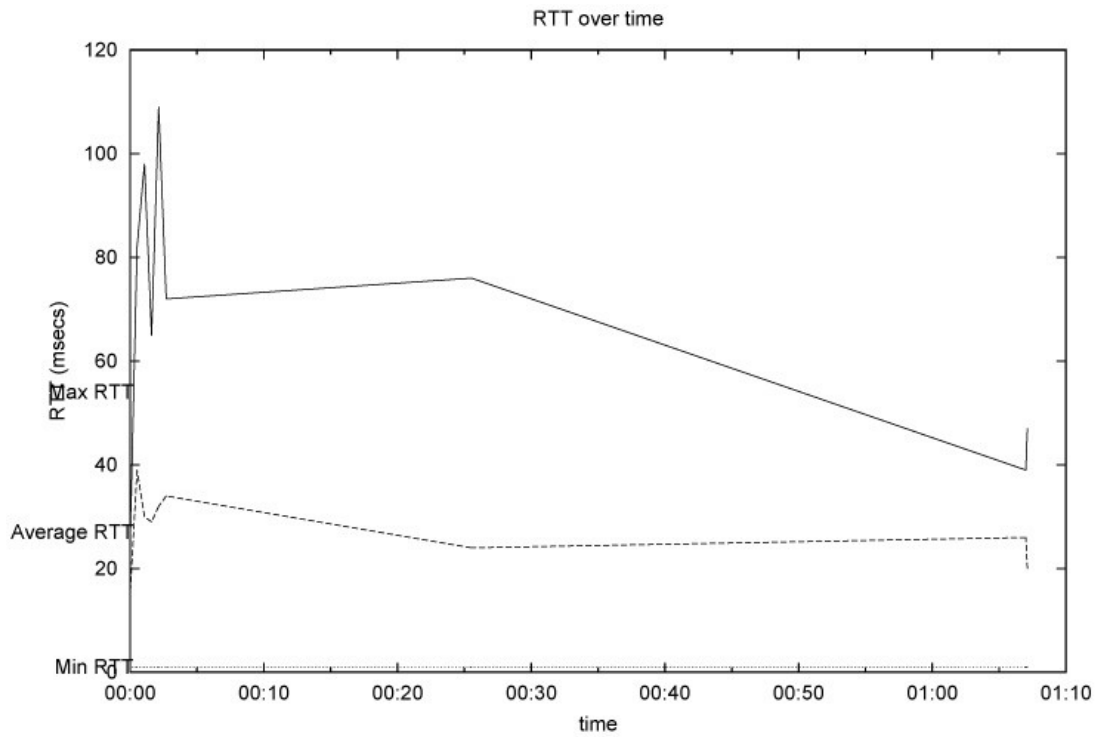
TCP User15



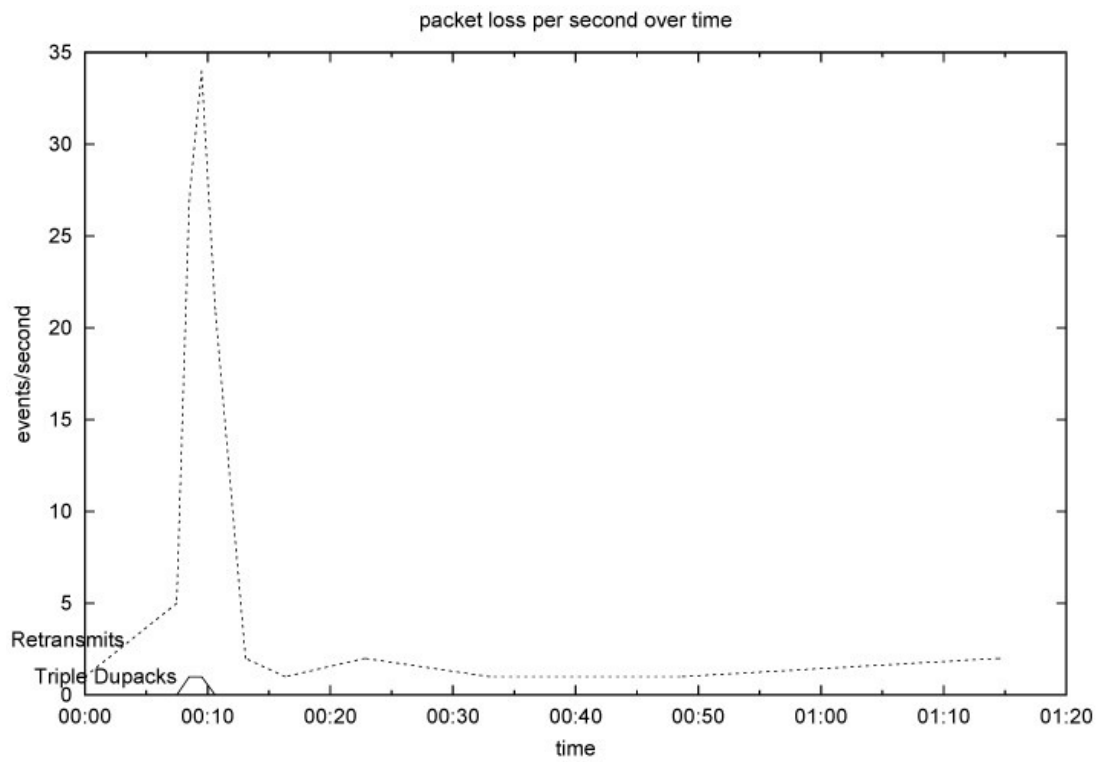
Εικόνα 156 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 157 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

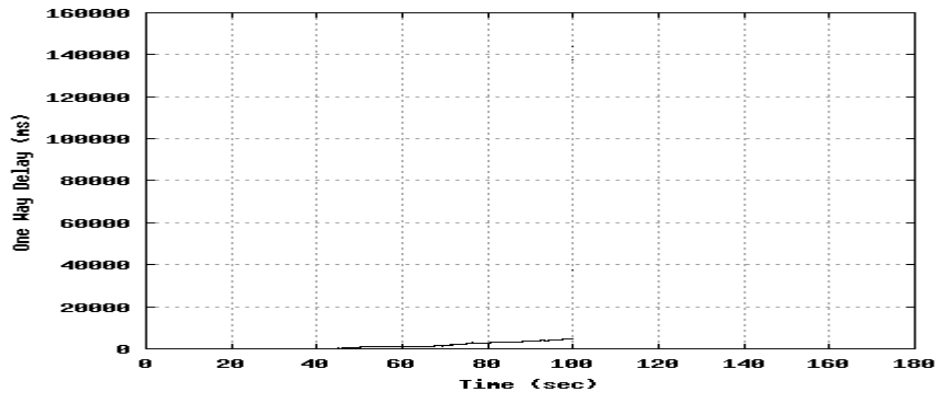


Εικόνα 158 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

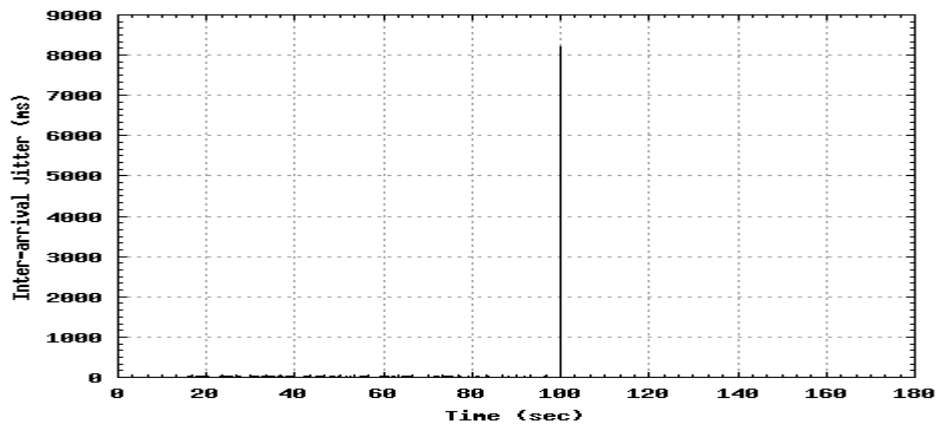


Εικόνα 159 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

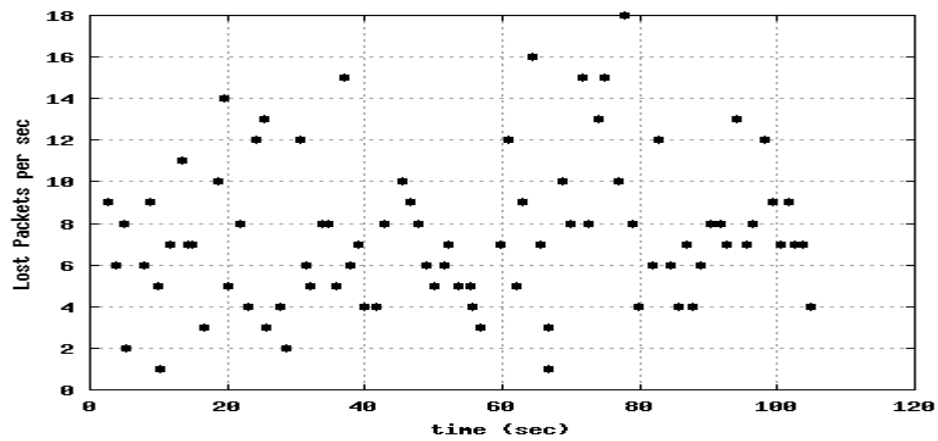
UDP User15



Εικόνα 160 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

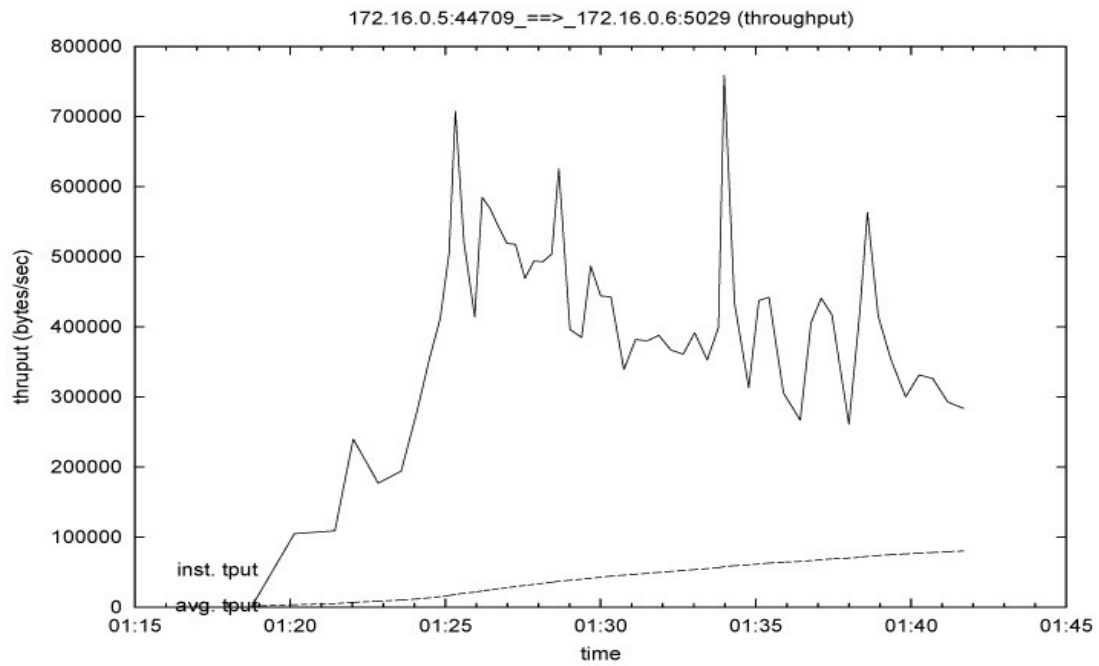


Εικόνα 161 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

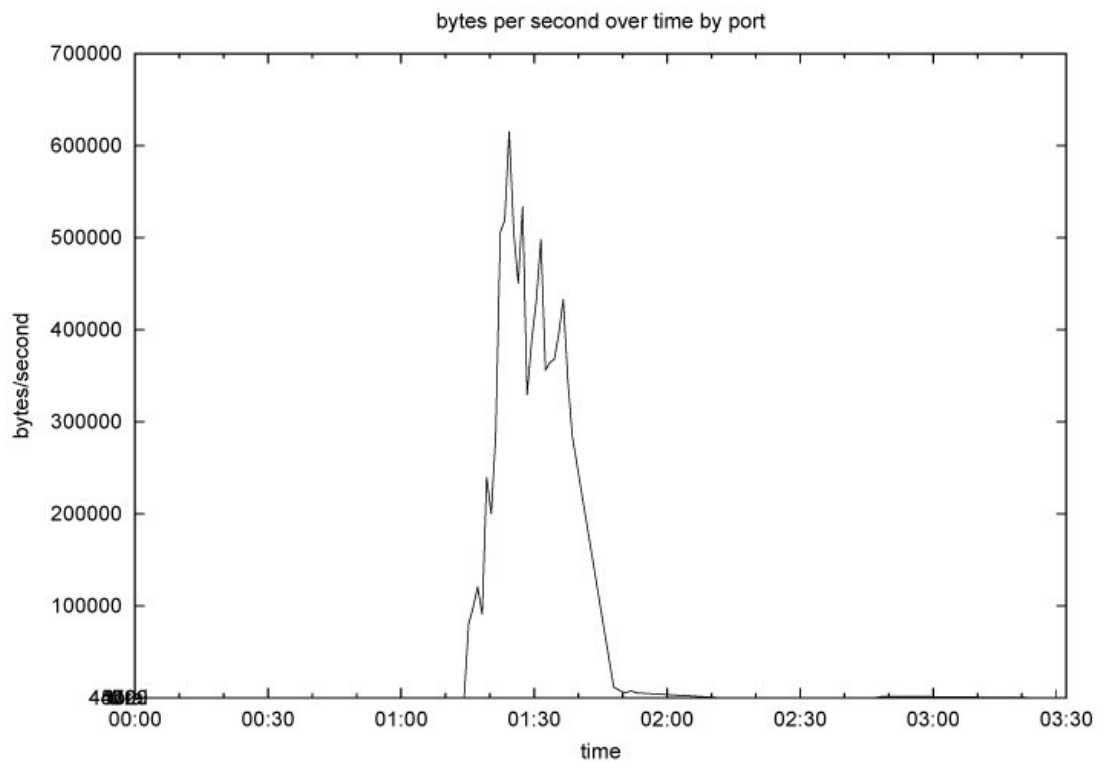


Εικόνα 162 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

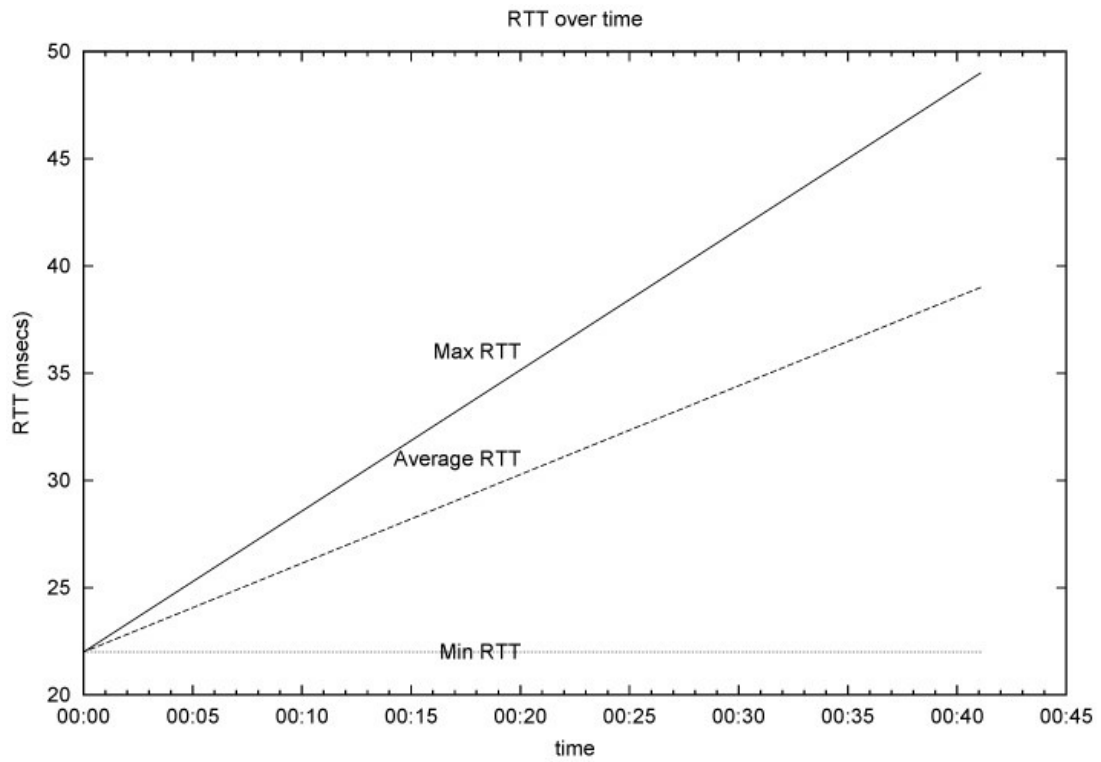
TCP User29



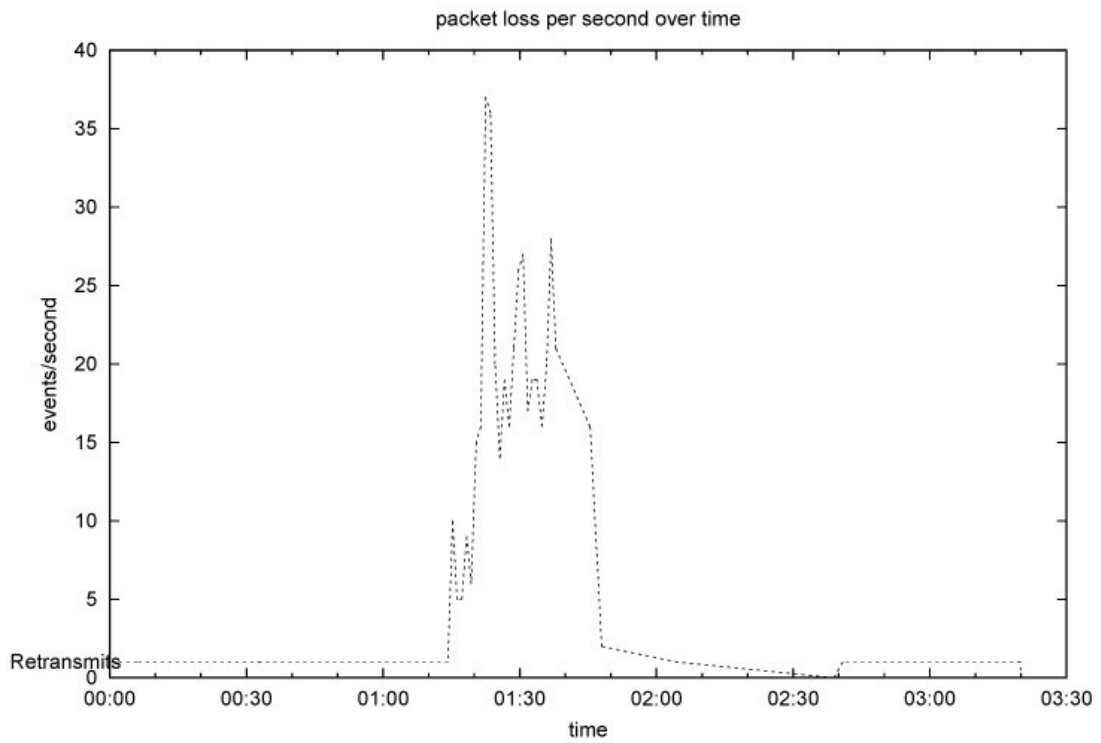
Εικόνα 163 Γραφική Παράσταση του Throughput (segment)



Εικόνα 164 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

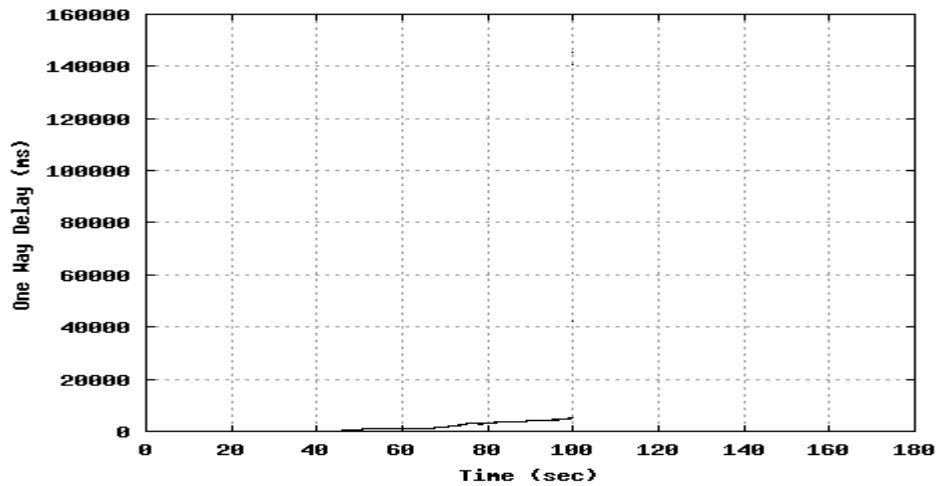


Εικόνα 165 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

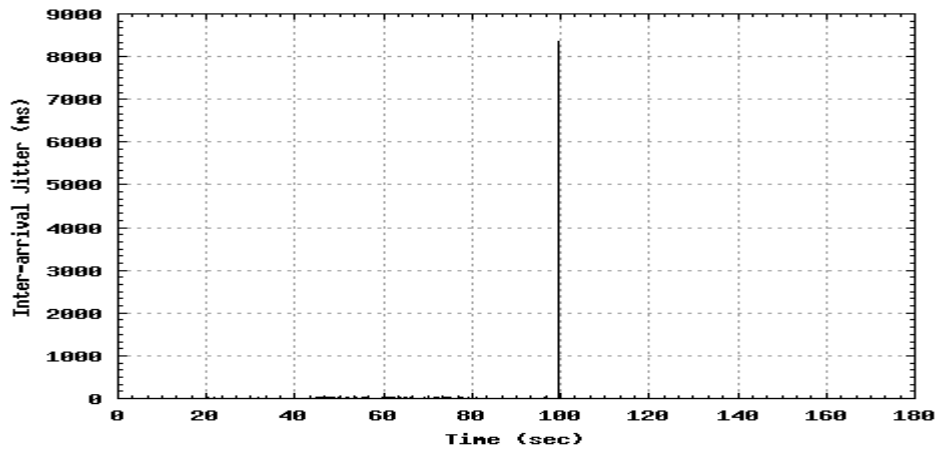


Εικόνα 166 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

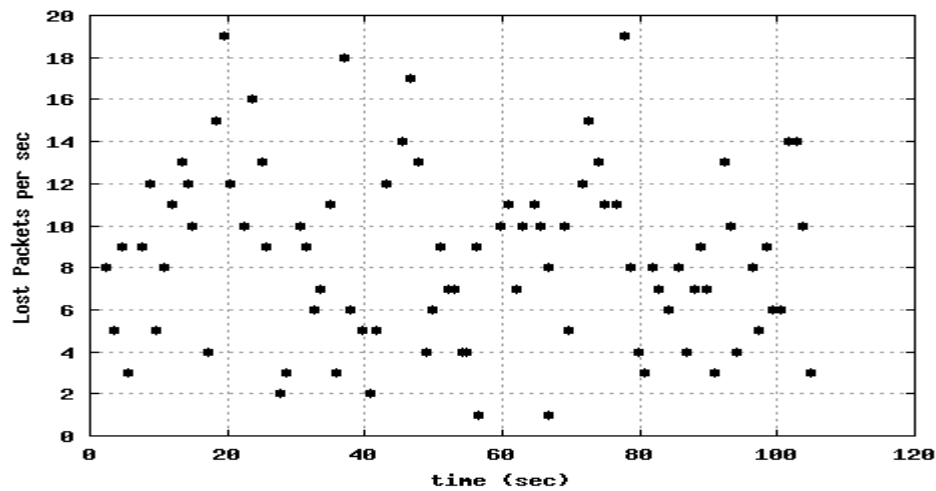
UDP User29



Εικόνα 167 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 168 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter



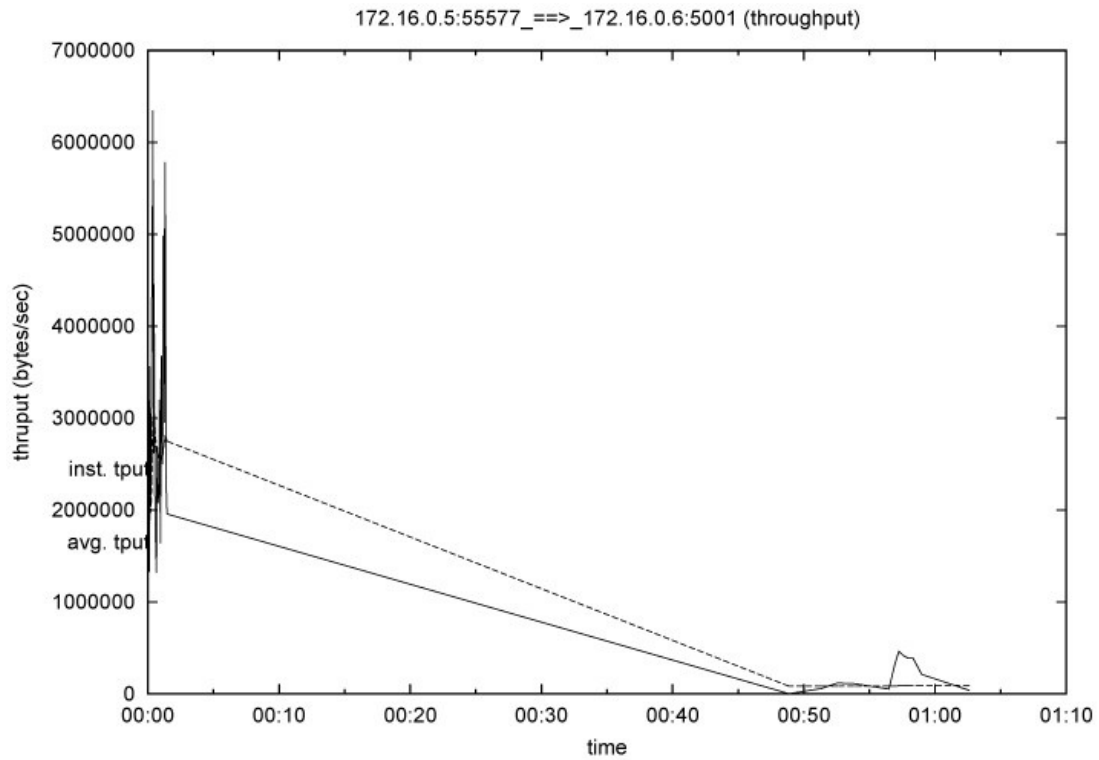
Εικόνα 169 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

Συνεχίζοντας στην παράλληλη TCP και UDP κοινή επικοινωνία με τριάντα χρήστες αυτή τη φορά, έχουμε πάρει ενδεικτικά τις γραφικές παραστάσεις των χρηστών 1, 15 και 29. Διαπιστώνεται, αρχικά, κάθε χρήστης στην συγχρονισμένη επικοινωνία να συμμετέχει σε ένα μέρος της διάρκειας της προσομοίωσης, κάποιων δευτερολέπτων, μέχρι να κλείσει η

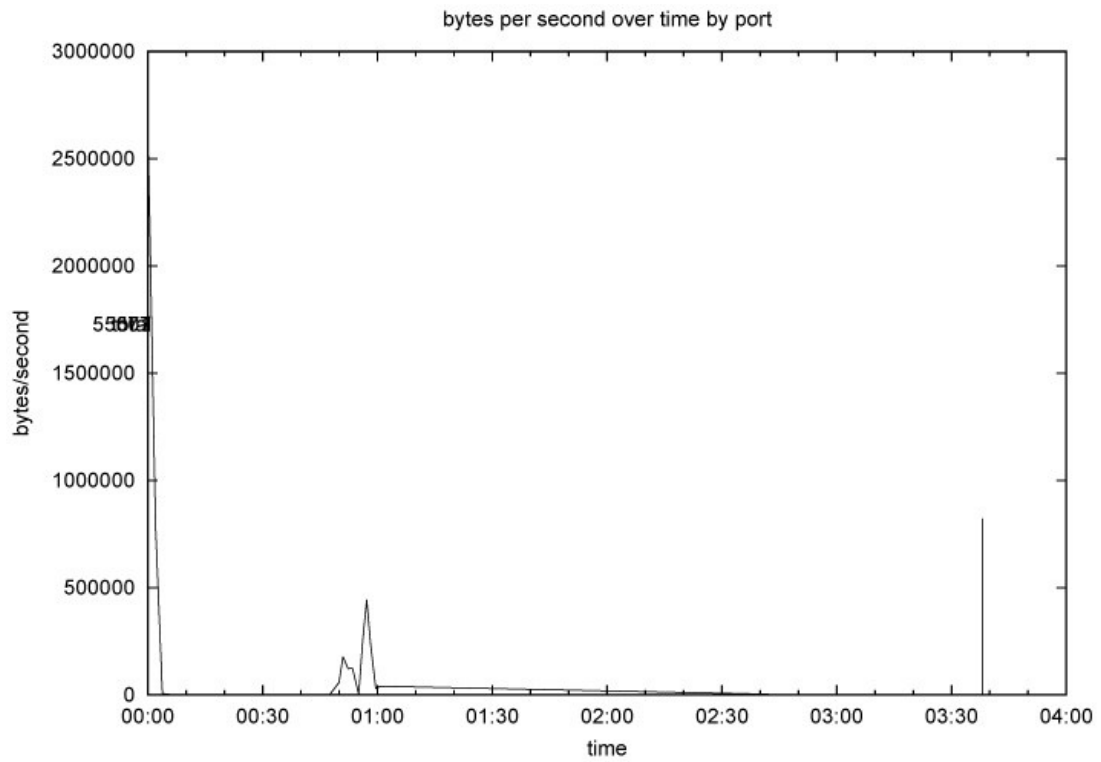
επικοινωνία και να συνεχιστεί με άλλο χρήστη. Σχετικά με τον 1^ο χρήστη, χρησιμοποιεί το δίκτυο ξεκινώντας το 30” και μέχρι το 40” να έχει μέγιστο του throughput, το οποίο και μετά πέφτει. Το μέσο throughput για αυτόν τον χρήστη είναι 1.567,7 kbps. Το RTT του επίσης είναι 39,9 msec και τα πακέτα που χάθηκαν ήταν 4.007. Ο 15^{ος} το 11” αυξάνει γραμμικά μέχρι να φτάσει στο maximum throughput για αυτόν και ξαναπέφτει ημιτονικά φθίνοντας με δύο minimum τιμές. Όλα αυτά μέχρι το 13”, το RTT είναι 50 msec και τα χαμένα πακέτα 9. Τέλος, ο 29^{ος} χρήστης, σχετικά με TCP μέρος της επικοινωνίας και αυτός με τη σειρά του ξεκινάει το 1:19’ με maximum throughput στο 1:25’ και συνεχίζει να επικοινωνεί μέχρι το 1:43’ σε ημιτονική φθίνουσα κυματομορφή. Ο ίδιος χρήστης σημείωσε RTT 49,3 msec και χαμένα πακέτα 447. Σαν μέσο όρο της συγχρονισμένης επικοινωνίας πήραμε το throughput 991,53 kbps, το RTT (καθυστερήσεις) 34,7 msec και τα πακέτα που χάθηκαν κατά μέσο όρο από όλους τους χρήστες ήταν 1.409. Στο μέρος της ασύγχρονης επικοινωνίας με τους ισάριθμους χρήστες παρατηρούνται τα εξής, αρχικά για τον πρώτο χρήστη και βάση των παραπάνω γραφικών, όλες οι απώλειες που σημειώθηκαν διήρμησαν από την αρχή σε χρόνο μηδέν ως και το 100”, συμπληρωματικά υπήρξαν κάποιες απώλειες στο 250” αλλά και πάλι ως το τέλος οι απώλειες ήταν μηδενικές, στον ίδιο χρόνο παρατηρείται και κίνηση στον συγκεκριμένο χρήστη καθώς υπάρχουν έντονες αυξομειώσεις στις καθυστερήσεις. Πιο συγκεκριμένα, μιλώντας με αριθμούς της πειραματικής διαδικασίας για αυτόν το χρήστη, έχουμε One Way Delay 688,14 msec, Jitter 17,17 msec και το ποσοστό απωλειών για τους χρόνους που υπήρξαν 5,93%. Ο 15^{ος} χρήστης παρουσίασε και αυτός συνεχόμενες απώλειες στο χρονικό διάστημα μεταξύ 0” και 105”, με τιμές One Way Delay 1233,53 msec, Jitter 12,99 msec και ποσοστό απωλειών 7,39%. Τέλος, ο 29^{ος} χρήστης στον ίδιο χρόνο με τους προηγούμενους με διαφορά 5” παρουσίασε τις απώλειες του, με παρόμοια συμπεριφορά των γραφικών του με τους προηγούμενους. Συνεπώς, προφανώς όλη η ασύγχρονη επικοινωνία για όλους τους χρήστες περιορίστηκε σε αυτό το διάστημα της προσομοίωσης με μικρές αποκλίσεις των 5” -10”. Η καθυστέρηση αυτού του χρήστη, ήταν 1.326 ,68 msec, Jitter 11,43 msec και οι απώλειες 8,64%. Ο μέσος όρος της UDP επικοινωνίας σε αυτό το μέρος του πειράματος, όλων των χρηστών είναι One Way Delay 6.089,27 msec, Smooth Jitter 285,76 msec και το ποσοστό των απωλειών που σημειώθηκε 7,33%. Τα αποτελέσματα αυτά και στους δύο τύπους επικοινωνιών, παρά το γεγονός πως είναι παράλληλες δηλαδή εκτελούνται στον ίδιο χρόνο, είναι αρκετά ικανοποιητικά και αναφέρεται μια καλή απόδοση του δικτύου. Όλα αυτά πραγματοποιήθηκαν σε κοντινή απόσταση μεταξύ των χρηστών και του εξυπηρετητή, θα δούμε και στον ίδιο συνδυασμό σεναρίου, με ίδιο αριθμό χρηστών και σε απόσταση.

- ✓ Παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία με 50 χρήστες σε κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας.

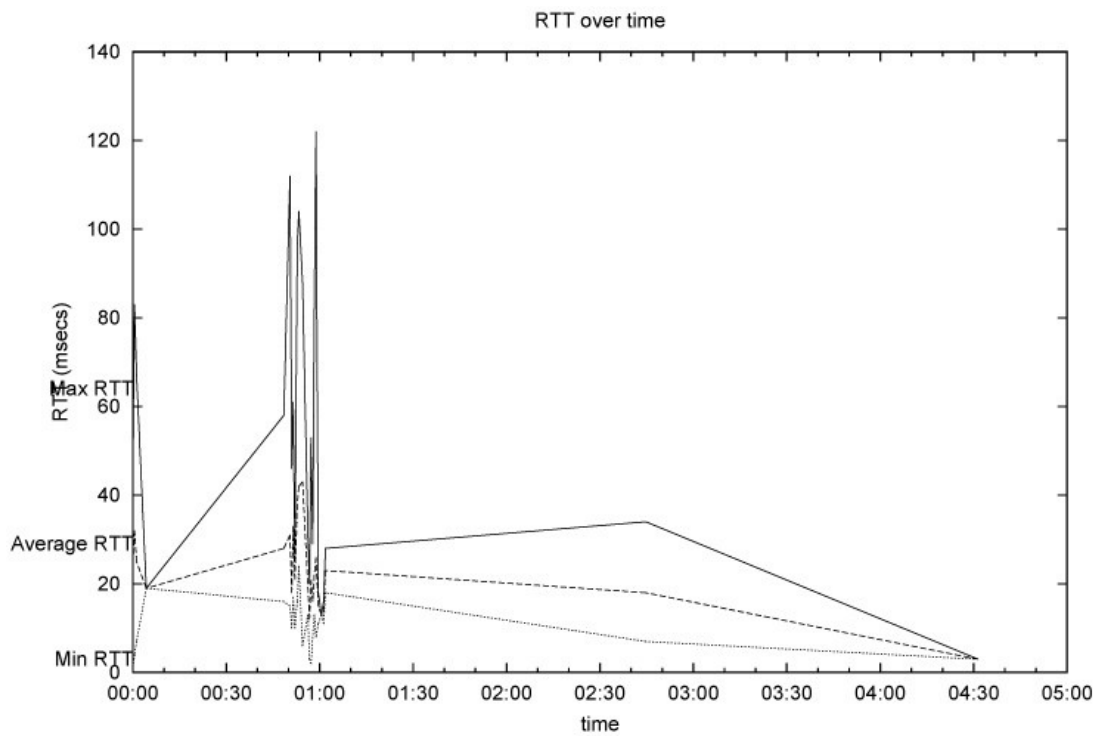
TCP User1



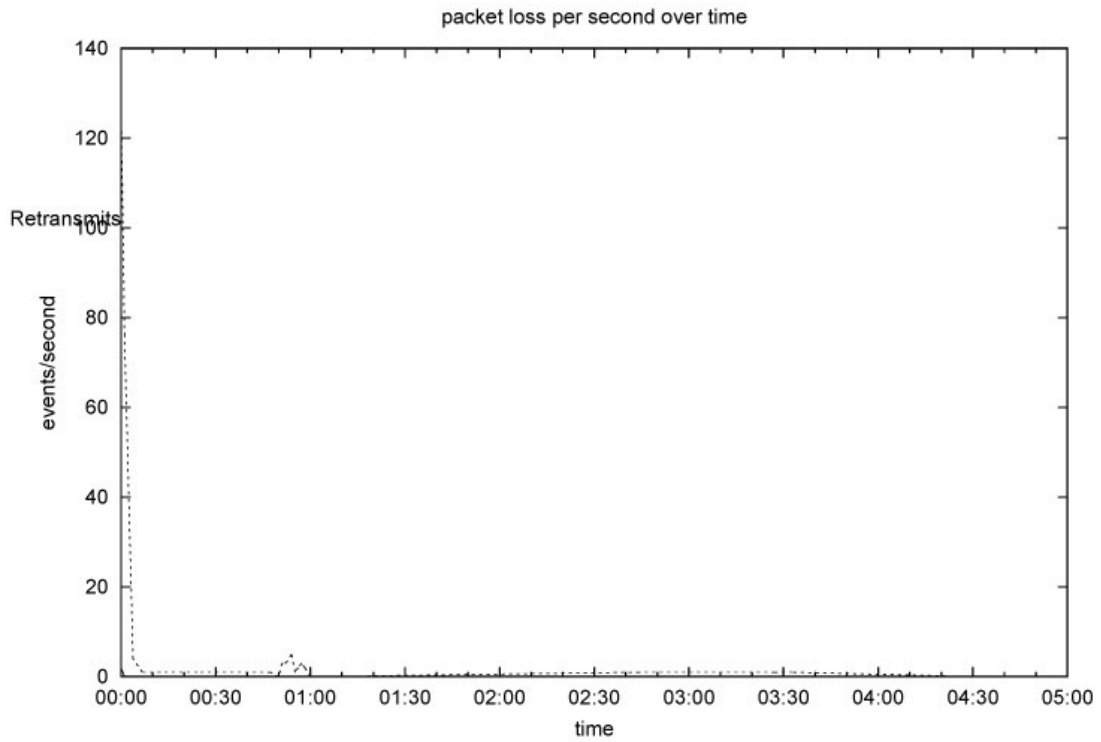
Εικόνα 170 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 171 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

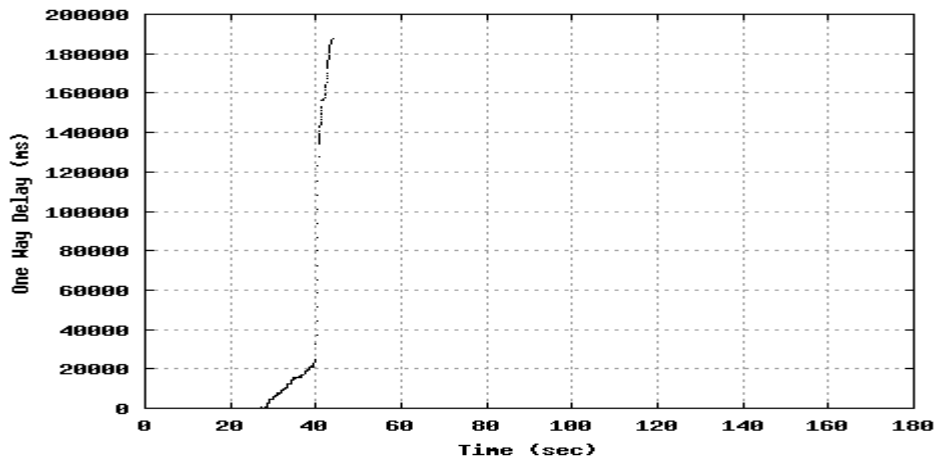


Εικόνα 172 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

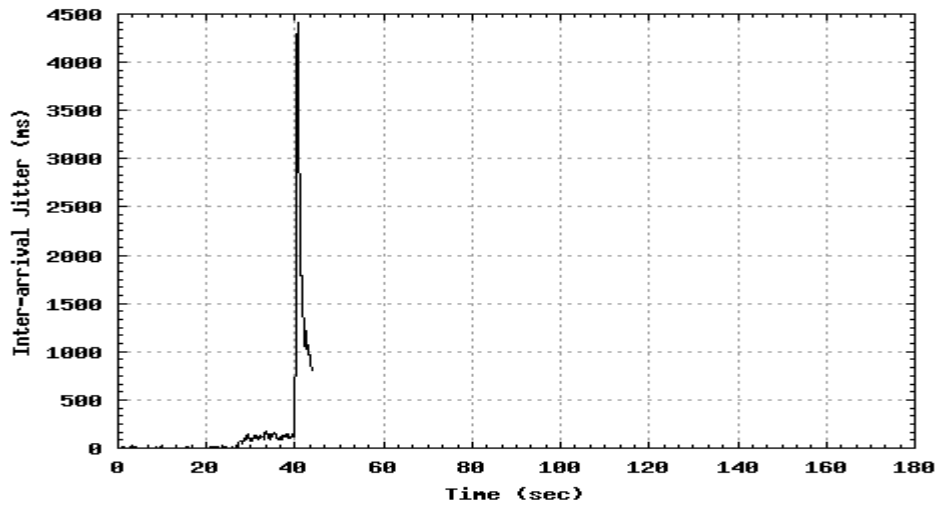


Εικόνα 173 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

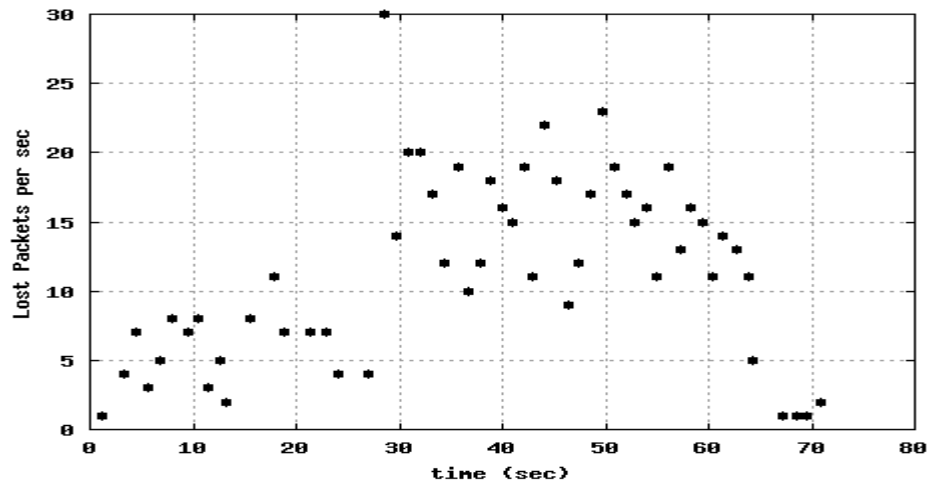
UDP User1



Εικόνα 174 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

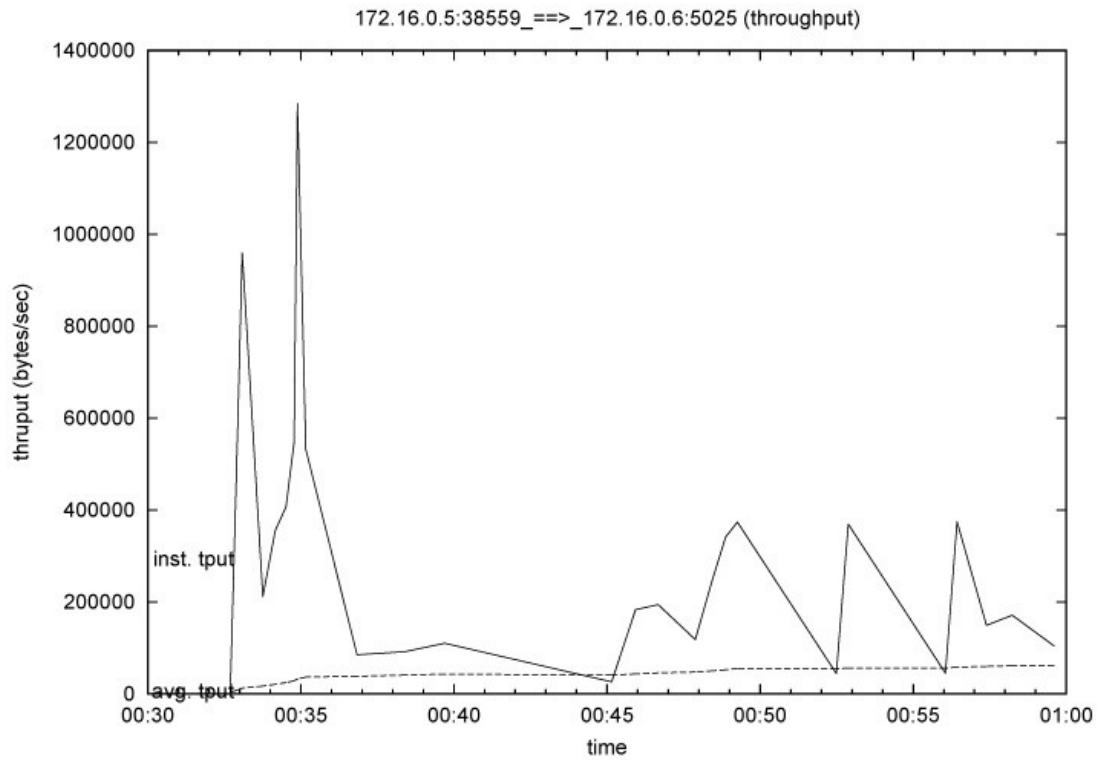


Εικόνα 175 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

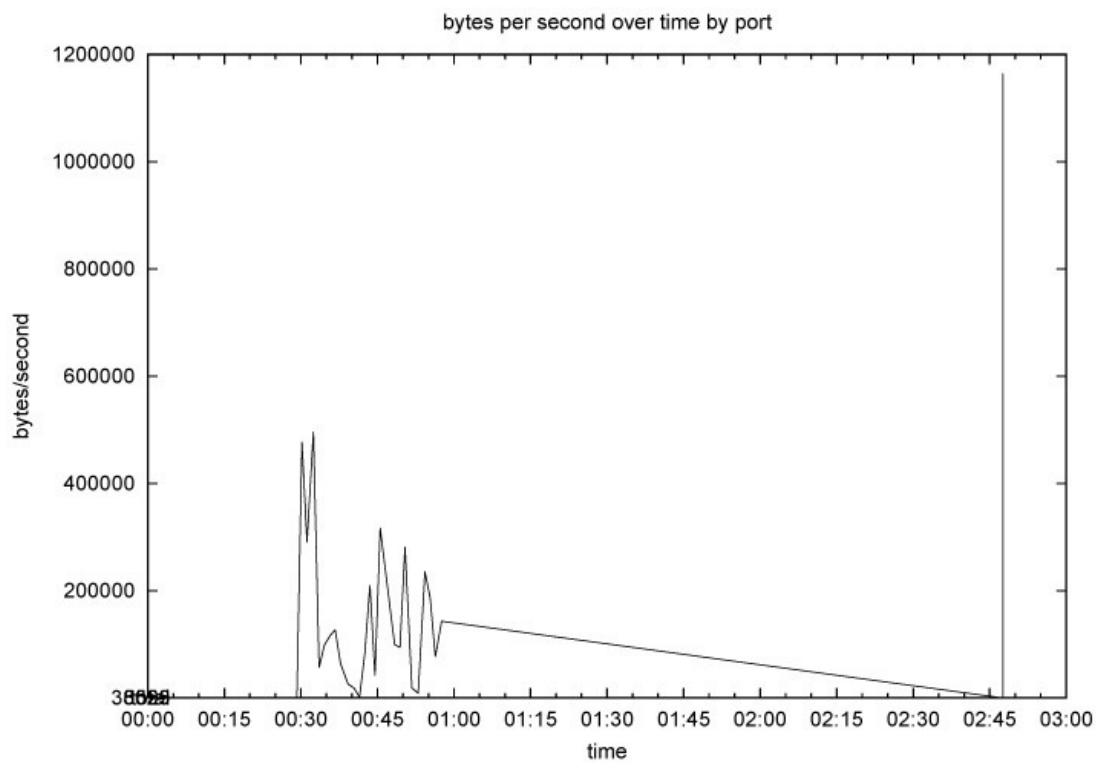


Εικόνα 176 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

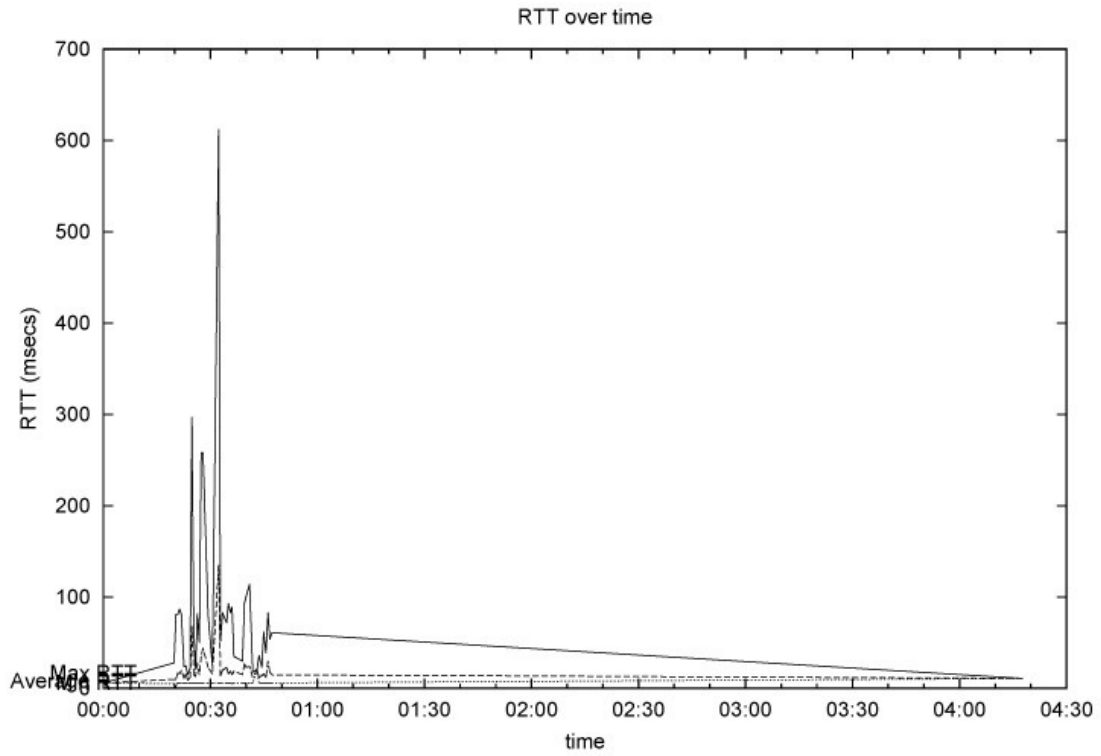
TCP User25



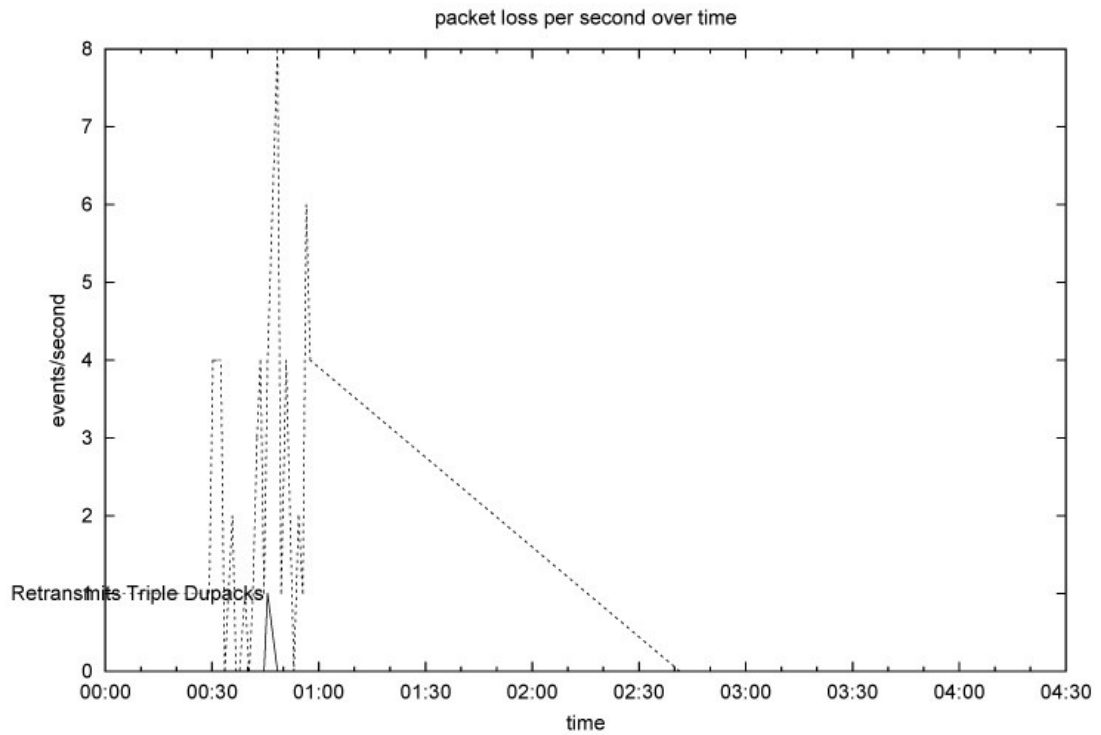
Εικόνα 177 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 178 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

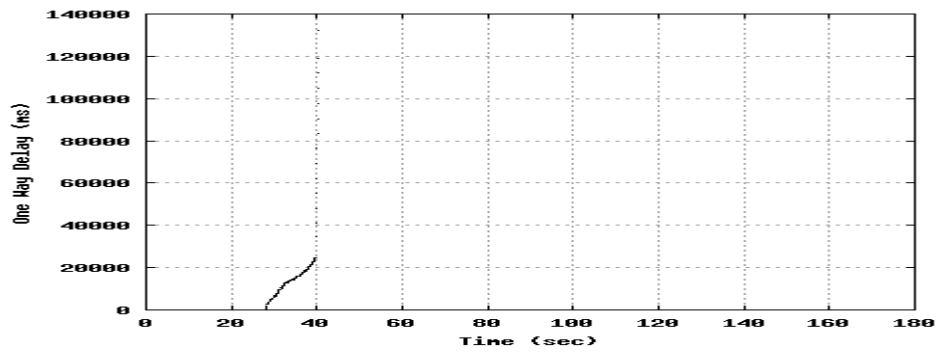


Εικόνα 179 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

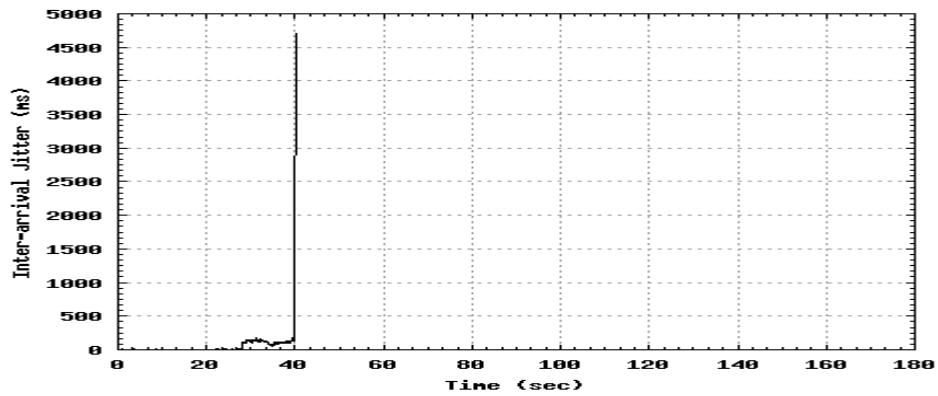


Εικόνα 180 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

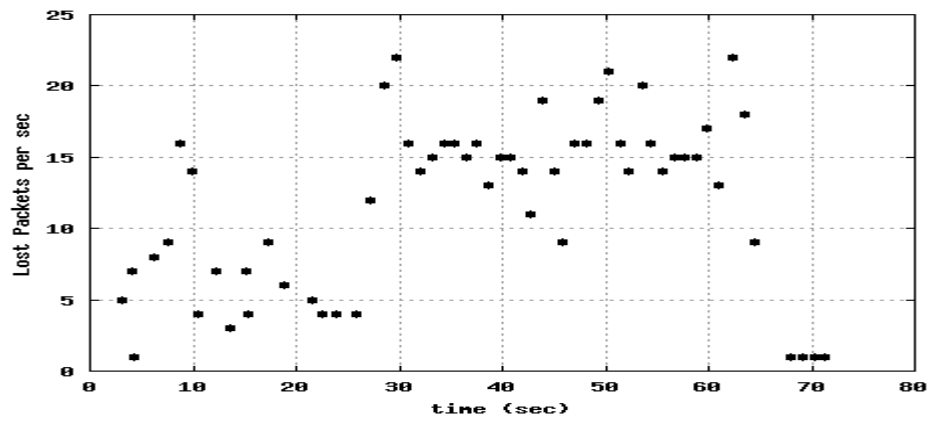
UDP User25



Εικόνα 181 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

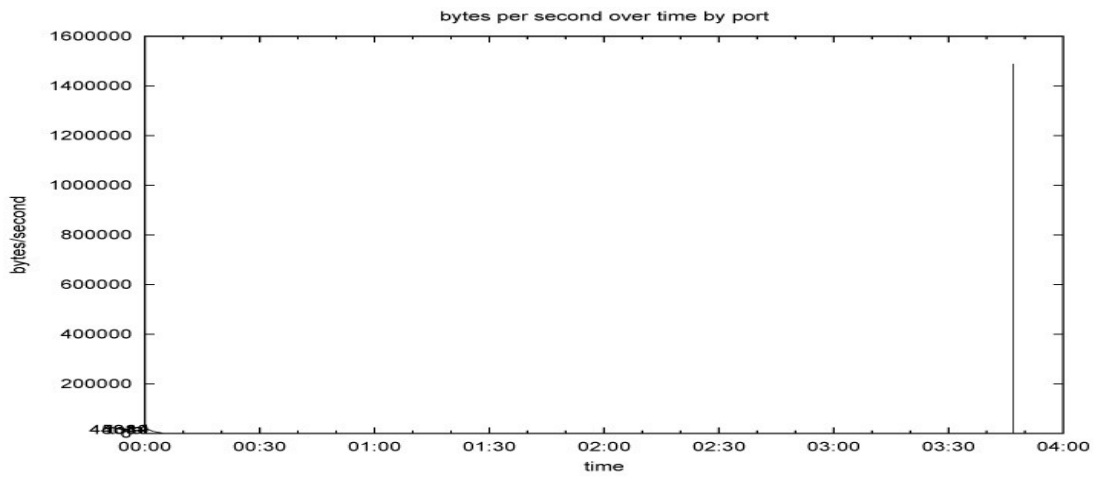


Εικόνα 182 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

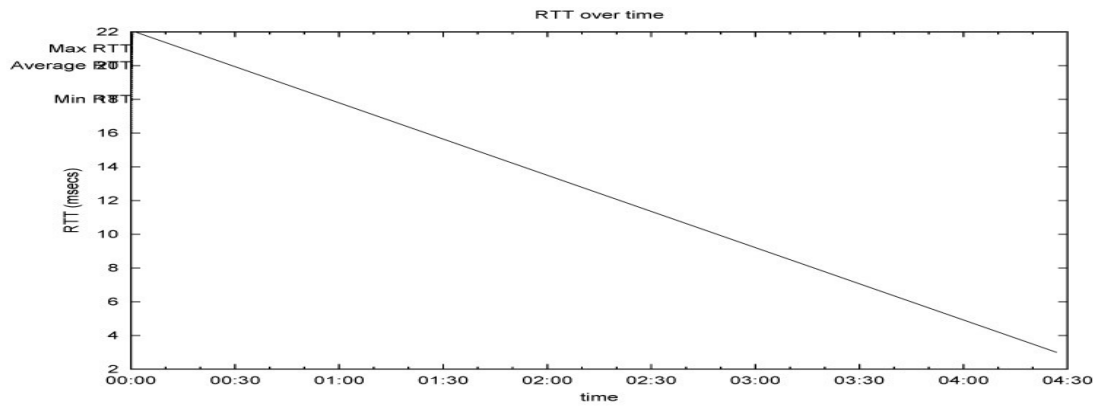


Εικόνα 183 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

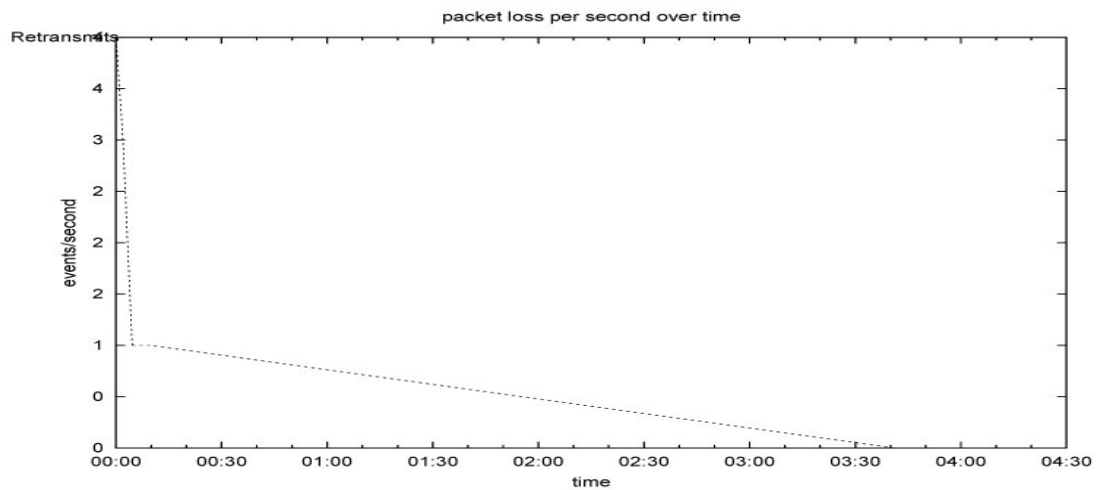
TCP User 49



Εικόνα 184 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

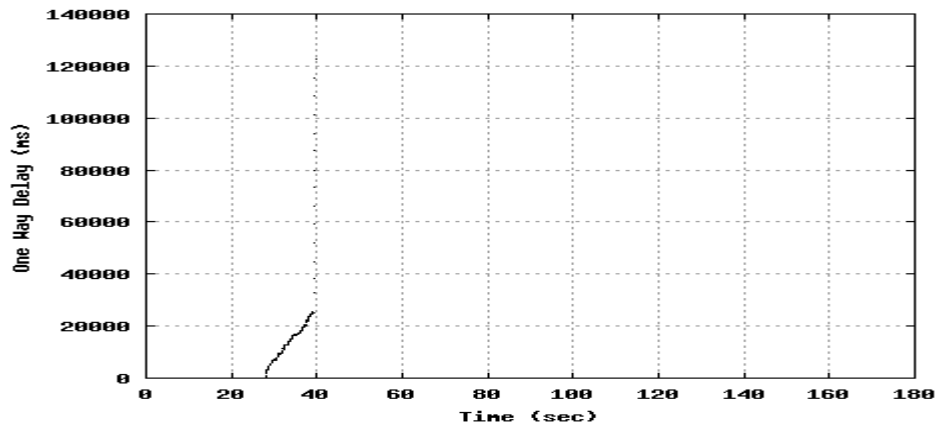


Εικόνα 185 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

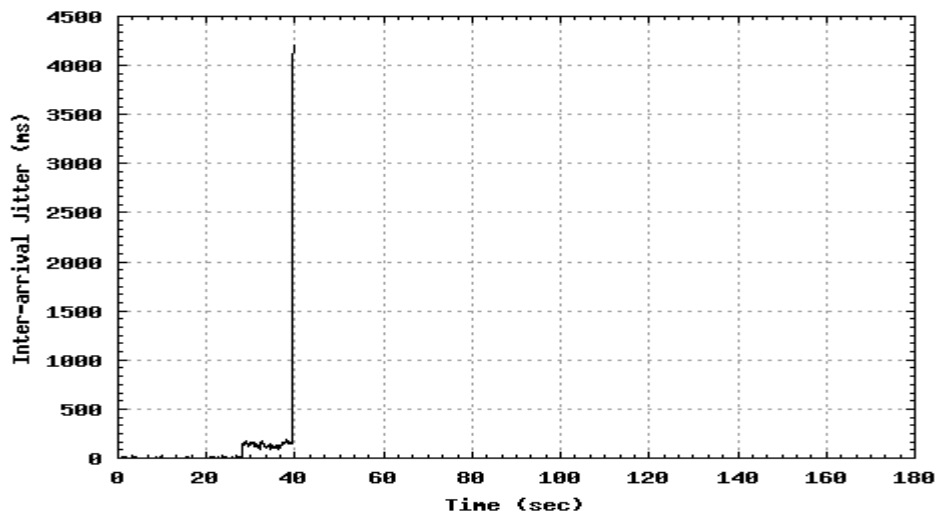


Εικόνα 186 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

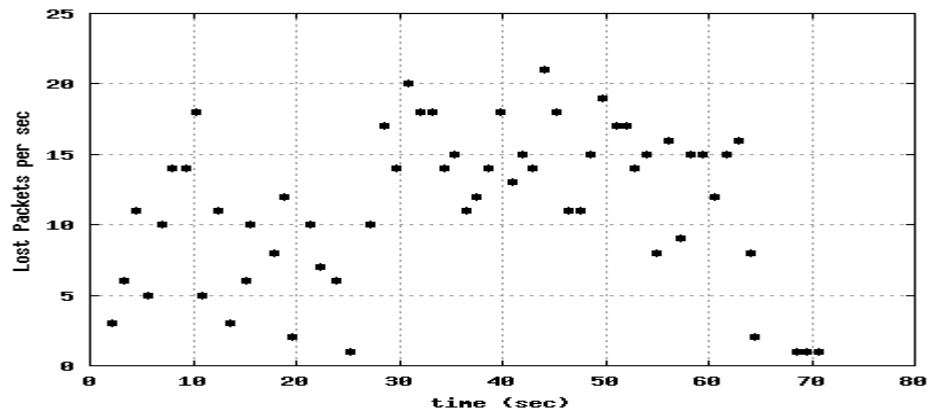
UDP User49



Εικόνα 187 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 188 Γραφική Παράσταση του Smooth Litter



Εικόνα 189 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

Στο τελευταίο μέρος του σεναρίου της κοινητής επικοινωνίας σε παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία έχοντας τον μέγιστο αριθμό των χρηστών ας δούμε τι παρατηρείται από τις γραφικές. Έχουμε πάρει ενδεικτικά τους χρήστες 1, 25 και 49. Ξεκινώντας με τον πρώτο χρήστη και τη γραφική του throughput, τα πρώτα δεύτερα επιτυχαίνονται οι maximum τιμές του με έντονες αυξομειώσεις, μέχρι το 50'' πέφτει γραμμικά και από εκεί μέχρι και το 1' ανεβαίνει λιγάκι. Μιλώντας με αριθμούς, ο χρήστης αυτός είχε σαν μέσο

throughput 208,9 kbps. Συνεχίζοντας με τη κυκλική καθυστέρηση, από την αντίστοιχη γραφική φαίνεται έντονη αυξομείωση τον χρόνο 70” ως 1’. Είναι το διάστημα που επικοινωνούσε ο χρήστης και είχαμε χρήση του δικτύου. Το RTT λοιπόν από την ανάλυση που πήραμε ήταν 27 msec και οι απώλειες 233 πακέτα. Παρόμοια συμπεριφέρεται και ο 25^{ος} χρήστης έχοντας maximum throughput 32” ως 37” και συνεχίζει μέχρι το 1’. Οι περισσότερες καθυστερήσεις υπήρξαν στο 30” και ο μέσος όρος των RTT καθυστερήσεων που πήραμε ήταν 24,6 msec και 58 πακέτα χάθηκαν. Παρόμοια και στον 49^ο χρήστη ο μέσος όρος throughput 1,9 kbps. Το RTT ήταν 20,8 msec και τα πακέτα που χάθηκαν 9. Σε κάθε χρήστη φαίνονται τελείως διαφορετικά αποτελέσματα με μεγάλες αποκλίσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουμε πολλούς χρήστες να μοιράζονται το ίδιο δίκτυο και να επικοινωνούν με τον ίδιο εξυπηρετητή, σε διαφορετικούς χρόνους αλλά και σε διαφορετικές συνθήκες. Ο μέσος όρος των χαρακτηριστικών που εξετάζουμε για την TCP επικοινωνία για όλους τους χρήστες είναι το throughput 338,4 kbps, το RTT 1.298,74 msec και τα χαμένα πακέτα 284. Εκτός όμως την συγχρονισμένη επικοινωνία, υλοποιείται στον ίδιο χρόνο και ασύγχρονη επικοινωνία. Εδώ λοιπόν φαίνεται από τις γραφικές να υπάρχει UDP επικοινωνία στο δίκτυο το διάστημα 20” – 40”. Αυτό επαναλαμβάνεται και στους τρεις χρήστες που ενδεικτικά εξετάζουμε. Επίσης τρεις από τους 50 χρήστες δεν κατάφεραν/ πρόλαβαν να συμμετάσχουν καθόλου στην επικοινωνία και είχαμε μηδενικές καθυστερήσεις και 100% απώλειες. Όσον αφορά τους υπόλοιπους χωρίς ιδιαίτερες αυξομειώσεις αλλά μετά από μια σχεδόν σταθερή συμπεριφορά του δικτύου, το μέσο One Way Delay είναι 2.362,15 msec, Smooth Jitter 40,93 msec και οι απώλειες 20,2%

5.2. Σενάριο 2^ο

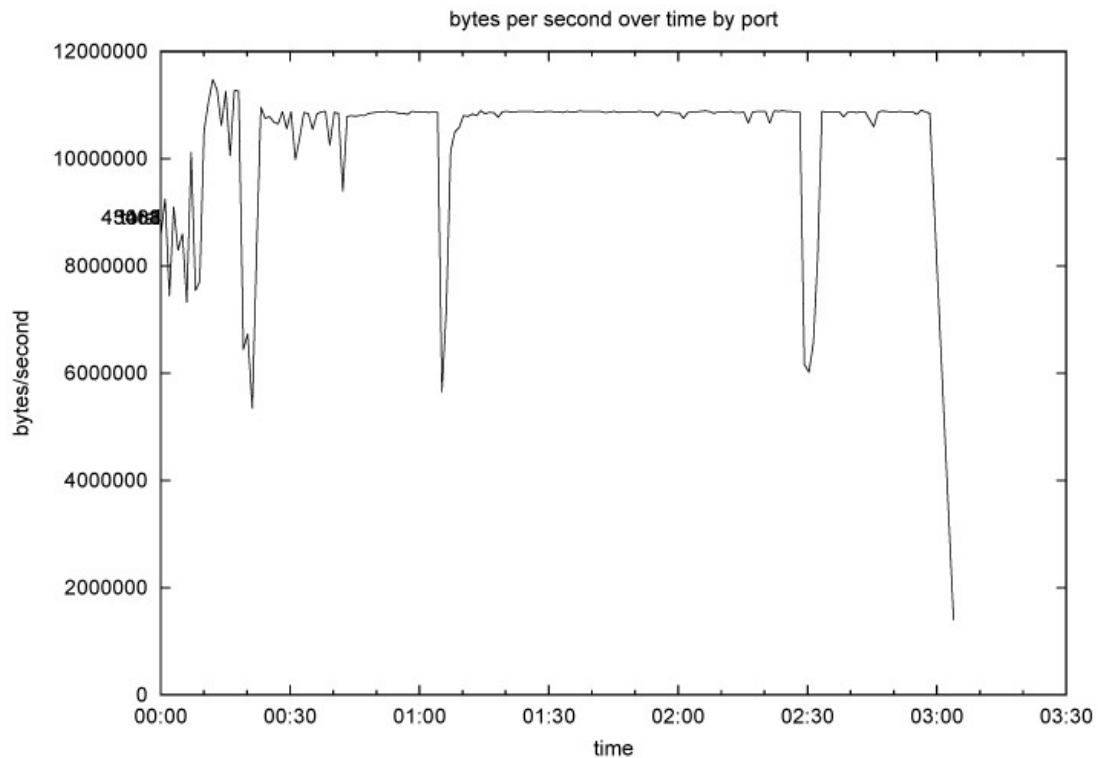
Σε αυτό το σενάριο η επικοινωνία πραγματοποιείται σε απόσταση. Οι χρήστες βρίσκονται σε διαφορετικό δωμάτιο από τον CMN Server, ο οποίος παραμένει μέσα στο εργαστήριο. Η απόσταση μεταξύ τους είναι στα είκοσι μέτρα ενώ παράλληλα τους χωρίζει και τοίχος.

5.2.1. Μέρος 2^ο

Το πρώτο μέρος αυτού του σεναρίου πραγματοποιήθηκε με πρωτόκολλο επικοινωνίας το TCP κάνοντας χρήση όλου του διαθέσιμου εύρους ζώνης, δηλαδή, σε συγχρονισμένη επικοινωνία. Ο Server Provider παίρνει IP, στη συνέχεια παίρνουν IP και οι χρήστες, εντοπίζεται ο Server και η επικοινωνία αρχίζει. Τα πακέτα που στέλνονται είναι ορισμένα στα 1.024 bytes, με τυχαίο περιεχόμενο. Ο χρόνος προσομοίωσης του κάθε τύπου επικοινωνίας έχει ρυθμιστεί στα 180 seconds.

✓ **TCP** επικοινωνία με έναν χρήστη.

User1

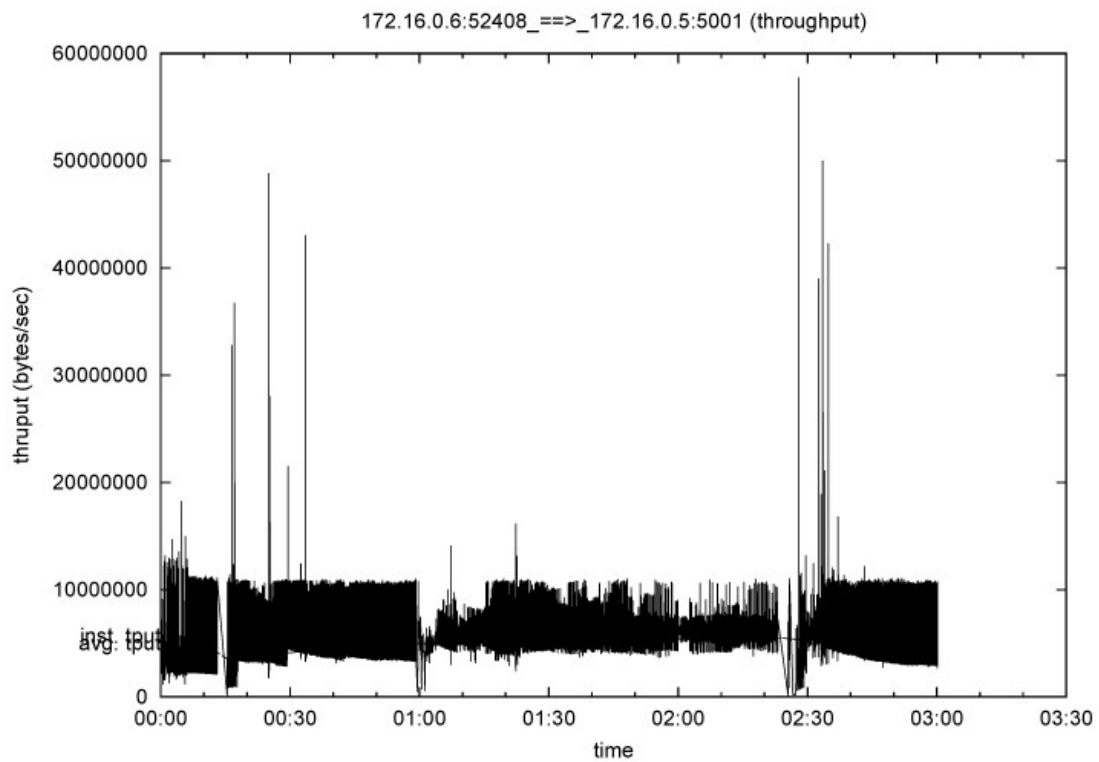


Εικόνα 190 Γραφική Παράσταση του Throughput (segment)

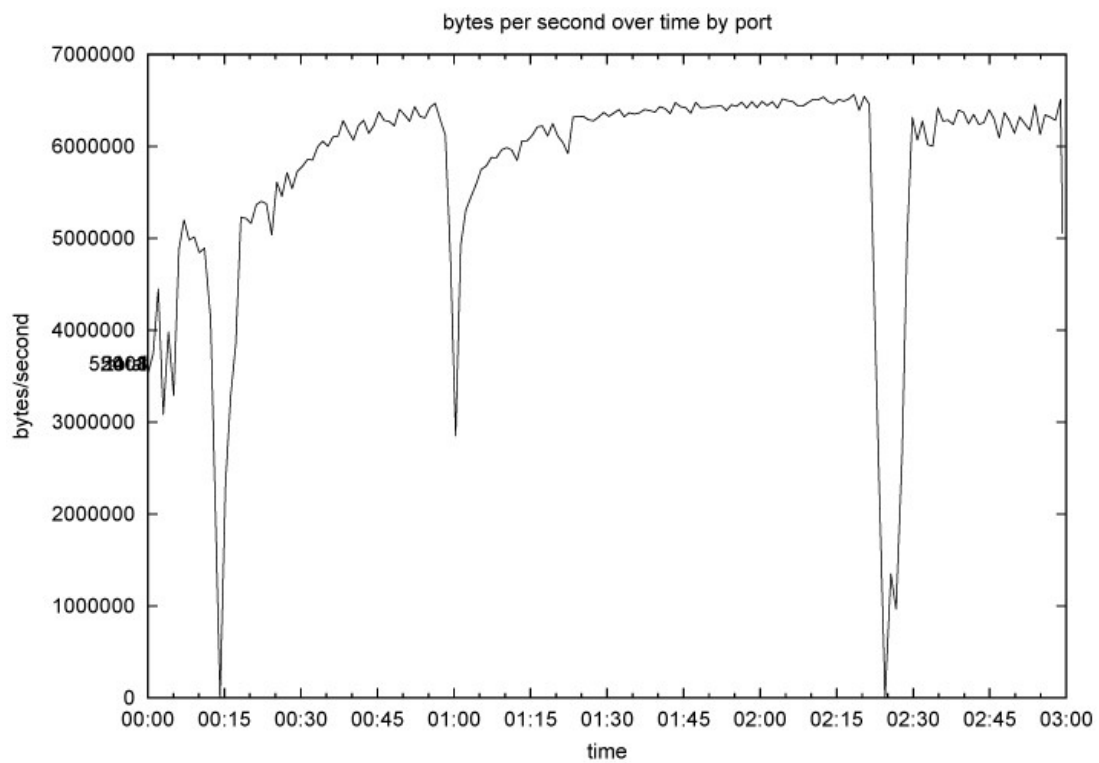
Στο δεύτερο σενάριο της απομακρυσμένης συγχρονισμένης επικοινωνίας, ενώ θα περιμέναμε πτώση throughput σε σχέση με την ίδια περίπτωση κοντινής απόστασης, εδώ παρατηρείται μια μικρή αύξηση. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι στο χώρο του εργαστηρίου όπου πραγματοποιήθηκε η κοντινή επικοινωνία μεταξύ των χρηστών και του εξυπηρετητή, πραγματοποιούνται παράλληλα πολλές επικοινωνίες σε ίδιες συχνότητες. Το throughput λοιπόν σε μακρινή επικοινωνία με έναν χρήστη είναι 79,9 Mbps, ενώ δεν υπήρξαν απώλειες και μια μικρή καθυστέρηση με RTT 0,6 msec. Αυτή είναι μια καλή απόδοση του δικτύου βάσει τα χαρακτηριστικά που προϋποθέτει το πρότυπο που χρησιμοποιούμε.

✓ **TCP** επικοινωνία με δύο χρήστες.

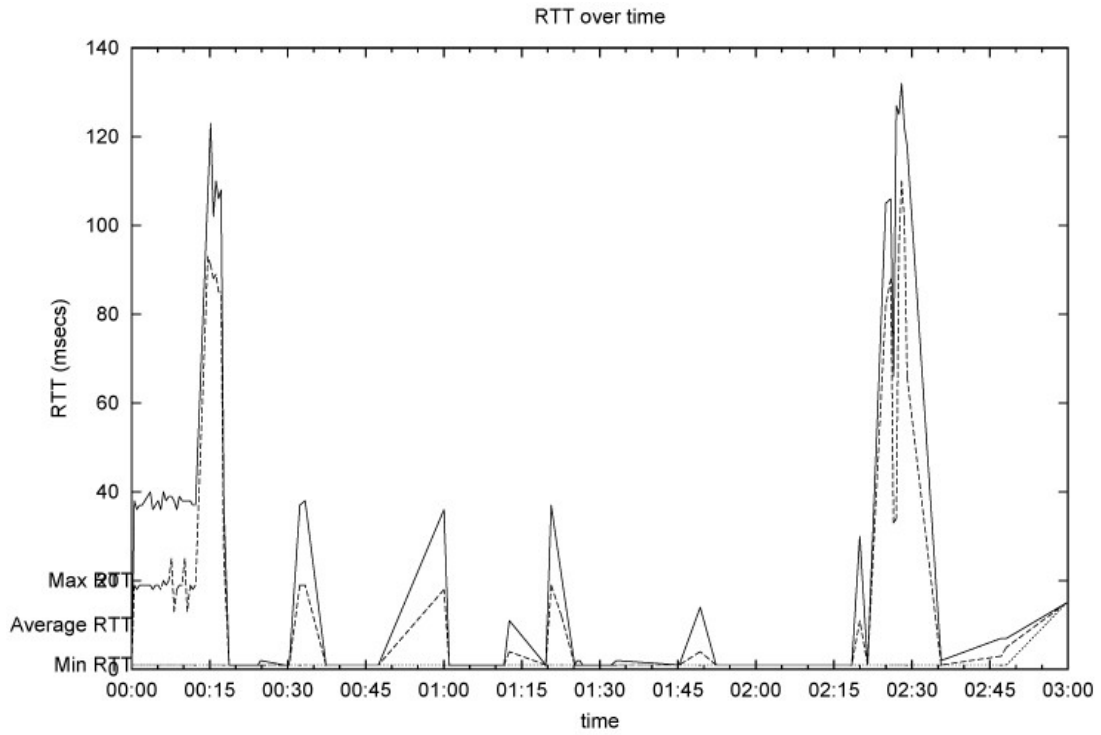
User1



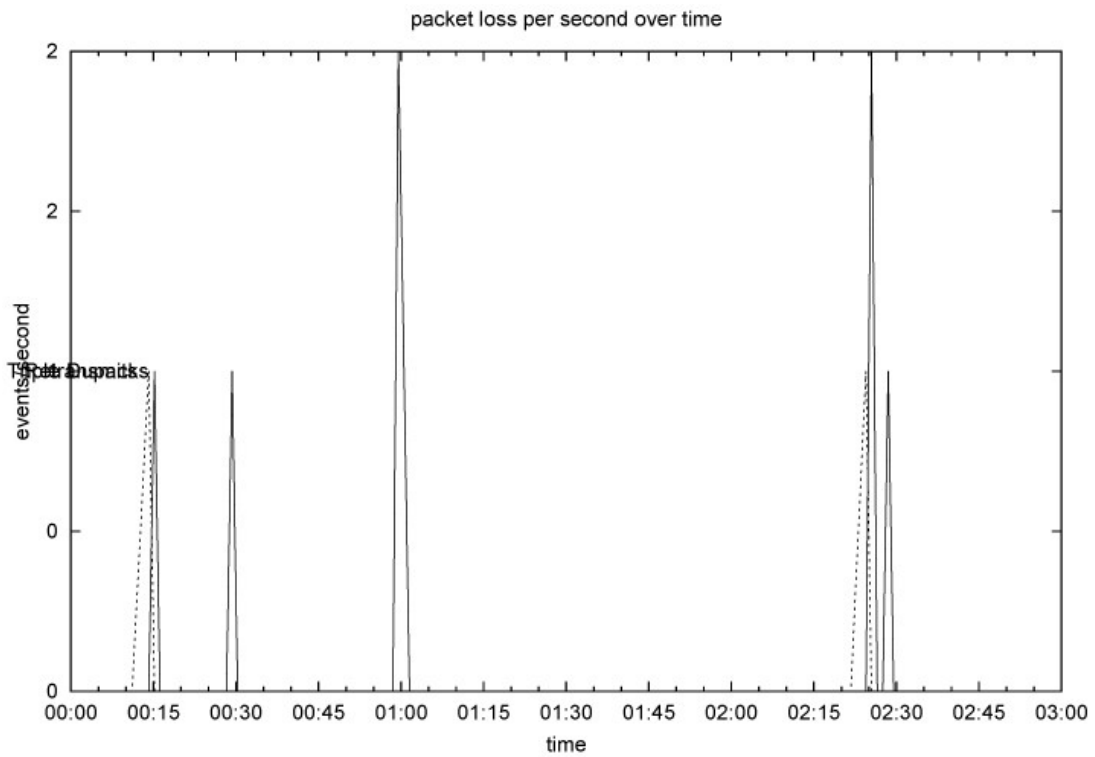
Εικόνα 191 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 192 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

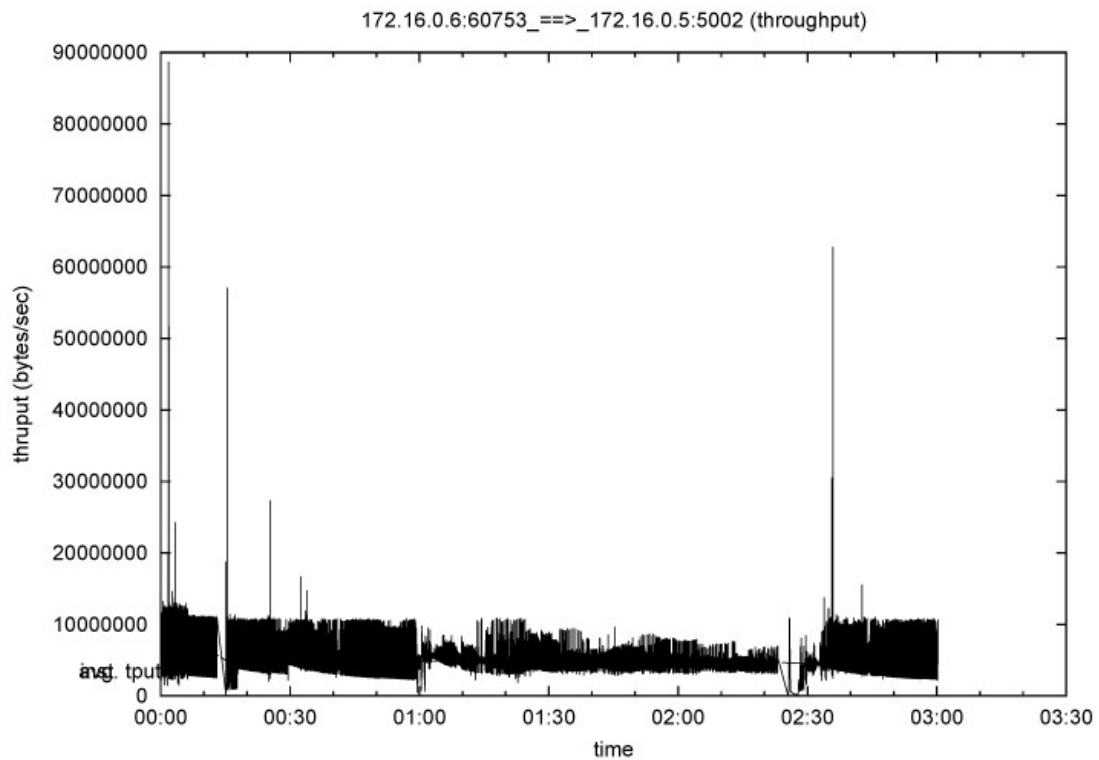


Εικόνα 193 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

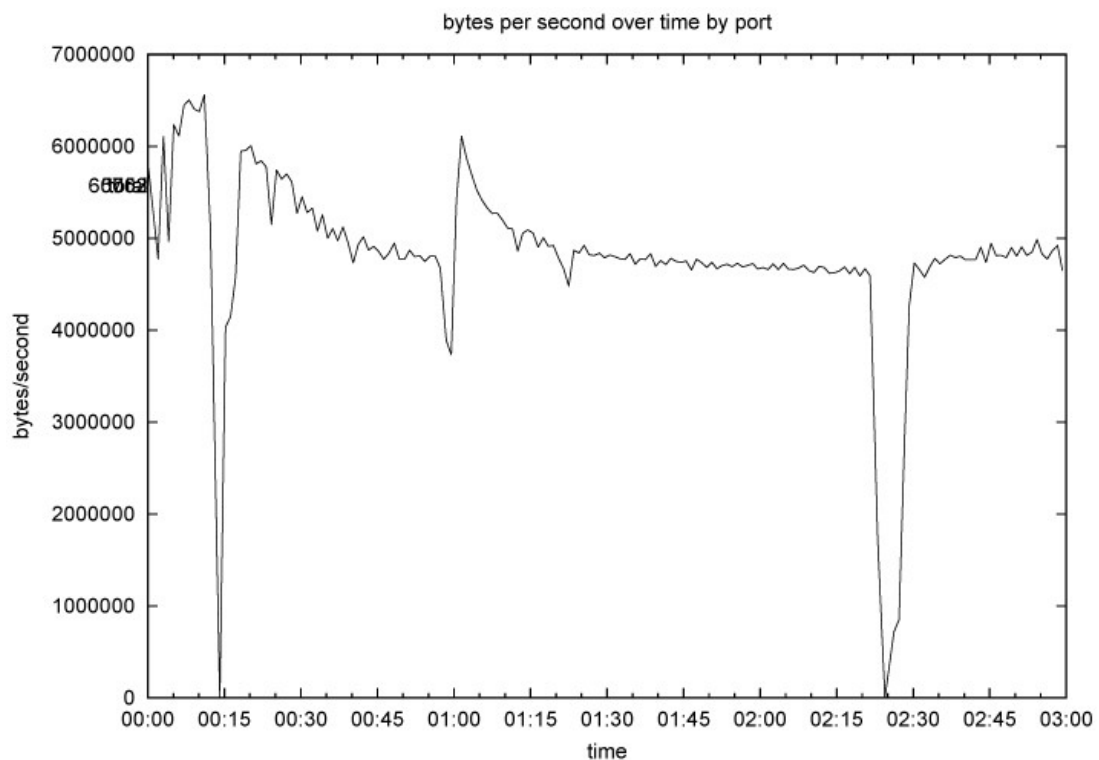


Εικόνα 194 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

User2



Εικόνα 195 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



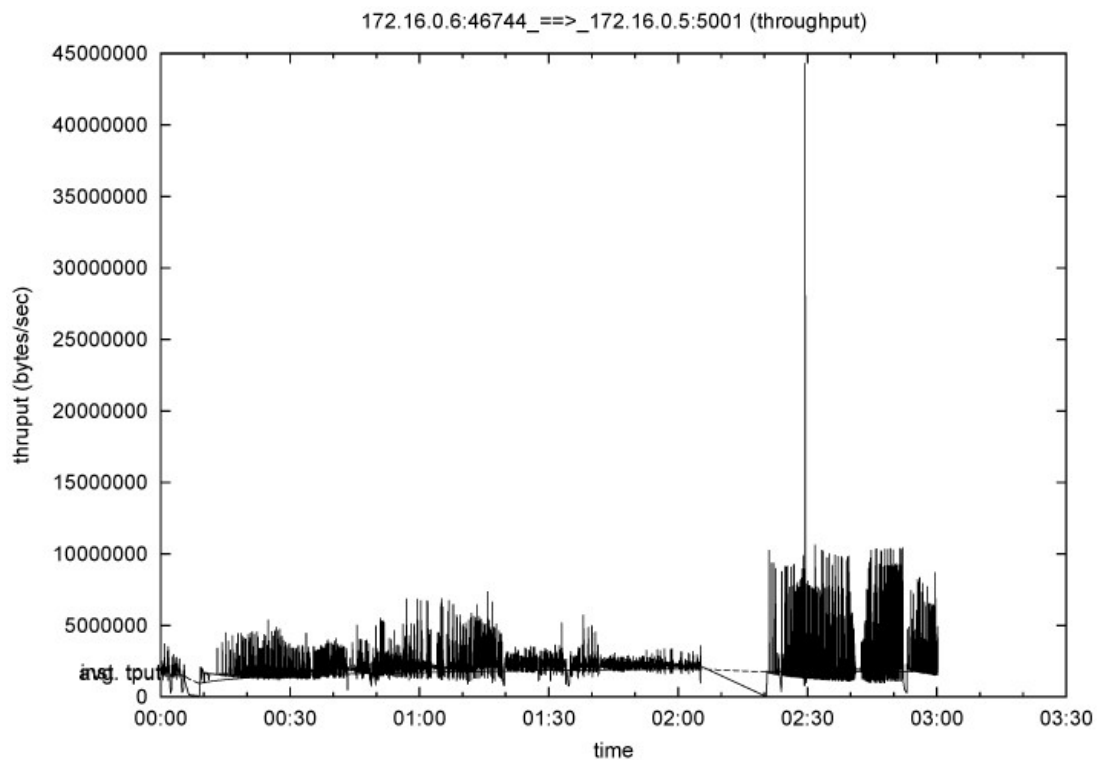
Εικόνα 196 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

Συνεχίζοντας και με τους δυο χρήστες το μέσο throughput είναι 40 Mbps, ενώ και βάση των γραφικών σε κάθε χρήστη κυμαίνεται από 43,5 Mbps σε 36,44 Mbps. Βάση της γραφικής παράστασης τόσο του 1^{ου} χρήστη όσο και του 2^{ου} που μας δείχνει το throughput

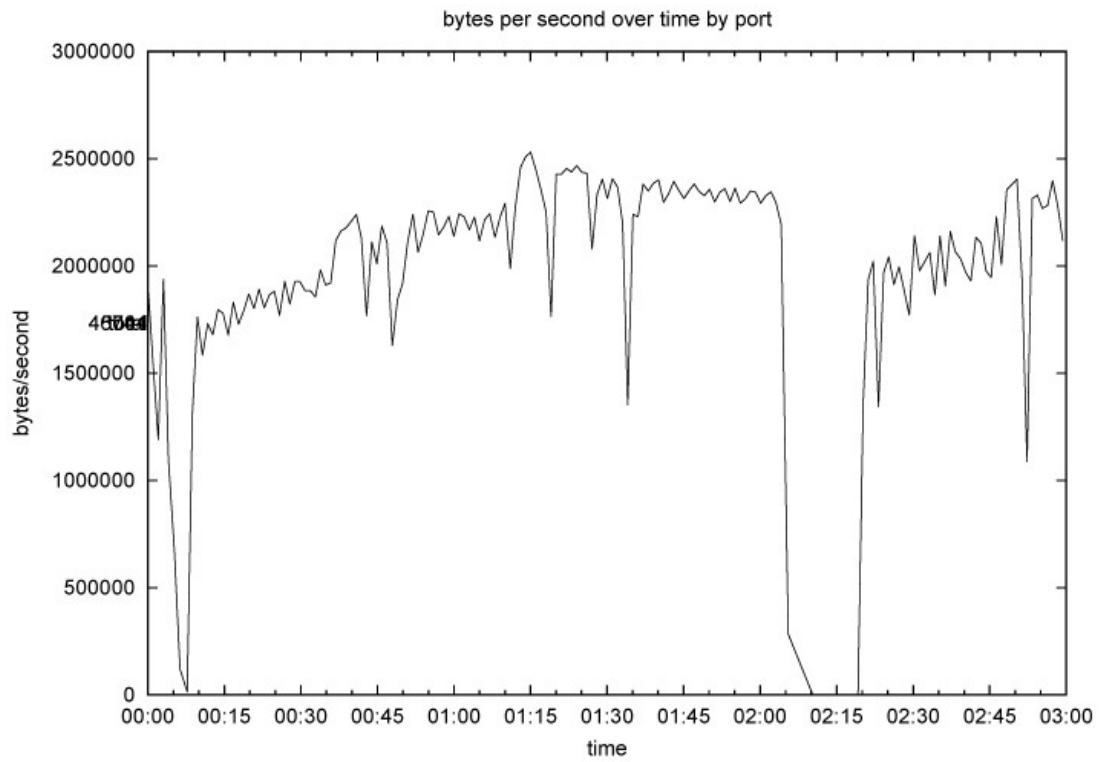
φανερώνει πως είναι σταθερό κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της διαδικασίας, παρατηρείται να κυμαίνεται σε κοντινές τιμές πάνω κάτω, δεν υπάρχουν συνεχείς αυξομειώσεις παρά μόνο μία στιγμιαία πτώση στο 00:15' και άλλη μια στο 2:00'. Αυτή η πτώση σημειώθηκε και στους δύο χρήστες την ίδια στιγμή οπότε συμπεραίνεται πως δεν ήταν αποτέλεσμα του πλήθους των χρηστών που συμμετείχαν, άρα πιθανόν σε αυτούς τους χρόνους να υπήρξε κάποια κίνηση στο χώρο που να επηρέασε τη μετάδοση ή να πραγματοποιήθηκε μία παράλληλη αποστολή από άλλη πηγή. Το μέσο RTT είναι 0,55 msec και τα χαμένα πακέτα ήταν στον μέσο όρο τρία.

✓ **TCP επικοινωνία με πέντε χρήστες.**

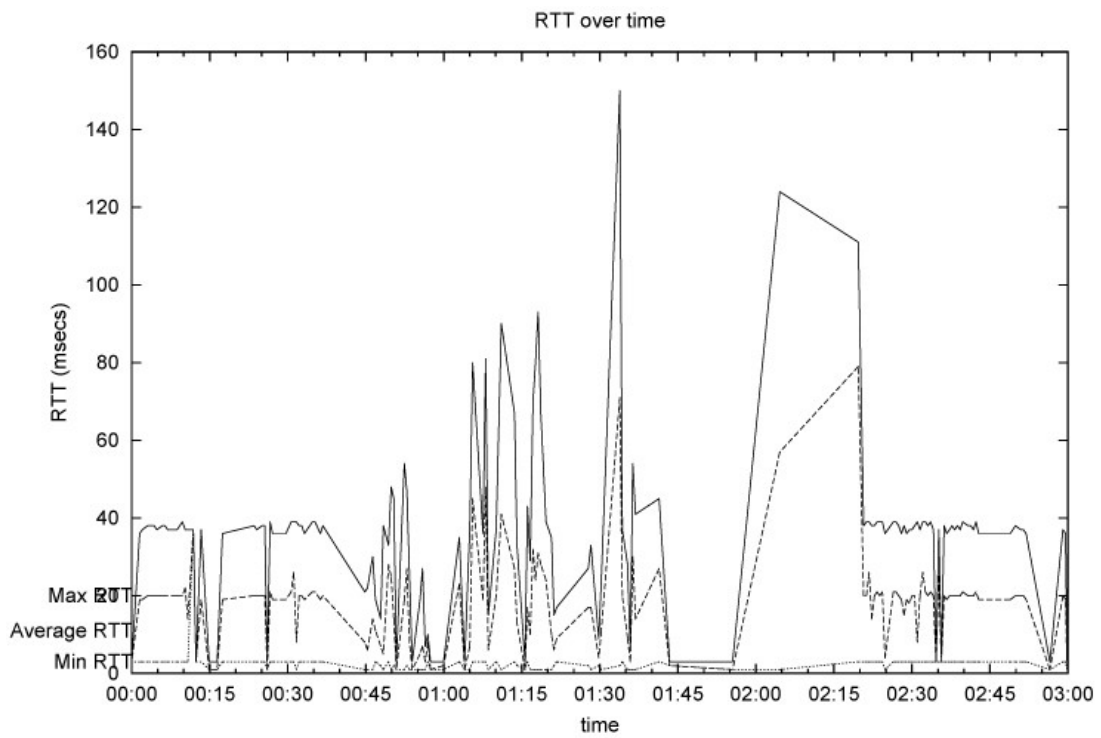
User1



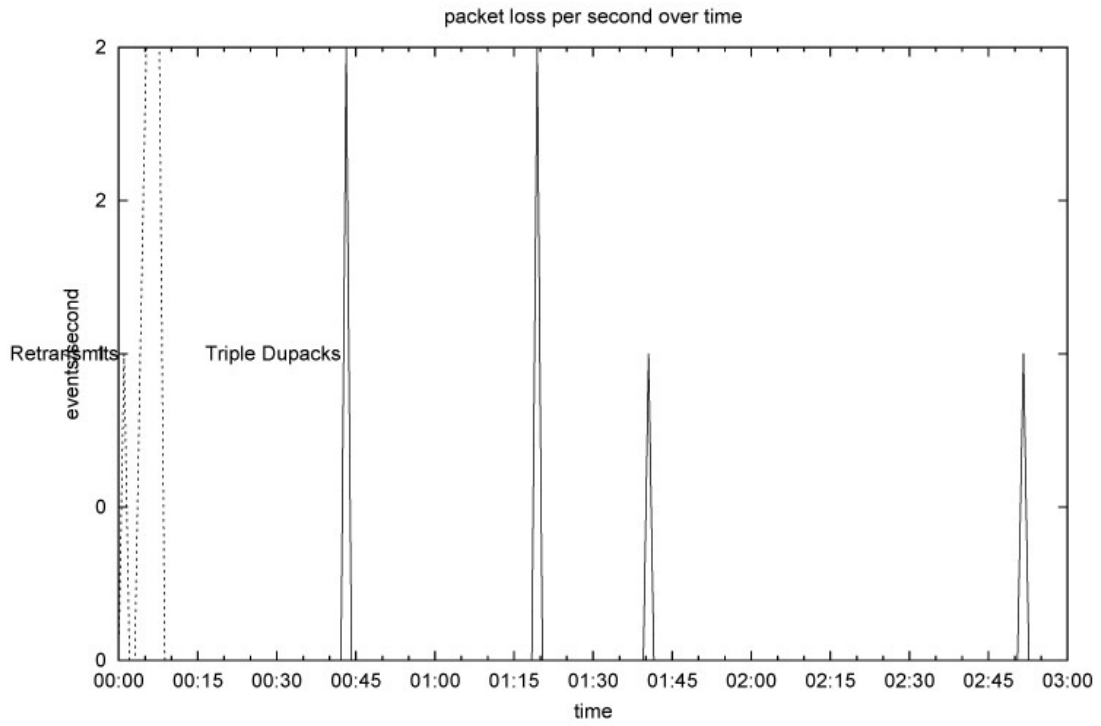
Εικόνα 197 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 198 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

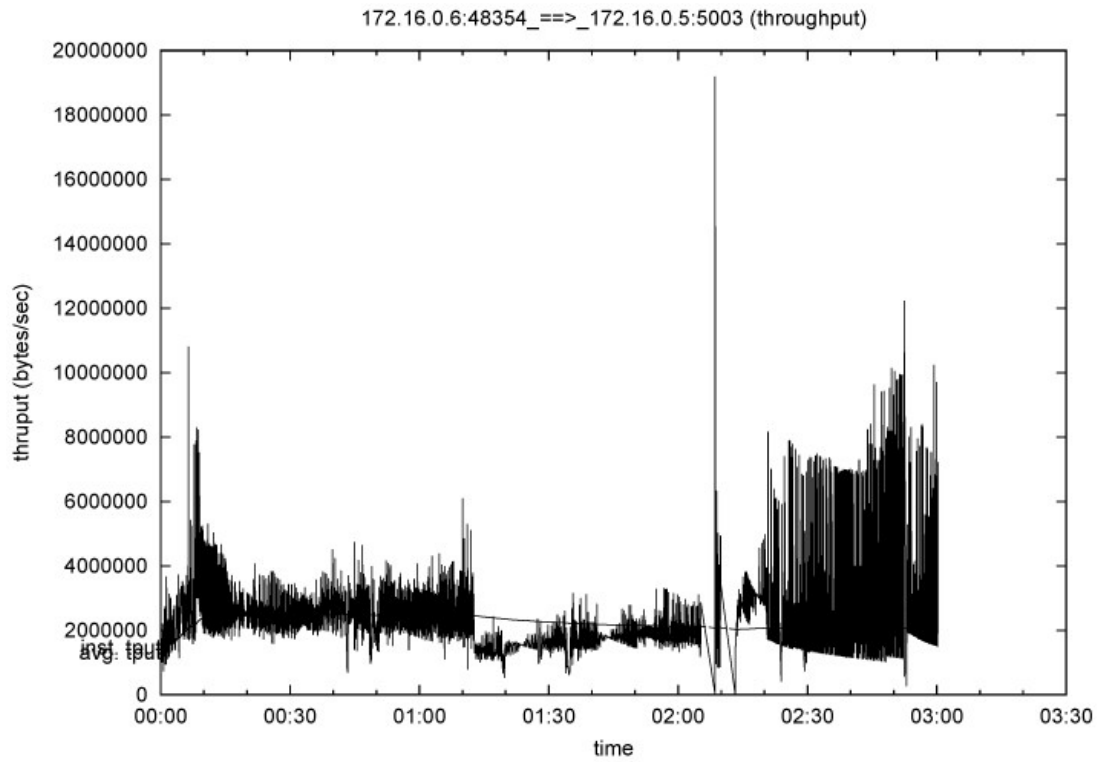


Εικόνα 199 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

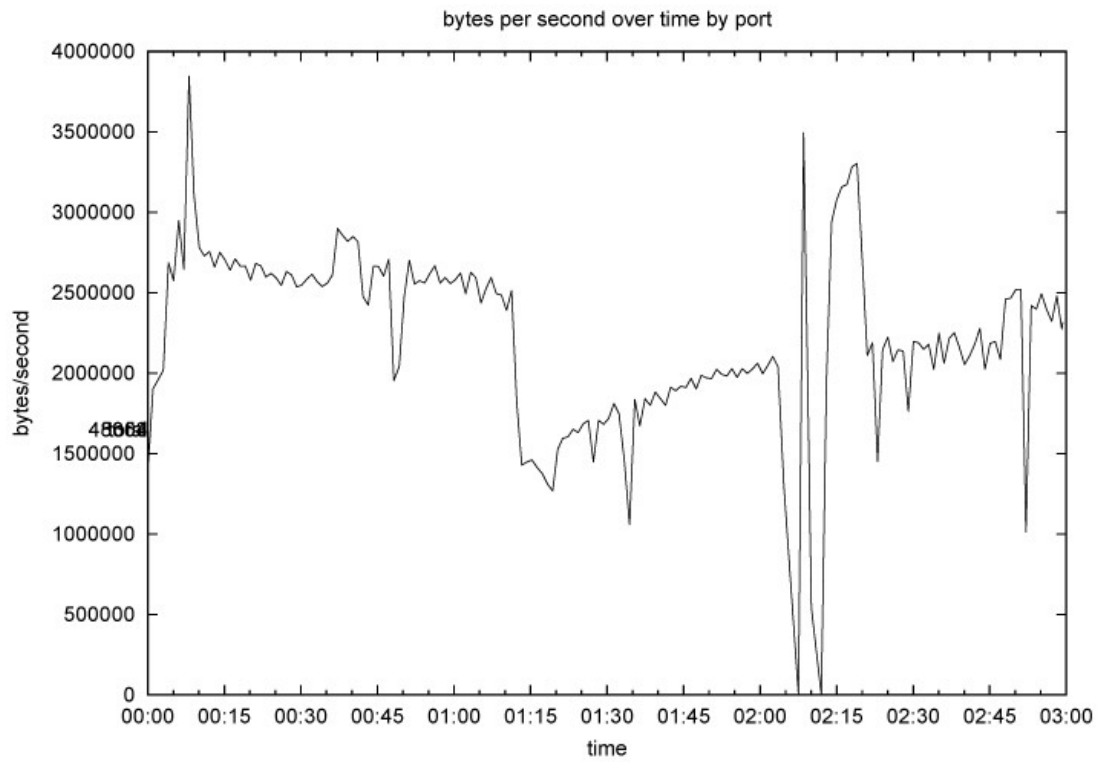


Εικόνα 200 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

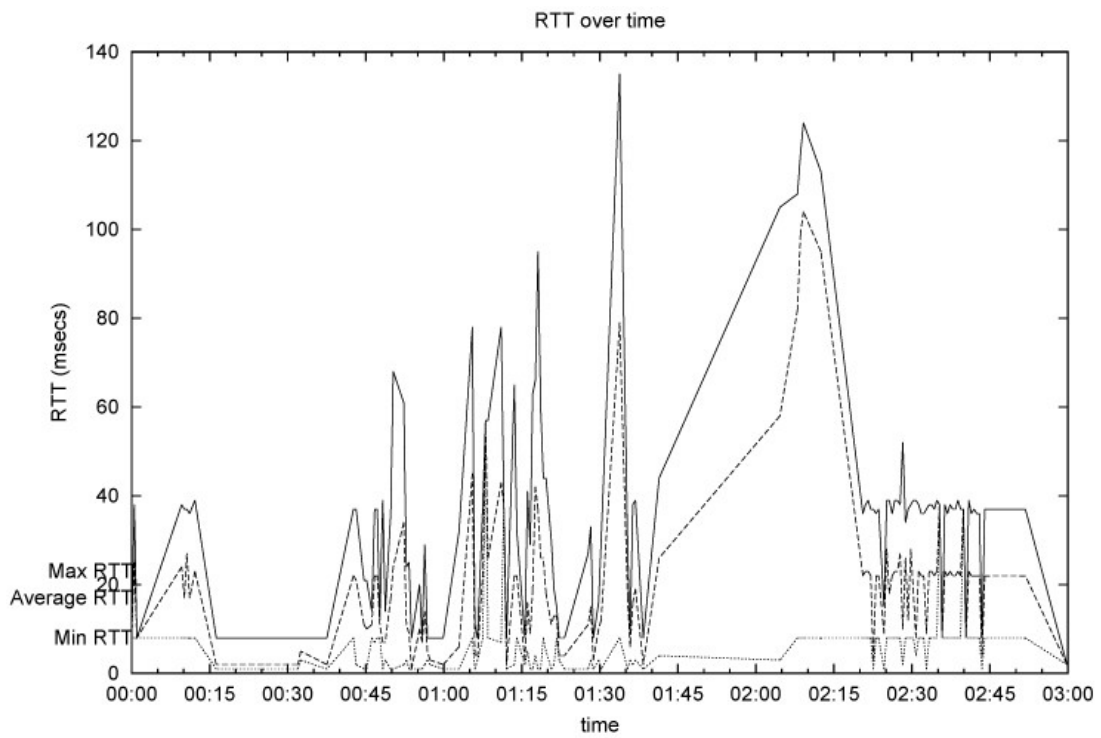
User3



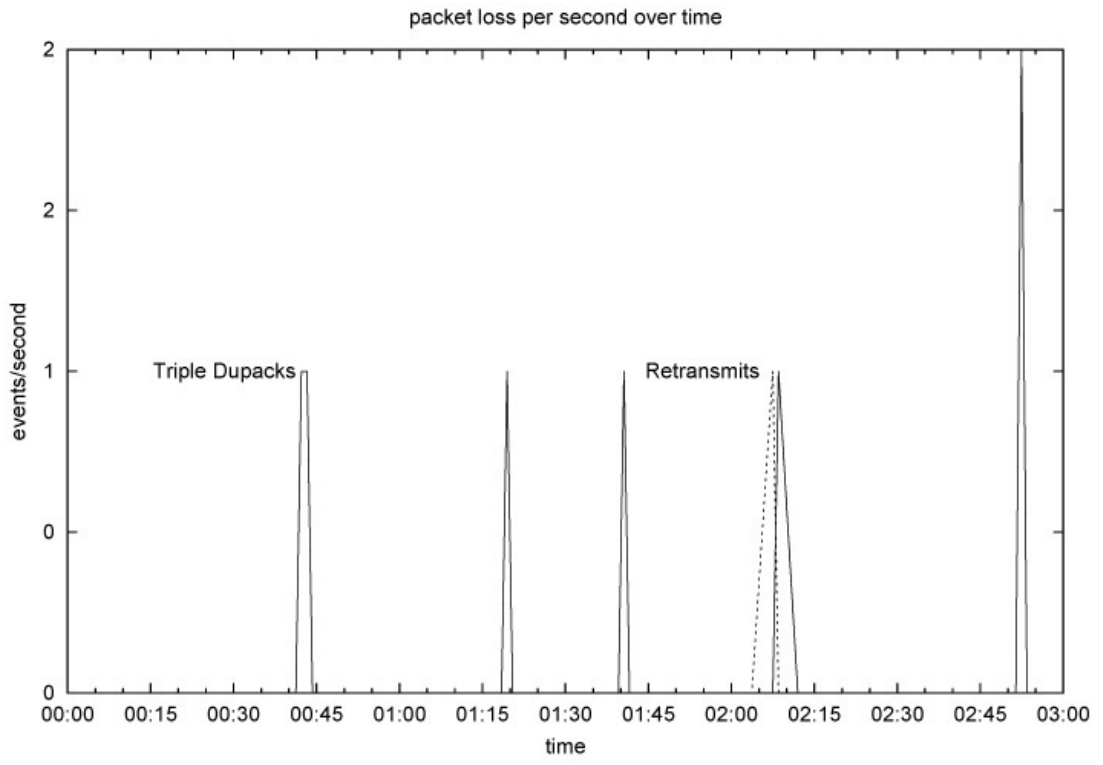
Εικόνα 201 Γραφική Παράσταση του Throughput (segment)



Εικόνα 202 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

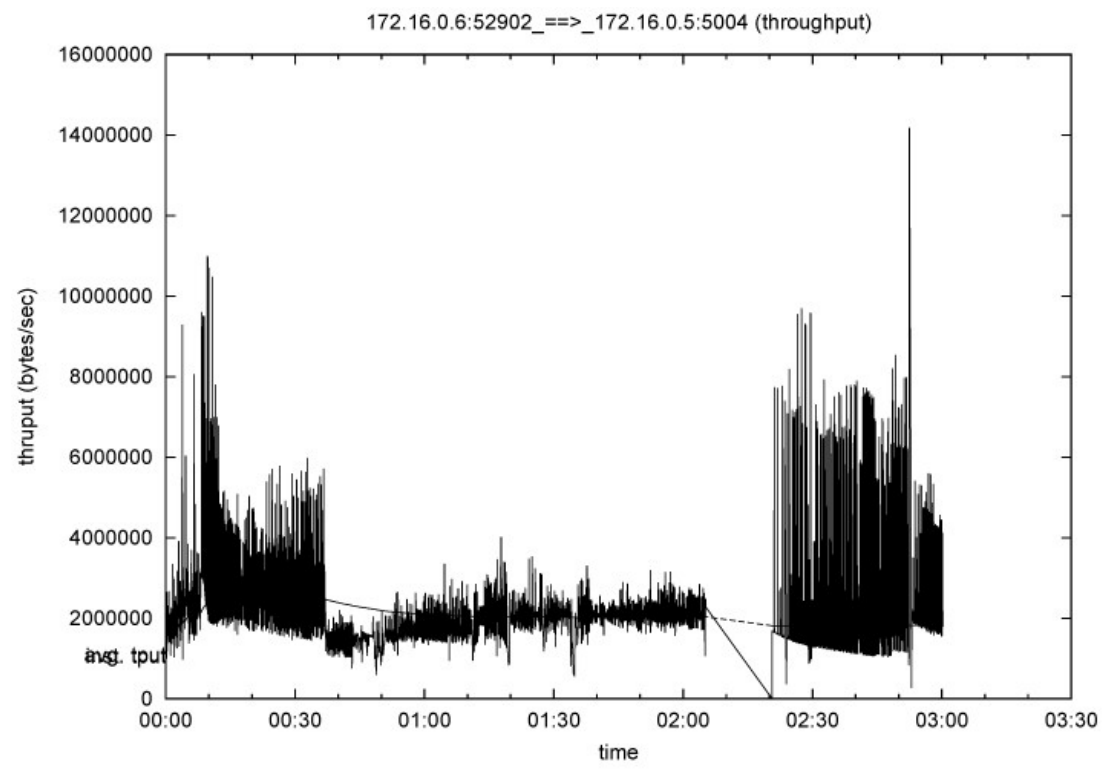


Εικόνα 203 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

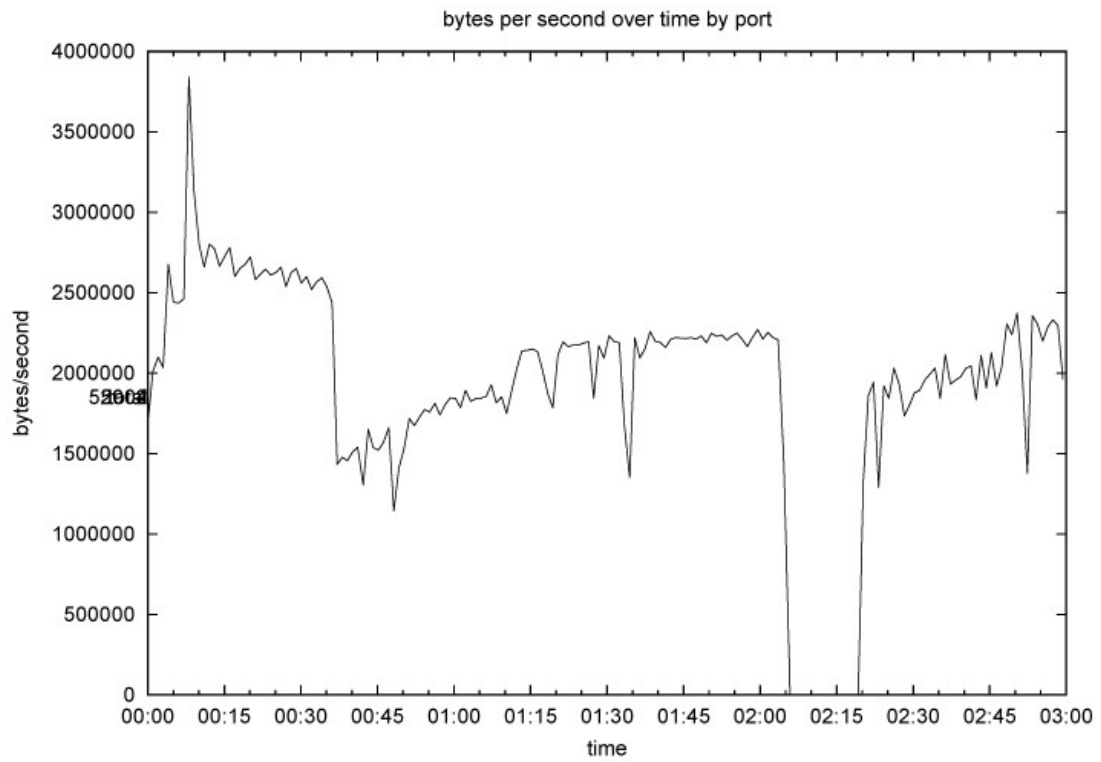


Εικόνα 204 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses

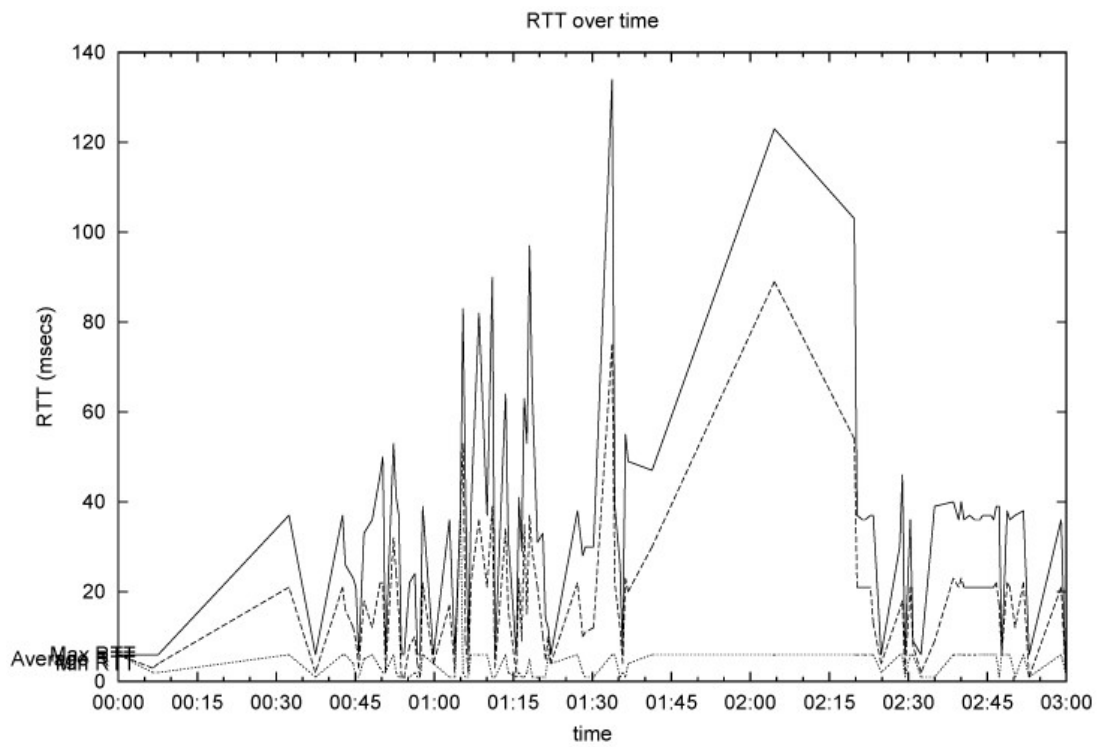
User4



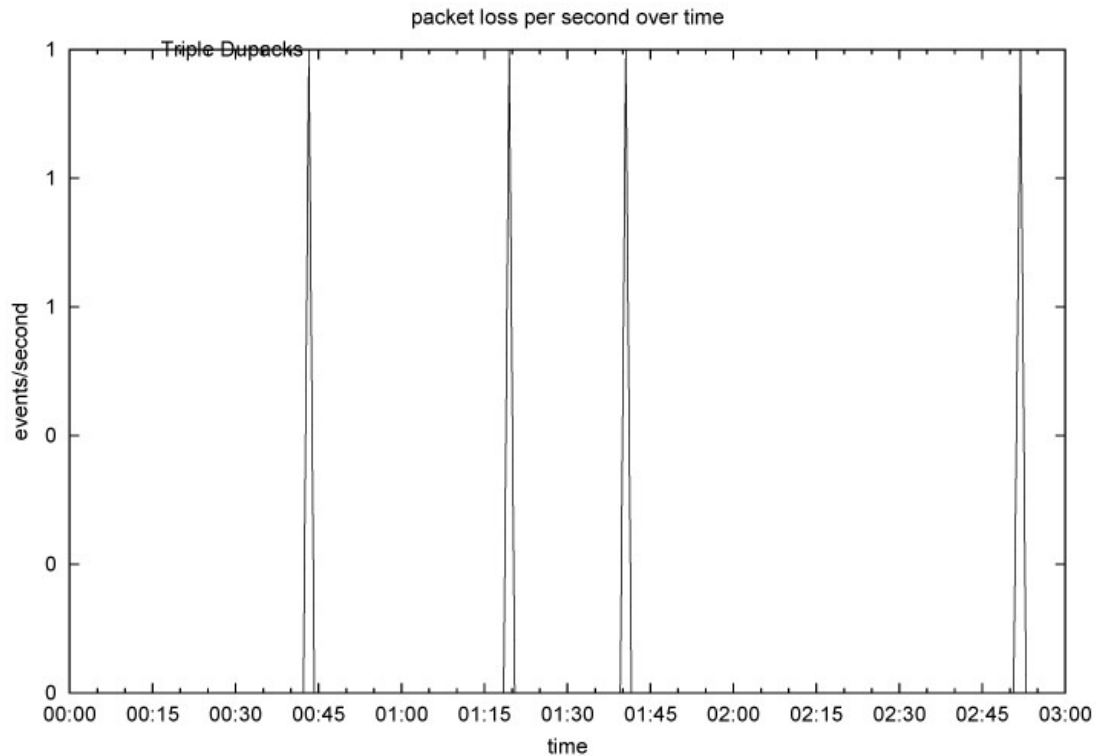
Εικόνα 205 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 206 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)



Εικόνα 207 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

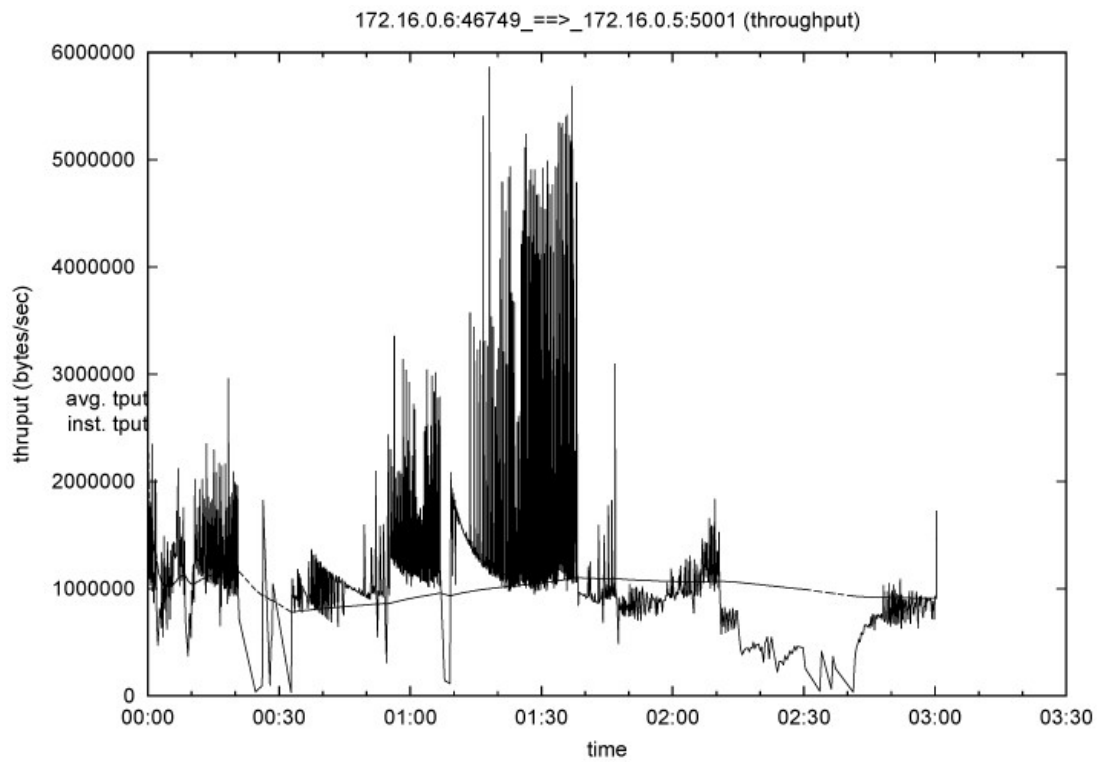


Εικόνα 208 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

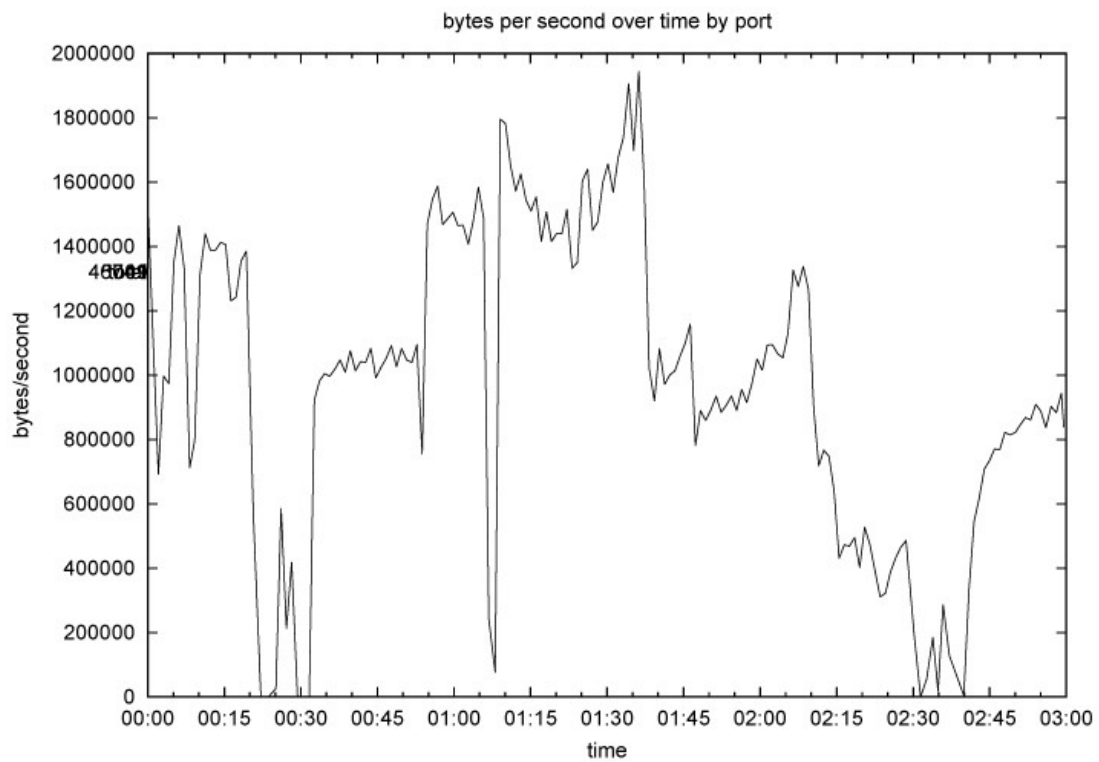
Σε αυτό το στάδιο της επικοινωνίας μεταξύ πέντε χρηστών έχουμε πάρει ενδεικτικά τους χρήστες 1, 3 και 4. Αρχικά βάση των γραφικών τους που αναπαρίστανται παραπάνω το throughput σε γενικές γραμμές έχει μια σταθερή πορεία, παρατηρείται πως σε περιόδους που ελάχιστα αυξάνεται το throughput κάποιου από τους χρήστες, αναλογικά πέφτει των υπολοίπων. Αυτή η μείωση – αύξηση δεν είναι μεγάλη αλλά σε κοντινές τιμές. Στις μεγάλες πτώσεις που διακρίνονται, φαίνεται πως η ίδια πτώση εμφανίζεται σε όλους τους χρήστες την ίδια στιγμή, συνεπώς είναι μια συμπεριφορά του δικτύου που κάτι μεσολαβεί εκείνη τη στιγμή, λόγω του ότι το δίκτυο είναι ασύρματο άρα και περισσότερο επιρρεπείς στις χωρικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα ο 1^{ος} χρήστης είχε το 14,27 Mbps throughput, ο 3^{ος} 16,6 Mbps και ο 4^{ος} 14,66 Mbps. Ενώ από την αναλυτική διαδικασία του πειράματος ο 5^{ος} χρήστης παρουσίασε το μεγαλύτερο throughput μεταξύ των χρηστών στα 19,23 Mbps. Ενώ σαν μέσο throughput, όλων των χρηστών κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασία των πέντε, πήραμε 16 Mbps. Υπήρξαν καθυστερήσεις μέχρι τα πακέτα να φθάσουν στον προορισμό τους και να ληφθεί η επιβεβαίωση τους, καθυστέρηση κυκλικής διαδρομής, και αυτή ήταν ο μέσος όρος της μεταξύ όλων 0,94 msec, στα 0,8 και 0,9 msec κινούνται όλοι οι χρήστες με εξαίρεση τον δεύτερο που είχε μέσο όρο καθυστέρησης 1,2 msec. Τα αποτελέσματα αυτά μας δείχνουν ένα δίκτυο με σχετικά σταθερή συμπεριφορά. Υπήρξαν χαμένα πακέτα και ο μέσος όρος και των πέντε ήταν 5 πακέτα.

✓ **TCP** επικοινωνία με δέκα χρήστες.

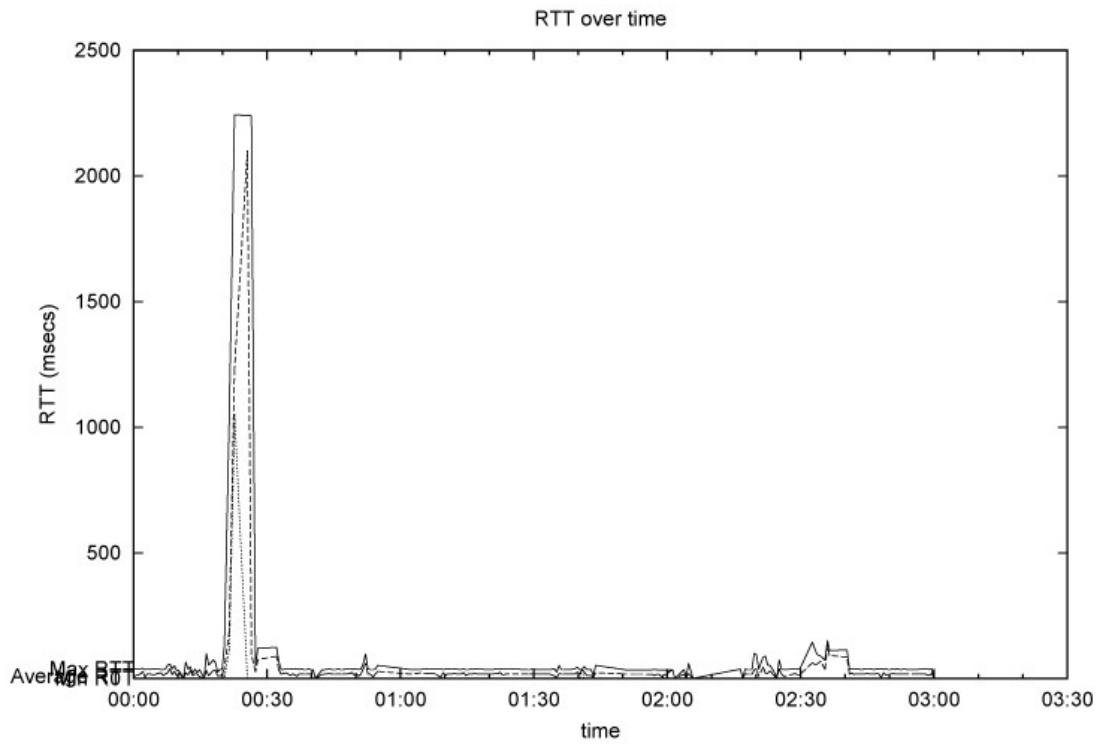
User 1



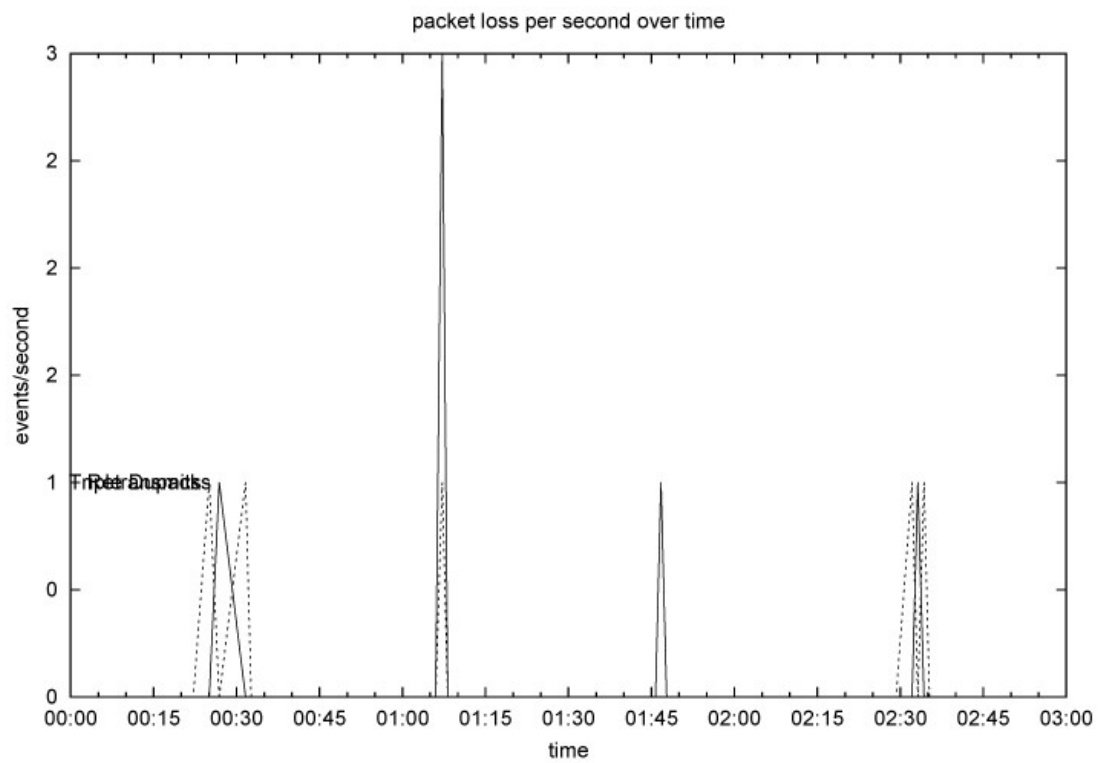
Εικόνα 209 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 210 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

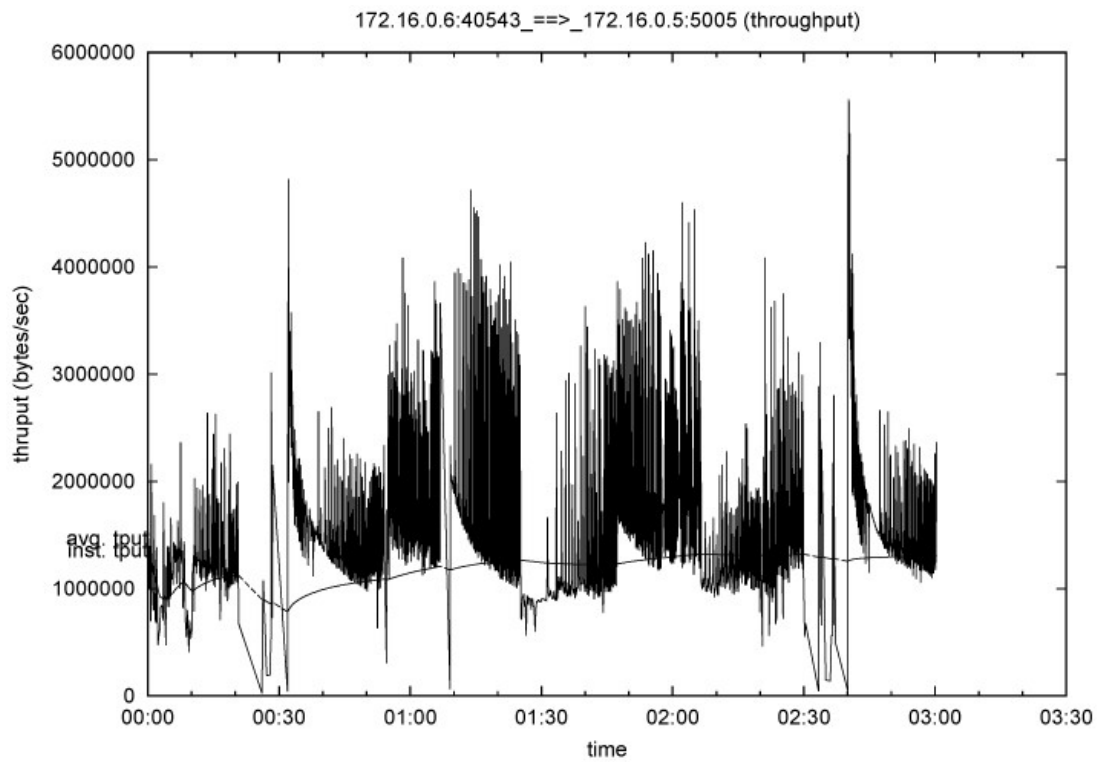


Εικόνα 211 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

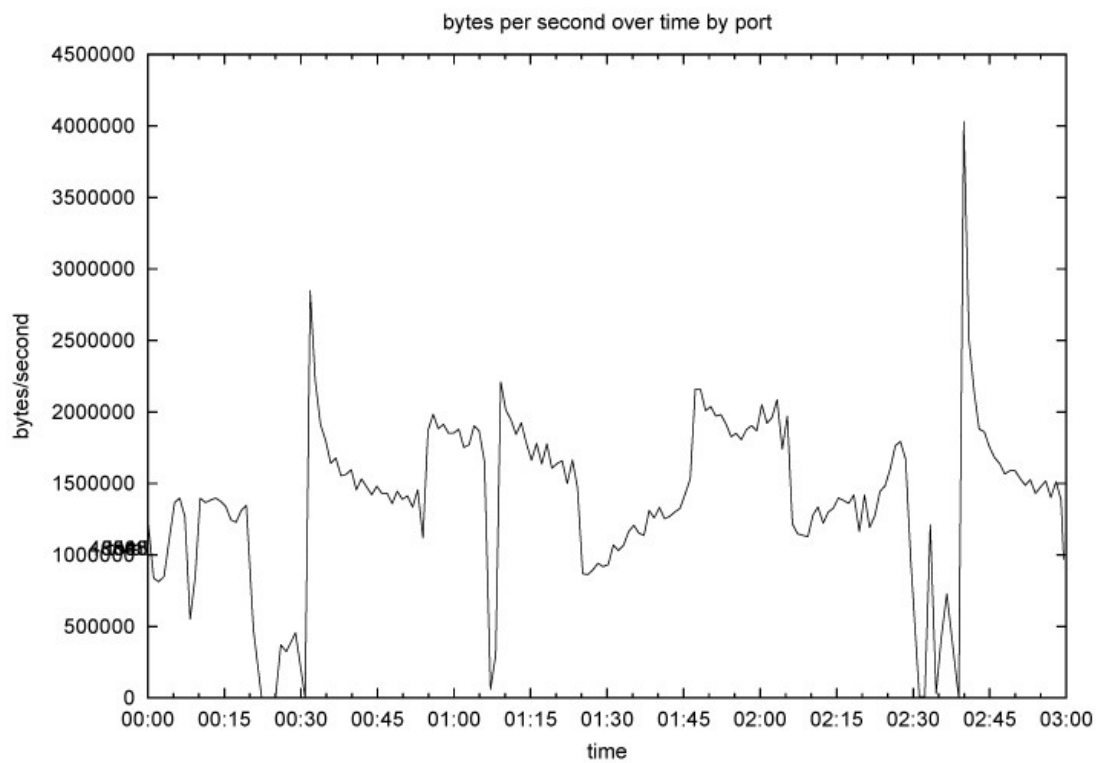


Εικόνα 212 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

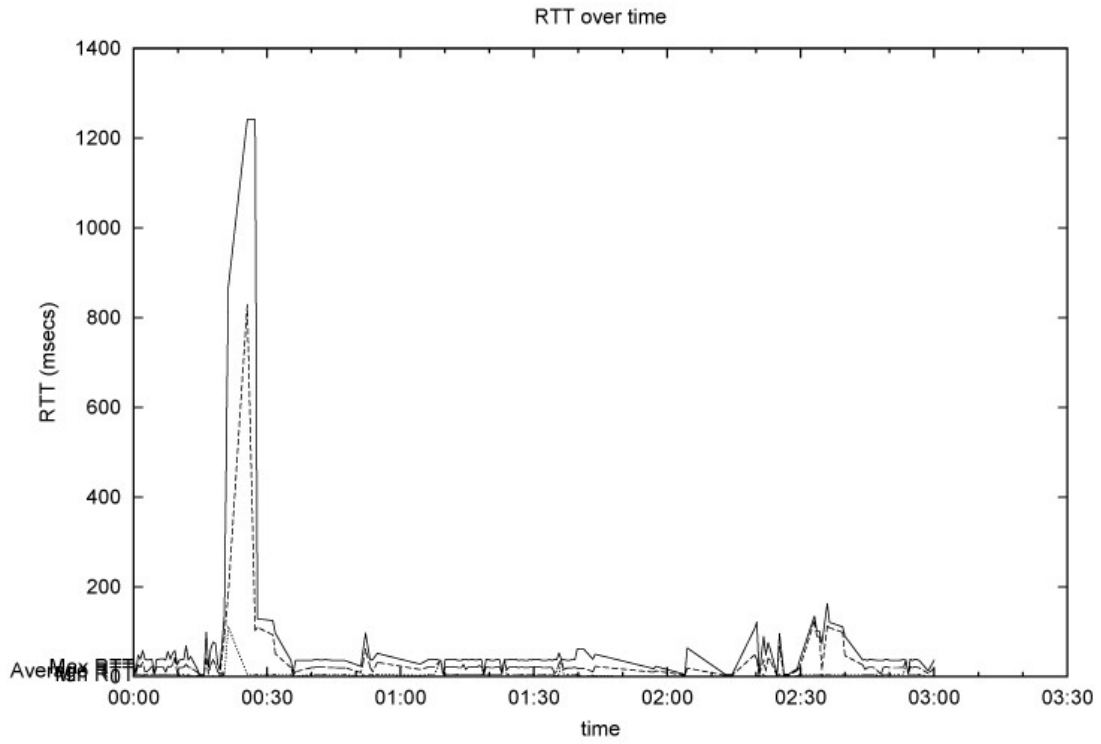
User5



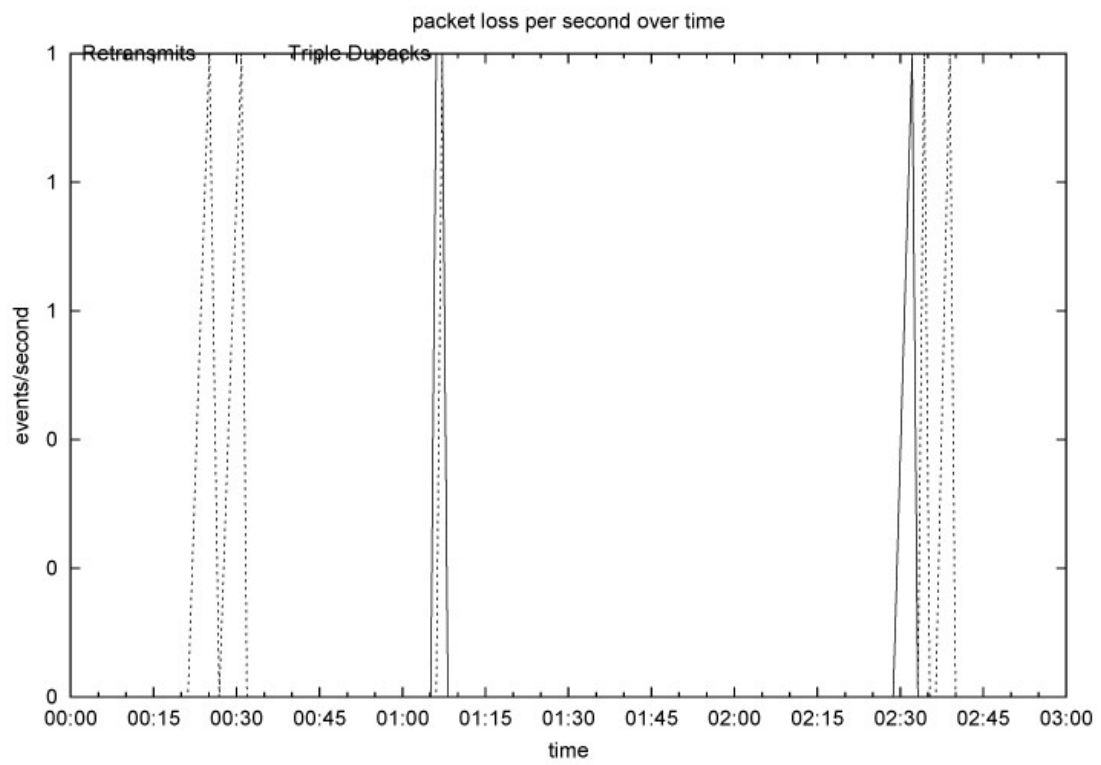
Εικόνα 213 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 214 Γραφική Παράσταση του throughput (time)

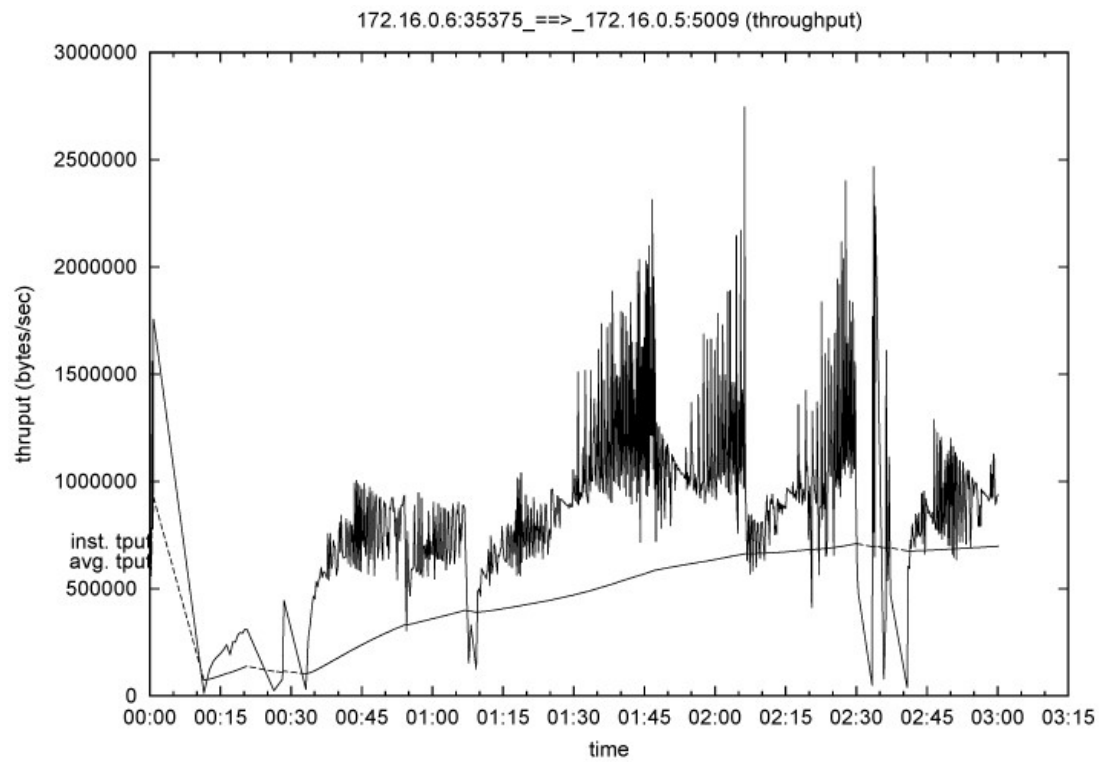


Εικόνα 215 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

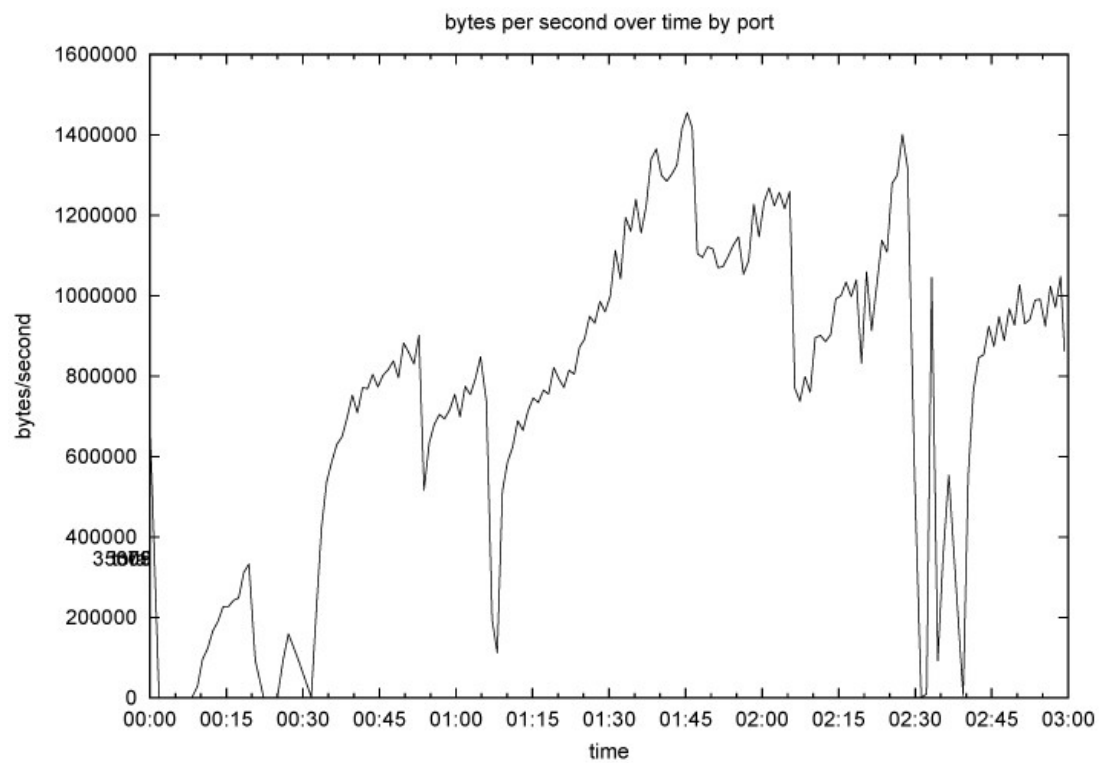


Εικόνα 216 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

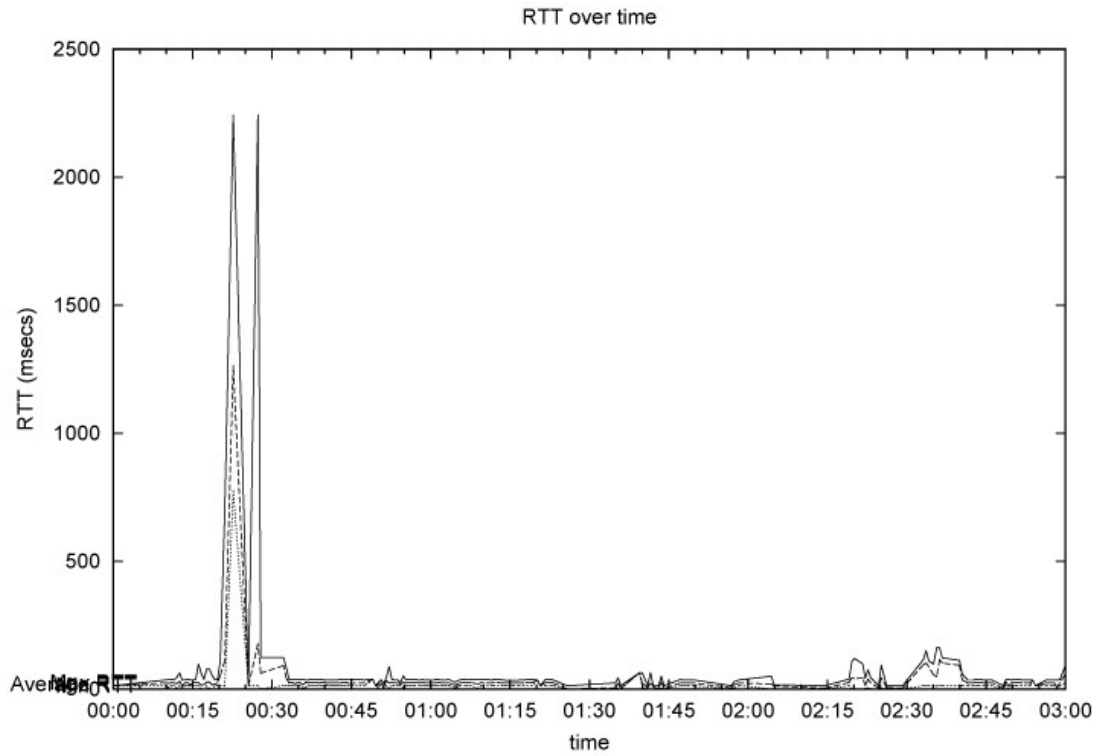
User9



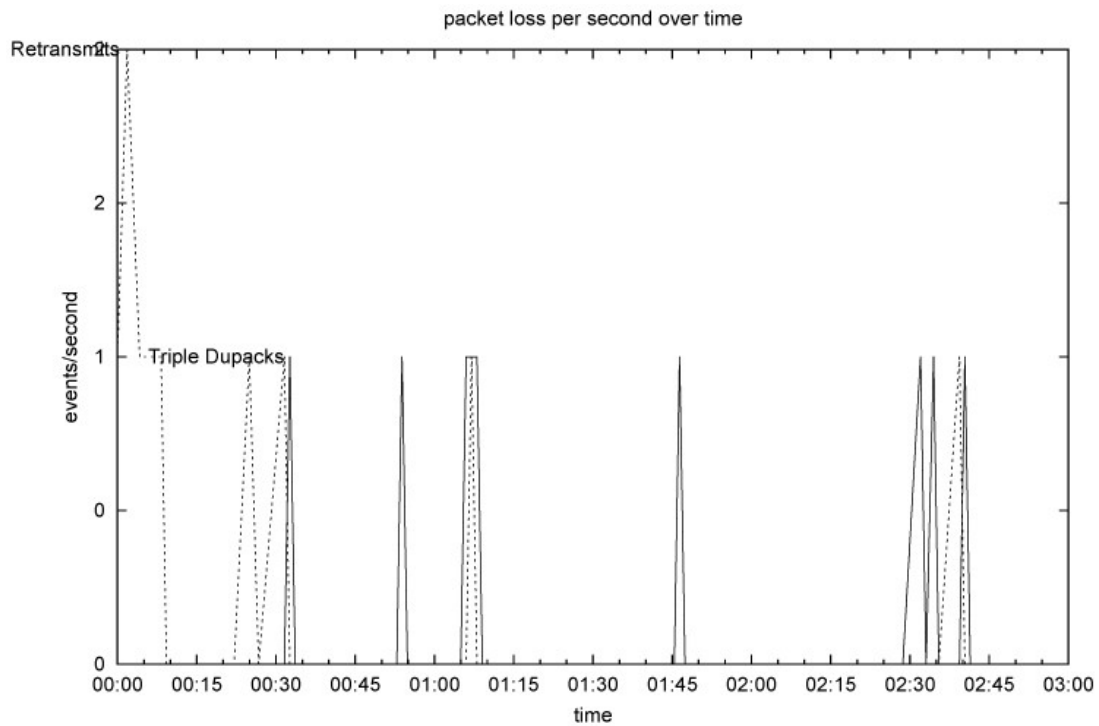
Εικόνα 217 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 218 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)



Εικόνα 219 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)



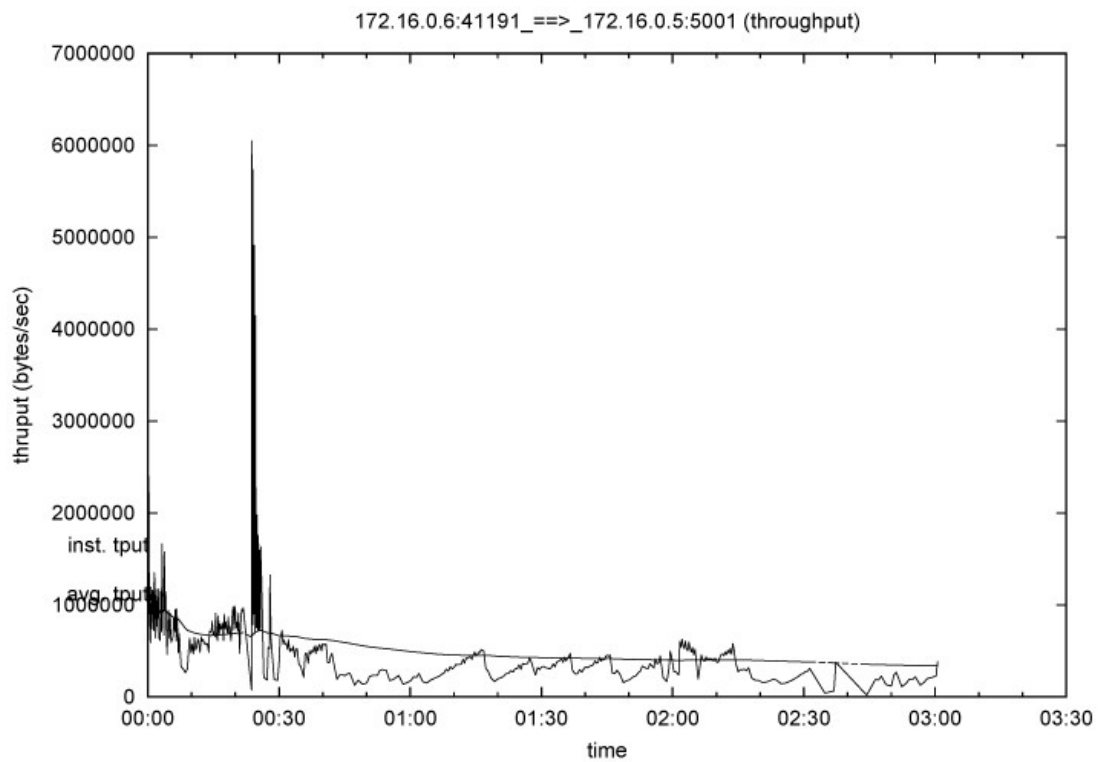
Εικόνα 220 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

Σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις λιγότερων χρηστών, σε αυτές τις γραφικές φαίνεται πως η χρήση του δικτύου των χρηστών πλέον δεν είναι σταθερή, τόσο όσο προηγουμένως. Υπάρχουν αρκετές και απότομες πτώσεις και άρσεις του throughput στο πέρας της διαδικασίας αποστολής – λήψης μέσα στο χρόνο των τριών λεπτών. Πάλι όμως οι χρήστες κινούνται σε κοντινό ποσοστό χρησιμοποίησης του δικτύου και επιτυχημένων

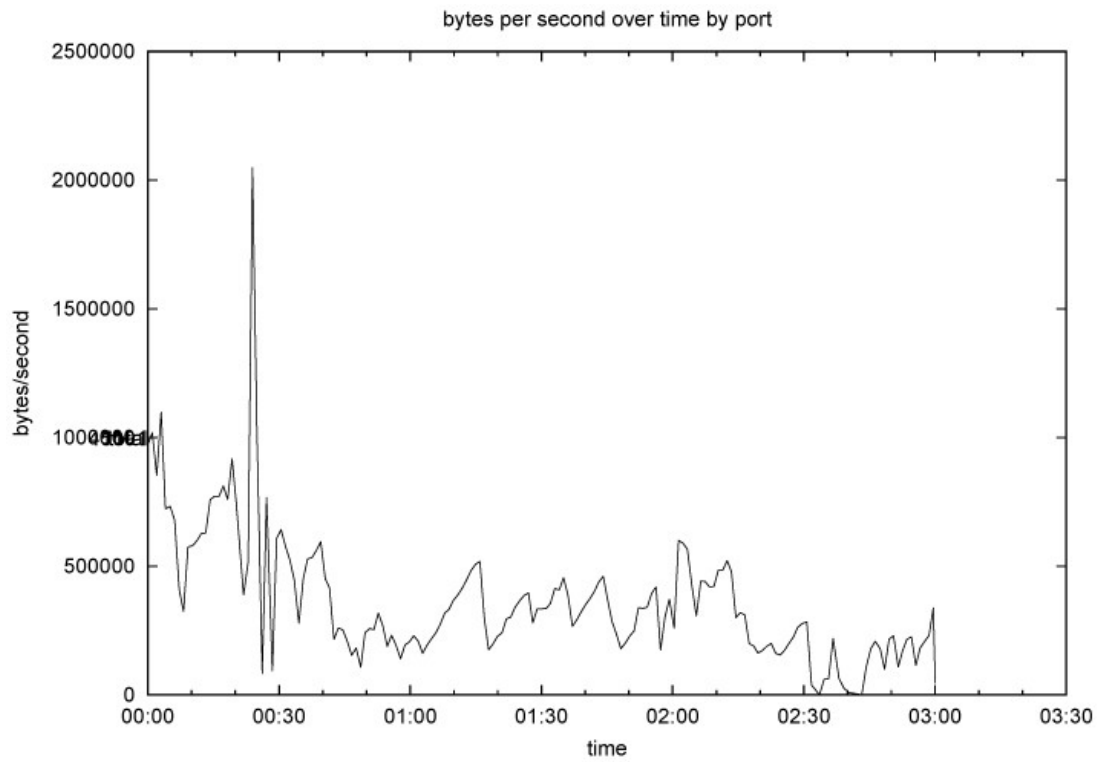
αποστολών. Το μέσο throughput λοιπόν είναι 7,11 Mbps. Υπήρξαν αραιετές, σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις, απώλειες του ποσού των 8 πακέτων. Και η μέση καθυστέρηση κυκλικής διαδρομής ήταν 2,49 msec. Η καθυστέρηση φαίνεται βάση των γραφικών πως προσθέεται τη στιγμή που υπάρχει η μεγάλη πτώση του throughput. Την υπόλοιπη διάρκεια η καθυστέρηση εξαλείφεται.

✓ **TCP Επικοινωνία με 30 χρήστες.**

User1



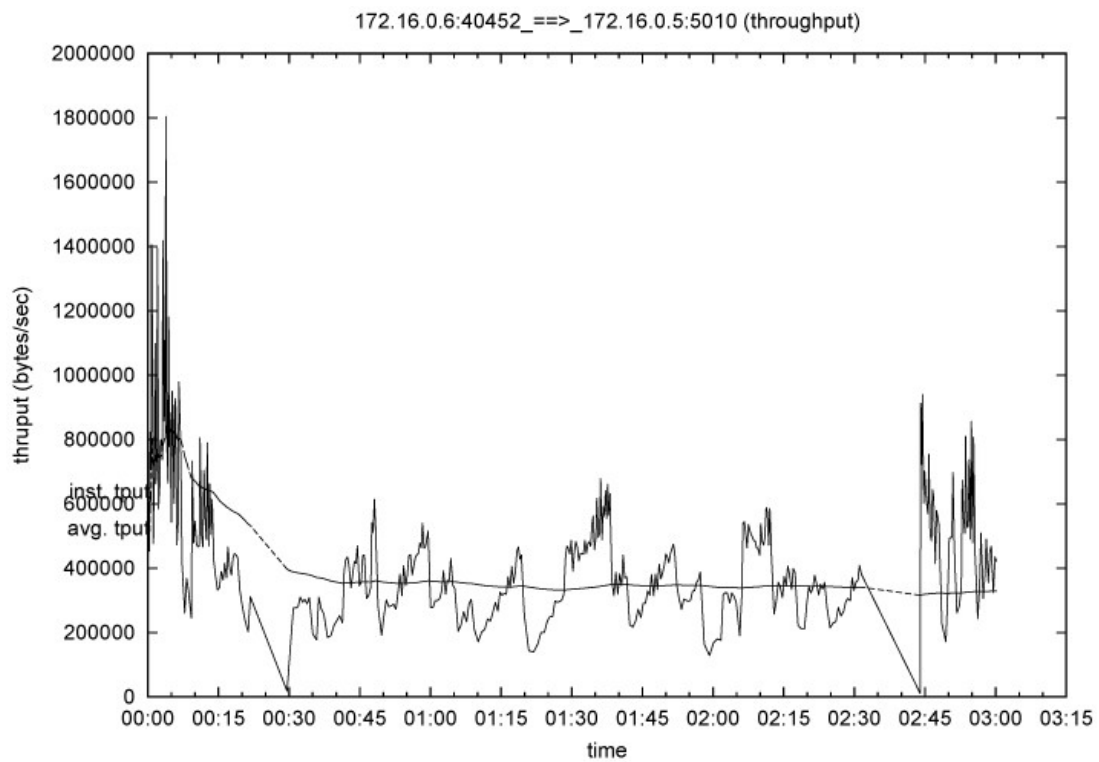
Εικόνα 221 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



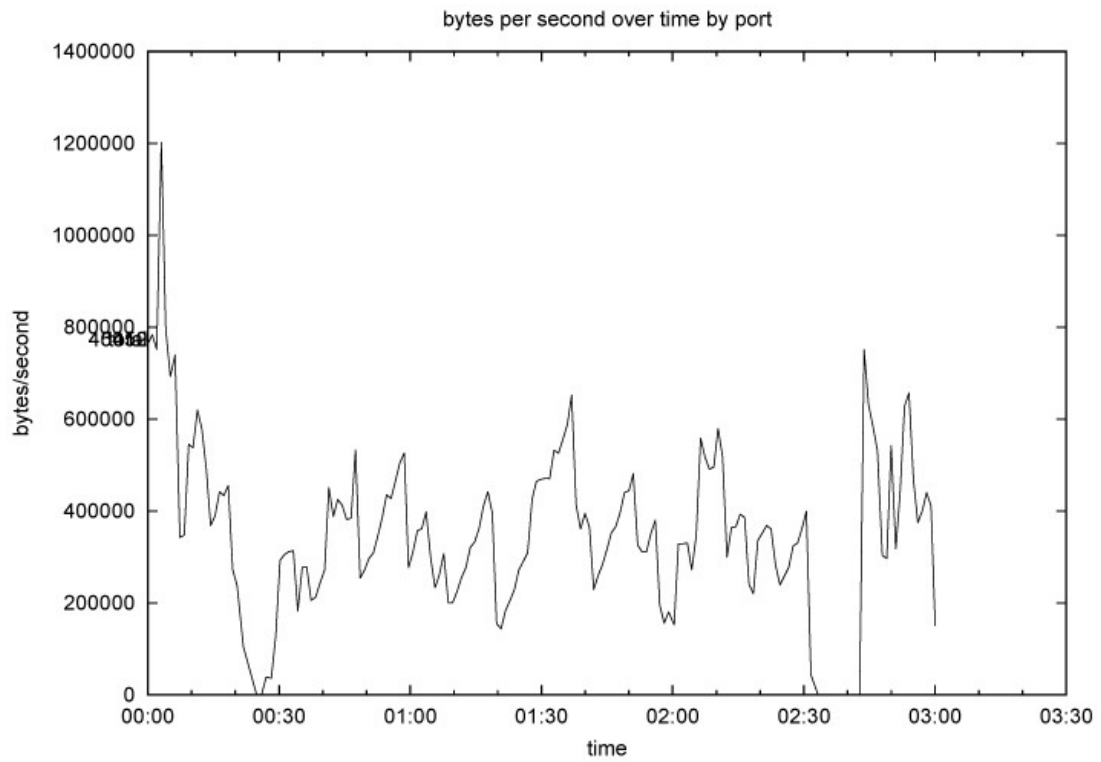
Εικόνα 222 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

User10

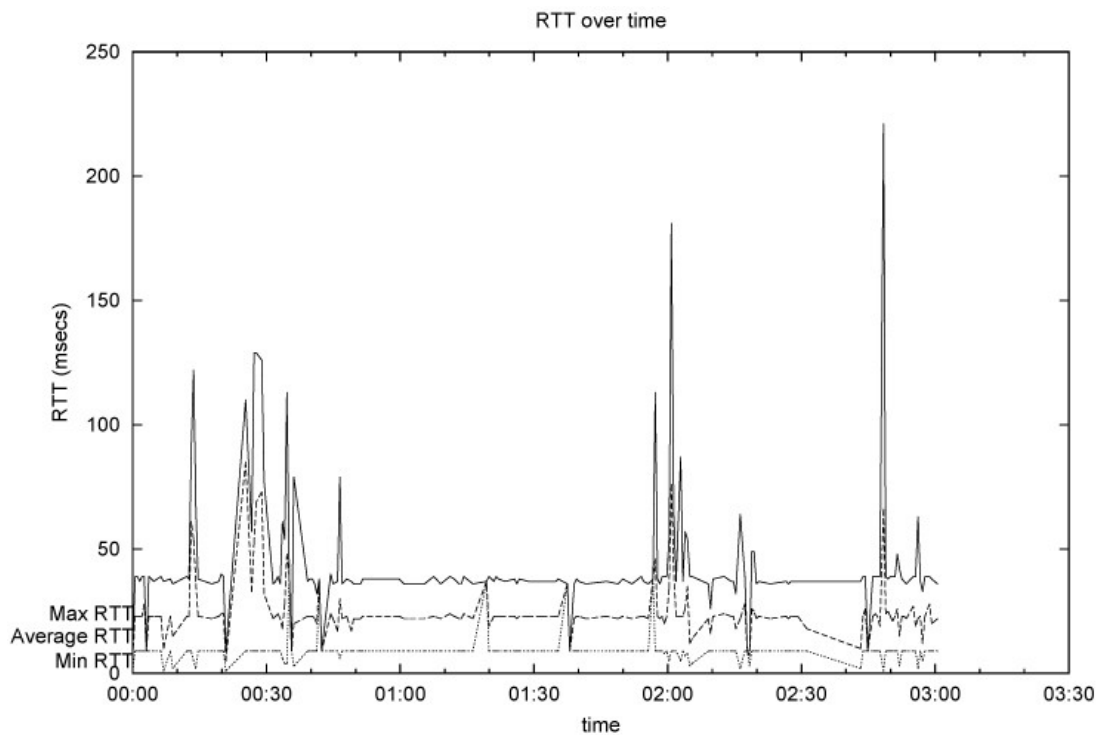
Μη μηδενικό RTT και απαντητικά μηνύματα από τον Server έχω μέχρι τον 10^ο χρήστη.



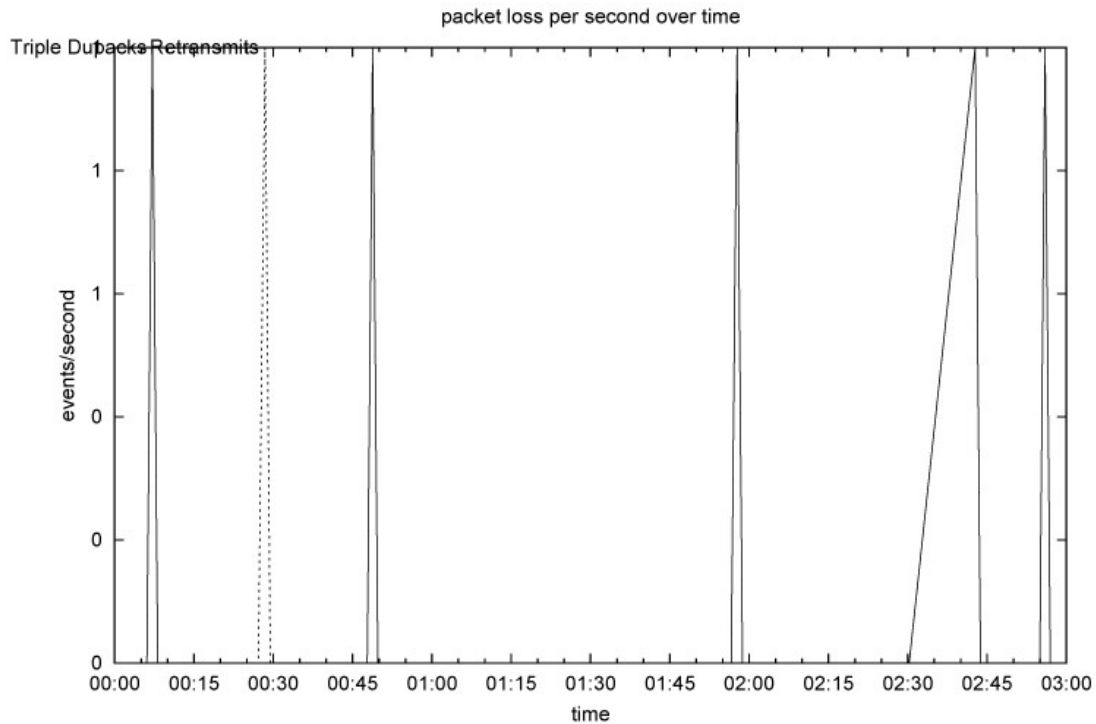
Εικόνα 223 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 224 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)



Εικόνα 225 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)



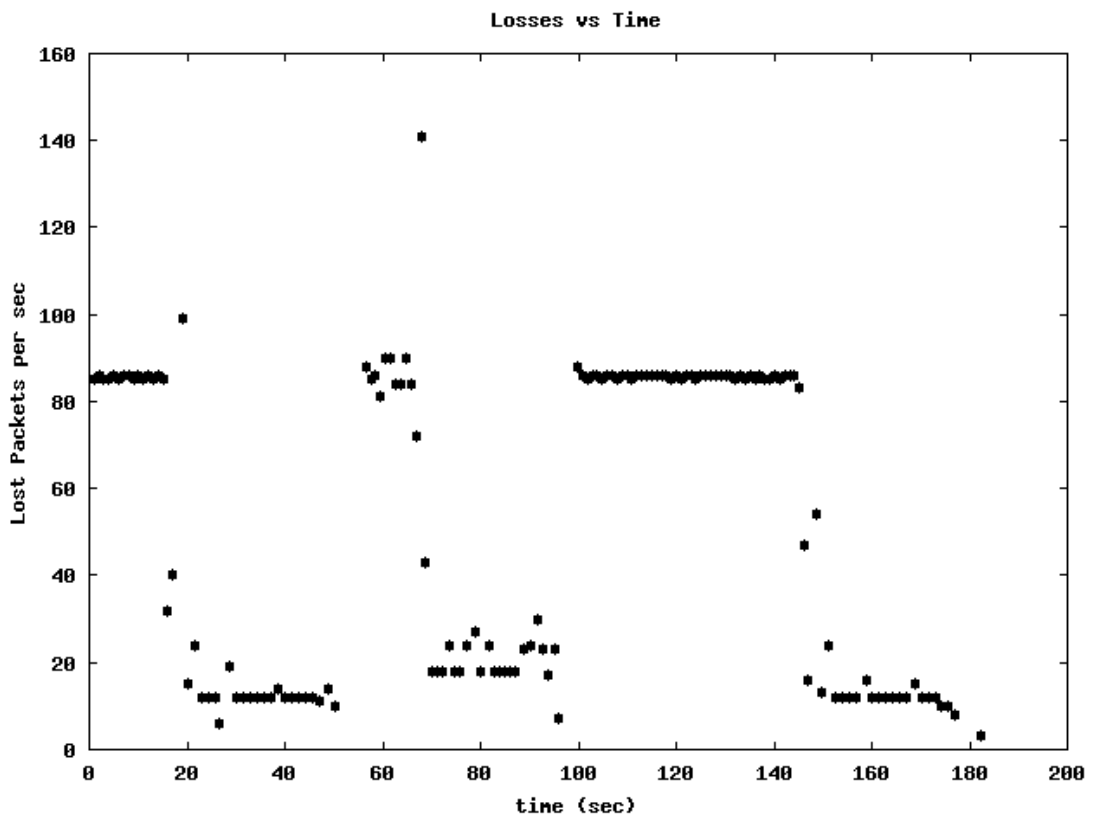
Εικόνα 226 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

Στην επικοινωνία των τριάντα χρηστών παρατηρήθηκε πως ενώ συμμετείχαν όλοι οι χρήστες, αυτοί που έλαβαν απαντητικά μηνύματα από τον εξυπηρετητή ήταν αυτοί μέχρι τον 11°. Φυσικά λόγω πολυάριθμων χρηστών οι αυξομειώσεις του throughput είναι πολλές και συνεχόμενες, και ο μέσος όρος του σε αυτή τη φάση ήταν 2,34 Mbps. Η μεγαλύτερη απόδοση που εμφανίστηκε ήταν στη τιμή 3,1 Mbps ενώ η μικρότερη ήταν 1,6 Mbps. Συνεχίζοντας η κυκλική καθυστέρηση που πήραμε βάση της ανάλυσης για όλους τους χρήστες είναι 2,8 msec, αλλά τα πακέτα που χάθηκαν σε αυτή τη φάση και σε σύγκριση, με την προηγούμενη περίπτωση που είδαμε, είναι 3 πακέτα. Αλλά αυτά τα αποτελέσματα της καθυστέρησης και των απωλειών αφορούν μόνο τους ένδεκα πρώτους χρήστες καθώς οι υπόλοιποι παρ' ότι ήταν σε κίνηση δεν έλαβαν απαντήσεις.

5.2.2. Μέρος 2°

Στο δεύτερο μέρος αυτού του σεναρίου πραγματοποιήθηκε ασύγχρονη επικοινωνία UDP. Σε αυτό το σενάριο υπενθυμίζεται πως η επικοινωνία πραγματοποιείται σε απομακρυσμένη απόσταση μεταξύ εξυπηρετητή και χρηστών. Ο Server Provider παίρνει IP και στέλνει πακέτα στις διευθύνσεις που του δίνονται σαν ενεργοί χρήστες. Ο Server κατά τη διάρκεια αυτού του τύπου επικοινωνίας δεν λαμβάνει acknowledgement μηνύματα, δηλαδή μηνύματα επιβεβαίωσης. Τα πακέτα που στέλνονται αυθαιρέτα και είναι ορισμένα στα 1.024 bytes, με τυχαίο περιεχόμενο. Ο χρόνος προσομοίωσης του κάθε τύπου επικοινωνίας έχει ρυθμιστεί στα 180 seconds.

✓ **UDP επικοινωνία με έναν χρήστη.**

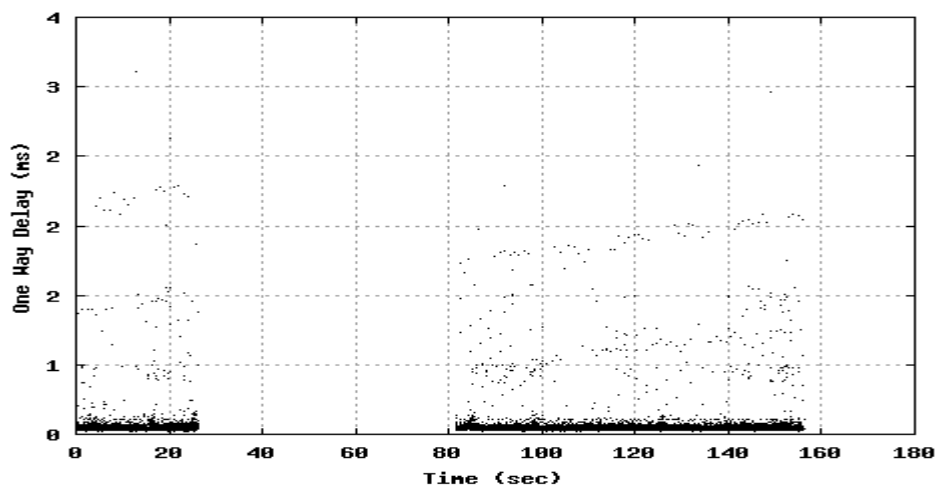


Εικόνα 227 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

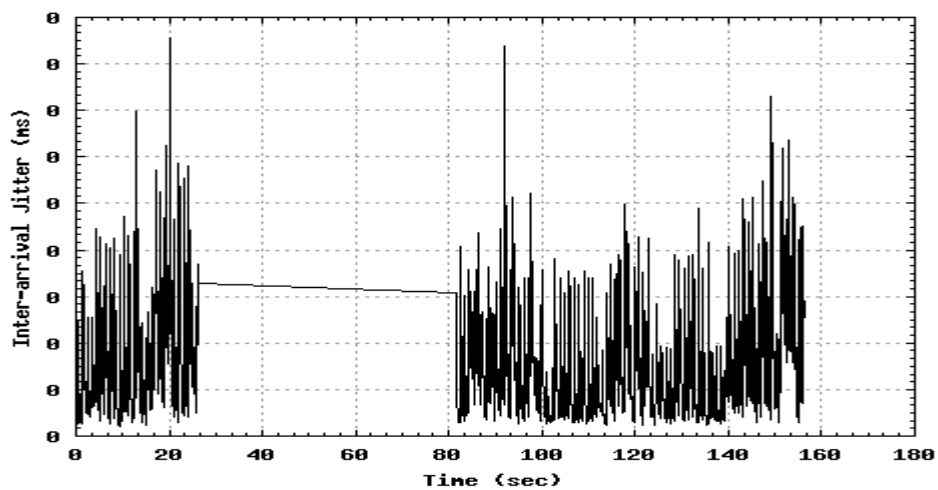
Έχοντας υλοποιήσει σε αυτό το μέρος του πειράματος την ασύγχρονη επικοινωνία και σε μακρινή απόσταση μεταξύ του πελάτη και του εξυπηρετητή η μόνη γραφική που μπορούμε να αποτυπώσουμε είναι αυτή των απωλειών. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων πήραμε το ποσοστό των απωλειών 100%, κάτι το οποίο σημαίνει πως στην ουσία δεν πραγματοποιήθηκε επικοινωνία. Αυτό επαληθεύεται και από την ανάλυση της καθυστέρησης (One Way Delay) και του Smooth Jitter, τα οποία είναι μηδενικά. Αναλύοντας λοιπόν τη γραφική των απωλειών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, μέχρι το 0'' - 20'' (δευτερόλεπτο) και 100'' - 140'' σημειώθηκαν 90% απώλειες, και στη συνέχεια στην υπόλοιπη διάρκεια της προσομοίωσης έχουμε λιγότερες απώλειες του ύψους 10 - 20%. Όλα αυτά τα αποτελέσματα μας αποδεικνύουν πως η επικοινωνία σε αυτό το στάδιο ήταν εξ' ολοκλήρου ανεπιτυχής. Ο εξυπηρετητής εξακολουθούσε να στέλνει πακέτα κατά όλη τη διάρκεια των 180'', αλλά αναλύοντας τις αναλύσεις της πλευράς του χρήστη, αυτός προφανώς δεν έλαβε τίποτα.

✓ UDP επικοινωνία με δύο χρήστες.

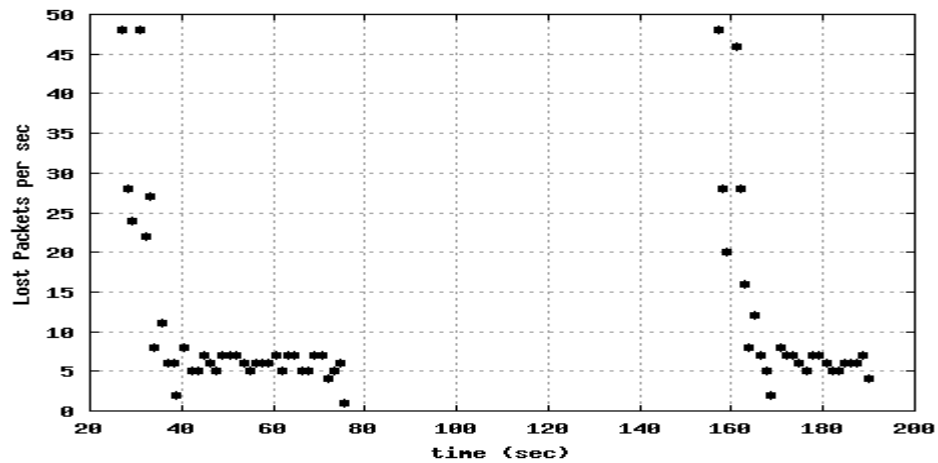
User 1



Εικόνα 228 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

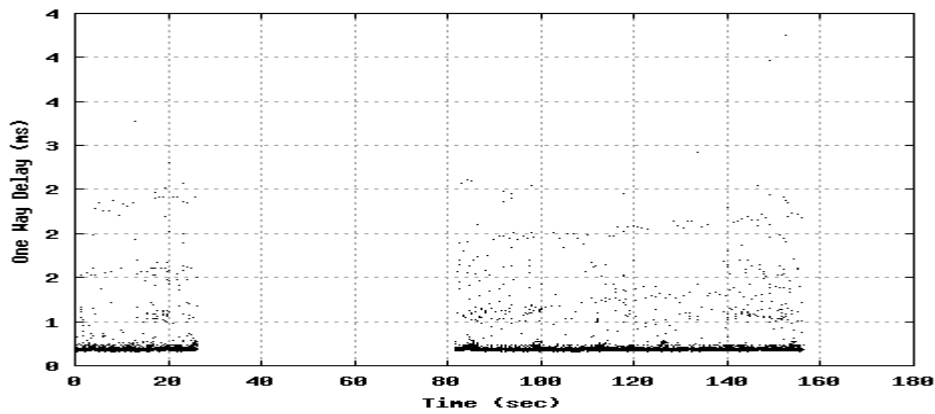


Εικόνα 229 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

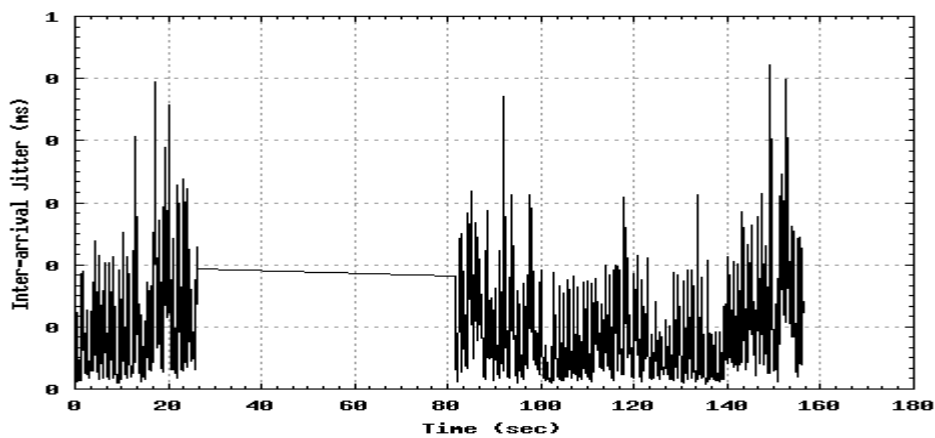


Εικόνα 230 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

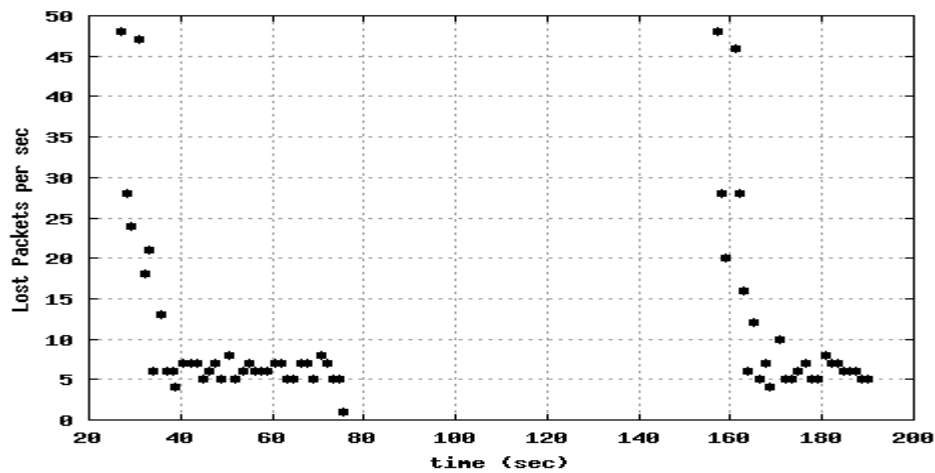
User2



Εικόνα 231 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 232 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter



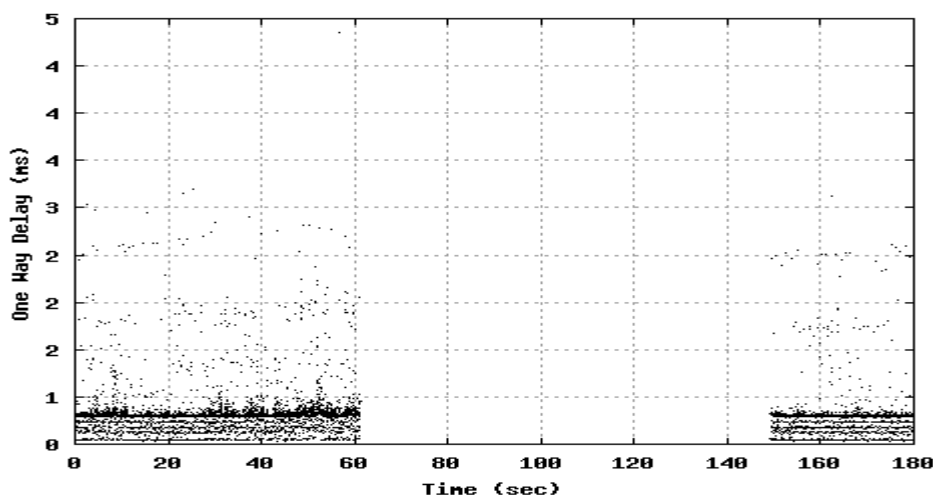
Εικόνα 233 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

Στον ίδιο τύπο επικοινωνίας έχουμε δύο πλέον χρήστες, ξεκινώντας από τις παραπάνω γραφικές, παρατηρείται έντονη κίνηση στη διάρκεια της προσομοίωσης των 180". Πιο συγκεκριμένα στις γραφικές και των δυο χρηστών η αποστολή διακόπτεται το διάστημα από 30" ως 80", κάτι που μπορεί να οφείλεται σε κάποια παρεμβολή ή αδυναμία αποστολής του

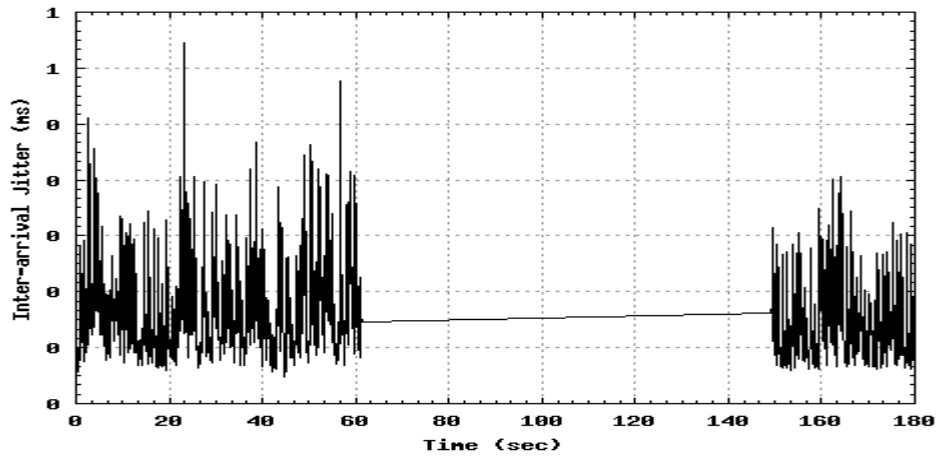
εξυπηρετητή (server). Αυτή η παύση αποστολής, αποτυπώνεται και στην γραφική των απωλειών, καθώς στην ίδια αυτή περίοδο υπάρχουν μαζικές απώλειες στο 7-8 % βάση της γραφικής. Έχοντας αποτυπώσει συμπεράσματα των γραφικών, τα οποία ταυτίζονται και για τους δύο χρήστες, από την ανάλυση έχουμε πιο συγκεκριμένα αποτελέσματα τα οποία έχουν ως εξής, η μονόδρομη καθυστέρηση One Way Delay σε μέσο όρο και για τους δύο είναι 0,65 msec και το μέσο Jitter είναι 0,08 msec. Οι τιμές αυτές είναι πολύ ικανοποιητικές καθώς οι καθυστερήσεις είναι πολύ μικρές, κάτι που σημαίνει ταχύτερη και βέλτιστη επικοινωνία και κυρίως συγκριτικά με το προηγούμενο μέρος του πειράματος σε κοντινή απόσταση και με δυο χρήστες. Αυτό αποδεικνύει μια καλή απόδοση και λειτουργία του πρωτοκόλλου ασύρματης επικοινωνίας το οποίο υλοποιούμε, αλλά και δικαιολογούνται οι λιγότερο ικανοποιητικές τιμές του προηγούμενου σεναρίου, με την προϋπόθεση ότι οι μεταδόσεις πραγματοποιήθηκαν μέσα σε χώρο εργαστηρίου με πολλές παράλληλες επικοινωνίες άλλων χρηστών σε ίδια συχνότητα αλλά παρουσιαζόταν και συχνότερη κίνηση ατόμων μέσα στον χώρο. Τέλος, ο μέσος όρος απωλειών που σημειώθηκαν είναι 7,46% την περίοδο που αναφέρθηκε και παραπάνω και από το 160” ως το τέλος την διάρκειας της προσομοίωσης, παράλληλα υπήρξαν απώλειες διάσπαρτες σε διάφορους χρόνους αλλά όχι σε μεγάλο ποσοστό ούτως ώστε να επηρεαστεί η ποιότητα της επικοινωνίας.

✓ **UDP επικοινωνία με 5 χρήστες.**

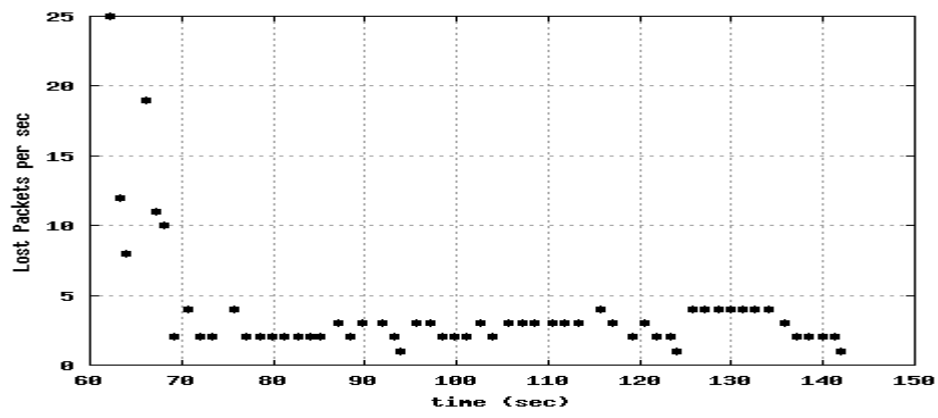
User1



Εικόνα 234 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

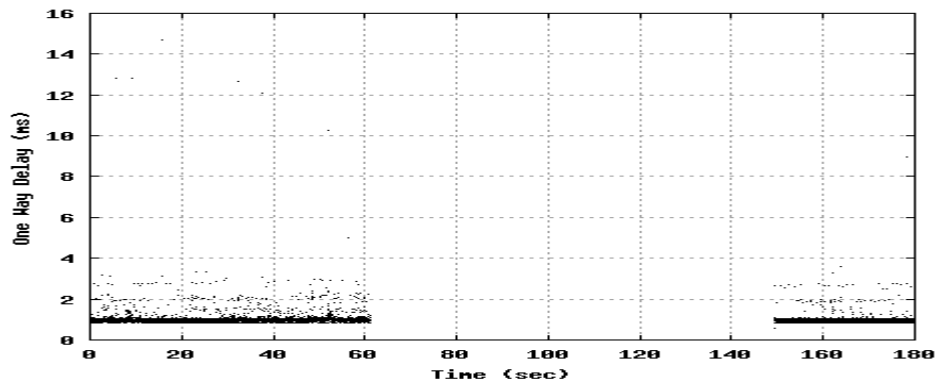


Εικόνα 235 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

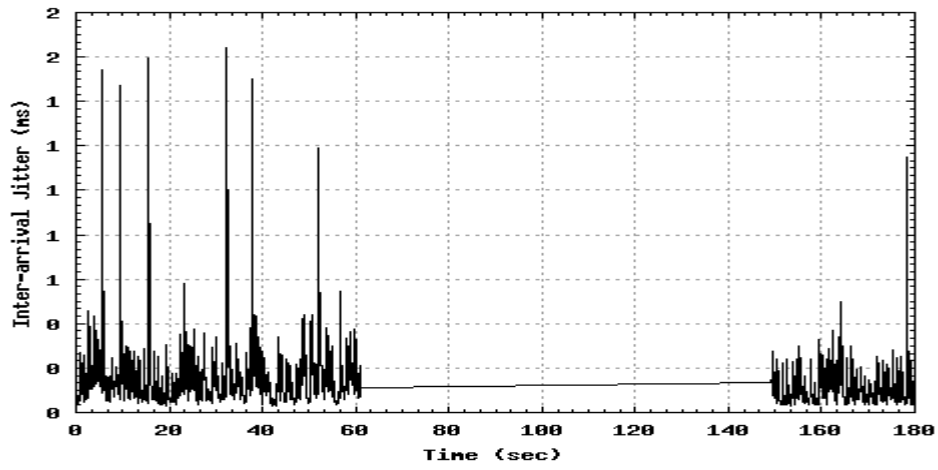


Εικόνα 236 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

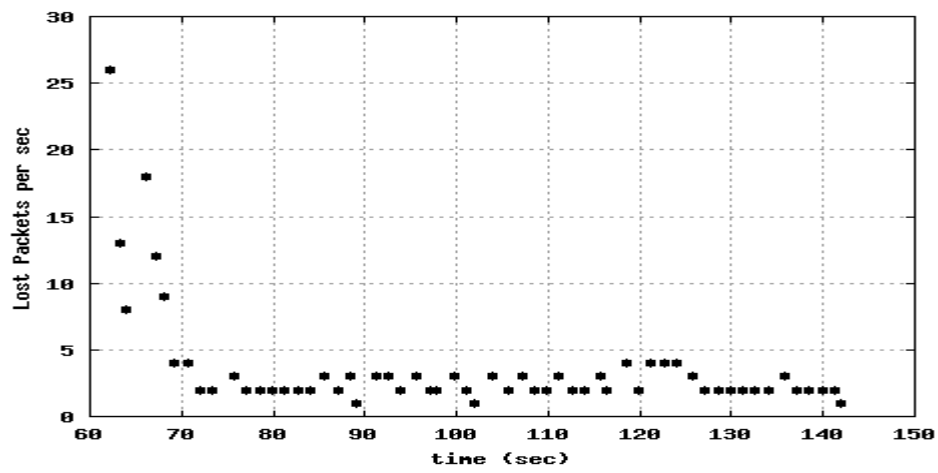
User3



Εικόνα 237 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

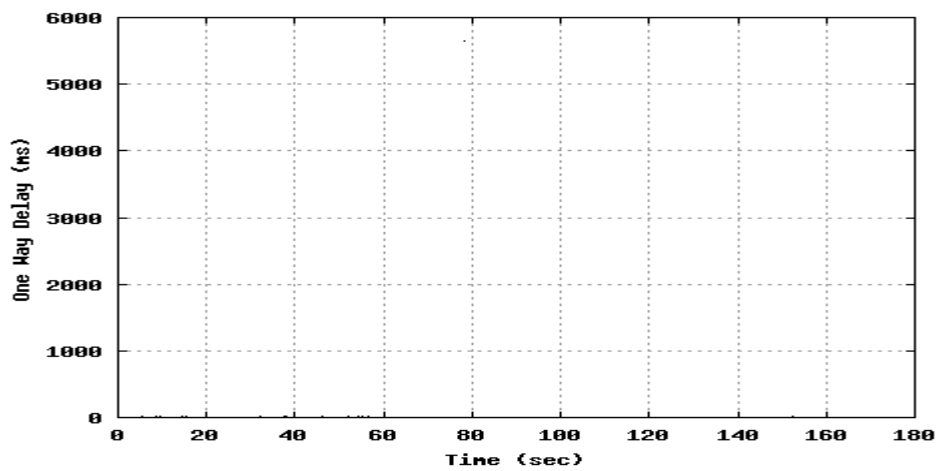


Εικόνα 238 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

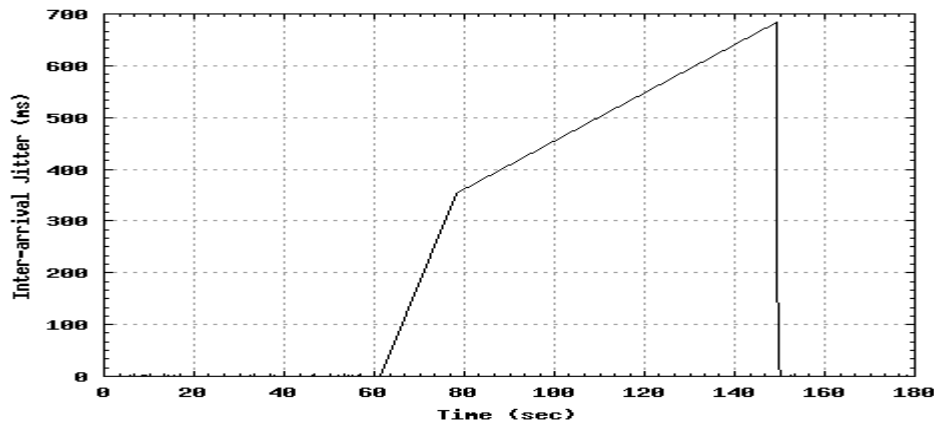


Εικόνα 239 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

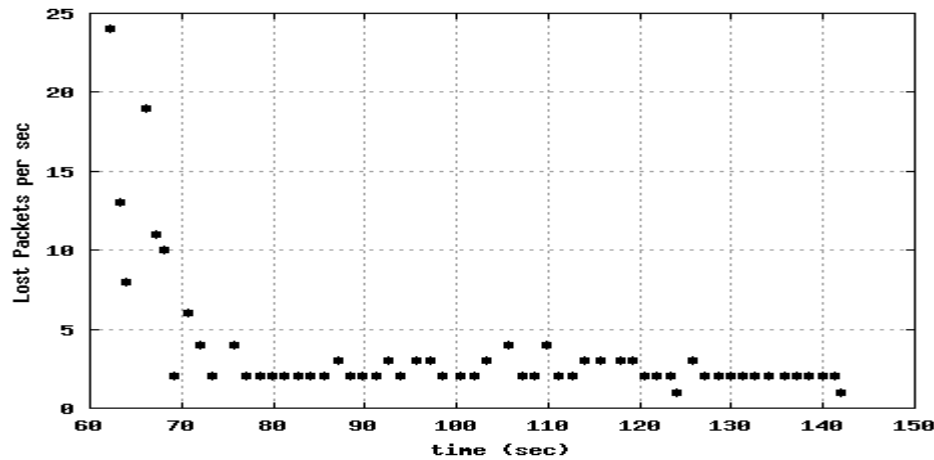
User5



Εικόνα 240 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 241 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

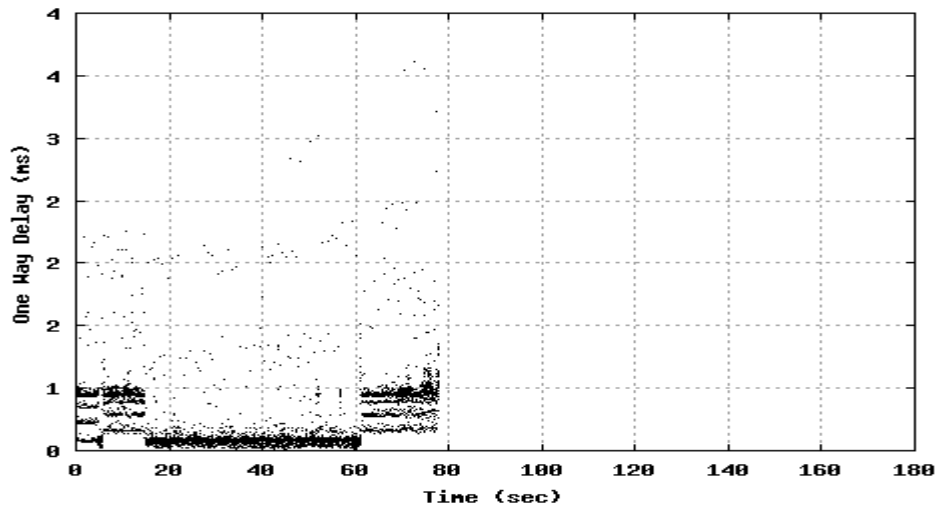


Εικόνα 242 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

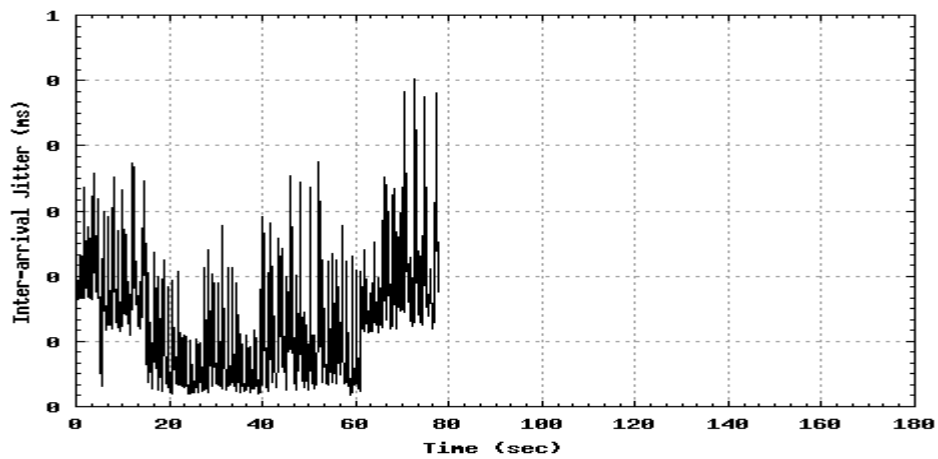
Από την απομακρυσμένη UDP επικοινωνία με πέντε χρήστες αποτυπώσαμε ενδεικτικά τρεις, τους 1, 3 και 5. Από τις γραφικές αυτών, την περίοδο 60” ως 140” δεν υπάρχει αποστολή από τον εξυπηρετητή, έτσι δεν έχουμε καθυστερήσεις σε αυτό το χρόνο άρα όχι και αποστολή/ λήψη. Αυτό συμβαίνει και για το ότι ο εξυπηρετητής δεν στέλνει συνεχόμενα πακέτα. Εφόσον η επικοινωνία που δεν υλοποιήθηκε παρουσιάζεται είναι το διάστημα που ειπώθηκε παραπάνω, τότε περιορίστηκαν και όλες οι απώλειες, αυτό μας δείχνουν οι γραφικές παραστάσεις των packet losses, οι οποίες ξεκινούν από 60” και τελειώνουν στα 150” και είναι παρόμοιες και για τους τρεις χρήστες. Επίσης σε αυτό το μέρος της επικοινωνίας με πέντε χρήστες η απόδοση του δικτύου ήταν καλή όπως και προηγουμένως με μέσο One Way Delay 1,16 msec, μέσο Jitter 0,44 msec και μέσο όρο απωλειών 2,68%.

✓ UDP επικοινωνία με 10 χρήστες.

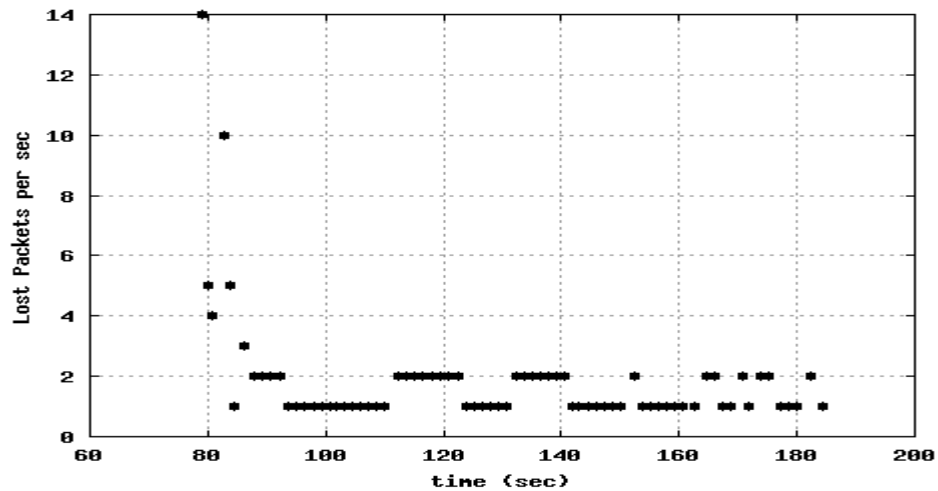
User1



Εικόνα 243 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

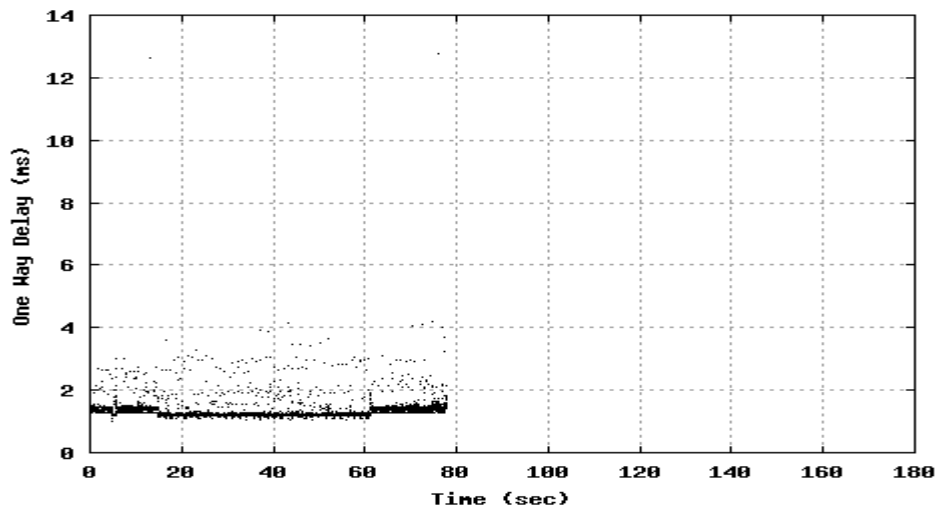


Εικόνα 244 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

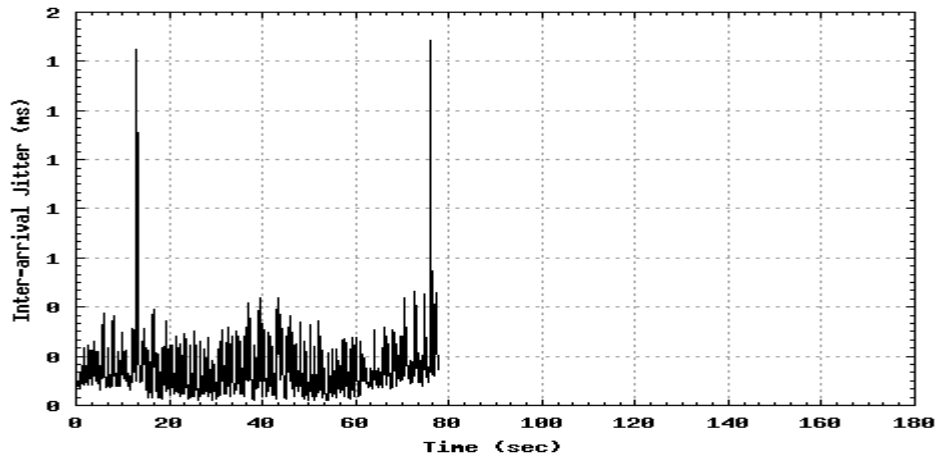


Εικόνα 245 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

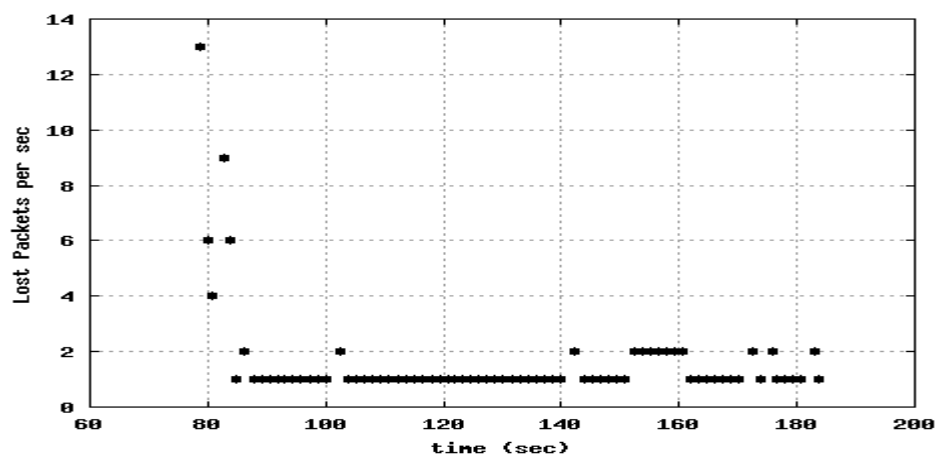
User5



Εικόνα 246 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

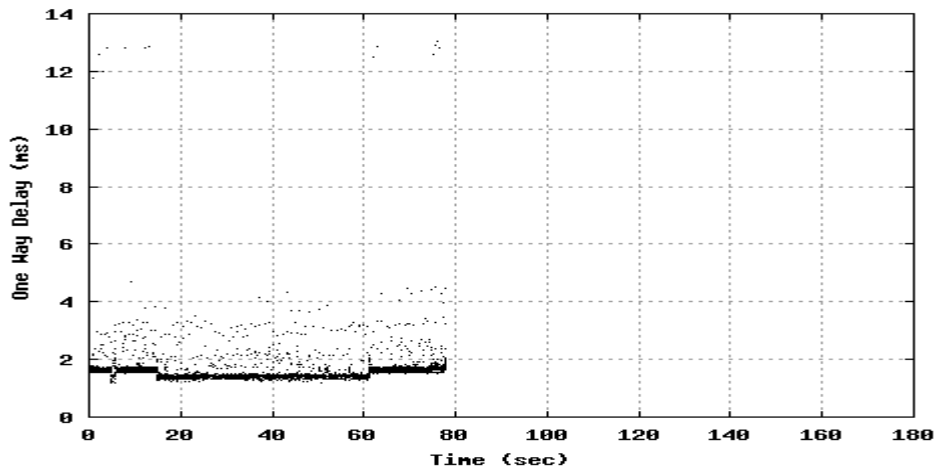


Εικόνα 247 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

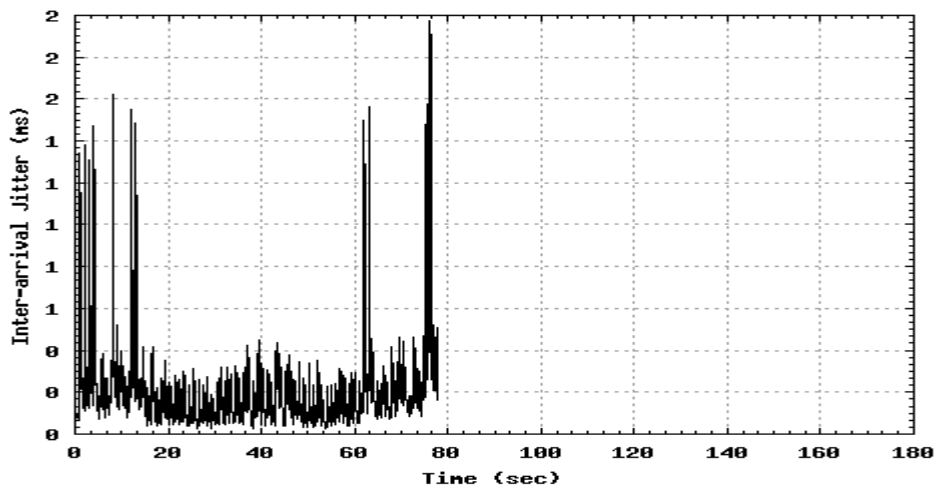


Εικόνα 248 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

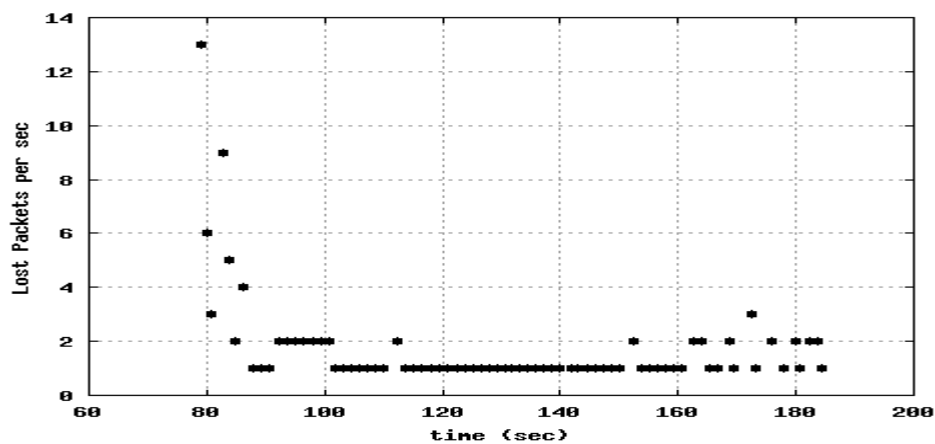
User10



Εικόνα 249 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 250 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter



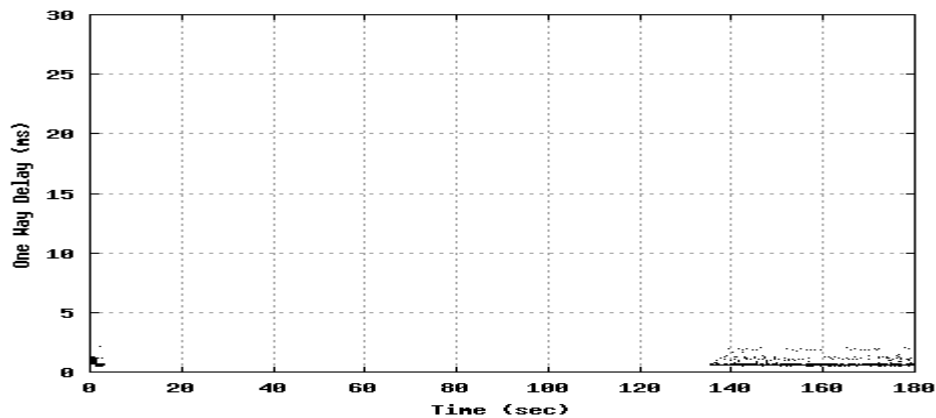
Εικόνα 251 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

Προσθέτοντας ακόμα πέντε χρήστες στο προηγούμενο μέρος, παίρνουμε από τους δέκα χρήστες της νέας UDP επικοινωνίας ενδεικτικά τρεις χρήστες, τους 1, 5 και 10. Παρατηρείται, λοιπόν, πως από την αρχή της προσομοίωσης υπήρξε επικοινωνία η οποία βελτιώθηκε στο διάστημα 20'' ως 60'' και ξαναέπεσε λίγο στο διάστημα 60'' ως και το 80''

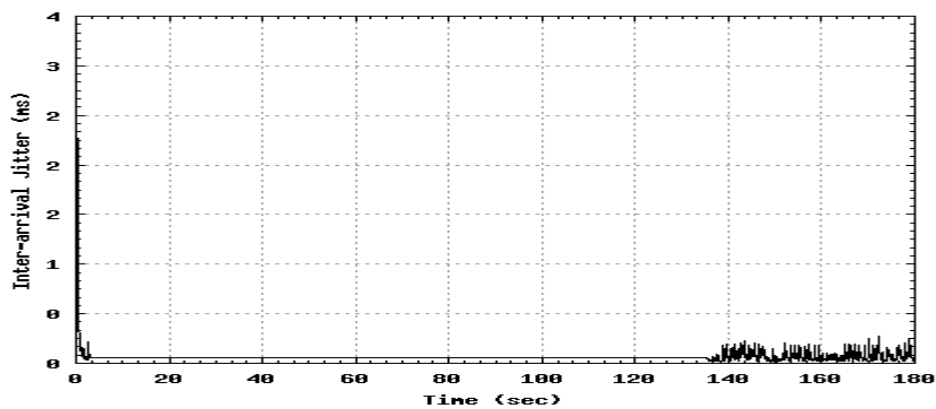
όπου και η αποστολή διακόπηκε, αφού μηδενίστηκαν οι καθυστερήσεις μέχρι το τέλος της προσομοίωσης και προστέθηκαν σαν απώλειες στις γραφικές παραστάσεις των χαμένων πακέτων. Οι καθυστερήσεις ήταν 1,21 msec, το Jitter 0,134 msec και οι απώλειες 1,86% μετά τα 80". Συγκριτικά με την κοντινή UDP επικοινωνία με τον ίδιο αριθμό χρηστών τα αποτελέσματα είναι κατά πολύ καλύτερα, αν εξαιρέσουμε τον αριθμό των απωλειών, καθώς είχαν σημειωθεί μεγάλες καθυστερήσεις με μέσο όρο 163,5 msec.

✓ **UDP επικοινωνία με 30 χρήστες.**

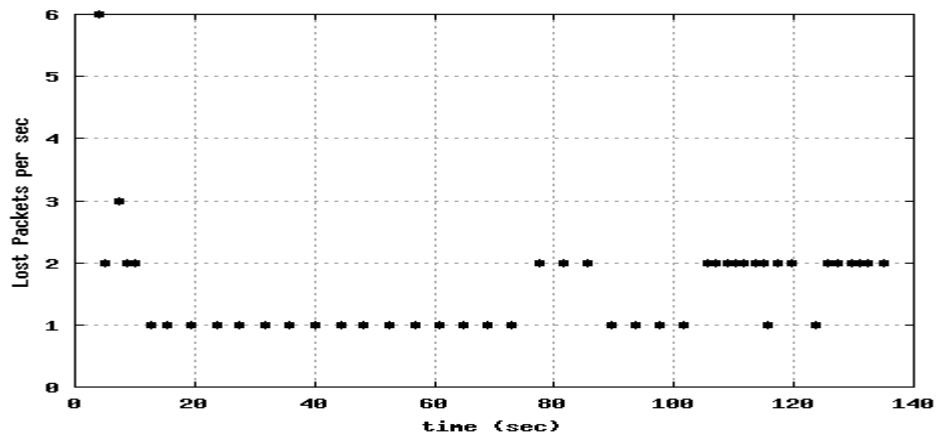
UDP1



Εικόνα 252 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

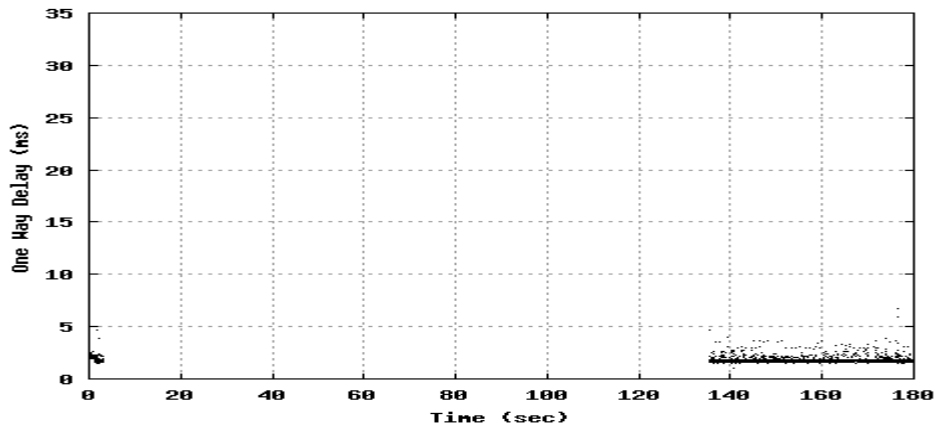


Εικόνα 253 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

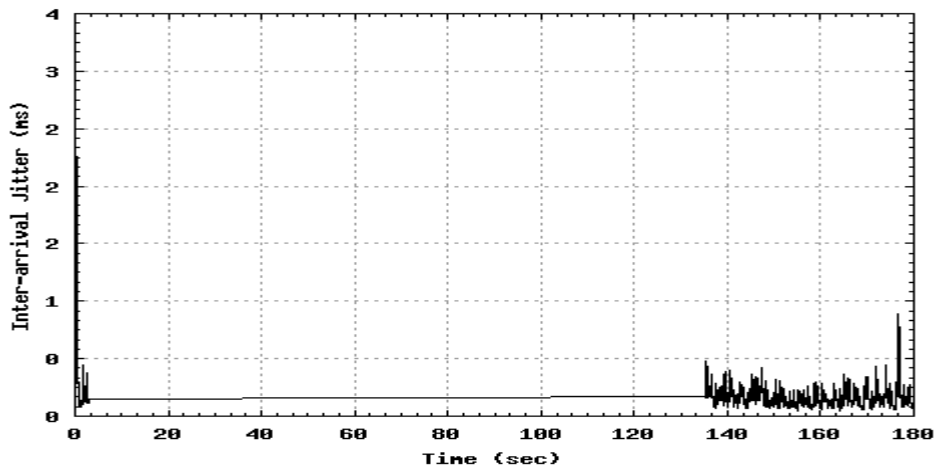


Εικόνα 254 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

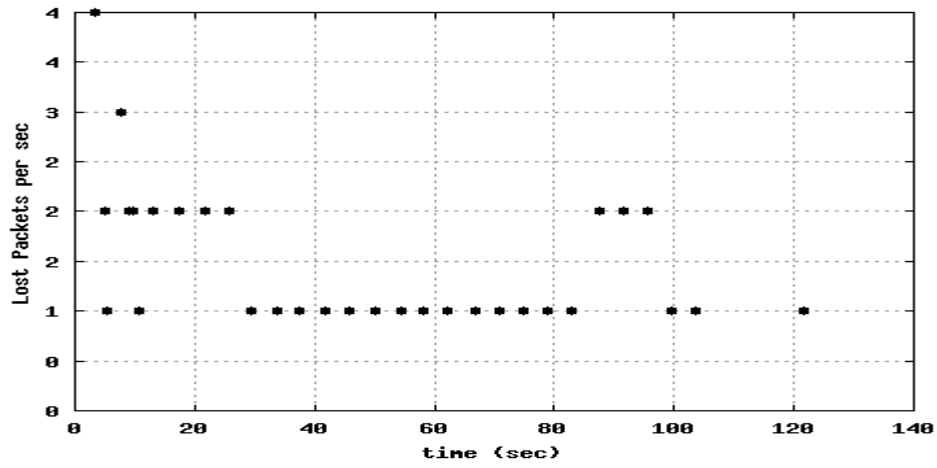
User15



Εικόνα 255 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

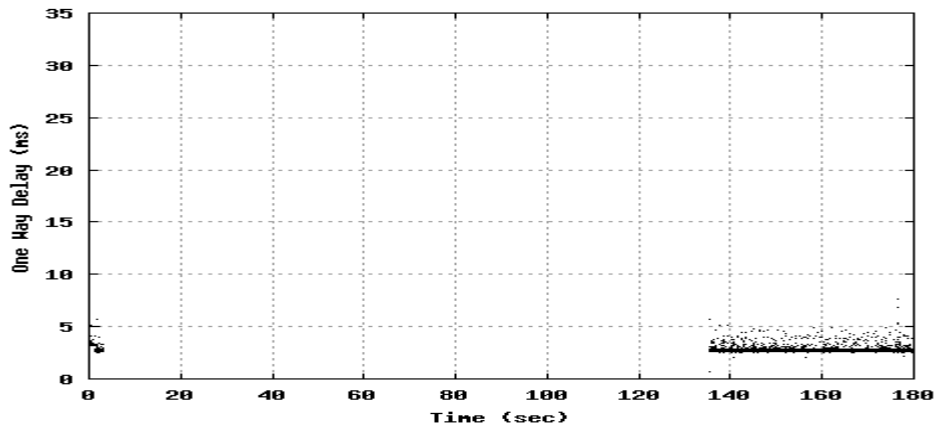


Εικόνα 256 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

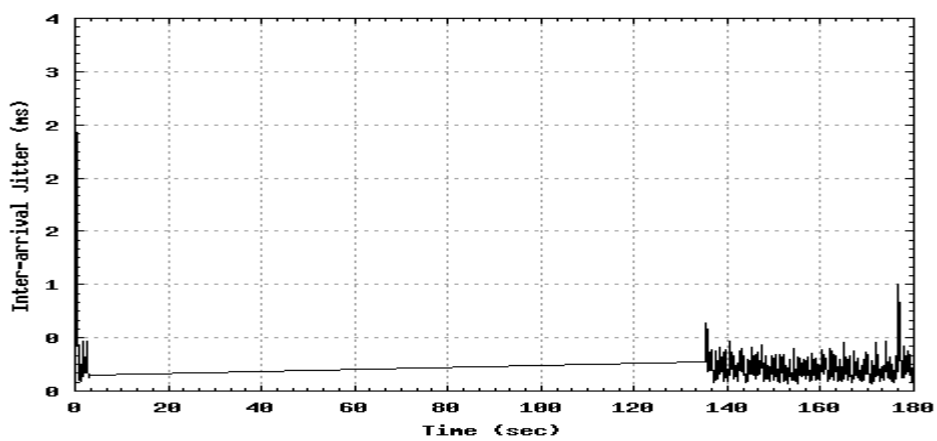


Εικόνα 257 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

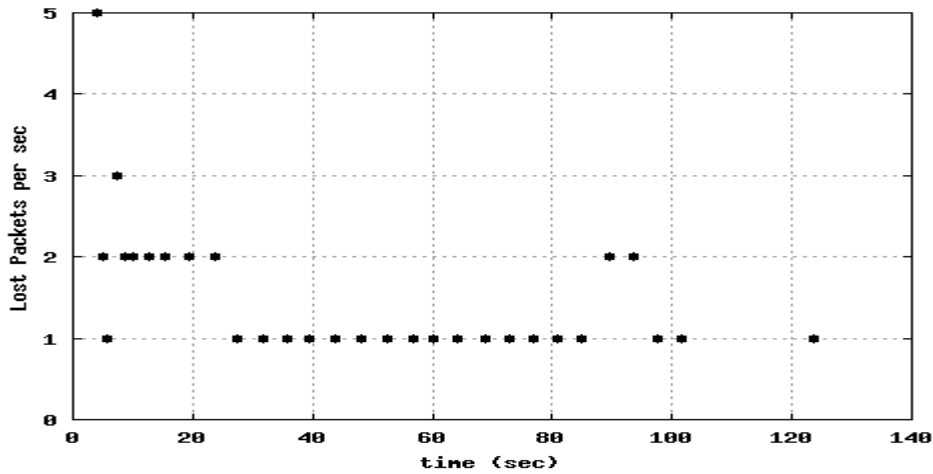
User30



Εικόνα 258 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 259 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

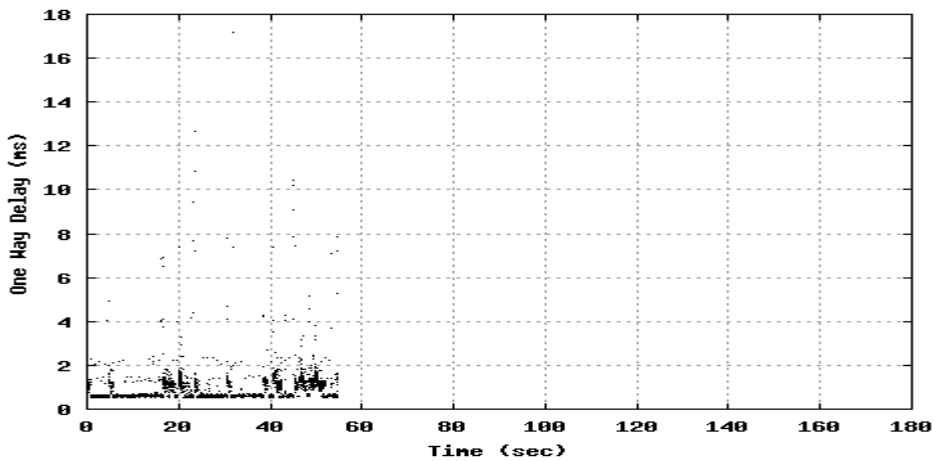


Εικόνα 260 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

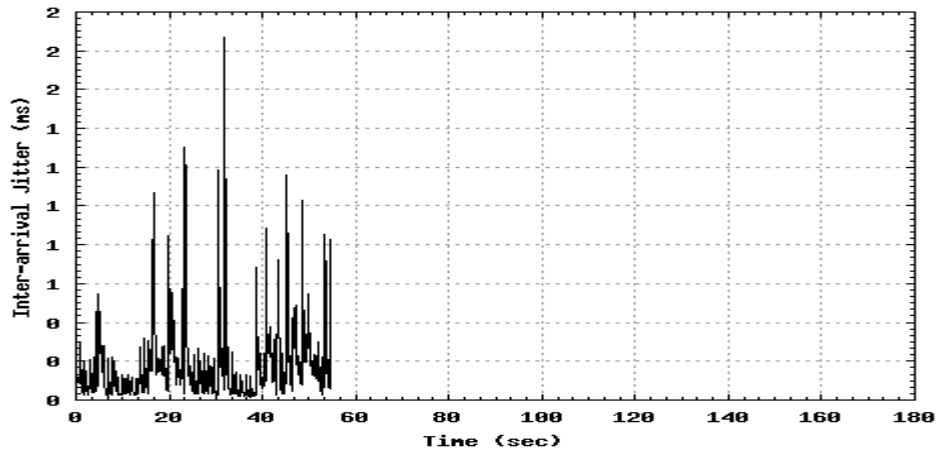
Στους 30 χρήστες παρουσιάζεται εξίσου μια παρόμοια συμπεριφορά με τις προηγούμενες περιπτώσεις όπου ο εξυπηρετητής διατηρεί κάποιες παύσεις στις αποστολές του. Τόσο στον πρώτο χρήστη, όσο και στον 15^ο και τον 30^ο, υπήρξε μια μικρή κίνηση τα πρώτα 5” και στη συνέχεια μέχρι το 140” διακόπηκε, ως ότου να ξεκινήσει ξανά το 140” μέχρι και το τέλος. Οι απώλειες σημειώθηκαν στο μεσοδιάστημα της παύσης. Η απόδοση της επικοινωνίας αυτής ήταν με καθυστερήσεις 1,88 msec, jitter 0,16 msec και packet losses 1,16%. Σε αντίθεση με την κοινή επικοινωνία 30 χρηστών όπου το One Way Delay ήταν 32,068 msec, παρ’ ότι υπήρξαν μικρές καθυστερήσεις 0,2%.

✓ **UDP επικοινωνία με 50 χρήστες.**

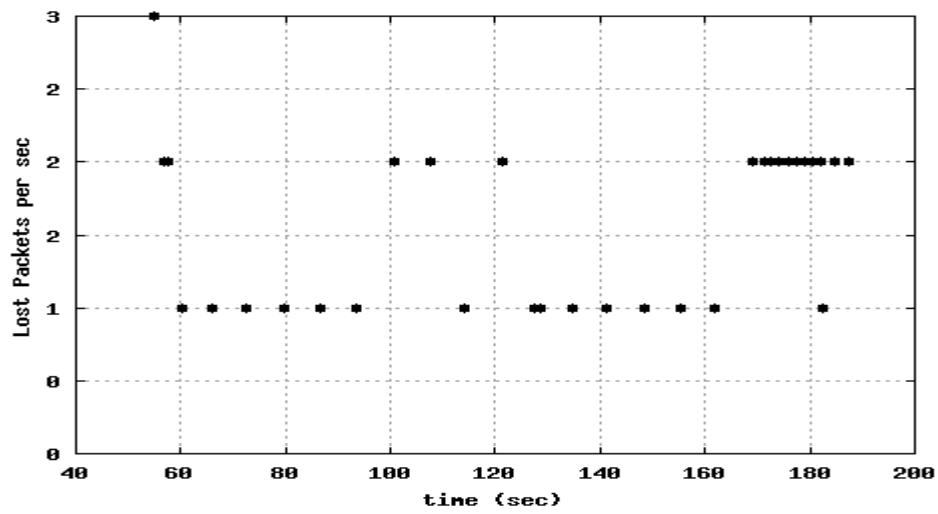
User 1



Εικόνα 261 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

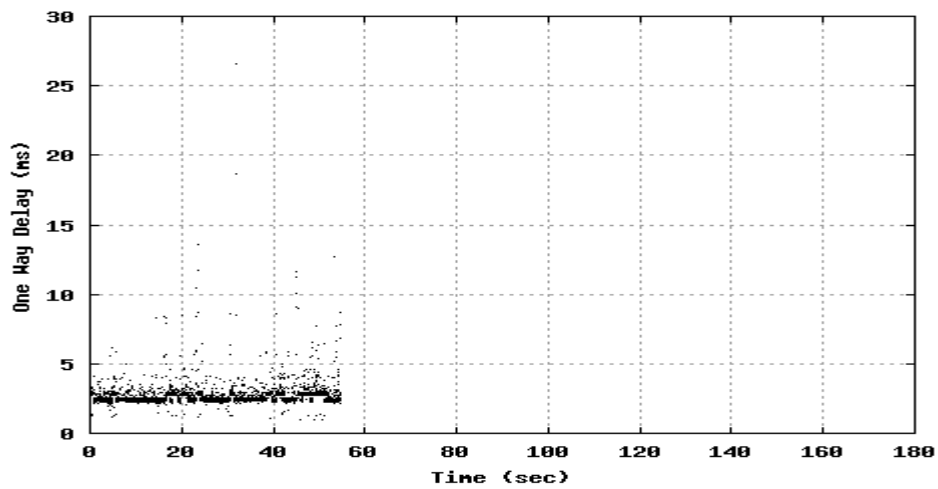


Εικόνα 262 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

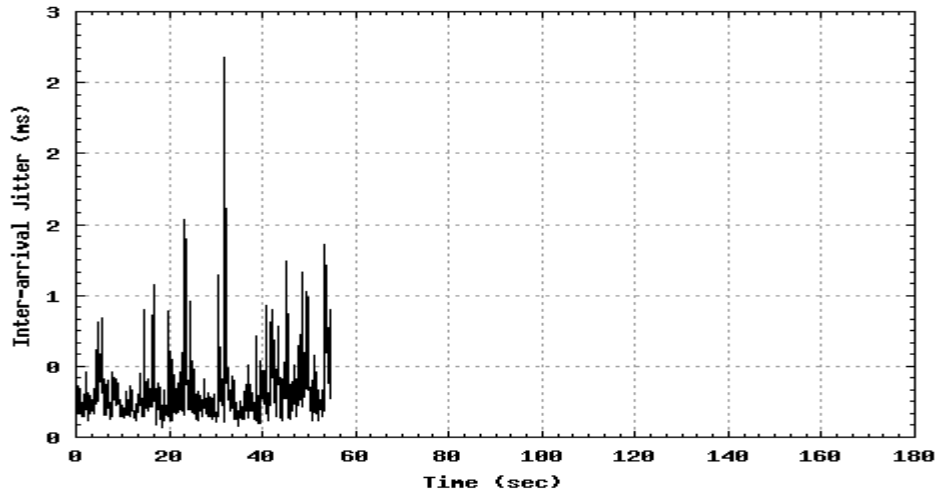


Εικόνα 263 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

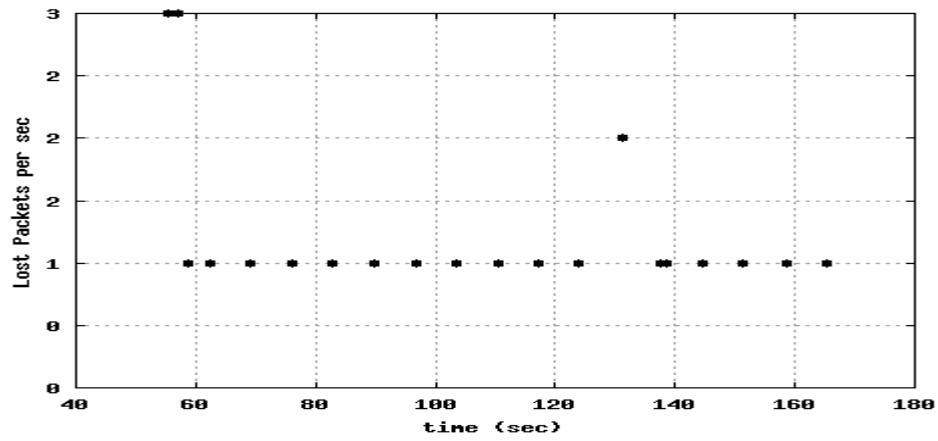
User25



Εικόνα 264 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

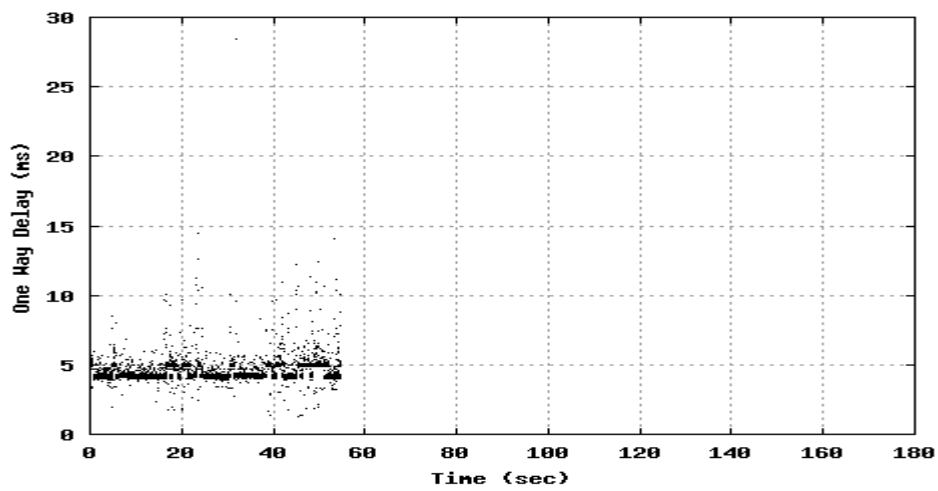


Εικόνα 265 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

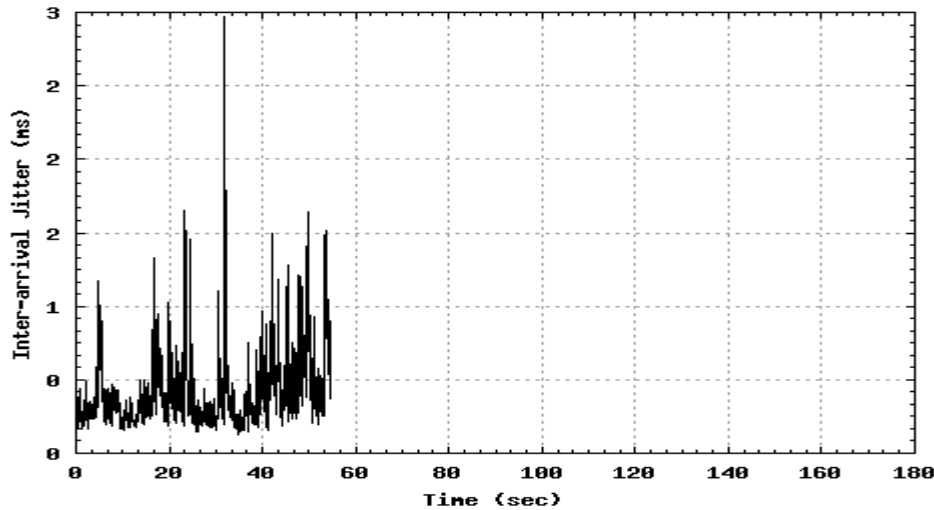


Εικόνα 266 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

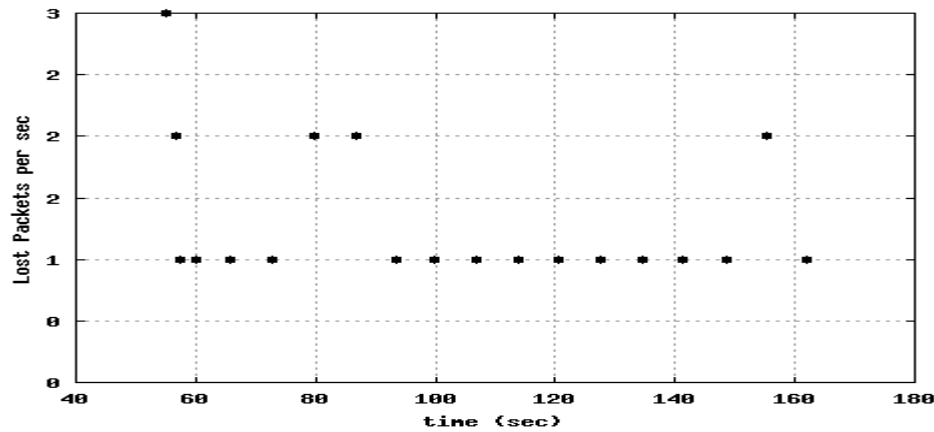
User50



Εικόνα 267 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 268 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter



Εικόνα 269 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

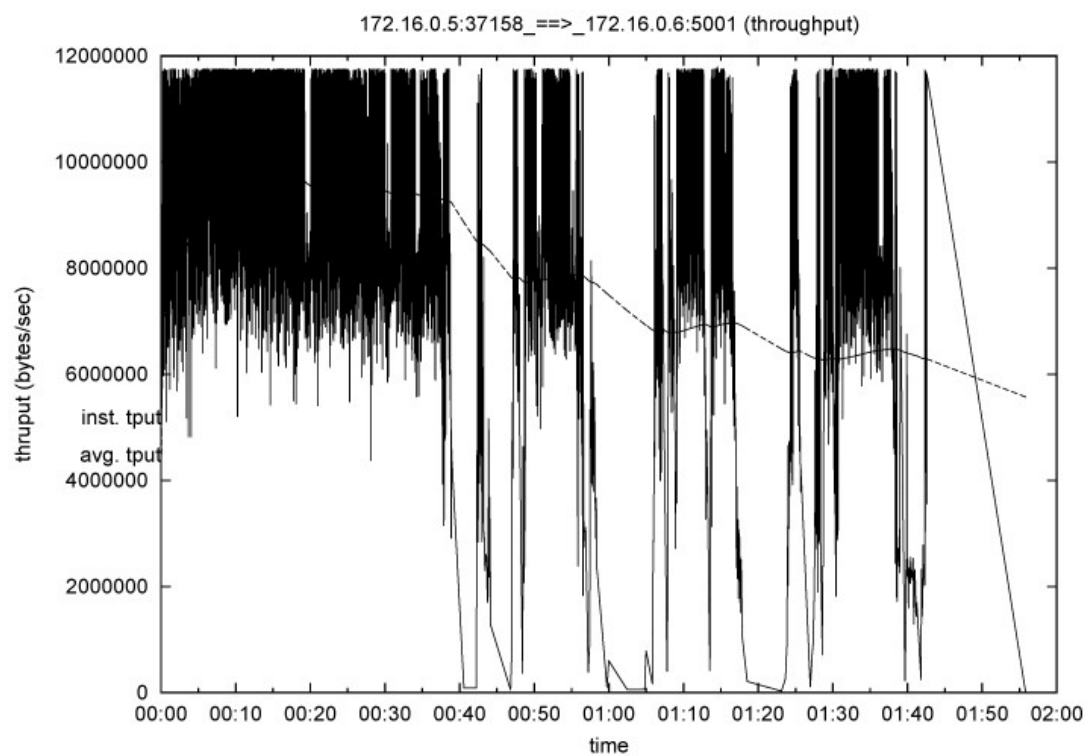
Τέλος, στην μακρινή UDP επικοινωνία των 50 χρηστών η αποστολή / λήψη υλοποιήθηκε τα πρώτα 60". Τον υπόλοιπο χρόνο υπήρξαν χαμένα πακέτα με μέσο όρο 0,62%. Ο 24^{ος} χρήστης δεν κατάφερε να συμμετάσχει καθόλου στην επικοινωνία καθώς δεν έλαβε κανένα πακέτο. Το One Way Delay ήταν 2,667 msec, jitter 0,29 msec, ενώ στο αντίστοιχο σενάριο κοντινής UDP επικοινωνίας με ίδιο αριθμό χρηστών το One Way Delay ήταν 15,83 msec, jitter 0,8 msec και δεν έλαβαν κανένα πακέτο δυο χρήστες.

5.2.3. Μέρος 3^ο

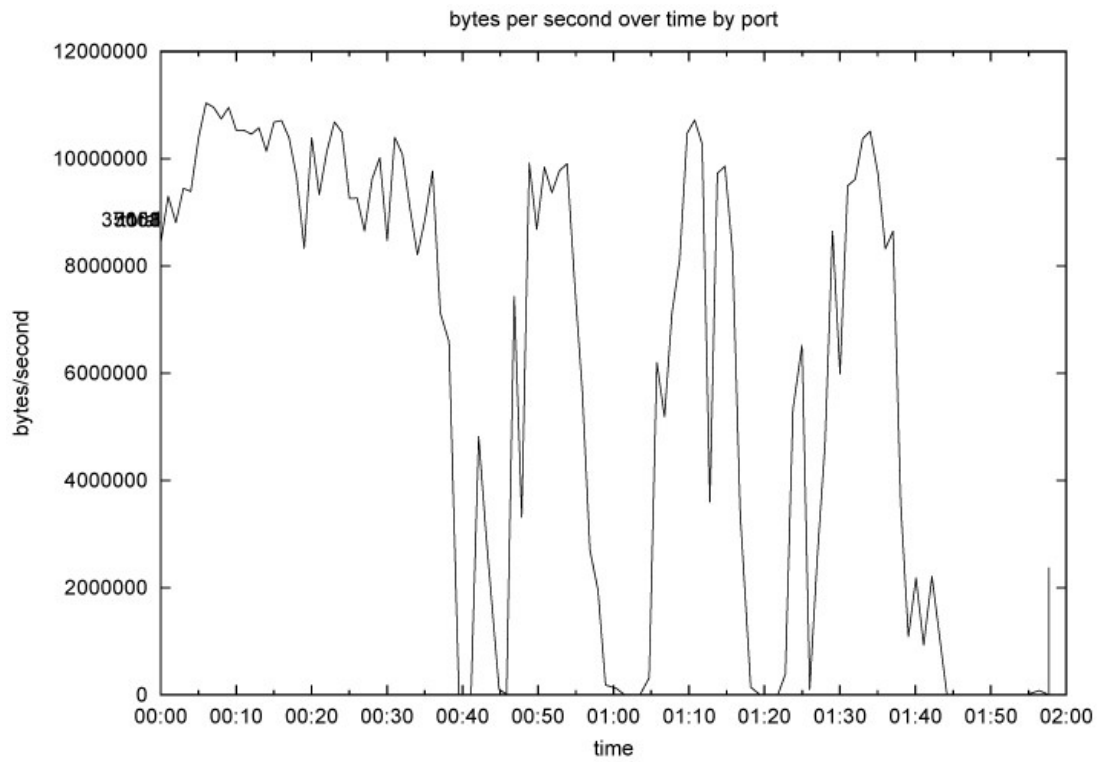
Στο τελευταίο μέρος του σεναρίου όπου επίσης ο Server Provider βρίσκεται σε μακρινή απόσταση με τον Client πραγματοποιείται παράλληλα και συγχρονισμένη αλλά και ασύγχρονη επικοινωνία. Συνδυάζονται δηλαδή τα πρωτόκολλα TCP και UDP, στον ίδιο χρόνο. Σε κάθε περίπτωση θα έχουμε τον διπλάσιο αριθμό χρηστών να συμμετέχουν στην λήψη/ αποστολή σε αντίθεση με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

- ✓ Παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία με δυο χρήστες σε κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας.

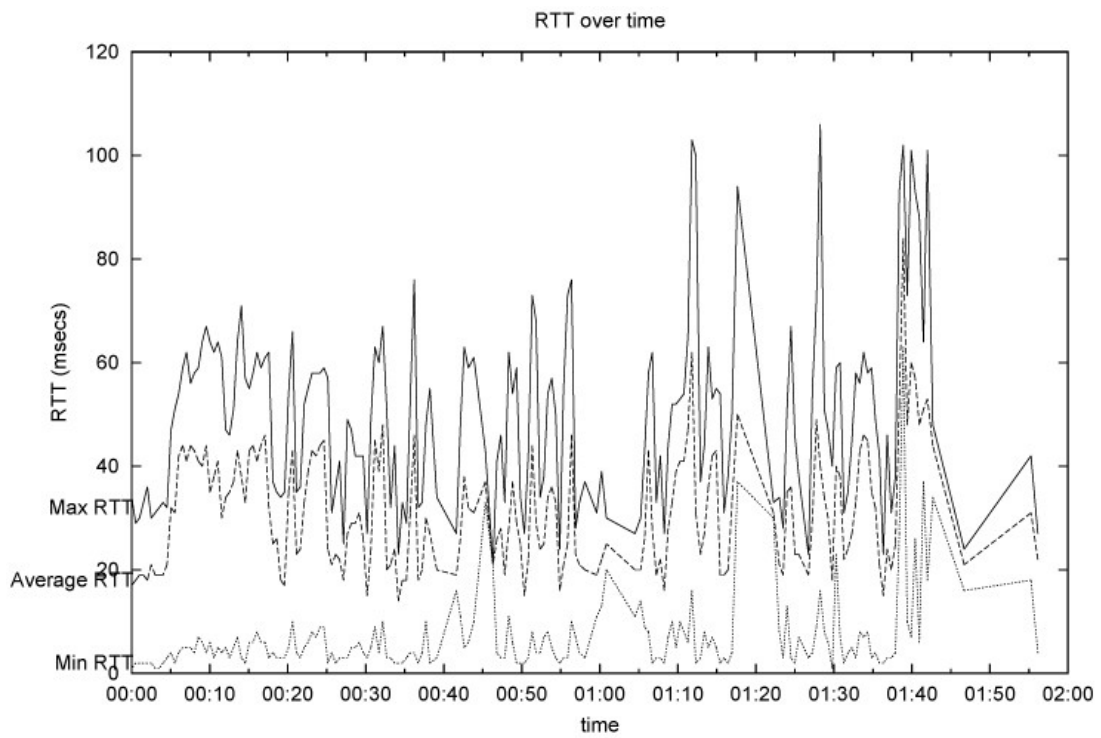
TCP User1



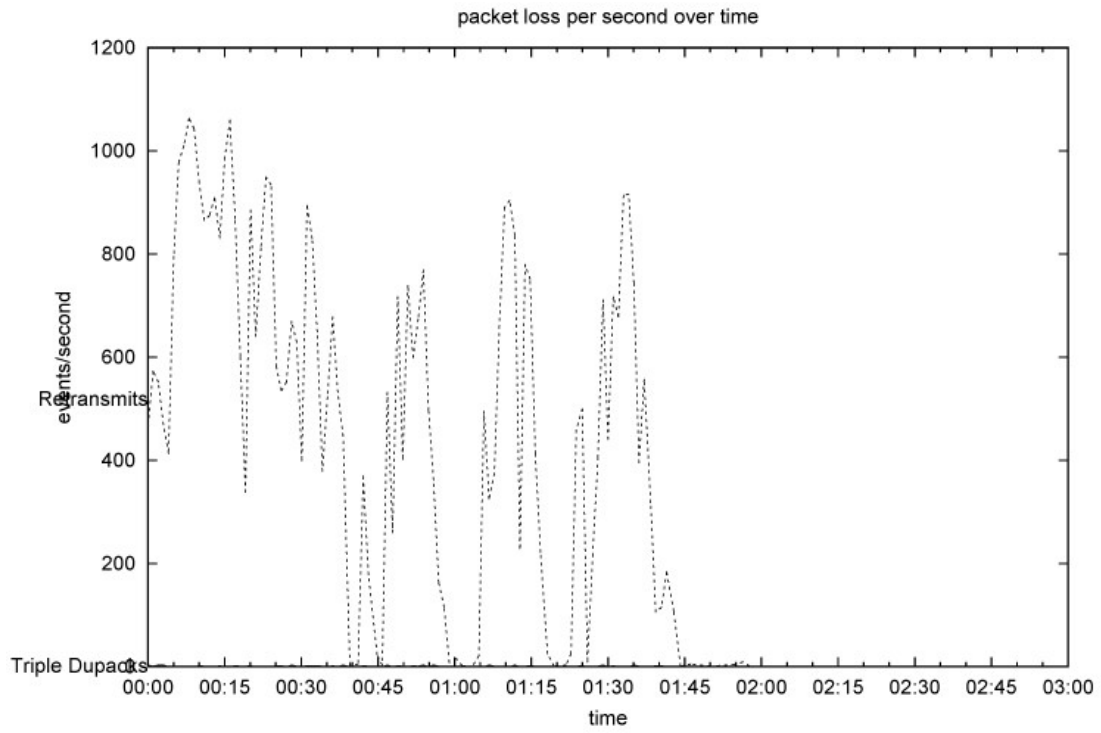
Εικόνα 270 Γραφική Παράσταση του Throughput (segment)



Εικόνα 271 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

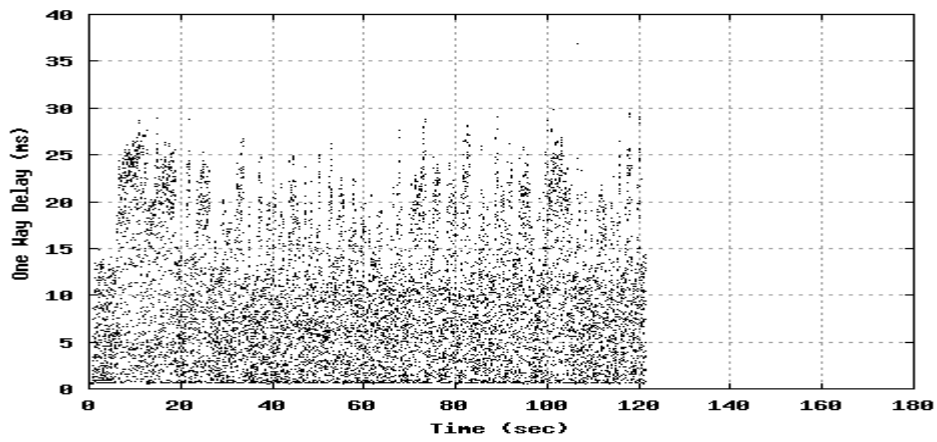


Εικόνα 272 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

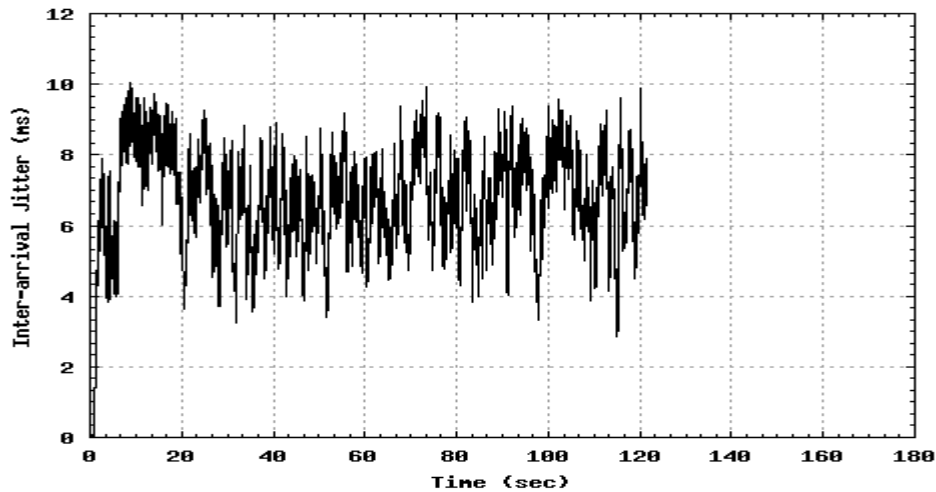


Εικόνα 273 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

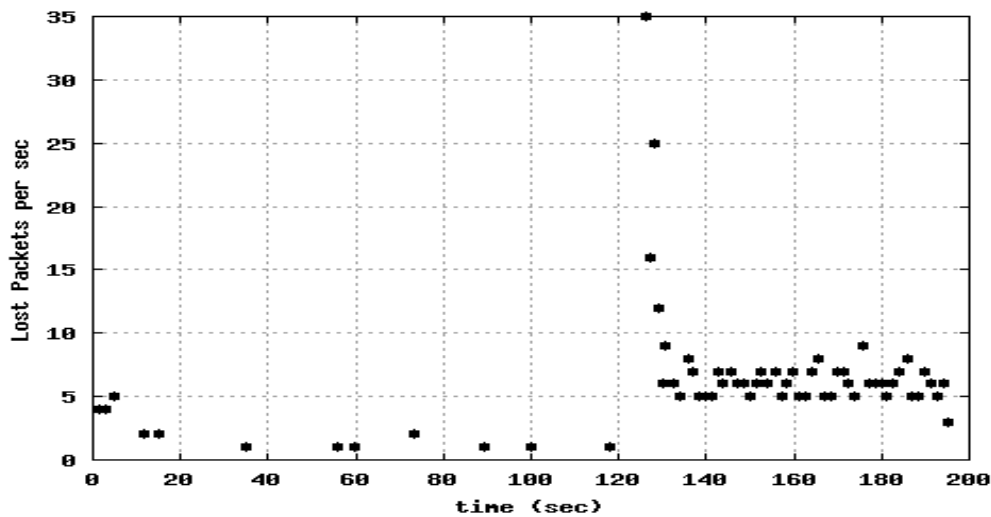
UDP User1



Εικόνα 274 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 275 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

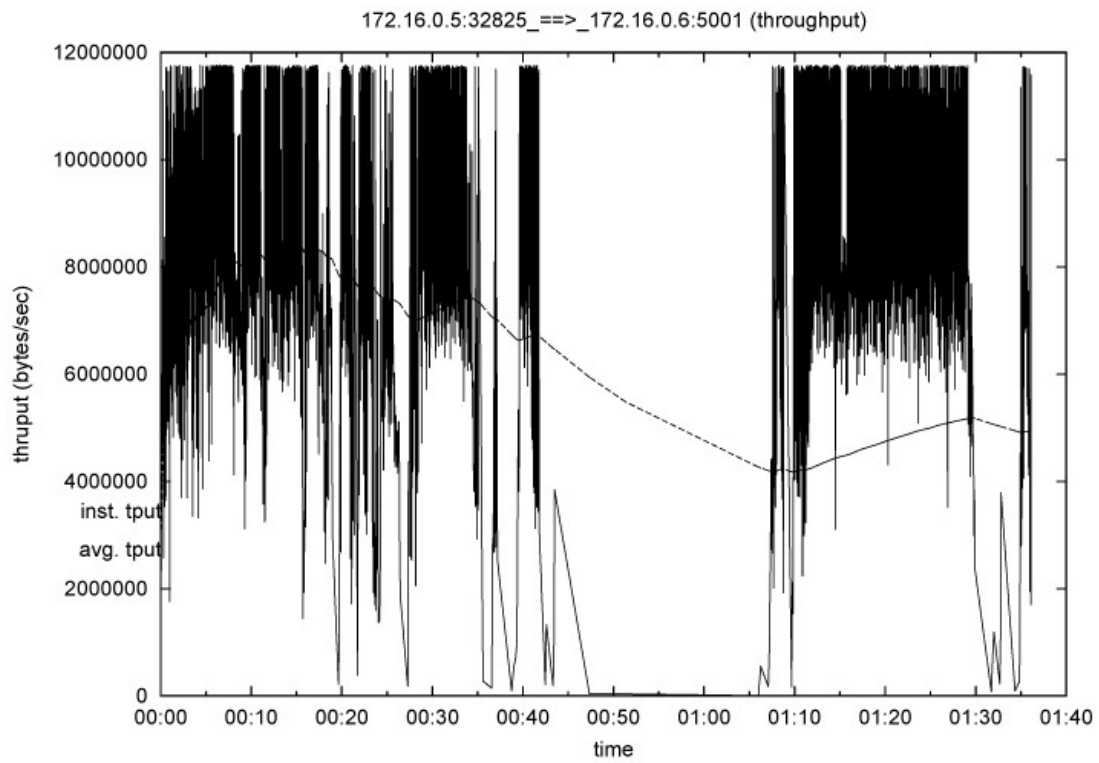


Εικόνα 276 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

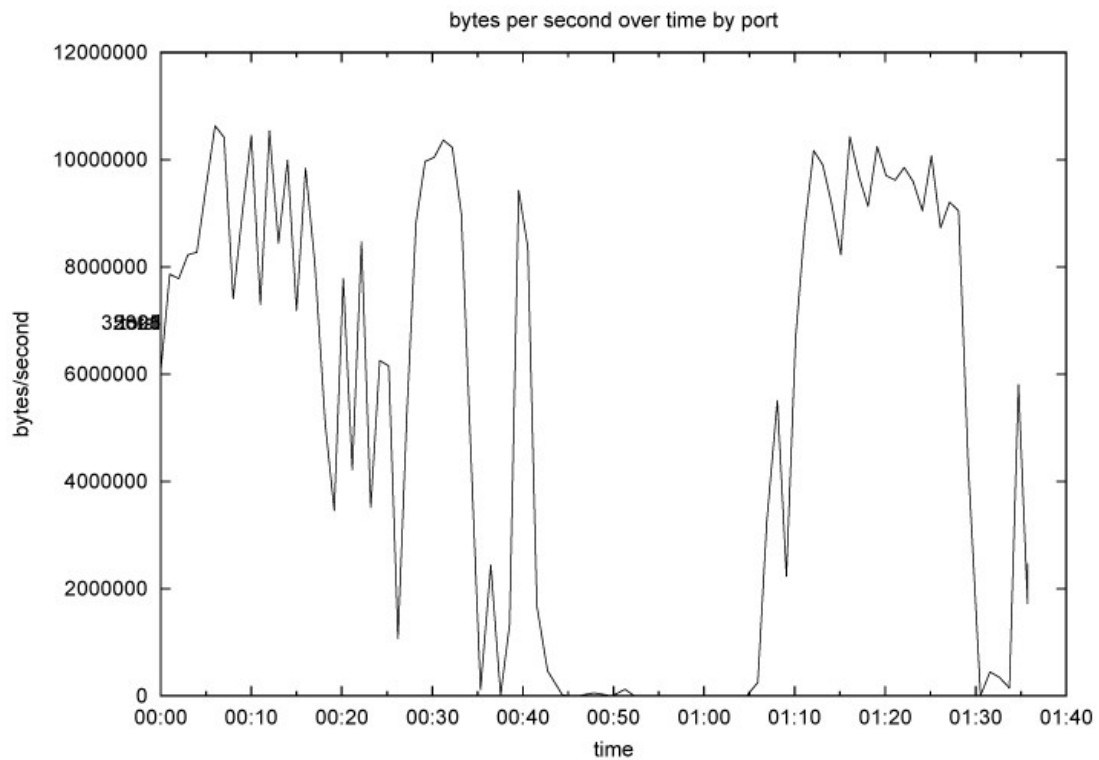
Σε αυτό το σενάριο με παράλληλη συγχρονισμένη και ασύγχρονη επικοινωνία μελετάμε όλα τα χαρακτηριστικά των τύπων επικοινωνίας. Σε αυτό το μέρος αποτυπώθηκαν ενδεικτικά του ενός χρήστη καθώς και του δεύτερου χρήστη είχαμε την ίδια συμπεριφορά. Έτσι, ξειινώντας με τη συγχρονισμένη επικοινωνία, η οποία διήρκησε 105” από τα 180”είχε μέσο όρο throughput 36,86 kbps. Μεγαλύτερη χρησιμοποίηση του δικτύου σε σχέση με την ίδια φάση του σεναρίου κοντινής απόστασης, αλλά πτωτική σε σχέση με τη μεμονωμένη συγχρονισμένη απομακρυσμένη επικοινωνία δυο χρηστών. Οι απώλειες που υπολογίστηκαν από τις αναλύσεις ήταν μεγάλες, έτσι για είχαμε σαν μέσο όρο 41.838 χαμένα πακέτα και οι καθυστερήσεις (RTT) ήταν 28,6 msec. Όσον αφορά την UDP επικοινωνία και αυτή επιτεύχθηκε τα πρώτα 120” με μέσο One Way Delay 23,18 msec, μέσο Jitter 8,37 msec και μέσο όρο απωλειών 3,75%.

- ✓ Παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία με πέντε χρήστες σε κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας.

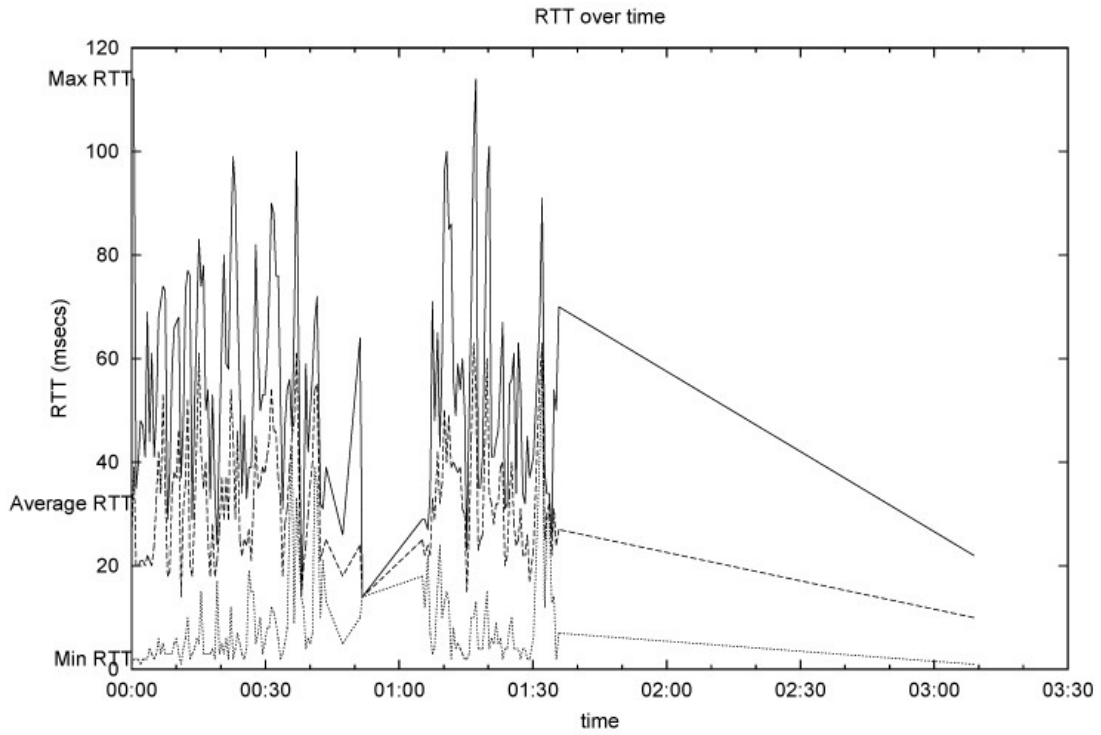
TCP User1



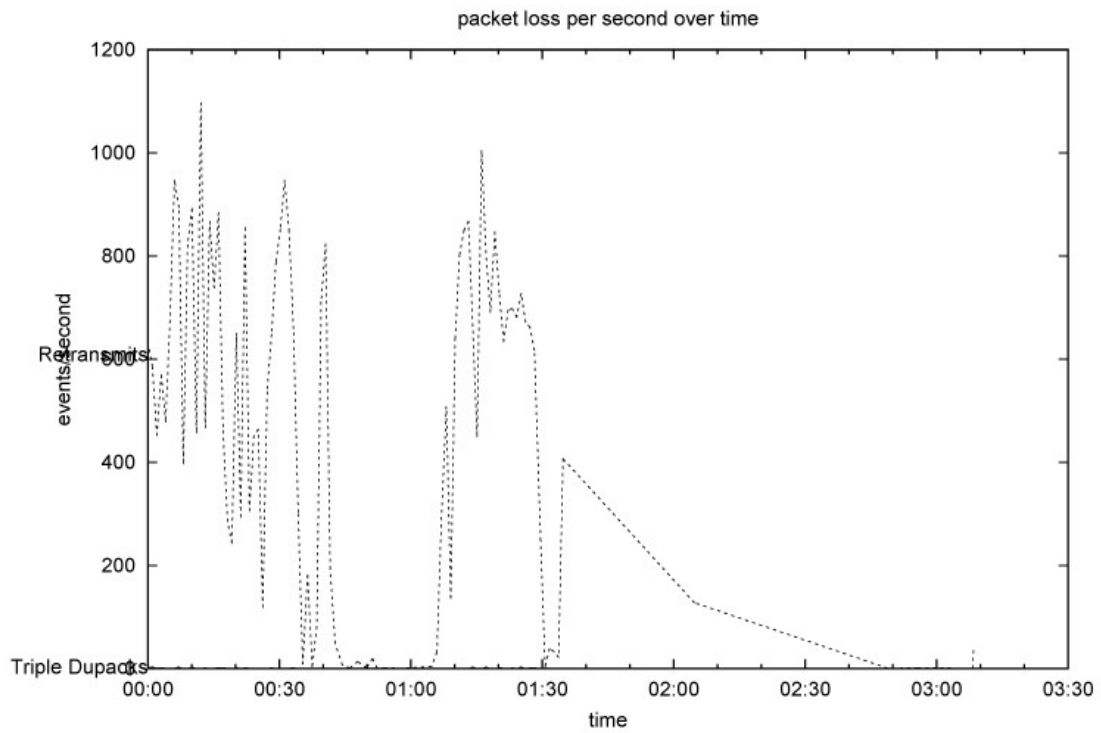
Εικόνα 277 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 278 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

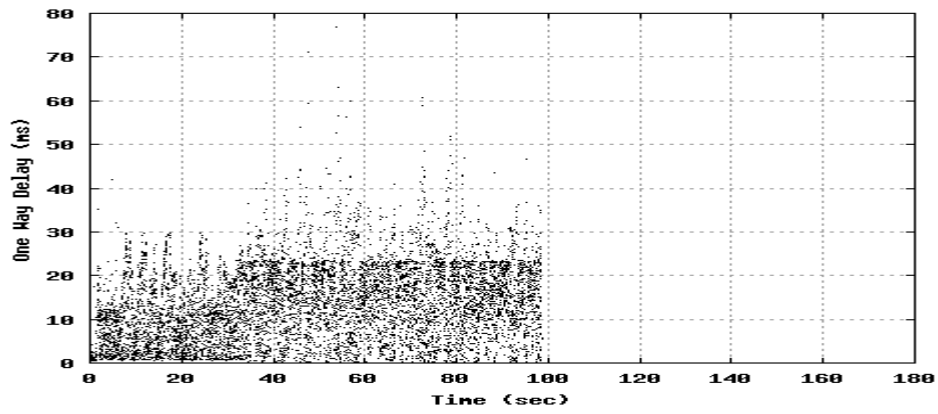


Εικόνα 279 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

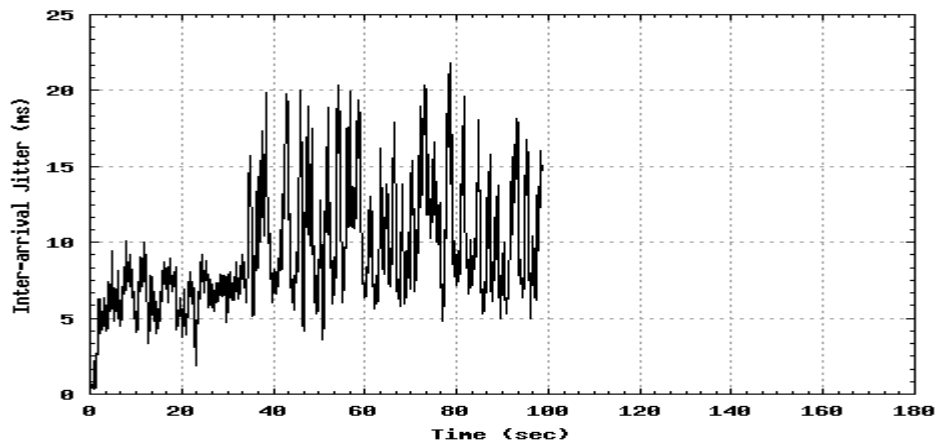


Εικόνα 280 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses

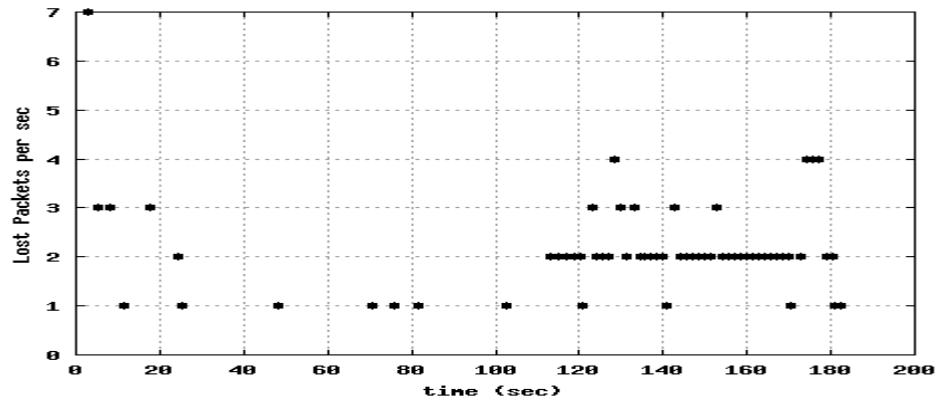
UDP User1



Εικόνα 281 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

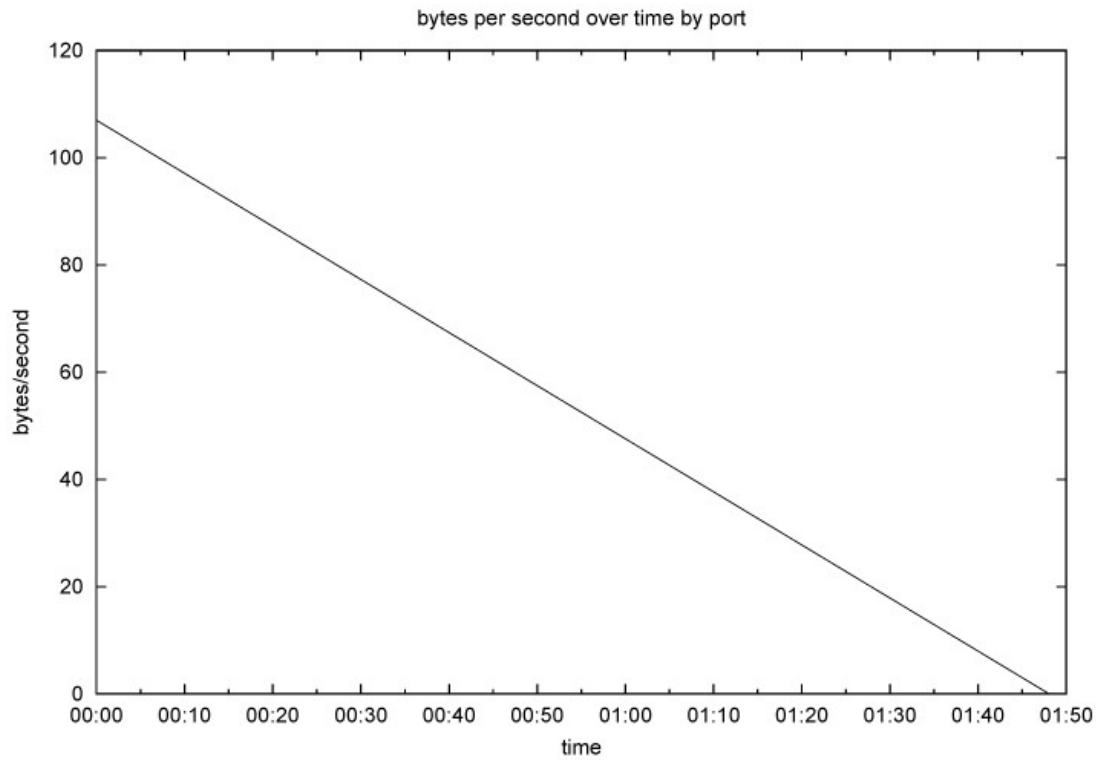


Εικόνα 282 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

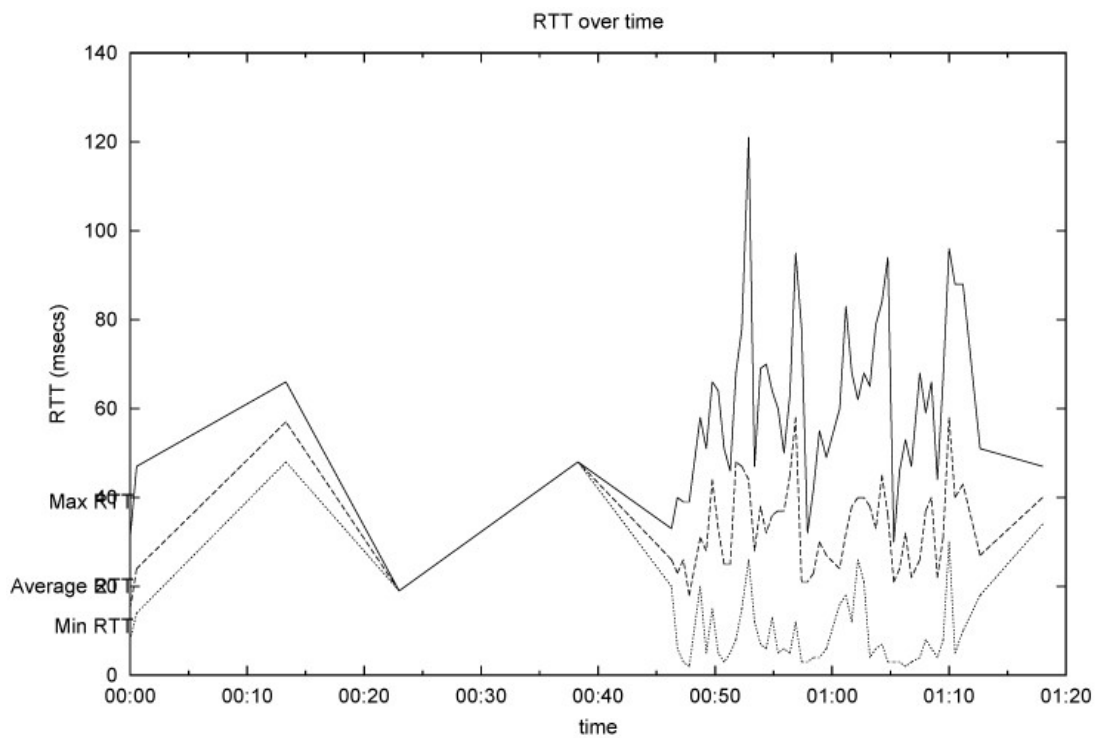


Εικόνα 283 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

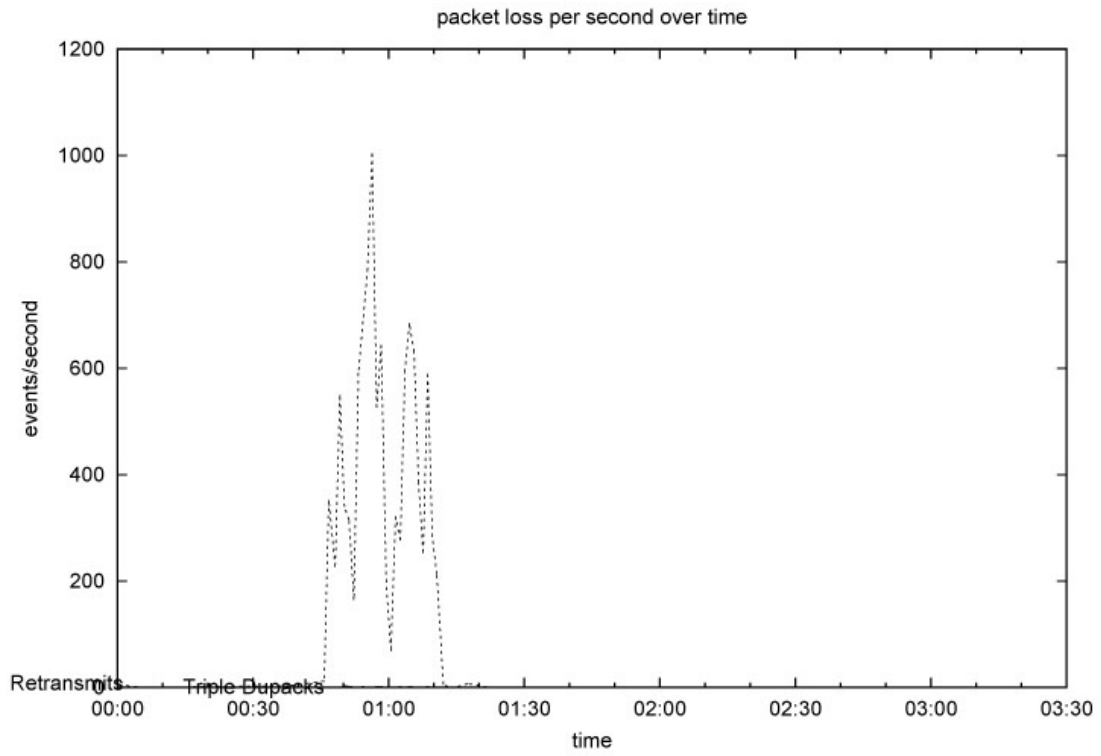
TCP User3



Εικόνα 284 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

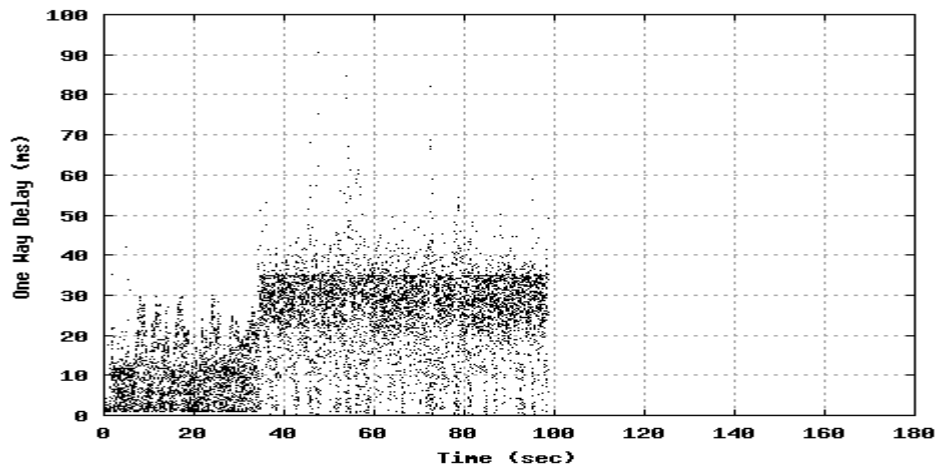


Εικόνα 285 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

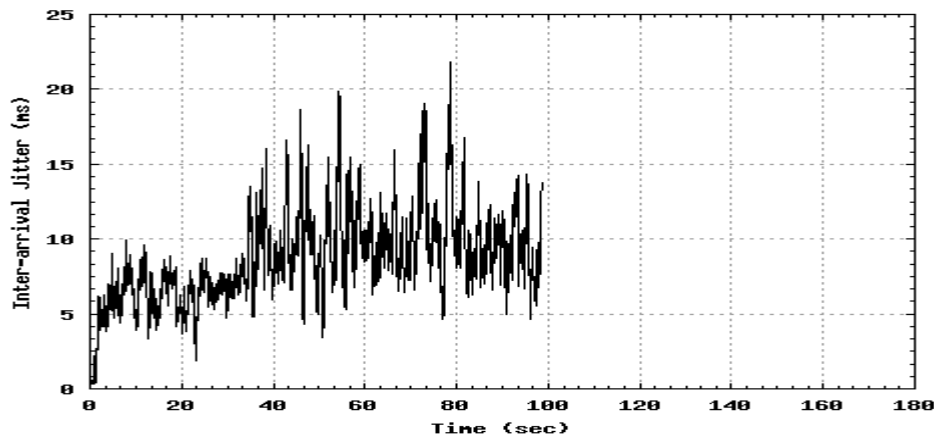


Εικόνα 286 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

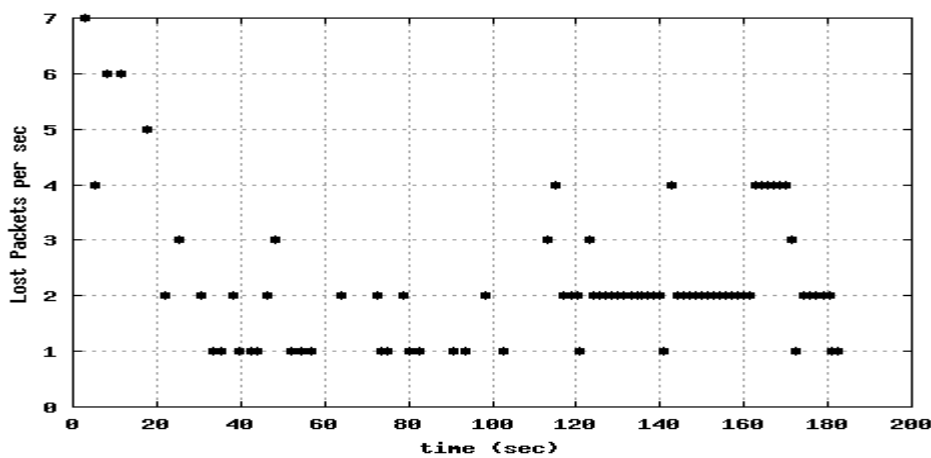
UDP User3



Εικόνα 287 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 288 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

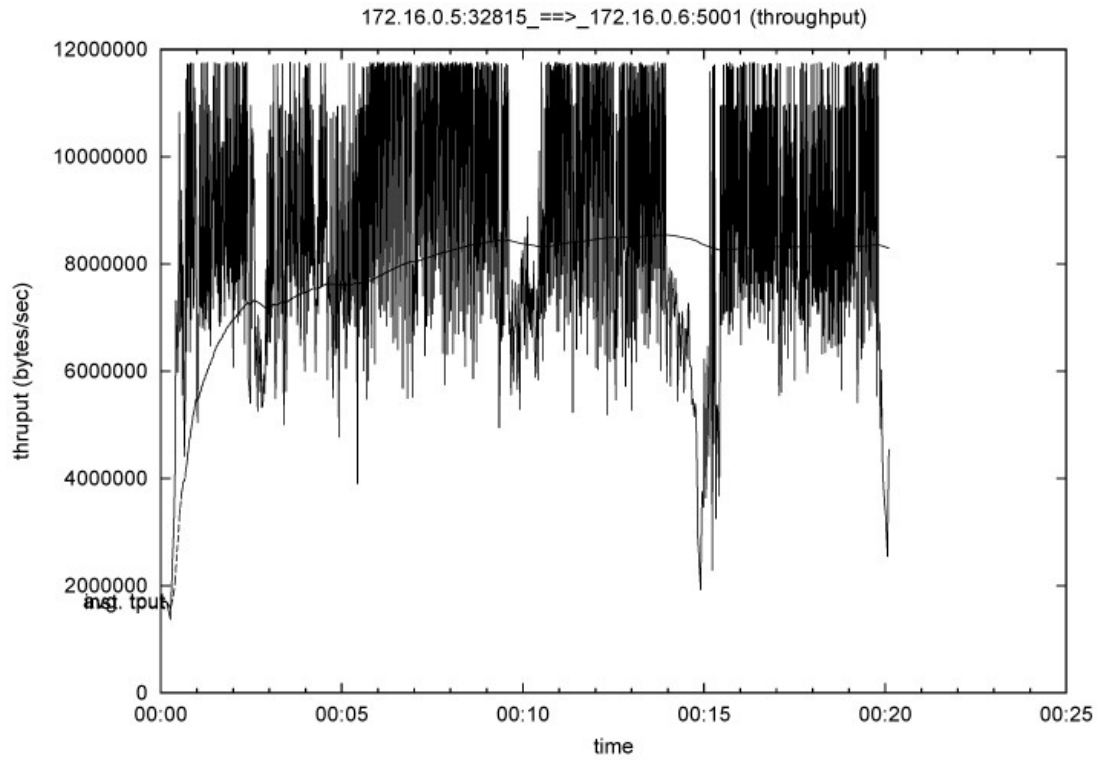


Εικόνα 289 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

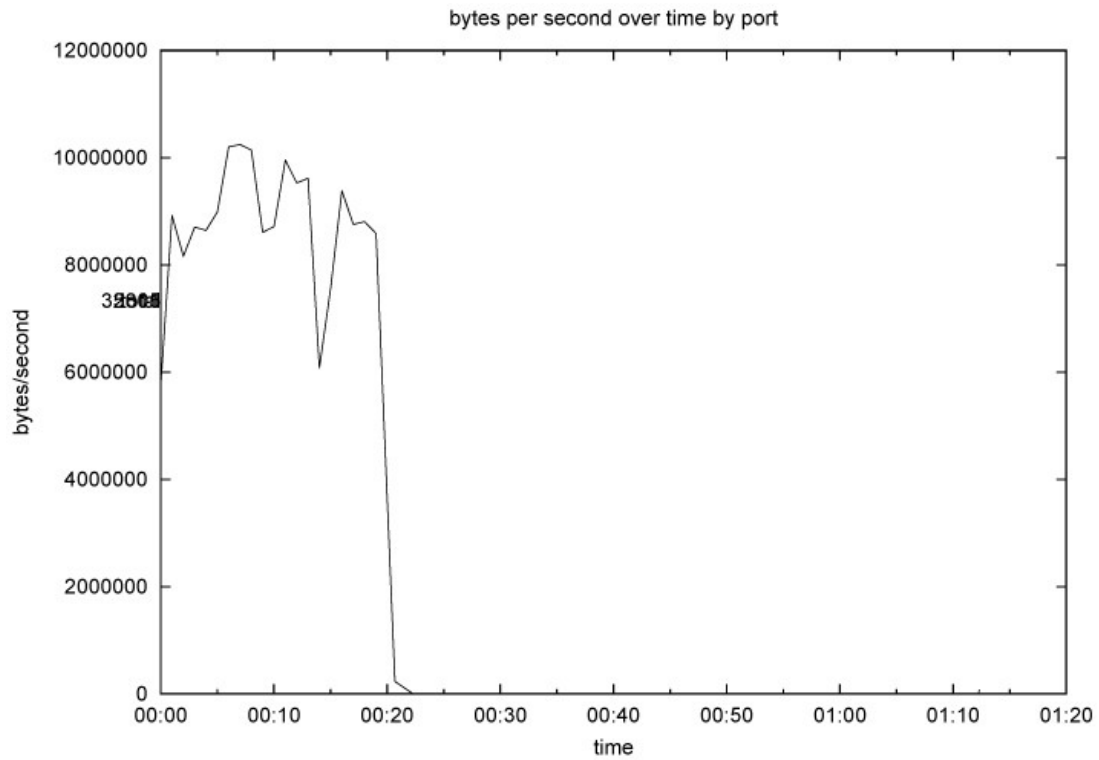
Προχωρώντας το σενάριο της παράλληλης ασύγχρονης και συγχρονισμένης επικοινωνίας σε απόσταση με πέντε χρήστες, αποτυπώνονται δύο χρήστες, ο πρώτος και ο τρίτος. Ξεινώνοντας από τον πρώτο χρήστη η TCP επικοινωνία του ξεκινάει από την αρχή της προσομοίωσης μέχρι το 40" και συνεχίζει από το 65" μέχρι και το 95", ενώ ο τρίτος χρήστης που επίσης πήραμε τη γραφική του, μας δείχνει πως ξεκίνησε με πολύ ψηλό throughput αλλά είχε απότομη πτωτική κλίση με αποτέλεσμα να μηδενίζεται στο 110". Παρ' όλα αυτά το μέσο throughput αυτού του σεναρίου ήταν 92.381 kbps, μια πολύ καλή απόδοση για το πρωτόκολλο που μελετάμε. Οι κυκλική καθυστέρηση Round Trip Time που σημειώθηκε βάση των αναλύσεων για τους πέντε αυτούς χρήστες ήταν 29,32 msec και οι απώλειες 14.382 πακέτα. Συνεχίζοντας με το κομμάτι της ασύγχρονης επικοινωνίας ο πρώτος χρήστης λάμβανε πακέτα από την αρχή της πειραματικής διαδικασίας μέχρι το 90", ενώ ο τρίτος χρήστης που συμμετείχε στον ίδιο χρόνο παρουσίασε, βάση της γραφικής του (Εικόνα 290), πτωτική σε σχέση με τον πρώτο χρήστη συμπεριφορά τα πρώτα 40", όπου μετά συνέχισε με άνοδο ως το 90". Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της UDP επικοινωνίας για τους πέντε χρήστες έχουν ως εξής, One Way Delay 47,02 msec, Smooth Jitter 14,01 msec και Packet Losses 1,888 %, στον υπόλοιπο χρόνο που η λήψη ήταν ανεπιτυχής.

✓ TCP και UDP παράλληλη επικοινωνία με 10 χρήστες.

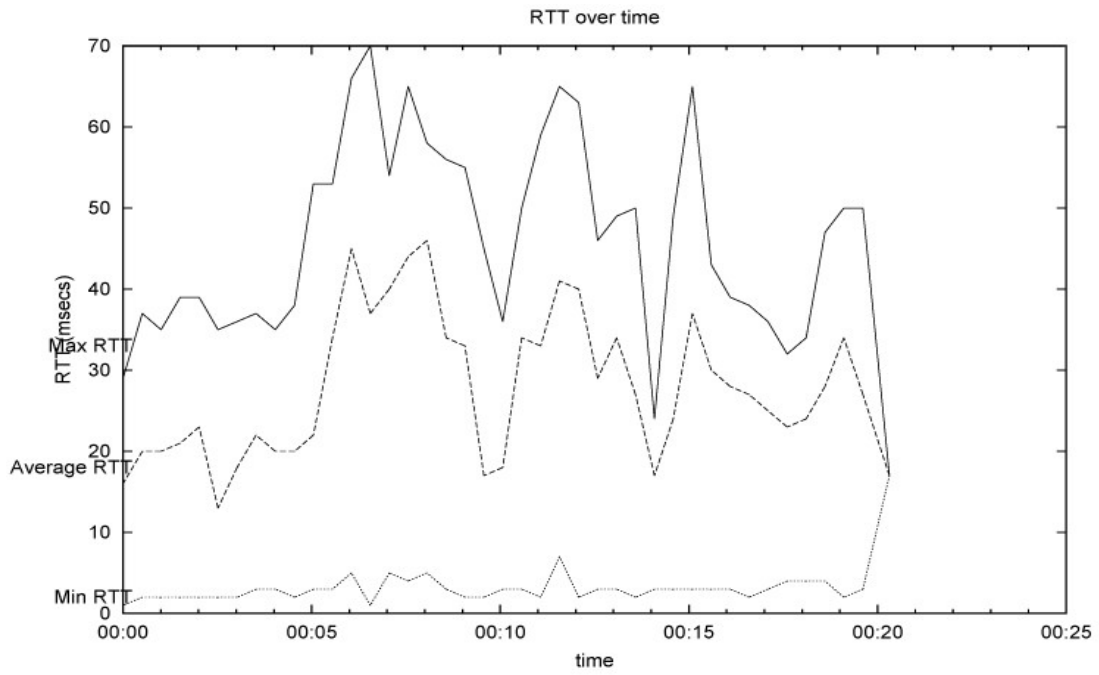
TCP User1



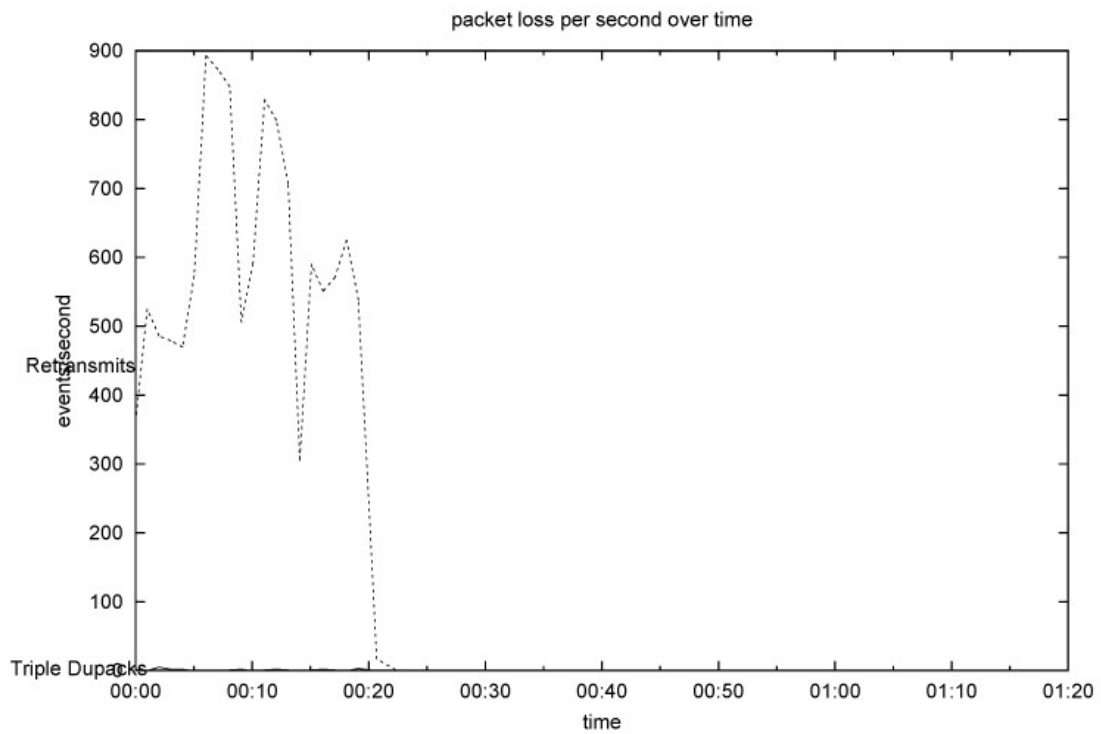
Εικόνα 290 Γραφική Παράσταση του Throughput (segment)



Εικόνα 291 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

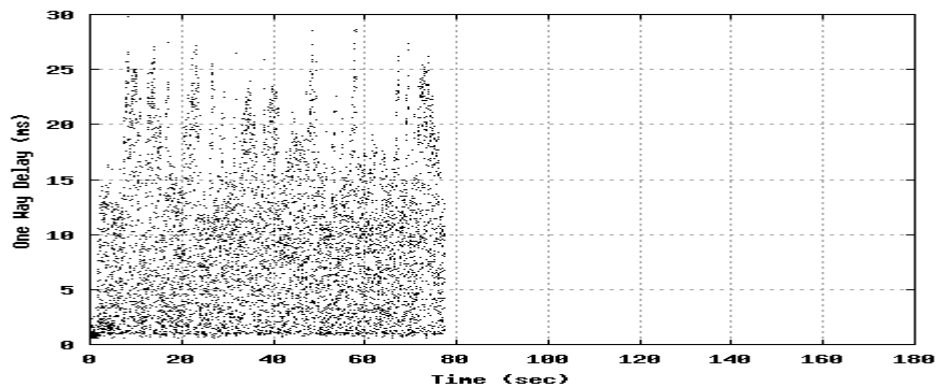


Εικόνα 292 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

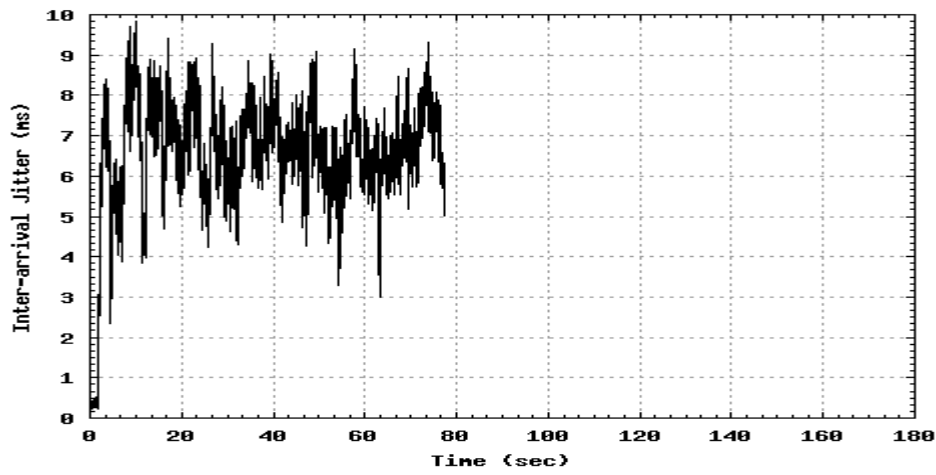


Εικόνα 293 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

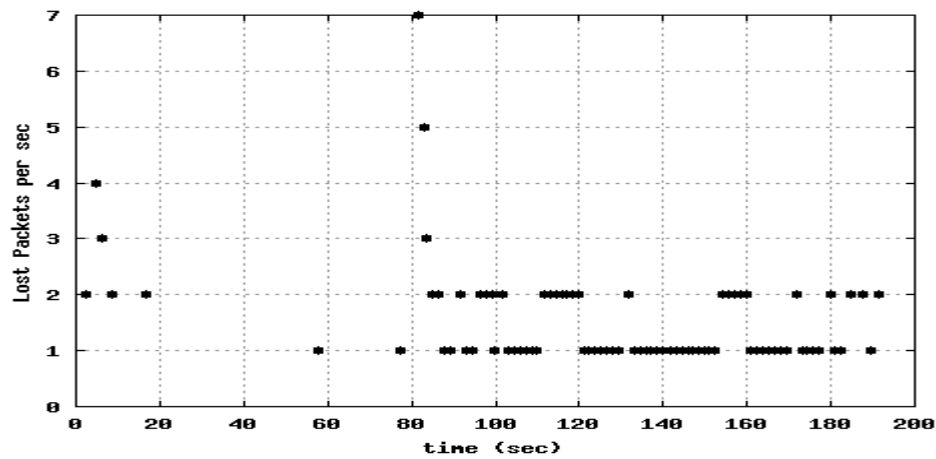
UDP User1



Εικόνα 294 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

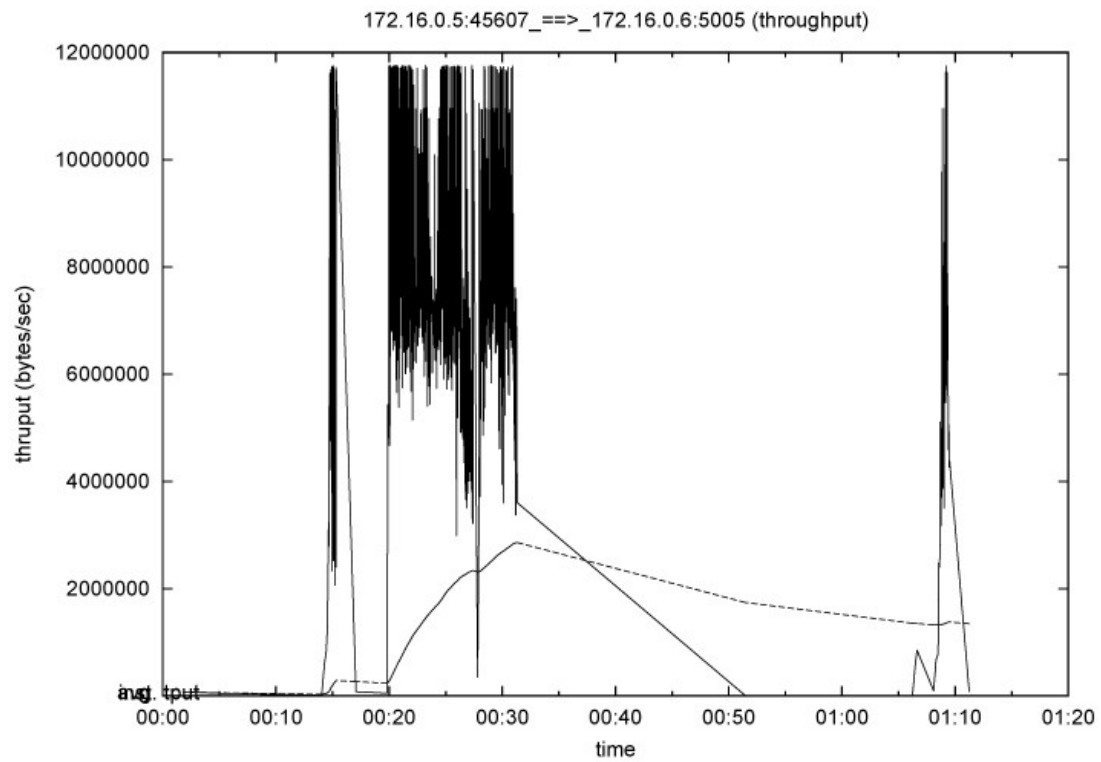


Εικόνα 295 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

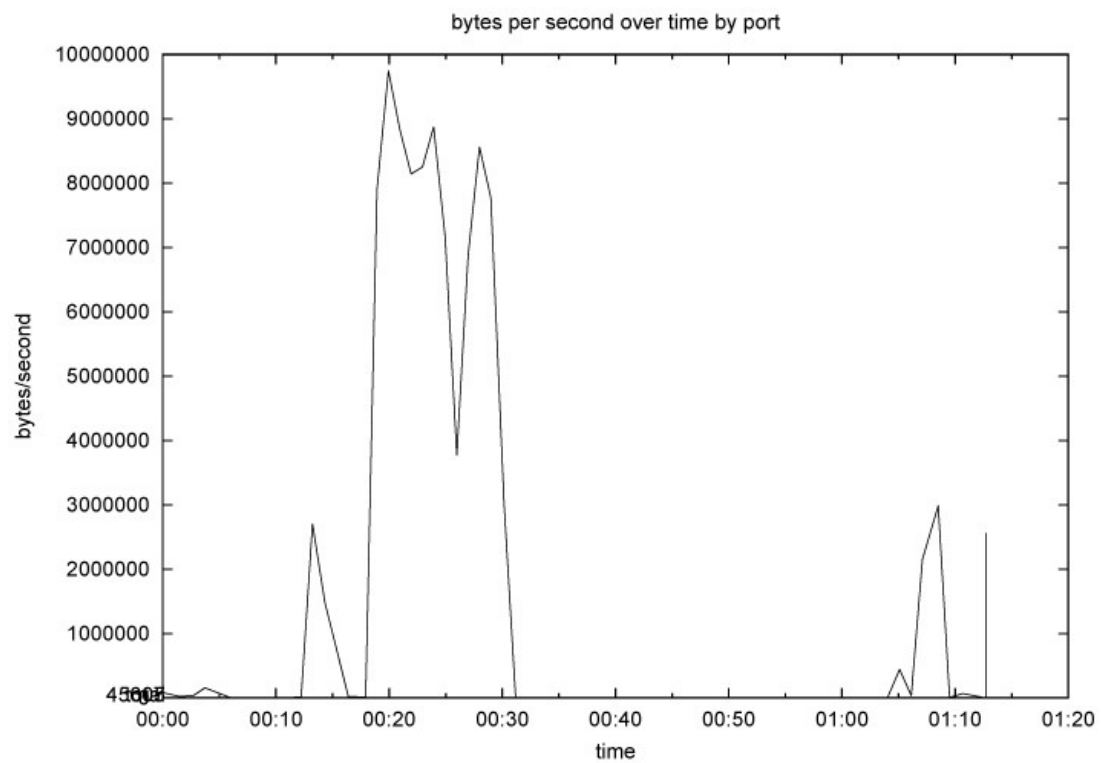


Εικόνα 296 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

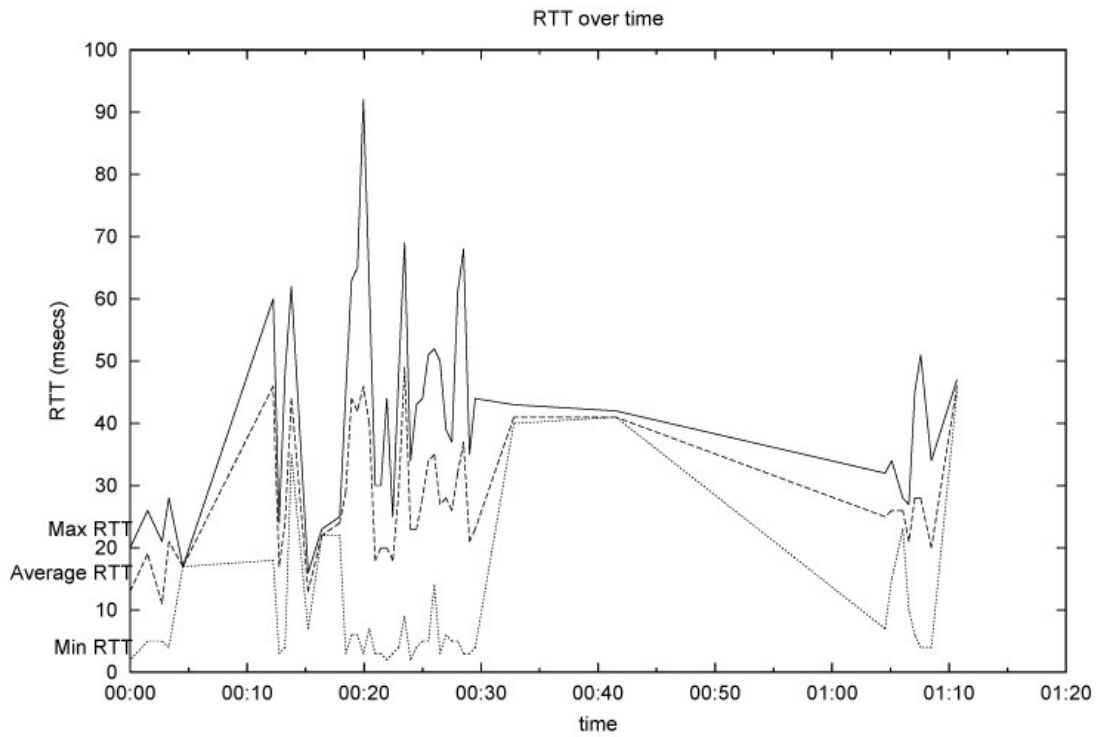
TCP User5



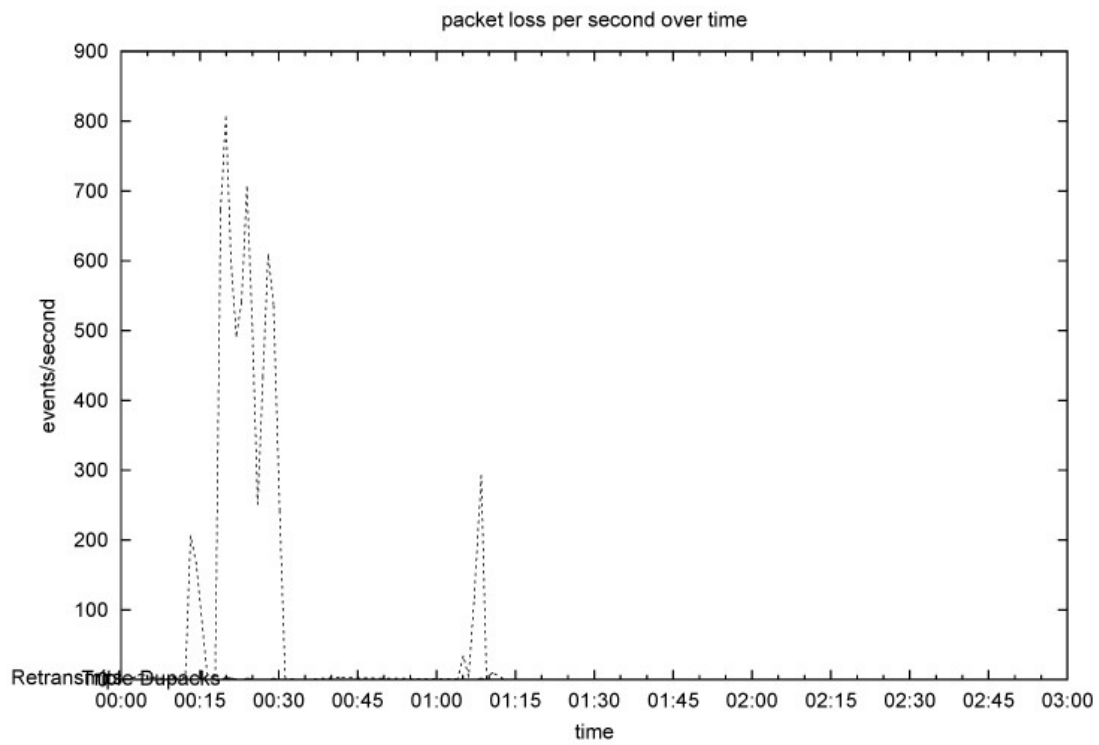
Εικόνα 297 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 298 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

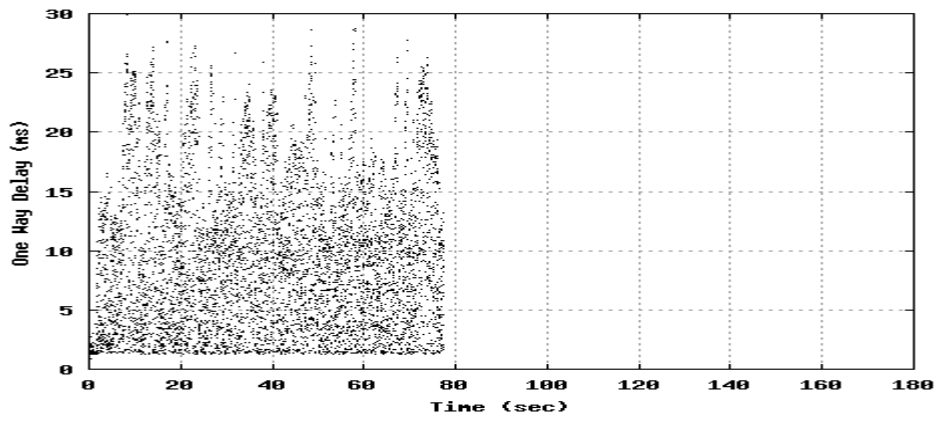


Εικόνα 299 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

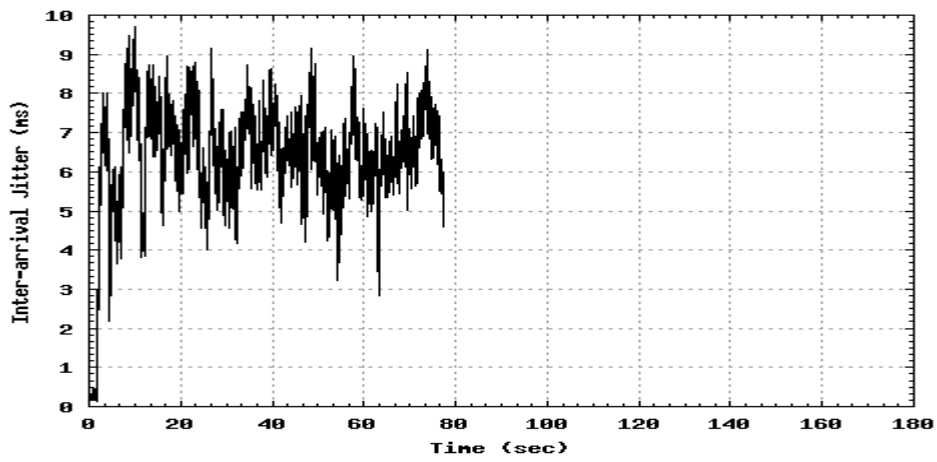


Εικόνα 300 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

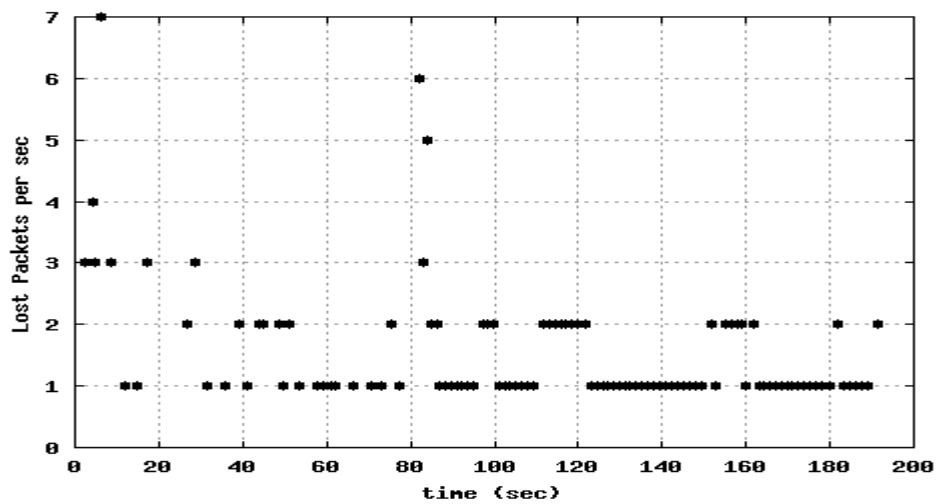
UDP User5



Εικόνα 301 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

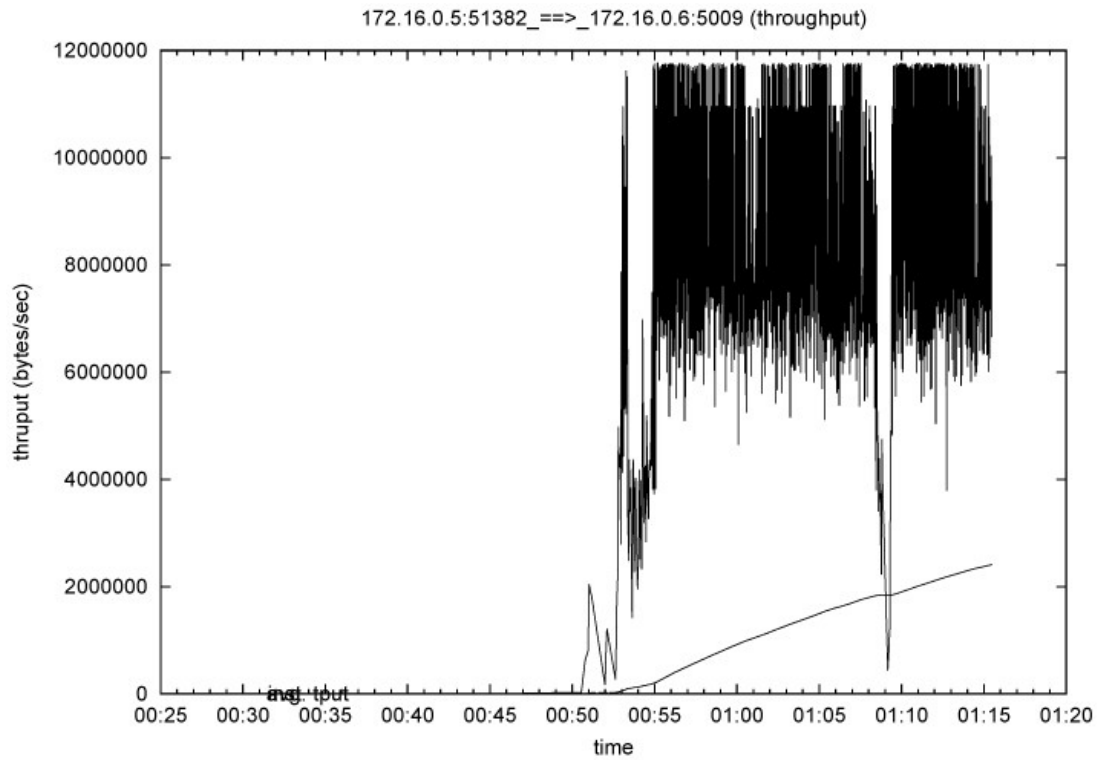


Εικόνα 302 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

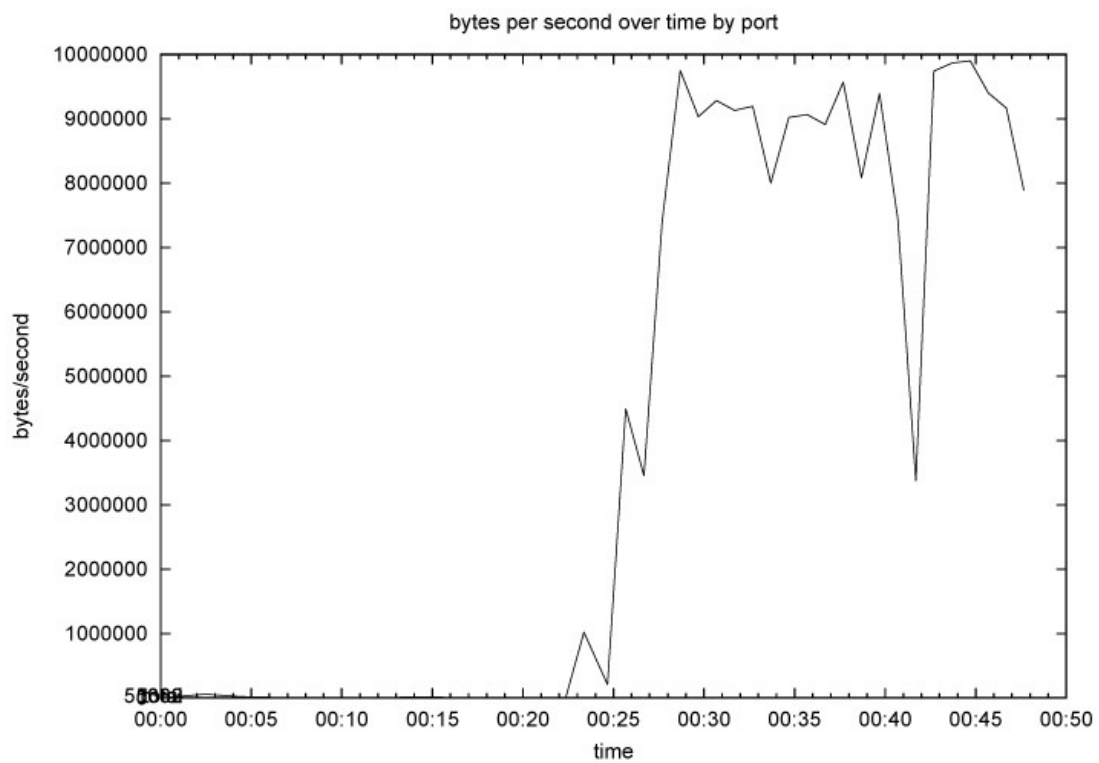


Εικόνα 303 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

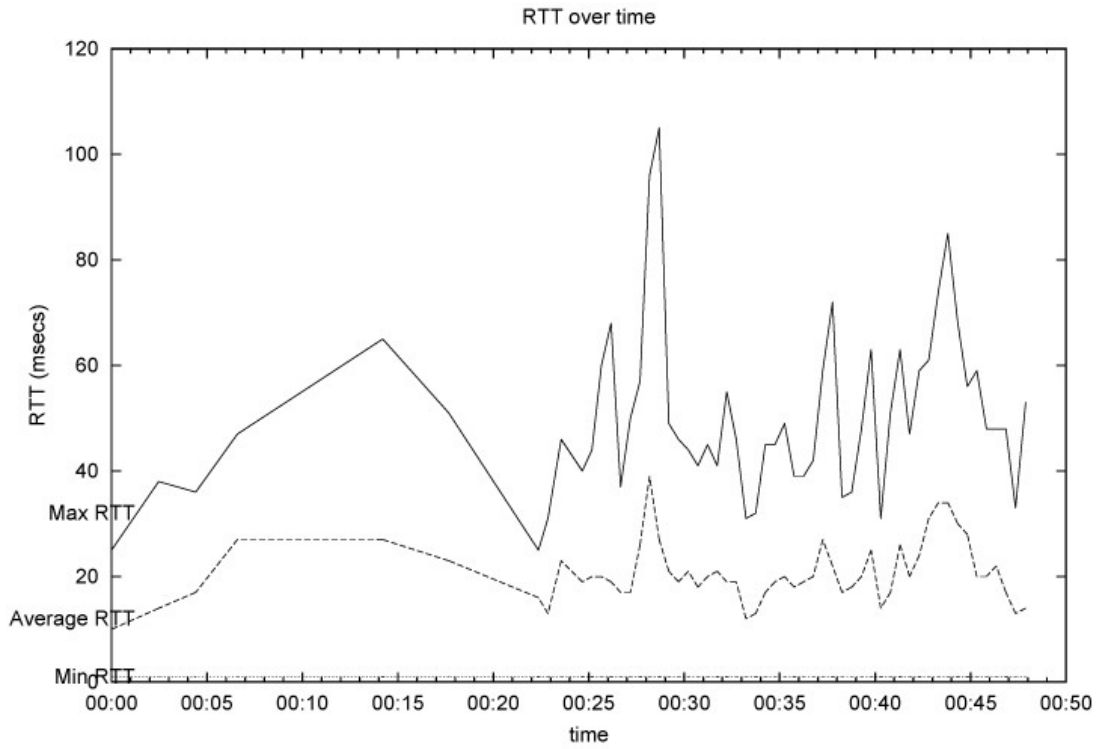
TCP User9



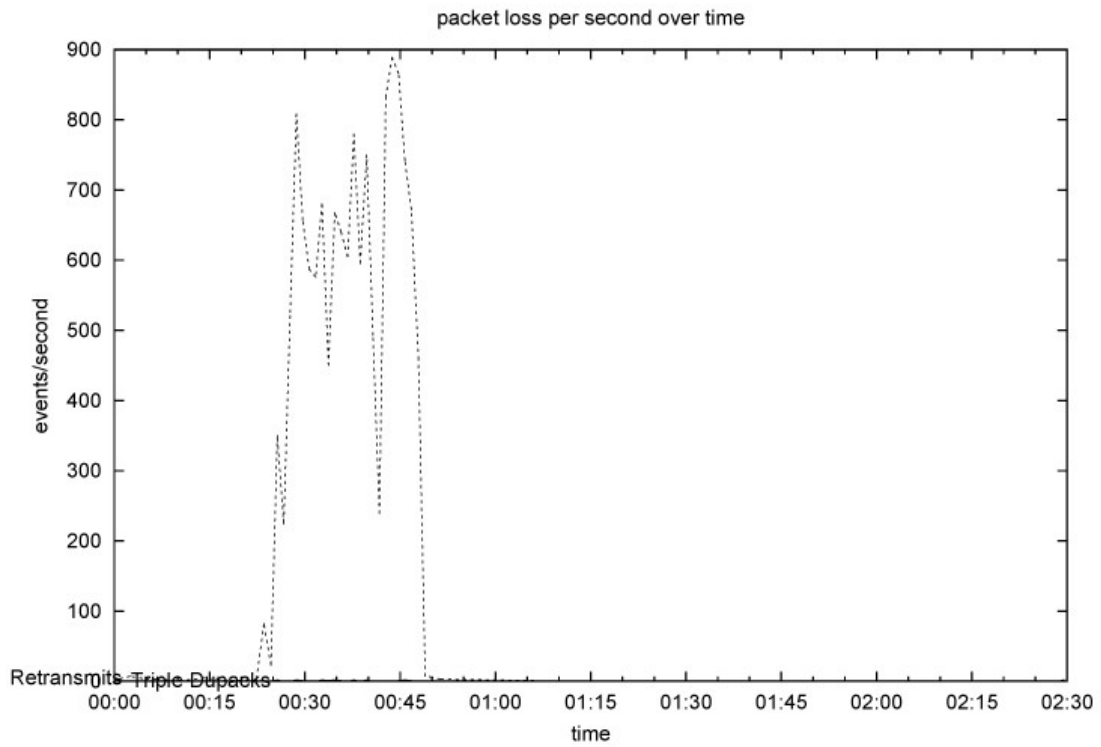
Εικόνα 304 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 305 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

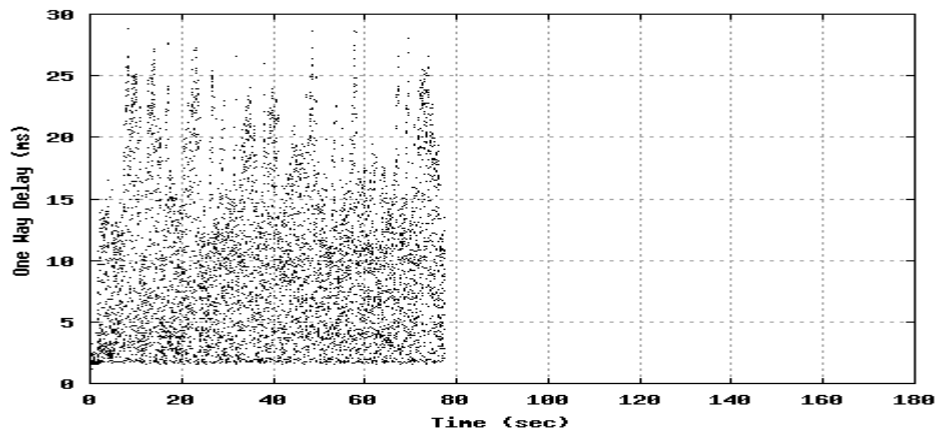


Εικόνα 306 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

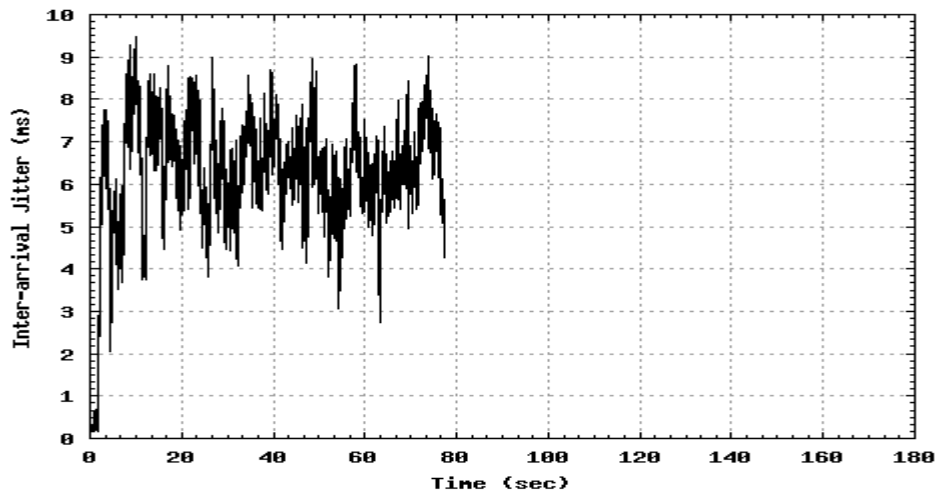


Εικόνα 307 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

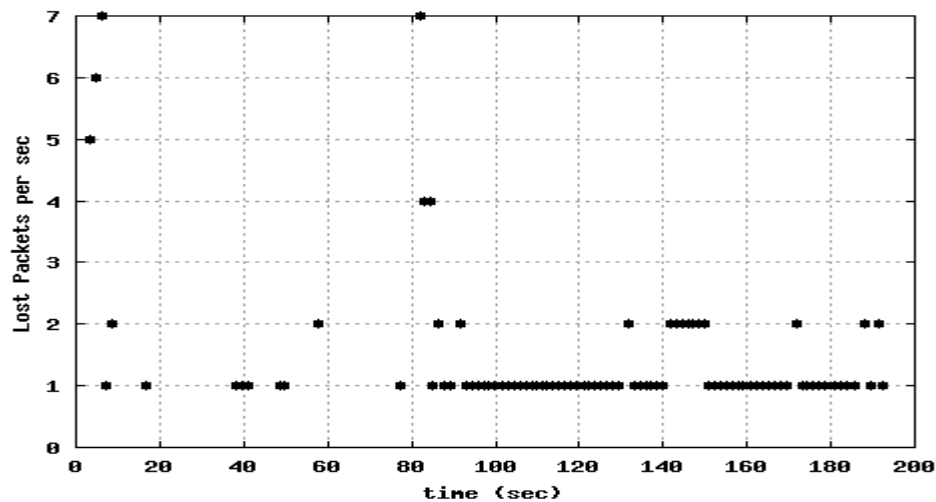
UDP User 9



Εικόνα 308 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 309 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter



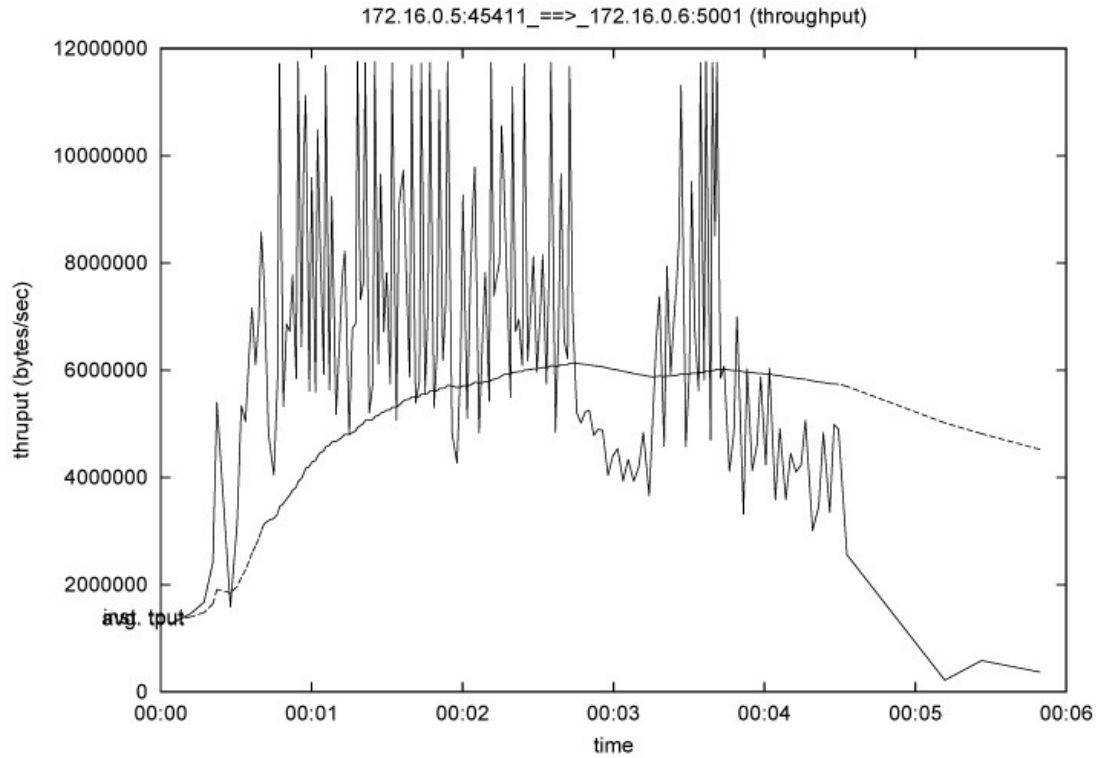
Εικόνα 310 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

Σε αυτό το σημείο έχουμε 10 χρήστες να επικοινωνούν, πάλι σε παράλληλη συγχρονισμένο και ασύγχρονο τύπο επικοινωνίας. Έχουμε πάρει, λοιπόν, ενδεικτικά τις γραφικές των χρηστών 1, 5 και 9. Αρχίζοντας από την συγχρονισμένη επικοινωνία, παρατηρείται από τις γραφικές των throughput, μια σειριακή κίνηση των χρηστών, στην

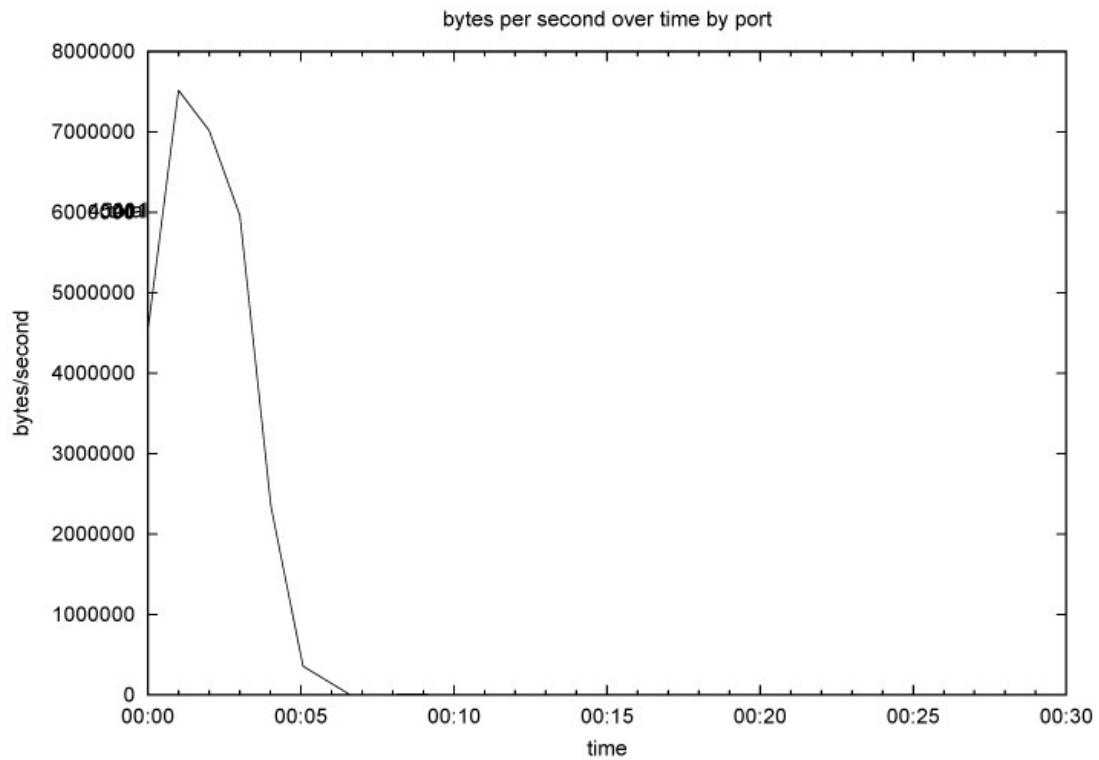
χρησιμοποίηση του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα ο πρώτος χρήστης επικοινωνούσε με τον εξυπηρετητή μόνο στα πρώτα 20” της πειραματικής διαδικασίας, έπειτα ο 5^{ος} χρήστης επικοινωνήσε για λίγο από τα 15” ως 30” και λίγο στα 65”-75”, ενώ στη συνέχεια ο 9^{ος} χρήστης 50” ως 75”, φαίνεται η περιοδική συμμετοχή των χρηστών σε σχέση με τον εξυπηρετητή και την επικοινωνία τους. Στα αντίστοιχα κενά που βλέπουμε στις γραφικές αυτών θα επικοινωνούν και οι υπόλοιποι χρήστες των δέκα. Βάση της ανάλυσης το throughput που πήραμε σαν μέσο όρο σε αυτή τη φάση ήταν 7.039 kbps. Ένα αρκετά ικανοποιητικό αποτέλεσμα αν σκεφτούμε πως είναι ένας τύπος επικοινωνίας σύνθετος με αρκετούς χρήστες. Λεπτομερέστερα, ίδιο throughput υπολογίσαμε στο μέρος του πειράματος που υλοποιήσαμε μεμονωμένη συγχρονισμένη επικοινωνία με ίδιο αριθμό χρηστών, έτσι φαίνεται πως το γεγονός πως προστέθηκε ακόμα ο ασύγχρονος τρόπος επικοινωνίας με ίδιο αριθμό χρηστών δεν επηρέασε την ποιότητα της επικοινωνίας. Επίσης, πάλι με τον ίδιο αριθμό χρηστών στην και στην μεμονωμένη αλλά και σύνθετη επικοινωνία με δέκα χρήστες και σε κοντινή απόσταση, πήραμε πολύ χαμηλότερο throughput, στην πρώτη περίπτωση 5.696 kbps και στην δεύτερη 0,56 kbps. Συμπερασματικά, η κοντινή επικοινωνία δεν ήταν αρκετά ικανοποιητική, όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα, αυτό πιθανών να οφείλεται στο γεγονός ότι ο χώρος ήταν εργαστήριο υλοποίησης δικτύων και παράλληλων αποστολών/ λήψεων. Το μέσο RTT ήταν 24,15 και ο μέσος αριθμός χαμένων πακέτων ήταν 5.032 και όπως μπορούμε να διακρίνουμε από τις γραφικές, των επιλαχόντων χρηστών, οι απώλειες υφίστανται μόνο κατά τη διάρκεια που συμμετέχουν στην επικοινωνία και όχι στην υπόλοιπη διάρκεια μέχρι το τέλος της προσομοίωσης, κάτι που δεν συμβαίνει στην ασύγχρονη επικοινωνία, αντιθέτως. Στην UDP επικοινωνία όπως φαίνεται και στις γραφικές των άλλων χρηστών, κάθε απώλεια της επικοινωνίας κυρίως παρουσιάζονται καθ’ όλη την υπόλοιπη διάρκεια εκτός από αυτή που συμμετέχουν όλοι οι χρήστες, οι οποίοι λαμβάνουν και είναι κοινή, δεν υπάρχει εναλλαγή αλλά ο εξυπηρετητής στέλνει παράλληλα σε όλους. Ο χρόνος αυτός που στέλνει ο εξυπηρετητής στους χρήστες είναι τα πρώτα 80”, όπως διακρίνεται από τις γραφικές παραπάνω και οι απώλειες όλες προστίθενται κυρίως στον υπόλοιπο χρόνο μέχρι και το τέλος των 180”. Οι καθυστερήσεις που σημειώθηκαν βάση της 9,43 msec, το jitter 6,38 msec και οι απώλειες 2,17%.

✓ TCP και UDP παράλληλη επικοινωνία με 30 χρήστες.

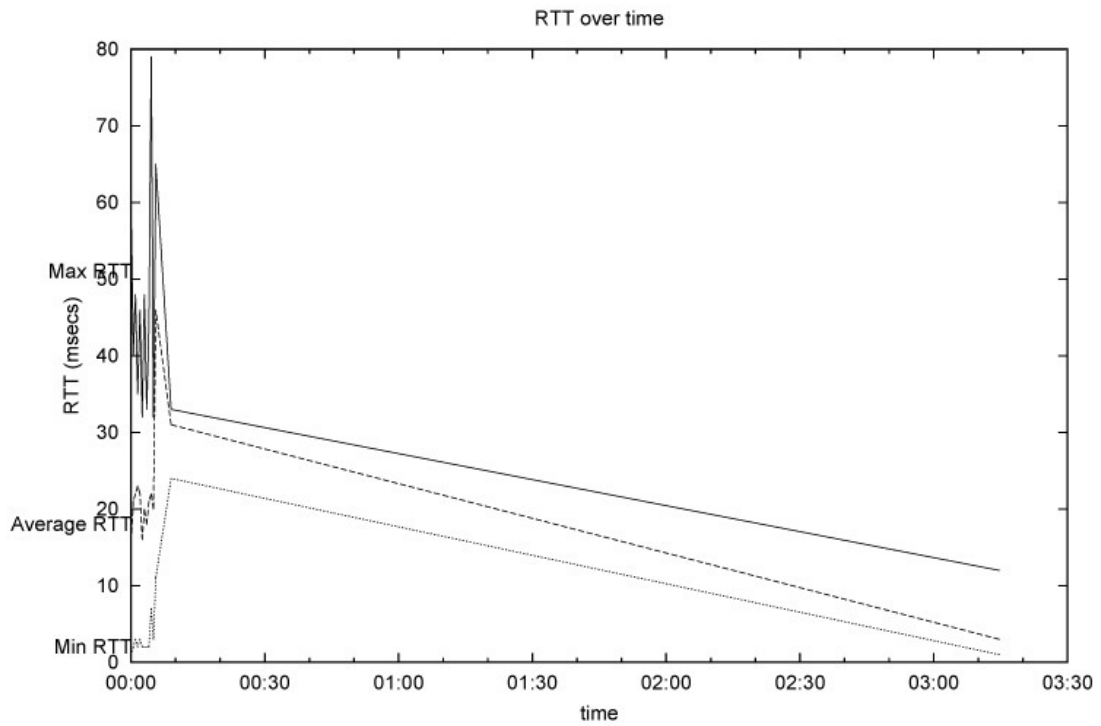
TCP User1



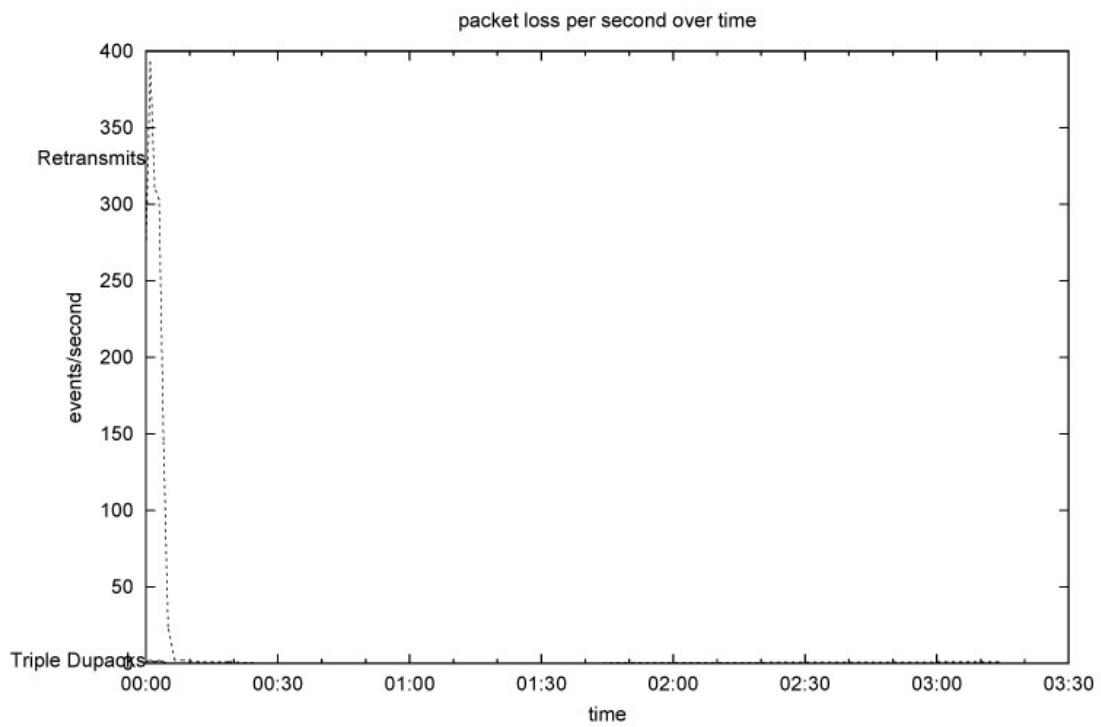
Εικόνα 311 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 312 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

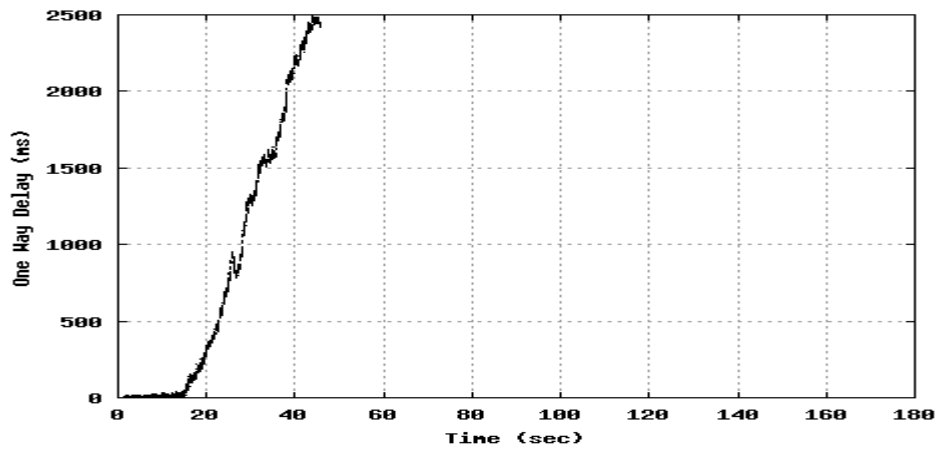


Εικόνα 313 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

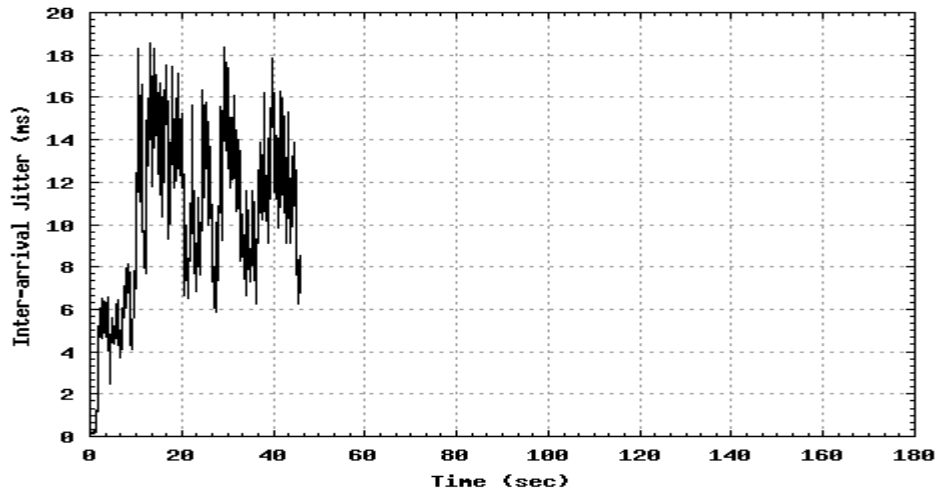


Εικόνα 314 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

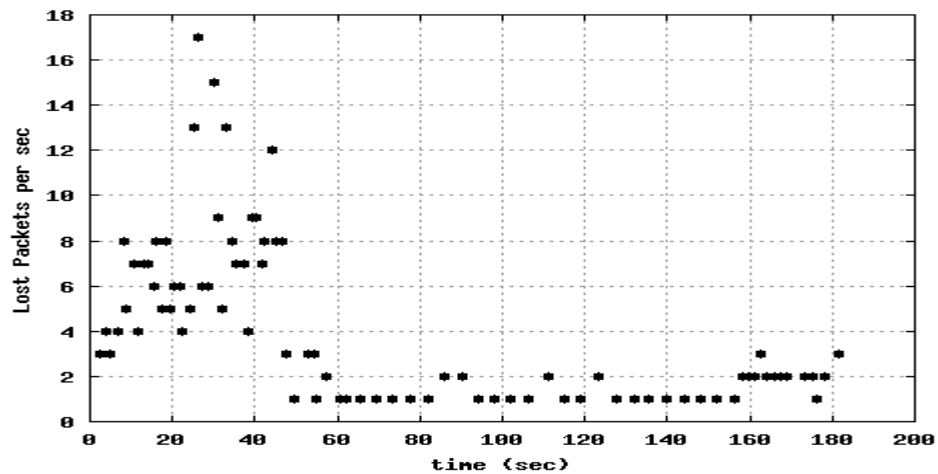
UDP User1



Εικόνα 315 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

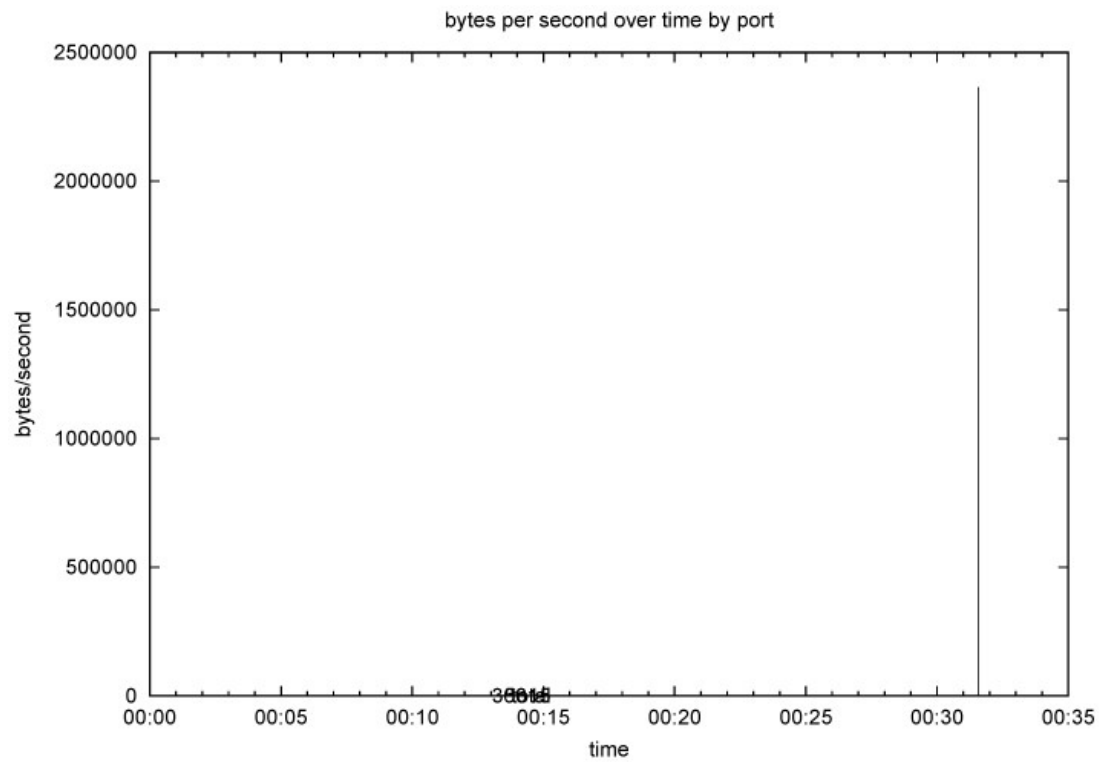


Εικόνα 316 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

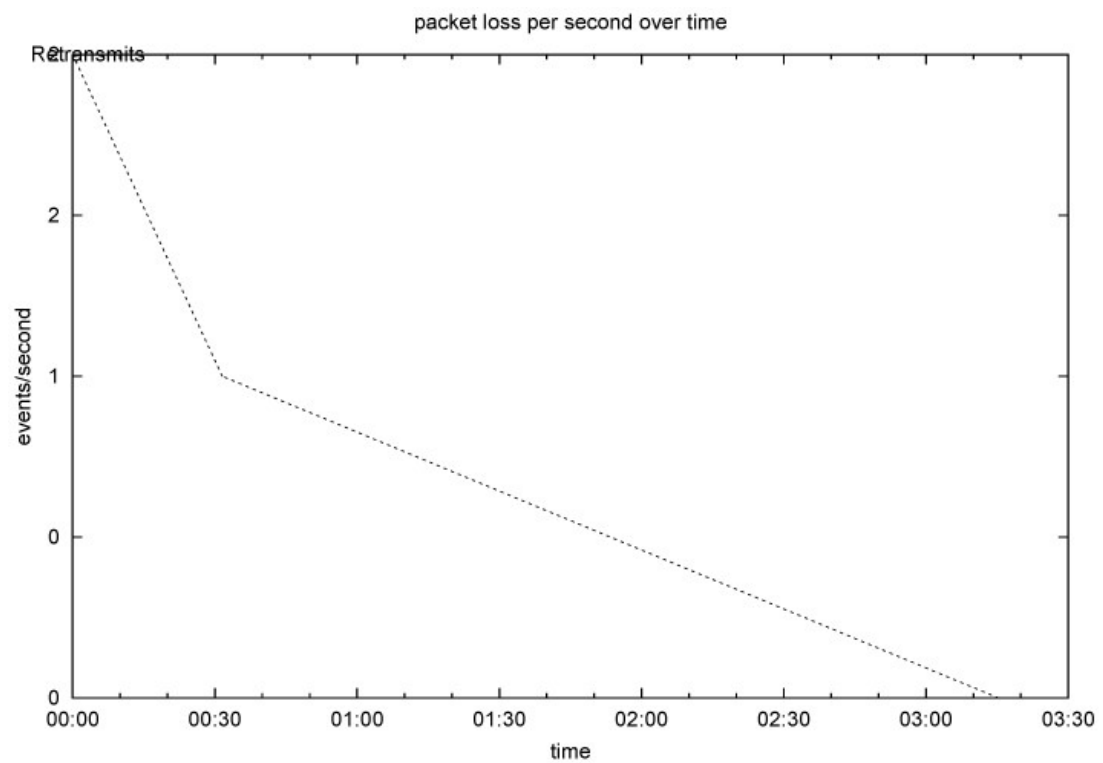


Εικόνα 317 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

TCP User15

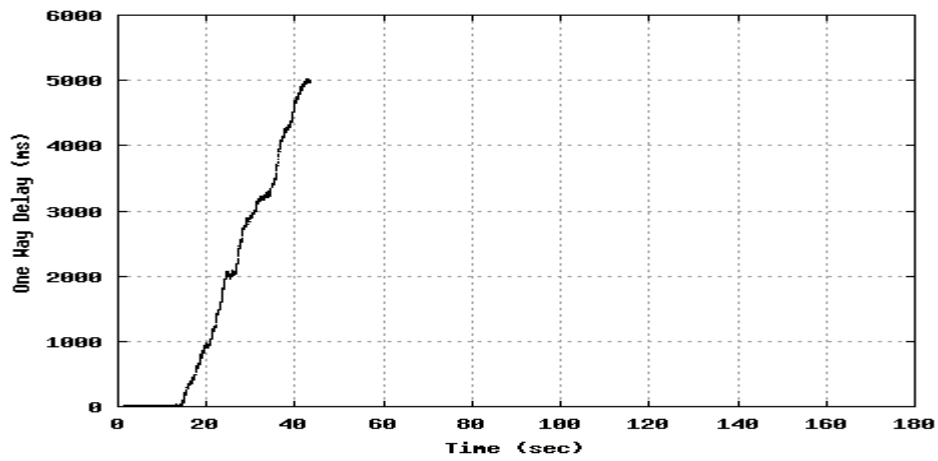


Εικόνα 318 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

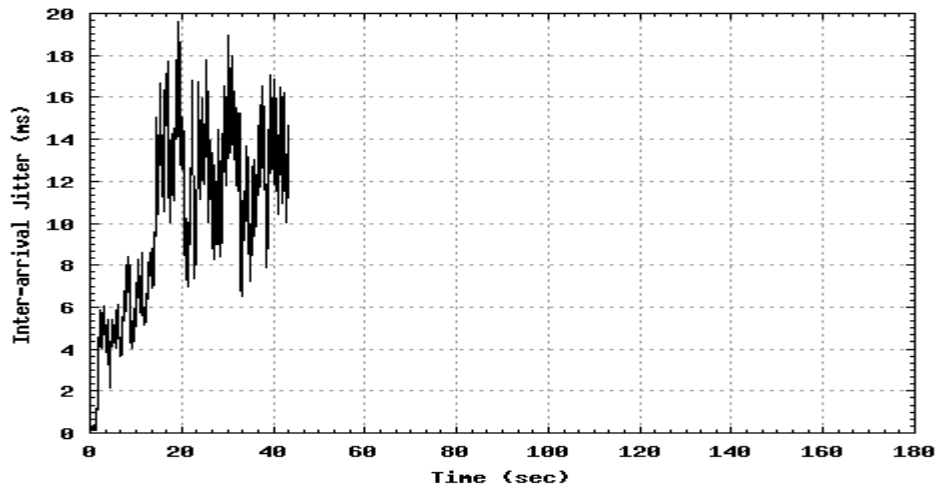


Εικόνα 319 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses

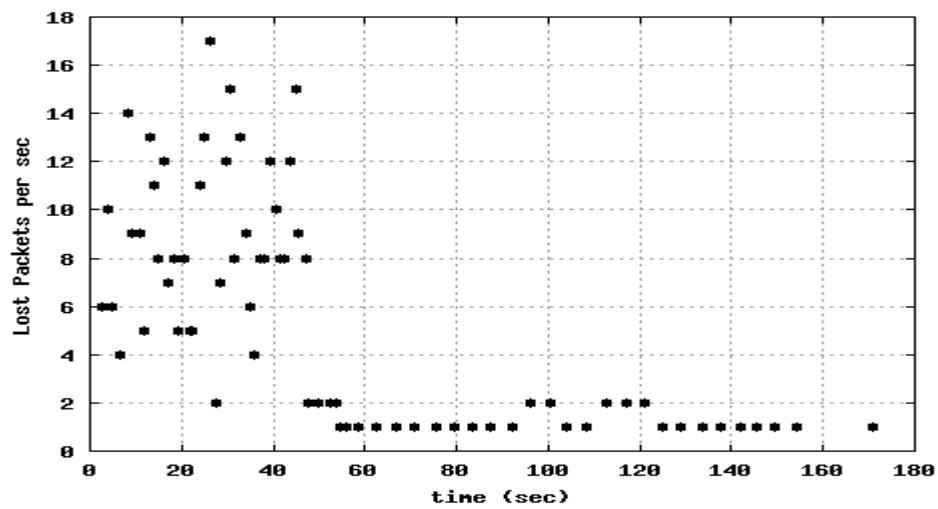
UDP User15



Εικόνα 320 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

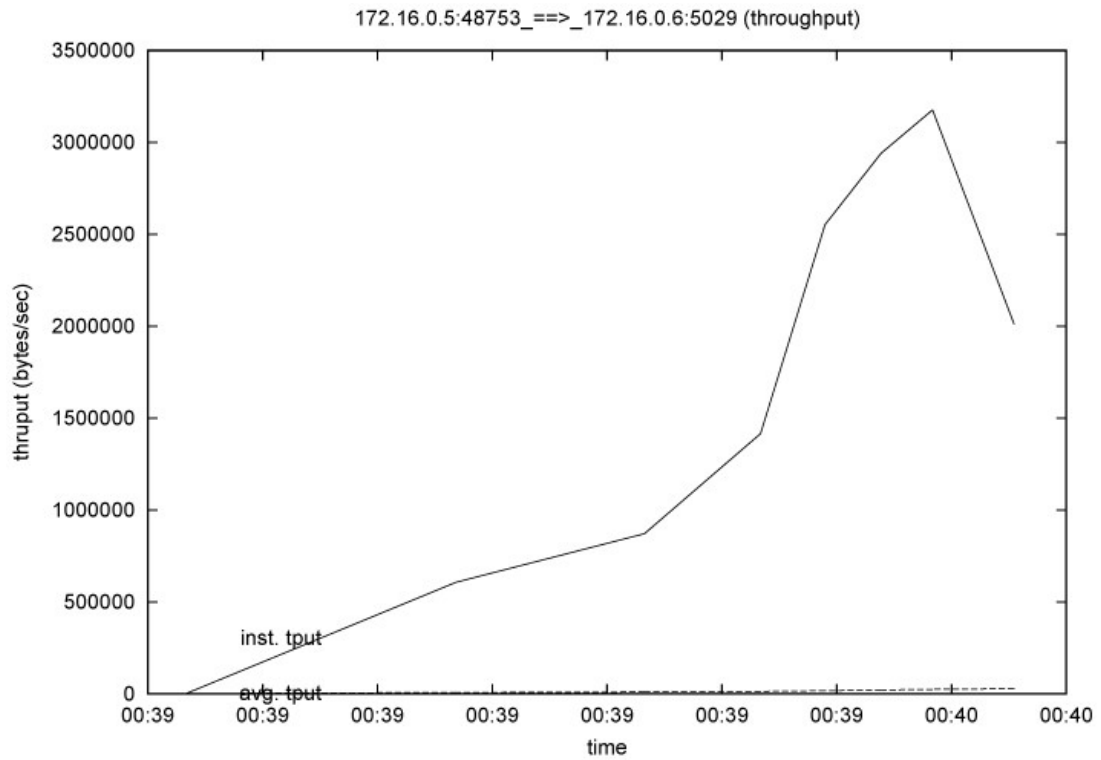


Εικόνα 321 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

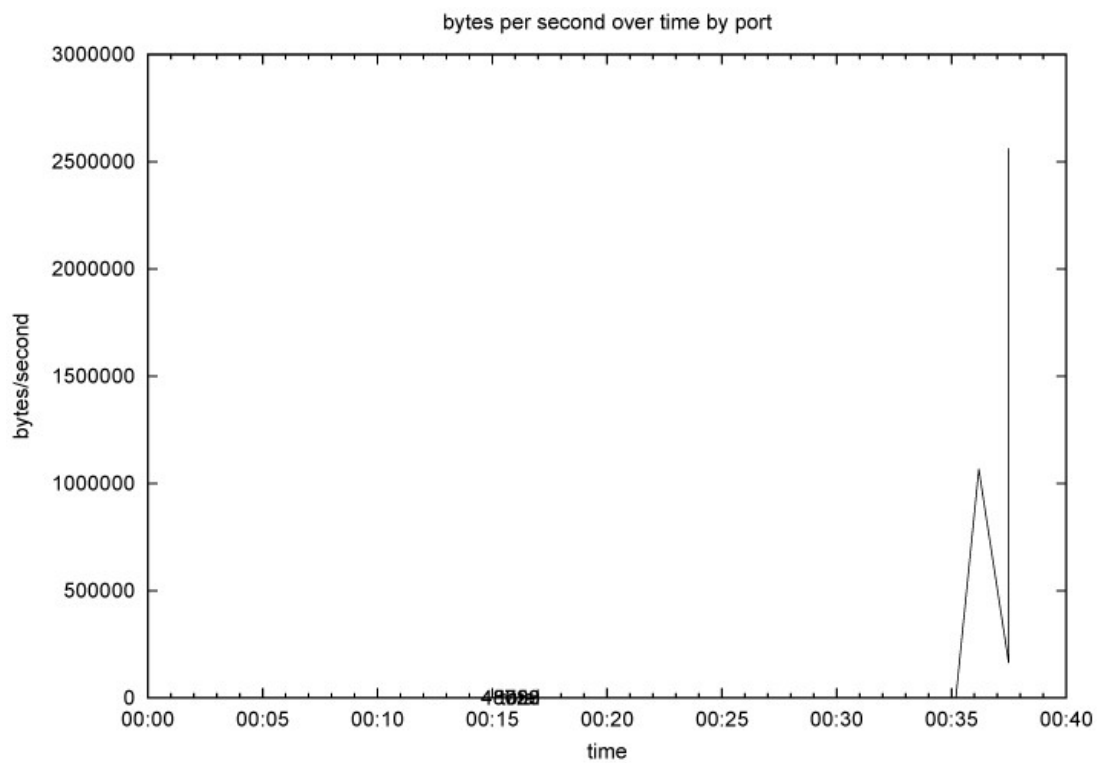


Εικόνα 322 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

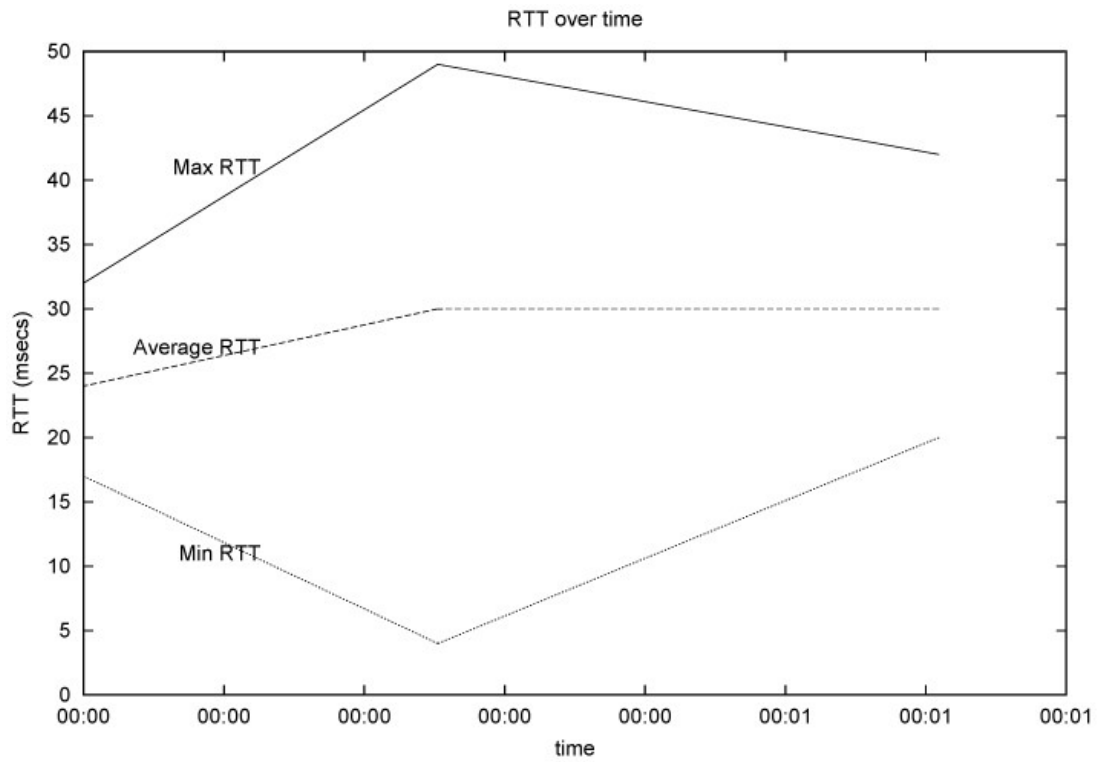
TCP User29



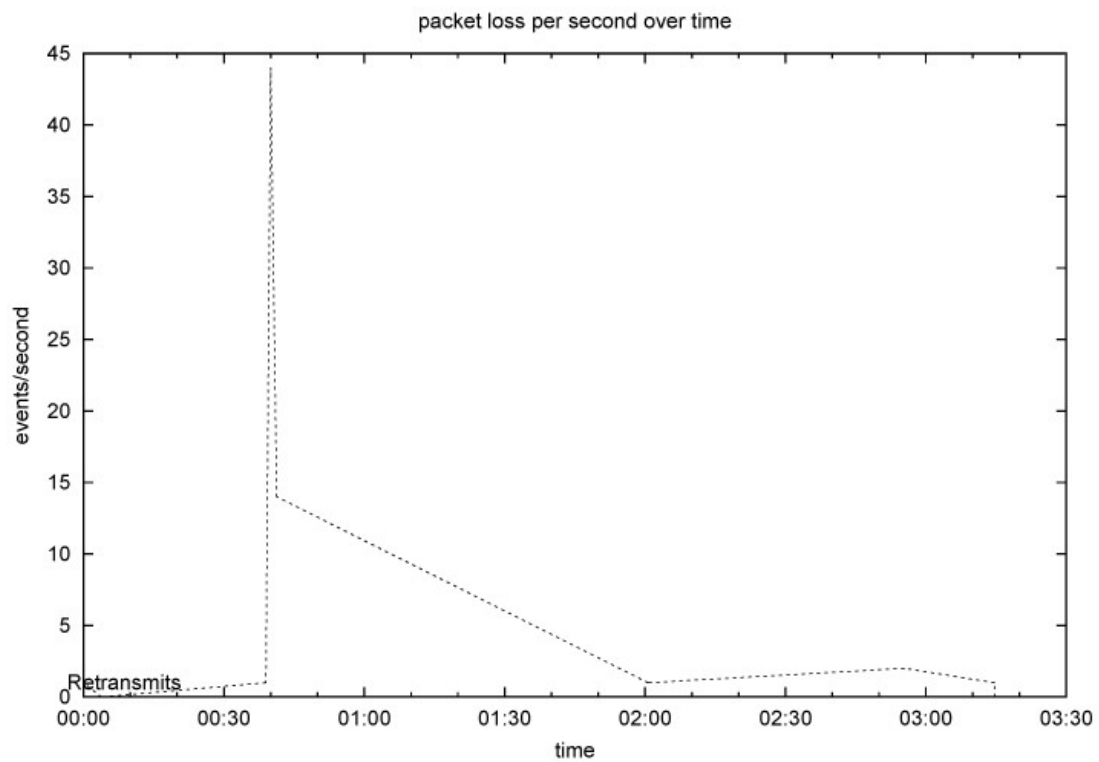
Εικόνα 323 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 324 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

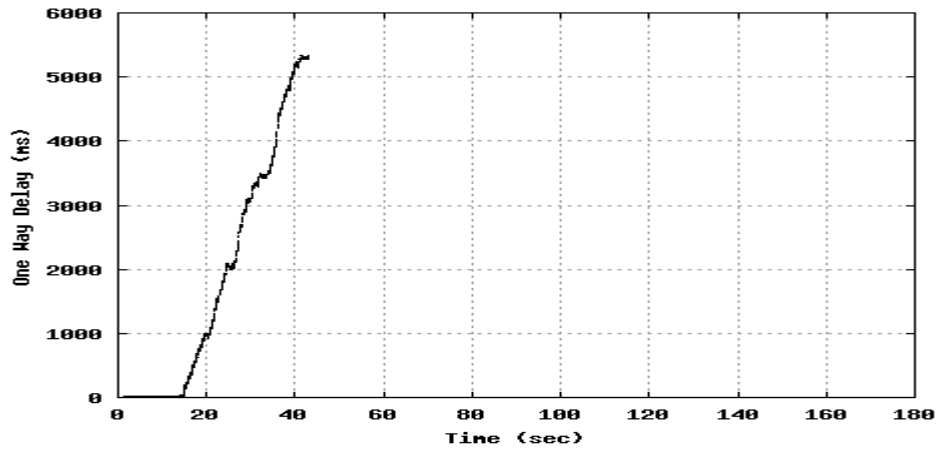


Εικόνα 325 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

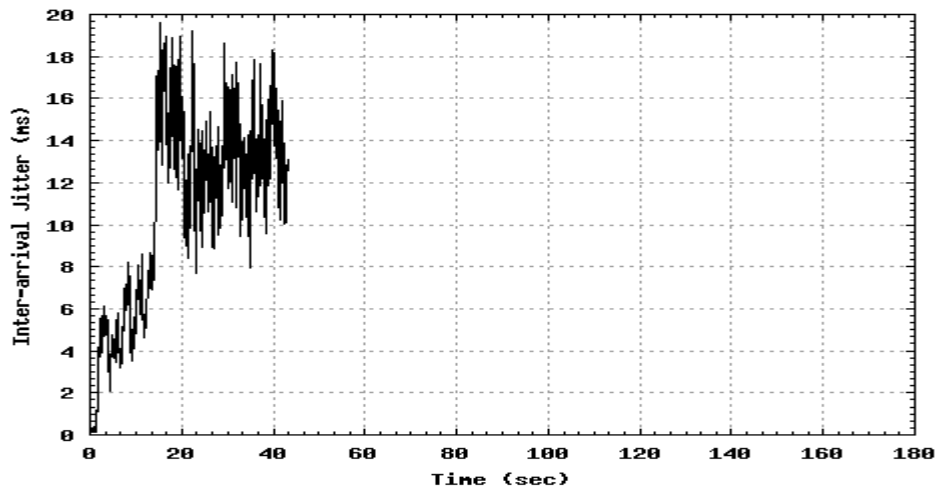


Εικόνα 326 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

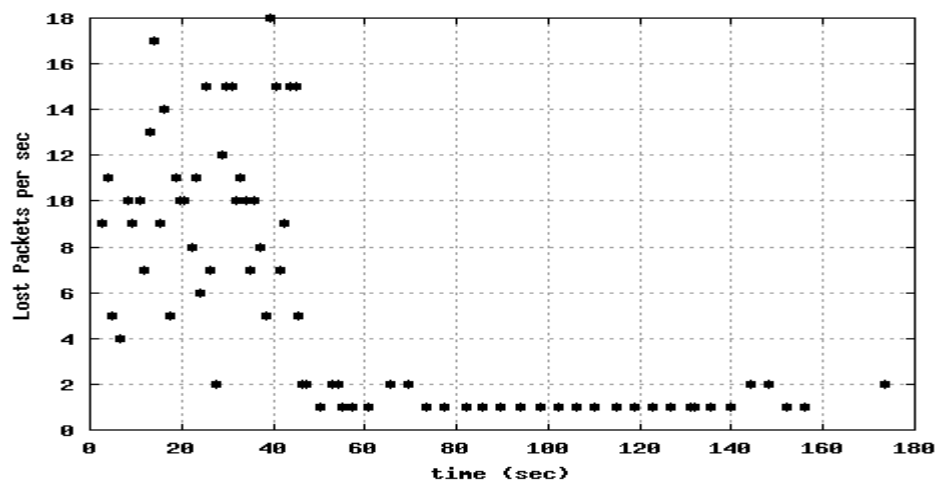
UDP User29



Εικόνα 327 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 328 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

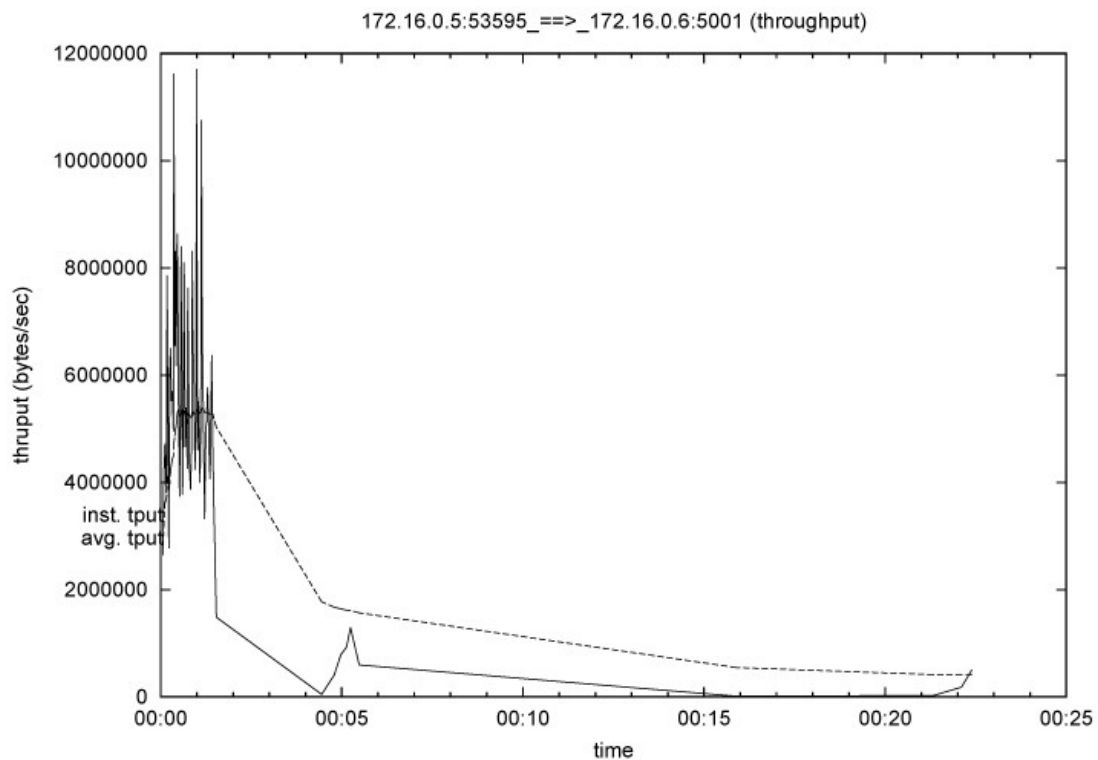


Εικόνα 329 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

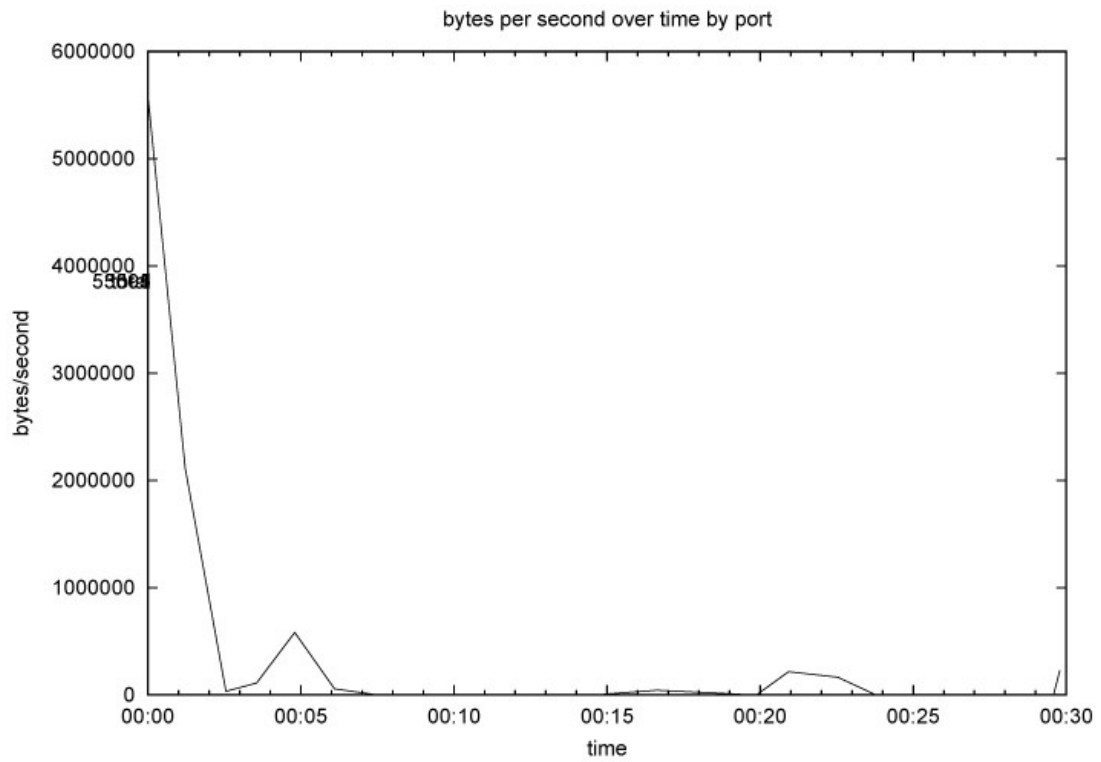
Και σε αυτό το σημείο του πειράματος με 30 χρήστες, όπου πήραμε τις γραφικές των 1, 15 και 29, παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά του δικτύου με την προηγούμενη περίπτωση των δέκα. Ο πρώτος χρήστης πρόλαβε να επικοινωνήσει με τον εξυπηρετητή τα πρώτα 5", ο 15^{ος} δεν κατάφερε να συμμετάσχει αποτελεσματικά καθώς ξεκίνησε με throughput 0,008 kbps αλλά όπως φαίνεται στη γραφική είχε απότομη πτώση μέχρι το μηδενισμό του και τέλος ο 29^{ος} χρήστης συμμετείχε από 35" ως 40" από τη γραφική και κυρίως πρόλαβε να αναπτύξει 234,9 kbps μέσα σε ένα δευτερόλεπτο 39" – 40". Ο μέσος όρος throughput εδώ και για όλους τους χρήστες ήταν 2.234 kbps. Το RTT είναι 8.582 msec, οι απώλειες 765 πακέτα. Όσον αφορά την παράλληλη ασύγχρονη επικοινωνία, υλοποιείται τα πρώτα 40", όπου η μεγαλύτερη αποστολή επιτυγχάνεται από 20"- 40". Ο μέσος όρος μονόδρομης καθυστέρησης είναι 1.667 msec, μέσο jitter 10,33 msec και τέλος απώλειες 10,58%.

✓ **TCP και UDP επικοινωνία παράλληλη με 50 χρήστες.**

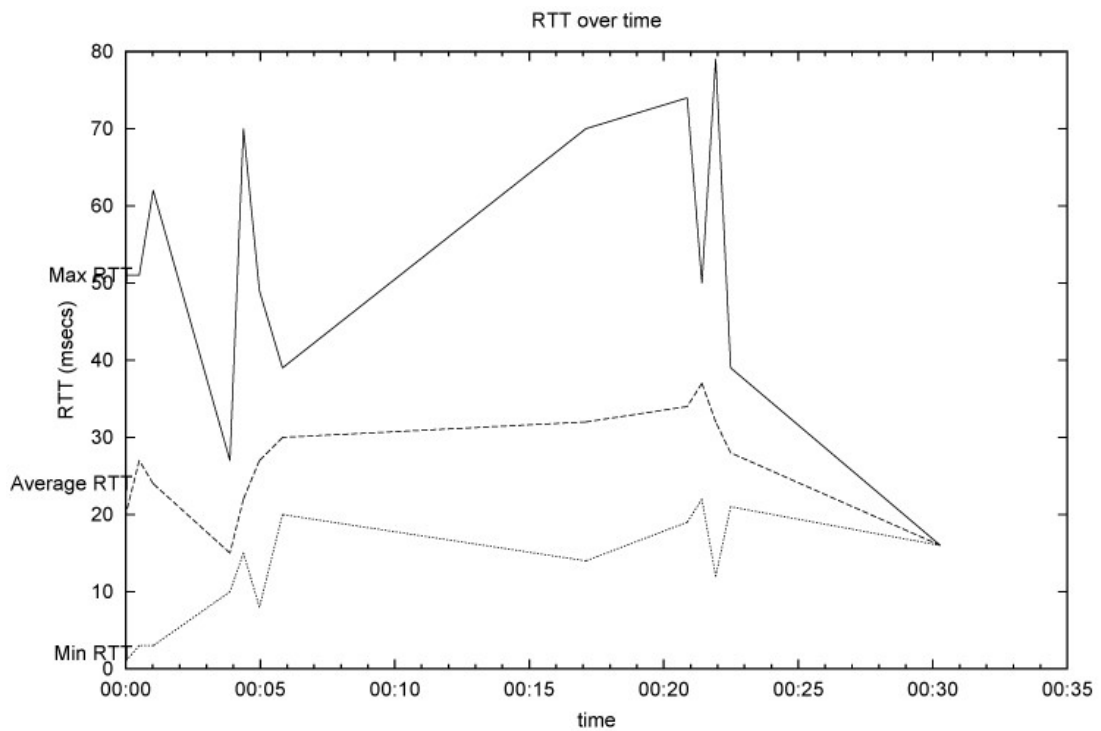
TCP User1



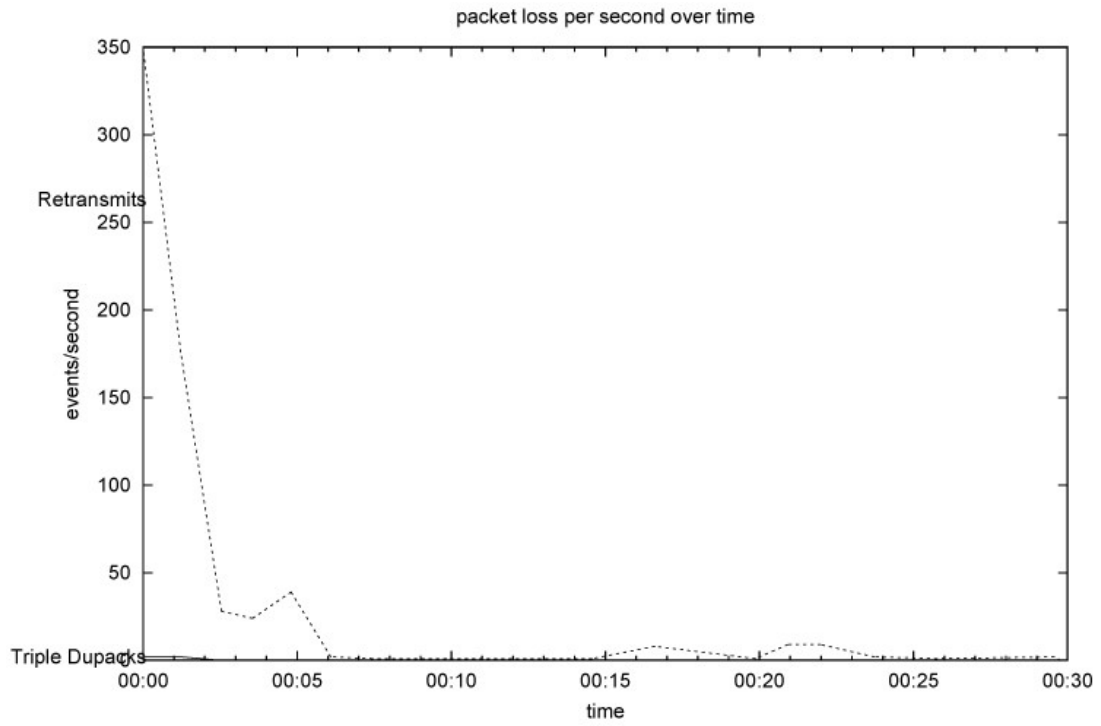
Εικόνα 330 Γραφική Παράσταση του Throughput (segments)



Εικόνα 331 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

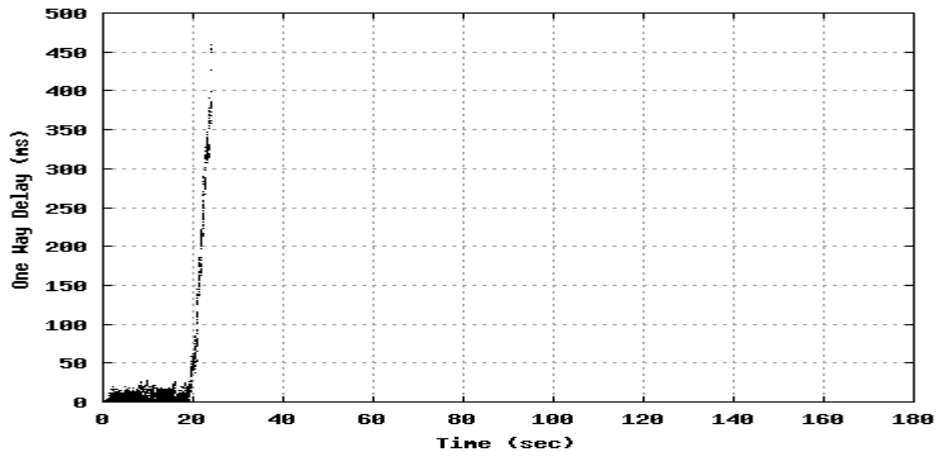


Εικόνα 332 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

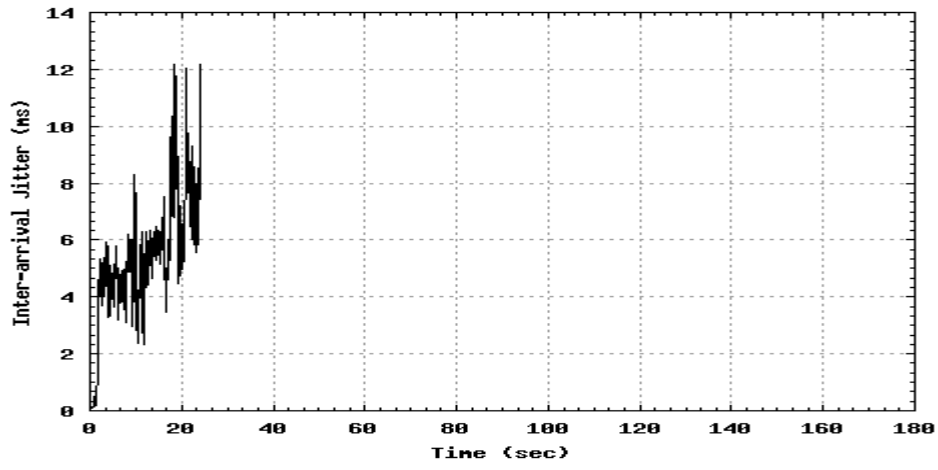


Εικόνα 333 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

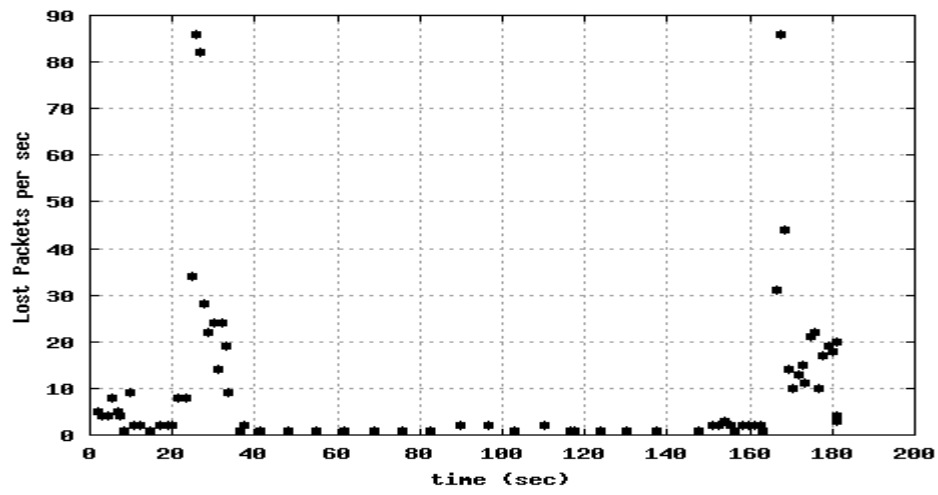
UDP User1



Εικόνα 334 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

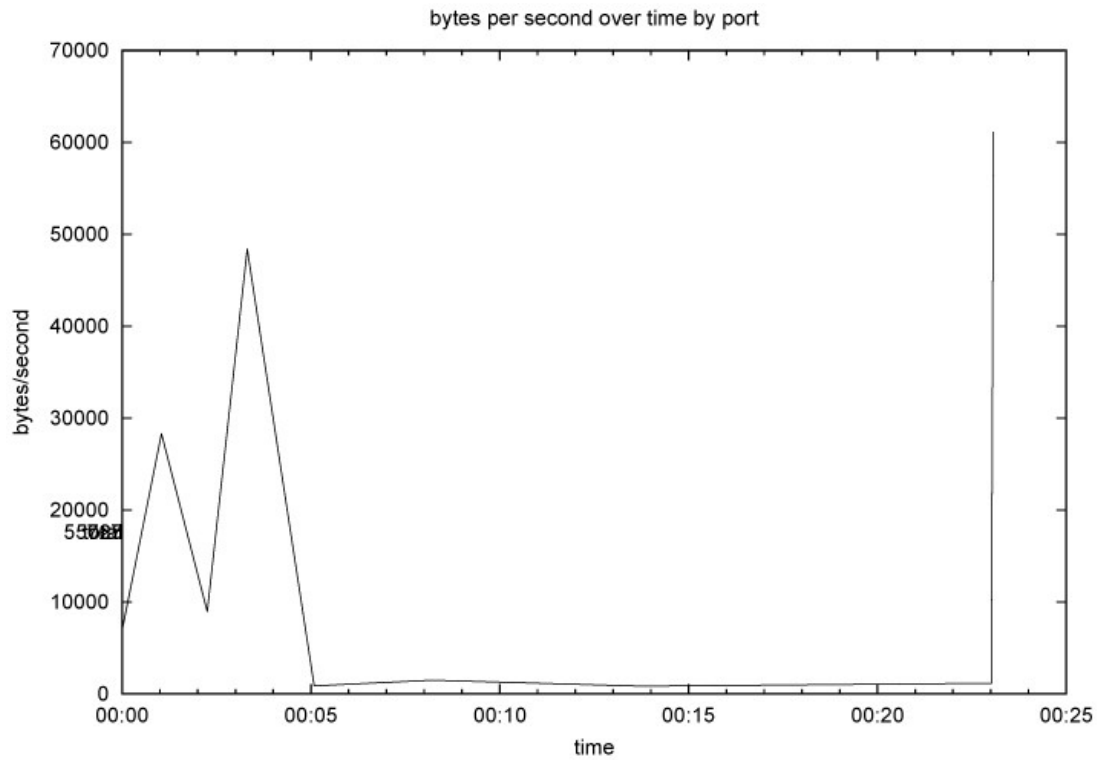


Εικόνα 335 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

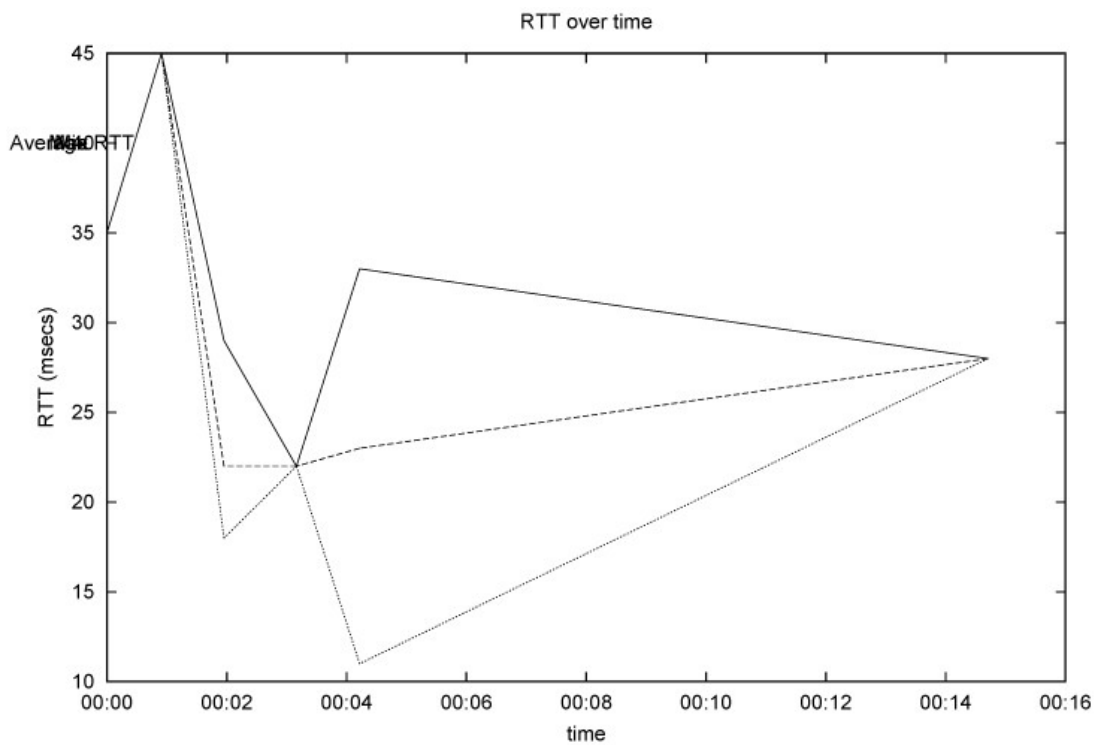


Εικόνα 336 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

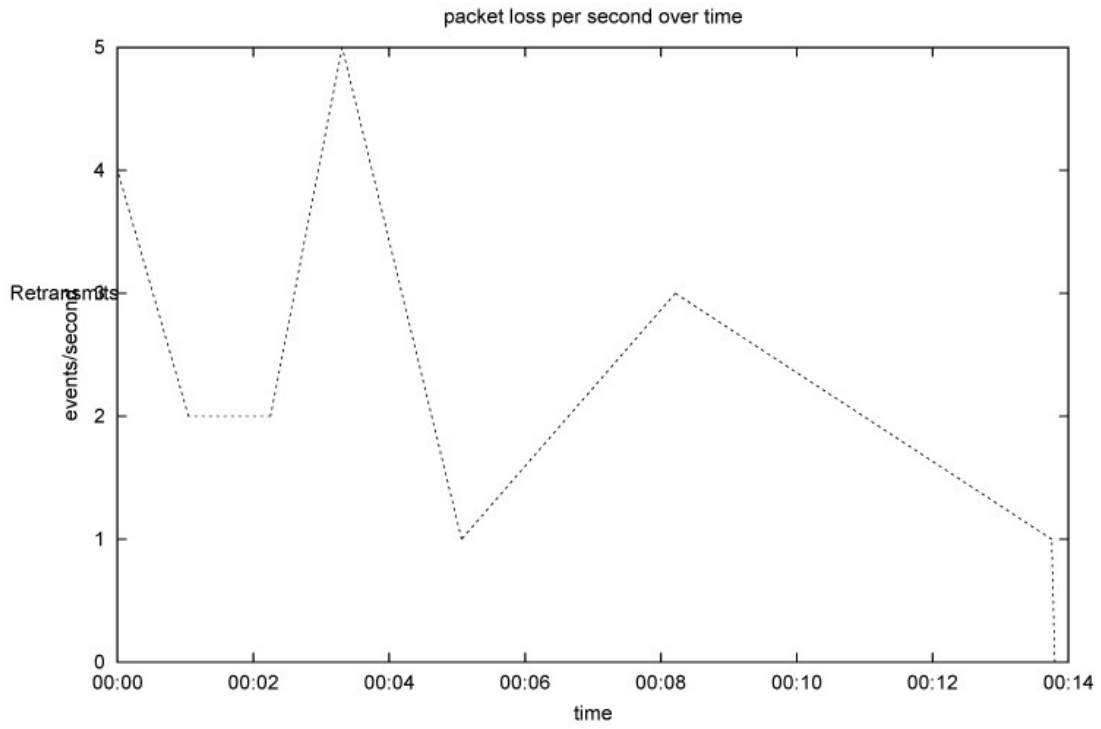
TCP User25



Εικόνα 337 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

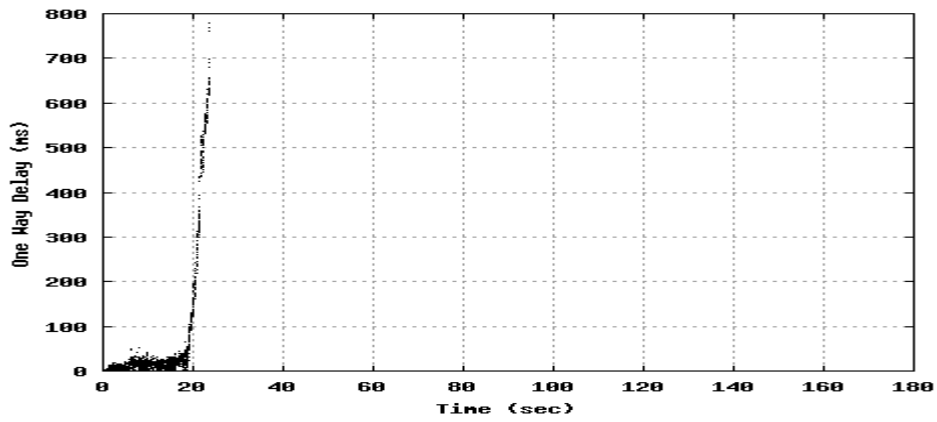


Εικόνα 338 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

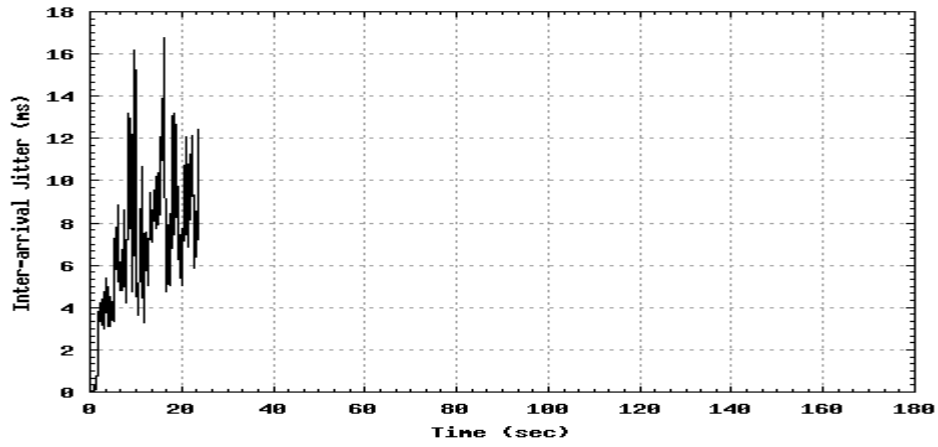


Εικόνα 339 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses

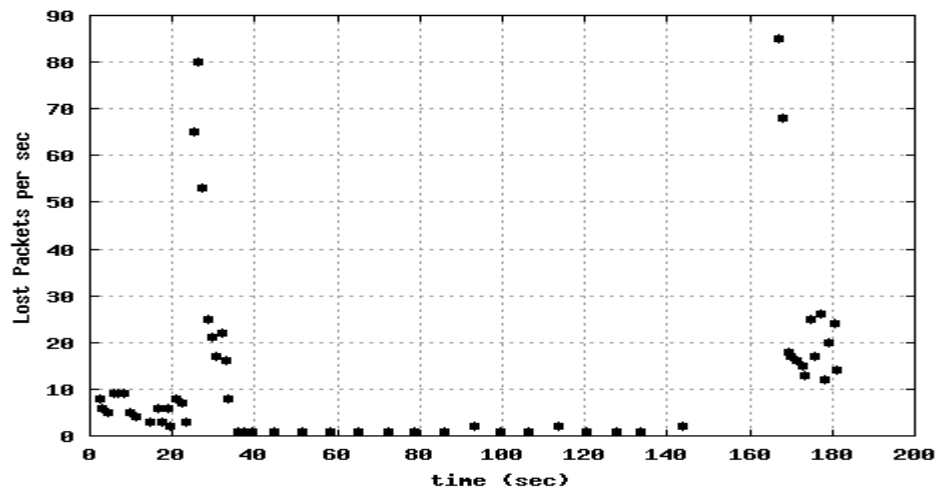
UDP User25



Εικόνα 340 Γραφική Παράσταση του One Way Delay

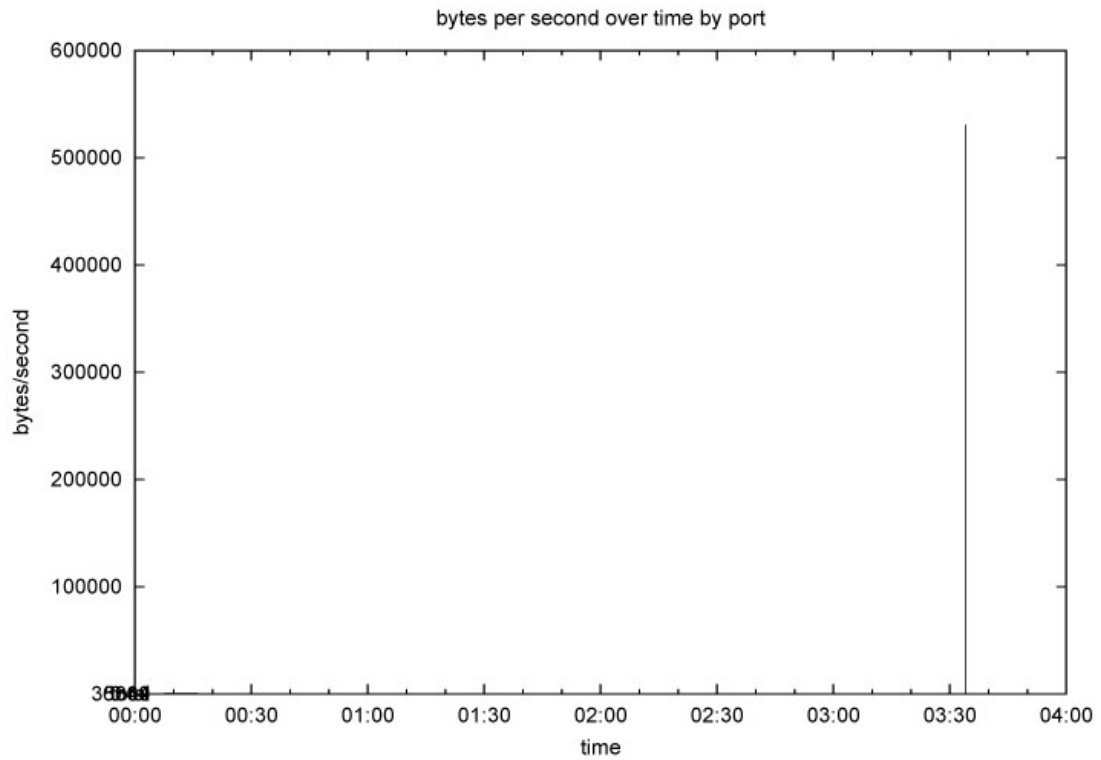


Εικόνα 341 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter

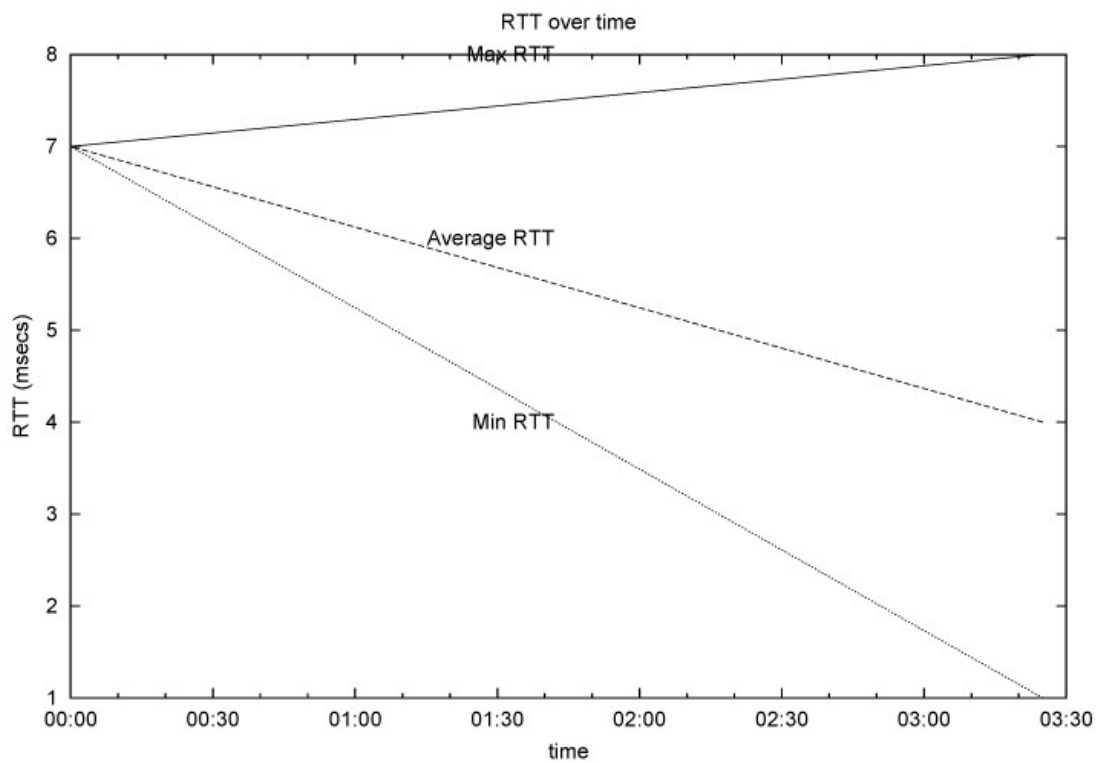


Εικόνα 342 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

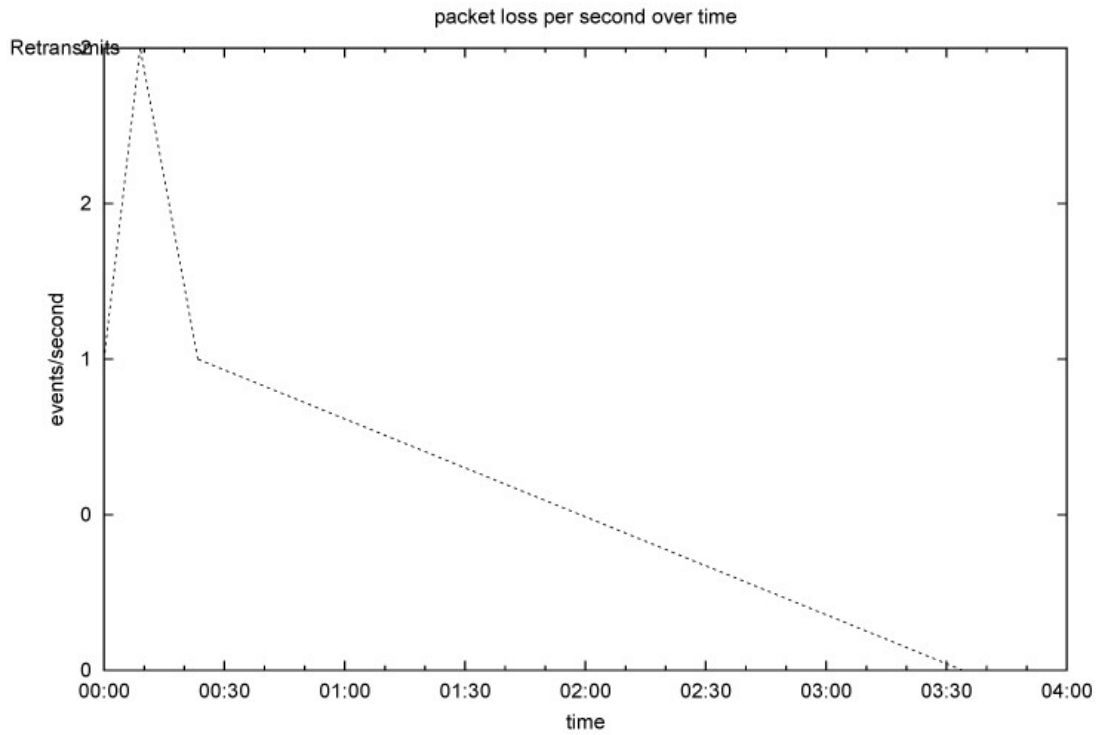
TCP User49



Εικόνα 343 Γραφική Παράσταση του Throughput (time)

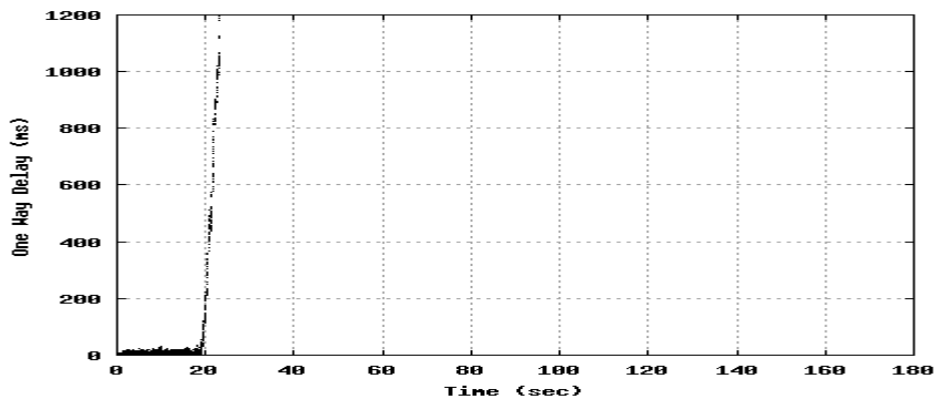


Εικόνα 344 Γραφική Παράσταση του RTT (Round Trip Time)

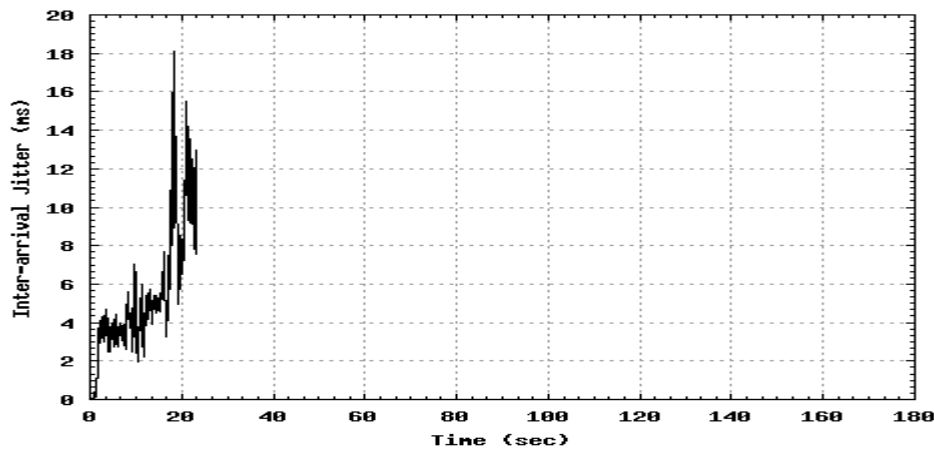


Εικόνα 345 Γραφική Παράσταση του Traffic Losses (Απώλειες)

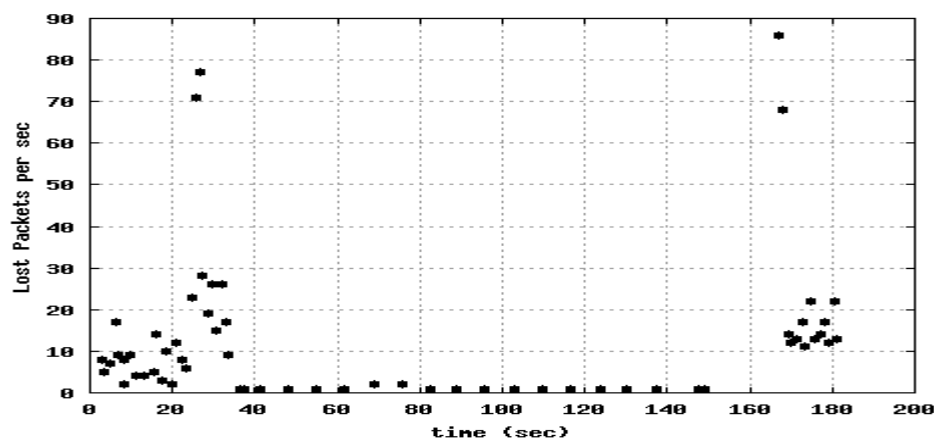
UDP User49



Εικόνα 346 Γραφική Παράσταση του One Way Delay



Εικόνα 347 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter



Εικόνα 348 Γραφική Παράσταση του Packet Losses

Τέλος, εξετάζουμε το ίδιο συνδυασμό επικοινωνίας με πενήντα χρήστες με δείγματα γραφικών τους 1, 25 και 49. Είναι εμφανής η μικρότερη συμμετοχή των χρηστών στην επικοινωνία, σε χρόνο. Βλέπουμε λοιπόν στις γραφικές των throughput αρχικά τον πρώτο χρήστη να συμμετάσχει το πρώτο δευτερόλεπτο να πέφτει μέχρι το 5'' και συνεχίζει να πέφτει ως ότου το 20'' όπου και σταματάει η επικοινωνία του. Στη συνέχεια ο 25^{ος} χρήστης συμμετέχει ακόμα λιγότερο και μόνο τα πρώτα 5'', ενώ ο 49^{ος} πολύ λιγότερο χωρίς στην ουσία απ' ότι φαίνεται να έχει επιτυχής επικοινωνία. Παρ' όλα αυτά βάση της ανάλυσης φαίνεται πως όλοι οι χρήστες κατάφεραν να συμμετάσχουν στην επικοινωνία άσχετα με το ποσοστό επιτυχίας και διάρκειας. Ο μέσος όρος καθυστέρησης κυκλικής διαδρομής είναι 22,7 msec και τα χαμένα πακέτα 227,14. Ενώ το μέσο throughput 781,44 kbps, σχεδόν όσο πήραμε και στην μεμονωμένη συγχρονισμένη επικοινωνία των 50 χρηστών σε απόσταση. Συνεχίζοντας με τη UDP επικοινωνία τα πρώτα 30'' με 40'', με pick στο 30''. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της UDP επικοινωνίας ήταν το One Way Delay 80,20 msec, Smooth Jitter 6,538 msec και οι απώλειες 29,2%.

5.3. Παρουσίαση Στατιστικών των Παραμέτρων

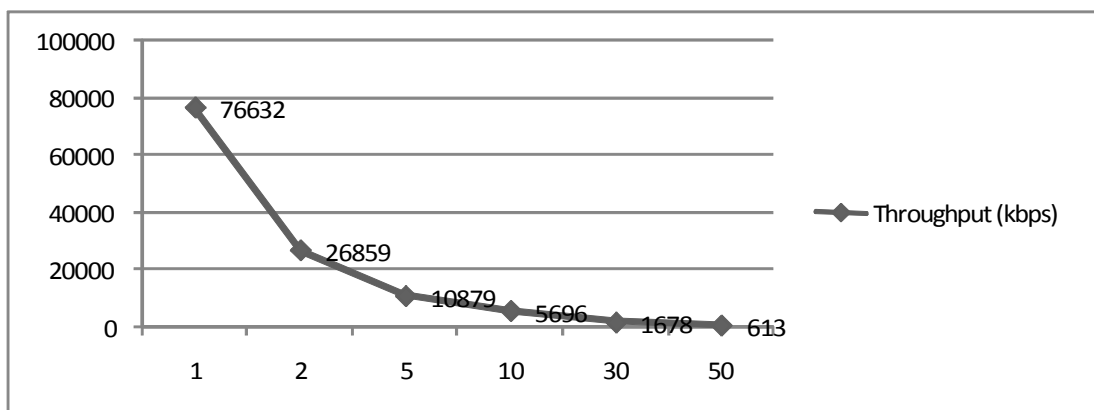
Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν στατιστικά αποτελέσματα των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω και αποτυπώθηκαν με τη μορφή γραφικών παραστάσεων σε κάθε φάση των σεναρίων που υλοποιήθηκαν. Έχοντας υπολογίσει μεμονωμένα τις τιμές των Throughput, RTT (Round Trip Time) και Retransmitted Packets (τα πακέτα που έχει ξανά σταλεί στη διάρκεια της επικοινωνίας – Απώλειες) για την επικοινωνία που υλοποιήθηκε με πρωτόκολλο τύπου TCP και των One Way Delay, Smooth Jitter και Total Packet Loses για την επικοινωνία που υλοποιήθηκε με το πρωτόκολλο UDP. Σε αυτή τη φάση θα μελετηθούν σε κάθε σενάριο η συνολική συμπεριφορά των παραμέτρων αυτών.

5.3.1. Στατιστικά Throughput

Οι τιμές του throughput σε κάθε ομάδα χρηστών από 2 ως τους 50 προήλθε από το μέσο όρο των throughput του κάθε χρήστη χωριστά. Πιο αναλυτικά σε μια TCP επικοινωνία 10 χρηστών παίρνουμε τον μέσο όρο του throughput του κάθε χρήστη χωριστά κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης της επικοινωνίας τους στην διάρκεια των 180' αποτελούμενη από την ομάδα των 10 χρηστών που συμμετείχαν στην επικοινωνία αυτή.

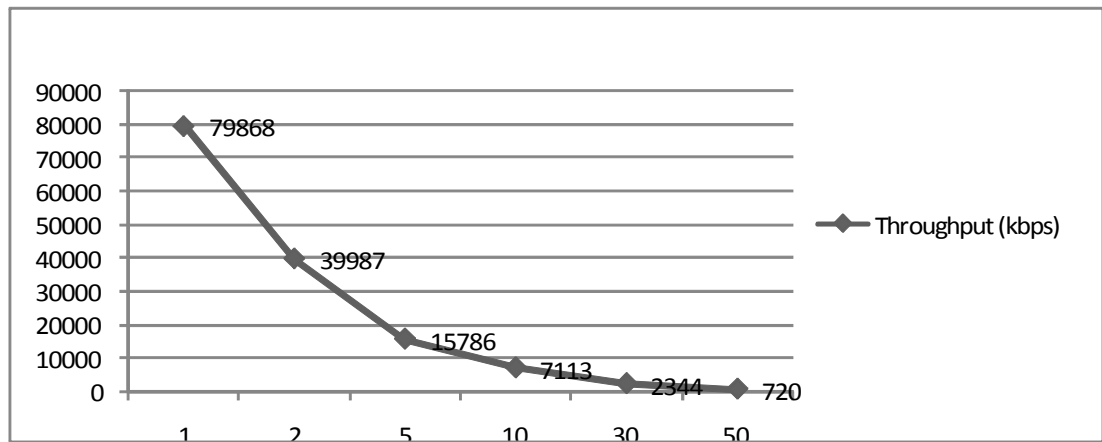
Τα αποτελέσματα Throughput που πήραμε από τις μετρήσεις ήταν σε bytes/ second, έτσι εμείς τα μετατρέψαμε σε kbits/ second (kbps) πολλαπλασιάζοντας τα επί 8 και διαιρώντας με 1.000 και πήραμε τα τελικά αποτελέσματα τα οποία χρησιμοποιήσαμε και στις γραφικές παρακάτω.

- ✓ **Παρακάτω αναπαρίσταται το Throughput (kbps) στους χρήστες 1, 2, 5, 10, 30, 50 σε TCP επικοινωνία και απόσταση client – server περίπου ένα μέτρο (κοντινή επικοινωνία).**



Εικόνα 349 Γραφική Παράσταση του Throughput (Μέσος Όρος)

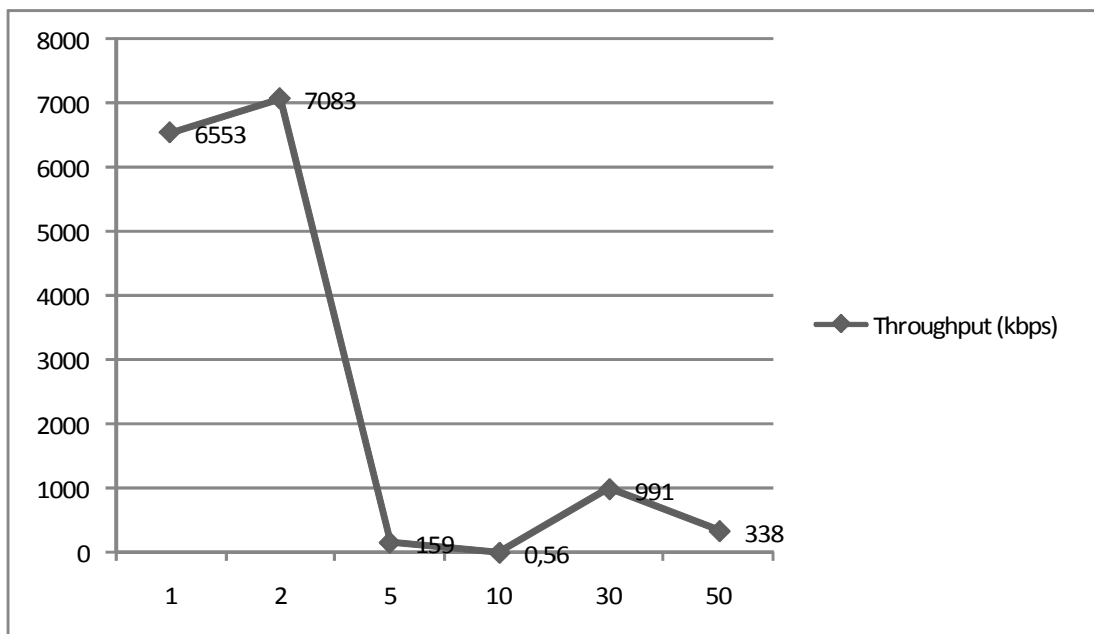
- ✓ Εδώ το Throughput με τους χρήστες 1, 2, 5, 10, 30, 50 σε TCP επικοινωνία και απόσταση client – server είκοσι περίπου μέτρα (σε μακρινή επικοινωνία).



Εικόνα 350 Γραφική Παράσταση του Throughput (Μέσος Όρος)

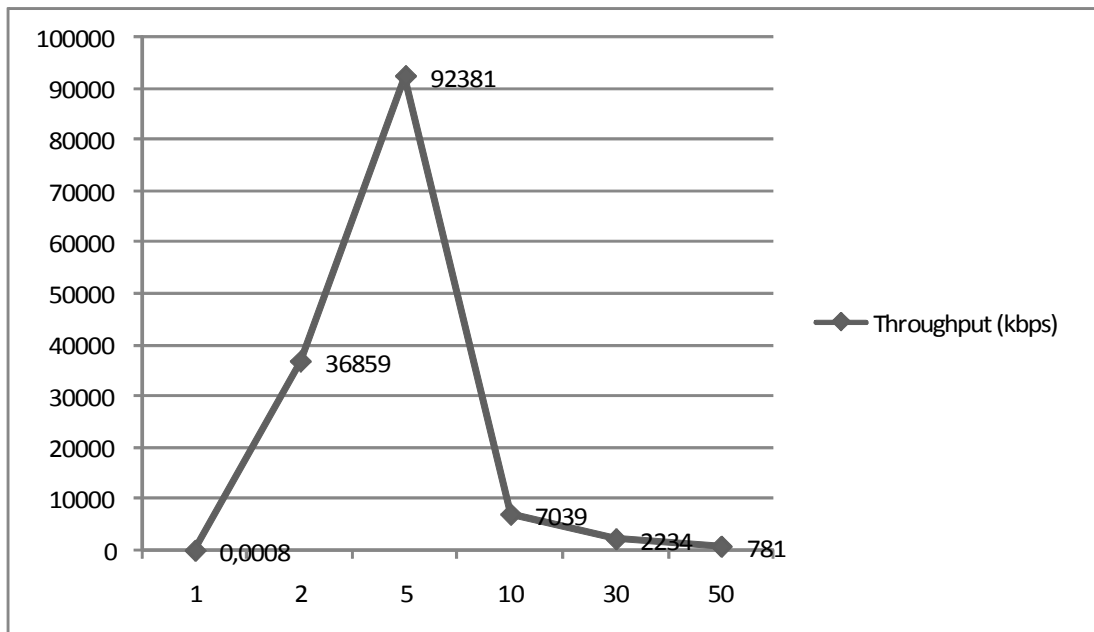
Παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία

- ✓ Clients 1, 2, 5, 10, 30, 50 σε παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία, σε κοντινή απόσταση μεταξύ client – server είναι περίπου στο 1 μέτρο.



Εικόνα 351 Γραφική Παράσταση του Throughput (Μέσος Όρος)

- ✓ **Clients 1, 2, 5, 10, 30, 50 σε παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία, σε μακρινή απόσταση μεταξύ client – server είναι περίπου στα 20 μέτρα.**

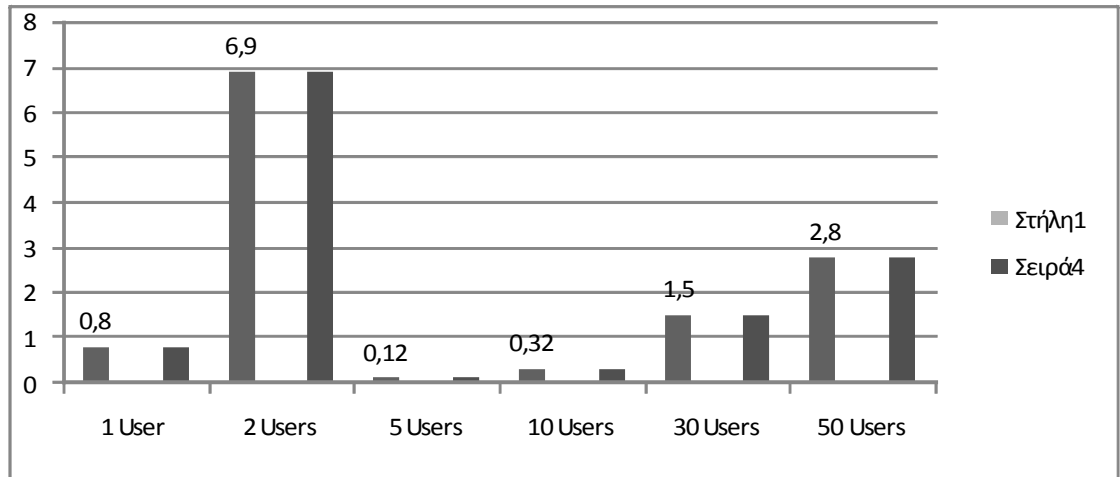


Εικόνα 352 Γραφική Παράσταση του Throughput (Μέσος Όρος)

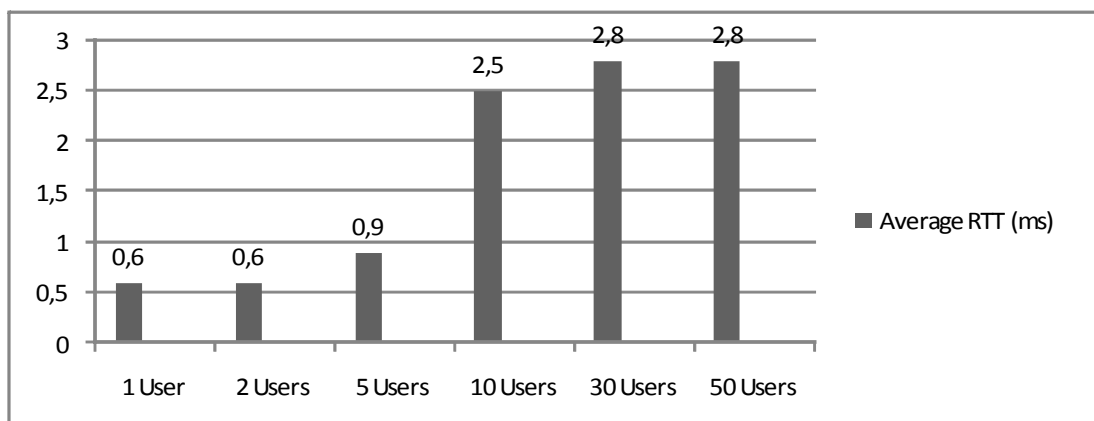
Βάση των παραπάνω γραφημάτων που αναπαριστούν το μέσο όρο των Throughput σε κάθε φάση των σεναρίων παρατηρούμε αρχικά πώς κατά τη διάρκεια των μετρήσεων σε κοντινή απόσταση, όπου βρισκόμασταν μέσα στο εργαστήριο, το συνολικό Throughput ήταν μικρότερο σε σχέση με αυτό που πήραμε σε απόσταση. Αυτό συνέβη γιατί μέσα στο εργαστήριο υπήρχαν διάφορες τεχνολογίες οι οποίες δούλευαν στην ίδια περιοχή συχνοτήτων. Επίσης κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το προσωπικό του εργαστηρίου κινούταν στο χώρο, αυτό συνετέλεσε έναν ακόμη παράγοντα που επηρέασε την απόδοση του δικτύου. Παρατηρείται επίσης πως στη περίπτωση όπου τρέχουν παράλληλα τα πρωτόκολλα UDP και TCP μετά τους πέντε χρήστες υπάρχει μια μεγάλη πτώση, αυτό συμβαίνει καθώς τρέχουν παράλληλα UDP streams τα οποία χρησιμοποιούν κομμάτι του διαθέσιμου εύρους.

5.3.2. Στατιστικά Round Trip Time

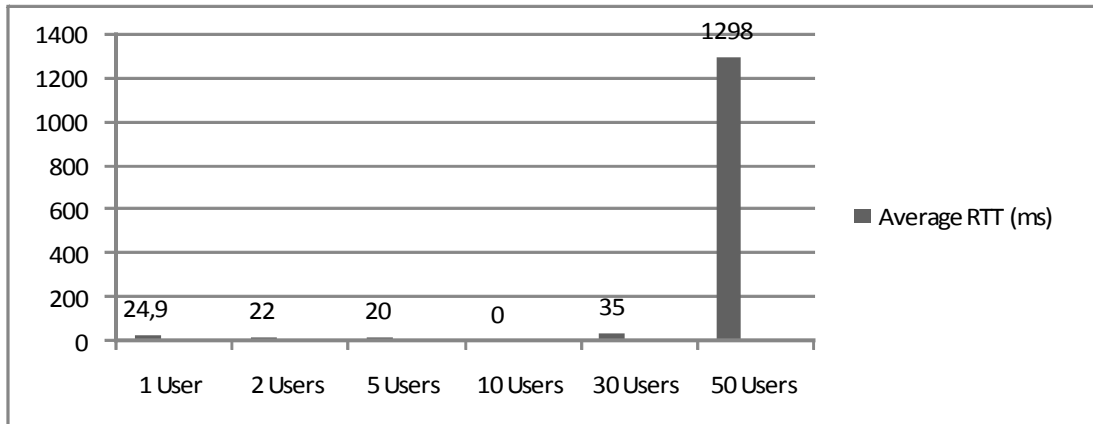
- ✓ Ξεκινάμε έχοντας 1, 2, 5, 10, 30, 50 Users σε TCP επικοινωνία και απόσταση client – server περίπου ένα μέτρο (κοντινή επικοινωνία). Το RTT average το έχουμε πάρει από τις αναφορές των servers.



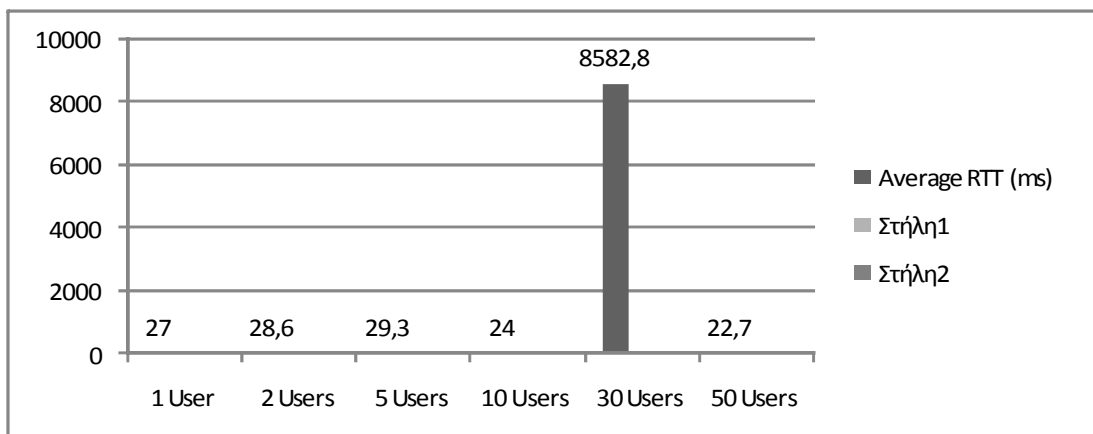
- ✓ Clients 1, 2, 5, 10, 30, 50 σε απόσταση και σε TCP επικοινωνία, η απόσταση μεταξύ client – server είναι περίπου στα 20 μέτρα.



- ✓ **Clients 1, 2, 5, 10, 30, 50 σε παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία, σε κοντινή απόσταση μεταξύ client – server είναι περίπου στο 1 μέτρο.**

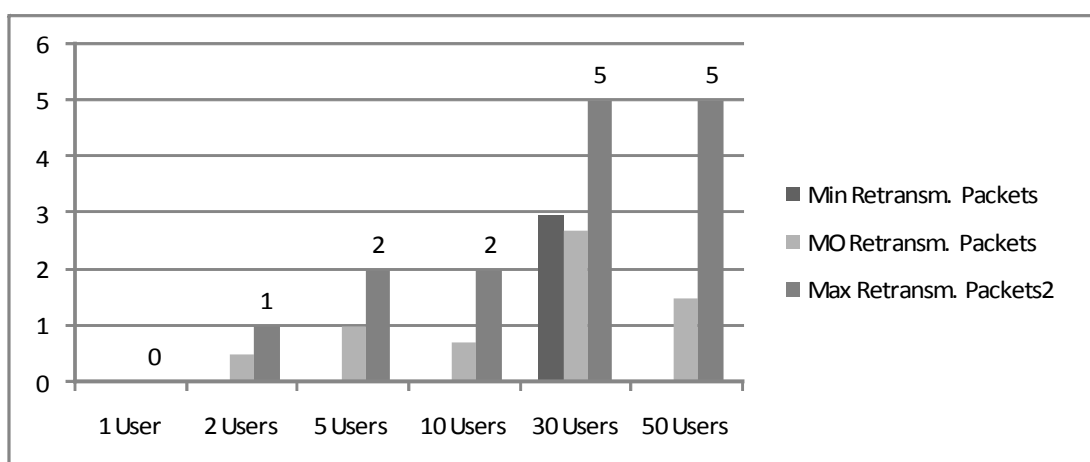


- ✓ **Clients 1, 2, 5, 10, 30, 50 σε παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία, σε μακρινή απόσταση μεταξύ client – server είναι περίπου στα 20 μέτρα.**

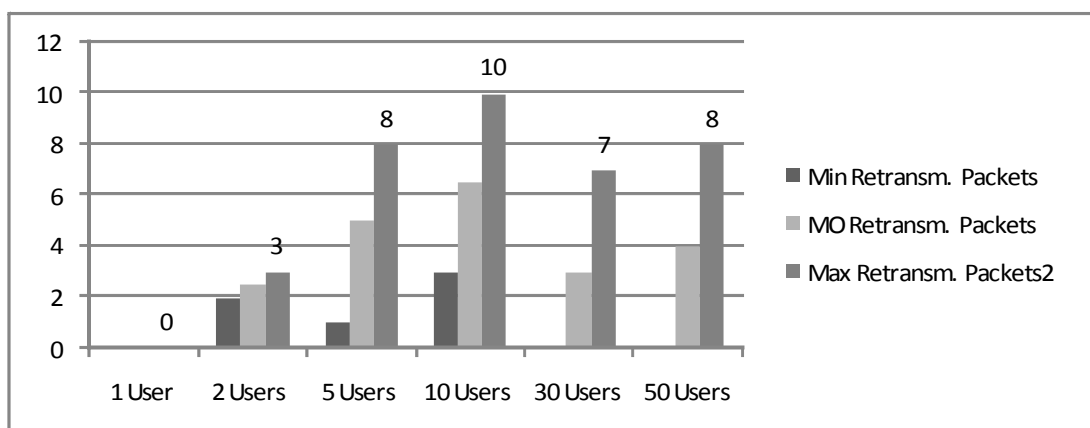


5.3.3. Στατιστικά Retransmitted Packets

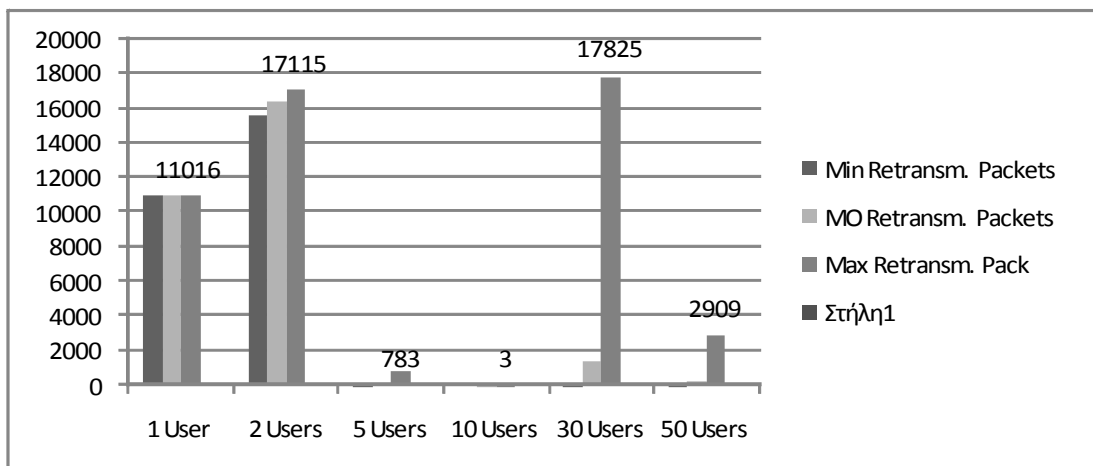
- ✓ Έχουμε 1, 2, 5, 10, 30, 50 Users σε TCP επικοινωνία και απόσταση client – server περίπου ένα μέτρο (κοντινή επικοινωνία). Τον αριθμό των Retransmitted Packets (Rexmt data pkts), έχουμε πάρει από τις αναφορές των servers.



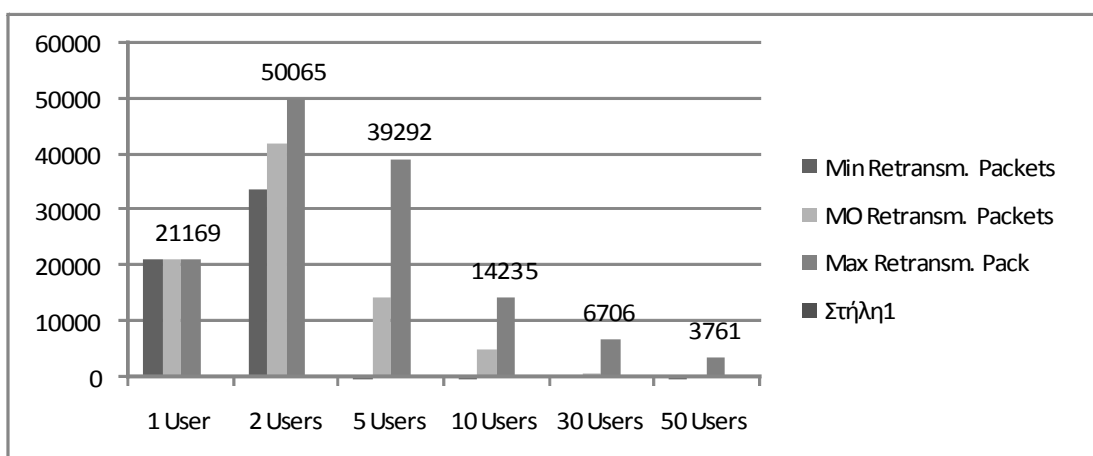
- ✓ Clients 1, 2, 5, 10, 30, 50 σε απόσταση και σε TCP επικοινωνία, η απόσταση μεταξύ client – server είναι περίπου στα 20 μέτρα.



- ✓ **Clients 1, 2, 5, 10, 30, 50 σε παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία, σε κοντινή απόσταση μεταξύ client – server είναι περίπου στο 1 μέτρο.**



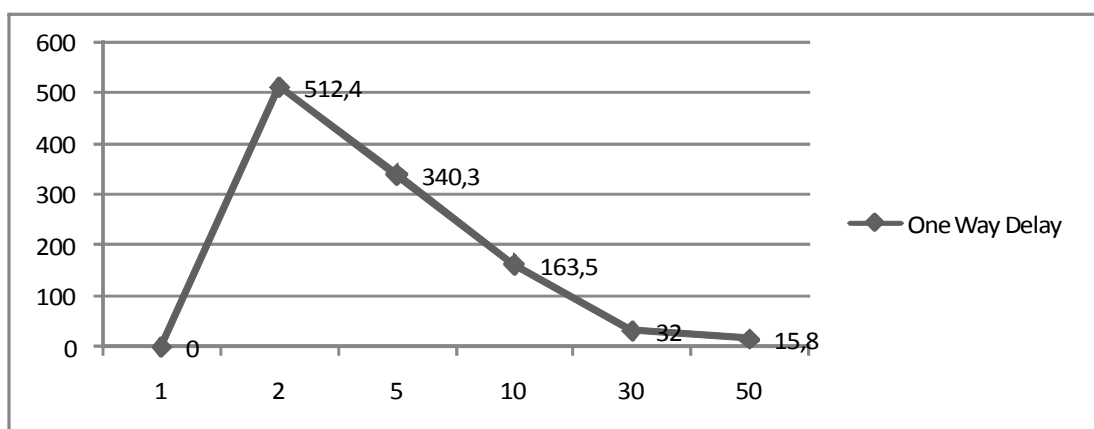
- ✓ **Clients 1, 2, 5, 10, 30, 50 σε παράλληλη TCP και UDP επικοινωνία, σε μακρινή απόσταση μεταξύ client – server είναι περίπου στα 20 μέτρα.**



5.3.4. Στατιστικά One Way Delay

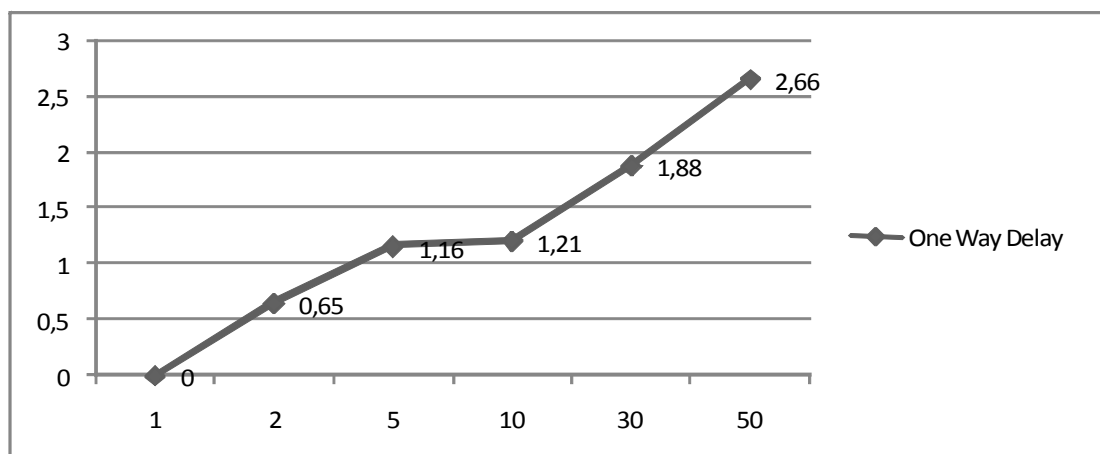
Η παράμετρος One Way Delay εκτιμήθηκε κατά τη διάρκεια της ασύγχρονης επικοινωνίας σε όλα τα στάδια των σεναρίων που υλοποιήθηκαν. Στο σημείο αυτό αποτυπώνονται σε μορφή γραφικών παραστάσεων στατιστικά.

- ✓ Σε πρώτη φάση εκτιμάται το One Way Delay σε UDP πρωτόκολλο και σε κοντινή απόσταση μεταξύ server και clients. Όπου οι χρήστες εδώ είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.



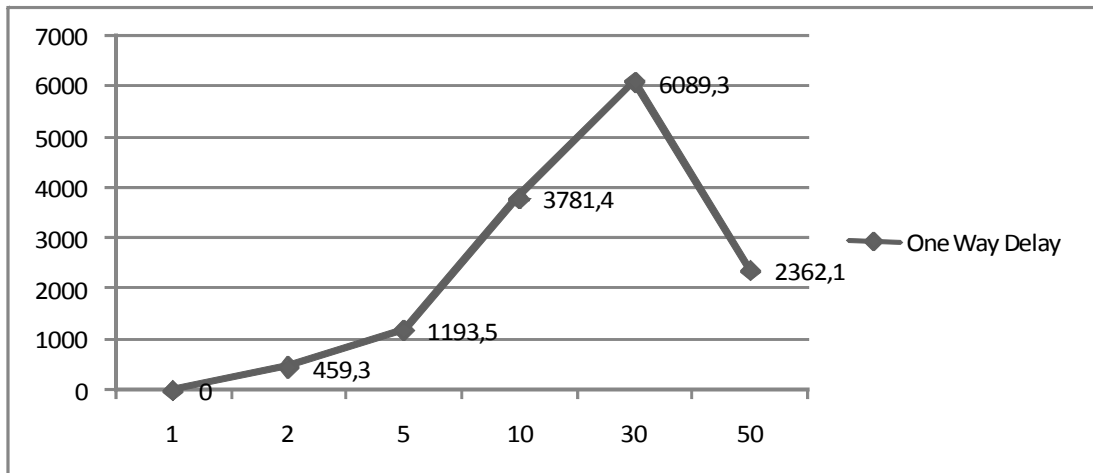
Εικόνα 353 Γραφική Παράσταση του One Way Delay (M.O)

- ✓ Στη συνέχεια εκτιμάται το One Way Delay σε UDP πρωτόκολλο και σε μακρινή απόσταση μεταξύ server και clients.
- ✓



Εικόνα 354 Γραφική Παράσταση του One Way Delay (M.O)

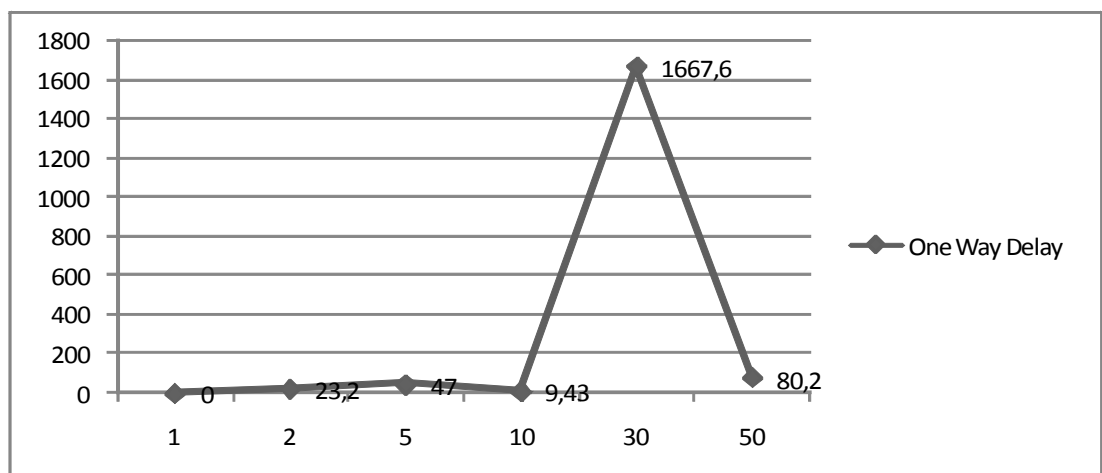
- ✓ Το One Way Delay σε UDP πρωτόκολλο επικοινωνίας σε κοντινή απόσταση μεταξύ server και clients, και σε παράλληλη επικοινωνία με TCP πρωτόκολλο. Οι χρήστες είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.



Εικόνα 355 Γραφική Παράσταση του One Way Delay (M.O)

- ✓ Το One Way Delay σε UDP πρωτόκολλο επικοινωνίας σε μακρινή απόσταση μεταξύ server και clients, και σε παράλληλη επικοινωνία με TCP πρωτόκολλο. Οι χρήστες είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.

✓

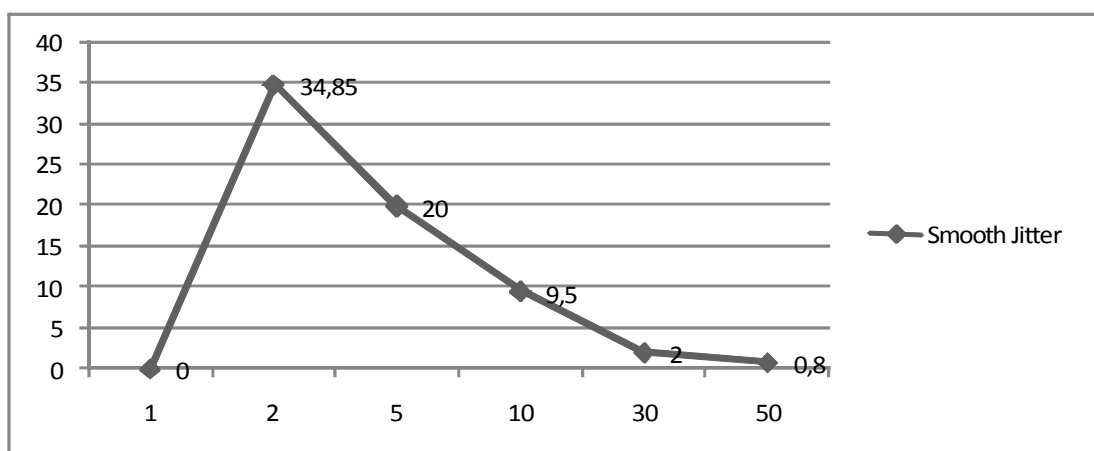


Εικόνα 356 Γραφική Παράσταση του One Way Delay (M.O)

5.3.5. Στατιστικά Smooth Jitter

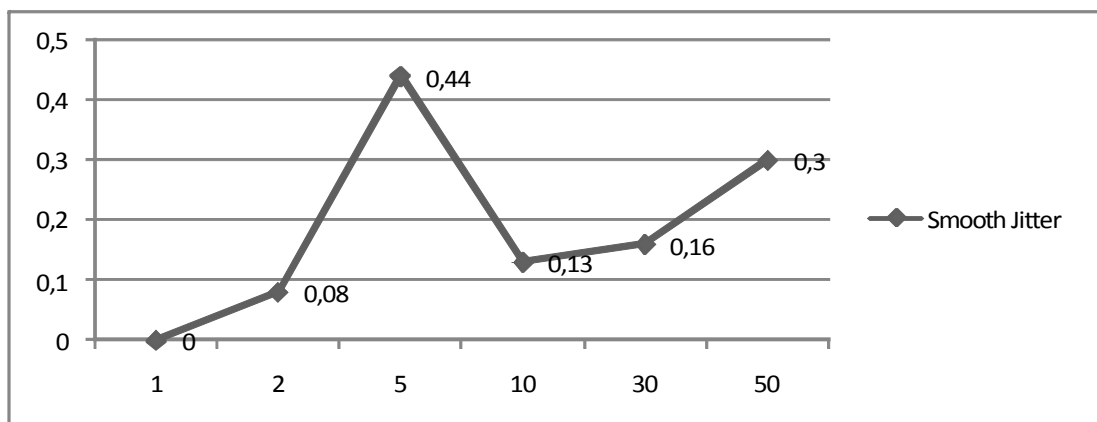
Η παράμετρος Smooth Jitter εκτιμήθηκε κατά τη διάρκεια της ασύγχρονης επικοινωνίας σε όλα τα στάδια των σεναρίων που υλοποιήθηκαν. Στο σημείο αυτό αποτυπώνονται σε μορφή γραφικών παραστάσεων στατιστικά.

- ✓ Σε πρώτη φάση εκτιμάται το Smooth Jitter σε UDP πρωτόκολλο και σε κοντινή απόσταση μεταξύ server και clients. Όπου οι χρήστες εδώ είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.



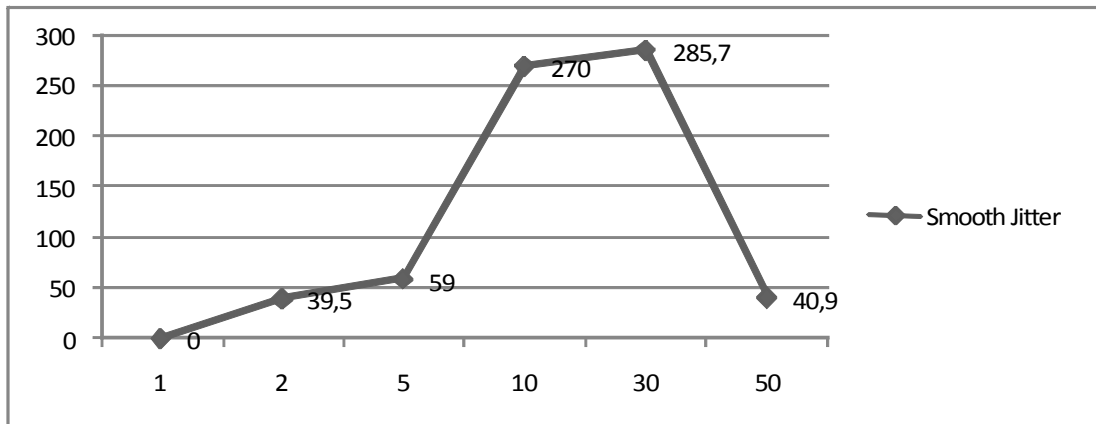
Εικόνα 357 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter (M.O)

- ✓ Στη συνέχεια εκτιμάται το Smooth Jitter σε UDP πρωτόκολλο και σε μακρινή απόσταση μεταξύ server και clients. Όπου οι χρήστες εδώ είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.



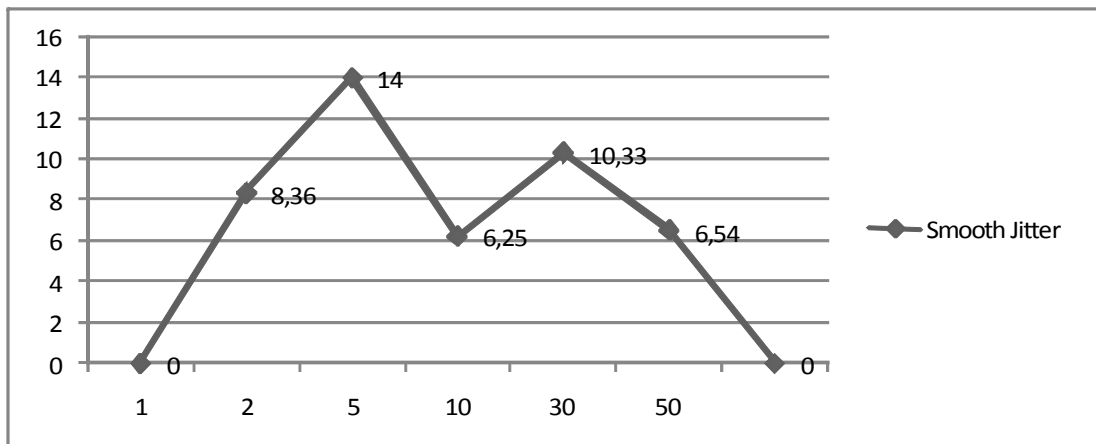
Εικόνα 358 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter (M.O)

- ✓ Το Smooth Jitter σε παράλληλη UDP και TCP επικοινωνία, σε κοντινή απόσταση μεταξύ server και clients. Οι χρήστες εδώ είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.



Εικόνα 359 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter (M.O)

- ✓ Το Smooth Jitter σε παράλληλη UDP και TCP επικοινωνία, σε μακρινή απόσταση μεταξύ server και clients. Οι χρήστες εδώ είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.

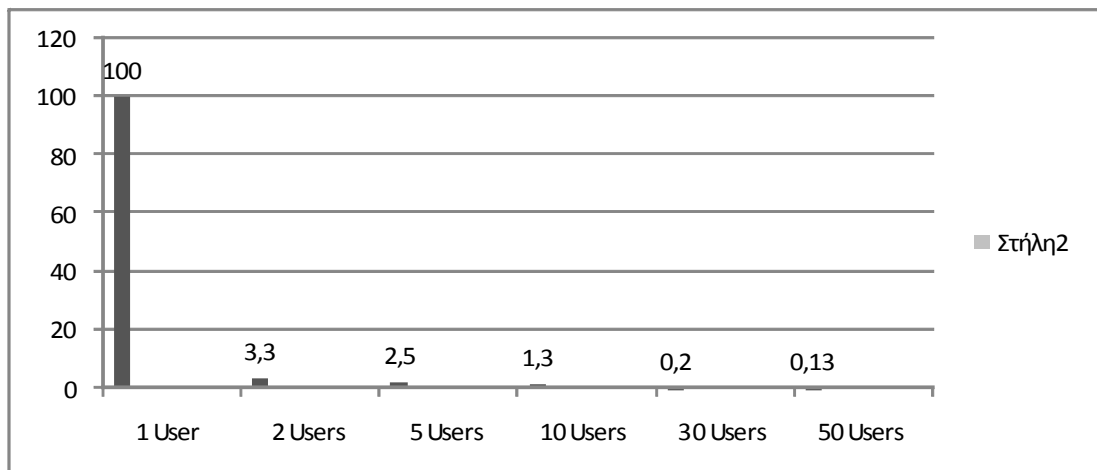


Εικόνα 360 Γραφική Παράσταση του Smooth Jitter (M.O)

5.3.6. Στατιστικά Total Packet Losses

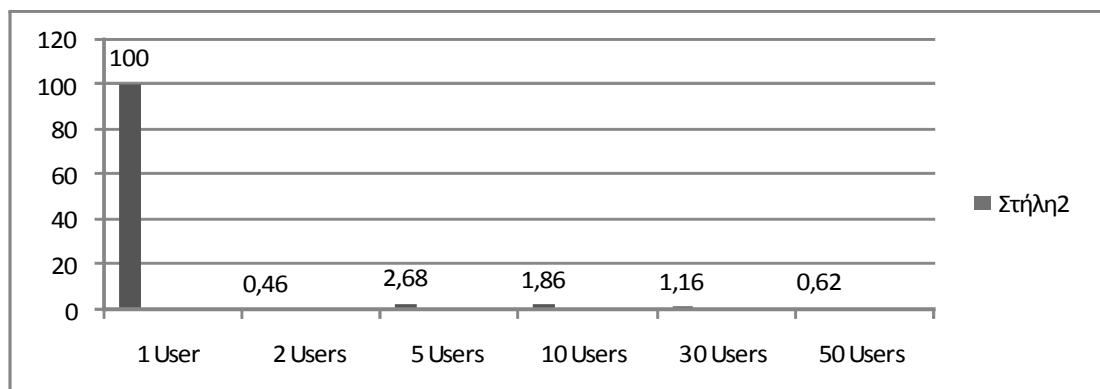
Εδώ εκτιμήθηκαν οι απώλειες / πακέτα που χάθηκαν (Packet Losses) σε ποσοστό επί τις εκατό (%) κατά τη διάρκεια της ασύγχρονης επικοινωνίας σε όλα τα στάδια των σεναρίων που υλοποιήθηκαν. Στο σημείο αυτό αποτυπώνονται σε μορφή γραφικών παραστάσεων στατιστικά.

- ✓ Σε πρώτη φάση γραφική παράσταση των Packet Losses σε UDP πρωτόκολλο και σε κοντινή απόσταση μεταξύ server και clients. Όπου οι χρήστες εδώ είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.



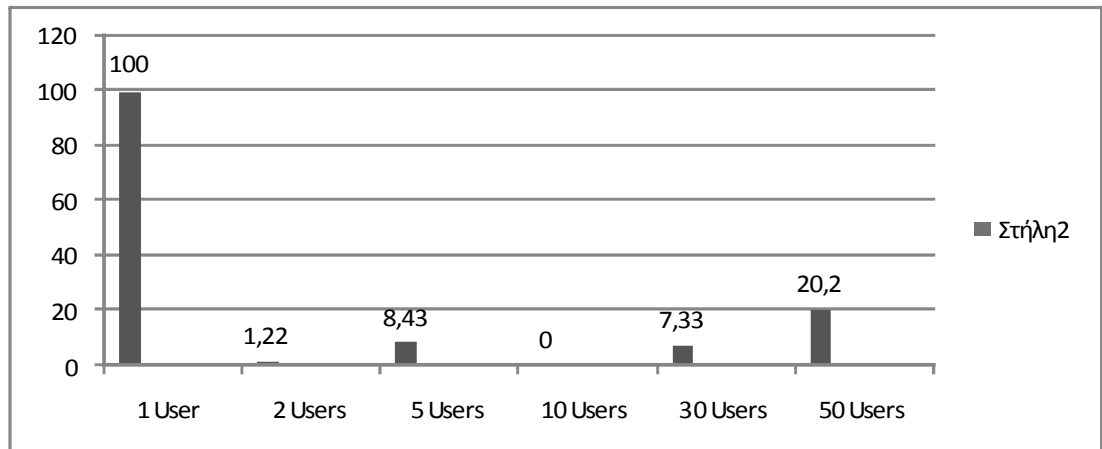
Εικόνα 361 Γραφική Παράσταση του Packet Losses (M.O)

- ✓ Στη συνέχεια γραφική παράσταση των Packet Losses σε UDP πρωτόκολλο και σε μακρινή απόσταση μεταξύ server και clients. Όπου οι χρήστες εδώ είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.



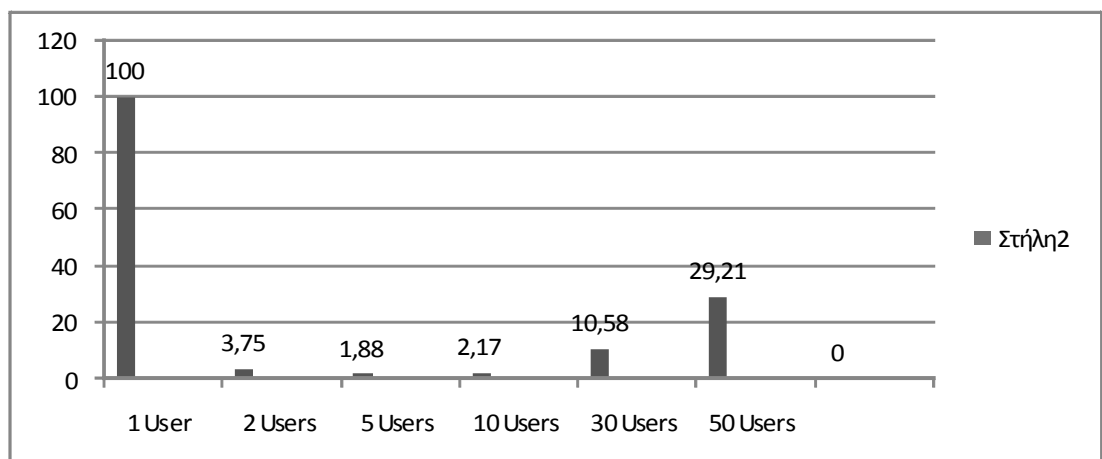
Εικόνα 362 Γραφική Παράσταση του Packet Losses (M.O)

- ✓ Εδώ γραφική παράσταση των Packet Losses σε UDP και TCP επικοινωνία παράλληλη, σε κοντινή απόσταση μεταξύ server και clients. Όπου οι χρήστες εδώ είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.



Εικόνα 363 Γραφική Παράσταση του Packet Losses (M.O)

- ✓ Γραφική παράσταση των Packet Losses σε UDP και TCP επικοινωνία παράλληλη, σε μακρινή απόσταση μεταξύ server και clients. Όπου οι χρήστες εδώ είναι 1, 2, 5, 10, 30, 50.



Εικόνα 364 Γραφική Παράσταση του Packet Losses (M.O)

6. Conclusion

Συμπερασματικά, βάση των αποτελεσμάτων που πήραμε από τα χαρακτηριστικά των επικοινωνιών που μελετήθηκαν, όπως το throughput, RTT, χαμένα πακέτα, One Way Delay, Smooth Jitter και traffic losses, παρατηρούνται τα παρακάτω. Αρχικά, στην συγχρονισμένη επικοινωνία (TCP) καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη χρησιμοποίησης το δικτύου είχαμε στην απομακρυσμένη επικοινωνία, παρότι είχαμε λίγο παραπάνω απώλειες. Αυτό, όπως έχουμε και προαναφερθεί, οφείλεται στο ότι η κεραία του εξυπηρετητή είναι πολύ κοντά με τον χρήστη και μέρος της ακτινοβολίας παραμένει ανεκμετάλλευτο, επίσης, σε ίδιες συχνότητες στέλνονται δεδομένα και από άλλους χρήστες στον ίδιο χρόνο κάτι το οποίο επηρεάζει την ποιότητα της επικοινωνίας. Ενώ τα χαμένα πακέτα είναι παραπάνω στην απομακρυσμένη απόσταση, αφενός μεν λόγω την μεσολάβηση των τοίχων μεταξύ των πομπού και δέκτη, αλλά και της κίνησης της οποίας υπάρχει στον ίδιο χρόνο, κόσμος κινείται και επηρεάζει το ασύρματο δίκτυο, αλλά και τέλος η απόσταση φυσικά βελτιώνει από μια άποψη το throughput, αλλά προσθέτει απώλειες. Μια παρόμοια συμπεριφορά με το throughput συμβαίνει και με τη καθυστέρηση κυκλικής διαδρομής, δηλαδή σε κάποιες φάσεις έχουμε μεγαλύτερη καθυστέρηση αλλά και λίγο μικρότερη, η καθυστέρηση σε γενικές γραμμές κινείται σε κοντινά πλαίσια. Στη φάση όπου μπαίνει η παράλληλη UDP επικοινωνία πέφτει πάλι η απόδοση αλλά ισχύουν οι ίδιες αναλογίες με νωρίτερα, με την απόσταση πέφτει το throughput αλλά μεγαλώνει η καθυστέρηση και οι απώλειες. Παρ' όλα αυτά η ποιότητα επικοινωνίας είναι πολύ καλή σε σχέση με αυτό που περιμέναμε με το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, πιο συγκεκριμένα αυτό κρίνεται κυρίως με τον έναν χρήστη όπου και στην μακρινή αλλά και στην κοντινή απόσταση ενώ περιμέναμε σαν maximum 100.000kbps είχαμε 76.870kbps βάση του πειράματος. Ενώ και με τους υπόλοιπους χρήστες πήραμε το μέσο όρο throughput, σε σημεία είχαμε το πολλά pick μεγαλύτερου throughput. Οι καθυστερήσεις ήταν σχετικά μικρές αλλά και τα χαμένα πακέτα, μέχρι τη στιγμή που μπήκε η παράλληλη ασύγχρονη επικοινωνία.

Στη συνέχεια, όσον αφορά την ασύγχρονη επικοινωνία (UDP), και σε αυτό το σημείο η μεμονωμένη UDP επικοινωνία απόδωσε καλύτερα σε αυτήν σε απόσταση παρά στην κοντινή, παρουσιάστηκαν περισσότερες καθυστερήσεις και μεγαλύτερες τιμές Jitter, σε αντίθεση με αυτά της κοντινής απόστασης, για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω και στην συγχρονισμένη απόσταση. Όσο για τις απώλειες ήταν πάνω κάτω οι ίδιες και στις δύο περιπτώσεις καθώς υλοποιούνταν ο ίδιος τύπος επικοινωνίας. Και στην παράλληλη UDP και TCP επικοινωνία είχαμε αντίστοιχα αποτελέσματα με παρόμοια συμπεριφορά.

7. Future Work

Η πτυχιακή θα μπορούσε να υλοποιηθεί με πραγματικά δεδομένα κειμένου, ήχου, εικόνας, video αλλά και με αρχεία. Στη συνέχεια να συγκριθεί με άλλες τεχνολογίες ασύρματων πρωτοκόλλων αλλά και σε πιο περιορισμένο περιβάλλον. Τέλος, θα μπορούσε να είχε ενεργοποιηθεί το QoS (Quality of Service) ή κάποιο είδος security.

8. Γλωσσάριο

ADC	Analog to Digital Converter
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AF	Assured Forwarding
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BA	Behavior Aggregate
BE	Best Effort
CMN	Cell Main Node
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DAC	Digital to Analog Converter
DCR	DiffServ Core Router
DER	DiffServ Edge Router
DiffServ	Differentiated Services
DS	Differentiated Services
DSCP	DiffServ Code Point
DSLAM	DSL Access Multiplexer
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-H	Handheld Digital Video Broadcasting
DVB-RCT	DVB Terrestrial Return Channel
DVB-S	Satellite Digital Video Broadcasting
DVB-T	Terrestrial Digital Video Broadcasting
EF	Expedited Forwarding
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FIFO	First In First Out
GPRS	General Packet Radio Service
GRED	Generic RED
HTB	Hierarchical Token Bucket

IDTV	Interactive Digital Television
IEEE	Institute of Electrical & Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IntServ	Integrated Services
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Networking
ISM	Industrial, Scientific, Medical
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
MPE	Multi-Protocol Encapsulation
MPEG	Moving Picture Expert Group
MPLS	Multi-Protocol Label Switching
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PC	Personal Computer
PHB	Per Hop Behavior
PRIQ	Priority Queuing
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Phase Shift Keying
QoS	Quality of Service
RED	Random Early Detection
RSVP	Resource Reservation Protocol
RTO	Retransmission TimeOut
RTP	Real Time Protocol
RTT	Round Trip Time
SFQ	Stochastic Fair Queuing
SLA	Service Level Agreement
SP	Service Provider
TBF	Token Bucket Filter
TCA	Traffic Conditioning Agreement
TCP	Transmission Control Protocol

ToS	Type of Service
UDP	User Datagram Protocol
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VoIP	Voice over IP
WEP	Wired Equivalent Privacy
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network

9. Παράρτημα

✓ Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για να στείλουν TCP κίνηση:

Κώδικας αποστολής κίνησης 1 χρήστης

```
#!/bin/bash  
  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5001
```

Κώδικας αποστολής κίνησης 2 χρήστες

```
#!/bin/bash  
  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5001 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5002
```

Κώδικας αποστολής κίνησης 5 χρήστες

```
#!/bin/bash  
  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5001 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5002 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5003 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5004 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5005
```

Κώδικας αποστολής κίνησης 10 χρήστες

```
#!/bin/bash  
  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5001 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5002 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5003 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5004 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5005 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5006 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5007 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5008 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5009 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5010
```

Κώδικας αποστολής κίνησης 30 χρήστες

```
#!/bin/bash  
  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5001 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5002 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5003 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5004 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5005 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5006 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5007 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5008 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5009 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5010 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5011 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5012 &
```

```
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5013 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5014 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5015 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5016 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5017 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5018 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5019 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5020 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5021 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5022 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5023 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5024 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5025 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5026 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5027 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5028 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5029 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5030
```

Κώδικας αποστολής κίνησης 50 χρήστες

```
#!/bin/bash
```

```
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5001 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5002 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5003 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5004 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5005 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5006 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5007 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5008 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5009 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5010 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5011 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5012 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5013 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5014 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5015 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5016 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5017 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5018 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5019 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5020 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5021 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5022 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5023 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5024 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5025 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5026 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5027 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5028 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5029 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5030 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5031 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5032 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5033 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5034 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5035 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5036 &
```

```
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5037 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5038 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5039 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5040 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5041 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5042 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5043 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5044 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5045 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5046 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5047 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5048 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5049 &  
iperf -c 172.16.0.6 -t 180 -p 5050
```

Κώδικας λήψης κίνησης 1 χρήστης

```
#!/bin/bash
```

```
iperf -s -p 5001
```

Κώδικας λήψης κίνησης 2 χρήστες

```
#!/bin/bash
```

```
iperf -s -p 5001 &  
iperf -s -p 5002
```

Κώδικας λήψης κίνησης 5 χρήστες

```
#!/bin/bash
```

```
iperf -s -p 5001 &  
iperf -s -p 5002 &  
iperf -s -p 5003 &  
iperf -s -p 5004 &  
iperf -s -p 5005
```

Κώδικας λήψης κίνησης 10 χρήστες

```
#!/bin/bash
```

```
iperf -s -p 5001 &  
iperf -s -p 5002 &  
iperf -s -p 5003 &  
iperf -s -p 5004 &  
iperf -s -p 5005 &  
iperf -s -p 5006 &  
iperf -s -p 5007 &  
iperf -s -p 5008 &  
iperf -s -p 5009 &  
iperf -s -p 5010
```

Κώδικας λήψης κίνησης 30 χρήστες

Παρόμοια με παραπάνω, όπου 10 χρήστες γίνονται 30.

Κώδικας λήψης κίνησης 50 χρήστες

Παρόμοια με παραπάνω, όπου 10 χρήστες γίνονται 50.

✓ Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για να στείλουν UDP κίνηση:

```
0.0 LISTEN UDP 7000
(Η θύρα 7000 περιμένει κίνηση)
```

Κώδικας αποστολής κίνησης 1 χρήστης

```
0.0 ON 1 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8001 PERIODIC [85 1024]
180.0 OFF 1
(Ξεκινάει την χρονική στιγμή 0 με όνομα 1 (1η κίνηση) από το IP
172.16.0.6, θα φτάσει στην πόρτα 7000 και φεύγει απο τη πόρτα 8000.
Σε 180 δευτερόλεπτα θα τερματιστεί η 1η κίνηση.)
```

Κώδικας αποστολής κίνησης 2 χρήστες

```
0.0 ON 1 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8001 PERIODIC [85 1024]
180.0 OFF 1
```

```
0.0 ON 2 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8002 PERIODIC [85 1024]
```

```
180.0 OFF 2
```

Κώδικας αποστολής κίνησης 5 χρήστες

```
0.0 ON 1 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8001 PERIODIC [85 1024]
180.0 OFF 1
```

```
0.0 ON 2 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8002 PERIODIC [85 1024]
```

```
0.0 ON 3 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8003 PERIODIC [85 1024]
```

```
0.0 ON 4 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8004 PERIODIC [85 1024]
```

```
0.0 ON 5 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8005 PERIODIC [85 1024]
```

```
180.0 OFF 2
```

```
180.0 OFF 3
```

```
180.0 OFF 4
```

```
180.0 OFF 5
```

Κώδικας αποστολής κίνησης 10 χρήστες

```
0.0 ON 1 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8001 PERIODIC [85 1024]
180.0 OFF 1
```

```
0.0 ON 2 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8002 PERIODIC [85 1024]
0.0 ON 3 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8003 PERIODIC [85 1024]
0.0 ON 4 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8004 PERIODIC [85 1024]
0.0 ON 5 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8005 PERIODIC [85 1024]
0.0 ON 6 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8006 PERIODIC [85 1024]
0.0 ON 7 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8007 PERIODIC [85 1024]
0.0 ON 8 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8008 PERIODIC [85 1024]
0.0 ON 9 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8009 PERIODIC [85 1024]
0.0 ON 10 UDP DST 172.16.0.6/7000 SRC 8010 PERIODIC [85 1024]
```

```
180.0 OFF 2
180.0 OFF 3
180.0 OFF 4
180.0 OFF 5
180.0 OFF 6
180.0 OFF 7
180.0 OFF 8
180.0 OFF 9
180.0 OFF 10
```

Κώδικας αποστολής κίνησης 30 χρήστες

Παρόμοια με παραπάνω, όπου 10 χρήστες γίνονται 30.

Κώδικας αποστολής κίνησης 50 χρήστες

Παρόμοια με παραπάνω, όπου 10 χρήστες γίνονται 50.

- ✓ **Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση των dump αρχείων και να πάρουμε τα αποτελέσματα για την TCP κίνηση:**

Παράδειγμα 2 χρηστών (Παρόμοια και για τους υπόλοιπους χρήστες).

```
#!/bin/bash

cd client
echo "entering client analysis.."
mkdir 5001
mkdir 5002

tcpdump -r client_2U -n -vv -tt tcp port 5001 -w 5001/client_5001
tcpdump -r client_2U -n -vv -tt tcp port 5002 -w 5002/client_5002

cd 5001
tcptrace -lwr client_5001 > client_5001.txt
tcptrace -zxy -o1 -xtraffic'-B -i1' client_5001
tcptrace -zxy -o1 -T -y -A100 client_5001
xpl2gpl -s a2b_tput.xpl
xpl2gpl -s b2a_tput.xpl
xpl2gpl -s traffic_bytes.xpl
gnuplot traffic_bytes.gpl &
```

```
gnuplot a2b_tput.gpl &  
gnuplot b2a_tput.gpl &
```

```
cd ..
```

```
cd 5002  
tcptrace -lwr client_5002 > client_5002.txt  
tcptrace -zxy -o1 -xtraffic'-B -i1' client_5002  
tcptrace -zxy -o1 -T -y -A100 client_5002  
xpl2gpl -s a2b_tput.xpl  
xpl2gpl -s b2a_tput.xpl  
xpl2gpl -s traffic_bytes.xpl  
gnuplot traffic_bytes.gpl &  
gnuplot a2b_tput.gpl &  
gnuplot b2a_tput.gpl &
```

```
cd ..
```

```
cd ..
```

```
#-----
```

```
cd server  
echo "entering server analysis.."  
mkdir 5001  
mkdir 5002
```

```
tcpdump -r server_2U -n -vv -tt tcp port 5001 -w 6001/server_5001  
tcpdump -r server_2U -n -vv -tt tcp port 5002 -w 6002/server_5002
```

```
cd 6001  
tcptrace -lwr server_5001 > server_5001.txt  
tcptrace -zxy -o1 -xtraffic'-R -i0.5' server_5001  
tcptrace -zxy -o1 -xtraffic'-L -i1' server_5001  
tcptrace -zxy -o1 -S server_5001  
tcptrace -zxy -o1 -R server_5001  
xpl2gpl -s a2b_rtt.xpl  
xpl2gpl -s a2b_tsg.xpl  
xpl2gpl -s b2a_rtt.xpl  
xpl2gpl -s b2a_tsg.xpl  
xpl2gpl -s traffic_rtt.xpl  
xpl2gpl -s traffic_loss.xpl  
gnuplot a2b_rtt.gpl &  
gnuplot a2b_tsg.gpl &  
gnuplot b2a_rtt.gpl &  
gnuplot b2a_tsg.gpl &  
gnuplot traffic_rtt.gpl &  
gnuplot traffic_loss.gpl &  
cd ..
```



```

cd 5002
tcptrace -lwr server_5002 > server_5002.txt
tcptrace -zxy -ol -xtraffic'-R -i0.5' server_5002
tcptrace -zxy -ol -xtraffic'-L -il' server_5002
tcptrace -zxy -ol -S server_5002
tcptrace -zxy -ol -R server_5001
xpl2gpl -s a2b_rtt.xpl
xpl2gpl -s a2b_tsg.xpl
xpl2gpl -s b2a_rtt.xpl
xpl2gpl -s b2a_tsg.xpl
xpl2gpl -s traffic_rtt.xpl
xpl2gpl -s traffic_loss.xpl
gnuplot a2b_rtt.gpl &
gnuplot a2b_tsg.gpl &
gnuplot b2a_rtt.gpl &
gnuplot b2a_tsg.gpl &
gnuplot traffic_rtt.gpl &
gnuplot traffic_loss.gpl &
cd ..

cd ..

```

Επεξήγηση:

-l: δημιουργία εκτενούς αναφοράς
-w: μετατρέπει πακέτα από αρχεία

Throughput

-zxy: κάνει plot και τους δυο άξονες από το μηδέν
-xtraffic: βγάζει throughput σε time
-B: εμφάνιση throughput (time)
-T: εμφάνιση throughput (segment)
-il: κάθε 1 sec βάζει ένα spot
-y: δημιουργία αρχείου με στιγμιαίο throughput
-A100: 100 δείγματα σε ένα segment

RTT

-zxy: κάνει plot και τους δυο άξονες από το μηδέν
-xtraffic: βγάζει RTT σε samples
-R: εμφάνιση RTT (time & segment)
-i0.5: κάθε 0.5 sec βάζει ένα spot

Retransmission & Sequence number

-zxy: κάνει plot και τους δυο άξονες από το μηδέν
-L: εμφάνιση retransmissions
-S: εμφάνιση time sequence

- ✓ Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση των dump αρχείων και να πάρουμε τα αποτελέσματα για την UDP κίνηση:

Παράδειγμα 2 χρηστών (Παρόμοια και για τους υπόλοιπους χρήστες).

```
#!/bin/bash

CUR_PATH=`pwd`;
DATA_PATH="$CUR_PATH/data";
PERL_PATH="$CUR_PATH/perl";
DUMP_PATH="$CUR_PATH/dump";
FIN_PATH="$CUR_PATH/fin"

if [ -d $DATA_PATH ] && [ -d $DUMP_PATH ]
then

    echo -e "\n\n----- Starting Analysis!
-----\n";

    cd $DUMP_PATH;
    if [ -f rx ] && [ -f tx ]
    then
        echo -e "\n\t[-----[ Converting files with tcpdump ]-----]";
        mkdir $DATA_PATH/8001;
        echo -e "\n\t[-----[ Separating 1st flow 'port
8001' ]-----]";
        tcpdump -r rx -n -vv -tt src host 172.16.0.5 and udp port 8001
> $DATA_PATH/8001/udp_receiver.txt;
        tcpdump -r tx -n -vv -tt src host 172.16.0.5 and udp port 8001
> $DATA_PATH/8001/udp_sender.txt;
        mkdir $DATA_PATH/8002;
        echo -e "\n\t[-----[ Separating 2nd flow 'port
8002' ]-----]";
        tcpdump -r rx -n -vv -tt src host 172.16.0.5 and udp port 8002
> $DATA_PATH/8002/udp_receiver.txt;
        tcpdump -r tx -n -vv -tt src host 172.16.0.5 and udp port 8002
> $DATA_PATH/8002/udp_sender.txt;

        cd $DATA_PATH;
        for i in $( ls );
        do

            cd $i;
            if [ -f udp_sender.txt ] && [ -f udp_receiver.txt ]
            then
                echo -e "\n[ Entering directory $i : ok]";
                #echo -e "\n\t\t___ Checking for duplicate packets. ___";
                #perl $PERL_PATH/ipv4_replicid.pl;
```

```

        echo -e "\n\t[-----[ Running
ipv4_createendfiles.pl ]-----]";
        perl $PERL_PATH/ipv4_createendfiles.pl;
        echo -e "\n\t[-----[ Calculating losses.pl ]-----]";
        perl $PERL_PATH/ipv_all_losses.pl;
        echo -e "\n\t[-----[ Calculating data rate ]-----]";
        perl $PERL_PATH/ipv_all_sender_receiver_rate.pl;
        echo -e "\n\t[-----[ Alligning packets to calculate
jitter ]-----]";
        perl $PERL_PATH/ipv_all_align_for_delay_jitt.pl;
        echo -e "\n\t[-----[ Creating time files ]-----]";
        perl $PERL_PATH/ipv_all_timestamp.pl;
        echo -e "\n\t[-----[ Calculating smoothed
jitter ]-----]";
        perl $PERL_PATH/ipv_all_inter_arrival_jitter.pl;
        echo -e "\n\t[-----[ Calculating one-way delay ]-----]";
        perl $PERL_PATH/ipv_all_one_way_delay.pl;
        echo -e "\n\t[-----[ Calculating jitter ]-----]";
        perl $PERL_PATH/ipv_all_jitter.pl;
        echo -e "\n\t[-----[ Creating losses plot ]-----]";
        gnuplot $PERL_PATH/losses.gpl;
        echo -e "\n\t[-----[ Creating one-way delay
plot ]-----]";
        gnuplot $PERL_PATH/one_way.gpl;
        echo -e "\n\t[-----[ Creating jitter plot ]-----]";
        gnuplot $PERL_PATH/Packet_to_Packet.gpl;
        echo -e "\n\t[-----[ Creating smooth jitter
plot ]-----]";
        gnuplot $PERL_PATH/jitter_smooth.gpl;
        echo -e "\n\t[-----[ Calculating averages ]-----]";
        echo "folder: $i">report
        $PERL_PATH/calc_mean >>report;
        echo -e "\n\t[-----[ coping report files to 'fin'
directory ]-----]\n";
        #for j in $( ls report ); do cp -v $j $FIN_PATH/"$i"_$j;
echo $FIN_PATH/"$i"_$j; done
        echo "folder name      : $i" >> $FIN_PATH/report
        $PERL_PATH/calc_mean >>$FIN_PATH/report;
        else
        echo "WARNING: Cannot locate 'udp_sender.txt' and/or
'udp_receiver.txt' files in directory $i!";
        fi

        cd ..;
done

        echo -e "\n\t[-----[ Moning analisis folders to 'fin'
folder ]-----]";
        cd $DATA_PATH

```

```

        mv 800* $FIN_PATH
        echo -e      "\n\t[-----[ Moning dump files to 'fin'
folder ]-----]";
        cd $DUMP_PATH
        mv *x $FIN_PATH
        cd ..
    else
        echo "ERROR: Cannot find dump files! Are you stupid?!";
    fi
    cd ..;
    echo -e "\n\n----- Analysis finished!
-----\n";
else
    echo "ERROR: Cannot find 'data' or 'dump' directory!";
fi

```

Επεξήγηση:

-tt: εκτύπωση μη διαμορφωμένου timestamp σε κάθε γραμμή dump
-vv: ακόμη πιο λεπτομερείς output, για παράδειγμα, τα επιπλέον πεδία τυπώνονται από NFS απαντητικά πακέτα
-n: δεν μετατρέπει διευθύνσεις σε ονόματα
-r: διαβάζει πακέτα απο αρχεία (τα οποία έχουν δημιουργηθεί από την επιλογή -w)

10. Βιβλιογραφία

- 1) A. Molish, "Wireless Communications," Wiley, West Sussex, 2005.
- 2) A. Goldsmith, "Wireless Communications," Cambridge, New York, 2005.
- 3) B. O' Hara and A. Petrick, "IEEE 802.11 Handbook," 2nd ed. IEEE Press, New York, 2005.
- 4) J. Farwell, "Wi-Fi on Steroids," PC Today, July 2006.
- 5) IEEE P802.11n/D3.00, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 4: Enhancements for Higher Throughput.
- 6) Y. Xiao, "IEEE 802.11n: Enhancement for Higher Throughput in Wireless LANs," IEEE Wireless Communications, Dec. 2005.
- 7) Dave Molta, "The 802.11n Factor", 29 Oct. 2009.
- 8) Frank Bulk, "Special Report Wireless Everywhere", May 26 2008.
- 9) "Channel Deployment Issues for 2.4 GHz 802.11 WLANs". Cisco Systems, Inc. Retrieved on 2007-02-07.
- 10) Garcia Villegas, E.; et. al. (2007), "Effect of adjacent-channel interference in IEEE 802.11 WLANs", CrownCom 2007., ICST & IEEE.
- 11) "802.11 Technical Section". Retrieved on 2008-12-15.
- 12) "Understanding 802.11 Frame Types". Retrieved on 2008-12-14.
- 13) Minimally Intrusive Round Trip Time Measurements Using Synthetic Packet-Pairs* Sebastian Zander*, Grenville Armitage*, Thuy Nguyen*, Lutz Mark, Brandon Tyo Centre for Advanced Internet Architectures (CAIA). Technical Report 060707A Swinburne University of Technology Melbourne, Australia.
- 14) Wide Area Measurements of Voice Over IP Quality, Ian Marsh¹, Fengyi Li and Gunnar Karlsson, SICS AB, Kista S-164 29, Sweden, Department of Microelectronics and Information Technology KTH, Royal Institute of Technology S-164 40 Kista, Sweden.
- 15) "PERFORMANCE OF IEEE 802.11N IN MULTI-CHANNEL MULTI-RADIO WIRELESS AD-HOC NETWORK" Omar Villavicencio¹, Kejie Lu¹,

Hua Zhu², and Sastri Kota³, ¹Department of Electrical and Computer Engineering, University of Puerto Rico at Mayagüez, Mayagüez, PR 00681, ²ArgonST/SDRC, San Diego, CA 92121 USA, ³Harris Corporation, Melbourne, Florida.

- 16) "Testing 802.11n systems: Antenna configuration analysis", Fanny Mlinarsky, President, octo-Scope.
- 17) "802.11n Under the Microscope Vivek Shrivastava, Shravan Rayanchu, Jongwon Yoon, Suman Banerjee. Department of Computer Sciences, University of Wisconsin, Madison, WI 53706, USA.
- 18) "Advanced Network & Services", September 1999, Network Working Group, M. Zekauskas, G. Almes, S. Kalidindi, Request for Comments: 2679, Category: Standards Track (Almes, G., Kalidindi, S., Zekauskas, M. (1999, September). A One-way Delay Metric for IPPM. RFC 2679, IETF, Almes, G., Kalidindi, S., Zekauskas, M. (1999, September) A One-way Packet Loss Metric for IPPM. RFC 2680, IETF).
- 19) "Throughput Analysis and Measurements in IEEE 802.11 WLANs with TCP and UDP Traffic Flows", Raffaele Bruno, Marco Conti, and Enrico Gregori, IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, VOL. 7, NO. 2, FEBRUARY 2008.
- 20) "Minimally Intrusive Round Trip Time Measurements Using Synthetic Packet-Pairs", Sebastian Zander*, Grenville Armitage*, Thuy Nguyen*, Lutz Mark+, Brandon T'yo*, Centre for Advanced Internet Architectures (CAIA). Technical Report 060707A Swinburne University of Technology, Melbourne, Australia {szander,garmitage,tnguyen,btyo}@swin.edu.au, mark@fokus.fraunhofer.de
- 21) "Wide Area Measurements of Voice Over IP Quality", Ian Marsh¹, Fengyi Li² and Gunnar Karlsson², ¹SICS AB, Kista S-164 29, Sweden, ianm@sics.se, ²Department of Microelectronics and Information Technology, KTH, Royal Institute of Technology, S-164 40 Kista, Sweden, d97-fli@nada.kth.se, gk@imit.kth.se
- 22) "On Coding for Reliable Communication over Packet Networks", Desmond S. Lun Muriel M'edard Michelle Effros.
- 23) "802.11n Under the Microscope", Vivek Shrivastava, Shravan Rayanchu, Jongwon Yoon, Suman Banerjee, Department of Computer Sciences, University of Wisconsin, Madison, WI 53706, USA, {viveks, shravan, yoon, suman}@cs.wisc.edu

