



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ UDP ΣΕ ΚΥΨΕΛΩΤΟ ΔΙΚΤΥΟ TETRA

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ξανθή Ευσταθίου Σκορδαρά**

Επιβλέπων : Μ.Ε. Θεολόγου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2007



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ UDP ΣΕ ΚΥΨΕΛΩΤΟ ΔΙΚΤΥΟ TETRA

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ξανθή Ευσταθίου Σκορδαρά**

Επιβλέπων : **Μ.Ε. Θεολόγου**  
**Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 23<sup>η</sup> Μαΐου:

.....  
Μ.Ε Θεολόγου  
Καθηγητής

.....  
Ε.Δ. Συκάς  
Καθηγητής

.....  
Γ.Ι. Στασινόπουλος  
Καθηγητής

Αθήνα, Μάιος 2007

.....  
Ξανθή Ευσταθίου Σκορδαρά

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ξανθή Σκορδαρά, 2007

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην εργασία αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα μίας εκτεταμένης σειράς μετρήσεων με στόχο την αξιολόγηση της επίδοσης του πρωτοκόλλου μεταφοράς UDP σε κυψελωτό δίκτυο TETRA. Οι μετρήσεις λήφθηκαν πάνω σε μία σύνδεση πελάτη – εξυπηρετή και τα μεγέθη των πακέτων UDP μεταβάλλονται από 70 έως 400 bytes με βήμα 10 bytes. Κάθε μέτρηση έχει διάρκεια 2700 sec και για να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή IPERF, που έχει τη δυνατότητα να διατηρεί σταθερό το μέγεθος του πακέτου κατά τη μετάδοση αλλά και να καταγράφει τα πακέτα που λαμβάνει ο server σε τακτά χρονικά διαστήματα. Με αυτό τον τρόπο υπολογίστηκε η ταχύτητα μετάδοσης, η χρονική καθυστέρηση, οι απώλειες και τα πακέτα που μεταδίδονται εκτός σειράς. Τελικά, πακέτα μεγαλύτερα από 280 bytes θεωρούνται ακατάλληλα για μετάδοση στο δίκτυο TETRA.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή στο TETRA	σελ.6
2	Πρωτόκολλα μεταφοράς UDP – TCP	σελ.41
3	Διάταξη μετρήσεων	σελ.54
4	Διαγράμματα μετρήσεων	σελ.58
5	Συγκεντρωτικά διαγράμματα	σελ.92
6	Συμπεράσματα	σελ.101
7	Βιβλιογραφία	σελ.102

# **1. ΠΡΟΤΥΠΟ TETRA**

## **1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

TETRA ονομάζεται το πρότυπο για τις ψηφιακές συγκαναλικές ραδιοεπικοινωνίες, το οποίο άλλαξε το σκηνικό στο χώρο των επαγγελματικών ραδιοεπικοινωνιών, και απέσπασε την παγκόσμια προσοχή, όπως έγινε παλαιότερα με το πρότυπο GSM. Τα αρχικά TETRA προκύπτουν από το Terrestrial Trunked Radio που με ελεύθερη μετάφραση σημαίνει Επίγειο Συγκαναλικό Σύστημα Ραδιοεπικοινωνιών. Το TETRA βασίζεται στο «ανοιχτό πρότυπο» (open standard ) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI ), ο οποίος ανέπτυξε και το γνωστό σε όλους σύστημα GSM. Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε με σκοπό να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των πιο απαιτητικών επαγγελματιών.

Το TETRA είναι ένα μοντέρνο ψηφιακό σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών (Private Mobile Radio) (PRM) και σύστημα δημόσιας πρόσβασης κινητών τηλεπικοινωνιών (Public Access Mobile Radio) (PAMR), για εξυπηρέτηση υπηρεσιών αστυνομίας, ασθενοφόρων, πυροσβεστικής, στρατού εταιριών μεταφορών κ.λ.π. , καθώς σχεδιάστηκε για να παρέχει ένα μέσο επικοινωνίας σε υπηρεσίες ασφαλείας και εκτάκτων αναγκών, σε επιχειρήσεις αλλά και σε ιδιώτες.

Κατά την ανάπτυξη του προτύπου ψηφιακών κινητών επικοινωνιών TETRA τέθηκαν ως βασικές προτεραιότητες η άριστη ποιότητα φωνής κατά την επικοινωνία, η ταχύτητα επίτευξης της σύνδεσης μεταξύ δύο τερματικών, η δυνατότητα επιλογής μεταξύ ατομικών κλήσεων ανάμεσα σε δύο τερματικά ή εκπομπής κατά ομάδες, η μεγάλη εμβέλεια ραδιοκάλυψης με περαιτέρω δυνατότητα για επέκταση του δικτύου, η δυνατότητα μεταφοράς τόσο φωνής όσο και δεδομένων. Επίσης η επίτευξη ασφαλών επικοινωνιών με κάποια ανεκτικότητα στα σφάλματα, η κατά το δυνατόν περιορισμένη χρήση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και η προσαρμογή του προτύπου στην υπάρχουσα νομοθεσία αποτέλεσαν βασικό μέλημα κατά το σχεδιασμό. Βασικά ο στόχος ήταν να δημιουργηθεί ένα πρότυπο που θα οδηγούσε σε δίκτυα περιορισμένου κόστους τόσο όσον αφορά την ανάπτυξη όσο και τη διαχείριση.

Το TETRA υποστηρίζει ασύρματη διάδοση τόσο μεταξύ των κινητών σταθμών (Mobile Stations, MS) και του κυβελωτού δικτύου πρόσβασης, όσο και απευθείας επικοινωνία μεταξύ δύο τερματικών (Direct Mode Operation, DMO), χωρίς την παρεμβολή

κάποιου σταθμού βάσης (Base Station, BS). Αυτά τα χαρακτηριστικά του δικτύου του προσδίδουν τα δυνατότητα της επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών.

Στο σύστημα γίνεται περιορισμένη χρήση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος οπότε αριθμός των διαύλων που παρέχεται είναι σχετικά μικρός. Το γεγονός όμως ότι οι ραδιοδιάυλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά από κάθε τερματικό και σε κάθε κυψέλη, δίνει τη δυνατότητα κάλυψης των επικοινωνιακών αναγκών ενός μεγάλου αριθμού χρηστών καθώς επίσης επιτρέπει να υπάρχει κάλυψη σε περιοχές ευρείας έκτασης.

Το TETRA παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης τόσο φωνής όσο και δεδομένων είτε με τη μορφή σύντομων γραπτών μηνυμάτων (Short Data Service, SDS) είτε με σύνδεση του τερματικού με το δίκτυο μέσω του πρωτοκόλλου (IP, Internet Protocol). Η καθαρότητα κατά τη μετάδοση της φωνής δείχνει την υψηλή ποιότητα στην επικοινωνία που χαρακτηρίζει το πρότυπο TETRA. Επιτυγχάνεται με χρήση υψηλής απόδοσης μεθόδων κωδικοποίησης αλλά και κρυπτογράφησης των δεδομένων. Τέτοιες μέθοδοι εμποδίζουν μη εξουσιοδοτημένους χρήστες να εισέλθουν στο δίκτυο.

Το Νοέμβριο του 1994 ένας μεγάλος αριθμός από ομάδες χρηστών, τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες παροχής υπηρεσιών, κατασκευάστριες εταιρίες και ρυθμιστικές αρχές, υπέγραψαν ένα μνημόνιο συνεργασίας (MoU – Memorandum of Understanding) με σκοπό την προώθηση και καθιέρωση του προτύπου TETRA.

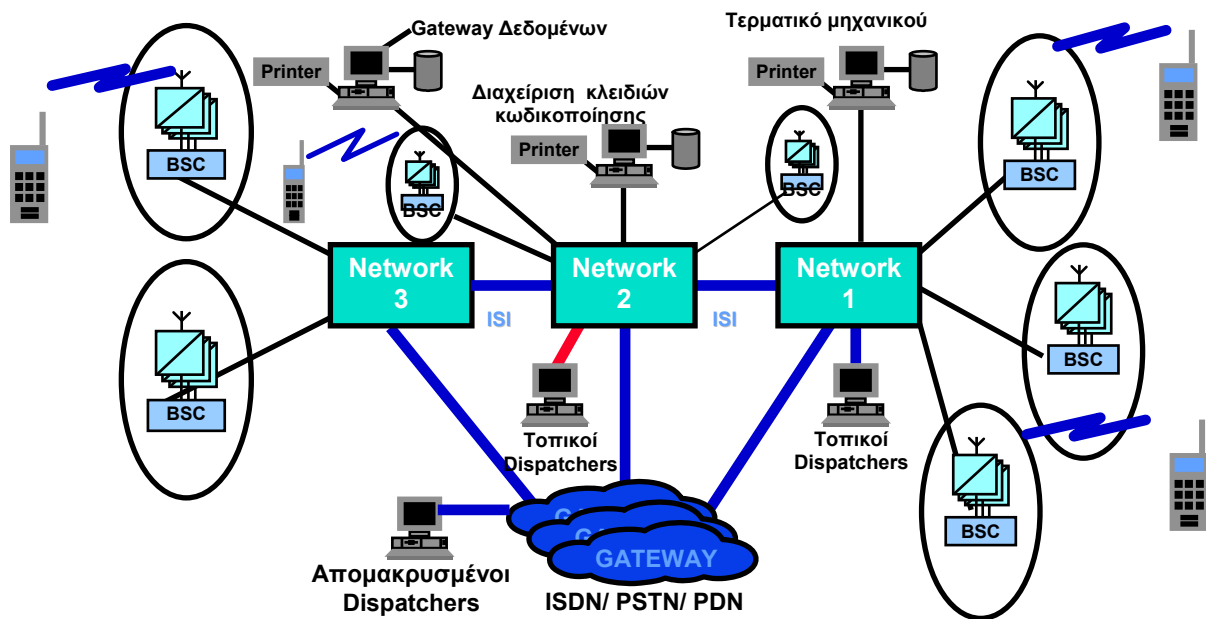
## 1.2 ΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Ένα δίκτυο TETRA αποτελείται από τα παρακάτω κυρίως στοιχεία:

- Κέντρο ελέγχου και διαχείρισης
- Κέντρο μεταγωγής
- Σταθμούς βάσης

Οι τερματικές συσκευές διακρίνονται σε :

- Φορητούς πομποδέκτες
- Πομποδέκτες οχημάτων (αυτοκινήτων και μοτοσικλετών)
- Επιτραπέζιους ασύρματους σταθμούς εκφωνητών
- Επιτραπέζιους ενσύρματους σταθμούς εκφωνητών



Σχήμα 1: Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου TETRA

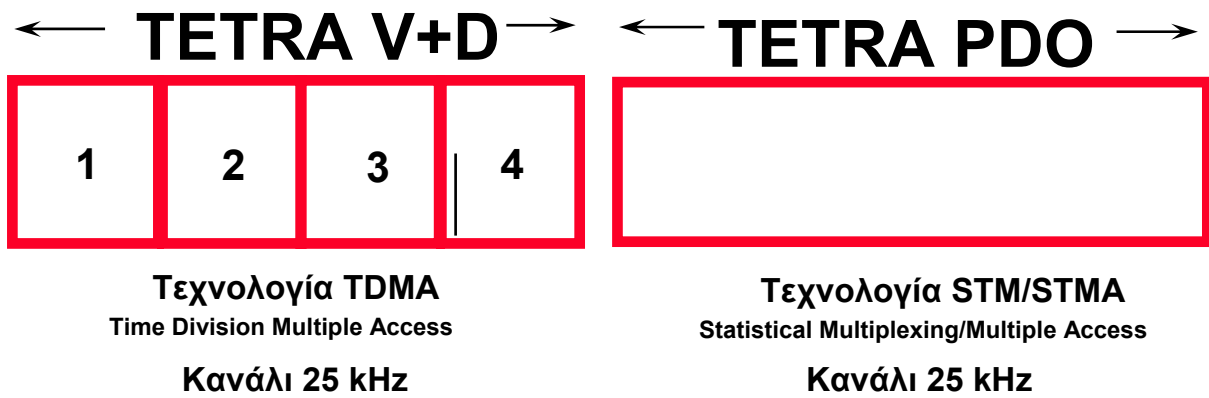
### 1.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ TETRA

Το TETRA (Terrestrial Trunked Radio) χρησιμοποιεί διαύλους εύρους 25 kHz, οι οποίοι χωρίζονται σε τέσσερα κανάλια, μέσω της τεχνικής πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου TDMA (Time Division Multiple Access). Το καθένα από τα κανάλια αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετάδοση είτε φωνής είτε δεδομένων. Είναι φανερή η αποδοτική χρήση του φάσματος, καθώς στο ευρέως διαδεδομένο σύστημα GSM έχουμε διαύλους εύρους 200 kHz με χωρισμό τους σε 8 χρονοσχισμές, που σημαίνει 8 διαθέσιμα κανάλια ανά 200 kHz, ενώ για το TETRA έχουμε αντίστοιχα 32 κανάλια.

Για λόγους συμβατότητας το ETSI αποφάσισε να χρησιμοποιηθούν περιοχές συχνοτήτων οι οποίες καθορίστηκαν από το CEPT (Ευρωπαϊκό Οργανισμό Ταχυδρομείων και Τηλεφωνίας). Οι περιοχές συχνοτήτων που δόθηκαν είναι οι παρακάτω:

- 380 – 400 MHz (δίκτυα οργανισμών δημόσιας ασφάλειας)
- 410 – 430 MHz (δίκτυα δημόσιας πρόσβασης)
- 450 – 470 MHz (δίκτυα δημόσιας πρόσβασης)
- 870 – 876 / 915 – 921 MHz



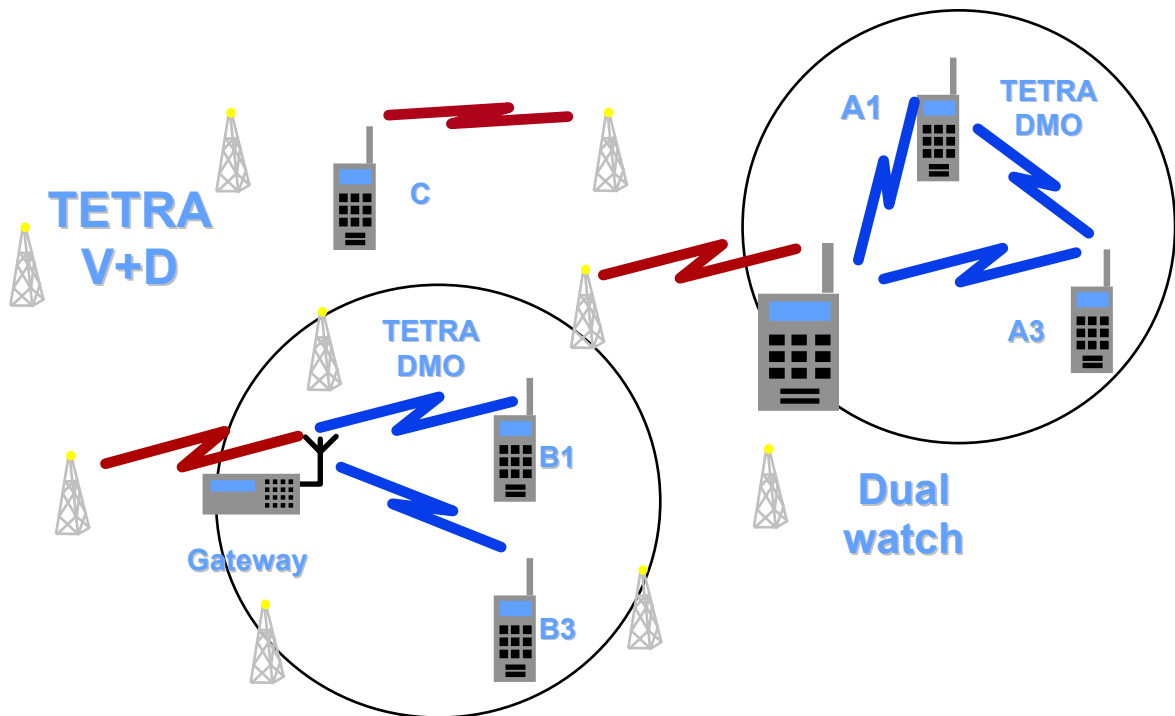


Σχήμα 2: Σχήματα πρόσβασης του συστήματος TETRA

#### 1.4 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ TETRA

Η διεπαφή αέρος (Air Interface) παρέχει διάφορες δυνατότητες λειτουργίας. Είναι δυνατόν να έχουμε ταυτόχρονη μετάδοση φωνής και δεδομένων, αφιερώνοντας μία χρονοσχιμμή σε κάθε χρήστη (Voice plus Data), ή να μεταδίδονται μόνο δεδομένα με αποκλειστική χρήση και των τεσσάρων χρονοσχιμμών για μια σύνδεση, προς χάριν μεγαλύτερης ταχύτητας μετάδοσης (Packet Data Optimization), χρησιμοποιώντας την ίδια διάταξη δικτύου. Και στις δύο περιπτώσεις είναι εφικτή η επικοινωνία των τερματικών με δημόσια και εξωτερικά δίκτυα μετάδοσης φωνής και δεδομένων (PSTN, ISDN, Internet, Ethernet, PABX, GSM, UMTS), καθώς και η περιαγωγή σε άλλα δίκτυα TETRA.

Κατά τη λειτουργία Voice plus Data, το σύστημα παρέχει αρκετή ευελιξία καθώς καταχωρεί φάσμα σε κάθε χρήστη μόνο όταν και όσο τα χρειάζεται. Είναι δυνατόν να έχουμε επικοινωνία half-duplex ή full-duplex, καταλαμβάνοντας μια χρονοσχιμμή είτε μόνο στο δίαυλο καθόδου (downlink) είτε και στο δίαυλο ανόδου (uplink). Δίνεται επιπλέον η δυνατότητα στο χρήστη να ζητήσει τη οικειοποίηση κάποιου καναλιού (preemption), με βάση ένα σχήμα προτεραιοτήτων, καθώς και την είσοδο των χρηστών που ζητούν σύνδεση σε ουρά αναμονής, σε περίπτωση που παρουσιαστεί υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος και δεν υπάρχουν διαθέσιμα κανάλια επικοινωνίας, ενώ υπάρχει και η επιλογή κλήσεων έκτακτης ανάγκης (emergency calls-Push to Talk), για τις οποίες ο χρόνος εγκατάστασης κλήσης είναι εξαιρετικά μικρός, της τάξης των 300 msec. Παράλληλα, παρέχεται δυνατότητα να έχουμε επικοινωνία μεταξύ ομάδων χρηστών, όπου μπορούν να οριστούν περιοχές χρήσης και να γίνει σάρωση των εγγεγραμμένων τερματικών, ενώ υποστηρίζεται και λειτουργία ευρείας εκπομπής (broadcast), με αποδέκτες έναν μεγάλο αριθμό χρηστών.



Σχήμα 3: Οι διάφοροι τρόποι λειτουργίας ενός δικτύου TETRA

Επίσης μια από τις πλέον σημαντικές λειτουργίες του TETRA είναι η αμεσότροπη λειτουργία (DMO-Direct Mode Operation) με την οποία δίνεται η δυνατότητα σε ένα τερματικό (πομποδέκτη) να επικοινωνεί απευθείας με ένα ή περισσότερα άλλα τερματικά χωρίς τη μεσολάβηση των σταθμών βάσεως του δικτύου. Η λειτουργία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν τα τερματικά βρίσκονται εκτός περιοχής ραδιοκάλυψης του δικτύου ή όταν απλώς υπάρχει ανάγκη για μια τοπική ιδιωτική επικοινωνία. Η αμεσότροπη λειτουργία περιλαμβάνει ατομικές κλήσεις και ομαδικές κλήσεις οι οποίες μπορεί να είναι κρυπτογραφημένες ή όχι, κλήσεις δεδομένων και βραχέων δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης έως 7,2 kbit/sec (ισοδύναμη με τη μετάδοση σε μια χρονοθυρίδα). Στην περίπτωση αυτού του τρόπου λειτουργίας χρησιμοποιείται ένας διάυλος εύρους 25 kHz, οι τέσσερις χρονοσχισμές του οποίου καταχωρούνται σε δύο κανάλια επικοινωνίας. Οι συμβατές τερματικές συσκευές έχουν ισχύ 0.3, 1.3, και 10 Watt, ενώ παρέχονται τέσσερις τρόποι λειτουργίας : απευθείας επικοινωνία μεταξύ των MS, επικοινωνία με χρήση επαναλήπτη, σύνδεση μέσω κάποιου τερματικού που βρίσκεται εντός της κάλυψης του δικτύου και σύνδεση με κάποιο άλλο δίκτυο μέσω πύλης (gateway).

Η εκ περιτροπής ή παράλληλη μετάδοση δεδομένων, τόσο με την επικοινωνία μέσω BS όσο και κατά τη λειτουργία (DMO) είναι δυνατή επιπλέον εκτός της μετάδοσης

φωνής. Έτσι μπορούμε να έχουμε μετάδοση SDS, που περιέχουν έως και 140 χαρακτήρες και μεταδίδονται μέσω του καναλιού ελέγχου, μετάδοση με μεταγωγή κυκλώματος, όπου καταλαμβάνεται αποκλειστικά για μετάδοση δεδομένων μία έως τέσσερις χρονοσχισμές (μία για DMO), ή μετάδοση με μεταγωγή πακέτου. Στη μετάδοση με μεταγωγή κυκλώματος για κάθε χρονοσχισμή έχουμε ρυθμό μετάδοσης 7.2 kbps σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται κωδικοποίηση προστασίας, 4.8 kbps για κωδικοποίηση χαμηλής προστασίας και 2.4 kbps για κωδικοποίηση υψηλής προστασίας. Παράλληλα, είναι διαθέσιμη στο ίδιο δίκτυο και η τεχνολογία βελτιστοποίησης πακέτων δεδομένων, όπου αφιερώνεται ένας διάυλος 25 kHz για μετάδοση δεδομένων, ενώ χρησιμοποιείται στατιστική πολλαπλή πρόσβαση / στατιστική πολυπλεξία (Statistical Multiple Access/ Statistical Multiplexing, STMA/STM). Έτσι, μπορούμε να έχουμε μετάδοση με μεταγωγή πακέτου με ρυθμό έως και 36 kbps.

## 1.5 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ TETRA

Οι πομποδέκτες TETRA συνδυάζουν σε μια συσκευή τις εξής δυνατότητες:

- Ψηφιακού πομποδέκτη ειδικών ραδιοδικτύων
- Ψηφιακού κυβελωτού τηλεφώνου
- Αλφαριθμητικής συσκευής τηλεειδοποίησης (pager)
- Συσκευή modem για τη μετάδοση δεδομένων και πρόσβαση στο internet

Το σύστημα TETRA χρησιμοποιείται τόσο για τις υπηρεσίες φωνής, όσο και για τις υπηρεσίες δεδομένων. Το πρότυπο TETRA καθορίζει έναν αριθμό υπηρεσιών ή τύπο κλήσεων, οι οποίες διαχωρίζονται σε Βασικές και Συμπληρωματικές Υπηρεσίες.

Οι βασικές υπηρεσίες φωνή είναι οι εξής: Η ατομική κλήση (individual call) είναι η επικοινωνία ατόμου με άτομο. Μπορεί να είναι μονόδρομη (simplex), ημιαμφίδρομη (semi-duplex), ή πλήρως αμφίδρομη (full-duplex) και από τερματικό σε τερματικό (TETRA ή GSM), από τερματικό σε εκφωνητή ή από τερματικό σε συνδρομητή του τηλεφωνικού δικτύου (PSTN). Η ομαδική κλήση (Group Call) είναι η επικοινωνία είναι η επικοινωνία ατόμου με ομάδα ατόμων. Η ομαδική κλήση με επιβεβαίωση (Acknowledged Call) είναι η κλήση κατά την οποία αυτός που έκανε την έναρξή της έχει τη δυνατότητα να δει ποια άτομα της ομάδας συμμετέχουν στην κλήση. Η ευρυεκπομπή (Broadcast Call) είναι η κλήση σε ομάδα κατά την οποία οι παραλήπτες δεν έχουν τη δυνατότητα να απαντήσουν. Χρησιμοποιείται συνήθως για ανακοινώσεις σε ομάδες με πολλά άτομα ή σε όλους τους

συνδρομητές του δικτύου. Όλοι οι παραπάνω τύποι κλήσεων μπορούν να γίνουν με ή χωρίς κρυπτοφώνηση.

Οι βασικές υπηρεσίες δεδομένων είναι οι παρακάτω: Οι κλήσεις δεδομένων κυκλωμεταγωγής (Circuit Mode Data) είναι κλήσεις αποστολής δεδομένων με τη χρήση μιας έως τεσσάρων χρονοθυρίδων και ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ 7.2, 14.4, 21.6, 28.8 kbps. Πραγματοποιούνται μέσω των καναλιών κίνησης και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων και για τις απαιτητικές εφαρμογές όπως video. Οι κλήσεις δεδομένων κυκλωμεταγωγής με προστασία (Circuit Mode Protected Data) είναι παρόμοιες με τις παραπάνω κλήσεις, αλλά με τη χρήση αλγορίθμων ασφαλείας και ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ 4.8, 9.6, 14.4, 19.2 kbps. Οι κλήσεις δεδομένων κυκλωμεταγωγής με υψηλή προστασία (Circuit Mode Heavily Protected Data) διαφέρουν από τις παραπάνω στο ότι χρησιμοποιούν ακόμα πιο πολύπλοκους αλγόριθμους ασφαλείας και ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ 2.4, 4.8, 7.2, 9.6 kbps. Οι κλήσεις δεδομένων πακετοποίησης (Packet Mode Data – Connection Oriented / Connectionless) είναι αποστολής δεδομένων με τη χρήση πρωτοκόλλου πάνω σε μία ή περισσότερες δεσμευμένες χρονοθυρίδες. Οι ρυθμοί μετάδοσης είναι χαμηλότεροι σε σύγκριση με την κυκλωμεταγωγή λόγω του υπερκείμενου πλαισίου. Υπάρχουν επίσης τα μηνύματα κατάστασης (Status Messages). Μέσω ενός αριθμού γίνεται αποστολή ενός από τα 16 προκαθορισμένα βραχεία γραπτά μηνύματα, από το τερματικό στον εκφωνητή. Με τις κλήσεις βραχέων δεδομένων (Short Data Services) γίνεται αποστολή βραχέων δεδομένων έως 2047 ψηφία. Η υπηρεσία αυτή είναι κατάλληλη για μετάδοση μικρών γραπτών μηνυμάτων.

Υπάρχουν επίσης και κάποιες άλλες απαραίτητες συμπληρωματικές υπηρεσίες που είναι οι εξής: Η εξουσιοδοτημένη κλήση από τον εκφωνητή (Call Authorized By Dispatcher) χρησιμοποιείται όταν ο εκφωνητής επιθυμεί να γίνουν αιτήσεις για ομιλία οι οποίες να μπαίνουν σε μια σειρά αντί να γίνεται άμεση ομιλία. Με την επιλογή περιοχής (Area Selection) δίνεται η δυνατότητα στον εκφωνητή να περιορίσει την περιοχή από την οποία θα εξέρχονται οι κλήσεις μιας ομάδας. Η προτεραιότητα πρόσβασης (Access Priority) χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις αυξημένης κίνησης του δικτύου για να γίνουν μόνο κλήσεις προτεραιότητας. Οι κλήσεις προτεραιότητας (Priority Calls) πραγματοποιούνται σε περίπτωση που το σύστημα είναι κατειλημμένο και υπάρχει σειρά αναμονής. Η κατάταξη γίνεται ανάλογα με το βαθμό προτεραιότητας του κάθε καλούντος. Υπάρχει επίσης η κλήση προτεραιότητας με προ-εκκένωση (Pre-emptive Priority Call), η οποία προκαλεί τερματισμό της κλήσης με τη χαμηλότερη προτεραιότητα ή τη μεγαλύτερη διάρκεια και παίρνει τη θέση της όταν το σύστημα είναι κατειλημμένο. Χρησιμοποιείται σε επείγουσες περιπτώσεις. Η

όψιμη είσοδος (Late Entry) δίνει τη δυνατότητα σε ένα μέλος ομάδας να συμμετάσχει σε μια κλήση η οποία βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη (π.χ. θα μπορούσε να είναι εκτός περιοχής κάλυψης ή να συμμετείχε σε μια άλλη κλήση όταν η κλήση τελείωσε). Με την ακρόαση περιβάλλοντος (Ambience Listening) στέλνεται ένα διακριτικό σήμα στο τερματικό για την ενεργοποίηση του πομπού του χωρίς κάποια ένδειξη. Χρησιμοποιείται όταν ο καλούμενος δεν απαντά ή βρίσκεται σε κατάσταση κινδύνου. Η δυναμική εκχώρηση αριθμού ομάδος (Dynamic Group Number Assignment) επιτρέπει την προσωρινή δημιουργία ομάδων χρηστών για ειδικές περιπτώσεις ή συμβάντα.

Επίσης υπάρχουν οι προαιρετικές συμπληρωματικές υπηρεσίες που αναφέρονται τόσο σε λειτουργία πομποδεκτών όσο και σε λειτουργία τηλεφώνου. Ενδεικτικά μερικές είναι οι Call Waiting, Call Hold, Transfer of Call, Call Baring, Call Retention, Call Report, Talking Party Identification, Call Forward on Subscriber Busy/ Not Reachable/ No Reply, Short Number Addressing κ.λ.π.



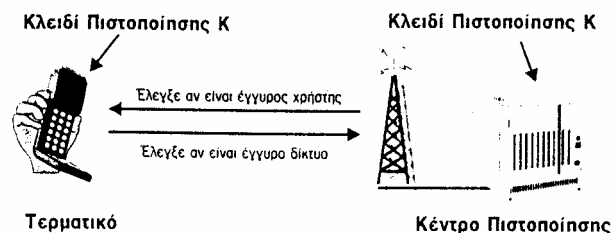
Σχήμα 4: Υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το δίκτυο TETRA

## 1.6 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ TETRA

Η ασφάλεια στο σύστημα TETRA είναι πρωταρχικής σημασίας καθώς η εκπεμπόμενη πληροφορία μπορεί να συλληφθεί από κάθε συμβατή συσκευή εντός της περιοχής ραδιοκάλυψης . Το γεγονός ότι το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται από επαγγελματικές ομάδες υψηλών απαιτήσεων όπως ο Στρατός και η Αστυνομία προϋποθέτει την ανάπτυξη αλγορίθμων ασφαλείας, οι οποίοι εγγυώνται τόσο την ασφαλή μετάδοση πληροφοριών όσο και την απαγόρευση σε μη εξουσιοδοτημένους χρήστες να εισέρχονται στο δίκτυο. Για να θεωρηθεί ένα σύστημα ασφαλές, θα πρέπει να παρέχει πρόσβαση μόνο σε όσους έχουν εκ των προτέρων εξουσιοδότηση και να μην επιτρέπει στους απλούς χρήστες να μεταβάλλουν τα προνόμια χρήσης των άλλων χρηστών. Για το σκοπό αυτό, το TETRA προσφέρει πιστοποίηση της ταυτότητας του MS που ζητά να συνδεθεί αλλά και αυτού που αναζητείται από το δίκτυο, κρυπτογράφηση των δεδομένων που αποστέλλονται και δυνατότητα απομόνωσης και παρεμπόδισης κακόβουλων χρηστών, ενώ δίνεται η δυνατότητα προσαρμογής του επιπέδου ασφαλείας βάσει των απαιτήσεων της κάθε εφαρμογής αλλά και των εθνικών και διεθνών νομικών διατάξεων.

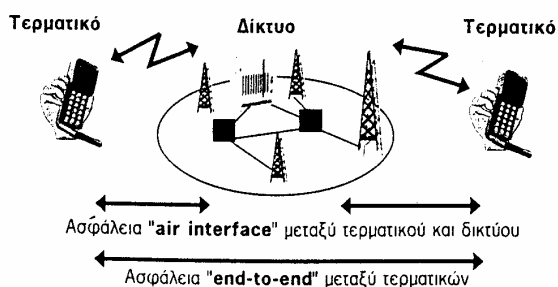
Η ασφάλεια των συστημάτων TETRA βασίστηκε στα πρότυπα ασφαλείας του συστήματος DECT, που με τη σειρά τους αποτελούσαν εξέλιξη των αντίστοιχων προτύπων ασφαλείας του GSM. Έγινε βελτίωση των υαρχόντων, αλλά και προσθήκη επιπλέον χαρακτηριστικών, σχετικών με τη φιλοσοφία λειτουργίας του νέου προτύπου. Χαρακτηριστικά αναφέρονται η κρυπτογράφηση από άκρο σε άκρο, η κρυπτογράφηση για κλειστές ομάδες χρηστών και η ασφαλής ενεργοποίηση και απενεργοποίηση τερματικών συσκευών.

Η πιστοποίηση γίνεται με τη μέθοδο της Αμοιβαίας Πιστοποίησης μέσω Ραδιοδιαύλου (Mutual authentication over the air interface). Το TETRA υποστηρίζει αμοιβαία πιστοποίηση των τερματικών και του δικτύου. Συνεπώς το δίκτυο πιστοποιεί αν μπορεί να εμπιστευτεί το συγκεκριμένο τερματικό, αλλά και το τερματικό πιστοποιεί αν συνεργάζεται με αξιόπιστο δίκτυο.



Σχήμα 5: Πιστοποίηση

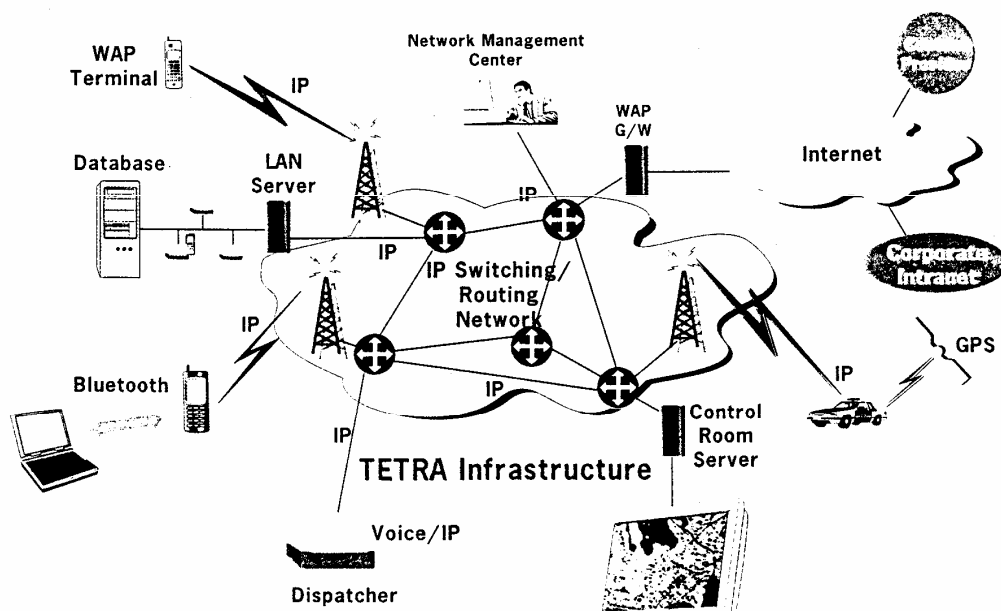
Το TETRA ορίζει επίσης δύο αλγορίθμους κρυπτογράφησης (encryption). Την κρυπτογράφηση μετάδοσης ραδιοδιαύλου (air interface encryption) και την κρυπτογράφηση από άκρο σε άκρο (end to end encryption).



Σχήμα 6: Ασφάλεια στα συστήματα TETRA

### 1.7 ΤΟ TETRA ΣΑΝ IP ΔΙΚΤΥΟ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Το μεγάλο πλεονέκτημα των συστημάτων που βασίζονται στην τεχνολογία TETRA είναι ότι από την αρχή σχεδιάστηκαν ώστε να υποστηρίζουν τη μετάδοση δεδομένων μέσω πρωτοκόλλου IP.



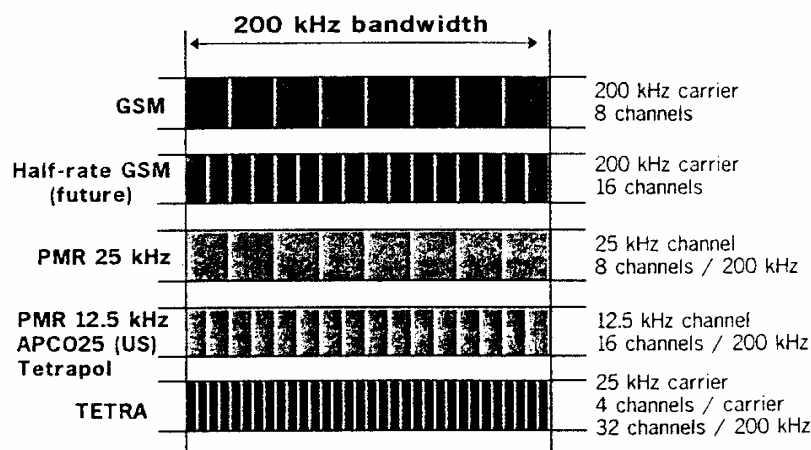
Σχήμα 7: Το TETRA σαν δίκτυο IP

Τόσο το GSM όσο και το TETRA προσφέρουν ταυτόχρονα αμφίδρομη (full-duplex) μετάδοση φωνής, και μετάδοση μικρών μηνυμάτων (SMS στο πρότυπο GSM, SDS στο πρότυπο TETRA). Στην κυκλωμεταγωγή δεδομένων (circuit mode data) όμως, το πρότυπο GSM προσφέρει μετάδοση δεδομένων με ρυθμό έως 9.6 kbps ενώ στο TETRA με το συνδυασμό των τεσσάρων χρονοθυρίδων μπορεί να πετύχουμε ρυθμούς μέχρι και 28.8 kbps.

Στην πακετομεταγωγή (packet mode data) το TETRA πλεονεκτεί έναντι του GSM αφού υποστηρίζει μετάδοση δεδομένων τόσο connection-oriented όσο και connectionless, ενώ το GSM δεν υποστηρίζει την πακετομεταγωγή. Το GSM χρησιμοποιεί κελιά μικρού μήκους, με μεγάλη χωρητικότητα και τοπική επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, ενώ το TETRA χρησιμοποιεί μεγάλα κελιά, με μεσαία χωρητικότητα και επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων σε επίπεδο περιοχής.

Στο GSM ο χρόνος έναρξης κλήσης είναι αρκετά δευτερόλεπτα, ενώ στο TETRA δεν υπερβαίνει τα 300 msec.

Features	TETRA	GSM	DECT	APCO25
User Data Rate (Kb/s)	28.8	9.6	144.4	9.6
Traffic Channel (kHz)	6.25	25	166.6	12.5
Wide Area Coverage (WAC)	✓	✓		
Inherent Ease of Duplex	✓	✓	✓	
Telephony Services	✓	✓	✓	
PMR Services	✓			✓
Priority & Pre-emption	✓			✓
Call set-up Time < 0.3 sec	✓			✓
Group & Broadcast Call	✓	*		✓
Queued Call	✓			✓
Scaleability	✓			✓
Terminal Autonomy	✓			✓
Robust Low-rate-Codec	✓			✓
Concurrent Voice and Data	✓			

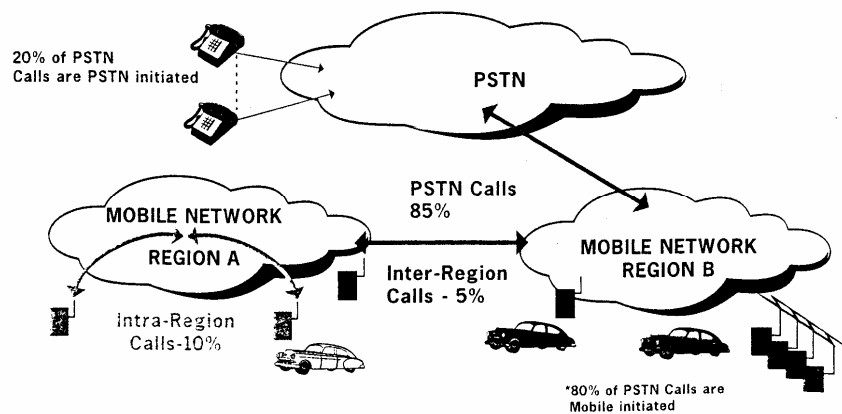




## Σχήμα 8: Σύγκριση TETRA με άλλες τεχνολογίες

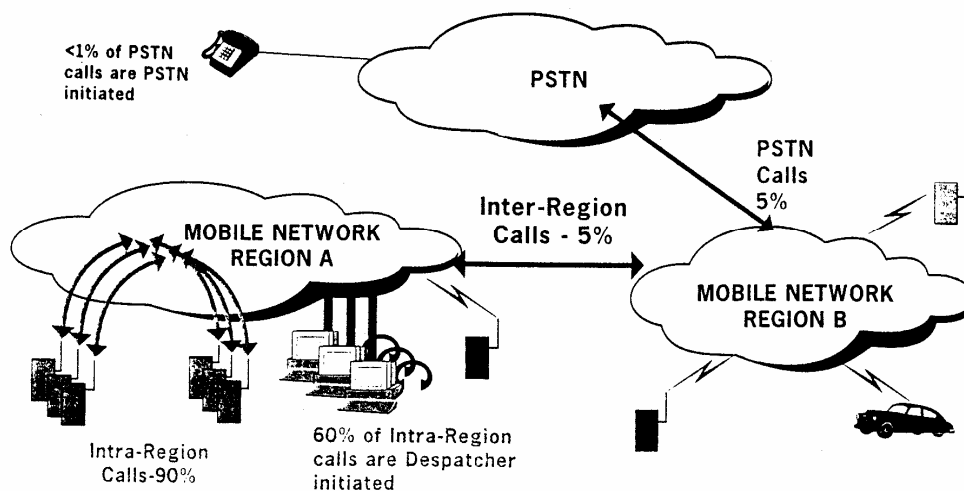
### 1.8 ΡΟΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Μια μεγάλη διαφορά μεταξύ των συστημάτων GSM και TETRA είναι η ροή κλήσεων από τους χρήστες, η οποία φυσικά επηρεάζει τόσο την αρχιτεκτονική των δικτύων όσο και τον τρόπο με τον οποίο οι παροχείς τιμολογούν τις υπηρεσίες που παρέχουν στους πελάτες τους. Με τυπική διάρκεια κλήσης περίπου δύο λεπτά, η ανάλυση της κίνησης των κυψελωτών συστημάτων (GSM, DCS), δείχνει ότι το 85 % των κλήσεων από κινητό πραγματοποιούνται μέσω του PSTN και το 80 % από κινητό. Ένα 5 % είναι κλήσεις από κινητό σε κινητό μεταξύ διαφορετικών περιοχών κάλυψης και μόνο το 10 % όλων των κλήσεων είναι από κινητό σε κινητό μέσα στην ίδια περιοχή κάλυψης.



Σχήμα 9: Ροή πληροφοριών στα κυψελωτά συστήματα

Αντίθετα, οι κλήσεις στα PRM συστήματα, όπως το TETRA, διαρκούν κατά μέσο όρο μόνο 20 δευτερόλεπτα. Το 90 % των κλήσεων γίνονται στην ίδια περιοχή κάλυψης, εκ των οποίων 60% αρχικοποιούνται από τον εκφωνητή. Ένα 5% όλων των κλήσεων είναι μεταξύ δύο διαφορετικών περιοχών κάλυψης και μόνο 5% είναι μέσω PSTN, εκ των οποίων λιγότεροι από 1% αρχικοποιούνται από το PSTN.



Σχήμα 10:Ροή πληροφορίας στα PRM συστήματα

## 1.9 ΤΟ TETRA ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΓΙΑ ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

Το TETRA, όπως φαίνεται από τις προδιαγραφές του, αποτελεί μια σημαντική τηλεπικοινωνιακή λύση για τις υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας και μεταφορών, καθώς μπορεί να παρέχει επικοινωνία στους χρήστες υπό ακραίες καιρικές συνθήκες, εμφανίζει μικρό χρόνο εγκατάστασης σύνδεσης και έχει περιορισμένο κόστος ανάπτυξης σε σχέση με τα άλλα συστήματα (δορυφορικά συστήματα). Για την αποστολή αυτή παρέχει εξειδικευμένες λειτουργίες, όπως εξουσιοδότηση κλήσεων από κεντρικό διανομέα (), προτεραιότητα πρόσβασης και κλήσης, επιλογή περιοχής, καθυστερημένη είσοδο, προκαθορισμένη κατάληψη καναλιού, διακριτική ευρεία ακρόαση, δυναμική δημιουργία ομάδων. Επιπλέον προσφέρονται οι καθιερωμένες ευκολίες των ψηφιακών δικτύων, όπως φραγή κλήσεων, αναγνώριση αριθμού εισερχόμενης κλήσης, χρήση σύντομων αριθμών κλήσης και προώθηση κλήσης σε άλλο αριθμό.

### 1.10 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ TETRA

Μερικές από τις εφαρμογές TETRA που μπορούν να αναπτυχθούν βασισμένες στην τεχνολογία αυτή είναι:

- Διαχείριση στόλου οχημάτων
- Εντοπισμός θέσης οχήματος μέσω GPS
- Μετάδοση εικόνας

- Ασύρματη πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων
- Ασύρματο Internet
- Συνδέσεις με περιφερειακές συσκευές όπως ταξίμετρα, αναγνώστες πιστωτικών καρτών, φορητούς υπολογιστές κ.λ.π.
- Εφαρμογές SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

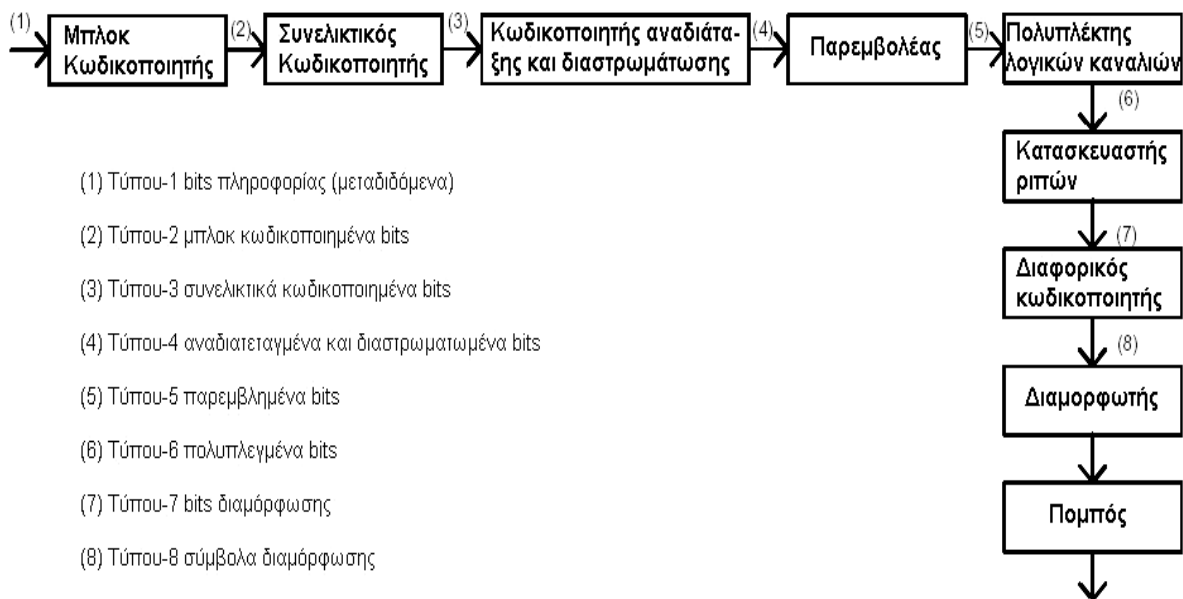
## 1.11 ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΖΕΥΞΗ

### 1.11.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρακάτω παράγραφο ακολουθεί μια σύντομη εισαγωγή, η οποία αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η ασύρματη μετάδοση του προτύπου TETRA Voice + Data. Γίνεται μία σύντομη περιγραφή της οργάνωσης των λειτουργιών που είναι σχετικές με τη μετάδοση, ενώ εισάγεται η διαμόρφωση αναφοράς του συστήματος που θα υιοθετήσουμε στη συνέχεια.

Το υποσύστημα της ασύρματης επικοινωνίας παρέχει έναν προκαθορισμένο και σταθερό πλήθος από λογικά κανάλια, που αναπαριστούν τη διεπαφή μεταξύ του πρωτοκόλλου και της ασύρματης ζεύξης.

Το παρακάτω διάγραμμα αναπαριστά τη μορφή που λαμβάνει η διαμόρφωση αναφοράς για την αλυσίδα μετάδοσης για τον πομπό του συστήματος.

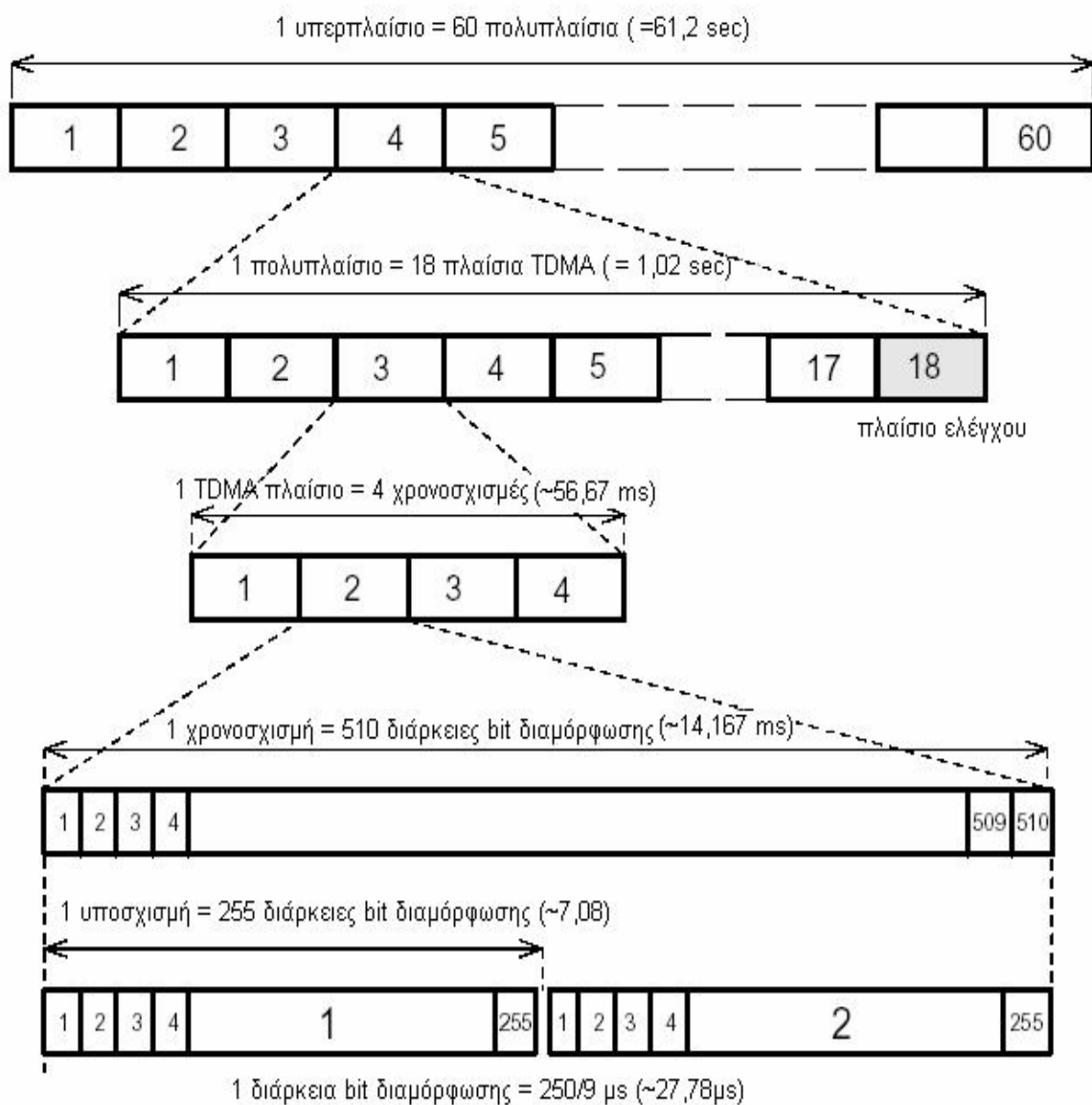


Σχήμα 11: Διαμόρφωση αναφοράς

Στο παραπάνω σχήμα διακρίνονται τα επιμέρους στοιχεία για τον πομπό του συστήματος :

1. **Μπλοκ κωδικοποιητής** : εισάγει τα bits πληροφορίας σε μπλοκ ώστε στη συνέχεια να ακολουθήσει η επεξεργασία και αποστολή τους.
2. **Συνελκτικός κωδικοποιητής** : ο κωδικοποιητής αυτός επιτελεί τη λειτουργία της κωδικοποίησης με συνέλιξη, με σκοπό να μεγιστοποιηθεί η πιθανότητα να αναγνωριστούν σωστά τα επιμέρους bits που φτάνουν στο δέκτη.
3. **Κωδικοποιητής αναδιάταξης και διαστρωμάτωσης** : έχει ως στόχο την απόκρυψη της πληροφορίας που μεταφέρεται και αυτό υλοποιείται με την μετάθεση των bits του σήματος που ξεκινάει από τον πομπό και φτάνει στο δέκτη.
4. **Παρεμβολέας** : μεταβάλλει την ακολουθία των bits που είναι να μεταδοθούν με το να αντικαθιστά κάθε ένα bit του προς μετάδοση σήματος με το modulo – 2 άθροισμα του με το αντίστοιχο στοιχείο από μια συγκεκριμένη και πάντα σταθερή ακολουθία από bits ( scrambling sequence ), ώστε να περιοριστεί όσο το δυνατόν περισσότερο ο πλεονασμός αλλά συγχρόνως να απαλειφθεί και η DC πόλωση του προς μετάδοση σήματος.
5. **Πολυπλέκτης λογικών καναλιών** : χρησιμοποιείται για εξοικονόμηση του διαθέσιμου φάσματος η οποία επιτυγχάνεται με σύνθεση από τον πολυπλέκτη ενός αριθμού από διαφορετικά λογικά κανάλια στο ίδιο σήμα.
6. **Κατασκευαστής ριπών** : ο ρόλος του είναι η μετατροπή της ακολουθίας των bits που εισέρχονται σε αυτόν σε ξεχωριστές ριπές, ώστε οι ριπές αυτές να χρησιμοποιηθούν για να πραγματοποιηθεί εκπομπή σε κάθε χρονοσχιμή.
7. **Διαφορικός κωδικοποιητής** : ο ρόλος του είναι να μετασχηματίζει τα bits που πρόκειται να μεταδοθούν σύμφωνα με τις αρχές που διέπουν την διαφορική κωδικοποίηση.
8. **Διαμορφωτής** : είναι ο προτελευταίος κρίκος αυτής της αλυσίδας και διαμορφώνει το φέρον αναφοράς με βάση τα bits εισόδου του σχηματίζοντας με αυτό τον τρόπο το ακριβές σήμα που είναι να μεταδοθεί λίγο πριν αυτό φτάσει στον πομπό.
9. **Πομπός** : τέλος ο πομπός παραλαμβάνει το σήμα όπως του φτάνει μετά από την επεξεργασία από τις προηγούμενες βαθμίδες, το ενισχύει και το μεταδίδει στο δέκτη.

Στη λειτουργία ασύρματης μετάδοσης του συστήματος TETRA το σχήμα πρόσβασης που χρησιμοποιείται είναι η τεχνική πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου TDMA και περιλαμβάνει τέσσερα φυσικά κανάλια ανά φέρον. Για κάθε φέρον ο διαχωρισμός των συχνοτήτων είναι 25 kHz. Η χρονοσχισμή (time slot) είναι ο βασικός πόρος μετάδοσης είναι ο βασικός πόρος μετάδοσης και διαρκεί 14,167 msec (  $8 \frac{5}{6}$  msec ). Κατά τη διάρκεια αυτή μεταδίδονται δεδομένα με ρυθμό 36 kbps. Αυτό σημαίνει πως η κάθε χρονοσχισμή διαρκεί για 510 bits αν συμπεριλάβουμε και τα διαστήματα φύλαξης και ανόδου. Αυτό σε σύμβολα μεταφράζεται στα 255. Στο κανάλι ανόδου (uplink) οι χρονοσχισμές μπορούν να διαιρεθούν σε δύο υποσχισμές. Το φυσικό περιεχόμενο κάθε χρονοσχισμής αποτελεί μια ριπή (burst).



Σχήμα 12 : Δομή TDMA

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει πως τα bits συγκροτούν ιεραρχικά μεγαλύτερα λογικά μπλοκ πληροφορίας. Στην κορυφή της ιεραρχίας διακρίνουμε το επίπεδο του υπερπλαϊσίου (hyperframe), το οποίο αποτελείται από 60 πολυπλαϊσια και έχει διάρκεια 61.2 seconds. Ακολουθούν τα πολυπλαϊσια (multiframe), που διαιρούνται σε 18 πλαίσια και έχουν διάρκεια 1,02 seconds το κάθε ένα. Σε κάθε πολυπλαϊσιο το τελευταίο πλαίσιο, δηλαδή το δέκατο όγδοο πλαίσιο χρησιμοποιείται ως πλαίσιο ελέγχου ενώ κάθε απλό πλαίσιο (frame) χωρίζεται σε τέσσερις χρονοσχισμές και έχει διάρκεια  $170/3 \text{ ms} \approx 56,67 \text{ ms}$ .

Το πρότυπο ορίζει για τα φυσικά κανάλια δύο είδη. Το πρώτο είναι το φυσικό κανάλι κυκλοφορίας (Traffic Physical Channel, TP). Το κανάλι αυτό μεταφέρει τα κυρίως κανάλια κυκλοφορίας. Το δεύτερο είναι το φυσικό κανάλι ελέγχου (Control Physical Channel, CP), το οποίο μεταφέρει αποκλειστικά το κανάλι ελέγχου. Ένα κανάλι CP ορίζεται ως κύριο κανάλι ελέγχου (Main Control Channel, MCCH), ενώ τα υπόλοιπα ονομάζονται κανάλια επεκταμένου ελέγχου (Extended Control Channel, ECCH). Το RF φέρον που περιέχει το MCCH ονομάζεται κύριο φέρον.

Η μετάδοση περιλαμβάνει και άλλες λειτουργίες, οι οποίες επιβάλλουν τη διαχείριση ειδικών πρωτοκόλλων μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού και διαιρούνται στο συγχρονισμό και στον έλεγχο ζεύξης του υποσυστήματος ασύρματης μετάδοσης.

Ο συγχρονισμός ενσωματώνει ανάκτηση συχνότητας και χρονισμού από το δέκτη, καθώς και ρύθμιση της χρονικής βάσης των κινητών σταθμών. Ο έλεγχος ζεύξης περιλαμβάνει προσαρμοζόμενο έλεγχο ισχύος, που ρυθμίζει την εκπεμπόμενη ισχύ ραδιοσυχνοτήτων, με σκοπό να διασφαλίζεται ότι η απαιτούμενη ποιότητα επικοινωνίας επιτυγχάνεται με την ελάχιστη δυνατή εκπεμπόμενη ισχύ. Τη διαχείριση της λειτουργίας αυτής αναλαμβάνει ο κινητός σταθμός MS κατά την αρχική πρόσβαση και τόσο ο κινητός σταθμός όσο και ο σταθμός βάσης BS κατά τη λειτουργική χρήση, ενώ το όφελος είναι η εξοικονόμηση της ενέργειας των μπαταριών και η μείωση των παρεμβολών.

Κάτω από τυπικές αστικές συνθήκες διαλείψεων (π.χ. καθυστερήσεις πολλαπλών διαδόσεων όχι μεγαλύτερες από 5 msec), το κατώφλι ποιότητας για ομιλία πλήρους ρυθμού επιτυγχάνεται από μία τιμή λόγου σήματος προς παρεμβολή C/I (διακαναλική παρεμβολή, co-channel interference) της τάξης των 19 dB, ενώ το επίπεδο δυναμικής ευαισθησίας αναφοράς είναι -106 dBm για τους σταθμούς βάσης και -103 dBm για τους κινητούς σταθμούς.

Το σύστημα TETRA περιλαμβάνει δύο καταστάσεις λειτουργίας, τις καταστάσεις μετάδοσης και τις καταστάσεις ελέγχου.

Οι καταστάσεις μετάδοσης είναι οι εξής: η συνεχής μετάδοση κάτω ζεύξης (Downlink-Continuous Transmission, D-CT). Η D-CT κατάσταση είναι επιβεβλημένη για κάθε MS επειδή ο εξοπλισμός αυτός πρέπει να λειτουργεί παράλληλα με έναν TETRA BS που θα είναι σε κατάσταση D-CT. Στην κατάσταση λειτουργίας D-CT mode ο BS χρησιμοποιεί διαρκώς συνεχόμενες ριπές κάτω ζεύξης. Η μετάδοση είναι συνεχής στο κυρίως φέρων. Στα υπόλοιπα φέροντα επιτρέπεται ασυνεχής μετάδοση η οποία είναι διαφανής για τα MS. Η δεύτερη κατάσταση λειτουργίας είναι η μετάδοση χρονικού καταμερισμού φέροντος κάτω ζεύξης (Downlink-Carrier Timesharing Transmission, D-CTT). Στην κατάσταση λειτουργίας αυτή (D-CTT mode) η συχνότητα φέροντος μπορεί να κατανεμηθεί σε ξεχωριστές κυψέλες, με καθένα από τα τέσσερα φυσικά κανάλια της επιμερισμένο ανεξάρτητα στις κυψέλες αυτές. Ο BS χρησιμοποιεί ασυνεχής ριπές κάτω ζεύξης. Η τρίτη κατάσταση λειτουργίας είναι η μετάδοση χρονικού καταμερισμού του MCCH κάτω ζεύξης (Downlink-Main Control Channel Timesharing Transmission, D-MCCHTT). Σε αυτή το MCCH μοιράζεται σε ξεχωριστές κυψέλες, με καθένα από τα πλαίσιά του να επιμερίζεται ανεξάρτητα στις κυψέλες αυτές. Ο BS χρησιμοποιεί ασυνεχείς ριπές κάτω ζεύξης. Τέλος υπάρχει η μετάδοση πολλαπλών σχισμών κατά την οποία δύο έως τέσσερα φυσικά κανάλια χρησιμοποιούνται για την ίδια επικοινωνία. Αυτή η λειτουργία παρέχει τη δυνατότητα αύξησης του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων ή για να πραγματοποιήσουμε ανάμειξη φωνής και δεδομένων. Αυτές ήταν οι καταστάσεις μετάδοσης.

Οι καταστάσεις ελέγχου είναι οι εξής: η κατάσταση κανονικού ελέγχου η οποία είναι επιβεβλημένη για κάθε συσκευή TETRA, παρέχει τις υπηρεσίες TETRA με πλήρη επίδοση και απαιτεί την ανάθεση ενός MCCH. Η κατάσταση ελαχίστου ελέγχου (Minimum Control Mode, MCM), είναι υποχρεωτική μόνο για τα MS, παρέχει τις υπηρεσίες TETRA με μειωμένη επίδοση και όλα τα φυσικά κανάλια κάθε RF φέροντος είναι διαθέσιμα για μεταφορά κυκλοφορίας.

### 1.11.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Ο τύπος της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται είναι  $\pi/4$ -διαφορική ορθογωνική κωδικοποίηση φάσης και έχει ρυθμό διαμόρφωσης 36 kbps.

Το  $B(m)$  συμβολίζει το bit που βρίσκεται υπό διαμόρφωση από την ακολουθία που είναι να μεταδοθεί με  $m$  τον αριθμό του bit αυτού. Η ακολουθία των bits διαμόρφωσης πρέπει να αντιστοιχεί στην ακολουθία των συμβόλων διαμόρφωσης  $S(k)$ , όπου  $k$  είναι ο αριθμός του συμβόλου που ανταποκρίνεται.

Το σύμβολο διαμόρφωσης  $S(k)$  προκύπτει με διαφορική κωδικοποίηση πράγμα το οποίο σημαίνει πως λαμβάνουμε το  $S(k)$  εφαρμόζοντας στο προηγούμενο σύμβολο, που είναι το  $S(k-1)$  τη μετάβαση φάσης  $D\phi(k)$ . Η σχέση αυτή μιγαδικά συμβολίζεται ως εξής:

$$S(k) = S(k-1) \exp(D\phi(k))$$
$$S(0) = 1$$

Από την παραπάνω έκφραση το  $S(k)$  εκφράζει τη συνεχή μετάδοση των συμβόλων διαμόρφωσης που μεταφέρονται από έναν αυθαίρετο αριθμό από ριπές. Το σύμβολο  $S(0)$  είναι το σύμβολο πριν το πρώτο σύμβολο της πρώτης ριπής και πρέπει πάντα να μεταδίδεται σαν αναφορά για τη φάση.

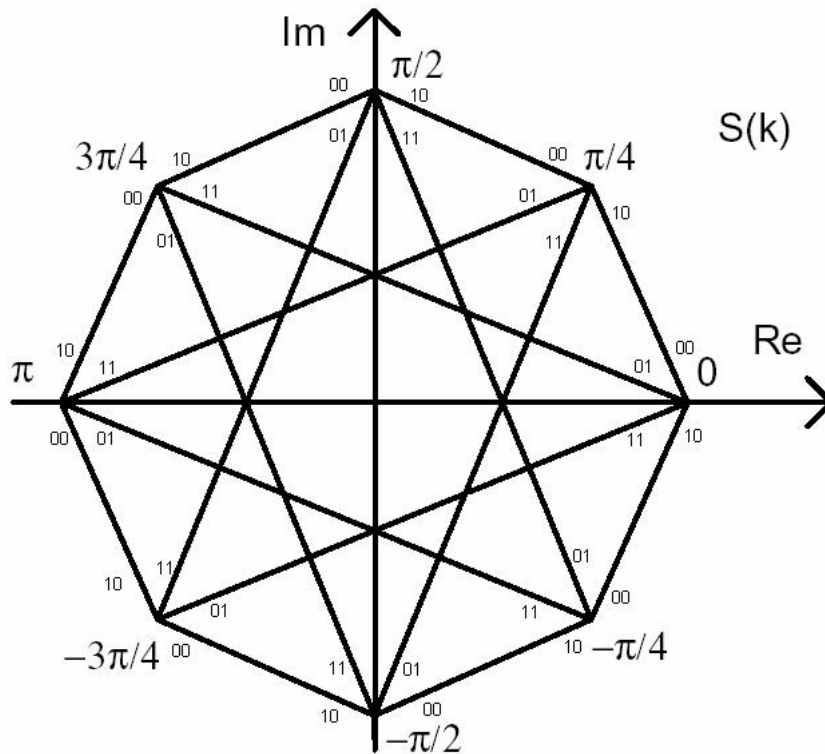
Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τη σχέση μεταξύ της μετάβασης φάσης  $D\phi(k)$  και των bits διαμόρφωσης:

$B(2k-1)$	$B(2k)$	$D\phi(k)$
1	1	$-3\pi/4$
0	1	$+3\pi/4$
0	0	$+\pi/4$
1	0	$-\pi/4$

Πίνακας 1: Μεταβάσεις φάσης

Το μιγαδικό σύμβολο διαμόρφωσης  $S(k)$  παίρνει μια από τις οχτώ τιμές  $\exp(jn\pi/4)$ , όπου  $n=2,4,6,8$  όταν το  $k$  είναι άρτιος και  $n=1,3,5,7$  όταν το  $k$  είναι περιττός. Στο σχήμα που ακολουθεί μπορούμε να διακρίνουμε τον αστερισμό των συμβόλων διαμόρφωσης καθώς και τις πιθανές μεταβάσεις μεταξύ αυτών:





Σχήμα 13: Αστερισμός συμβόλου διαμόρφωσης και πιθανές μεταβάσεις

Το διαμορφωμένο σήμα, σε συχνότητα φέροντος  $f_c$ , έχει τη μορφή [5] :

$$M(t) = \text{Re} \{ s(t) \exp(j(2\pi f_c t + \phi_0)) \}$$

,όπου

- $\phi_0$  είναι μια αυθαίρετη φάση
- $s(t)$  είναι η μιγαδική περιβάλλουσα του διαμορφωμένου σήματος, που ορίζεται ως εξής:

$$s(t) = \sum_k s_k \exp(j\omega_k t)$$

όπου

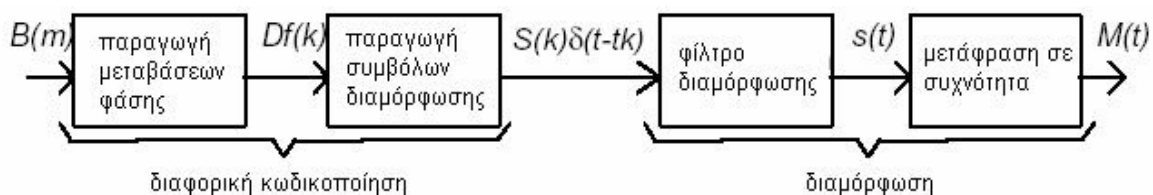
- $K$  είναι ο μέγιστος αριθμός συμβόλων
- $T$  είναι η διάρκεια συμβόλου
- $t_k = kT$  είναι η διάρκεια συμβόλου σε αντιστοιχία με το σύμβολο διαμόρφωσης  $S(k)$

- $g(t)$  είναι η ιδανική κυματομορφή συμβόλων, που λαμβάνεται με τον αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier της συνάρτησης φάσματος τετραγωνικής ρίζας ανυψωμένου συνημίτονου  $G(f)$ , που ορίζεται ως εξής:

$$G(f) = \begin{cases} 0, & |f| \leq (1-a)/2T \\ 1, & (1-a)/2T \leq |f| \leq (1+a)/2T \\ 0, & |f| \geq (1+a)/2T \end{cases}$$

όπου το  $a$  είναι ένας παράγοντας μεγέθυνσης και καθορίζει το πλάτος της ζώνης μετάδοσης σε έναν δεδομένο ρυθμό συμβόλων, ενώ έχει τιμή 0.35. Στην πράξη εφαρμόζεται μια έκδοση της  $g(t)$  η οποία είναι περιορισμένη ως προς το χρόνο, η οποία έχει σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπακούει στα όρια, ώστε να υπάρχει η δεδομένη ακρίβεια στη διαμόρφωση και στην εξασθένιση των γειτονικών καναλιών.

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα βαθμίδων που περιγράφει τη διαδικασία της διαμόρφωσης. Δεν καθορίζει μια συγκεκριμένη υλοποίηση. Έχει μόνο επεξηγηματική λειτουργία:



Σχήμα 14 : Διάγραμμα βαθμίδων της διαδικασίας διαμόρφωσης

### 1.11.3 ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ

Στην παράγραφο αυτή θα καθοριστούν οι απαιτήσεις για τους πομποδέκτες των BS και των MS για τα συστήματα TETRA V + D. Οι απαιτήσεις αυτές εφαρμόζονται σε συστήματα τα οποία λειτουργούν σε συχνότητες από 300 MHz έως και 1 GHz.

Τα RF κανάλια ορίζονται ως συγκεκριμένα τμήματα του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων και χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία από το σταθμό βάσης (Base Station) προς το κινητό τερματικό (Mobile Station) και με αυτό τον τρόπο σχηματίζεται η

ζεύξη καθόδου (Downlink, DL). Κατά τη σύνδεση του MS με τον BS σχηματίζεται η ζεύξη ανόδου (Uplink, UL).

Υπάρχει και η περίπτωση να χρησιμοποιούνται αποκλειστικές ζώνες συχνοτήτων TETRA, οπότε σε αυτή την περίπτωση οι κινητοί σταθμοί μεταδίδουν στη ζώνη συχνοτήτων άνω ζεύξης που τους έχει παραχωρηθεί από το σύστημα και οι σταθμοί βάσης αντίστοιχα μεταδίδουν στην καθορισμένη ζώνη συχνοτήτων κάτω ζεύξης. Οι ζώνες συχνοτήτων πάνω και κάτω ζεύξης έχουν το ίδιο εύρος και αυστηρά καθορισμένα άκρα.

Τα RF φέροντα στο TETRA χωρίζονται ανά 25 kHz και ενδέχεται να χρειάζεται μια ζώνη φύλαξης σε κάθε πλευρά των ζωνών ανόδου και καθόδου ώστε να είμαστε σίγουροι ότι τηρούνται οι κανονισμοί ασύρματης μετάδοσης εκτός ζώνης.

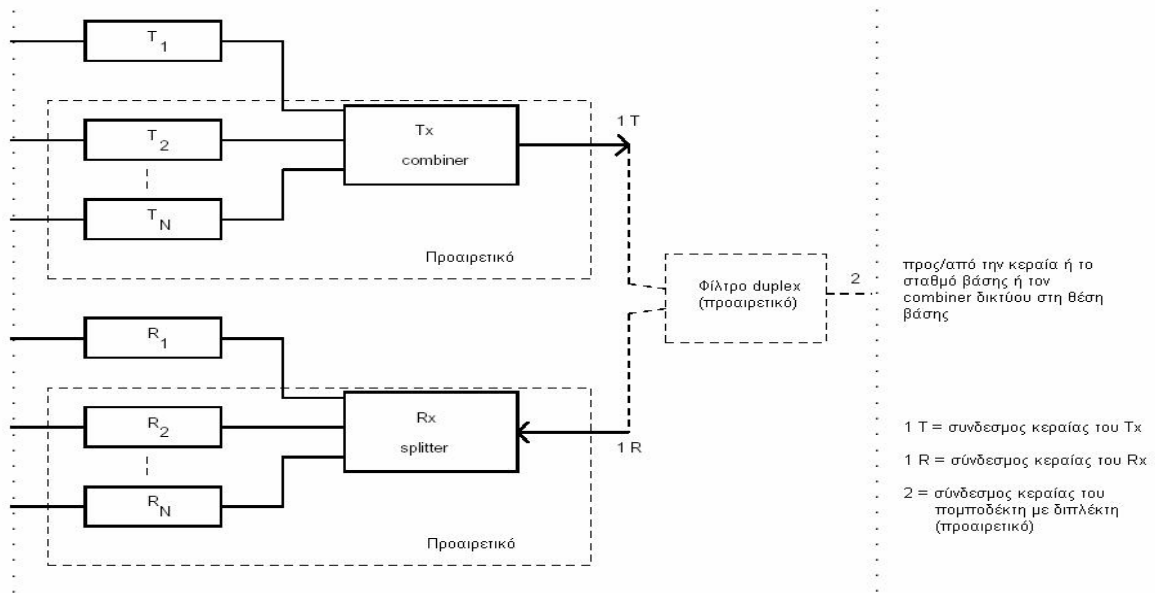
Οι κεντρικές συχνότητες των RF φερόντων ανόδου και καθόδου,  $F_{\text{down},c}$  και  $F_{\text{up},c}$  συνδέονται με τη σχέση:

$$F_{\text{up},c} = F_{\text{down},c} - D$$

Το D είναι μια σταθερή ζώνη διαχωρισμού την οποία χρησιμοποιούν οι σταθμοί TETRA σε όλες τις ζώνες συχνοτήτων. Όταν το σύστημα λειτουργεί σε ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται για αναλογική προσωπική κινητή ασύρματη επικοινωνία (Private Mobile Radio, PMR), οι κεντρικές συχνότητες μετάδοσης και λήψης ανόδου και καθόδου και ο διαχωρισμός αμφίδρομης και μονόδρομης επικοινωνίας (duplex) D καθορίζονται από την Εθνική Ρυθμιστική Αρχή (National Regulatory Administration, NRA).

Παρακάτω δίνεται ένα σχήμα το οποίο απεικονίζει τη διασύνδεση αναφοράς πομπών και δεκτών στους σταθμούς βάσης. Ο εξοπλισμός των σταθμών βάσης μπορεί να περιλαμβάνει κάποια ή και όλα τα στοιχεία που φαίνονται στο σχήμα ανάλογα με τις απαιτήσεις της επικοινωνίας. Τα σημεία σύνδεσης με την κεραία είναι τα 1T, 1R ή το 2.

Επίσης δίνεται σε πίνακα (παρ. ETSI EN 300 392-1 V1.2.1 (2003-01) Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Voice plus Data (V+D), Part 1: General Network Design, σελ. 51) η ισχύς λειτουργίας για τους σταθμούς βάσης και τους κινητούς σταθμούς, η οποία έχει μετρηθεί μέσω του φίλτρου τετραγωνικής ρίζας ανυψωμένου συνημίτονου το οποίο έχει ήδη οριστεί πιο πάνω.



Σχήμα 15 : Διασύνδεση αναφοράς πομπών και δεκτών στους BS

Τάξη Ισχύος (Power Class)	Ονομαστική ισχύς ανά φέρον
1 (40 W)	46 dBm
2 (25 W)	44 dBm
3 (15 W)	42 dBm
4 (10 W)	40 dBm
5 (6.3 W)	38 dBm
6 (4 W)	36 dBm
7 (2,5 W)	34 dBm
8 (1.6 W)	32 dBm
9 (1 W)	30 dBm
10 (0.6 W)	28 dBm

Πίνακας 2: Ονομαστική ισχύς πομποδεκτών BS

Τάξη Ισχύος (Power Class)	Ονομαστική ισχύς
1 (30 W)	45 dBm
1L (17.5 W)	42.5 dBm
2 (10 W)	40 dBm
2L (5.6 W)	37.5 dBm
3 (3 W)	35 dBm
3L (1.8 W)	32.5 dBm
4 (1 W)	30 dBm
4L (0.56 W)	27.5 dBm

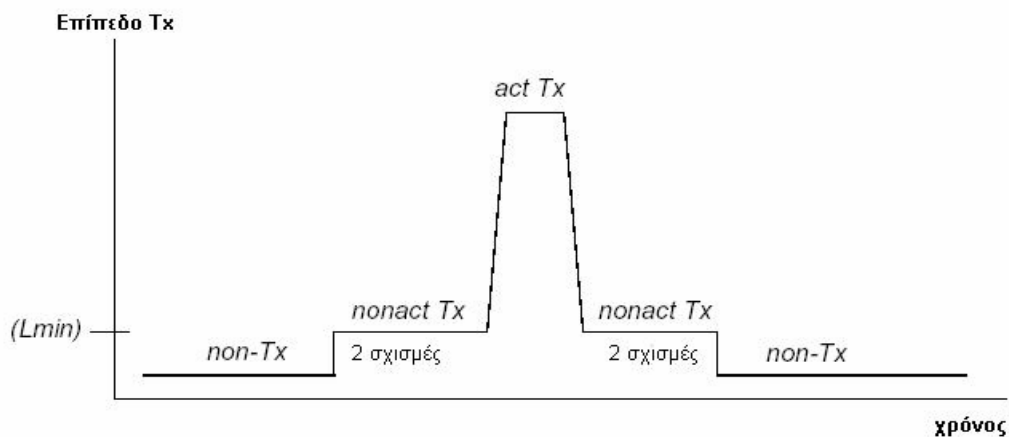
Πίνακας 3: Ονομαστική ισχύς πομποδεκτών MS

Ο επόμενος πίνακας δείχνει την περίπτωση που χρησιμοποιείται προσαρμοζόμενος έλεγχος ισχύος. Στην περίπτωση αυτή η ισχύς που εκπέμπεται από τα κινητά τερματικά ξεκινάει από τα 15 dBm και φτάνει μέχρι την ονομαστική τιμή που αντιστοιχεί στην τάξη του συγκεκριμένου MS.

Τάξη Ισχύος (Power Class)	Ονομαστική ισχύς
1 (30 W)	45 dBm
1L (17.5 W)	42.5 dBm
2 (10 W)	40 dBm
2L (5.6 W)	37.5 dBm
3 (3 W)	35 dBm
3L (1.8 W)	32.5 dBm
4 (1 W)	30 dBm
4L (0.56 W)	27.5 dBm

Πίνακας 4 : Ονομαστικά επίπεδα ελέγχου ισχύος MS

Οι εκπομπές που προκύπτουν σε συχνότητες ή σε χρονικά διαστήματα τα οποία δεν είναι μέσα στο καθορισμένο κανάλι ονομάζονται ανεπιθύμητες εκπομπές. Τα όρια που τις καθορίζουν τηρούνται όταν οι συνθήκες είναι ρεαλιστικές. Όταν δεν ορίζεται με διαφορετικό τρόπο το πώς προσδιορίζονται οι ανεπιθύμητες εκπομπές, τότε προσδιορίζονται στην ενεργό κατάσταση εκπομπής, δηλαδή όποτε η συσκευή μεταδίδει μια ριπή, όποτε εγείρεται ή όποτε υποβιβάζεται. Όταν μιλάμε για μη ενεργό κατάσταση εκπομπής αναφερόμαστε στην κατάσταση μεταξύ δύο χρονοσχισμών πριν και μετά από κάθε ενεργό κατάσταση εκπομπής. Η κατάσταση αυτή διαρκεί περίπου 28 msec.



Σχήμα 16 : Σχηματική αναπαράσταση των καταστάσεων μετάδοσης

Στους πίνακες που ακολουθούν δίνονται τα σχετικά όρια για το σύστημα TETRA. Λαμβάνεται ως στάθμη αναφοράς η ισχύς του φέροντος και σε καμία περίπτωση η ισχύς που μετράται δεν πρέπει να ξεπερνά τα -36 dBm.

Απόκλιση Συχνότητας	Μέγιστο επίπεδο για τάξεις ισχύος MS 4 και 4L	Μέγιστο επίπεδο για άλλες τάξεις ισχύος
25 kHz	-55 dBc	-60 dBc
50 kHz	-70 dBc	-70 dBc
75 kHz	-70 dBc	-70 dBc

Πίνακας 5 : Μέγιστα επίπεδα γειτονικής ισχύος για συχνότητες κάτω από 700 MHz

Απόκλιση Συχνότητας	Μέγιστο επίπεδο
25 kHz	-55 dBc
50 kHz	-65 dBc
75 kHz	-65 dBc

Πίνακας 6 : Μέγιστα επίπεδα γειτονικής ισχύος άνω των 700 MHz

Οι προδιαγραφές υιοθετούν το σκεπτικό πως η κεντρική συχνότητα είναι στις παραπάνω καταγραμμένες αποκλίσεις συχνότητας (frequency offsets) από την ονομαστική συχνότητα φέροντος. Οι μετρούμενες τιμές θα πρέπει να υπολογιστούν στο χρήσιμο μέρος της ριπής. Τα bits παρεμβολής (scrambling) έχουν ψευδοτυχαία κατανομή από ριπή σε ριπή.

Η εξασθένηση ενδοδιαμόρφωσης είναι ο λόγος του επιπέδου ισχύος του επιθυμητού σήματος προς το επίπεδο ισχύος ενός παράγωγου ενδοδιαμόρφωσης. Είναι ένα μέτρο της ικανότητας του αναμεταδότη να εμποδίζει την παραγωγή σημάτων στα μη γραμμικά στοιχεία του εξαιτίας της παρουσίας του χρήσιμου φέροντος και κάποιου παρεμβάλλοντος σήματος, που φτάνει στον αναμεταδότη μέσω της κεραίας του.

Η εξασθένηση ενδοδιαμόρφωσης για κάθε στοιχείο εξοπλισμού BS είναι τουλάχιστον 70 dB για κάθε παράγωγο ενδοδιαμόρφωσης όταν μετράται σε εύρος ζώνης 30kHz. Το παρεμβάλλον σήμα είναι αδιαμόρφωτο και έχει απόκλιση ισχύος τουλάχιστον 500 kHz από τη συχνότητα φέροντος. Το επίπεδο ισχύος του παρεμβάλλοντος σήματος πρέπει να είναι 30 dB κάτω από το επίπεδο ισχύος του διαμορφωμένου σήματος εξόδου του εξεταζόμενου αναμεταδότη. Αν η εξασθένηση επιτυγχάνεται με επιπρόσθετες (εσωτερικές ή εξωτερικές) συσκευές απομόνωσης, αυτές θα πρέπει να συμπεριληφθούν στις μετρήσεις. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση που υπάρχει μόνον ένας πομπός που δεν πρόκειται να

τοποθετηθεί μαζί με άλλον RF εξοπλισμό που λειτουργεί στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, εξασθένηση της τάξης των 40 dB κρίνεται επαρκής. Σε κάθε περίπτωση, τα προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης δεν θα πρέπει να ξεπερνούν τα -36 dBm.

Σε ένα κινητό τερματικό μπορεί να εμφανιστούν φαινόμενα ενδοδιαμόρφωσης όταν ενεργοί πομποί βρίσκονται σε μικρή απόσταση. Για έναν πομπό MS που λειτουργεί στην ονομαστική ισχύ, η εξασθένηση ενδοδιαμόρφωσης είναι τουλάχιστον 60dB για κάθε παράγωγο ενδοδιαμόρφωσης, σε εύρος ζώνης 30 kHz. Το επίπεδο ισχύος του παρεμβάλλοντος σήματος πρέπει να είναι 50 dB κάτω από το επίπεδο ισχύος του διαμορφωμένου σήματος εξόδου του εξεταζόμενου πομπού.

Ειδικά για τους σταθμούς βάσης μπορεί να παρουσιαστεί ενδοδιαμόρφωση συνδυάζοντας πολλούς πομπούς και φέροντα στην τροφοδότηση της κοινής κεραίας. Στην περίπτωση αυτή, για όλους τους πομπούς η στάθμη ισχύος κάθε προϊόντος ενδοδιαμόρφωσης δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα -60 dBc στη σχετική ζώνη συχνοτήτων ζεύξης καθόδου, ενώ θα πρέπει πάντα να τηρείται το όριο των -36 dBm.

Η απόρριψη απόκρισης ενδοδιαμόρφωσης είναι ένα μέτρο της ικανότητας του δέκτη να λαμβάνει το επιθυμητό διαμορφωμένο σήμα χωρίς η υποβάθμιση να ξεπερνά μια καθορισμένη τιμή, εξαιτίας της παρουσίας δύο ή περισσότερων ανεπιθύμητων σημάτων με καθορισμένη σχέση συχνοτήτων με το επιθυμητό σήμα. Έτσι το στατικό επίπεδο ευαισθησίας αναφοράς, που είναι -112dBm για MS και -115dBm για BS, θα πρέπει να επιτυγχάνεται όταν εισάγουμε στον δέκτη ταυτόχρονα τα παρακάτω σήματα:

- Ένα επιθυμητό σήμα στην ονομαστική συχνότητα λήψης  $f_0$ , 3 dB κάτω από το επίπεδο ευαισθησίας αναφοράς.
- Ένα σήμα συνεχούς ημιτονοειδούς κύματος σε συχνότητα  $f_1$  και σε στάθμη -47 dBm.
- Μια ψευδο-τυχαία ακολουθία TETRA που διαμορφώνει ένα σήμα σε συχνότητα  $f_2$ , σε στάθμη -47dBm, έτσι ώστε  $f_2 = 2f_1 - f_0$  και  $|f_2 - f_1| = 200$  kHz.

Όσον αφορά την ακρίβεια διαμόρφωσης, η καθορισμένη απαίτηση είναι το πλάτος του διανυσματικού σφάλματος, που δεν λαμβάνει υπόψη μόνο τη γραμμική παραμόρφωση του φίλτρου διαμόρφωσης (πλάτους και φάσης), ή την εξασθένηση του διαμορφωτή (ορθογωνική απόκλιση, σφάλματα φάσης και πλάτους στον αστερισμό των συμβόλων διαμόρφωσης), αλλά είναι ένα μέτρο της ποιότητας του πομπού γενικά. Λαμβάνει επιπλέον υπόψη το θόρυβο φάσης του τοπικού ταλαντωτή, την παραμόρφωση των φίλτρων και την

έλλειψη γραμμικότητας των ενισχυτών. Το πλάτος του διανυσματικού σφάλματος καθορίζεται στο χρόνο συμβόλου και οι αντίστοιχες απαιτήσεις θα πρέπει να ικανοποιούνται στις στάθμες μέγιστης και ελάχιστης ισχύος κάθε συσκευής TETRA.

Θεωρούμε το σύμβολο διαμόρφωσης  $s(t)$  που μεταδίδεται από ιδανικό πομπό με κρουστική απόκριση  $g(t)$ , ως ορίστηκαν προηγουμένως. Επιπλέον, με  $Z(k)$  συμβολίζουμε την έξοδο του ιδεατού φίλτρου λήψης, με κρουστική απόκριση  $g^*(-t)|_{t=t_k}$ . Τα ιδανικά φίλτρα εκπομπής και λήψης διαδοχικά σχηματίζουν ένα φίλτρο Nyquist ανυψωμένου συνημίτονου, με κυματομορφή συμβόλου που περνά από το μηδέν στα διαστήματα διάρκειας συμβόλου, έτσι ώστε να μην υπάρχει διασυμβολική παρεμβολή σε καμία στιγμή  $t = t_k$ , όπου  $t_k$  είναι ο χρόνος συμβόλου που αντιστοιχεί στο  $k$ -οστό σύμβολο. Στην περίπτωση αυτή, η έξοδος του ιδεατού φίλτρου εξόδου σε κάθε στιγμή  $t = t_k$ , που διεγείρεται από έναν ιδανικό πομπό, θα είναι ίση με το  $k$ -οστό σύμβολο διαμόρφωσης  $S(k)$ :

$$Z(k) = s(t) * g^*(-t)|_{t=t_k} = S(k)$$

Στην περίπτωση της διέγερσης του ιδεατού φίλτρου από έναν πραγματικό πομπό, η έξοδος  $Z(k)$  σε χρόνο συμβόλου  $t_k$   $Z(k)$  μοντελοποιείται ως εξής [6]:

$$Z(k) = \{C_0 + [S(k)+E(k)]\} C_1 W(k)$$

όπου

- $E(k)$  είναι το διανυσματικό σφάλμα του συμβόλου διαμόρφωσης  $S(k)$ .
- $W(k) = \exp(jk\Theta)$  αναπαριστά την απόκλιση συχνότητας που δίνει  $\Theta$  ακτίνια ανά περιστροφή φάσης συμβόλου εξαιτίας της παρέκκλισης στη συχνότητας του πομπού. Οι πιθανές μεταβολές πλάτους ενσωματώνονται στο διανυσματικό σφάλμα.
- $C_0$  είναι μια μιγαδική σταθερά που χαρακτηρίζει το ενυπάρχον φέρον
- $C_1$  είναι μια μιγαδική σταθερά που αναπαριστά το πλάτος εξόδου και την αρχική φάση του πομπού.

Το πλάτος του  $C_0$  θα πρέπει να είναι μικρότερο από 5% από το πλάτος του  $S(k)$ . Ο ρόλος του δοκιμαστικού δέκτη είναι:

- να εκτιμήσει το χρόνο συμβόλου για την επεξεργασία του τμήματος του δέκτη
- να εκτιμήσει τις τιμές των  $C_0$ ,  $C_1$  και  $\Theta$ . Οι προκύπτουσες εκτιμήσεις θα συμβολιστούν ως  $C_0'$ ,  $C_1'$  και  $\Theta'$  αντίστοιχα.



- να εκτελέσει την κανονικοποίηση του συμβόλου διαμόρφωσης  $Z(k)$  ανάλογα, οπότε θα προκύψει το σύμβολο  $Z'(k)$ :

$$Z'(k) = [ Z(k) \exp(-jk\Theta') / C_1' ] - C_0'$$

Με τον παραπάνω συμβολισμό, το αθροιστικό τετραγωνικό διανυσματικό σφάλμα (Sum Square Vector Error, SSVE) ορίζεται ως :

$$SSVE = \sum_{k=1}^{SN_{max}} |Z'(k)|^2$$

όπου  $SN_{max}$  ο αριθμός των συμβόλων ανά ριπή.

Το RMS διανυσματικό σφάλμα (RMSVE) υπολογίζεται συνεπώς ως η τετραγωνική ρίζα του SSVE διαιρεμένου με τον αριθμό των συμβόλων ανά ριπή:

$$RMSVE = \frac{\sqrt{SSVE}}{SN_{max}}$$

Το RMSVE σε κάθε ριπή θα πρέπει να είναι μικρότερο από 0.1 . Το μέγιστο πλάτος του διανυσματικού σφάλματος θα πρέπει να είναι μικρότερο από 0.3 για κάθε σύμβολο.

Η ελάχιστη απαιτούμενη επίδοση παρεμβολής αναφοράς ( για διακαναλική,  $C/I_c$ , ή παρεμβολή γειτονικών καναλιών,  $C/I_a$ ) ορίζεται σύμφωνα με το λογικό κανάλι, τις συνθήκες διάδοσης και την τάξη ισχύος του δέκτη στο λόγο παρεμβολής αναφοράς. Ο λόγος αυτός είναι, για BS και κάθε τύπο MS:

- για διακαναλική παρεμβολή :  $C/I_c = 19\text{dB}$
- για παρεμβολή γειτονικών καναλιών σε συχνότητες κάτω των 700 MHz:  
 $C/I_a = -40\text{dB}$  για MS και  $C/I_a = -45\text{dB}$  για BS
- για παρεμβολή γειτονικών καναλιών σε συχνότητες άνω των 700 MHz:  
 $C/I_a = -40\text{dB}$

Η ασύρματη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο περιβάλλον κινητών επικοινωνιών περιγράφεται από τη μετάδοση πολλαπλών διαδρομών, που προκαλείται από φαινόμενα ανάκλασης, περίθλασης και σκέδασης και εισάγει χρονική διασπορά. Μεταξύ των

BS και MS μπορεί να υπάρχουν διαφορετικές διαδρομές εξαιτίας της παρουσίας μεγάλων επιφανειών ανάκλασης σε απόσταση και/ή της σκέδασης που δημιουργείται στην κοντινή περιοχή του κινητού σταθμού, αυξάνοντας τον αριθμό των δευτερευόντων κυμάτων που φτάνουν με διαφορετικά πλάτη καθυστέρησης. Επιπλέον, σε περίπτωση που το κινητό αλλάζει θέση, με κάθε δευτερεύον κύμα συσχετίζεται μια μετατόπιση Doppler, που μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα του κινητού και την γωνία πρόσπτωσης. Τα καθυστερημένα και φασματικά μετατοπισμένα κατά Doppler κύματα προκαλούν παρεμβολές κατά τη λήψη προκαλώντας στο μεταδιδόμενο σήμα διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα και το χρόνο (frequency and time selective fading).

Όταν το εύρος ζώνης του συστήματος και τα μήκη των διαδρομών διάδοσης είναι επαρκώς μικρά (όπως ισχύει στην περίπτωση του TETRA), η εξαρτώμενη από το χρόνο και τη συχνότητα προκύπτουσα εξασθένηση μπορεί να προσεγγιστεί από ένα απλοποιημένο μοντέλο διάδοσης. Ένα τέτοιο μοντέλο παρουσιάζει μόνον λίγες διακριτές διαδρομές, που προκαλούν διαλείψεις ανεξάρτητα. Για πρακτική προσομοίωση καναλιών χρησιμοποιούνται στατικές διαδικασίες Gauss με φασματική πυκνότητα ισχύος ίση με το κλασικό φάσμα Doppler.

#### **1.11.4 ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΣΤΟ TETRA V+D**

Για τη λειτουργία της ασύρματης μετάδοσης στο υποσύστημα TETRA V+D είναι απαραίτητο να υπάρχουν λογικά κανάλια επικοινωνίας. Τα κανάλια αυτά υποστηρίζονται από άλλα φυσικά κανάλια τα οποία καθορίζονται σε αυτή την ενότητα. Επίσης περιγράφεται η λειτουργία των λογικών καναλιών και καθορίζεται η δομή και η λειτουργία των πλαισίων TDMA, των χρονοσχισμών και των ριπών.

Καταρχήν ο όρος λογικό μονοπάτι αναφέρεται στο δρόμο που ακολουθείται ώστε να επικοινωνήσουν δύο ή και περισσότερες μεριές μεταξύ τους. Η διασύνδεση ανάμεσα στο πρωτόκολλο επικοινωνίας και στο υποσύστημα TETRA V+D της ασύρματης ζεύξης απεικονίζεται πιστά από τα λογικά κανάλια.

Υπάρχουν δύο βασικές διακριτές κατηγορίες, στις οποίες μπορούμε να κατατάξουμε τα λογικά κανάλια. Η πρώτη κατηγορία είναι τα κανάλια κυκλοφορίας και η δεύτερη τα κανάλια ελέγχου. Όσον αφορά τα κανάλια κυκλοφορίας, ο ρόλος τους είναι να μεταφέρουν φωνή ή δεδομένα και αυτό γίνεται με χρήση της μεθόδου μεταγωγής κυκλώματος. Από την άλλη μεριά, τα κανάλια ελέγχου χρησιμοποιούνται για να

μεταφέρουν τόσο μηνύματα σηματοδοσίας με σκοπό τον έλεγχο της επικοινωνίας αλλά και πακέτα με πληροφορία.

Στη συνέχεια μελετάται η κατηγορία εκείνη των λογικών καναλιών, που υποστηρίζεται από το υπόστρωμα ελέγχου πρόσβασης (Medium Access Control, MAC). Περιγράφεται επίσης ο τρόπος με τον οποίο τα λογικά κανάλια αυτής της κατηγορίας συσχετίζονται ιεραρχικά.

Τα δεδομένα των χρηστών μεταφέρονται από τα κανάλια κίνησης. Ανάλογα με το είδος των δεδομένων προς μετάδοση (π.χ. εφαρμογές ομιλίας ή δεδομένων) από τους χρήστες χρησιμοποιούνται και διαφορετικά είδη καναλιών κίνησης. Ταυτόχρονα και οι διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων οδηγούν στον καθορισμό διαφορετικών ειδών τέτοιων καναλιών. Υπάρχει ένα κανάλι κίνησης φωνής (Speech Traffic Channel, TCH/S) και τρεις επιλογές καναλιών κίνησης δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος οι οποίες είναι οι εξής: με καθαρό ρυθμό μετάδοσης 7,2 kbps ( TCH/7,2 ), με 4,8 kbps ( TCH/4,8 ) και με 2,4 kbps ( TCH/2,4 ). Οι τελευταίες αυτές τρεις περιπτώσεις ισχύουν και για μετάδοση χωρίς κωδικοποίηση προστασίας και για μετάδοση με κωδικοποίηση είτε χαμηλής είτε υψηλής προστασίας. Εάν ενδιαφερόμαστε για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης υπάρχει αυτή η δυνατότητα αν δεσμευτούν για έναν διάλογο επικοινωνίας μέχρι και τέσσερα φυσικά κανάλια κίνησης. Σε αυτή την περίπτωση επιτυγχάνονται ρυθμοί μετάδοσης μέχρι και 28,8 kbps, 19,2 kbps και 9,6 kbps αντίστοιχα.

Τα κανάλια ελέγχου χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες ως εξής:

- Κανάλι έλεγχου ευρείας εκπομπής (Broadcast Control Channel, BCCH)
- Κανάλι ευθυγράμμισης (Linearization Channel, LCH)
- Κανάλι σηματοδοσίας (Signaling Channel, SCH)
- Κανάλι ανάθεσης πρόσβασης (Access Assignment Channel, AACH)
- Κανάλι κλοπής (Stealing Channel, SCH)

Στην πρώτη κατηγορία ανήκει το κανάλι ελέγχου ευρείας εκπομπής (Broadcast Control Channel, BCCH). Το BCCH είναι ένα κανάλι μονής κατεύθυνσης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κοινά από όλους τους κινητούς σταθμούς . Σε αυτούς στέλνει ευρέως γενικές πληροφορίες. Διακρίνονται δύο υποκατηγορίες του καναλιού ελέγχου ευρείας εκπομπής. Η πρώτη είναι το κανάλι μετάδοσης δικτύου (Broadcast Network Channel, BNCH). Το κανάλι αυτό χρησιμοποιείται μόνο για την ζεύξη καθόδου και εκπέμπει πληροφορίες σχετικές με το δίκτυο στους κινητούς σταθμούς. Η δεύτερη κατηγορία

καναλιού BCCH είναι το κανάλι συγχρονισμού μετάδοσης (Broadcast Synchronization Channel, BSCH). Από αυτό εκπέμπονται πληροφορίες μόνο για τη ζεύξη καθόδου, οι οποίες χρησιμοποιούνται ώστε να επιτυγχάνεται συγχρονισμός χρόνου και παρεμβολής των κινητών σταθμών.

Στη δεύτερη κατηγορία καναλιών ανήκουν τα κανάλια ευθυγράμμισης (Linearization Channel, LCH). Τόσο οι σταθμοί βάσης όσο και οι κινητοί σταθμοί χρησιμοποιούν τα κανάλια αυτά για τον συγχρονισμό των πομπών τους. Και σε αυτή την κατηγορία διακρίνονται δύο είδη για τα κανάλια ευθυγράμμισης. Το πρώτο είναι το Κοινό Κανάλι Ευθυγράμμισης (Common Linearization Channel, CLCH), το οποίο χρησιμοποιείται μόνο στη ζεύξη ανόδου και είναι κοινό για όλους τους κινητούς σταθμούς. Το δεύτερο (BS Linearization Channel, BLCH) είναι και αυτό μόνο για τη ζεύξη ανόδου και χρησιμοποιείται από το σταθμό βάσης.

Στην τρίτη κατηγορία ανήκει το κανάλι σηματοδοσίας (Signaling Channel, SCH). Το κανάλι αυτό είναι για κοινή χρήση από όλους τους κινητούς σταθμούς. Ωστόσο μπορεί να μεταφέρει και μηνύματα είτε για έναν μόνο κινητό σταθμό είτε για μια ομάδα. Για να λειτουργεί σωστά το σύστημα είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα τουλάχιστον κανάλι σηματοδοσίας σε κάθε σταθμό βάσης. Ανάλογα με το μέγεθός του, διακρίνονται τρεις κατηγορίες για το κανάλι σηματοδοσίας: το κανάλι σηματοδοσίας πλήρους μεγέθους (Full Size Signaling Channel, SCH/F) είναι ένα κανάλι διπλής κατεύθυνσης για μηνύματα πλήρους μεγέθους. Το δεύτερο είναι το κανάλι ελέγχου για τη ζεύξη καθόδου και για μηνύματα μισού μεγέθους (Half Size Downlink Signaling Channel, SCH/HD). Το τρίτο είναι μόνο για τη ζεύξη ανόδου και για μισού μεγέθους μηνύματα (Half Size Downlink Signaling Channel, SCH/HU).

Στην τέταρτη κατηγορία ανήκει το κανάλι ανάθεσης πρόσβασης (Access Assignment Channel, AACH). Το κανάλι αυτό είναι ενσωματωμένο στο υπόστρωμα ελέγχου πρόσβασης (MAC). Η παρουσία του είναι απαραίτητη σε όλες τις μεταδιδόμενες σχισμές κάτω ζεύξης και ο ρόλος του είναι να επισημαίνει την ανάθεση των σχισμών άνω και κάτω ζεύξης σε κάθε φυσικό κανάλι.

Τέλος, στην Πέμπτη κατηγορία καναλιών ελέγχου ανήκει το κανάλι κλοπής (Stealing Channel, SCH). Πρόκειται για ένα κανάλι το οποίο σχετίζεται με ένα κανάλι κίνησης, κλέβοντας προσωρινά μέρος από τη χωρητικότητά του, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα της μετάδοσης μηνυμάτων ελέγχου. Το κανάλι κλοπής χρησιμοποιείται όταν υπάρχει η ανάγκη η σηματοδοσία να γίνει γρήγορα, ενώ έχει μόνο μία κατεύθυνση στη

λειτουργία half duplex ίδια με την κατεύθυνση που έχει το κανάλι κυκλοφορίας με το οποίο σχετίζεται.

Στο υποσύστημα ασύρματης επικοινωνίας τα φυσικά κανάλια που διατίθενται αποτελούν μέρος του διαθέσιμου ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτά τα κανάλια αποτελούν το φυσικό μέσο, το οποίο θα πρέπει να μοιραστεί τόσο στο πεδίο της συχνότητας όσο και στο πεδίο του χρόνου. Στο πεδίο του χρόνου το φυσικό μέσο χωρίζεται σε χρονοσχισμές με την τεχνική της πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται πλαίσια TDMA, σύμφωνα με το σχήμα πρόσβασης αυτής της τεχνικής. Τα πλαίσια, οι σχισμές, οι υποσχισμές, τα πολυπλαίσια και τα υπερπλαίσια συνθέτουν τη δομή TDMA. Στο πεδίο της συχνότητας το φυσικό μέσο διακρίνεται σε κανάλια ραδιοσυχνοτήτων, τα οποία είναι χωρισμένα σε ζώνες.

Η χρονοσχισμή είναι η βασική μονάδα μιας δομής TDMA. Διαρκεί περίπου 14,17 msec. Η διάρκεια αυτή είναι ισοδύναμη με τη διάρκεια 510 διαμορφωμένων bits. Ένα πλαίσιο TDMA έχει συνολική διάρκεια περίπου 56,67 msec και για να σχηματιστεί χρειάζεται να συνδυαστούν τέσσερις χρονοσχισμές. Στο τέλος κάθε τέτοιου πλαισίου προσαυξάνεται ένας αριθμός από το ένα μέχρι το δεκαοχτώ, παίρνοντας τιμές κυκλικά, ο οποίος αποτελεί τον αριθμό πλαισίου (Frame Number, FN). Το τελευταίο πλαίσιο έχει αριθμό πλαισίου δεκαοχτώ και παραχωρείται αποκλειστικά στα κανάλια ελέγχου.

Κάθε πλαίσιο TDMA σχηματίζεται από τέσσερις χρονοσχισμές, σε κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχεί ένας αριθμός χρονοσχισμής από το 1 έως το 4 (Time Slot Number, TN). Κάθε χρονοσχισμή που ελέγχει τη ζεύξη ανόδου χωρίζεται σε δύο υποσχισμές, οι οποίες λαμβάνουν τους αριθμούς από 1 μέχρι 2. Η αναφορά σε αυτές τις υποσχισμές γίνεται μέσω αυτού του αριθμού υποσχισμής. Η διάρκεια κάθε υποσχισμής είναι περίπου 7,08 msec και αντιστοιχεί σε διάρκεια 255 διαμορφωμένων bits.

Το πολυπλαίσιο είναι πιο σύνθετο δομικά από το πλαίσιο TDMA. Έχει διάρκεια 1,02 sec και αποτελείται από 18 απλά πλαίσια TDMA, τα οποία παίρνουν κυκλικά τιμές από το 1 μέχρι το 60. Οι αριθμοί αυτοί ονομάζονται αριθμοί πολυπλαισίου (Multiframe Number, MN). Κάθε αριθμός πολυπλαισίου αυξάνεται κάθε φορά που ο αριθμός πλαισίου επιστρέφει στο 1. Εξήντα πολυπλαίσια σχηματίζουν ένα υπερπλαίσιο, το οποίο διαρκεί συνολικά 61,2 sec και αποτελεί τη μεγαλύτερη συνεχόμενη περίοδο δομής TDMA. Τα υπερπλαίσια, τα πολυπλαίσια και τα πλαίσια TDMA στους σταθμούς βάσης στη ζεύξη ανόδου πρέπει να καθυστερούν κατά δύο χρονοσχισμές να ξεκινήσουν σε σχέση με αυτά της ζεύξης καθόδου, ώστε να υπάρχει συγχρονισμός.

Ένα ζευγάρι από δύο ραδιοσυχνότητες φερόντων, μία για τη ζεύξη ανόδου και μία για τη ζεύξη καθόδου και ένας αριθμός χρονοσχιμής ορίζουν ένα φυσικό κανάλι. Διακρίνονται τρεις τύποι τέτοιων καναλιών, οι οποίοι είναι το φυσικό κανάλι ελέγχου (Control Physical Channel, CP), το φυσικό κανάλι κίνησης (Traffic Physical Channel, TP) και το αδέσμευτο φυσικό κανάλι (Unallocated Physical Channel, UP). Το κανάλι ανάθεσης πρόσβασης υποδεικνύει τον τύπο του φυσικού καναλιού, ενώ τα κανάλια ελέγχου είναι φυσικά κανάλια, τα οποία μεταφέρουν αποκλειστικά δεδομένα ελέγχου. Διακρίνονται δύο τύποι για τα φυσικά κανάλια ελέγχου. Είναι το Κεντρικό Κανάλι Ελέγχου (Main Control Channel, MCCH) και το Δευτερεύον Κανάλι Ελέγχου (Secondary Control Channel, SCCH). Πάντοτε σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένα RF φέρον, το οποίο ορίζεται ως το κύριο φέρον. Στην χρονοσχιμή με αριθμό αυτόν του κυρίου φέροντος, τοποθετείται το κύριο κανάλι ελέγχου όποτε χρησιμοποιείται. Το δευτερεύον εκχωρείται ενώ χρησιμοποιείται το κύριο, για να διευρύνει τις ικανότητες σηματοδοσίας. Το φυσικό κανάλι κίνησης είναι κανάλι το οποίο μεταφέρει κανάλια κίνησης. Το αδέσμευτο φυσικό κανάλι είναι ένα φυσικό κανάλι, το οποίο δεν έχει εκχωρηθεί σε έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης.

Η ριπή απεικονίζει το φυσικό περιεχόμενο είτε μιας χρονοσχιμής, είτε μιας υποσχιμής και ορίζεται ως μια περίοδος ενός διαμορφωμένου RF φέροντος από ένα ρεύμα δεδομένων. Επειδή δεν υπάρχει ένα – προς - ένα απεικόνιση μεταξύ ενός συγκεκριμένου φυσικού καναλιού και της χρήσης μιας συγκεκριμένης ριπής, το φυσικό κανάλι δεν περιγράφεται χρησιμοποιώντας όρους ριπών, αλλά όρους χρονοσχιμών και TDMA πλαισίων. Σε κάθε TDMA πλαίσιο χρησιμοποιείται η ίδια υπ' αριθμόν χρονοσχιμή για κάθε δεδομένο κανάλι.

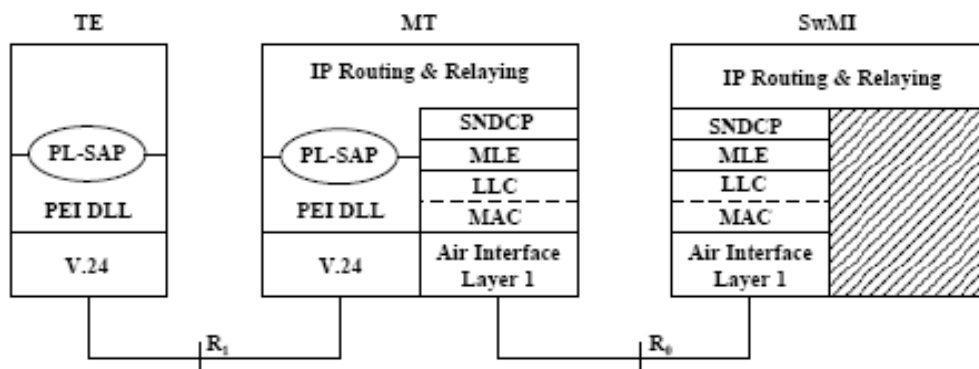
Η στιγμή κατά την οποία η κυματομορφή του συμβόλου που μεταδίδεται είναι στο μέγιστο για το σύμβολο που μας ενδιαφέρει, ορίζεται ως χρόνος συμβόλου. Το σύμβολο  $SN(n)$  καθορίζεται από τα bits  $BN(2n-1)$  και  $BN(2n)$ . Ο χρόνος για το σύμβολο διαμόρφωσης  $SN(n)$  καθυστερεί κατά  $(n+d)$  διάρκειες συμβόλου διαμόρφωσης σε σχέση με την αρχή της σχισμής. Ο  $n$  είναι ακέραιος και ως  $d$  ορίζεται η καθυστέρηση της ριπής, η οποία αναπαριστά το χρόνο μεταξύ της αρχής της χρονοσχιμής και του χρόνου του συμβόλου  $SN(0)$ .

## 1.12 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ TETRA PACKET DATA ΚΑΙ SNDCP

Στο δίκτυο TETRA το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της μετάδοσης δεδομένων είναι το Tetra Packet Data (PDP). Το Tetra Packet Data επεκτείνει τις υπηρεσίες επικοινωνιών δεδομένων παρέχοντας στο TETRA αυξημένη χωρητικότητα και χρηστικότητα. Η υπηρεσία πακέτων δεδομένων έχει κτιστεί στην κορυφή της οντότητας κινητής ζεύξης, που αναλαμβάνει τη δρομολόγηση των πακέτων σηματοδοσίας και δεδομένων στο δίκτυο και παρέχει μηχανισμούς για τη σύνδεση διαφορετικών υψηλότερων στρωμάτων πρωτοκόλλων.

Το Tetra Packet Data επεκτείνει το σύστημα TETRA ώστε να συμπεριφέρεται ως ένα υποδίκτυο IP. Αυτό δίνει τη δυνατότητα σε προγραμματιστές εφαρμογών να δομήσουν εφαρμογές σε ένα πλήρως τυποποιημένο περιβάλλον.

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τη χρήση του Tetra Packet Data όταν η εφαρμογή χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο IP.



Σχήμα 17: Χρήση του Tetra Packet Data για εφαρμογές

Το πρωτόκολλο εξαρτημένης σύγκλισης υποδικτύου ( Sub network Dependent Convergence Protocol, SNDCP) είναι ένα ειδικό πρωτόκολλο στρώματος δικτύου TETRA που επιτελεί δύο βασικές λειτουργίες. Η πρώτη είναι ότι διαπραγματεύεται και διατηρεί τα πλαίσια επικοινωνίας μεταξύ των κινητών σταθμών και της υποδομής μεταγωγής και διαχείρισης. Ένα μοναδικό PDP πλαίσιο εγκαθίσταται για κάθε ενεργή διεύθυνση PDP στο δίκτυο. Η διαδικασία ενεργοποίησης του πλαισίου PDP περιλαμβάνει τη δέσμευση μιας διεύθυνσης PDP σε μια ανεξάρτητη ταυτότητα συνδρομητή TETRA και επιπλέον την προαιρετική διαπραγμάτευση των αλγορίθμων συμπίεσης που θα χρησιμοποιηθούν στη

μετάδοση δεδομένων. Η δεύτερη είναι ότι ελέγχει την PDP μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κινητών σταθμών και της υποδομής μεταγωγής και διαχείρισης. Το SNDCP δεν εκτελεί επαναμεταδόσεις αλλά επιτρέπει στο χρήστη της υπηρεσίας να επιλέξει υπηρεσίες του στρώματος 2 με ή χωρίς επιβεβαίωση για μετάδοση πακέτων πάνω από τη διεπαφή αέρος. Παρέχει επίσης μηχανισμούς με τους οποίους τα δεδομένα μπορούν να συμπιεστούν πριν τη μετάδοσή τους.

Η ενεργοποίηση πλαισίου PDP είναι μια διαδικασία εγγραφής πακέτων δεδομένων από την οποία πρέπει πρώτα να περάσει ο κινητός σταθμός πριν αποκτήσει πρόσβαση σε κάποια υπηρεσία του SNDCP. Η διαδικασία αυτή αρχικοποιείται από τον κινητό σταθμό και παρέχει τη διαπραγμάτευση της διεύθυνσης PDP καθώς και άλλων παραμέτρων που αφορούν τη μετάδοση.

Το SNDCP είναι ένας πάροχος υπηρεσιών για χρήστες πακέτων δεδομένων. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται είναι διαθέσιμες μέσω του σημείου πρόσβασης υπηρεσιών SNDCP και είναι οι εξής:

- Διαχείριση καναλιών πακέτων δεδομένων (PDCH)
- Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση πλαισίων PDP
- Απεικόνιση των αρχικοποιήσεων SN που λαμβάνονται από το στρώμα δικτύου στις αντίστοιχες αρχικοποιήσεις MLE-UNITDATA που θα μεταβιβαστούν στο MLE.
- Πολυπλεξία των N-PDU από μία ή περισσότερες υψηλότερες οντότητες πρωτοκόλλου σε μια απλή σύνδεση στρώματος 2.
- Συμπίεση και ανάνηψη των πλεοναζόντων πληροφοριών χρήστη
- Συμπίεση και ανάνηψη των πληροφοριών ελέγχου των πλεοναζόντων πρωτοκόλλων
- Διαχείριση της ακολουθίας παράδοσης σύμφωνα με την προτεραιότητα των SN-UNITDATA και SN-DATA οδηγιών



## **2. ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ, ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ**

### **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Το επίπεδο μεταφοράς βρίσκεται ανάμεσα στο επίπεδο εφαρμογής και στο επίπεδο δικτύου και θεωρείται ως ένα από τα κεντρικά κομμάτια της αρχιτεκτονικής οργάνωσης σε διαδοχικά επίπεδα δικτύου. Παίζει ιδιαίτερα κρίσιμο ρόλο για την παροχή υπηρεσιών επικοινωνίας απευθείας σε διεργασίες εφαρμογής, οι οποίες εκτελούνται σε διαφορετικούς υπολογιστές υπηρεσίας. Ο υπέρτατος σκοπός του είναι η παροχή αποδοτικής, αξιόπιστης και φθηνής υπηρεσίας μεταφοράς στους χρήστες που είναι συνήθως διεργασίες του στρώματος εφαρμογής. Για να επιτύχει το σκοπό αυτό το στρώμα μεταφοράς χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες που του παρέχονται από το στρώμα δικτύου. Το υλικό και το λογισμικό του στρώματος μεταφοράς βρίσκεται στον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος, σε μια ξεχωριστή διεργασία χρήστη, σε μια βιβλιοθήκη σχετική με εφαρμογές δικτύου ή στην κάρτα διεπαφής δικτύου.

Στο επίπεδο μεταφοράς λειτουργούν τα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς. Ένα πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς παρέχει τη δυνατότητα λογικής επικοινωνίας ανάμεσα σε διεργασίες εφαρμογών που εκτελούνται σε διαφορετικούς υπολογιστές υπηρεσίας. Με τον όρο λογική επικοινωνία εννοούμε ότι από τη σκοπιά της εφαρμογής είναι σαν οι υπολογιστές υπηρεσίας που εκτελούν τις διεργασίες να είναι απευθείας συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Στην πραγματικότητα, οι υπολογιστές υπηρεσίας μπορεί να είναι σε τελείως διαφορετικές μεριές του πλανήτη, συνδεδεμένοι μέσω πολλών δρομολογητών και μιας μεγάλης ποικιλίας τύπων ζεύξεων. Οι διεργασίες εφαρμογής χρησιμοποιούν τη λογική επικοινωνία που παρέχεται από το επίπεδο μεταφοράς για να ανταλλάσσουν μηνύματα μεταξύ τους, χωρίς να ασχολούνται με τις λεπτομέρειες της φυσικής υποδομής που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά αυτών των μηνυμάτων.

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα πως το επίπεδο μεταφοράς παρέχει λογική και όχι φυσική επικοινωνία ανάμεσα σε διεργασίες εφαρμογών. Τα πρωτόκολλα αυτού του επιπέδου υλοποιούνται στα τερματικά και όχι στους δρομολογητές του δικτύου. Οι δρομολογητές του δικτύου ενεργούν μόνο στα πεδία του επιπέδου δικτύου των PDU επιπέδου 3, δηλαδή στις μονάδες δεδομένων του πρωτοκόλλου επιπέδου δικτύου. Στην πλευρά αποστολής το επίπεδο μεταφοράς μετατρέπει τα μηνύματα που δέχεται από μια διεργασία εφαρμογής αποστολής σε 4-PDU, δηλαδή σε μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου

επιπέδου μεταφοράς . Αυτό πραγματοποιείται διαιρώντας τα μηνύματα εφαρμογής σε μικρότερα κομμάτια και προσθέτοντας μια κεφαλίδα επιπέδου μεταφοράς σε κάθε κομμάτι για να δημιουργηθούν τα 4-PDU. Το επίπεδο μεταφοράς περνά τα 4-PDU στο επίπεδο δικτύου στο τερματικό σύστημα αποστολής, όπου κάθε 4-PDU ενθυλακώνεται μέσα σε ένα 3-PDU ( δηλαδή στις μονάδες δεδομένων του πρωτοκόλλου επιπέδου δικτύου). Στην πλευρά λήψης, το επίπεδο μεταφοράς δέχεται τα 4-PDU από το επίπεδο δικτύου που είναι από κάτω του , αφαιρεί την κεφαλίδα μεταφοράς από τα 4-PDU, ανασυνθέτει τα μηνύματα και τα περνά στη διεργασία εφαρμογής λήψης.

Στις εφαρμογές δικτύου περισσότερα από ένα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς μπορούν να είναι διαθέσιμα. Τα δύο πιο γνωστά είναι το TCP (Transmission Control Protocol) και το UDP (User Datagram Protocol), καθένα από τα οποία παρέχει ένα διαφορετικό σύνολο υπηρεσιών επιπέδου μεταφοράς στην εφαρμογή που το καλεί.

## **2.2 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το διαδίκτυο και γενικότερα τα δίκτυα TCP/IP διαθέτουν δύο πρωτόκολλα μεταφοράς σε εφαρμογές τα UDP και TCP. Όταν ένας προγραμματιστής δημιουργεί μια νέα εφαρμογή καλείται εξ αρχής να αποφασίσει αν θα χρησιμοποιήσει UDP ή TCP καθώς καθένα από τα πρωτόκολλα αυτά προσφέρει ένα διαφορετικό μοντέλο υπηρεσίας στις εφαρμογές που το χρησιμοποιούν. Για αυτό το λόγο παρακάτω εξετάζονται οι υπηρεσίες που προσφέρει καθένα από τα δύο πρωτόκολλα ξεχωριστά.

### **2.2.1 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΕΙ ΤΟ TCP**

#### **2.2.1.1 ΣΥΝΔΕΣΙΣΤΡΕΦΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑ**

Το μοντέλο υπηρεσίας TCP περιλαμβάνει μια συνδεδεσιστρεφή υπηρεσία και μια αξιόπιστη υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων. Όταν το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται από μια εφαρμογή τότε η εφαρμογή αυτή δέχεται και τις δύο αυτές υπηρεσίες από το TCP.

Το TCP κάνει τον πελάτη και τον εξυπηρέτη να ανταλλάσσουν πληροφορίες ελέγχου επιπέδου μεταφοράς μεταξύ τους ,δηλαδή να στείλουν κάποια αρχικά τμήματα

μεταξύ τους, για να καθορίσουν τις παραμέτρους της επικείμενης μεταφοράς δεδομένων, πριν αρχίσουν να ρέουν τα μηνύματα επιπέδου εφαρμογής. Αυτή η διαδικασία αποκαλείται διαδικασία χειραψίας και προειδοποιεί τον πελάτη και τον εξυπηρέτη να προετοιμαστούν για μια ανταλλαγή πακέτων. Μετά από αυτή τη φάση της χειραψίας λέγεται, πλέον, πως έχει δημιουργηθεί μια σύνδεση TCP ανάμεσα στις θύρες (sockets) των δύο διεργασιών. Η σύνδεση είναι πλήρως αμφίδρομη και αυτό σημαίνει πως οι δύο διεργασίες μπορούν να στέλνουν μηνύματα μεταξύ τους επάνω στη σύνδεση ταυτόχρονα. Επίσης γίνεται πάντα από σημείο προς σημείο δηλαδή ανάμεσα σε έναν μόνο αποστολέα και έναν μόνο δέκτη. Η πολυεκπομπή με μία μόνο λειτουργία είναι αδύνατη στο TCP.

Αν μια διεργασία που εκτελείται σε έναν υπολογιστή υπηρεσίας θέλει να εκκινήσει μια σύνδεση με μια άλλη διεργασία σε έναν άλλο υπολογιστή υπηρεσίας τότε η διεργασία εφαρμογής πελάτη ειδοποιεί πρώτα το επίπεδο μεταφοράς πελάτη ότι θέλει να καθορίσει μια σύνδεση με μια διεργασία στον εξυπηρέτη. Το επίπεδο μεταφοράς στον πελάτη καθορίζει μια σύνδεση TCP με το TCP στον εξυπηρέτη. Ο πελάτης στέλνει πρώτα ένα ειδικό τμήμα TCP, ο εξυπηρέτης αποκρίνεται με ένα δεύτερο τμήμα TCP και τέλος πάλι ο πελάτης με ένα τρίτο. Τα δύο πρώτα τμήματα δεν περιέχουν δεδομένα επιπέδου εφαρμογής το τρίτο όμως μπορεί να μεταφέρει ωφέλιμο φορτίο. Η διαδικασία αυτή καθορισμού της σύνδεσης αναφέρεται ως τριμερής χειραψία.

Ακολουθεί η αποστολή δεδομένων μεταξύ των δύο διεργασιών. Η διεργασία πελάτη περνά ένα ρεύμα δεδομένων μέσω της θύρας διεργασίας και τα οποία επεξεργάζεται το TCP του πελάτη το οποίο τα κατευθύνει στον ενταμιευτή αποστολής, ο οποίος έχει δεσμευτεί κατά τη χειραψία. Το TCP βάζει στα τμήματα δεδομένων κεφαλίδες και δημιουργεί τα τμήματα TCP, τα οποία περνούν στο επίπεδο δικτύου όπου ενθυλακώνονται μέσα σε δεδομενογράμματα IP επιπέδου δικτύου. Αυτά στέλνονται μέσα στο δίκτυο. Όταν το TCP λαμβάνει ένα τμήμα στο άλλο άκρο τα δεδομένα τοποθετούνται στον ενταμιευτή λήψης και η εφαρμογή διαβάζει το ρεύμα των δεδομένων από εκεί. Όταν η εφαρμογή τελειώσει με την αποστολή μηνυμάτων η σύνδεση διακόπτεται. Η υπηρεσία αυτή αναφέρεται ως συνδεδεσιστρεφής καθώς οι δύο διεργασίες συνδέονται με πολύ χαλαρό τρόπο.

### **2.2.1.2 ΑΞΙΟΠΙΣΤΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ**

Η δεύτερη υπηρεσία που παρέχει το πρωτόκολλο μεταφοράς TCP είναι η αξιόπιστη υπηρεσία μεταφοράς. Οι διεργασίες επικοινωνίας μπορούν να βασίζονται σε TCP για να

παραδώσουν όλα τα δεδομένα που στέλνονται χωρίς σφάλμα. Ενδεχόμενα σφάλματα μπορεί να είναι η καταστροφή κάποιων bits, η αλλαγή τους από 0 σε 1 ή και αντίστροφα, η απώλεια ή η παράδοση με διαφορετική σειρά από αυτήν που στάλθηκαν.

Δύο από τα σημαντικότερα πεδία στην κεφαλίδα τμήματος TCP, τα οποία παίζουν κρίσιμο ρόλο στην αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, είναι το πεδίο αριθμού ακολουθίας και το πεδίο αριθμού γνωστοποίησης. Επειδή το TCP θεωρεί τα δεδομένα σαν ένα αδόμητο διατεταγμένο ρεύμα από bytes, οι αριθμοί ακολουθίας αναφέρονται στο ρεύμα αυτό των bytes και όχι στη σειρά των μεταδιδόμενων τμημάτων. Οι αριθμοί αυτοί λοιπόν για ένα τμήμα είναι οι αριθμοί ρεύματος bytes του πρώτου byte μέσα στο τμήμα. Αφού το TCP είναι αμφίδρομο ο υπολογιστής της υπηρεσίας A λαμβάνει δεδομένα από τον υπολογιστή της υπηρεσίας B, αλλά ταυτόχρονα στέλνει στον B. Ο αριθμός γνωστοποίησης που θέτει ο A στο τμήμα του είναι ο αριθμός ακολουθίας του επόμενου byte που περιμένει ο υπολογιστής υπηρεσίας A από τον B.

Το TCP δημιουργεί την υπηρεσία της αξιόπιστης μεταφοράς επάνω στην αναξιόπιστη υπηρεσία του επιπέδου δικτύου IP. Με αυτό τον τρόπο σιγουρεύει πως το ρεύμα δεδομένων είναι ακριβώς το ίδιο με αυτό που στάλθηκε από το τερματικό από την άλλη πλευρά της σύνδεσης. Υπάρχουν τρία σημαντικά συμβάντα που σχετίζονται με τη μετάδοση και την αναμετάδοση δεδομένων μέσα στον αποστολέα TCP. Αυτά είναι τα δεδομένα που λήφθηκαν από την υπερκείμενη εφαρμογή, η λήξη χρόνου του χρονομετρητή και τα λαμβανόμενα ACK. Με την εμφάνιση του πρώτου συμβάντος το TCP δέχεται δεδομένα από την εφαρμογή, τα ενθυλακώνει σε ένα τμήμα και τα περνά στο IP. Στο συμβάν λήξης χρόνου το TCP αποκρίνεται αναμεταδίδοντας το τμήμα που την προκάλεσε. Με την άφιξη γνωστοποίησης ACK στέλνεται το επόμενο πακέτο.

### **2.2.1.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ**

Το TCP, εκτός από τις προαναφερθείσες υπηρεσίες, περιλαμβάνει και ένα μηχανισμό ελέγχου συμφόρησης. Πρόκειται για μια υπηρεσία που εξασφαλίζει τη συνολική ευεξία του δικτύου και δεν παρέχει κάποιο άμεσο όφελος στις επικοινωνούσες διεργασίες.

Συγκεκριμένα ο μηχανισμός αυτός ρυθμίζει μια διεργασία αποστολής όταν στο δίκτυο υπάρχει συμφόρηση ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη. Η προσέγγιση που ακολουθεί το TCP είναι να περιορίζει κάθε αποστολέας τον ρυθμό με τον οποίο στέλνει κίνηση μέσα στη σύνδεσή του, σαν μια συνάρτηση της αντιληπτής συμφόρησης δικτύου. Αν ένας

αποστολέας TCP αντιληφθεί ότι υπάρχει μικρή συμφόρηση στη διαδρομή ανάμεσα σε αυτόν και στον προορισμό, τότε ο αποστολέας TCP αυξάνει το ρυθμό αποστολής. Αν ο αποστολέας αντιληφθεί ότι υπάρχει συμφόρηση επάνω στη διαδρομή, τότε μειώνει το ρυθμό αποστολής.

Όμως η ρύθμιση αυτή του ρυθμού μετάδοσης μπορεί να έχει βλαπτική επίδραση σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου ήχου και βίντεο, οι οποίες έχουν έναν περιορισμό ελαχίστου απαιτούμενου εύρους ζώνης. Ακόμη, οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου είναι ανεκτές σε απώλειες και δεν χρειάζονται μια πλήρως αξιόπιστη υπηρεσία μεταφοράς. Για αυτό το λόγο οι προγραμματιστές εκτελούν τις εφαρμογές αυτές επάνω σε UDP.

Συνοψίζοντας τα υπέρ και τα κατά του πρωτοκόλλου μεταφοράς TCP περιλαμβάνει συνδεδεισμένη υπηρεσία, παρέχει αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, περιλαμβάνει μηχανισμό ελέγχου συμφόρησης αλλά δεν εγγυάται ένα ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης και δεν παρέχει καμία εγγύηση καθυστέρησης. Τελικά λοιπόν το TCP εγγυάται την παράδοση όλων των δεδομένων αλλά δεν εγγυάται το ρυθμό παράδοσης ή τις τυχόν καθυστερήσεις κατά την παράδοση.

## **2.2.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ UDP ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΕΙ**

Το UDP, που ορίζεται στο RFC 768, κάνει τα ελάχιστα που μπορεί να κάνει ένα πρωτόκολλο μεταφοράς. Εκτός της διαδικασίας πολύπλεξης και αποπολύπλεξης και κάποιου ελαφρού ελέγχου σφάλματος, δεν προσθέτει τίποτα στο IP. Στην πραγματικότητα, αν ο προγραμματιστής της εφαρμογής επιλέξει UDP αντί του TCP, τότε η εφαρμογή σχεδόν απευθείας συνομιλεί με το IP. Το UDP παίρνει τα μηνύματα από τη διεργασία εφαρμογής, προσαρτά πεδία αριθμών θυρών προέλευσης και προορισμού για την υπηρεσία πολύπλεξης και αποπολύπλεξης, προσθέτει δύο ακόμη μικρά πεδία (μήκος και άθροισμα ελέγχου) και περνά το προκύπτον τμήμα στο επίπεδο δικτύου. Το επίπεδο δικτύου στέλνει το τμήμα στον υπολογιστή υπηρεσίας λήψης αφού πρώτα το ενθυλακώνει μέσα σε ένα δεδομένογραμμα IP. Αν το τμήμα φτάσει στον προορισμό του, το UDP χρησιμοποιεί τον αριθμό θύρας προορισμού για να παραδώσει τα δεδομένα του τμήματος στη σωστή διεργασία εφαρμογής. Με το UDP δεν υπάρχει χειραψία ανάμεσα στις οντότητες αποστολής και λήψης επιπέδου μεταφοράς πριν σταλεί ένα τμήμα. Για αυτό το λόγο, το UDP λέγεται ασυνδεδειστροφές.

### 2.2.2.1 ΠΟΛΥΠΛΕΞΗ ΚΑΙ ΑΠΟΠΟΛΥΠΛΕΞΗ

Το UDP είναι απλό πρωτόκολλο μεταφοράς, με ένα μινιμαλιστικό μοντέλο υπηρεσίας. Παρουσιάζει αρκετές διαφορές σε σχέση με το TCP ως προς τις υπηρεσίες που παρέχει στο επίπεδο μεταφοράς. Κατ'αρχην, το UDP παρέχει μια υπηρεσία που είναι απαραίτητη στο επίπεδο μεταφοράς. Είναι η υπηρεσία πολύπλεξης και αποπολύπλεξης. Είναι η πλέον θεμελιώδης αρμοδιότητα των πρωτοκόλλων μεταφοράς, ώστε να επεκτείνουν την υπηρεσία παράδοσης IP ανάμεσα σε δύο τερματικά συστήματα, σε υπηρεσία παράδοσης ανάμεσα σε δύο διεργασίες που εκτελούνται στα δύο τερματικά συστήματα. Πρόκειται για ασυνδεδειστροφή πολύπλεξη και αποπολύπλεξη η οποία περιγράφεται παρακάτω:

Όταν ένα πρόγραμμα Java το οποίο εκτελείται σε έναν υπολογιστή υπηρεσίας πρέπει να δημιουργήσει μια θύρα (socket) UDP, αυτό πραγματοποιείται με τη γραμμή εντολών:

```
DatagramSocket mysocket = new DatagramSocket ();
```

Αφού δημιουργηθεί η θύρα UDP με αυτόν τον τρόπο, το επίπεδο μεταφοράς εκχωρεί αυτόματα έναν αριθμό στη θύρα. από 1024 έως 65535 που δεν χρησιμοποιείται εκείνη τη στιγμή από καμιά άλλη θύρα UDP στον υπολογιστή υπηρεσίας. Αν στη θύρα πρέπει να εκχωρηθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός ( π.χ. 19157) αυτό πραγματοποιείται από το πρόγραμμα με τη γραμμή :

```
DatagramSocket mysocket = new DatagramSocket (19157);
```

Εάν ο προγραμματιστής που γράφει τον κώδικα υλοποιεί την πλευρά του εξυπηρετή ενός πολύ γνωστού πρωτοκόλλου, τότε θα πρέπει να εκχωρήσει και τον αντίστοιχο αριθμό θύρας. Η πλευρά πελάτη της εφαρμογής αφήνει το επίπεδο μεταφοράς να εκχωρήσει αυτόματα τον αριθμό θύρας, ενώ η πλευρά εξυπηρετή της εφαρμογής εκχωρεί ένα συγκεκριμένο αριθμό θύρας.

Υποθέτουμε πως υπάρχει σε έναν υπολογιστή υπηρεσίας A μια διεργασία στην οποία έχει εκχωρηθεί η UDP socket 19157 και ο A θέλει να στείλει μια ομάδα δεδομένων εφαρμογής σε μια διεργασία με UDP socket 46428 στον υπολογιστή υπηρεσίας B. Το επίπεδο μεταφοράς στον υπολογιστή υπηρεσίας A δημιουργεί ένα τμήμα επιπέδου μεταφοράς, που περιλαμβάνει τα δεδομένα της εφαρμογής, τον αριθμό θύρας προέλευσης (

UDP socket υπολογιστή A ) και τον αριθμό θύρας προορισμού (UDP socket υπολογιστή B). Το επίπεδο μεταφοράς περνά το προκύπτον τμήμα στο επίπεδο δικτύου. Στη συνέχεια, το επίπεδο δικτύου ενθυλακώνει το τμήμα σε ένα δεδομενόγραμμα IP και κάνει την καλύτερη προσπάθειά του για να παραδώσει το τμήμα στον υπολογιστή υπηρεσίας λήψης B. Αν το τμήμα φτάσει τελικά στον υπολογιστή υπηρεσίας λήψης B , ο υπολογιστής υπηρεσίας λήψης εξετάζει τον αριθμό θύρας προορισμού και παραδίδει το τμήμα στην socket του, που ταυτοποιείται από τη θύρα με αριθμό τον αριθμό προορισμού. Ο υπολογιστής υπηρεσίας B θα μπορούσε να εκτελεί πολλαπλές διεργασίες, η καθεμία από τις οποίες έχει τη δική της UDP socket και τον αντίστοιχο αριθμό θύρας. Καθώς φτάνουν τα τμήματα UDP από το δίκτυο, ο υπολογιστής υπηρεσίας B αποπολυπλέκει κάθε τμήμα , δηλαδή το κατευθύνει στην κατάλληλη socket, εξετάζοντας τον αριθμό θύρας προορισμού του κάθε τμήματος.

Μια UDP socket ταυτοποιείται πλήρως από μια δυάδα, που αποτελείται από μία διεύθυνση προορισμού IP και έναν αριθμό θύρας προορισμού. Κατά συνέπεια αν δύο τμήματα UDP έχουν διαφορετικές διευθύνσεις IP προέλευσης και διαφορετικούς αριθμούς θυρών προέλευσης , αλλά έχουν την ίδια διεύθυνση IP προορισμού και τον ίδιο αριθμό θύρας προορισμού , τότε τα δύο τμήματα θα κατευθύνονται στην ίδια διεργασία προορισμού μέσω της ίδιας socket προορισμού.

Ο αριθμός της θύρας προέλευσης λειτουργεί σαν τμήμα μιας διεύθυνσης επιστροφής. Όταν ο B θέλει να στείλει ένα τμήμα πίσω στον A , η θύρα προορισμού στο τμήμα B προς A θα πάρει την τιμή της από την τιμή θύρας προέλευσης του τμήματος A προς το B. Παρόλα αυτά, η πλήρης διεύθυνση επιστροφής είναι η διεύθυνση IP του A και ο αριθμός θύρας προέλευσης. Στο UDP Server- java , ο εξυπηρέτης χρησιμοποιεί μια μέθοδο για να εξάγει τον αριθμό θύρας προέλευσης από το τμήμα που δέχεται από τον πελάτη, όπου ο αριθμός θύρας προέλευσης , που έχει εξαχθεί , λειτουργεί σαν αριθμός θύρας προορισμού σε αυτό το νέο τμήμα..

### **2.3 TO DNS ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ ΤΟ UDP**

Το DNS είναι ένα παράδειγμα πρωτοκόλλου επιπέδου εφαρμογής που τυπικά χρησιμοποιεί UDP. Όταν η εφαρμογή DNS σε έναν υπολογιστή υπηρεσίας θέλει να κάνει ένα ερώτημα, δημιουργεί ένα μήνυμα ερωτήματος DNS και περνά το μήνυμα στο UDP. Χωρίς να κάνει καμία χειραψία με την οντότητα UDP που εκτελείται στο τερματικό σύστημα προορισμού, το UDP προσθέτει πεδία επικεφαλίδας στο μήνυμα και περνά το προκύπτον τμήμα στο επίπεδο δικτύου. Το επίπεδο δικτύου ενθυλακώνει το τμήμα UDP σε

ένα δεδομένογραμμα και στέλνει το δεδομένογραμμα σε έναν εξυπηρέτη ονομάτων. Η εφαρμογή DNS στον υπολογιστή που έκανε το ερώτημα περιμένει απάντηση. Αν δε δεχτεί απάντηση, είτε προσπαθεί να στείλει το ερώτημα σε έναν άλλο εξυπηρέτη ονομάτων, ή πληροφορεί την καλούσα εφαρμογή ότι δεν πήρε απάντηση.

## 2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ UDP ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ TCP

Παρόλο που το TCP παρέχει μια υπηρεσία αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων, ενώ το UDP όχι, δεν είναι το TCP πάντα προτιμότερο από τους προγραμματιστές για να κτίσουν μια εφαρμογή πάνω σε αυτό. Πολλές εφαρμογές είναι καταλληλότερες για UDP για τους παρακάτω λόγους:

Κατ'αρχήν στο UDP δεν υπάρχει καθορισμός σύνδεσης. Παραπάνω αναφέρθηκε πως το TCP χρησιμοποιεί μια τριμερή χειραγία πριν να αρχίσει να μεταφέρει δεδομένα. Το UDP απλώς εκκινεί χωρίς καθόλου προκαταρκτικές ενέργειες. Έτσι δεν εισάγει καμία καθυστέρηση για να καθορίσει μια σύνδεση. Αυτός είναι και ο λόγος που το DNS, που αναφέραμε παραπάνω, εκτελείται πάνω σε UDP αντί σε TCP, αφού θα ήταν πολύ βραδύτερο στη δεύτερη περίπτωση. Το HTTP χρησιμοποιεί TCP αντί του UDP, εφόσον η αξιοπιστία είναι κρίσιμη για ιστοσελίδες με κείμενο.

Κατόπιν στο UDP δεν υπάρχει κατάσταση σύνδεσης. Το TCP, αντίθετα διατηρεί κατάσταση σύνδεσης στα τερματικά συστήματα. Αυτή η κατάσταση σύνδεσης περιλαμβάνει ενταμιευτές αποστολής και λήψης, παραμέτρους ελέγχου συμφόρησης και παραμέτρους αριθμών ακολουθίας και γνωστοποίησης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω (παράγραφος για το πρωτόκολλο TCP), αυτές οι πληροφορίες κατάστασης χρειάζονται για να υλοποιήσουν την υπηρεσία αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων του TCP και για να παρέχουν έλεγχο συμφόρησης. Το UDP, από την άλλη, δεν διατηρεί κατάσταση σύνδεσης και δεν παρακολουθεί καμία από αυτές τις παραμέτρους. Για αυτό το λόγο, ένας εξυπηρέτης αποκλειστικός για μια συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί τυπικά να υποστηρίζει πολύ περισσότερους ενεργούς πελάτες όταν η εφαρμογή εκτελείται πάνω σε UDP παρά όταν εκτελείται επάνω σε TCP.

Στο UDP η καθυστέρηση λόγω της κεφαλίδας πακέτου είναι μικρότερη σε σχέση με το TCP. Αυτό συμβαίνει επειδή το τμήμα TCP έχει κεφαλίδα είκοσι bytes ενώ το τμήμα UDP έχει κεφαλίδα μόλις οχτώ bytes.



Με το πρωτόκολλο μεταφοράς UDP γίνεται καλύτερος έλεγχος στο επίπεδο εφαρμογής όσον αφορά το ποια δεδομένα στέλνονται και πότε. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μια διεργασία περάσει δεδομένα στο UDP, το UDP θα συσκευάσει τα δεδομένα μέσα σε ένα τμήμα UDP και θα περάσει αμέσως το τμήμα στο επίπεδο δικτύου. Το TCP, από την άλλη, έχει ένα μηχανισμό ελέγχου συμφόρησης, που ρυθμίζει τον αποστολέα TCP επιπέδου μεταφοράς, όταν μία ή περισσότερες ζεύξεις ανάμεσα στους υπολογιστές υπηρεσίας προέλευσης και προορισμού έχουν υπερβολική συμφόρηση. Το TCP, επίσης, θα συνεχίσει να στέλνει ένα τμήμα δεδομένων, μέχρι να γνωστοποιηθεί η λήψη του τμήματος από τον προορισμό, ανεξάρτητα από το πόσο χρόνο απαιτεί η αξιόπιστη παράδοση. Εφόσον οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου συχνά απαιτούν έναν ελάχιστο ρυθμό αποστολής, δεν θέλουν να καθυστερούν πολύ τη μετάδοση τμήματος και μπορούν να ανεχθούν κάποια απώλεια δεδομένων, το μοντέλο υπηρεσίας του TCP δεν είναι ιδιαίτερα ταιριαστό για τις ανάγκες αυτών των εφαρμογών. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να χρησιμοποιούν UDP και να υλοποιούν, σαν μέρος της εφαρμογής, κάθε πρόσθετη λειτουργικότητα που χρειάζεται πέρα από την απλή υπηρεσία παράδοσης τμήματος από διεργασία σε διεργασία του UDP.

## 2.5 ΔΟΜΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ UDP

Η δομή του τμήματος UDP, ορίζεται στο RFC 768. Τα δεδομένα της εφαρμογής καταλαμβάνουν το πεδίο των δεδομένων στο τμήμα UDP. Για παράδειγμα, για το DNS, το πεδίο δεδομένων περιέχει ένα μήνυμα ερωτήματος ή ένα μήνυμα απόκρισης. Για μία εφαρμογή ήχου συνεχούς ροής, δείγματα ήχου γεμίζουν το πεδίο δεδομένων. Η κεφαλίδα UDP έχει μόνο τέσσερα πεδία, όπου το καθένα αποτελείται από δύο bytes. Οι αριθμοί θυρών επιτρέπουν στον υπολογιστή υπηρεσίας προορισμού να περνά τα δεδομένα εφαρμογής στη σωστή διεργασία, που εκτελείται στο τερματικό σύστημα προορισμού (δηλαδή για να γίνεται η λειτουργία της αποπολύπλεξης). Το άθροισμα ελέγχου (checksum) χρησιμοποιείται από τον υπολογιστή της υπηρεσίας λήψης για να ελέγχει αν έχουν εισαχθεί σφάλματα μέσα στο τμήμα. Στην πραγματικότητα, το άθροισμα ελέγχου υπολογίζεται επίσης με βάση μερικά από τα πεδία της κεφαλίδας IP, επιπρόσθετα από το τμήμα UDP. Το πεδίο μήκους καθορίζει το μήκος του τμήματος UDP, που περιλαμβάνει και την κεφαλίδα σε bytes. Ένα τμήμα UDP απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα :

## 2.6 ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ UDP

Το άθροισμα ελέγχου UDP παρέχει ανίχνευση σφαλμάτων. Αυτό σημαίνει ότι το άθροισμα ελέγχου χρησιμοποιείται για να καθορίσει αν έχουν αλλαχθεί κάποια bits μέσα στο τμήμα UDP κατά τη μεταφορά τους από την προέλευση στον προορισμό . Για παράδειγμα, αλλαγές μπορεί να έχουν γίνει από θόρυβο στις ζεύξεις ή όταν ήταν αποθηκευμένα τα δεδομένα σε κάποιο δρομολογητή. Το UDP στην πλευρά αποστολής βρίσκει το συμπλήρωμα του 1 του αθροίσματος όλων των λέξεων 16-bit μέσα στο τμήμα, και αν βρεθεί κάποια υπερχείλιση κατά τη διάρκεια υπολογισμού του αθροίσματος , απορρίπτεται. Το αποτέλεσμα αυτό τοποθετείται στο πεδίο αθροίσματος ελέγχου του τμήματος UDP.

Για παράδειγμα έστω ότι έχουμε τις τρεις παρακάτω λέξεις:

```
0110011001100110
0101010101010101
0000111100001111
```

Το άθροισμα των δύο πρώτων λέξεων θα είναι 1011101110111011 και αν προστεθεί και η τρίτη λέξη στο άθροισμα των δύο πρώτων το τελικό αποτέλεσμα γίνεται 1100101011001010. Το συμπλήρωμα του 1 λαμβάνεται μετατρέποντας όλα τα 0 σε 1 και αντίστροφα. Με βάση αυτό το συμπλήρωμα του 1 του παραπάνω αθροίσματος είναι 0011010100110101, το οποίο είναι το άθροισμα ελέγχου. Στον δέκτη, οι τέσσερις λέξεις συμπεριλαμβανομένου και του αθροίσματος ελέγχου προστίθενται και , αν δεν έχουν εισαχθεί σφάλματα στο πακέτο, τότε το άθροισμα στο δέκτη θα πρέπει να είναι 1111111111111111. Αν ένα από τα bits είναι 0 τότε στο πακέτο έχουν εισαχθεί σφάλματα.

Αν και πολλά πρωτόκολλα επιπέδου ζεύξης παρέχουν έλεγχο σφάλματος , το UDP παρέχει επίσης έλεγχο σφάλματος ,επειδή δεν υπάρχει εγγύηση πως όλες οι ζεύξεις ανάμεσα στην προέλευση και στον προορισμό παρέχουν έλεγχο σφάλματος. Μπορεί, δηλαδή, έστω και μία από τις ζεύξεις να χρησιμοποιεί κάποιο πρωτόκολλο το οποίο να μην παρέχει έλεγχο σφάλματος. Επειδή το IP υποτίθεται ότι εκτελείται πάνω σε οποιοδήποτε σχεδόν πρωτόκολλο επιπέδου ζεύξης , είναι χρήσιμο για το επίπεδο μεταφοράς να παρέχει έλεγχο σφάλματος σαν ένα μέτρο ασφάλειας.

Πάντως αν και το UDP παρέχει έλεγχο σφάλματος, δεν κάνει τίποτε για να διορθώσει το σφάλμα. Ορισμένες υλοποιήσεις του UDP απλώς απορρίπτουν το

κατεστραμμένο τμήμα. Άλλες περνούν το κατεστραμμένο τμήμα στην εφαρμογή με μια προειδοποίηση.

## 2.7 ΑΣΥΡΜΑΤΑ TCP ΚΑΙ UDP

Θεωρητικά, τα πρωτόκολλα μεταφοράς θα έπρεπε να είναι ανεξάρτητα από την τεχνολογία του υποκείμενου στρώματος δικτύου. Συγκεκριμένα, το TCP δεν θα έπρεπε να ενδιαφέρεται για το αν το IP τρέχει σε καλώδιο ή σε ραδιοδιάλυτο. Στην πράξη, έχει σημασία γιατί οι περισσότερες υλοποιήσεις του TCP έχουν βελτιστοποιηθεί προσεχτικά, με βάση υποθέσεις που είναι σωστές για ενσύρματα δίκτυα, αλλά αποτυγχάνουν σε ασύρματα δίκτυα. Εάν αγνοήσουμε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ασύρματης μετάδοσης, μπορεί να οδηγηθούμε σε μια λογικά σωστή υλοποίηση του TCP, που όμως θα έχει πολύ μειωμένη επίδοση.

Το κύριο πρόβλημα είναι ο αλγόριθμος ελέγχου συμφόρησης. Σχεδόν όλες οι σύγχρονες υλοποιήσεις του TCP υποθέτουν ότι οι χρονικές εκπνοές προκαλούνται από συμφόρηση και όχι από χαμένα πακέτα. Συνεπώς, όταν εκπνεύσει ένα χρονόμετρο, το TCP μειώνει το ρυθμό αποστολής δεδομένων. Η ιδέα στην οποία βασίζεται η προσέγγιση αυτή είναι ότι αν μειωθεί το φορτίο στο δίκτυο θα ελαφρυνθεί η συμφόρηση.

Δυστυχώς, οι ασύρματες ζεύξεις είναι σε μεγάλο βαθμό αναξιόπιστες. Χάνουν πακέτα συνεχώς. Η κατάλληλη αντιμετώπιση των χαμένων πακέτων είναι η επανάληψη της μετάδοσής τους και μάλιστα όσο το δυνατόν συντομότερα. Η μείωση του ρυθμού απλώς επιδεινώνει την κατάσταση. Αν, ας πούμε, χάνεται το 20 % του συνολικού αριθμού πακέτων, τότε όταν ο αποστολέας μεταδίδει εκατό πακέτα / sec, η διέλευση είναι ογδόντα πακέτα / sec. Αν ο αποστολέας μειώνει το ρυθμό σε πενήντα πακέτα / sec, η διέλευση πέφτει στα σαράντα πακέτα / sec .

Ουσιαστικά, όταν χάνεται ένα πακέτο σε ενσύρματο δίκτυο, ο αποστολέας θα πρέπει να επιβραδύνει τον ρυθμό του. Όταν χάνεται ένα πακέτο σε ασύρματο δίκτυο, ο αποστολέας θα πρέπει να εντείνει τις προσπάθειές του. Όταν ο αποστολέας δεν ξέρει τι δίκτυο χρησιμοποιείται, είναι δύσκολο να πάρει τη σωστή απόφαση.

Συχνά η διαδρομή από τον αποστολέα στο αποδέκτη είναι ανομοιογενής. Τα πρώτα 1.000 km μπορεί να ανήκουν σε ενσύρματο δίκτυο, αλλά το τελευταίο 1 km μπορεί να είναι ασύρματο. Η σωστή απόφαση μετά την εκπνοή του χρόνου είναι τώρα ακόμα δυσκολότερη,

αφού σημασία έχει το σημείο στο οποίο προέκυψε το πρόβλημα. Μια λύση που προτάθηκε από τους Bakne και Badrinath το 1995, ήταν το έμμεσο TCP (indirect TCP). Η λύση αυτή πρότεινε να διαχωριστεί η σύνδεση TCP σε δύο ξεχωριστές συνδέσεις. Η πρώτη σύνδεση πηγαίνει από τον αποστολέα βάσης στο σταθμό βάσης. Η δεύτερη πηγαίνει από τον σταθμό βάσης στον αποδέκτη. Ο σταθμός βάσης απλώς αντιγράφει πακέτα μεταξύ των συνδέσεων προς αμφοτέρους κατευθύνσεις.

Το πλεονέκτημα της σχεδίασης αυτής είναι ότι οι δύο συνδέσεις είναι τώρα ομογενείς. Οι χρονικές εκπνοές στην πρώτη σύνδεση μπορεί να επιβραδύνουν τον αποστολέα, ενώ οι χρονικές εκπνοές στη δεύτερη σύνδεση μπορεί να τον επιταχύνουν. Κάποιες άλλες παράμετροι μπορούν επίσης να ρυθμιστούν ξεχωριστά για τις δύο συνδέσεις. Το μειονέκτημα είναι ότι παραβιάζονται οι αρχές του TCP. Αφού κάθε κομμάτι της σύνδεσης είναι μια πλήρης σύνδεση TCP, ο σταθμός βάσης επαληθεύει τη λήψη κάθε τεμαχίου TCP με τον συνηθισμένο τρόπο. Μόνο που τώρα, η παραλαβή της επαλήθευσης από τον αποστολέα δεν σημαίνει ότι ο αποδέκτης πήρε το τεμάχιο, παρά μόνο ότι το πήρε ο σταθμός βάσης.

Μια διαφορετική λύση που οφείλεται στον Balakrishman et al ., δεν παραβιάζει τις αρχές του TCP. Λειτουργεί κάνοντας πολλές διορθώσεις στον κώδικα του στρώματος δικτύου στο σταθμό βάσης. Μια από τις αλλαγές είναι η προσθήκη ενός κατασκόπου (snoring agent ), ο οποίος παρατηρεί και καταχωρεί σε προσωρινή μνήμη τα τεμάχια TCP που έχουν κατεύθυνση προς τον κινητό host και τις επαληθεύσεις που επιστρέφουν από αυτόν. Όταν ο κατάσκοπος δει ένα τεμάχιο TCP να κατευθύνεται προς τον κινητό host, αλλά δεν δει την επαλήθευση να επιστρέφει πριν του σχετικά σύντομου χρονομέτρου του, απλώς μεταδίδει ξανά το τεμάχιο, χωρίς να δηλώσει αυτήν την ενέργεια του στον αποστολέα. Επιπλέον, δημιουργεί μια αναμετάδοση , όταν δει να περνούν διπλές επαληθεύσεις από τον κινητό host, που οπωσδήποτε σημαίνουν κάποια απώλεια στην πλευρά του κινητού host. Οι διπλές επαληθεύσεις απορρίπτονται αμέσως, ώστε να μην εκληφθούν από τον αποστολέα ως συμφόρηση.

Ένα μειονέκτημα αυτή της διαφάνειας είναι ότι αν η ασύρματη ζεύξη έχει μεγάλες απώλειες, ο αποστολέας ίσως διαπιστώσει εκπνοή χρόνου περιμένοντας την επαλήθευση και καλέσει τον αλγόριθμο ελέγχου συμφόρησης. Με το έμμεσο TCP, ποτέ δε θα κληθεί ο αλγόριθμος εκτός αν υπάρχει πράγματι συμφόρηση στο ενσύρματο τμήμα του δικτύου.

Η δημοσίευση των Balakrishman et al ., προσφέρει επίσης μια λύση στο πρόβλημα των χαμένων τεμαχίων που ξεκινούν από τον κινητό host. Όταν ο σταθμός βάσης παρατηρήσει ένα κενό στους εισερχόμενους αύξοντες αριθμούς, δημιουργεί μια αίτηση για

επιλεκτική επανάληψη των αγνοούμενων bytes χρησιμοποιώντας μια προαιρετική επιλογή του TCP. Με αυτές τις διορθώσεις, η ασύρματη διασύνδεση γίνεται πιο αξιόπιστη και προς τις δύο κατευθύνσεις, χωρίς να γνωρίζει τίποτε για αυτό ο αποστολέας και χωρίς να παραβιάζονται οι αρχές του TCP.

Αν και το UDP δεν υποφέρει από τα ίδια προβλήματα με το TCP, η ασύρματη επικοινωνία δημιουργεί προβλήματα και σε αυτό. Το κύριο πρόβλημα είναι ότι τα προγράμματα που χρησιμοποιούν το UDP περιμένουν από αυτό να είναι πολύ αξιόπιστο. Γνωρίζουν ότι δεν παρέχονται εγγυήσεις, και όμως το θεωρούν σχεδόν τέλειο. Σε ασύρματο περιβάλλον, θα απέχει πολύ από το τέλειο. Για προγράμματα που μπορούν να αποκαταστήσουν τη λειτουργία τους μετά από την απώλεια μηνυμάτων UDP, αλλά με σημαντικό κόστος, η μετάβαση από ένα περιβάλλον, όπου θεωρητικά μπορούν να χαθούν μηνύματα, αλλά σπανίως χάνονται, σε περιβάλλον όπου σταθερά χάνονται, μπορεί να έχει καταστροφική επίπτωση στην επίδοση.

### **3. ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

#### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, έγιναν με σκοπό να μελετηθεί η επίδοση του πρωτοκόλλου μεταφοράς UDP σε κανάλι μεταγωγής πακέτου (Packet Data Channel, PDCH) του προτύπου ψηφιακών επικοινωνιών TETRA. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιήθηκε το εμπορικά ανεπτυγμένο δίκτυο του ΟΤΕ, το οποίο παρέχει πλήρη κάλυψη στις μεγαλύτερες και πιο πυκνοκατοικημένες πόλεις της Ελλάδας, καθώς επίσης και σε όλους σχεδόν τους αυτοκινητόδρομους της χώρας. Θεωρείται ένα από τα μεγαλύτερα δίκτυα της Ευρώπης καθώς λειτουργεί πάνω από 75 σταθμούς βάσης σε ολόκληρη τη χώρα.

#### **3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ**

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, περιλαμβάνει δύο προσωπικούς υπολογιστές, στους οποίους είναι εγκατεστημένο το λειτουργικό Windows XP της Microsoft. Ο ένας από αυτούς είναι σταθερός και ο άλλος φορητός. Επίσης, είναι απαραίτητα και δύο τερματικά τα οποία χρησιμοποιούνται ως κινητοί σταθμοί και υποστηρίζουν τη μετάδοση με μεταγωγή πακέτου. Τα τερματικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι προϊόν κατασκευής της Motorola και ο τύπος τους είναι ο MTH 650. Τα κινητά τερματικά συνδέθηκαν με τους υπολογιστές σε μία παράλληλη θύρα (RS-232), μέσω των διεπαφών του περιφερειακού εξοπλισμού των υπολογιστών (Peripheral Equipment Interface, PEI).

Οι συμβατές τερματικές συσκευές έχουν ισχύ 0.3 W, 1.3W ή 10W. Παρέχονται από αυτές τέσσερις βασικοί τρόποι λειτουργίας, οι οποίοι είναι οι εξής:

- ❖ Απευθείας επικοινωνία μεταξύ των κινητών τερματικών (MS).
- ❖ Επικοινωνία με χρήση επαναλήπτη.
- ❖ Επικοινωνία με σύνδεση μέσω κάποιου τερματικού που βρίσκεται εκτός της περιοχής κάλυψης του δικτύου.
- ❖ Σύνδεση με κάποιο άλλο δίκτυο μέσω πύλης (gateway).

Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε την πρώτη λειτουργία, που είναι η απευθείας επικοινωνία μεταξύ των κινητών τερματικών. Με αυτή τη λειτουργία δίνεται δυνατότητα σε ένα τερματικό (πομποδέκτη) να επικοινωνεί απευθείας με ένα ή περισσότερα άλλα τερματικά χωρίς τη μεσολάβηση των σταθμών βάσεως του δικτύου. Η λειτουργία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν τα τερματικά βρίσκονται εκτός περιοχής ραδιοκάλυψης του δικτύου ή όταν απλώς υπάρχει ανάγκη για μια τοπική ιδιωτική επικοινωνία. Η αμεσότροπη λειτουργία περιλαμβάνει ατομικές κλήσεις και ομαδικές κλήσεις οι οποίες μπορεί να είναι κρυπτογραφημένες ή όχι, κλήσεις δεδομένων και βραχέων δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης έως 7,2 kbit/sec (ισοδύναμη με τη μετάδοση σε μια χρονοθυρίδα). Στην περίπτωση αυτού του τρόπου λειτουργίας χρησιμοποιείται ένας διάυλος εύρους 25 kHz, οι τέσσερις χρονοσχισμές του οποίου καταχωρούνται σε δύο κανάλια επικοινωνίας.

Ο τρόπος με τον οποίο εγκαθιστούμε μια κινητή τερματική συσκευή αυτού του τύπου στον υπολογιστή είναι παρόμοιος με αυτόν που ακολουθούμε, για να εγκαταστήσουμε ένα ενσύρματο modem. Με παρόμοιο τρόπο και με πολύ μικρές τροποποιήσεις γίνεται και η δημιουργία μίας νέας σύνδεσης, με την οποία συνδέεται το τερματικό με το κανάλι μεταγωγής πακέτου του δικτύου TETRA.

Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες πολύ σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε μία συμβατική τερματική συσκευή, που χρησιμοποιείται για την πρόσβαση στο δίκτυο TETRA, και σε ένα ενσύρματο modem.

Η πρώτη σημαντική διαφορά είναι ότι το ενσύρματο modem συνδέεται με τον Network Access Server (NAS) με μεταγωγή κυκλώματος, ενώ το κινητό τερματικό επικοινωνεί με το δίκτυο TETRA μόνο με μεταγωγή πακέτου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι όταν δε μεταφέρονται δεδομένα, δε δεσμεύεται το εύρος ζώνης, οπότε μπορεί να διατηρηθεί η σύνδεση που έχει δημιουργηθεί στον υπολογιστή με το τερματικό που είναι συνδεδεμένος, με αποτέλεσμα η πρόσβαση στην υπηρεσία μεταγωγής πακέτου να είναι πολύ σύντομη, αφού η σύνδεση διατηρείται.

Η δεύτερη σημαντική διαφορά του ενσύρματου modem με το κινητό τερματικό του TETRA έχει σχέση με τη ζεύξη σημείου προς σημείο που δημιουργεί το πρότυπο PPP (Point-to-Point Protocol). Το PPP είναι το πρωτόκολλο που συνδέει άμεσα δύο κόμβους, έναν στο κάθε άκρο της ζεύξης, και χρειάζεται να λειτουργεί μόνο πάνω σε ζεύξεις που έχουν μόνο έναν αποστολέα και έναν μόνο δέκτη, όπως συμβαίνει στη συγκεκριμένη περίπτωση. Σε μία σύνδεση μέσω ενσύρματου modem, η ζεύξη σημείου προς σημείο (PPP link) τερματίζεται στον Network Access Server και το modem απλά μεταφέρει τα πλαίσια PPP με διαφάνεια. Αυτό σημαίνει πως το πρωτόκολλο PPP δεν θέτει κανένα περιορισμό σε

δεδομένα που εμφανίζονται στο πακέτο του επιπέδου δικτύου. Στην υπηρεσία μεταγωγής πακέτου, η ζεύξη PPP τερματίζεται στο κινητό τερματικό.

Όποτε πρέπει να αποσταλεί ένα IP πλαίσιο από το τερματικό ή να ληφθεί σε αυτό, το πρωτόκολλο του TETRA διαμορφώνει το πακέτο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιήσει την ασύρματη διεπαφή, για να μεταδοθεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στην πακετομεταγωγή να υπάρχουν χαμένα πακέτα, τα οποία αναφέρονται ως χαμένα από το πρωτόκολλο ICMP, αλλά να μην υπάρχουν χαμένες κλήσεις αφού διατηρείται η ζεύξη PPP. Αντίθετα στη μεταγωγή κυκλώματος η σύνδεση απολύεται και πρέπει να ξαναγίνει κλήση και να δημιουργηθεί εκ νέου η ζεύξη σημείου προς σημείο.

### **3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ IPERF – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ**

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων που δείχνουν την επίδοση του πρωτοκόλλου UDP στο δίκτυο TETRA χρησιμοποιήθηκε μία πολύ γνωστή εφαρμογή, που τρέχει σε περιβάλλον DOS, το IPERF. Οι εντολές διαμορφώθηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε ο σταθερός υπολογιστής (desktop) να έχει το ρόλο του server και ο φορητός υπολογιστής (laptop) το ρόλο του client. Ο server τρέχει σαν δαίμονας (επιλογή -D) και ακούει σε μία καθορισμένη θύρα, τη θύρα του πρωτοκόλλου μεταφοράς που χρησιμοποιείται.

### **3.4 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

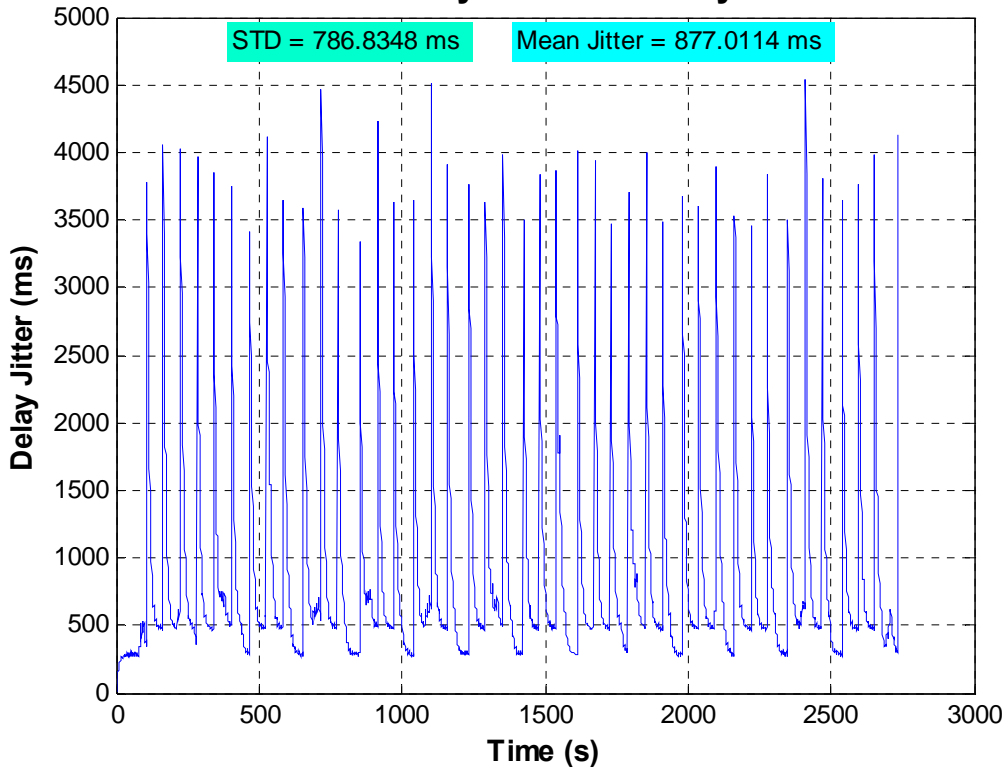
Τα τερματικά παρέμειναν σταθερά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, καθώς ο στόχος ήταν να εκτιμηθεί η επίδραση του μεγέθους του πακέτου UDP στην ταχύτητα μετάδοσης, στην απώλεια πακέτων, στη λήψη πακέτων εκτός σειράς και στη χρονική διακύμανση των μετρήσεων. Αν τα τερματικά μετακινούνταν, το σήμα θα χειροτέρευε λόγω των διαφορών φαινομένων που συμβαίνουν κατά τη μετάδοση, ενώ οι μετρήσεις θα επηρεάζονταν και από την κάλυψη που παρέχει το δίκτυο TETRA. Οι επιδράσεις από αυτούς τους παράγοντες ήταν προφανώς ανεπιθύμητες.

Πραγματοποιήθηκε μία σειρά από μετρήσεις από τις οποίες κάθε μία διήρκεσε 2700 sec, για μεγέθη πακέτων UDP από 70 έως 400 bytes με βήμα 10 bytes. Σημαντικό είναι στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι από το μέγεθος πακέτου που ορίζαμε κάθε φορά για τη μετάδοση, τα 8 bytes ήταν η επικεφαλίδα του πλαισίου UDP ενώ τα 20 bytes ήταν η επικεφαλίδα του πλαισίου IP, στο οποίο ενθυλακωνόταν το UDP. Οι στιγμιαίες τιμές των μεγεθών που μετρήθηκαν λαμβάνονταν ανά 1 sec, ενώ τα αρχεία που δημιουργούσε το

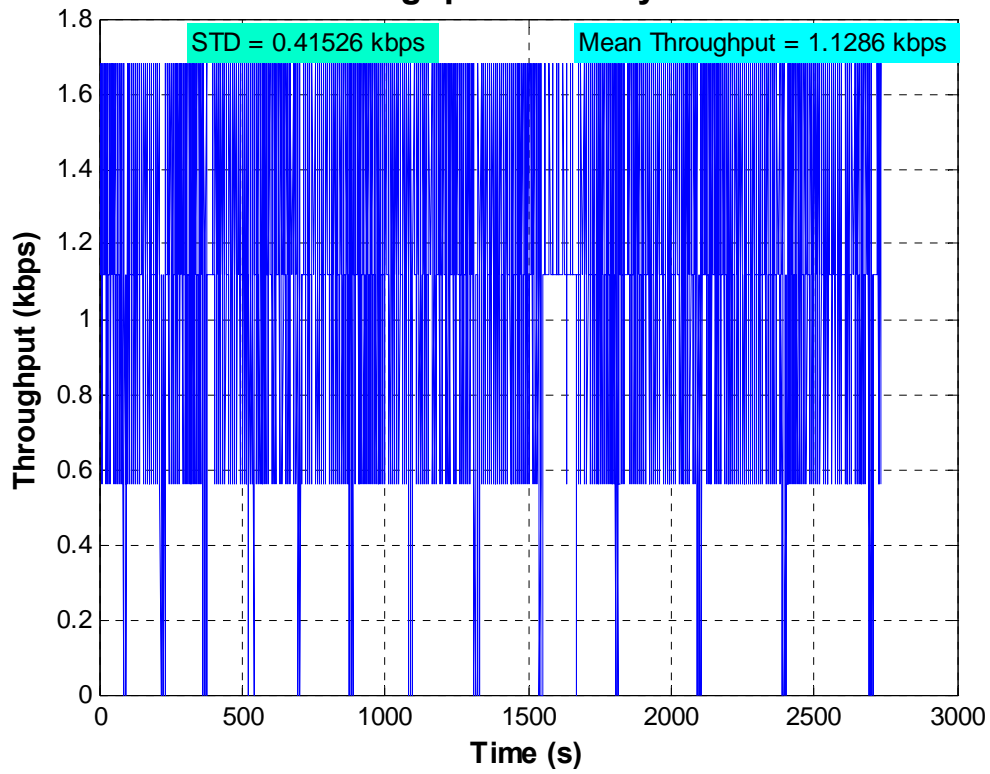


IPERF ήταν τύπου ASCII και τα επεξεργάστηκα με το πρόγραμμα Matlab, από το οποίο προέκυψαν τα διαγράμματα του κεφαλαίου που ακολουθεί.

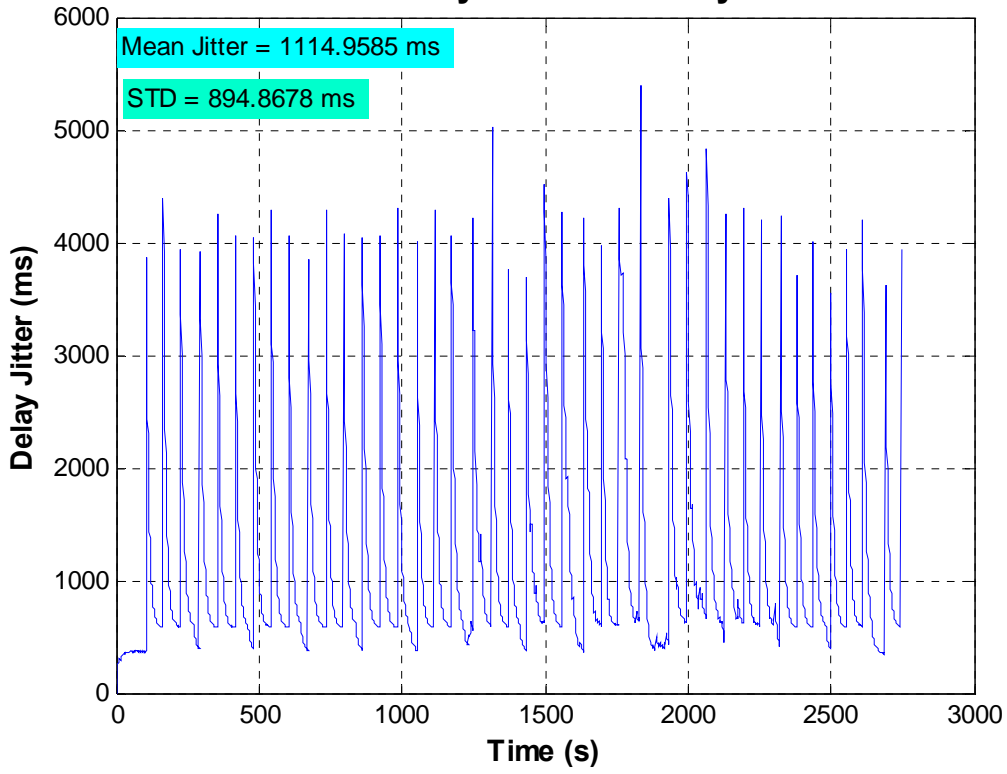
### UDP Packet Delay Jitter for 70 byte Packets



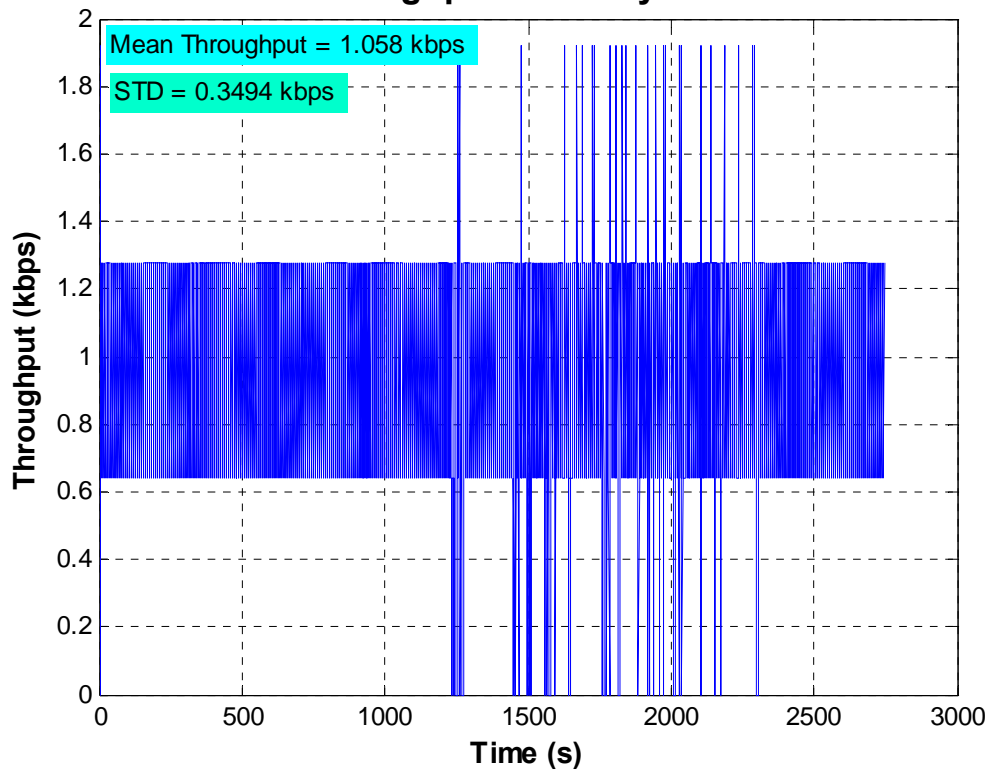
### UDP Throughput for 70 byte Packets



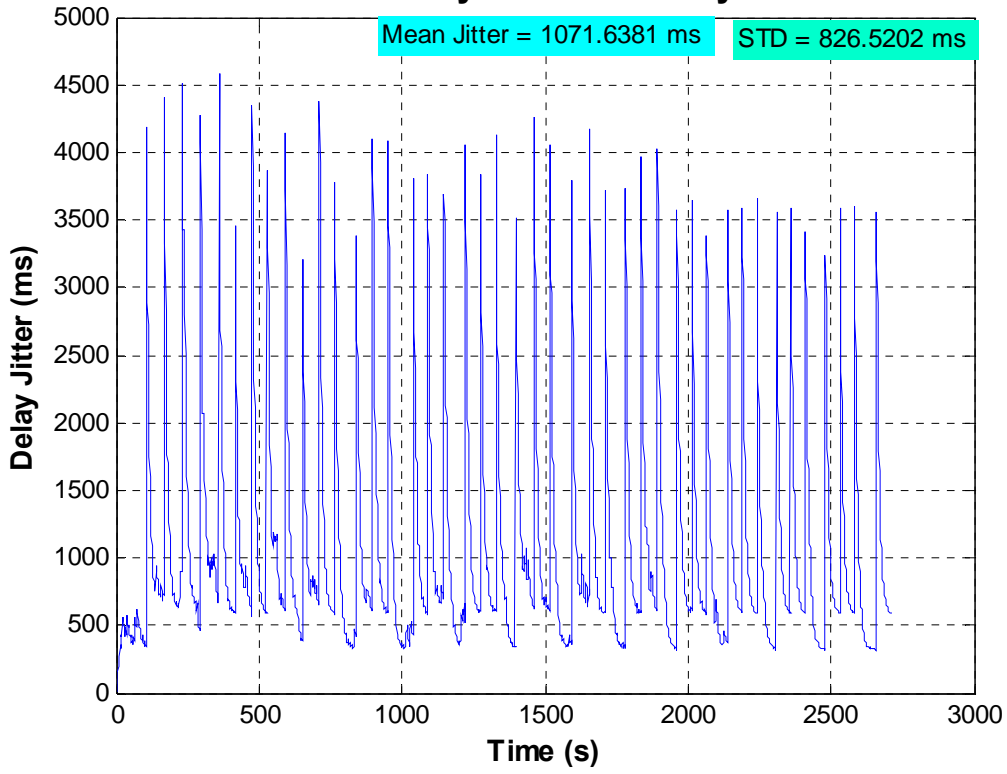
### UDP Packet Delay Jitter for 80 byte Packets



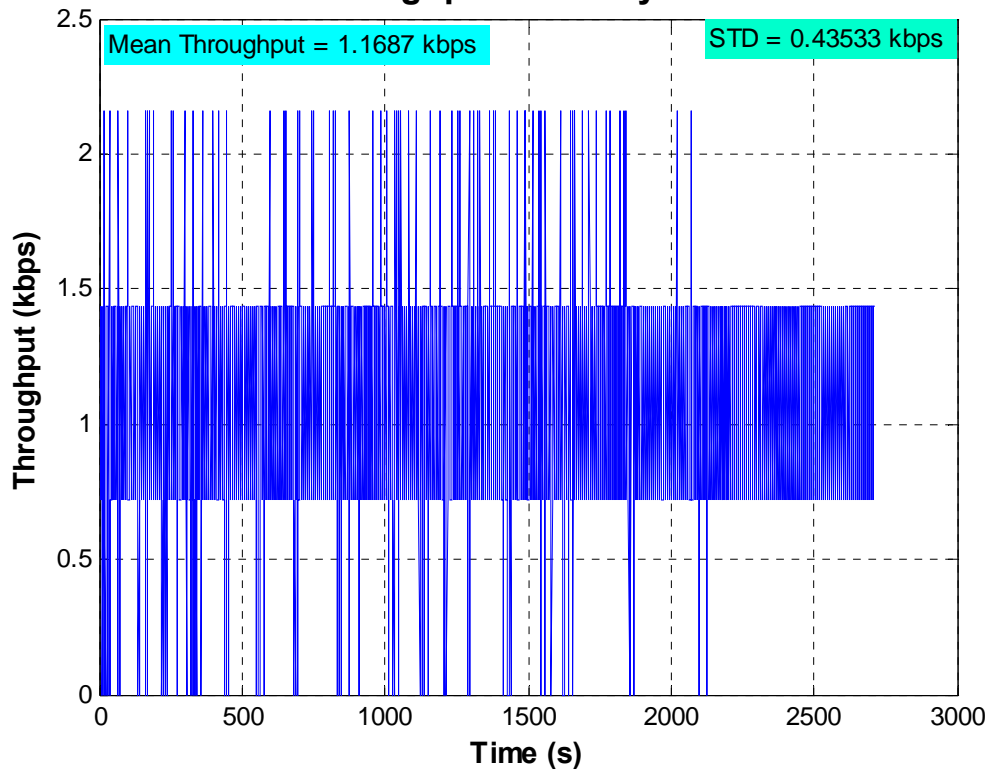
### UDP Throughput for 80 byte Packets

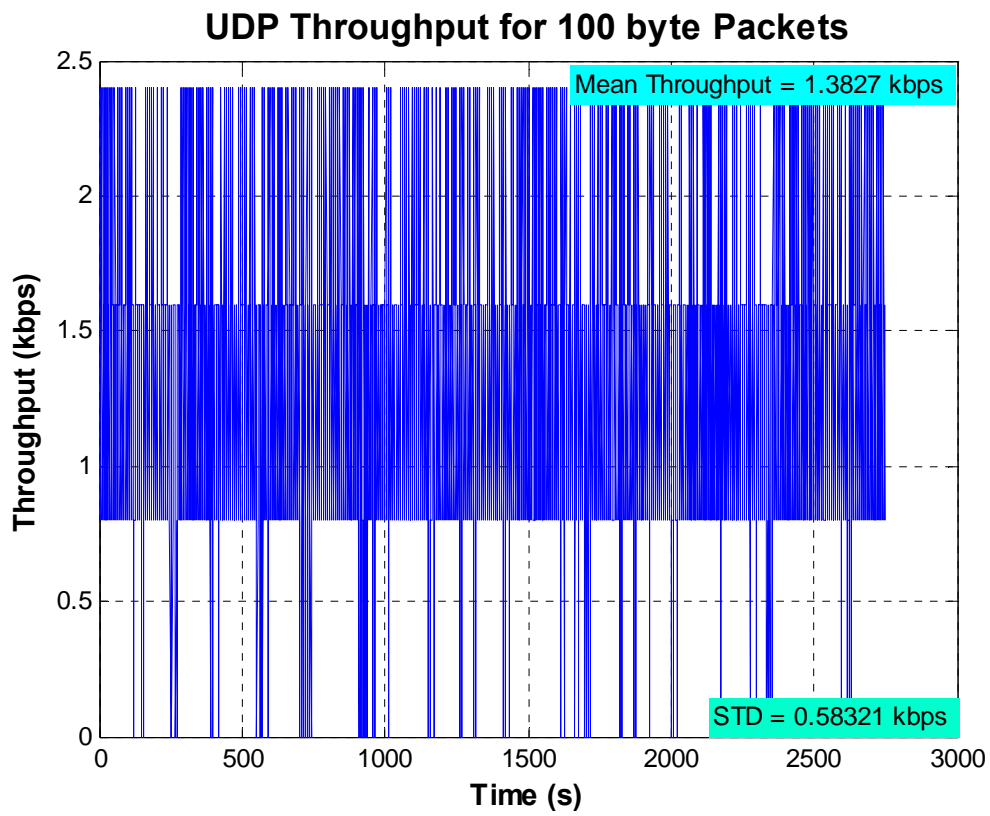
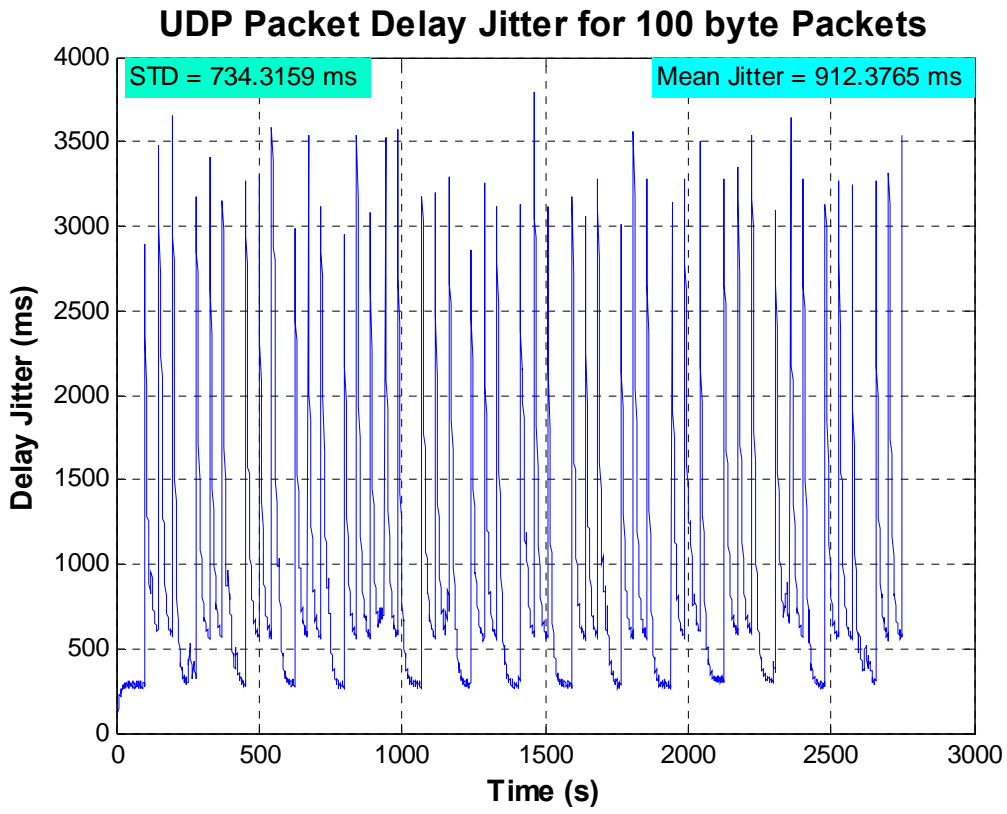


### UDP Packet Delay Jitter for 90 byte Packets

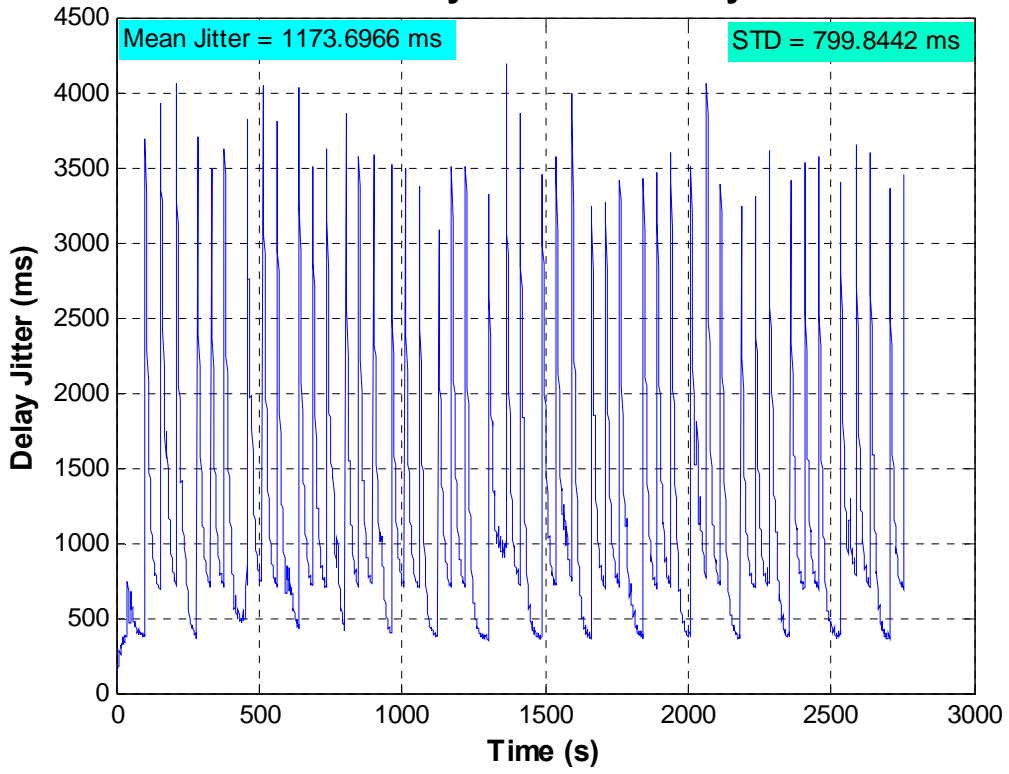


### UDP Throughput for 90 byte Packets

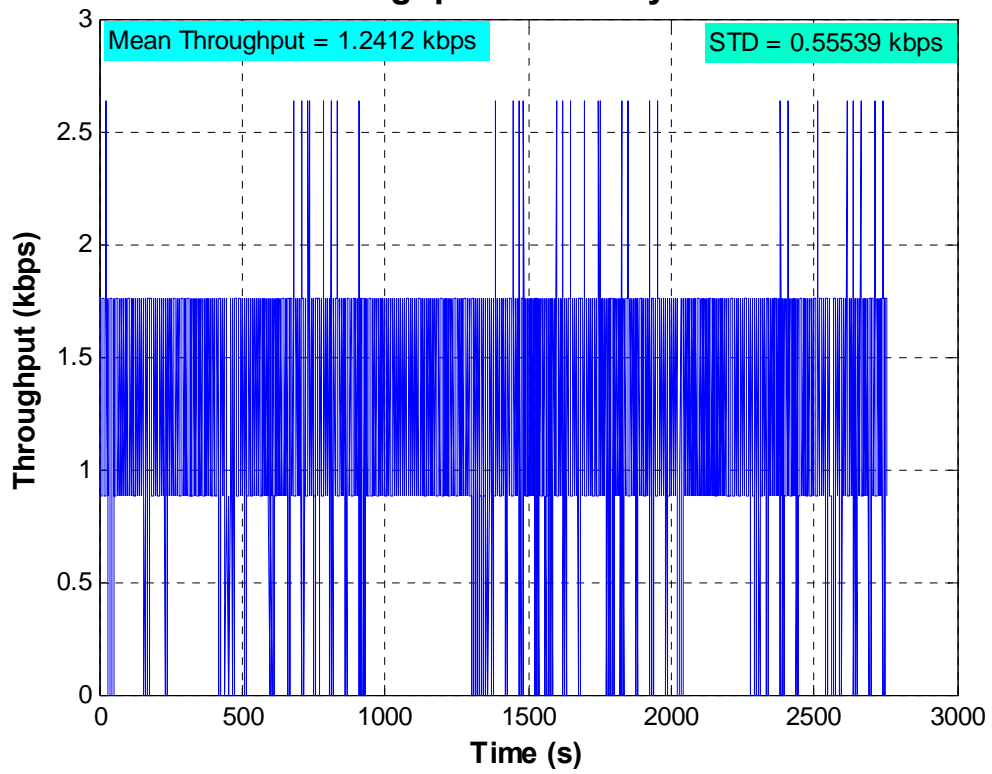




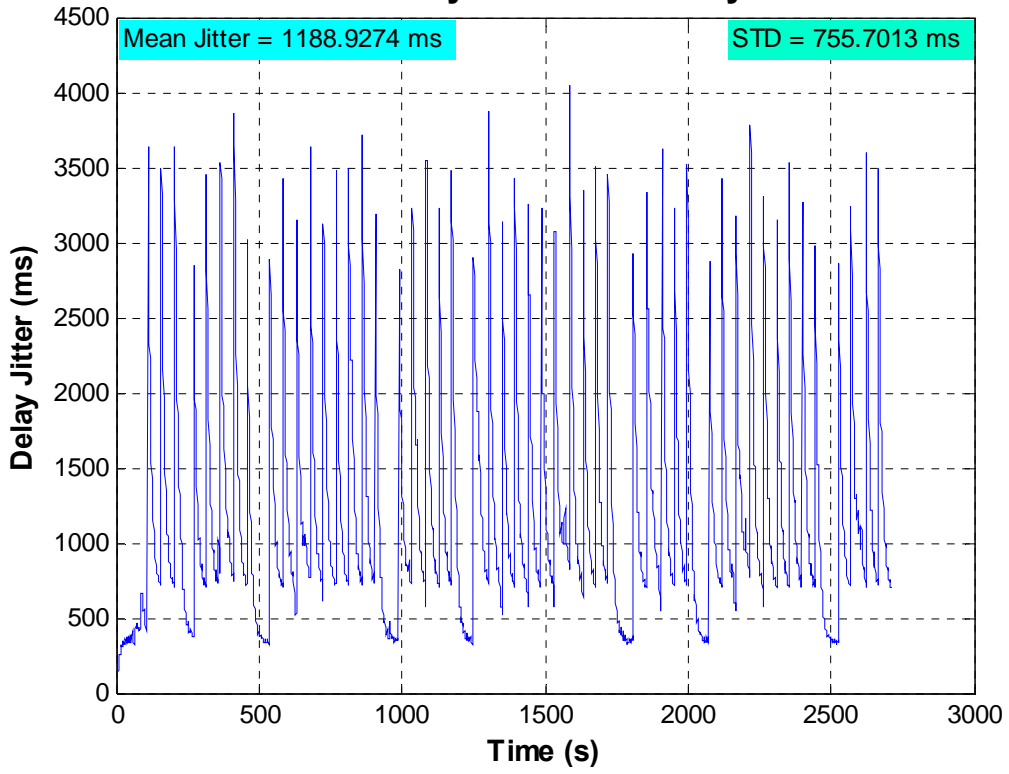
### UDP Packet Delay Jitter for 110 byte Packets



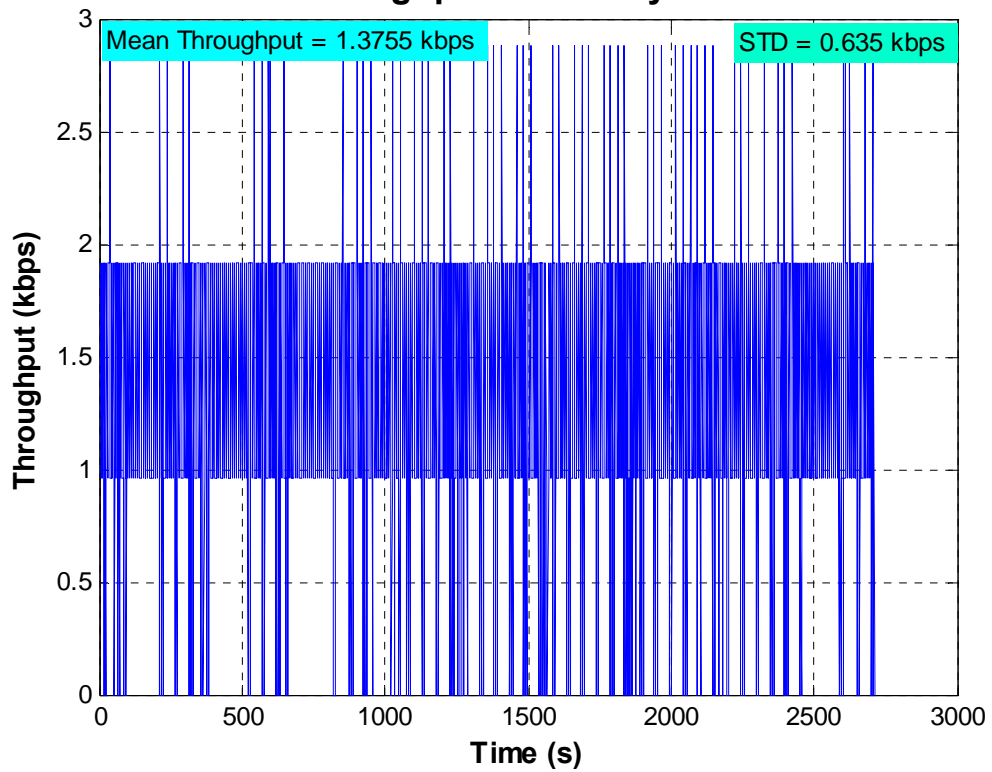
### UDP Throughput for 110 byte Packets

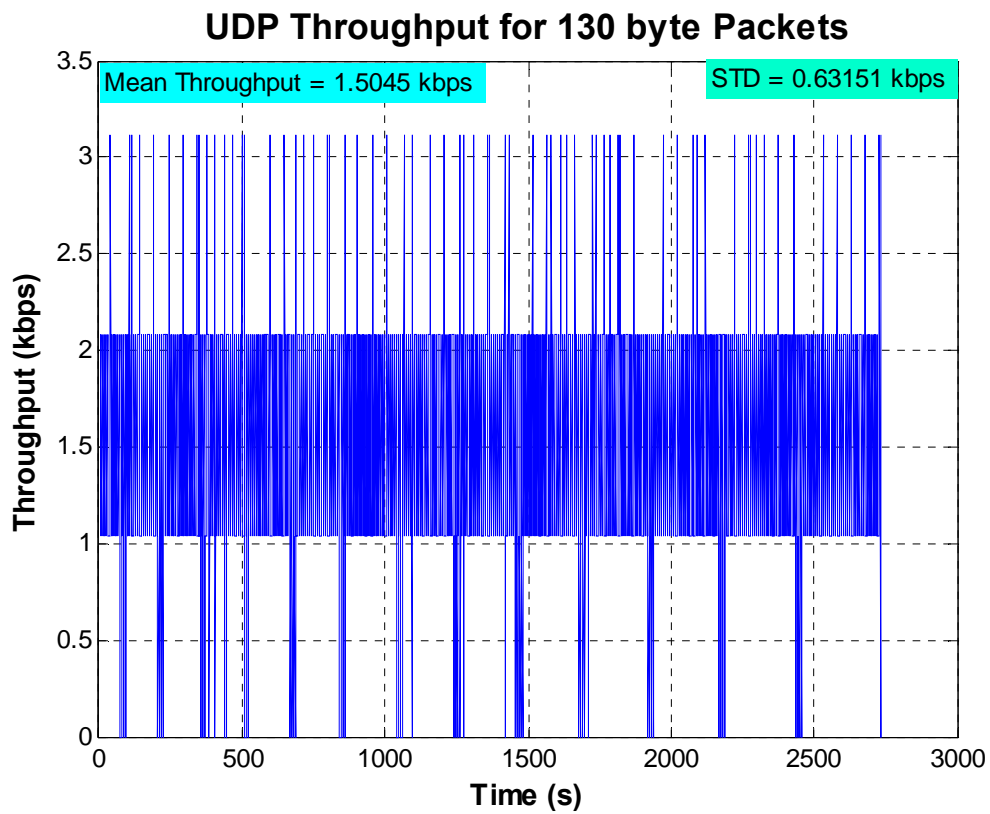
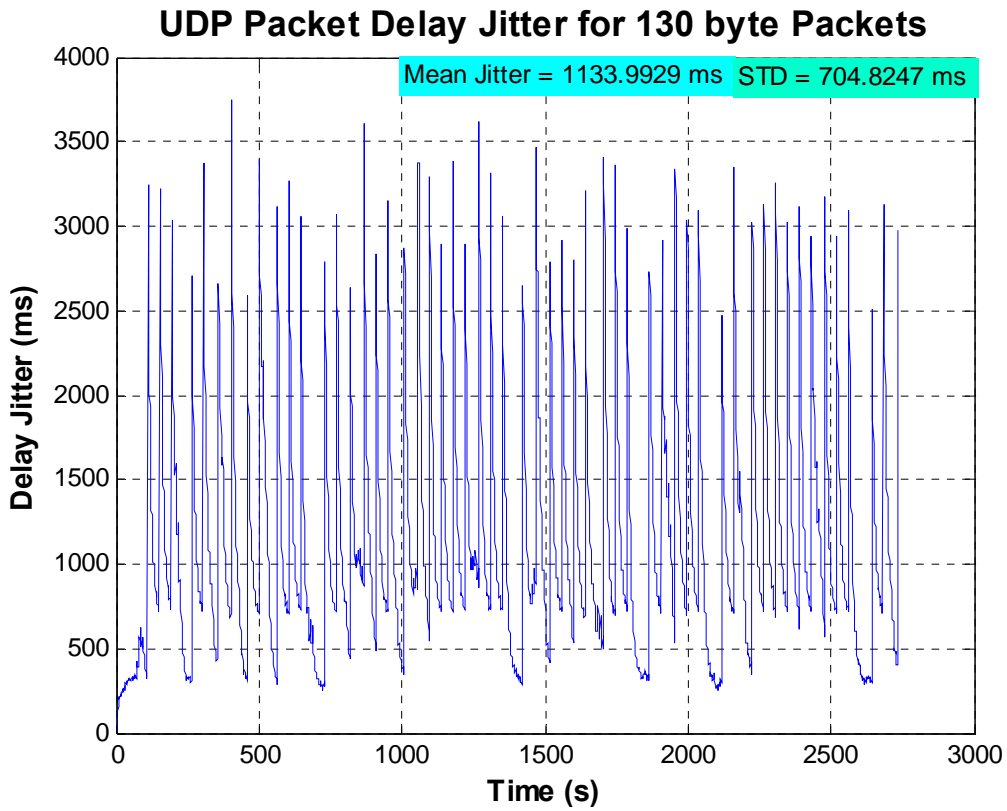


### UDP Packet Delay Jitter for 120 byte Packets



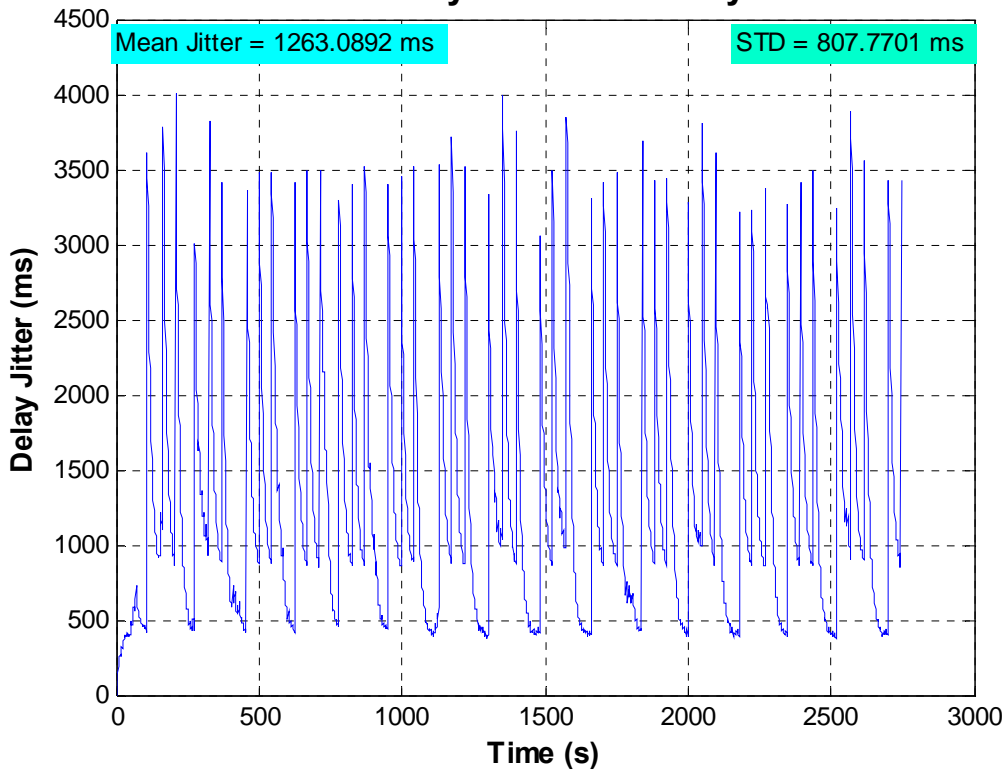
### UDP Throughput for 120 byte Packets



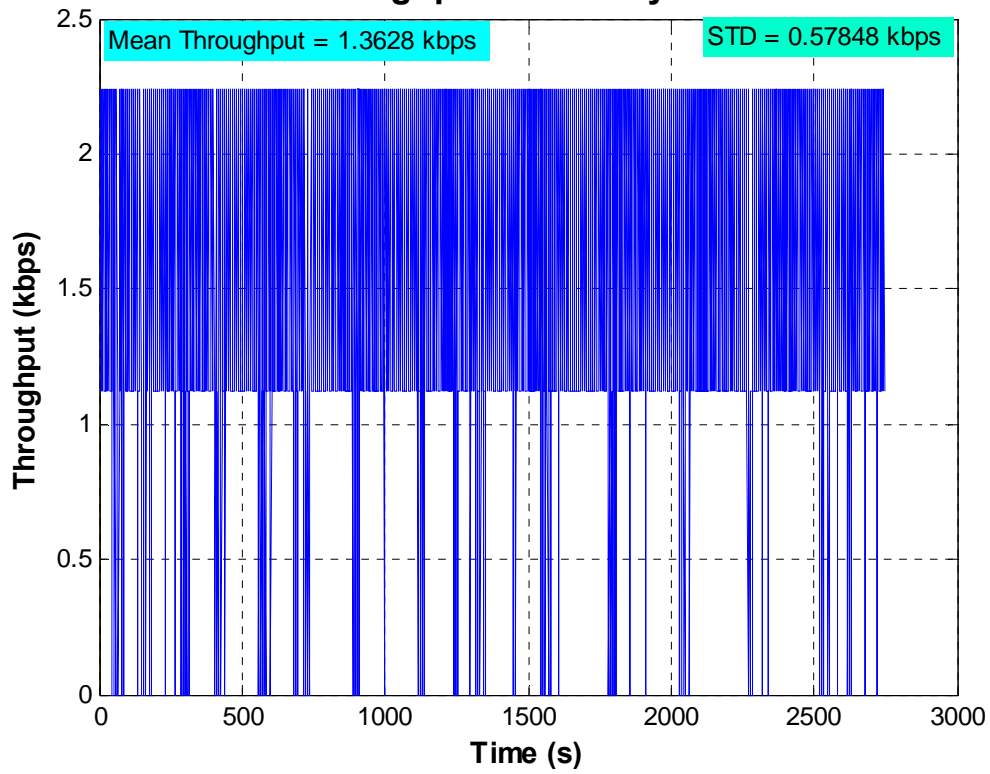


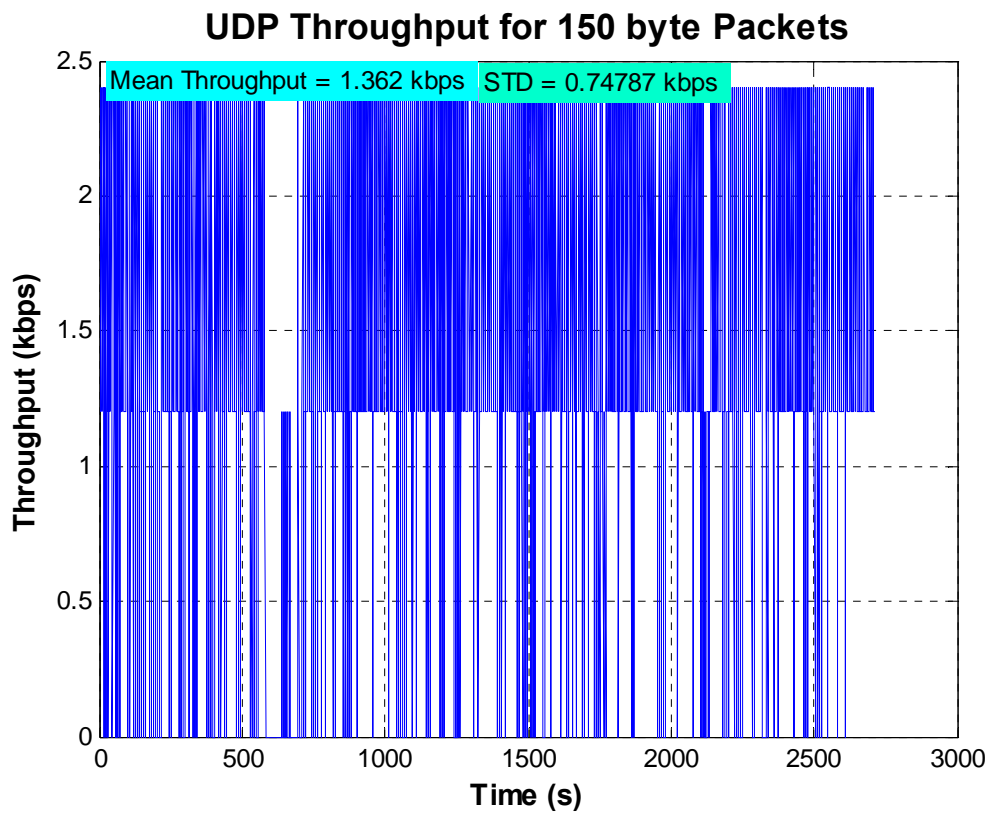
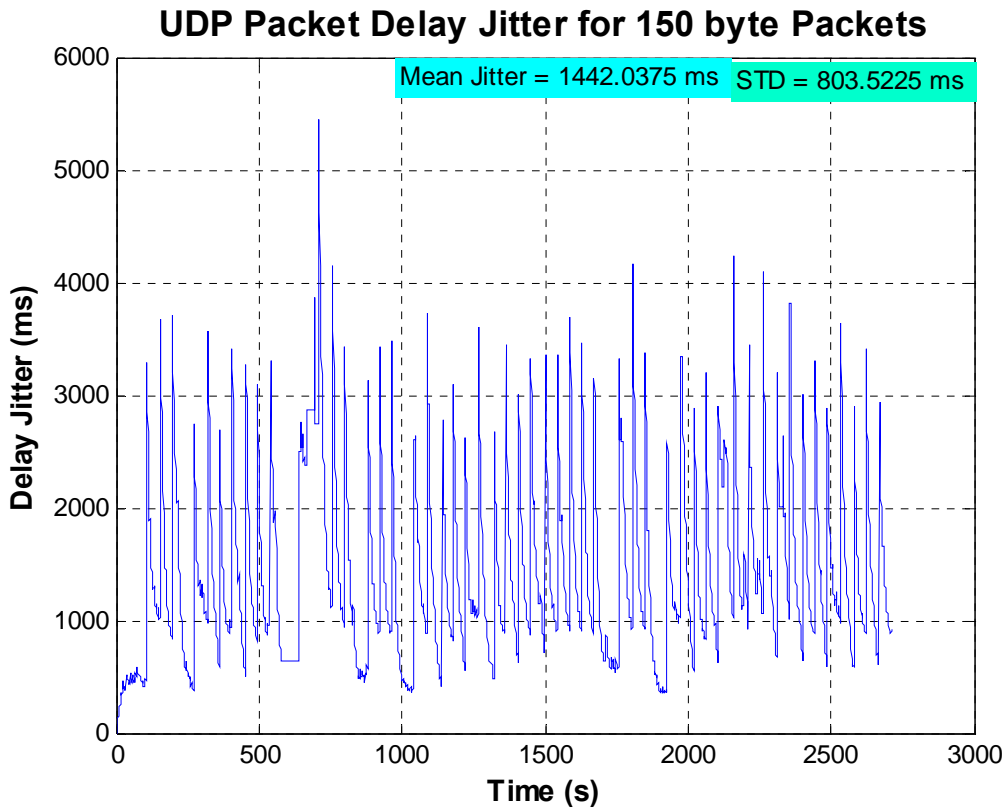


### UDP Packet Delay Jitter for 140 byte Packets

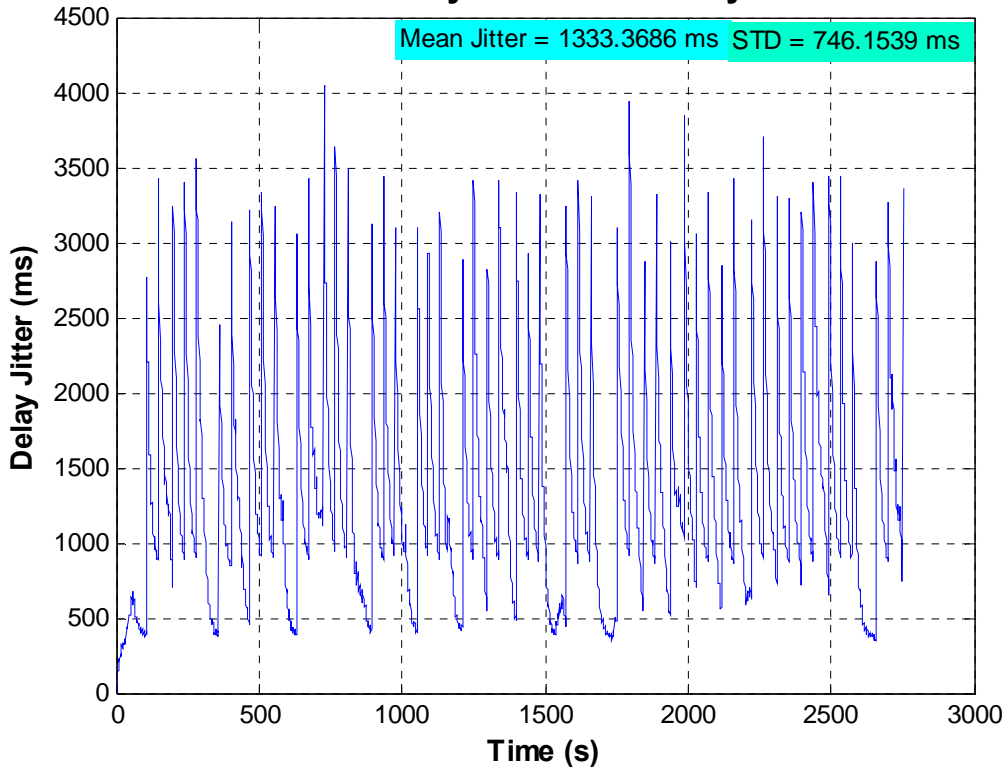


### UDP Throughput for 140 byte Packets

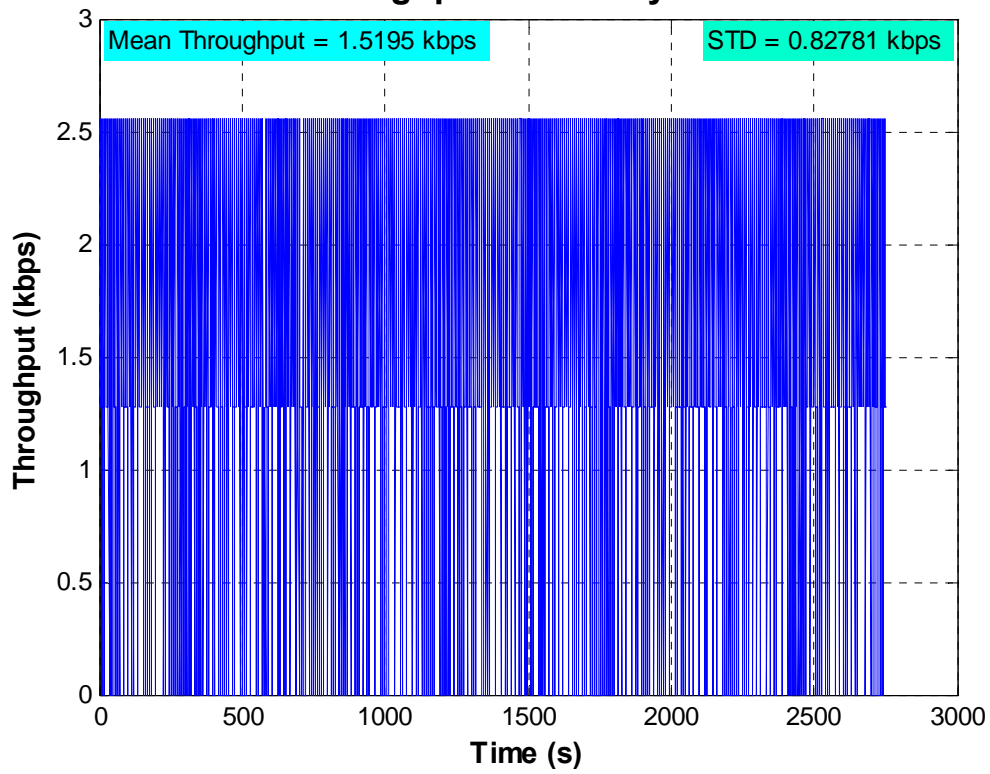




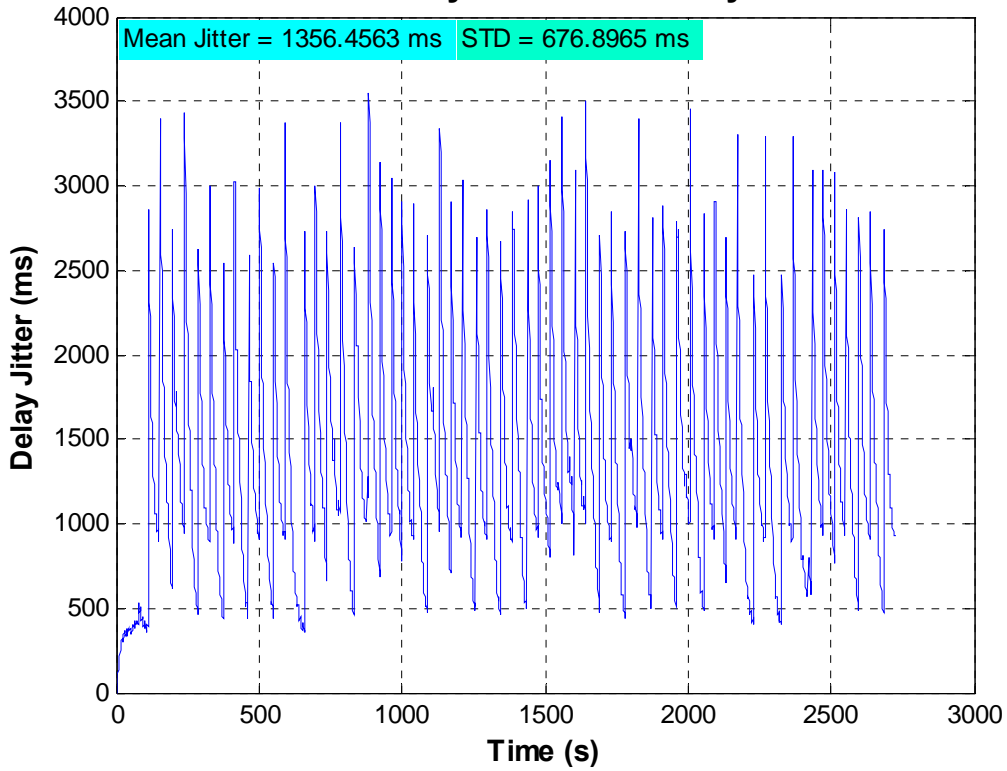
### UDP Packet Delay Jitter for 160 byte Packets



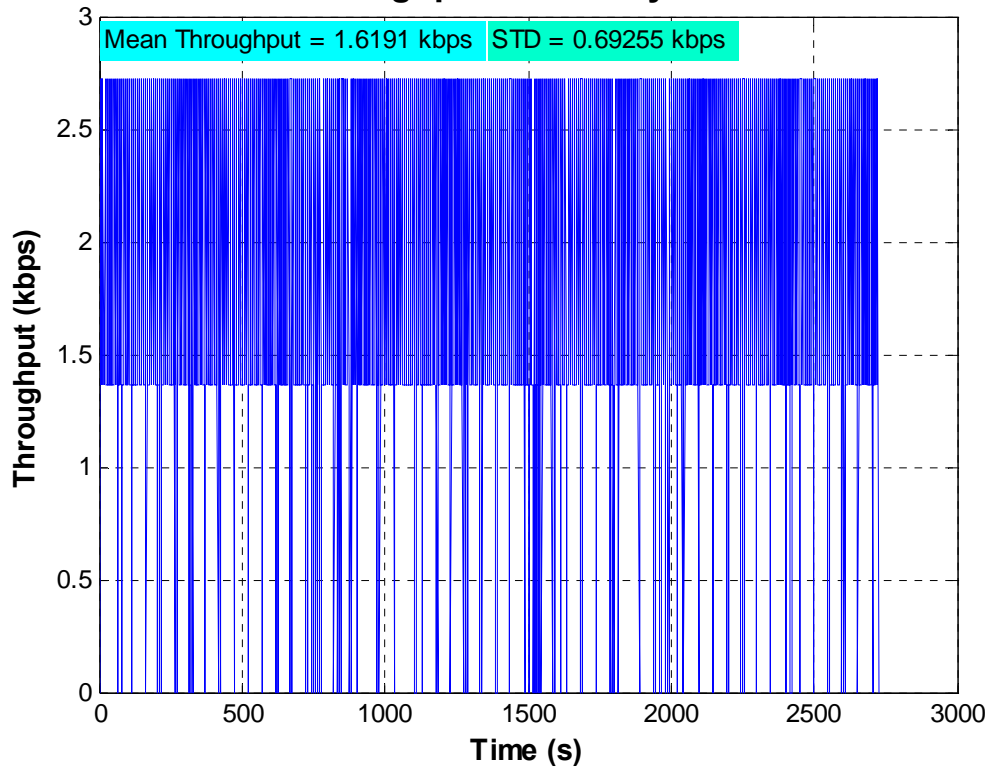
### UDP Throughput for 160 byte Packets



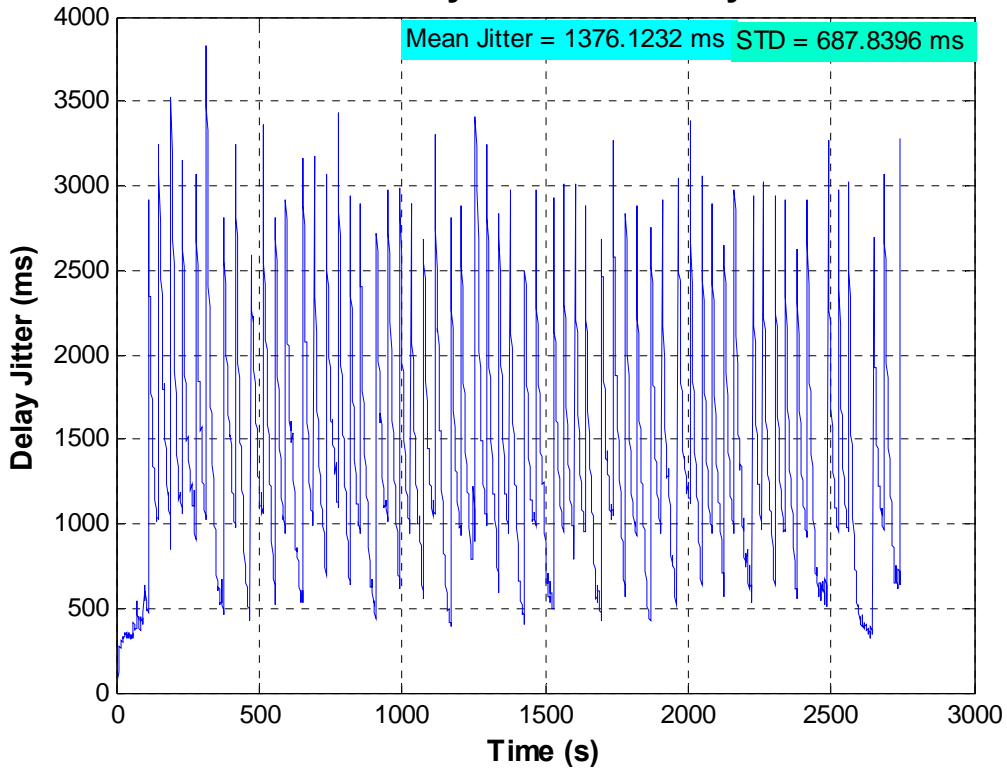
### UDP Packet Delay Jitter for 170 byte Packets



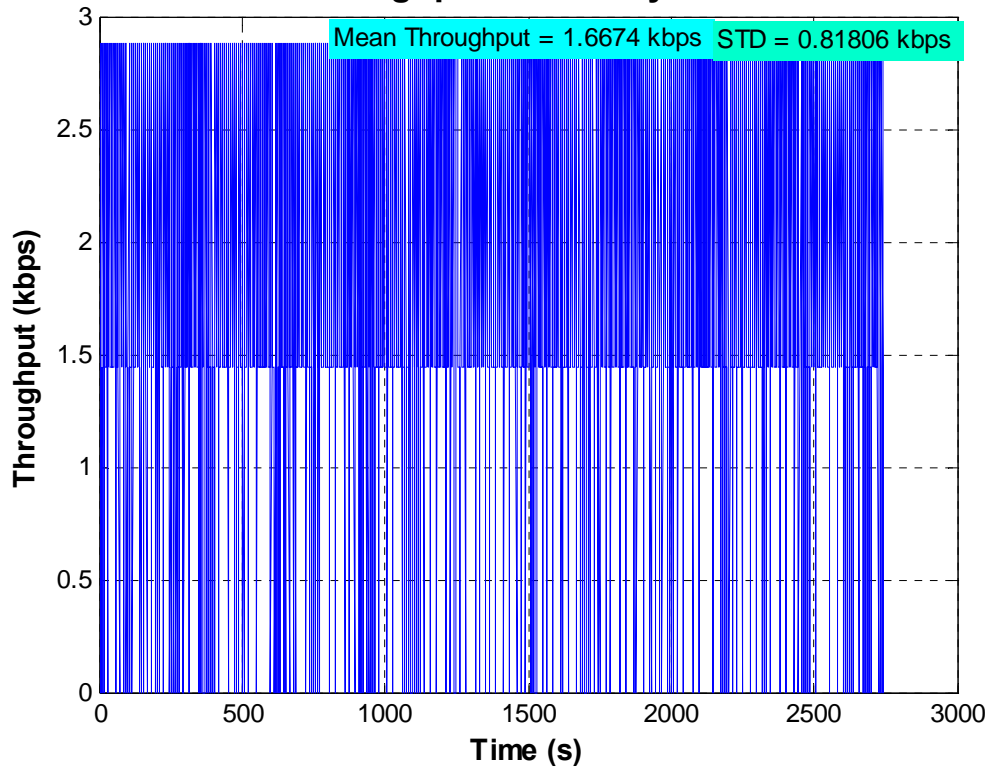
### UDP Throughput for 170 byte Packets

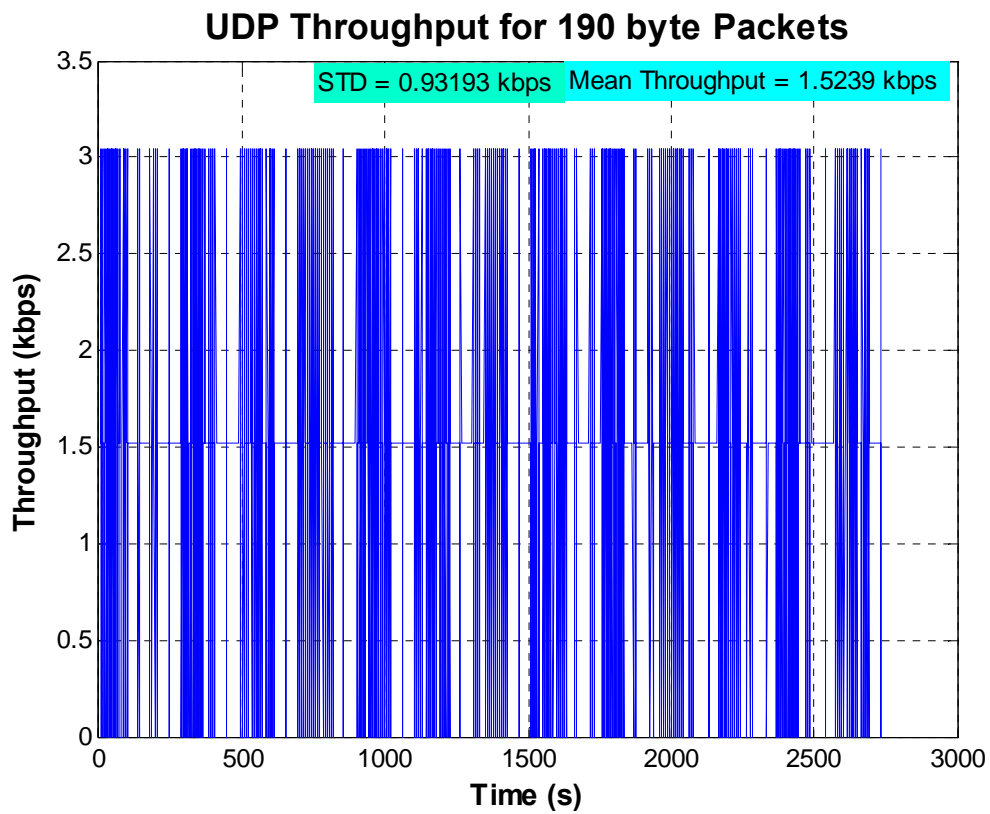
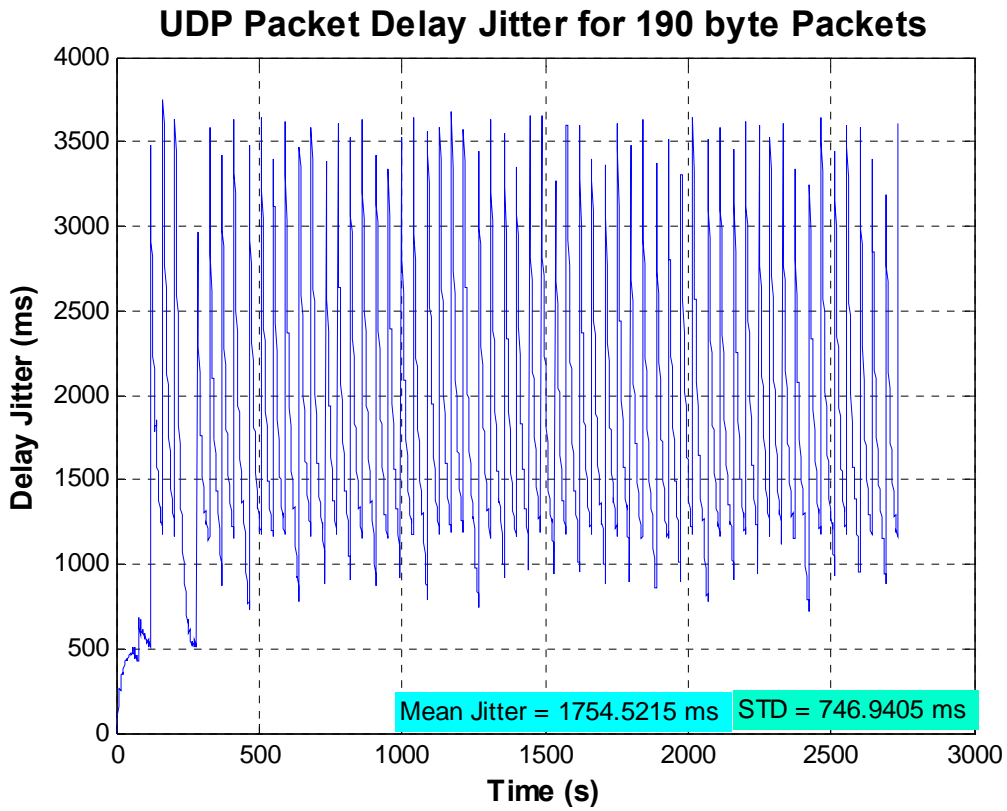


### UDP Packet Delay Jitter for 180 byte Packets

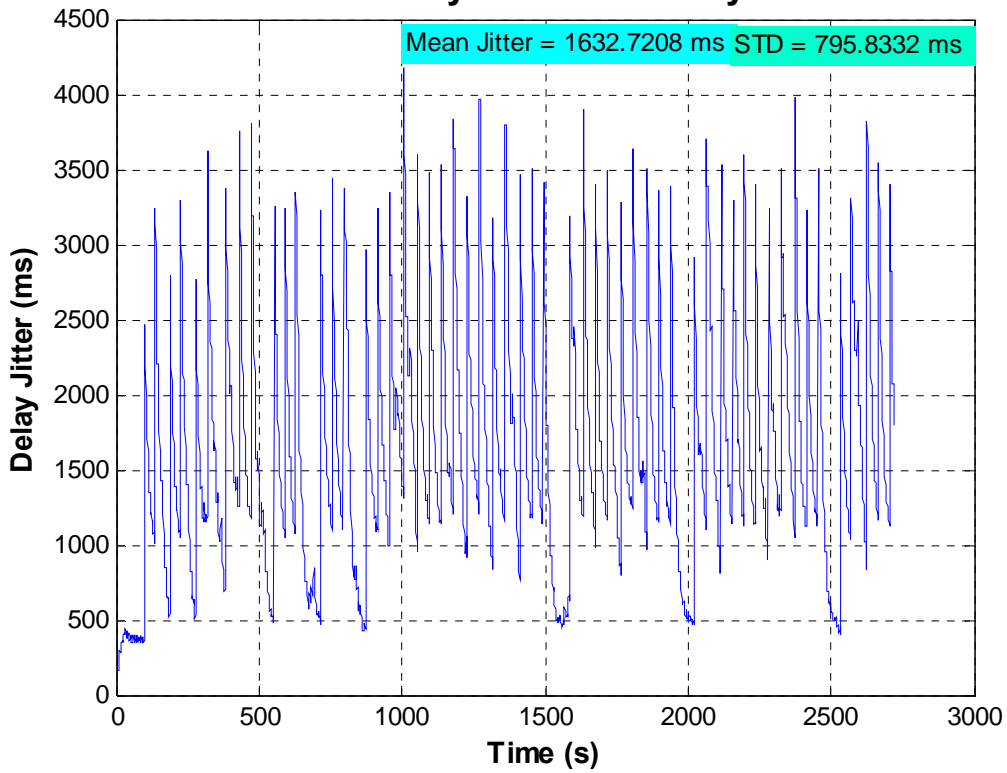


### UDP Throughput for 180 byte Packets

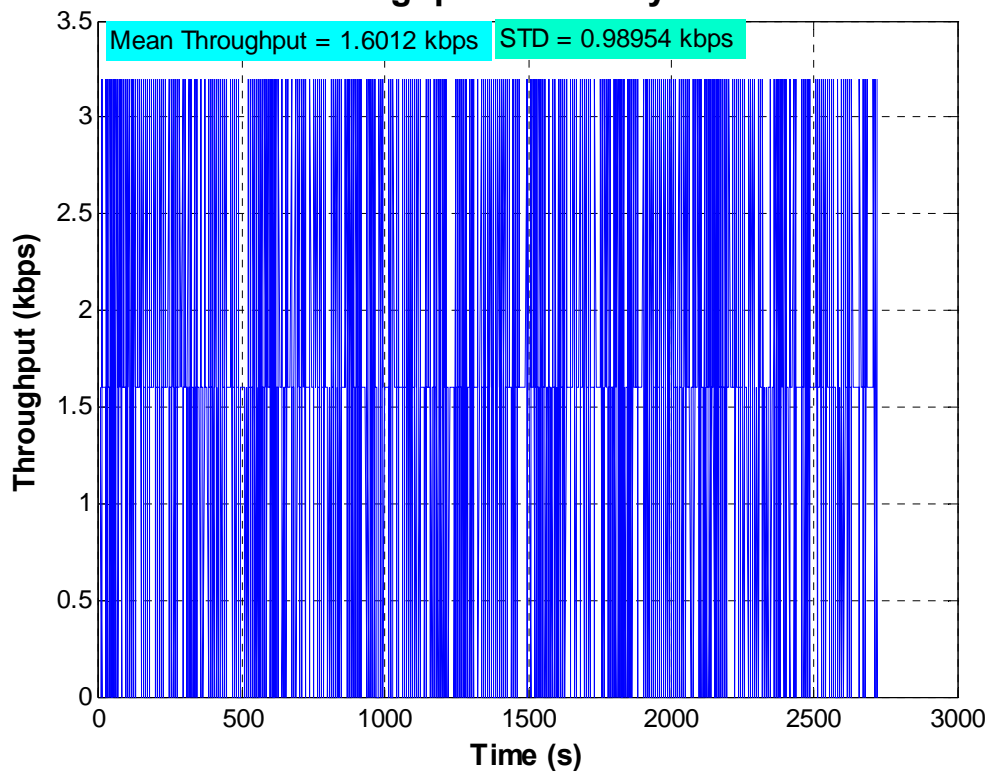


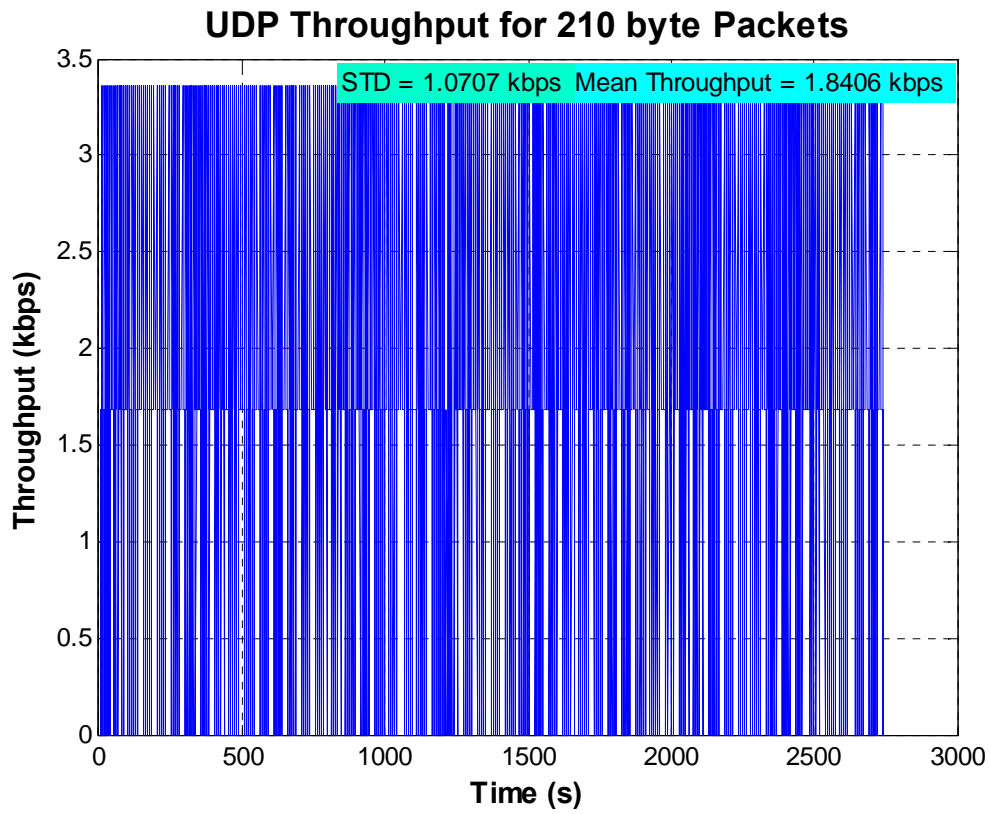
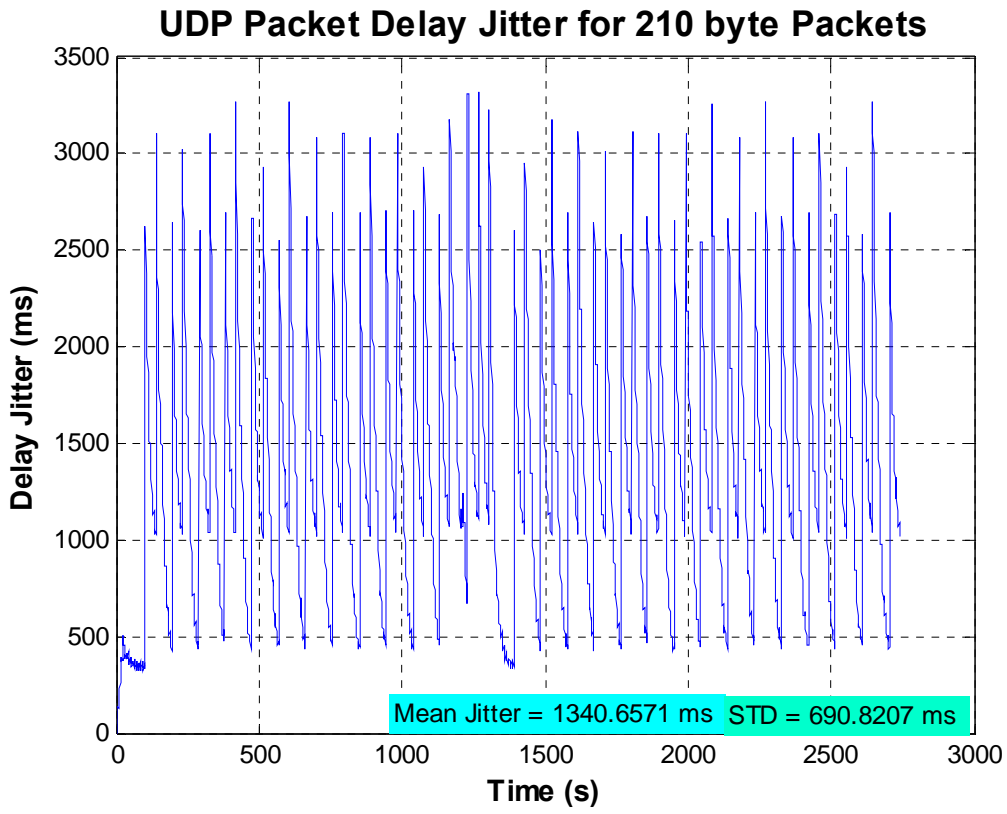


### UDP Packet Delay Jitter for 200 byte Packets

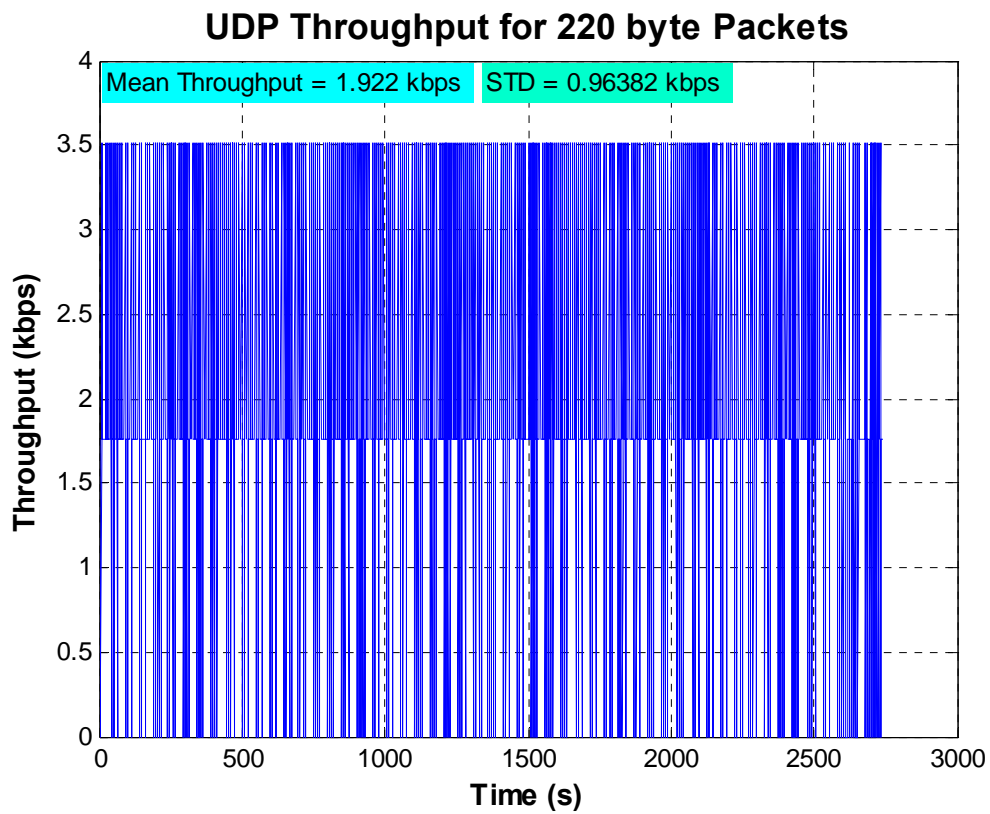
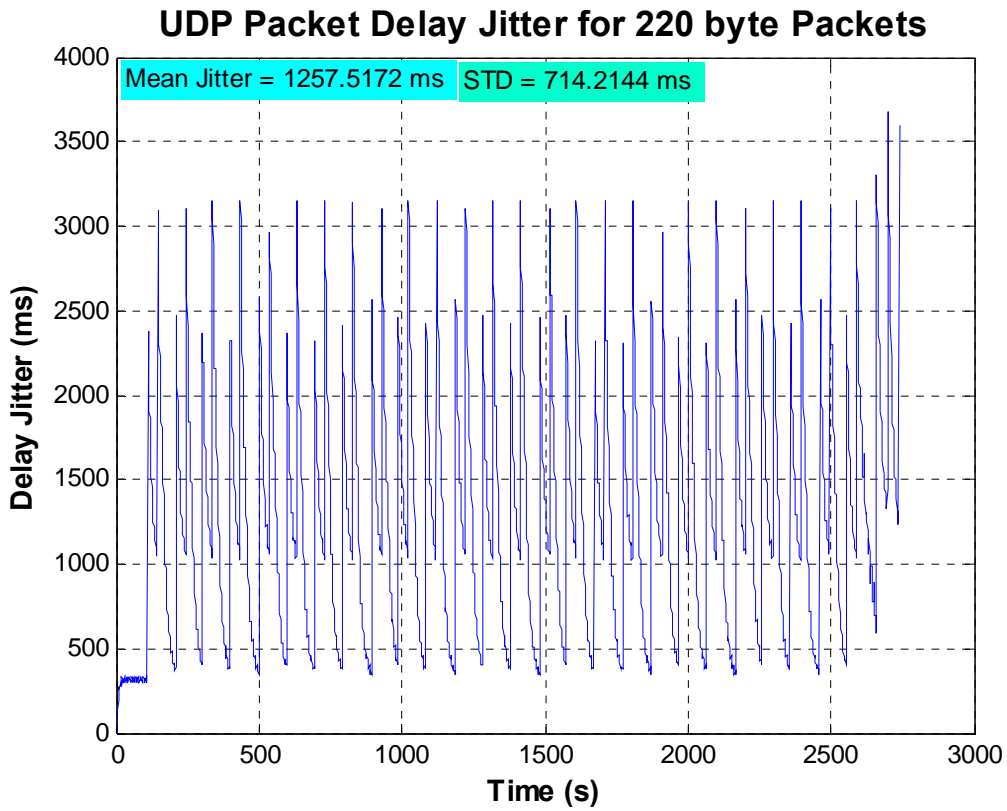


### UDP Throughput for 200 byte Packets

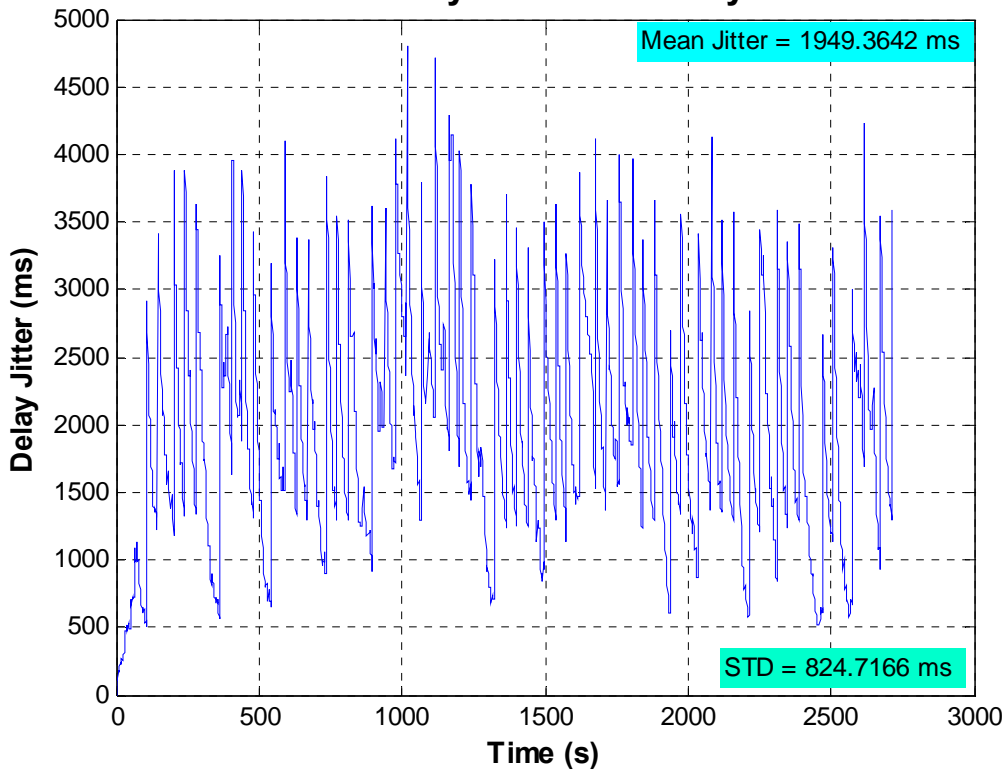




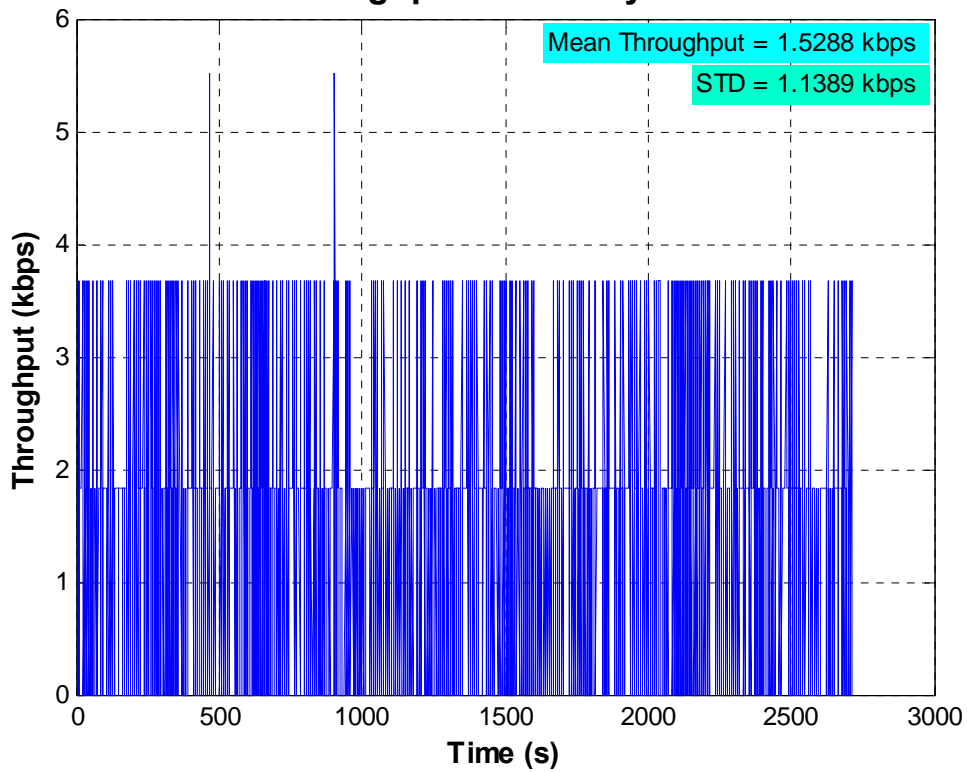




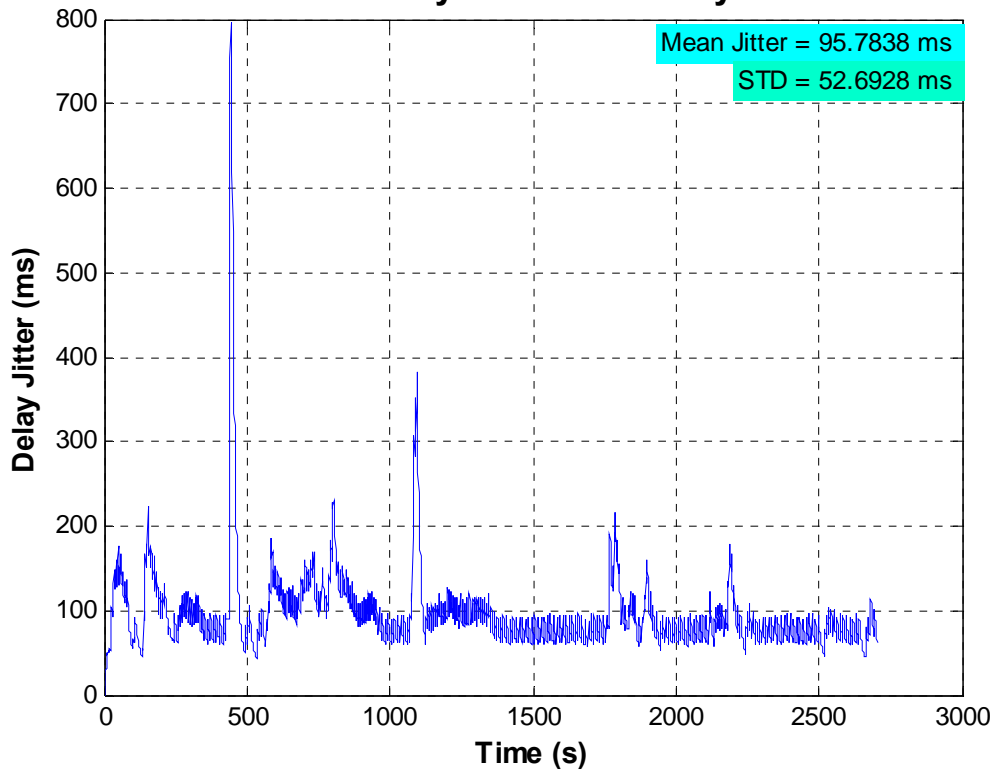
### UDP Packet Delay Jitter for 230 byte Packets



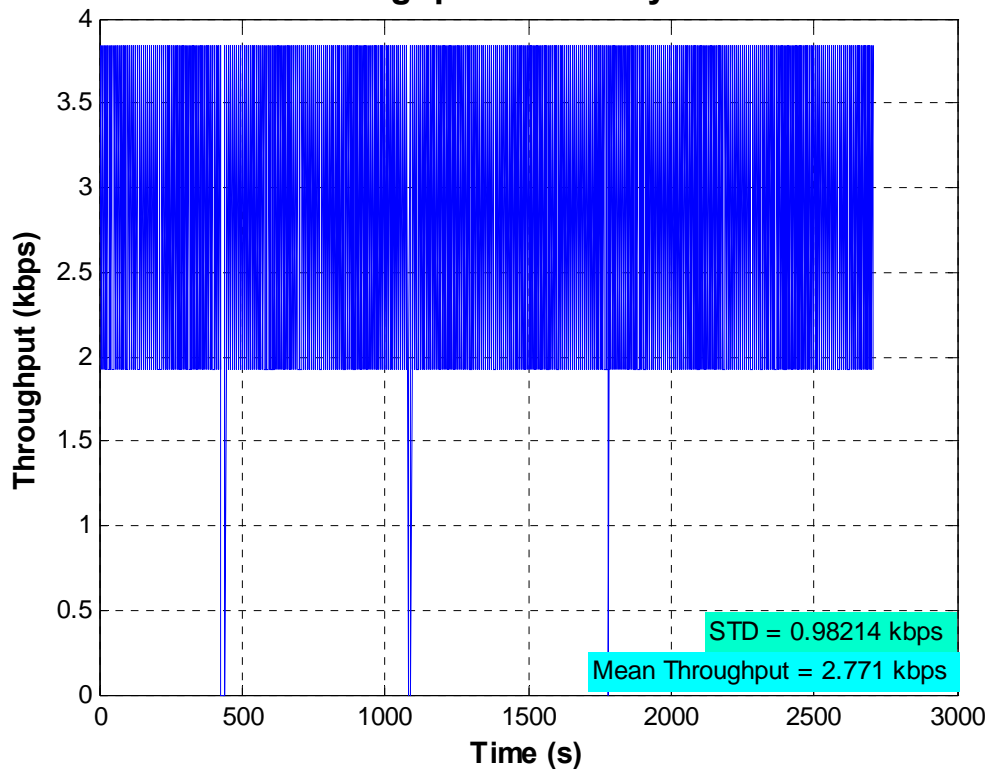
### UDP Throughput for 230 byte Packets



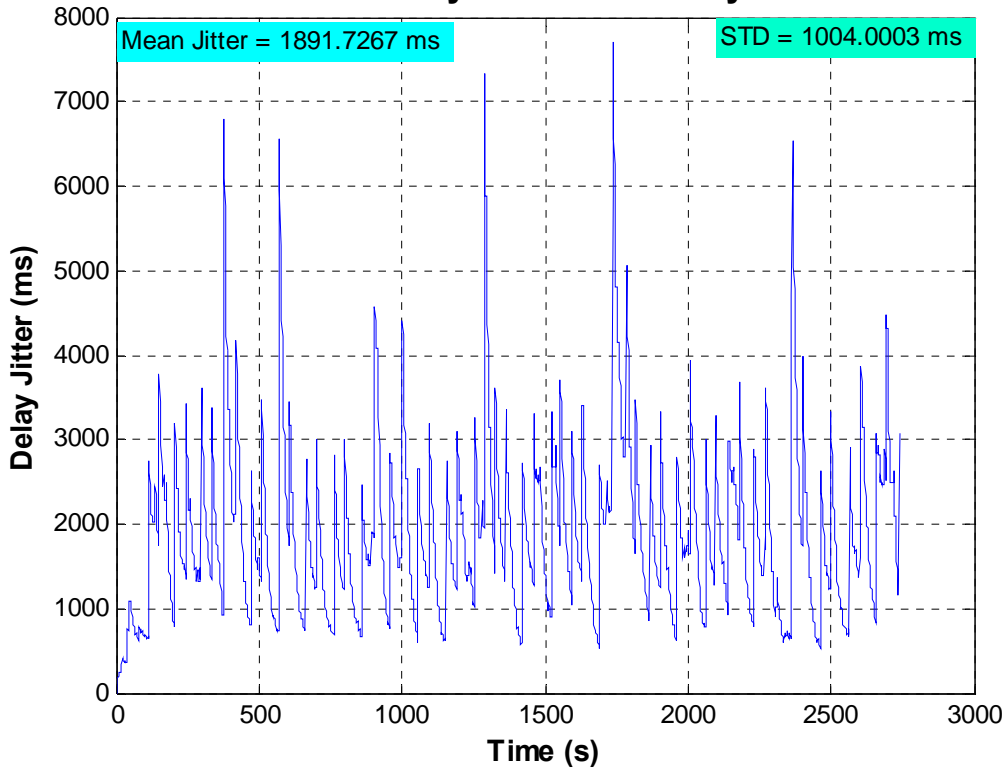
### UDP Packet Delay Jitter for 240 byte Packets



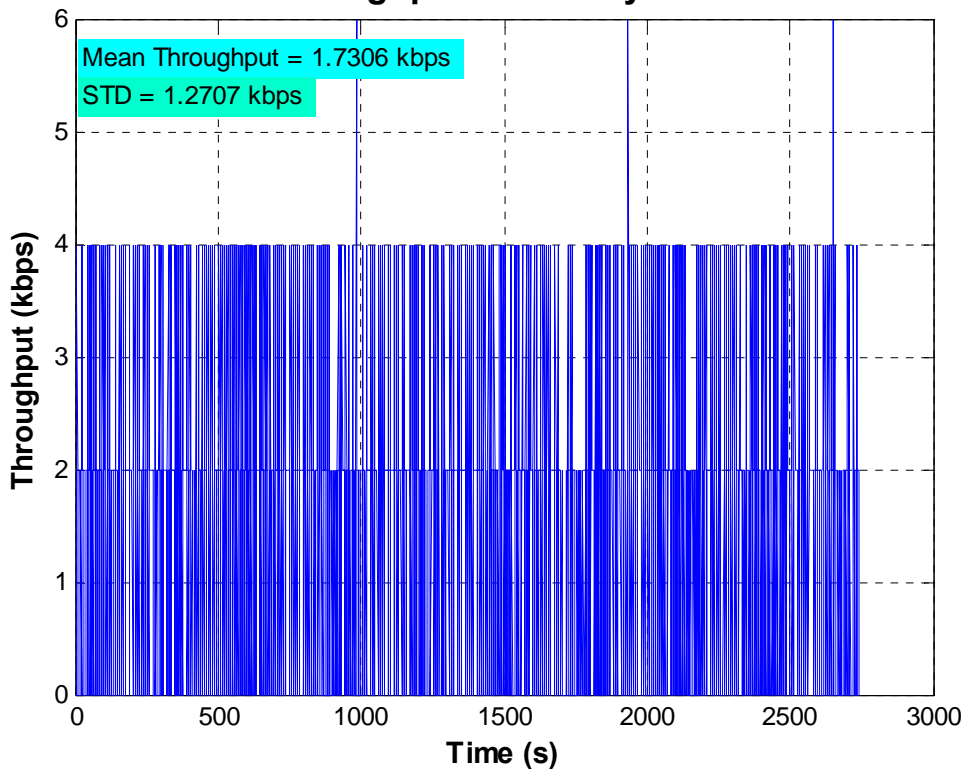
### UDP Throughput for 240 byte Packets



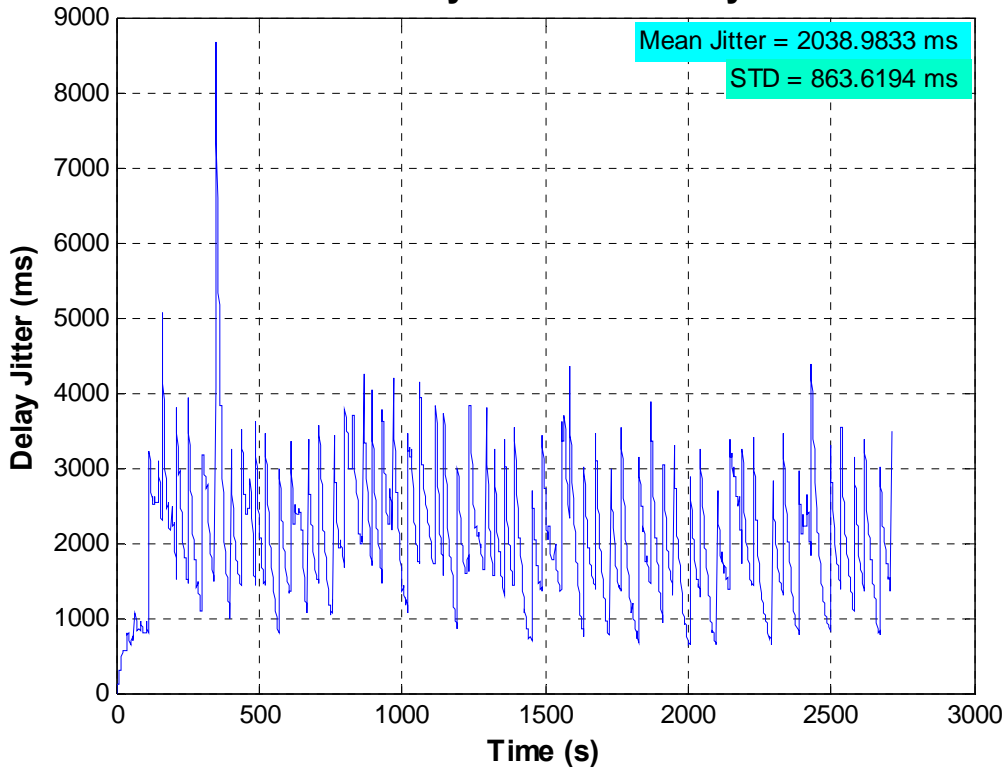
### UDP Packet Delay Jitter for 250 byte Packets



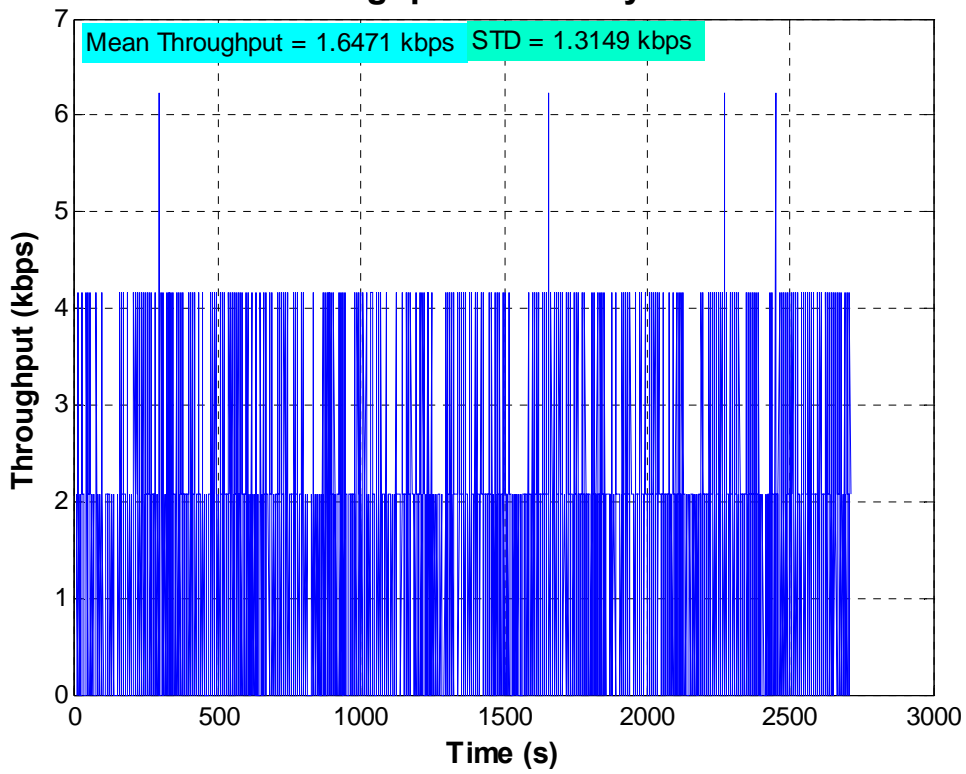
### UDP Throughput for 250 byte Packets

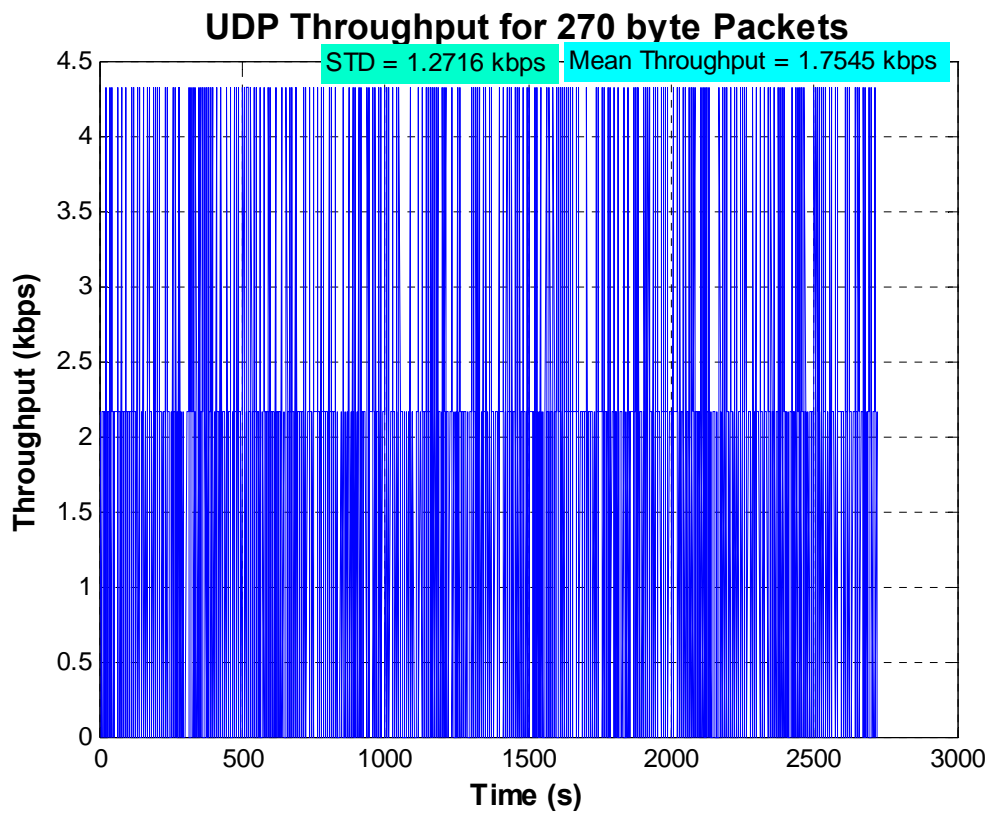
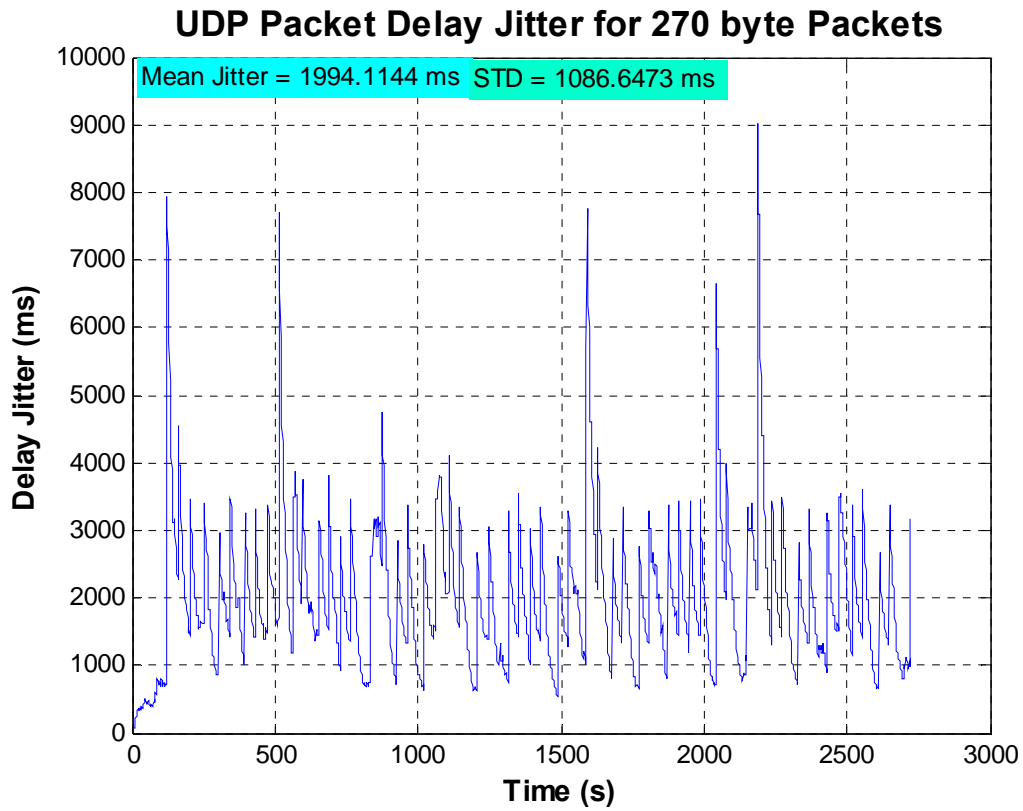


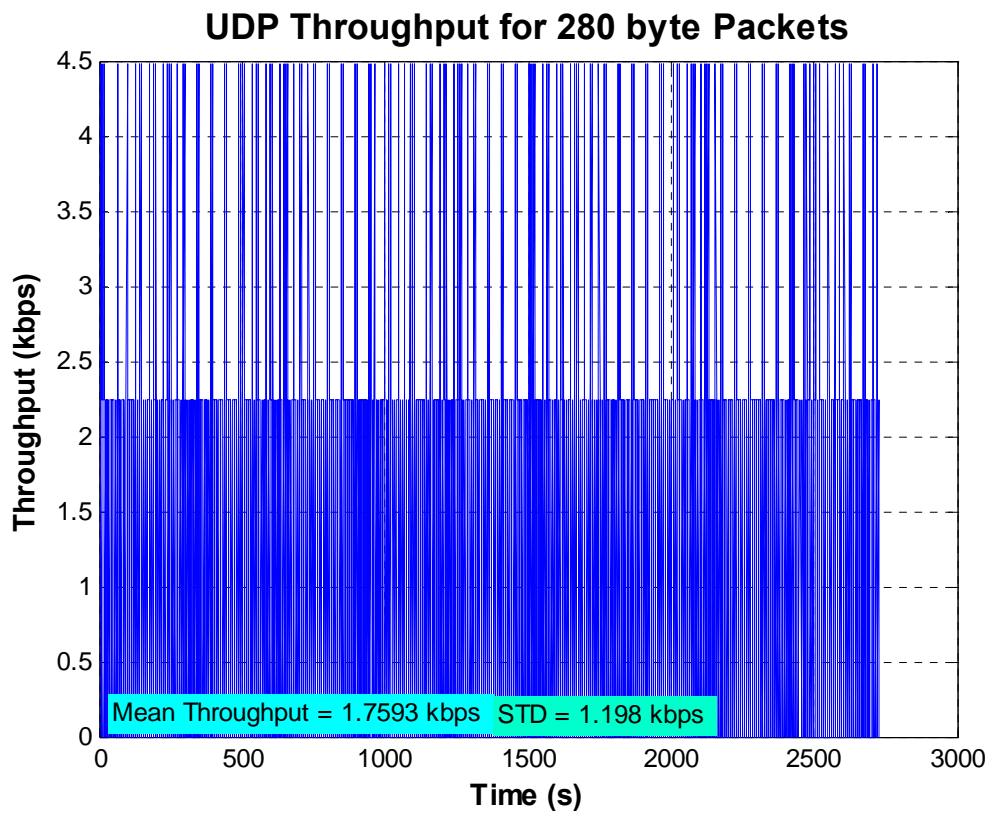
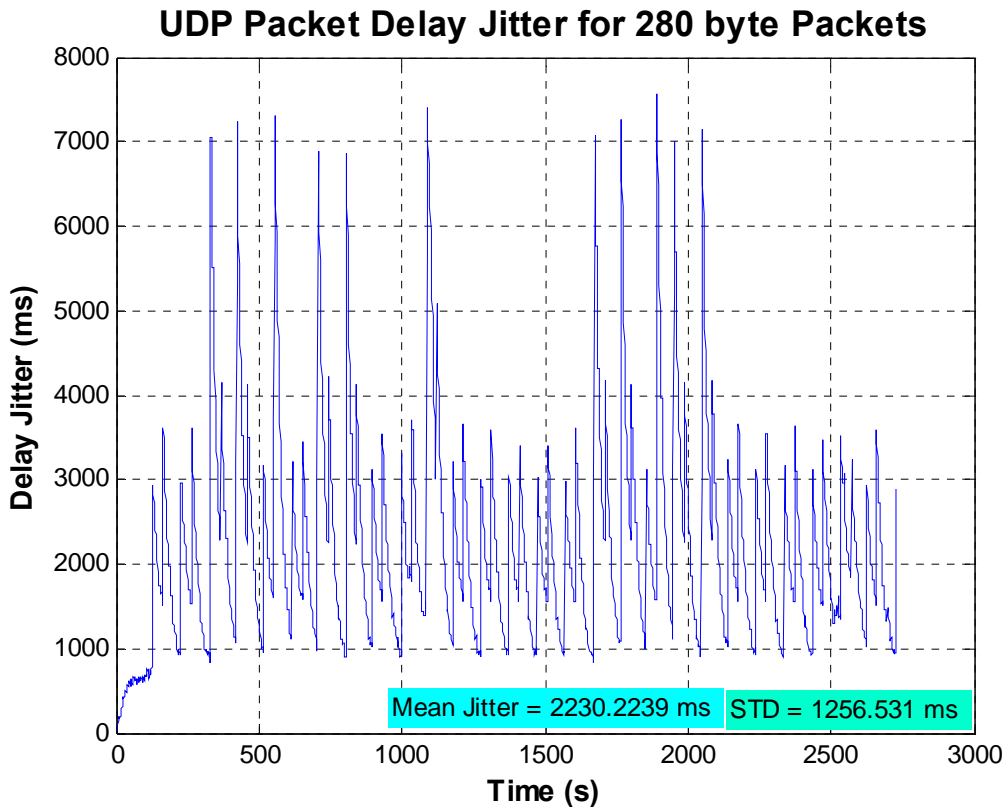
### UDP Packet Delay Jitter for 260 byte Packets

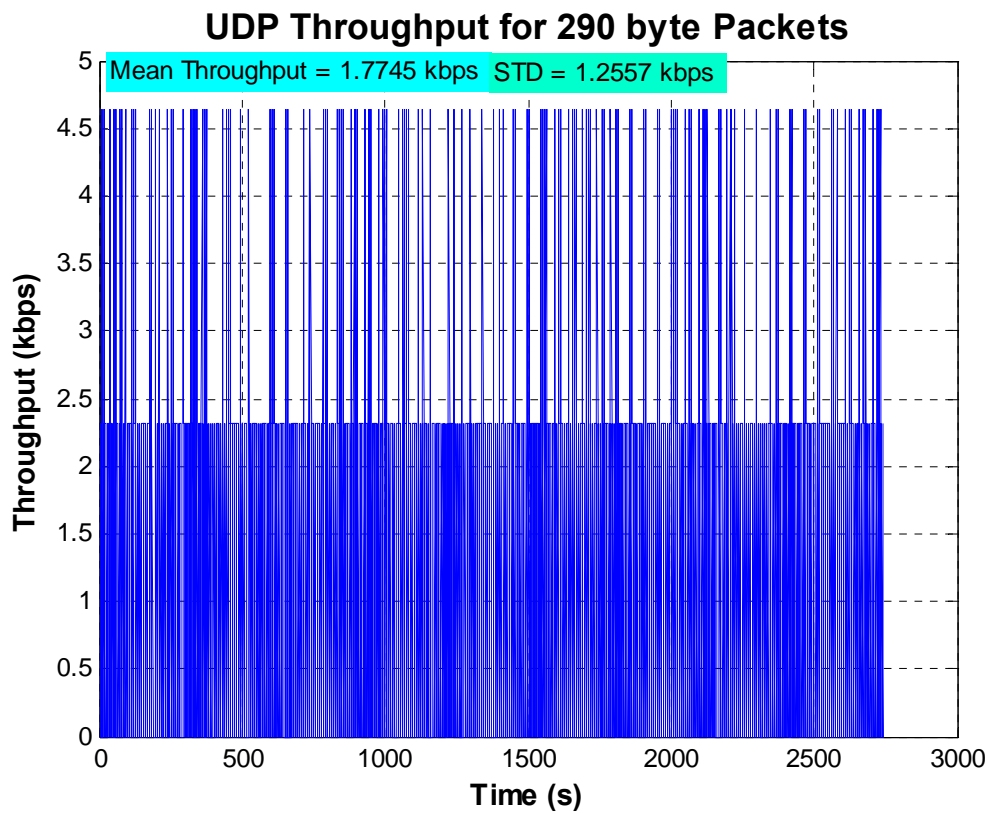
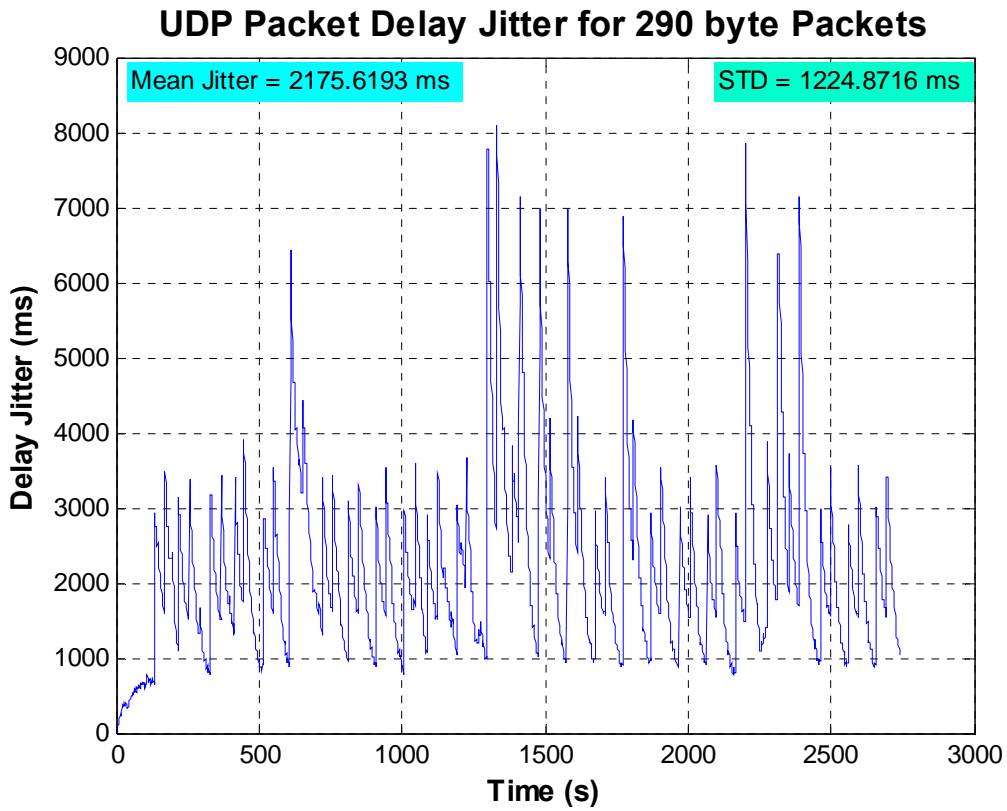


### UDP Throughput for 260 byte Packets

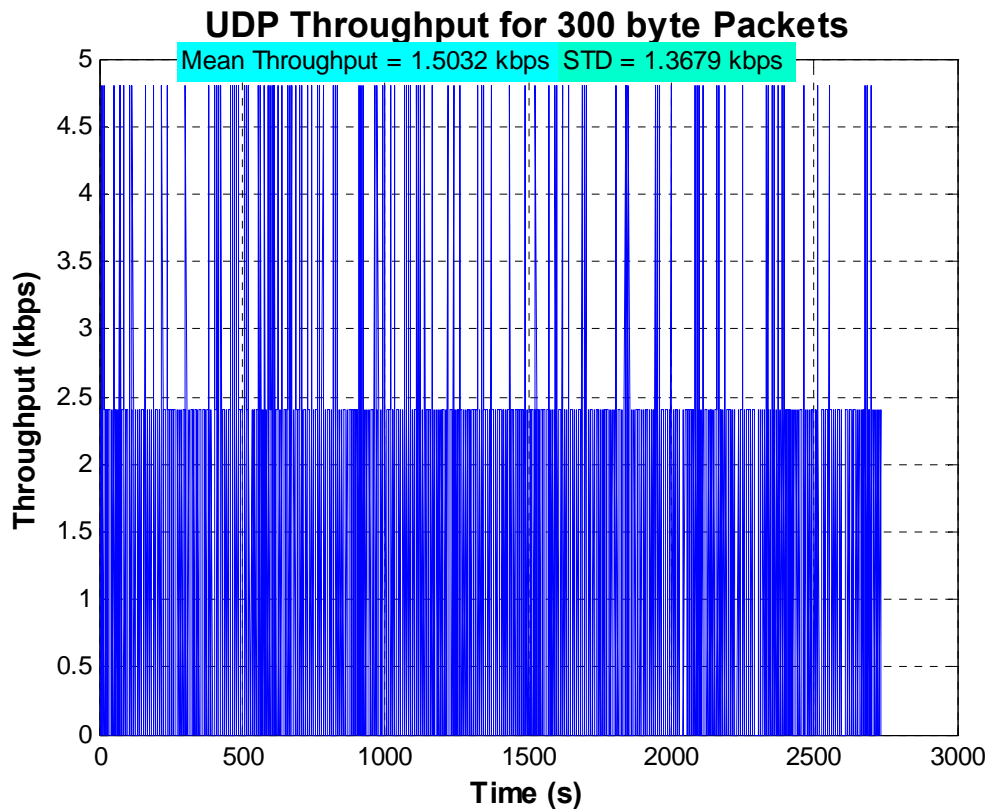
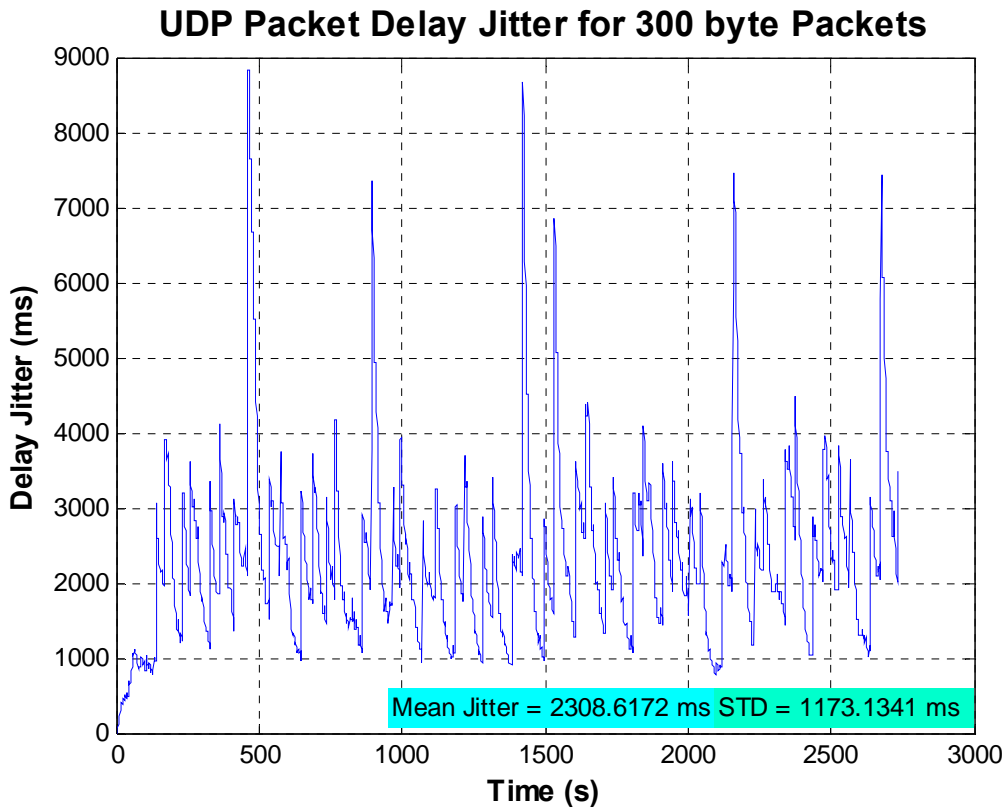




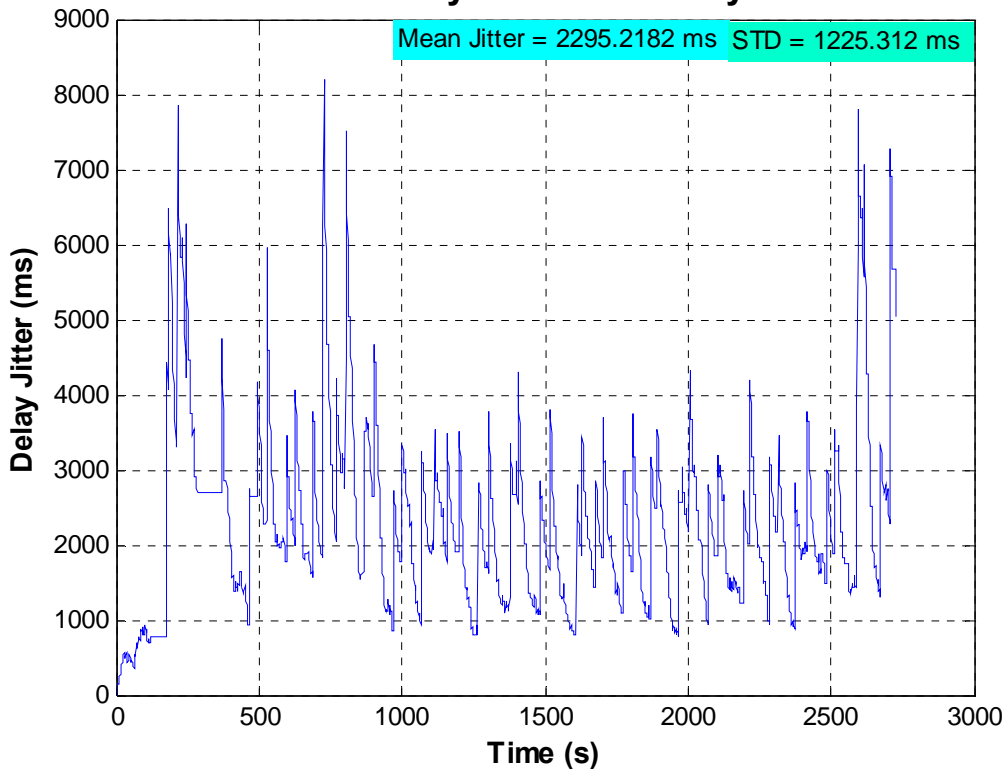




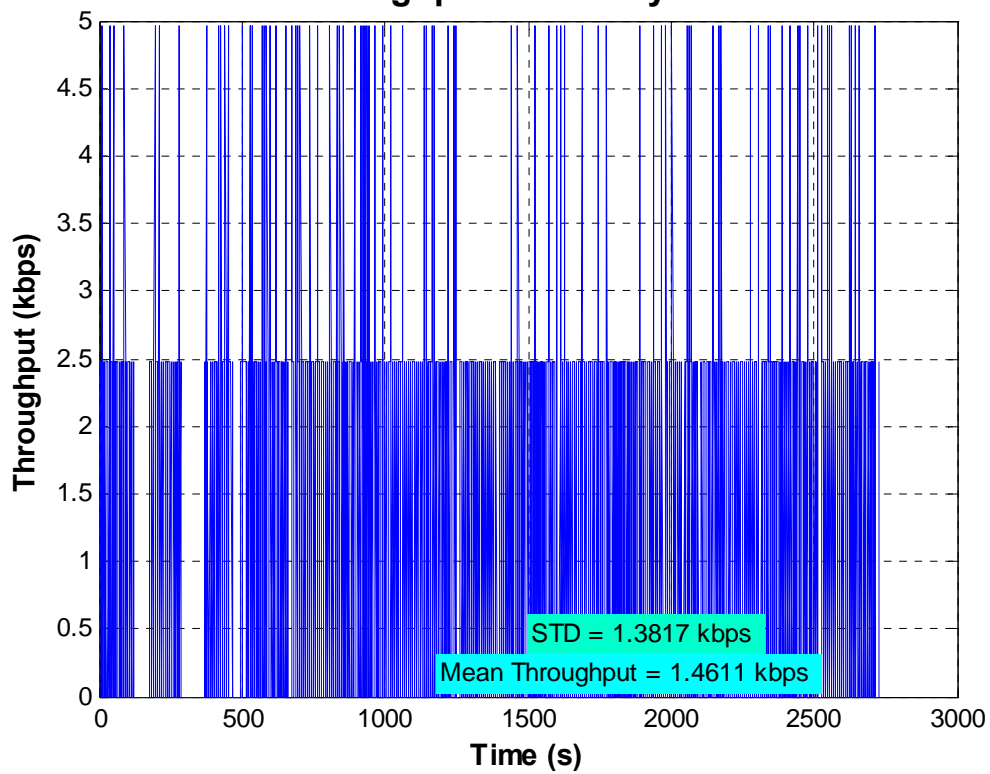




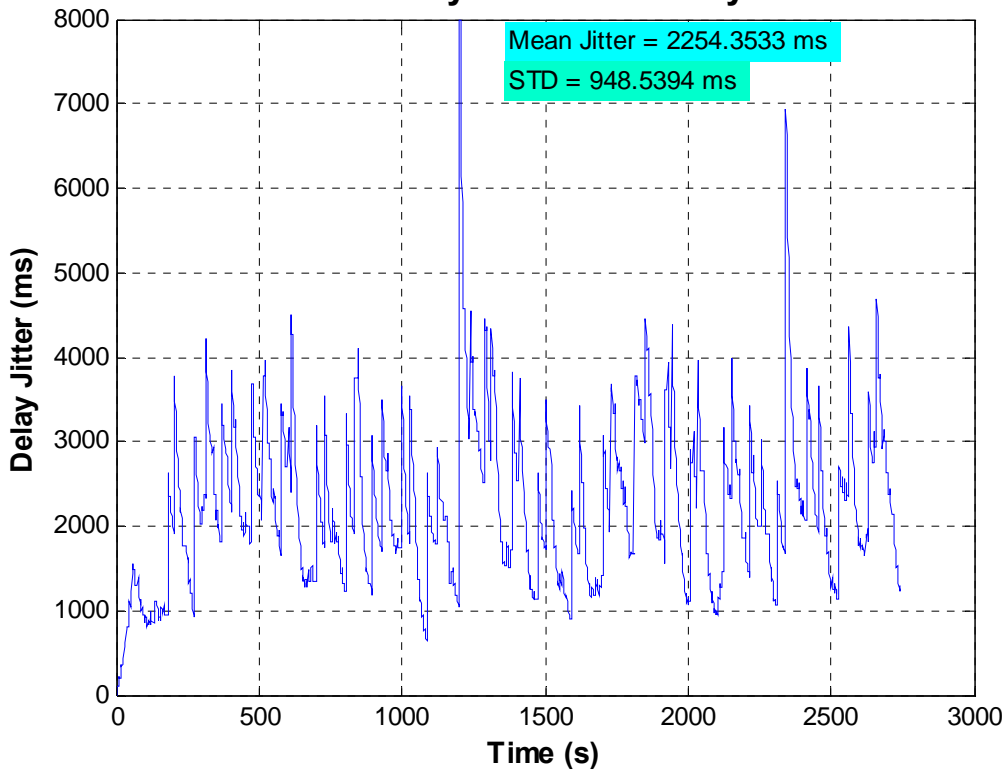
### UDP Packet Delay Jitter for 310 byte Packets



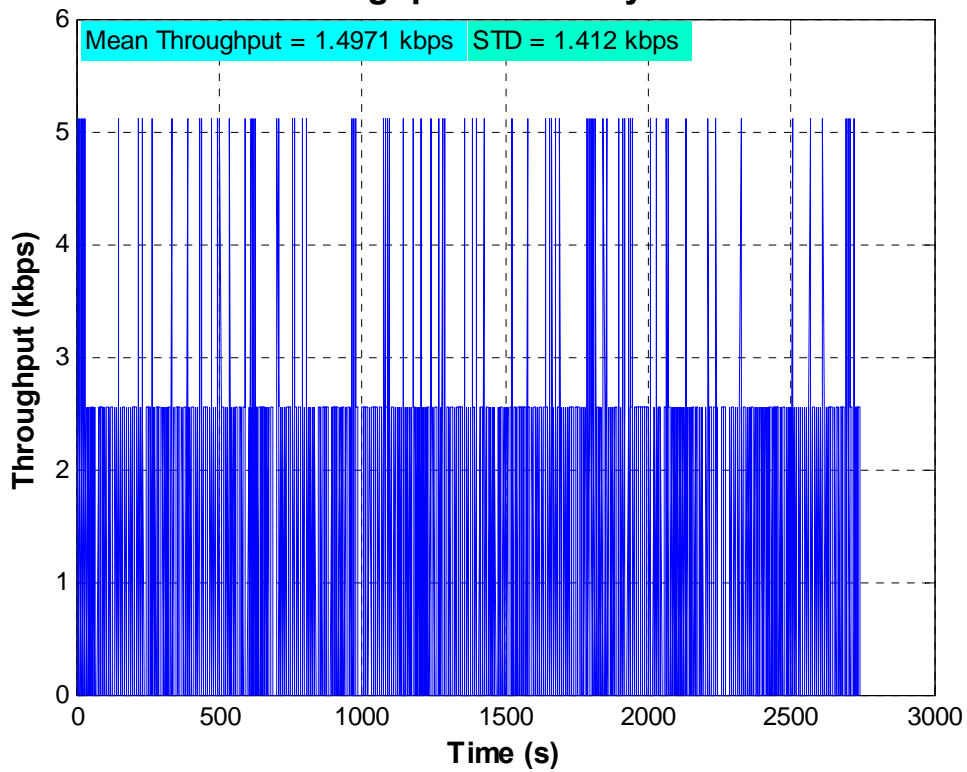
### UDP Throughput for 310 byte Packets

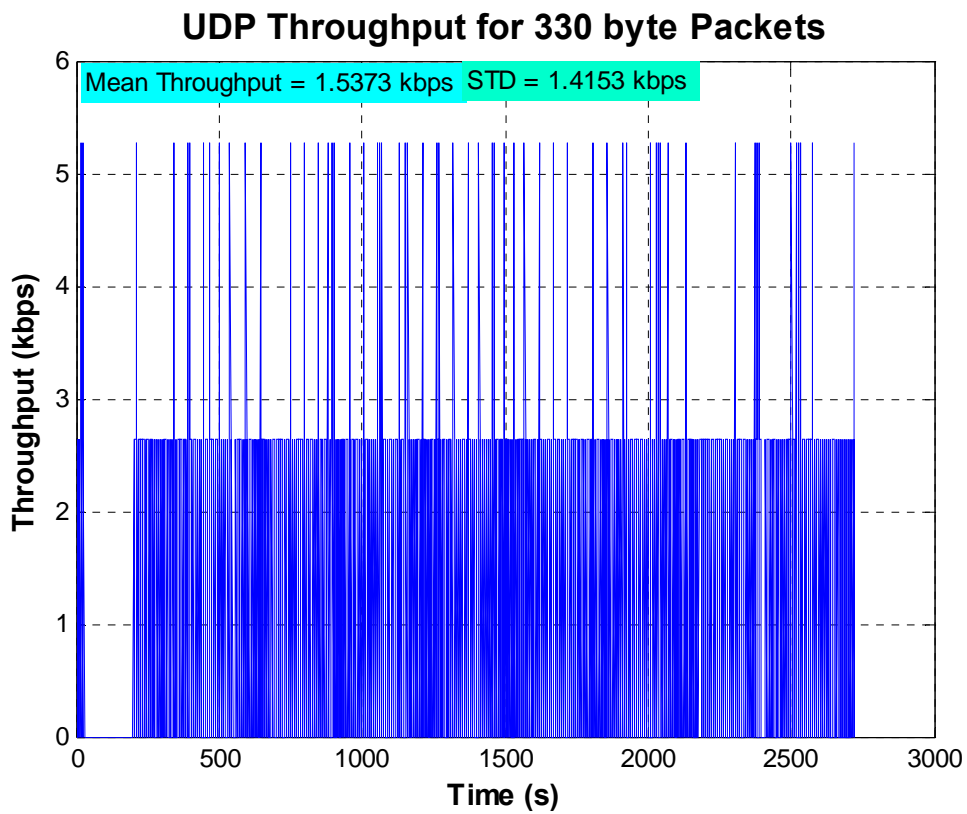
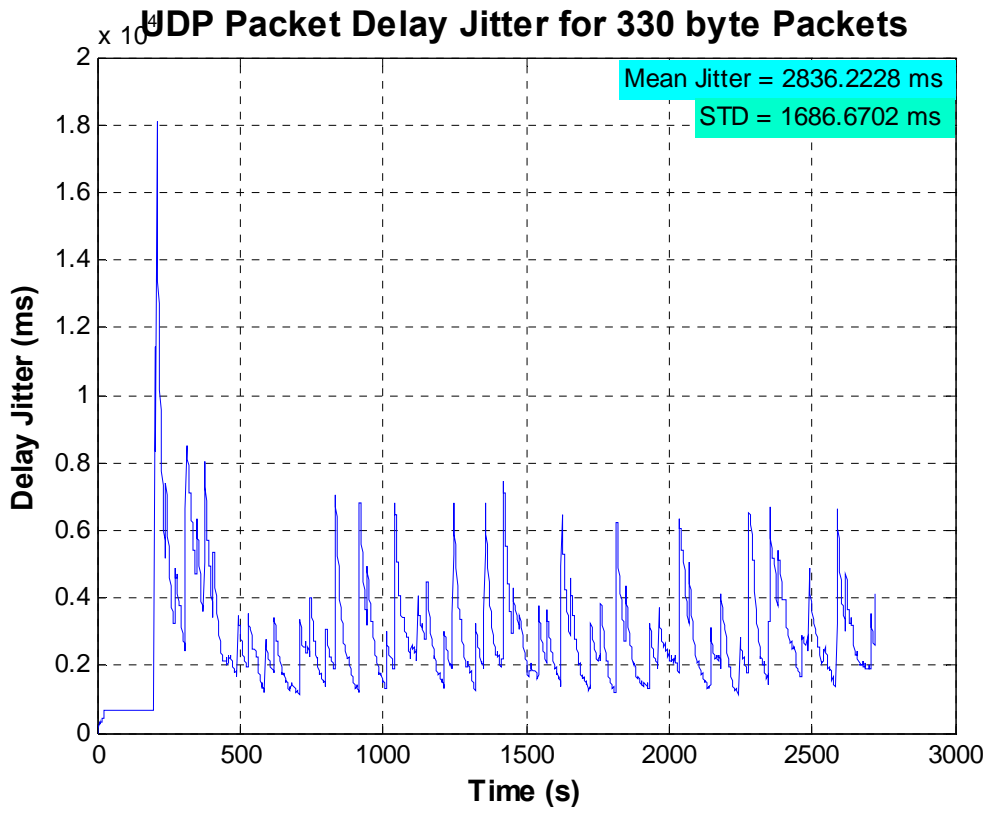


### UDP Packet Delay Jitter for 320 byte Packets

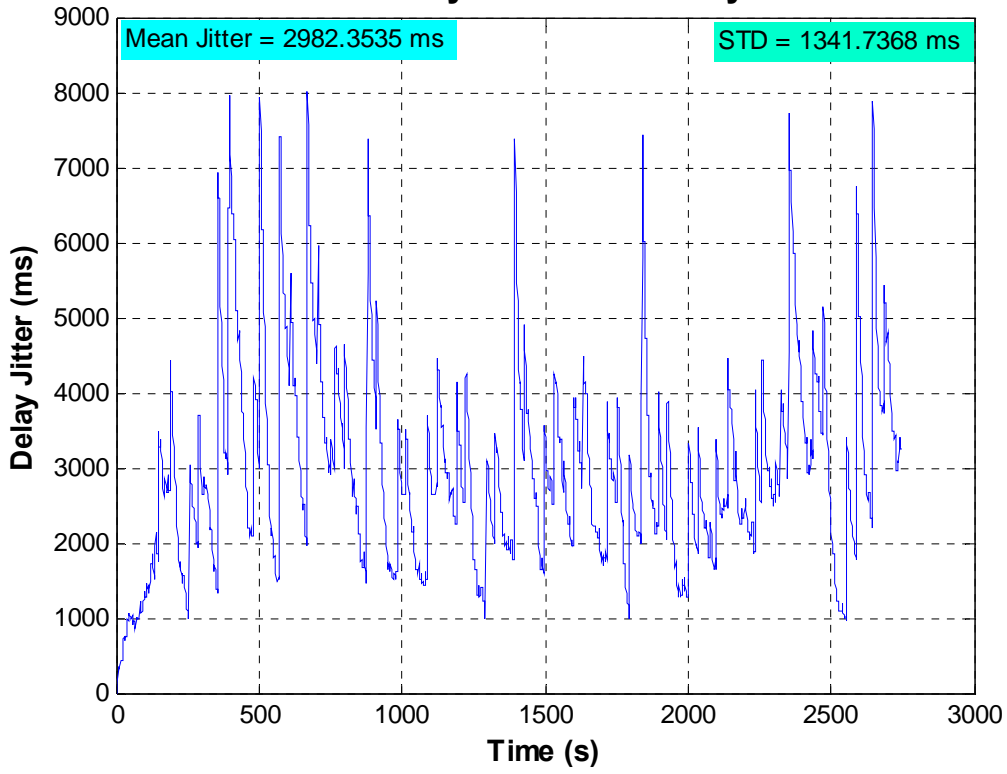


### UDP Throughput for 320 byte Packets

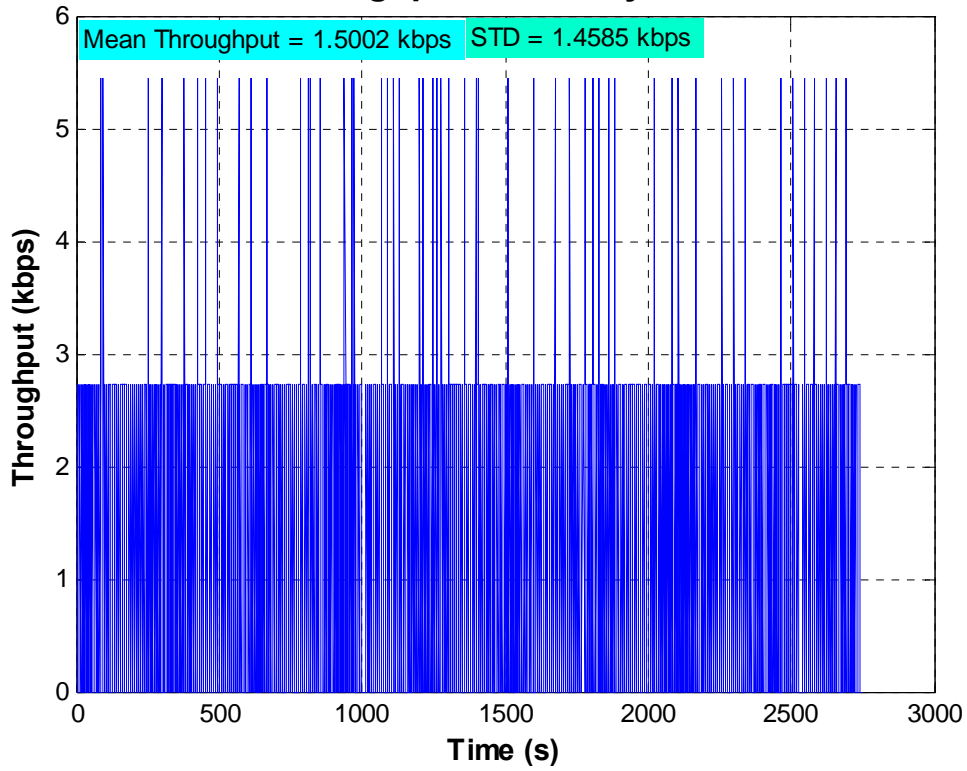




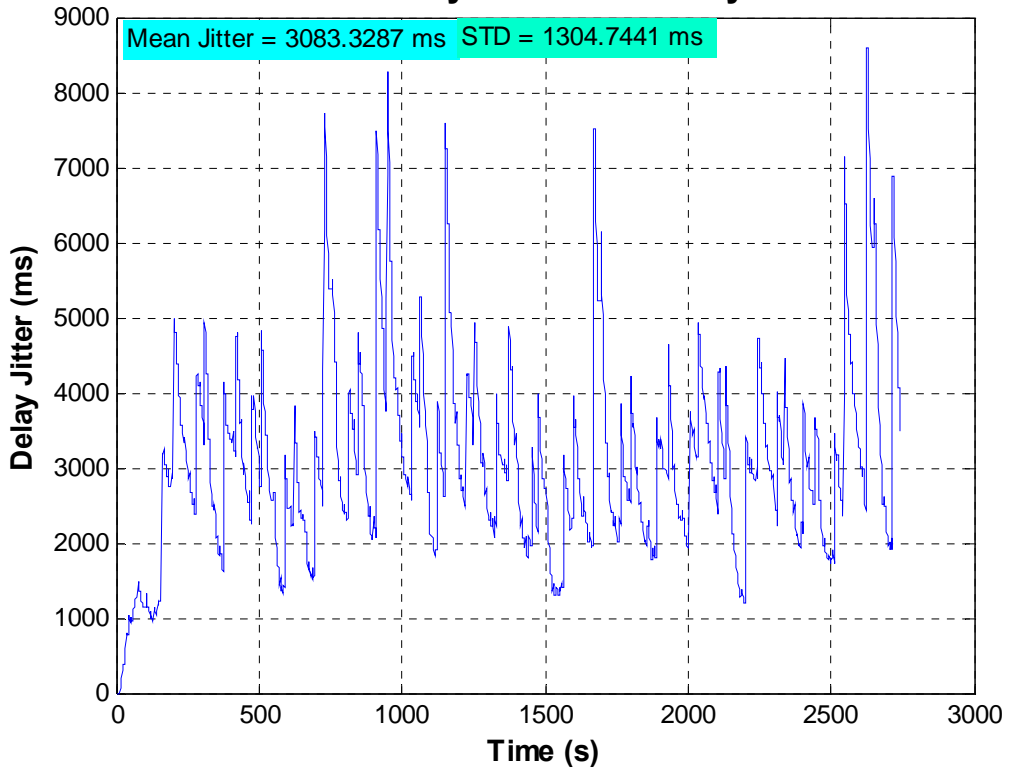
### UDP Packet Delay Jitter for 340 byte Packets



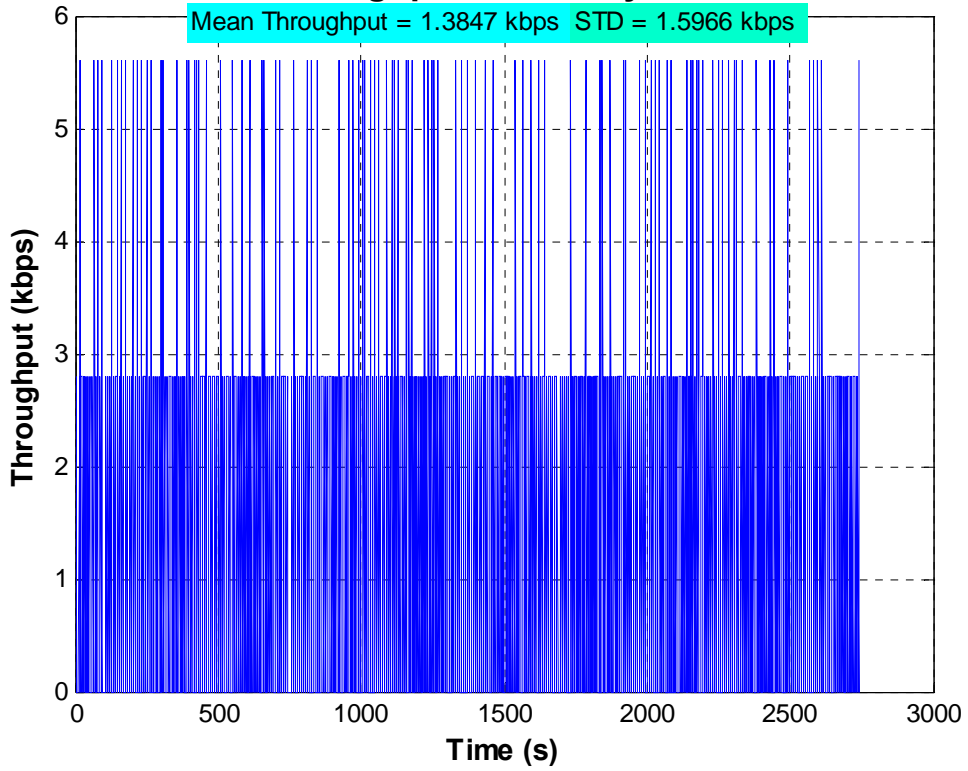
### UDP Throughput for 340 byte Packets



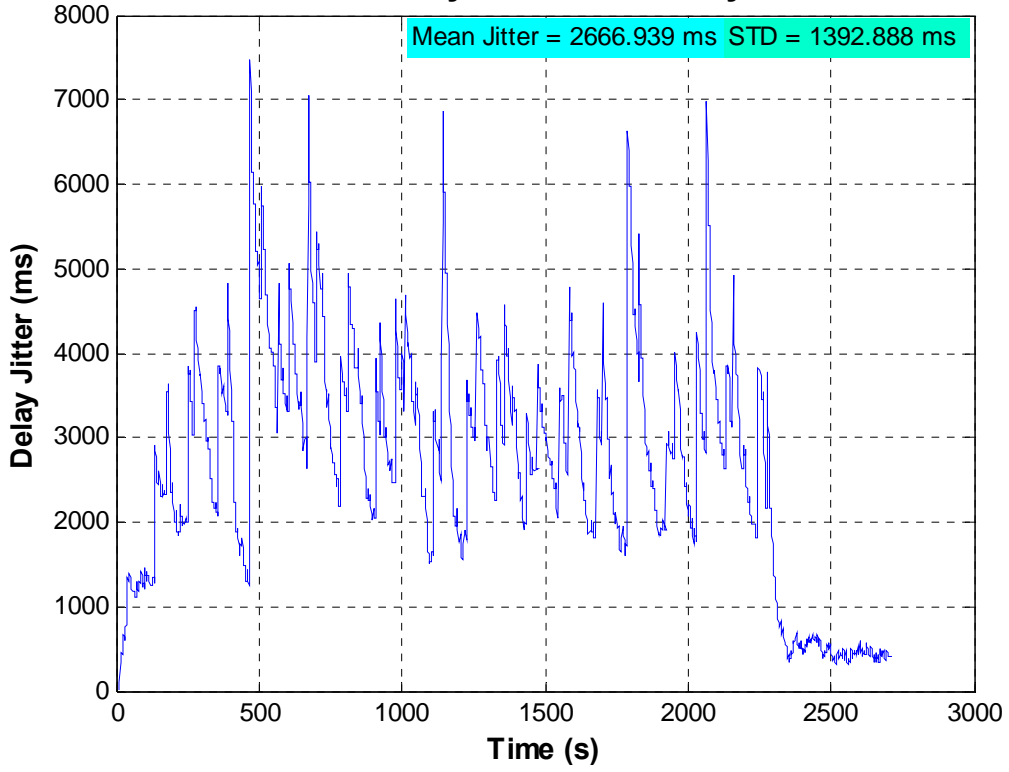
**UDP Packet Delay Jitter for 350 byte Packets**



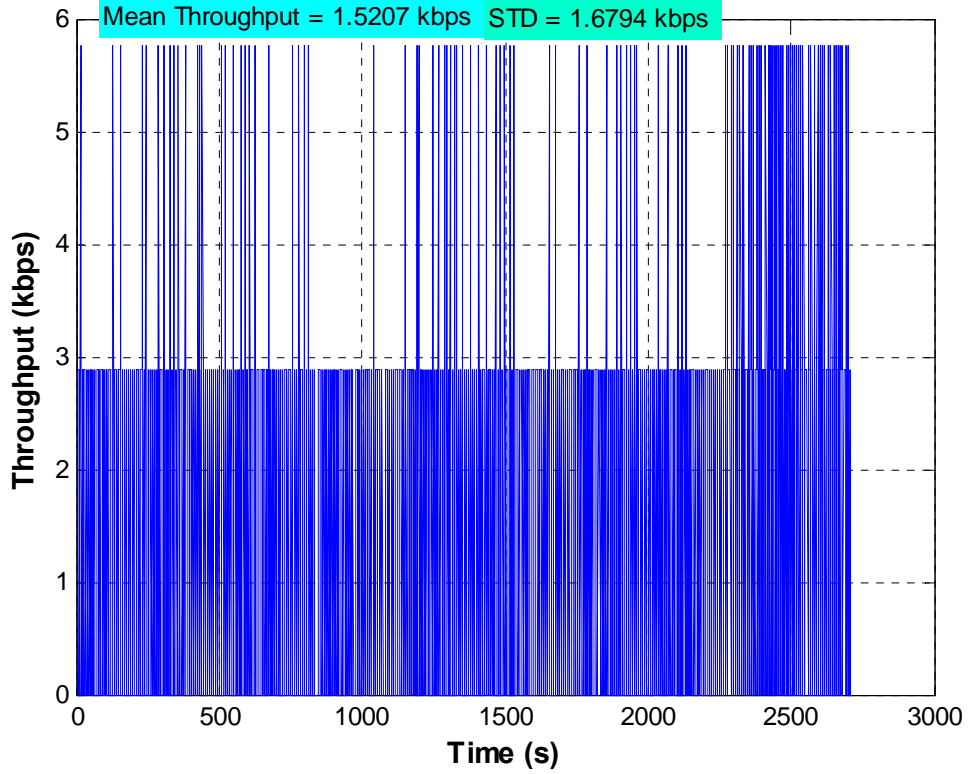
**UDP Throughput for 350 byte Packets**



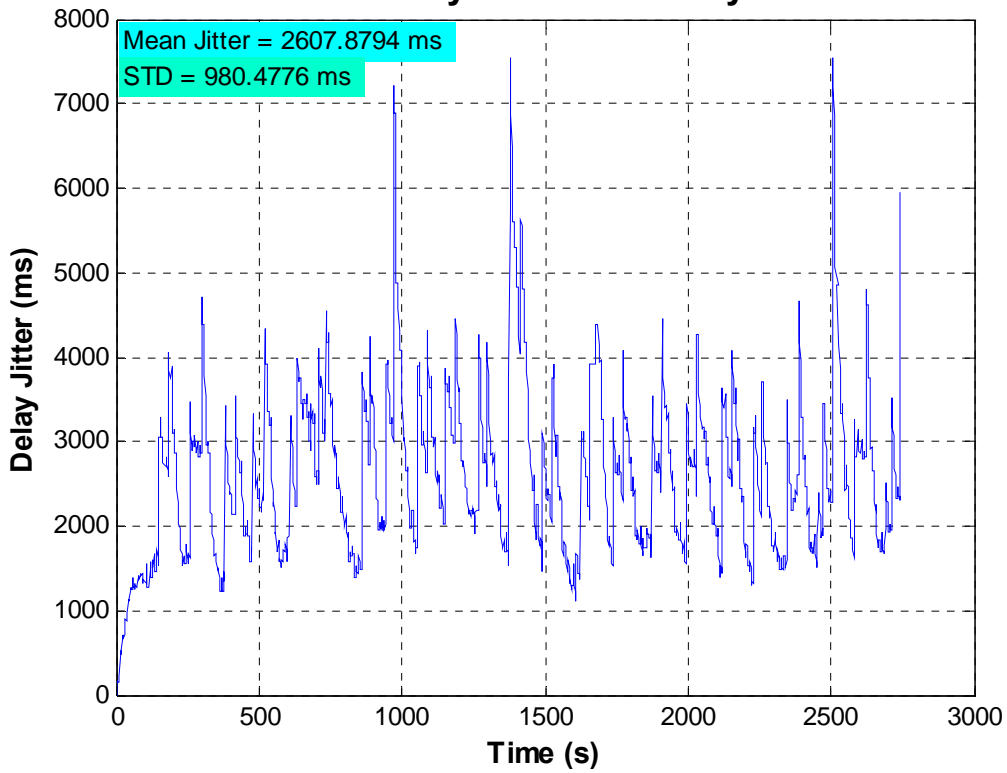
**UDP Packet Delay Jitter for 360 byte Packets**



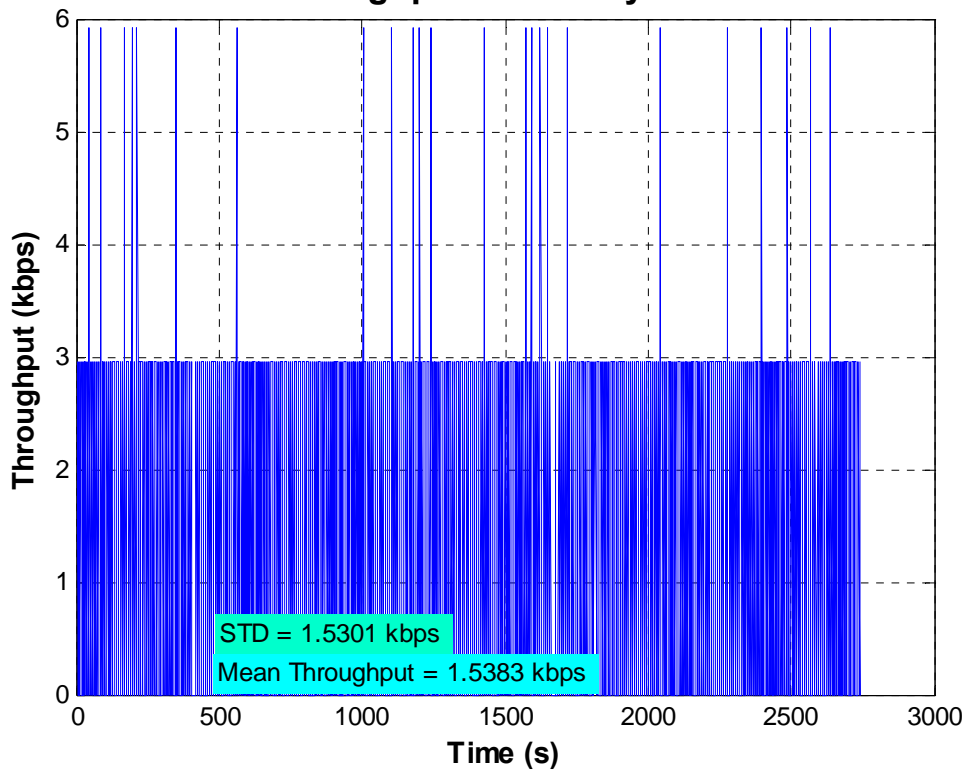
**UDP Throughput for 360 byte Packets**



### UDP Packet Delay Jitter for 370 byte Packets

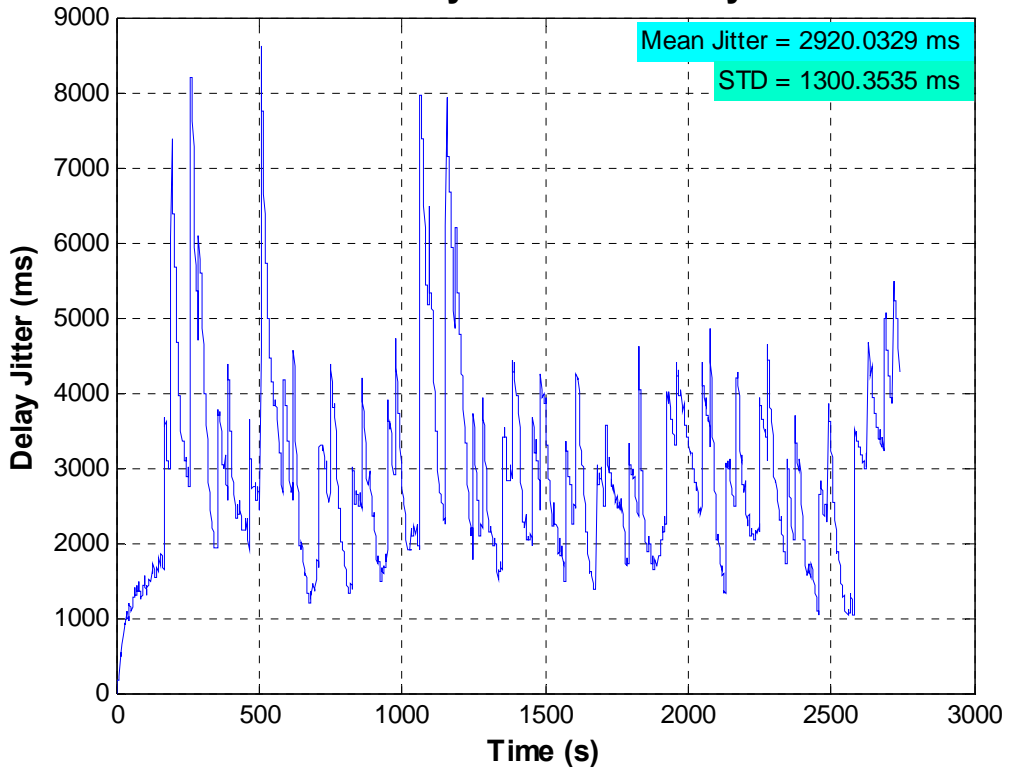


### UDP Throughput for 370 byte Packets

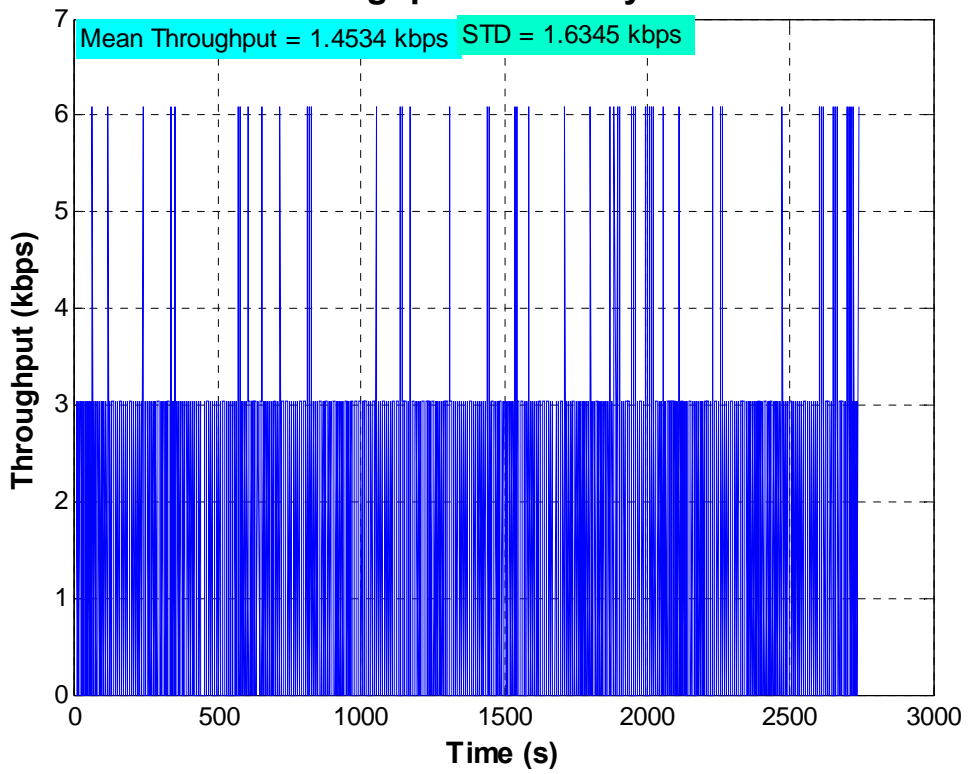




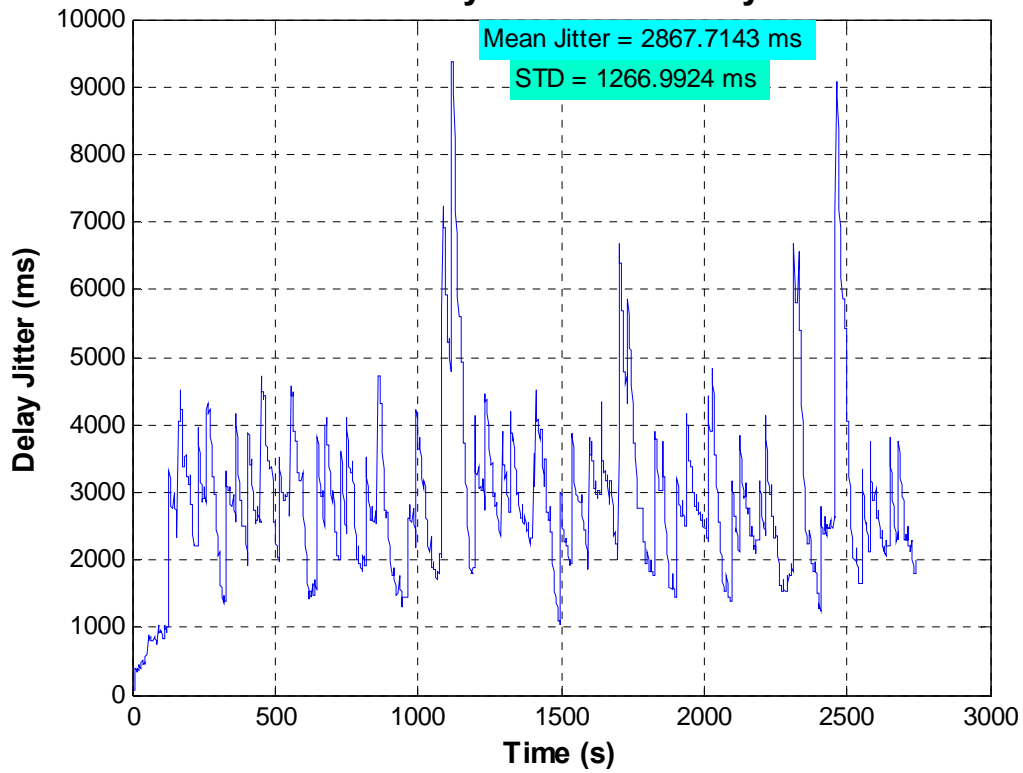
### UDP Packet Delay Jitter for 380 byte Packets



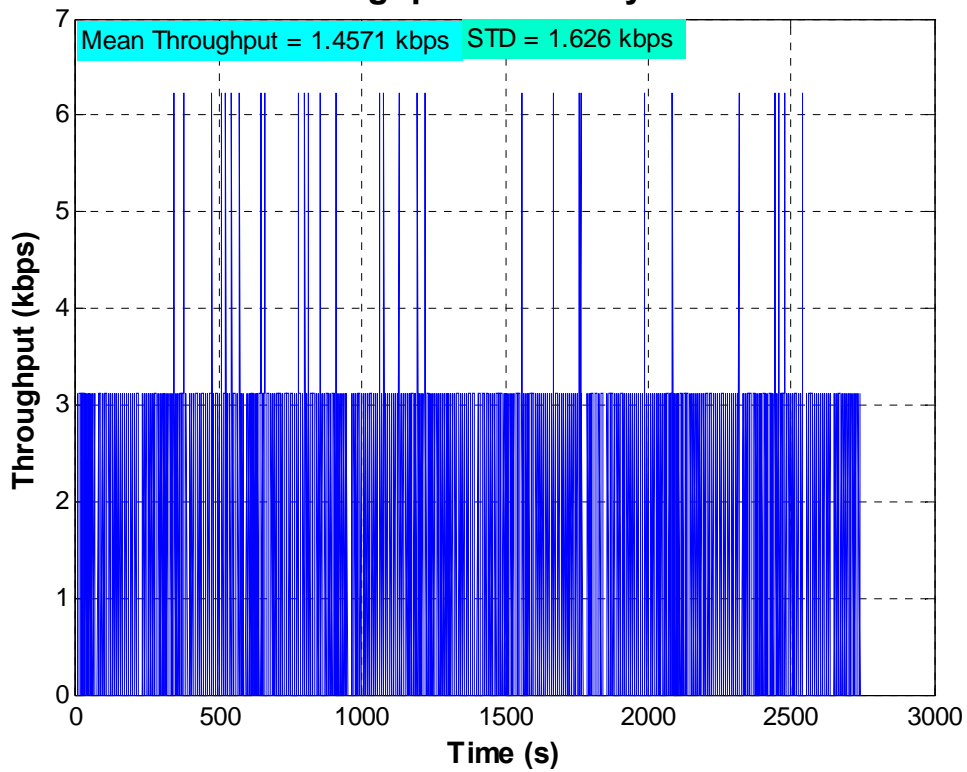
### UDP Throughput for 380 byte Packets



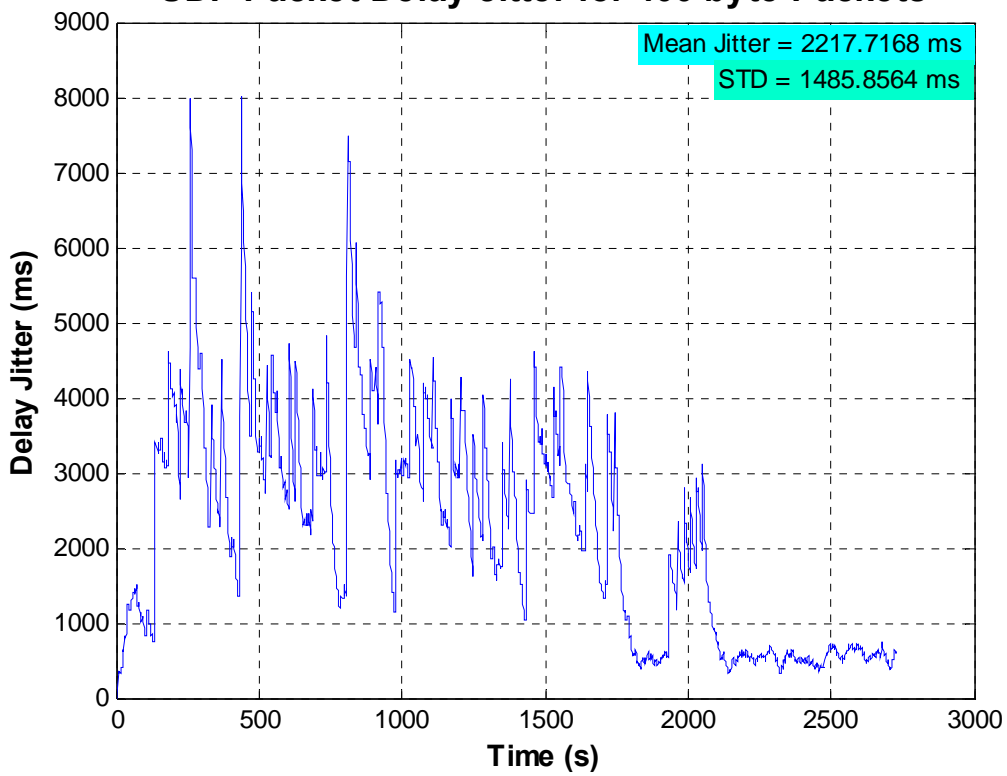
### UDP Packet Delay Jitter for 390 byte Packets



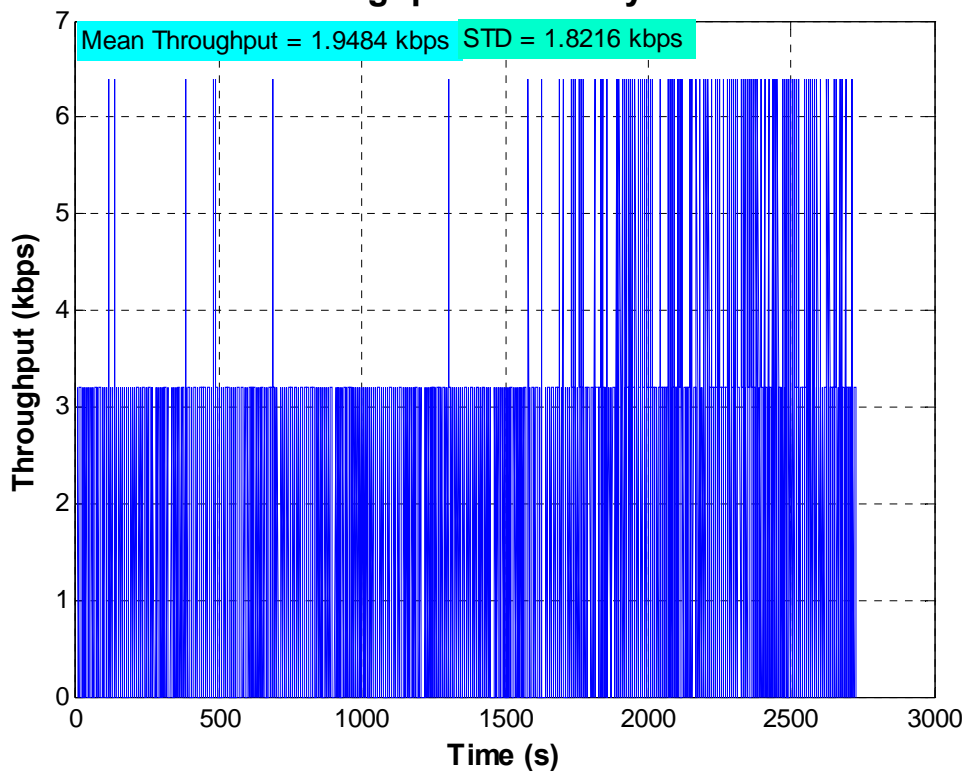
### UDP Throughput for 390 byte Packets



### UDP Packet Delay Jitter for 400 byte Packets



### UDP Throughput for 400 byte Packets



## **5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ**

### **5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν ανά δύο τα διαγράμματα της χρονικής καθυστέρησης και της ταχύτητας μετάδοσης για συγκεκριμένο μέγεθος του πακέτου UDP σε συνάρτηση με το χρόνο. Κάθε μέτρηση είχε διάρκεια 2700 sec (45 min). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για μέγεθος πακέτου, το οποίο μεταβαλλόταν από 70 bytes έως 400 bytes, με βήμα 10 bytes.

Στο κεφάλαιο αυτό τα διαγράμματα που παρουσιάζονται είναι συγκεντρωτικά. Δείχνουν, δηλαδή, τη μεταβολή των ίδιων μεγεθών, όχι όμως ως προς το χρόνο. Λαμβάνεται για κάθε μέγεθος πακέτου UDP, η μέση τιμή καθώς και η τυπική απόκλιση της ταχύτητας μετάδοσης και της χρονικής καθυστέρησης και εξετάζεται η μεταβολή αυτών των τιμών σε σχέση με τη μεταβολή του μεγέθους του πακέτου. Αυτό δείχνουν τα δύο πρώτα συγκεντρωτικά διαγράμματα. Το τρίτο διάγραμμα περιγράφει πως διαμορφώνεται το μέσο ποσοστό των πακέτων που χάνεται σε κάθε μέτρηση, ενώ το τέταρτο απεικονίζει την αύξηση του μέσου ποσοστού των πακέτων, που φτάνουν εκτός σειράς σε σχέση με την αύξηση του μεγέθους του πακέτου UDP.

### **5.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ**

Το πρώτο συγκεντρωτικό διάγραμμα που παρατίθεται είναι αυτό του σχήματος 5.1. Απεικονίζει τη μεταβολή της μέσης ταχύτητας μετάδοσης και της τυπικής απόκλισης αυτής σε σχέση με τη μεταβολή του μεγέθους του πακέτου.

#### **5.2.1 ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ**

Όσον αφορά τη μέση τιμή της ταχύτητας μετάδοσης παρατηρούμε ότι, σε γενικές γραμμές, διακρίνονται τρεις περιοχές, κάθε μία από τις οποίες εμφανίζει σταθερή συμπεριφορά. Οι περιοχές αυτές είναι οι εξής:

Η πρώτη εμφανίζεται για μέγεθος πακέτου UDP από 70 bytes έως 180 bytes. Σε αυτή την περιοχή η μέση τιμή της ταχύτητας μετάδοσης αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους του πακέτου. Ξεκινάει, περίπου, από 1,2 kbps, όταν το πακέτο έχει μέγεθος 70

bytes, παρουσιάζει το πρώτο τοπικό μέγιστο στα 100 bytes, όπου η μετάδοση φτάνει τα 1,3 kbps, συνεχίζει με ένα δεύτερο τοπικό μέγιστο στα 130 bytes με μέση ταχύτητα 1,5 kbps και τέλος φτάνει στην τελευταία και μεγαλύτερη τιμή της, που είναι τα 1,7 kbps και αντιστοιχούν σε μετάδοση με UDP πακέτο μεγέθους 180 bytes.

Η δεύτερη περιοχή ξεκινάει από τα 180 bytes και φτάνει μέχρι τα 290 bytes. Εδώ παρατηρούμε δυο υποπεριοχές, η μία ξεκινάει από 180 και φτάνει έως 230 bytes και η δεύτερη από 230 έως 290 bytes. Και οι δύο υποπεριοχές παρουσιάζουν σταθερότητα στην τιμή της μέσης ταχύτητας μετάδοσης, μόνο που η πρώτη κινείται σε πιο χαμηλά επίπεδα από τη δεύτερη. Πιο συγκεκριμένα, για μεγέθη πακέτου από 180 bytes έως 230 bytes, η μέση ταχύτητα μετάδοσης κινείται γύρω στα 1,5 kbps, χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές. Στο διάστημα από 240 έως 290 bytes, παρουσιάζει πάλι σταθερότητα, χωρίς να επηρεάζεται ιδιαίτερα από τη μεταβολή του μεγέθους του πακέτου, όμως αυτή τη φορά διατηρείται σε υψηλότερα επίπεδα, γύρω στα 1,8 kbps, από 1,5 kbps που είχε σταθεροποιηθεί μέχρι τα 230 bytes.

Μετά τα 290 bytes, η αύξηση του μεγέθους του πακέτου UDP προκαλεί μείωση στη μέση τιμή της ταχύτητας μετάδοσης και τη σταθεροποιεί γύρω στα 1,5 kbps, όσο δηλαδή ήταν και στο διάστημα από 190 bytes έως 230 bytes.

Παρατηρούμε πως για μικρά μεγέθη πακέτων UDP, μικρότερα των 90 bytes, η ταχύτητα μετάδοσης είναι αρκετά χαμηλή. Αυτό συμβαίνει επειδή τα πακέτα UDP επιβαρύνονται από την επικεφαλίδα του IP, που καταλαμβάνει 20 bytes και μαζί και με την επικεφαλίδα του UDP συνολικά καταλαμβάνονται 28 bytes. Η χρήσιμη πληροφορία, που μεταφέρεται, είναι πολύ μικρότερη σε μέγεθος, αν σκεφτεί κανείς πως τα 28 bytes είναι περίπου το ένα τρίτο των 90 bytes, που μεταφέρει συνολικά ένα πακέτο UDP.

Επίσης, η ταχύτητα μετάδοσης επηρεάζεται και από τον διαχωρισμό των IP διαγραμμάτων σε χρονοσχισμές. Αυτός είναι και ο λόγος που παρατηρούμε κλιμακούμενες επιδράσεις στο διάγραμμα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι επικεφαλίδες των UDP και IP καταλαμβάνουν 28 bytes. Αν, για παράδειγμα, θέλουμε να στείλουμε ωφέλιμη πληροφορία μεγέθους 130 bytes, το UDP πακέτο θα πρέπει να έχει μέγεθος 158 bytes και όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα 5.1, αυτό θα σημαίνει επιβάρυνση με τέσσερις επιπλέον χρονοσχισμές.

Ιδανική μέση ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων θεωρείται αυτή που είναι μεγαλύτερη από 1,5 kbps και αντιστοιχεί σε μέγεθος πακέτου UDP από 160 bytes έως 290 bytes.

Additional Uplink Slots	Max IP datagram size (bytes)	Additional Uplink Slots	Max IP datagram size (bytes)	Additional Downlink Slots	Max IP datagram size (bytes)	Additional Downlink Slots	Max IP datagram size (bytes)
-	50	11	364	-	49	11	354
1	79	12	392	1	76	12	382
2	107	13	421	2	104	13	409
3	136	14	449	3	132	14	437
4	164	15	478	4	160	15	465
5	193	16	506	5	187	16	493
6	221	17	535	6	215	17	520
7	250	18	563	7	243	18	548
8	278	19	592	8	271	19	576
9	307	20	620	9	298	20	604
10	335	21	649	10	326	21	631

Πίνακας 5.1: Χρονοσχισμές που απαιτούνται σε σχέση με το μέγεθος του IP πακέτου

### 5.2.2 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Όσον αφορά την τυπική απόκλιση της ταχύτητας μετάδοσης, επηρεάζεται και αυτή αρκετά από τη μεταβολή του μεγέθους του πακέτου UDP. Για μικρότερα πακέτα, παίρνει τιμές από 0,3 kbps και φτάνει να ξεπερνά τα 1,5 kbps, για πακέτα μεγαλύτερα των 330 bytes.

Αναλυτικότερα, μέχρι τα 90 bytes η τυπική απόκλιση της ταχύτητας μετάδοσης παρουσιάζει αρκετά χαμηλές τιμές, που δεν ξεπερνούν τα 0,4 kbps. Από τα 100 bytes και μέχρι τα 180 bytes, κυμαίνεται από 0,5 μέχρι 0,9 kbps. Μετά τα 200 bytes ξεπερνά το 1 kbps, ενώ στα 330 bytes σταθεροποιείται στα 1,5 kbps και παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι τα 400 bytes, όπου έχουμε την τελευταία μέτρηση.

Σε γενικές γραμμές, η αύξηση του μεγέθους του πακέτου UDP προκαλεί σημαντική αύξηση της τυπικής απόκλισης της ταχύτητας μετάδοσης, η οποία σταματάει στα 330 bytes και σταθεροποιείται στα 1,5 kbps.

### 5.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Το δεύτερο συγκεντρωτικό διάγραμμα (Σχήμα 5.2) που παρατίθεται, είναι αυτό που απεικονίζει τη μεταβολή της μέσης χρονικής καθυστέρησης των πακέτων κατά τη μετάδοση και της τυπικής απόκλισης αυτής σε σχέση με τη μεταβολή του μεγέθους του πακέτου.

### 5.3.1 ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Γενικά, η συνάρτηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους του πακέτου UDP, το οποίο μεταδίδει δεδομένα. Η ανοδική πορεία ξεκινάει από τα πολύ μικρά μεγέθη πακέτων, δηλαδή από τα 70 bytes, και διατηρείται μέχρι και τα 330 bytes.

Πιο συγκεκριμένα, για πακέτα από 70 bytes έως 130 bytes, παρατηρούνται αρκετά χαμηλές τιμές μέσης χρονικής καθυστέρησης, σε επίπεδα που κυμαίνονται κοντά στα 1000 msec. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό και με άλλα ευνοϊκά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν και θα μελετηθούν σε επόμενες ενότητες, καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμα τα μικρά μεγέθη πακέτων.

Από τα 130 bytes και μέχρι τα 320 bytes, η πορεία της συνάρτησης είναι καθαρά ανοδική. Η πρώτη σημαντική μεταβολή συμβαίνει από τα 130 bytes στα 150 bytes, όπου η μέση τιμή της χρονικής καθυστέρησης ανεβαίνει από τα 1000 msec στα 1500 msec. Η δεύτερη φαίνεται από τα 220 bytes στα 230 bytes, όπου αγγίζει το επίπεδο των 2000 msec, μετά τα 280 bytes μένει για λίγο σταθερή στα 2300 msec και ξεπερνάει τα 2500 msec, αγγίζοντας και τα 3000 msec από τα 320 bytes στα 330 bytes.

Από τα 330 bytes μέχρι και τα 400 bytes, όπου ολοκληρώνονται οι μετρήσεις, διατηρείται σε σχετικά σταθερά επίπεδα, μεταξύ 2700 msec και 3000 msec.

Παρατηρούμε πως η αύξηση του μεγέθους του πακέτου UDP, μόνο επιβαρυντικά λειτουργεί στη μέση τιμή της χρονικής καθυστέρησης.

### 5.3.2 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Η τυπική απόκλιση της χρονικής καθυστέρησης αυξάνεται και αυτή με την αύξηση του μεγέθους των πακέτων UDP, που μεταδίδουν τα δεδομένα.

Για πακέτα από 80 bytes έως και 230 bytes, λαμβάνει τιμές από 600 msec μέχρι και 900 msec, με πιο συχνή την εμφάνιση της τιμής των 800 msec από τα 90 bytes μέχρι και τα 140 bytes και αυτής των 600 msec από 170 bytes μέχρι 210 bytes. Για μέγεθος πακέτου 240 bytes, η τιμή της τυπικής απόκλισης της χρονικής καθυστέρησης παρουσιάζει μια αλλόκοτα μικρή τιμή της τάξεως των 125 msec, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως υπάρχει κάποιο σφάλμα σε αυτή τη μέτρηση, αφού δεν συνδέει με λογικό τρόπο την προηγούμενη με την επόμενη. Παρόλα αυτά, για τη συγκεκριμένη τιμή μεγέθους του πακέτου UDP, η μέση τιμή της χρονικής καθυστέρησης λαμβάνει μια αναμενόμενη τιμή.

Από τα 250 bytes και μέχρι τα 400 bytes, όπου ολοκληρώνονται και οι μετρήσεις, η τυπική απόκλιση η τυπική απόκλιση της χρονικής καθυστέρησης παίρνει τιμές από 800 msec μέχρι 1700 msec. Τα 1700 msec είναι η υψηλότερη τιμή και εμφανίζεται για μέγεθος πακέτου 330 bytes, ενώ από τα 330 bytes μέχρι και τα 400 bytes, όπου φτάνει και τα 1500 msec, διατηρείται σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές.

#### **5.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΤΩΝ ΧΑΜΕΝΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ**

Το σχήμα 5.3 παρουσιάζει τις μεταβολές του ποσοστού των πακέτων UDP, που χάνονται κατά τη μετάδοση, ως προς τον αριθμό των συνολικών πακέτων, που μεταδίδονται στο χρονικό διάστημα των 2700 msec, που απαιτείται για να ολοκληρωθεί κάθε μέτρηση, σε σχέση με το μέγεθος του πακέτου.

Από το διάγραμμα του σχήματος 5.3 μπορούμε να παρατηρήσουμε πως για μεγέθη πακέτου από 70 bytes μέχρι και 100 bytes, το ποσοστό απωλειών είναι σχεδόν αμελητέο και λαμβάνει τιμές από 1% μέχρι 3%. Το γεγονός αυτό αποτελεί ευνοϊκό κριτήριο για την επιλογή μικρών μεγεθών πακέτων σε συνδυασμό με τη μικρή χρονική καθυστέρηση και το μηδενικό ποσοστό πακέτων, που μεταδίδονται με λάθος σειρά. Οι ιδιότητες αυτές αντισταθμίζουν τη χαμηλή ταχύτητα μετάδοσης για τα μεγέθη αυτά.

Για πακέτα UDP με μέγεθος από 110 bytes μέχρι 280 bytes, οι απώλειες βρίσκονται σε ανεχτά επίπεδα, καθώς ξεκινούν από 4% και δεν ξεπερνούν το 10%, που είναι και το ανώτατο όριο που εξασφαλίζει καλή ποιότητα στη μετάδοση. Με εξαίρεση το μέγεθος πακέτου των 160 bytes, αλλά και αυτό των 270 bytes, σε γενικές γραμμές οι τιμές για τις απώλειες στο διάστημα αυτό κυμαίνονται από 8% έως 10%, παρουσιάζοντας σταθερή συμπεριφορά χωρίς ακραίες τιμές. Θα μπορούσαμε, λοιπόν, να καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως μέχρι και τα 280 bytes, η αύξηση των απωλειών σε σχέση με την αύξηση του μεγέθους του πακέτου UDP, δεν δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στη μετάδοση των δεδομένων.

Από τα 290 bytes και μετά το ποσοστό των απωλειών των πακέτων κατά τη μετάδοση παρουσιάζει ραγδαία αύξηση σε σχέση με το μέγεθος των πακέτων, ξεπερνώντας κατά πολύ το όριο ανοχής του 10%. Η πρώτη μεγάλη αύξηση παρατηρείται από τα 290 bytes στα 300 bytes, όπου οι απώλειες από 10% ανεβαίνουν σε 26%. Μετά από κάποιες μεταβολές, καταλήγουν μετά τα 340 bytes να ξεπερνούν το 30% και, μάλιστα, να αγγίζουν αρκετές φορές το 34% με 35%. Το γεγονός αυτό δείχνει πως πακέτα UDP μεγαλύτερα των



290 bytes είναι απαγορευτικά για μετάδοση σε δίκτυο TETRA λόγω του μεγάλου ποσοστού απωλειών, που εισάγουν.

## 5.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΤΩΝ ΕΚΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΚΕΤΩΝ

Το διάγραμμα του Σχήματος 5.4 παριστάνει το ποσοστό των πακέτων UDP, που λαμβάνονται εκτός σειράς ως προς τον αριθμό των συνολικών πακέτων, που μεταδίδονται στο χρονικό διάστημα των 2700 msec, που απαιτείται για να ολοκληρωθεί κάθε μέτρηση, σε συνάρτηση με το μέγεθος του πακέτου.

Για μεγέθη πακέτου από 70 bytes έως και 220 bytes το ποσοστό των πακέτων, που μεταδίδονται εκτός σειράς είναι μηδενικό, ενώ από τα 220 bytes έως τα 240 bytes είναι αμελητέο και κυμαίνεται από 0% έως και 1,5%.

Εντυπωσιακή αύξηση του ποσοστού αυτού παρατηρείται κατά τη μεταβολή του μεγέθους του πακέτου από 240 bytes σε 250 bytes, καθώς αυξάνεται ραγδαία από 0% σε 13%. Είναι πολύ σημαντικό, οι μεταβολές κάθε περιοχής να παρατηρούνται ταυτόχρονα με τις μεταβολές του ποσοστού των χαμένων πακέτων της ίδιας περιοχής, που μελετήσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί σε κάθε περιοχή υπερισχύει ένα από τα δύο φαινόμενα κάθε φορά, είτε η μετάδοση των πακέτων με απώλειες είτε με λάθος σειρά. Στα 250 bytes, λοιπόν, το φαινόμενο των απωλειών κατά τη μετάδοση είναι σε ύφεση, αφού το συγκεκριμένο ποσοστό κυμαίνεται γύρω στο 7%.

Στα 270 bytes έχουμε πτώση του ποσοστού των πακέτων εκτός σειράς από 13%, που ήταν στα 250 bytes, σε 7%, ενώ στα 280 bytes και στα 290 bytes η αύξηση είναι απότομη και οι τιμές ξεκινούν από 15% και φτάνουν έως 21%.

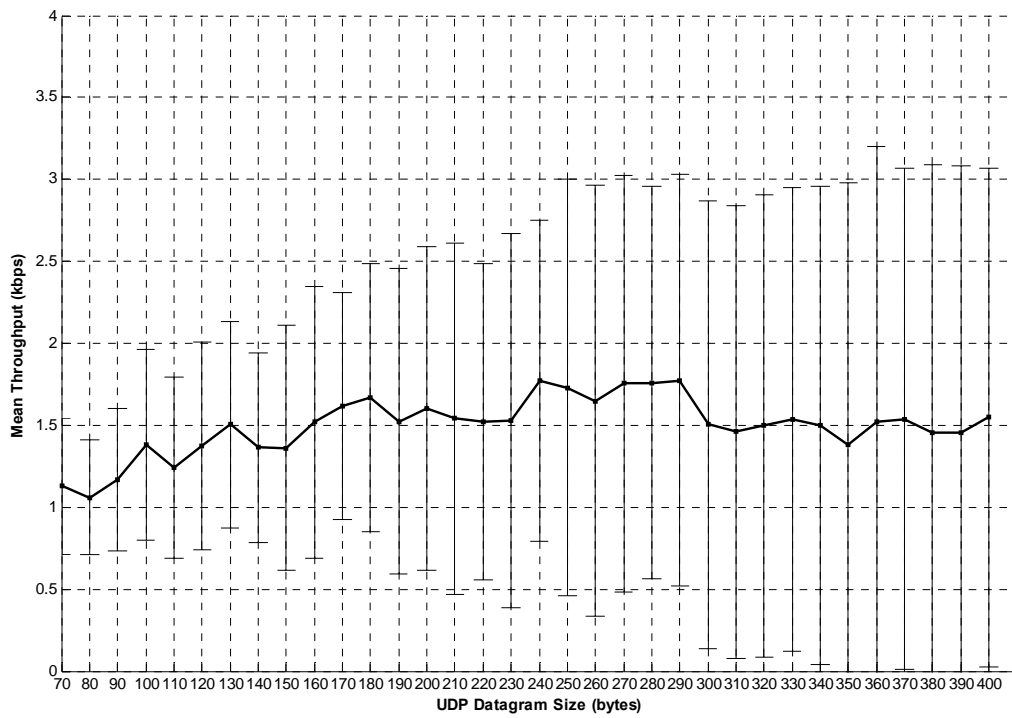
Από τα 290 bytes έως και τα 310 bytes παρατηρείται απότομη πτώση για το ποσοστό των πακέτων που λαμβάνονται εκτός σειράς από 18% σε 8%, αν παρατηρήσουμε στην ίδια περιοχή το διάγραμμα με τα ποσοστά απωλειών, διακρίνουμε αύξηση αυτών από 11% σε 27%.

Από τα 310 bytes μέχρι τα 330 bytes, το ποσοστό των απωλειών πέφτει από 29% σε 23%, ενώ το ποσοστό των πακέτων, που λαμβάνονται εκτός σειράς, παρουσιάζει αντίθετη συμπεριφορά ανεβαίνοντας από 8% σε 14%. Παρόμοια είναι η κατάσταση και από τα 330 bytes στα 360 bytes, όπου το ποσοστό των πακέτων που χάνονται ανεβαίνει απότομα από 23% σε 35%, ενώ αυτό των πακέτων που μεταδίδονται εκτός σειράς πέφτει πάλι από 14% σε 6%. Από εκεί και πέρα, μέχρι τα 400 bytes, όπου ολοκληρώνονται οι μετρήσεις,

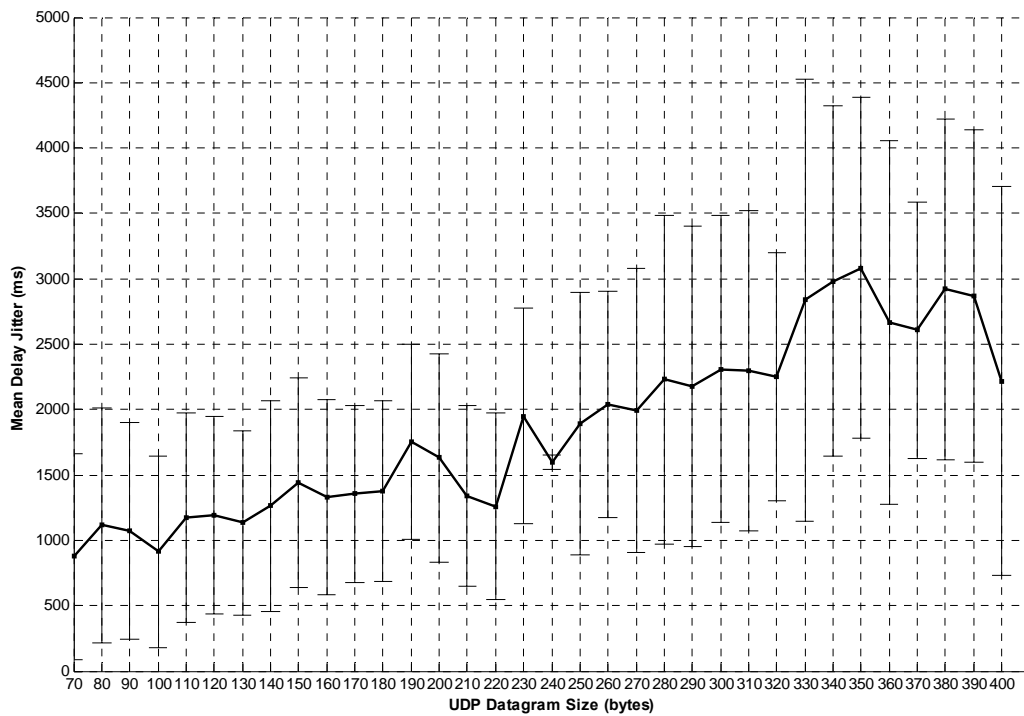
τείνει να κρατηθεί σε χαμηλά επίπεδα, από 7% και πέφτει έως και 2% λόγω του φαινομένου των απωλειών.

Όπως παρατηρήθηκε από την προηγούμενη ανάλυση, μέχρι τα 240 bytes το φαινόμενο της μετάδοσης πακέτων εκτός σειράς είναι αμελητέο. Μετά τα 240 bytes, παρουσιάζονται απρόβλεπτες διακυμάνσεις στη συμπεριφορά του φαινομένου, ενώ η επιλογή μεγεθών πακέτων με χαμηλό αυτό το ποσοστό οδηγεί σε μετάδοση με σημαντικές απώλειες πακέτων, αφού τα πακέτα παρουσιάζουν την τάση να χάνονται από το να μεταδίδονται εκτός σειράς.

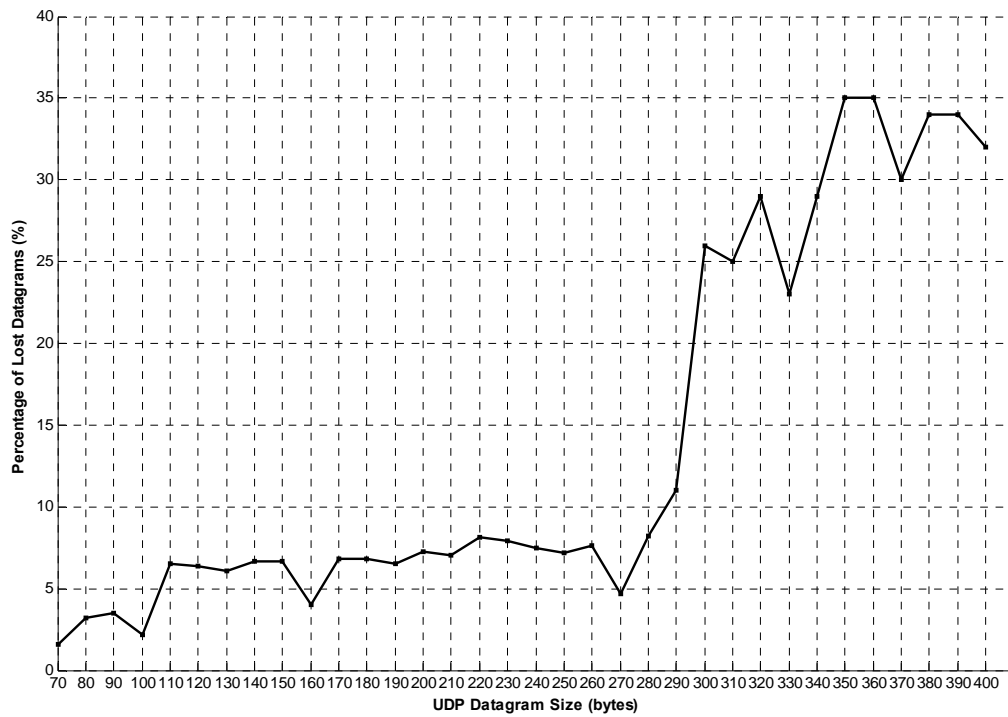
Στις επόμενες σελίδες ακολουθούν τα τέσσερα συγκεντρωτικά διαγράμματα που προαναφέρθηκαν. Και τα τέσσερα μεγέθη που απεικονίζονται μελετώνται συναρτήσει του μεγέθους του πακέτου μετάδοσης:



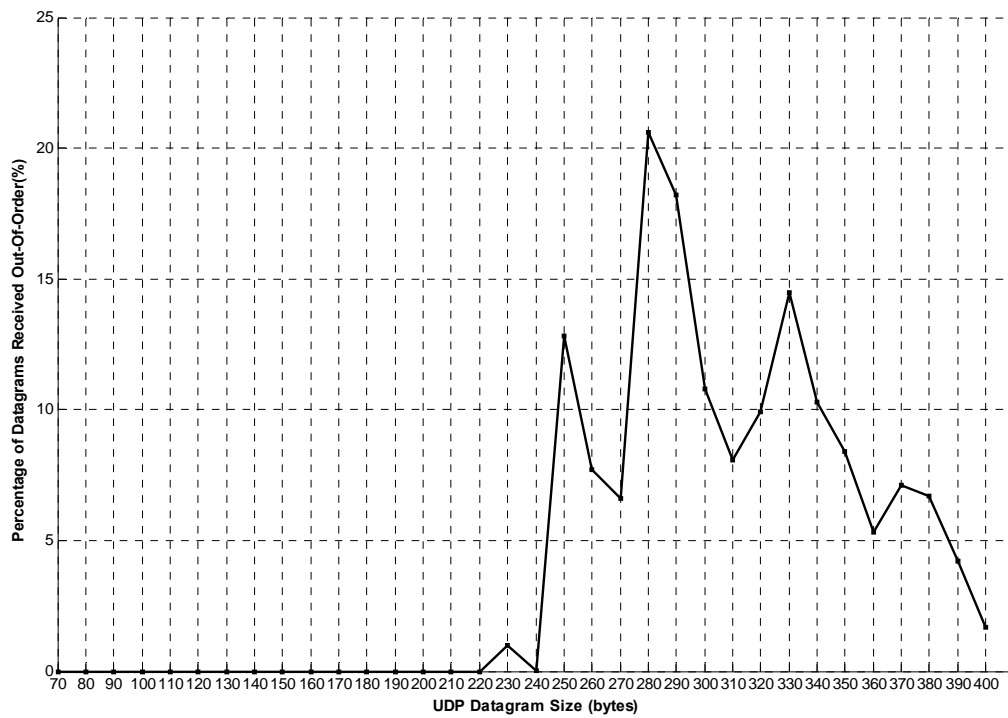
Σχήμα 5.1 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ταχύτητας μετάδοσης



Σχήμα 5.2 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση χρονικής καθυστέρησης



Σχήμα 5.3: Ποσοστό απωλειών πακέτων



Σχήμα 5.4 :ποσοστό πακέτων που μεταδόθηκαν εκτός σειράς

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την εργασία έγιναν μετρήσεις σε κυψελωτό δίκτυο TETRA με σκοπό τη μέτρηση της ποιότητας της υπηρεσίας του πρωτοκόλλου μεταφοράς UDP. Μετρήθηκε η ταχύτητα μετάδοσης, η χρονική καθυστέρηση, η απώλεια πακέτων και τα πακέτα που μεταδίδονταν εκτός σειράς για ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών μεγεθών πακέτων UDP.

Αποδείχτηκε πως το βέλτιστο μέγεθος πακέτου με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των τεσσάρων μεγεθών ήταν από 160 έως 280 bytes.

Ωστόσο, πακέτα μικρότερα από 160 bytes μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές, όπου η χαμηλή ταχύτητα μετάδοσης δεν δημιουργεί προβλήματα. Για αυτά τα μεγέθη πακέτων οι απώλειες είναι ελάχιστες, δεν υπάρχουν πακέτα που μεταδίδονται εκτός σειράς και η χρονική καθυστέρηση είναι αμελητέα.

Για πακέτα μεγαλύτερα από 280 bytes η ταχύτητα μετάδοσης μειώνεται και το ποσοστό απωλειών αυξάνεται σε τόσο μεγάλο βαθμό που τα καθιστά απαγορευτικά, αφού η ποιότητα μετάδοσης χειροτερεύει αισθητά στο δίκτυο TETRA.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. ETR 300-2 Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Voice plus Data (V+D)
2. James F. Kurose and Keith W. Ross, Δικτύωση Υπολογιστών, Αθήνα 2004
3. Andrew S. Tanenbaum, Δίκτυα Υπολογιστών, 3<sup>η</sup> έκδοση
4. ETSI EN 300 392-2 V2.5.1 (2005-07)