



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

**Μελέτη του πρωτοκόλλου και μετρήσεις ποιότητας υπηρεσίας
TETRA SDS-TL**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Β. Κωνσταντέλλος

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

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2007



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

Μελέτη του πρωτοκόλλου και μετρήσεις ποιότητας υπηρεσίας TETRA SDS-TL

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Β. Κωνσταντέλλος

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 26 Ιουνίου 2007:

.....
Μ.Ε. Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ε. Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Στασινόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2007

.....
Κωνσταντέλλος Δημήτριος του Βασιλείου

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

Copyright © Δημήτριος Κωνσταντέλλος του Βασιλείου, 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 το συγγραφέα.

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

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σε σχέση με την καθυστέρηση μετάδοσης των σύντομων γραπτών μηνυμάτων (*SDS*) για τους κινητούς σταθμούς TETRA MS. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν τερματικά TETRA τα οποία με την υποστήριξη κατάλληλου λογισμικού (*software*), συνδέθηκαν στις σειριακές θύρες COM1 και COM2 ενός υπολογιστή και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η διαδικασία 111 μετρήσεων συνολικά. Πιο συγκεκριμένα έγιναν από 37 μετρήσεις για κάθε διάστημα μεσολάβησης μεταξύ της κάθε αποστολής. Η κάθε μέτρηση από τις προαναφερθείσες περιελάμβανε 1500 προσπάθειες αποστολής του εκάστοτε μηνύματος. Για να προκύψει μια πιο σφαιρική εικόνα απ' τις μετρήσεις επιλέχθηκαν τρία διαφορετικά διαστήματα μεσολάβησης, αυτά των 1, 1.5 και 2 δευτερολέπτων αντίστοιχα. Τα μηνύματα *SDS* που απεστάλησαν κυμαίνονται από 10 μέχρι 190 χαρακτήρες, αυξανόμενα κάθε φορά κατά 5 χαρακτήρες ώστε να υπάρχει ένα ικανοποιητικό εύρος και ποικιλία μεγέθους μηνυμάτων. Ακόμη οι μετρήσεις έλαβαν χώρα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και υπό διαφορετικές συνθήκες ώστε να οδηγηθούμε σε ασφαλή στατιστικά συμπεράσματα και να ελαχιστοποιήσουμε πιθανά λάθη που οφείλονται σε πάσης φύσεως τυχαίες παρεμβολές και θόρυβο. Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με το πρόγραμμα Matlab και οι γραφικές παραστάσεις που προέκυψαν μετά τη στατιστική ανάλυση, συμπεριλαμβάνουν το μέσο όρο της καθυστέρησης για την κάθε μέτρηση, την τυπική απόκλιση και τον αριθμό των χαμένων μηνυμάτων, δηλαδή αυτών που δεν έφθασαν ποτέ στον προορισμό τους.

Παράλληλα με τις μετρήσεις μας δόθηκε η ευκαιρία να μελετήσουμε το πρωτόκολλο TETRA DMO, δηλαδή τη λεγόμενη απ'ευθείας επικοινωνία των κινητών σταθμών χωρίς σταθμούς βάσης αλλά και το πρωτόκολλο TETRA SDS-TL που αποτελεί και την πλατφόρμα πάνω στην οποία στηρίχθηκε η εφαρμογή που αναπτύχθηκε στον υπολογιστή και χάρη στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι εν λόγω μετρήσεις.

Λέξεις-Κλειδιά

TETRA, Επαγγελματικά Κινητά Ραδιοσυστήματα (PMR), Ραδιοτηλεφωνία / Ράδιο-επικοινωνίες / Ραδιοδίκτυα, Ραδιοσυχνότητες (RF), Ραδιοδιεπαφή / Διεπαφή Αέρα (AI), Αμεσότροπη Λειτουργία (DMO), Συγκαναλική Λειτουργία (TMO), Σύντομα Γραπτά Μηνύματα (SDS), SDS-TL, Καθυστέρηση Μετάδοσης, Κινητοί σταθμοί (MS), Σταθμοί Βάσης (BS), Λογικά / Φυσικά Κανάλια, PDU, SwMI, Μετρήσεις, TDMA.

Abstract

The scope of this thesis is to derive useful conclusions concerning the transmission delay of the short data messages (SDS) for TETRA mobile stations. For that purpose TETRA terminals were used, which were connected to the serial ports COM1 and COM2 of a PC, by using appropriate software that has been developed, exactly for this reason. The measurement procedure has been repeated 111 times, 37 times for each intertransmission interval. Every measurement consisted of 1500 trials for transmitting each one of the total 111 SDS sent. In order to get a more clear view of the measurement process, there has been made a selection of three different intertransmission intervals for 1, 1.5 and 2 seconds. The message sizes range from 10 to 190 characters with an increment of 5 characters in order to notice any escalating effects that would be visible from such a wide and satisfactory size variety. Furthermore the process was carried out throughout different periods of time and under various circumstances, aiming at minimizing possible statistical mistakes that may eventually arise from casual interferences and noise in general. The measurement processing that was carried out using the Matlab software includes a data statistical analysis presenting the mean and standard deviation for each measurement mentioning the number of the lost SDS, i.e. never reached their final destination. All processed data are depicted with graphs showing the relation of the transmission delay with the SDS size and the intertransmission intervals.

On the other hand we got the chance to study a bit further the TETRA DMO protocol i.e. the so-called direct mode operation of the mobile stations without the presence of the base stations and the TETRA SDS-TL protocol upon which, the data measurements and hence the application development was based.

Keywords

TETRA, Private Mobile Radio (PMR), Radio frequencies (RF), Air Interface (AI), Direct Mode Operation (DMO), Trunked Mode Operation (TMO), Short Data Service (SDS), SDS-TL, Transmission Delay, Mobile Stations (MS), Base Stations (BS), Logical / Physical Channels, OSI, PDU, SwMI, Measurements, TDMA.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Μιχάλη Ε. Θεολόγου για το ενδιαφέρον του και για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος που οδήγησε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Παράλληλα, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον αγαπητό Δρ. Δημήτρη Αξιώτη για όλη τη στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της συγγραφής καθώς και για την ανάπτυξη της εφαρμογής που χρησιμοποιήθηκε για την αποστολή των SDS, χωρίς την οποία δε θα ήταν εφικτή η διαδικασία μετρήσεων που περιγράφηκε στην περίληψη.

Ένα ευχαριστώ θα ήθελα να πω και στον κ. Δημήτρη Ξενικό, πρώην προϊστάμενο του τμήματος σχεδιασμού και ανάπτυξης TETRA στον Ο.Τ.Ε. (Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών της Ελλάδας), όπου και έλαβαν χώρα οι σχετικές μετρήσεις, για την παραχώρηση των απαραίτητων τερματικών και όλου του υλικοτεχνικού εξοπλισμού αλλά και για την κάθε διευκόλυνση που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένειά μου για την υπομονή, την κατανόηση και την αμέριστη συμπαράστασή της όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Αντί προλόγου	12
Λίγα λόγια για το σύστημα TETRA	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή στο δίκτυο TETRA και μια επισκόπηση των κύριων γνωρισμάτων του.	Σελίδα 15
1.A. Εισαγωγικά	15
1.A.1 – Συχνότητες λειτουργίας	17
1.A.2 – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του TETRA	17
1.A.3 – Η μέθοδος πρόσβασης TDMA	18
1.A.4 – Η διαμόρφωση $\pi/4$ – DQPSK	20
1.B. DMO (Direct Mode Operation)	21
1.B.1 – DMO τοπικής περιοχής	21
1.B.2 – Επέκταση βεληνεκούς του TMO	22
1.B.3 – Επικοινωνία μεταξύ DMO και TMO χρηστών	23
1.B.4 – Βελτίωση απόδοσης φάσματος με χρήση DMO τοπικής περιοχής	23
1.Γ. Ασύρματη ζεύξη	25
1.Γ.1 – Αλυσίδα μετάδοσης	25
1.Γ.2 – Λογικά κανάλια (Logical Channels)	26
1.Γ.3 – Φυσικά κανάλια (Physical Channels)	27
1.Γ.4 – Καταστάσεις λειτουργίας TETRA	28
1.Γ.5 – Σταθμοί βάσης και κινητοί σταθμοί (BS & MS)	28
1.Δ. Διεπαφές του ασύρματου δικτύου TETRA	30
1.Δ.1 – SwMI (Switching & Management Infrastructure)	30
1.Δ.2 – Ραδιοδιεπαφές (Air Interfaces)	30
1.Δ.3 – PEI (Peripheral Equipment Interface)	30
1.Δ.4 – Remote Dispatcher Interface	30
1.Δ.5 – PSTN/ISDN/PABX	30
1.Δ.6 – ISI (Inter-System Interface)	31
1.Δ.7 – NMI (Network Management Interface)	31
1.E. Υπηρεσίες φωνής και δεδομένων	31
1.E.1 – Βασικές υπηρεσίες φωνής	31
1.E.2 – Απαραίτητες συμπληρωματικές υπηρεσίες	32
1.E.3 – Υπηρεσίες δεδομένων (Data Services)	34
1.E.4 – Βασικές υπηρεσίες δεδομένων	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Το πρωτόκολλο TETRA DMO	Σελίδα 37
2.A. Γενικές έννοιες του πρωτοκόλλου	37
2.A.1 – Υπηρεσίες του Direct Mode	38
2.A.1.1 – Υπηρεσίες βάσης	39
2.A.1.1.1 – Μετάδοση και λήψη κυκλοφορίας φωνής	39
2.A.1.1.2 – Short Data Service (SDS)	40
2.A.1.2 – Ενδογενείς υπηρεσίες	41
2.A.1.2.1 – DM late entry	41

2.A.1.2.2 – TPNI	41
2.A.1.2.3 – Προτεραιότητα έκτακτης ανάγκης	42
2.A.2 – Επεκτάσεις για το πρωτόκολλο DMO	42
2.A.2.1 – Επικοινωνία βάσης μεταξύ χρηστών DM	42
2.A.2.2 – Επικοινωνία ενός DW-MS	43
2.A.2.3 – Direct mode repeater (DM-REP)	43
2.A.2.4 – Direct mode gateway (DM-GATE)	45
2.A.2.5 – Direct mode repeater/gateway (DM-REP/GATE)	45
2.B. Εμβάθυνση στο TETRA DMO	46
2.B.1 – Η δόμηση σε επίπεδα	46
2.B.1.1 – Επίπεδα OSI σε σχέση μ'ένα κινητό DM	47
2.B.1.1.1 – Φυσικό επίπεδο	47
2.B.1.1.2 – Επίπεδο MAC	47
2.B.1.1.3 – Επίπεδο DMCC	48
2.B.1.1.4 – Τα άλλα επίπεδα	48
2.B.2 – Τρόπος διευθυνσιοδότησης	48
2.B.2.1 – ITSI: Η ατομική διεύθυνση	48
2.B.2.2 – GTSI: Η ομαδική διεύθυνση	49
2.B.2.3 – TEI: Η διεύθυνση σειράς	50
2.B.2.4 – Διευθυνσιοδότηση πύλης (gateway) ή επαναλήπτη (repeater)	50
2.B.3 – Ρόλοι ενός κινητού DM	50
2.B.3.1 – Ρόλος master	51
2.B.3.2 – Ρόλος slave	51
2.B.3.3 – Ρόλος idle	51
2.B.4 – Καταστάσεις του καναλιού DM	51
2.B.4.1 – Ελεύθερη συχνότητα (free)	51
2.B.4.2 – Κατειλημμένο κανάλι (occupied)	51
2.B.4.3 – «Κρατημένο» κανάλι (reserved)	52
2.B.5 – Δομή όλης της διαδικασίας	52
2.B.5.1 – Πακέτα επικοινωνίας	53
2.B.5.1.1 – DNB: Το πακέτο κυκλοφορίας	54
2.B.5.1.2 – DSB: Το πακέτο σηματοδότησης	54
2.B.5.1.3 – DLB: Το πακέτο ευθυγράμμισης	55
2.B.5.2 – PDU επιπέδου 3 και επιπέδου 2	55
2.B.5.3 – Σχέση ανάμεσα σε πακέτα και λογικά κανάλια	59
2.B.6 – Άλλες εγγενείς υπηρεσίες	61
2.B.6.1 – Υπηρεσίες pre-emption και changeover	61
2.B.6.1.1 – Pre-emption (Προαγορά)	61
2.B.6.1.2 – Changeover (Μεταστροφή)	61
2.B.6.2 – Υπηρεσίες ασφαλείας	62
2.B.6.2.1 – Μηχανισμός scrambling (παρεμβολής)	62
2.B.6.2.2 – Κρυπτογράφηση σε επίπεδο εφαρμογών	63
2.B.6.2.3 – Κρυπτογράφηση σε επίπεδο διεπαφής αέρα (air interface encryption)	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Η υπηρεσία σύντομων δεδομένων (SDS)	Σελίδα 67
3.A. Η SDS για το DMO	67
3.A.1 – Θεμελιώδεις έννοιες μιας DM-SDU	68
3.A.2 – Εναέριο πρωτόκολλο	70
3.A.2.1 – Unacknowledged SDS (SDS χωρίς επιβεβαίωση)	70
3.A.2.2 – Acknowledged SDS (SDS με επιβεβαίωση)	71
3.A.3 – Εσωτερικό πρωτόκολλο στο ραδιοτηλέφωνο	71
3.A.4 – Τρόποι μετάδοσης	73
3.B. Το πρωτόκολλο SDS-TL	73
3.B.1 – Υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων SDS-TL	75
3.B.2 – Επισκόπηση του SDS-TL	77
3.B.3 – Περιγραφή των στοιχείων του SDS-TL	81
3.B.4 – Διαδικασίες του SDS-TL	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Εφαρμογή αποστολής μηνυμάτων SDS-TL	Σελίδα 91
4.A. Περιγραφή των επιλογών της γραφικής διεπαφής χρήστη (GUI Interface)	91

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Επεξεργασία των μετρήσεων για την καθυστέρηση μετάδοσης των SDS	Σελίδα 95
5.A. Αποστολή SDS ανά 1 δευτερόλεπτο	96
5.B. Αποστολή SDS ανά 1.5 δευτερόλεπτο	115
5.Γ. Αποστολή SDS ανά 2 δευτερόλεπτα	134

Συμπεράσματα	Σελίδα 155
Συντομογραφίες	Σελίδα 159
Βιβλιογραφία	Σελίδα 162
Παράρτημα	Σελίδα 163

Σχήματα	Πίνακες	Κεφάλαιο
1-11	1-4	1 ^ο
12-20	-	2 ^ο (DMO A)
21-31	5-11	2 ^ο (DMO B)
32-34	12-17	3 ^ο (SDS DMO)
35-43	18-20	3 ^ο (SDS-TL)
44-48	-	4 ^ο
49-53	-	5 ^ο

Αντί προλόγου

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίστηκε στην επεξεργασία των μετρήσεων που διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας τερματικά TETRA Motorola MTH650 και το δίκτυο OTElink το οποίο είναι τεχνολογίας TETRA και έχει εγκατασταθεί απ'τον οίκο Motorola. Το συγκεκριμένο δίκτυο είναι ένα ολοκληρωμένο δίκτυο ραδιοεπικοινωνιών που αποτελείται από σταθμούς βάσης, κέντρο μεταγωγής, έλεγχο διαχείρισης λειτουργιών, φορητά/κινητά τερματικά και κονσόλες εκφωνητή (*Dispatcher*). Οι σταθμοί βάσης (BS) στους οποίους συντονίσαμε τα φορητά τερματικά ήταν οι εξής δύο: Ο επονομαζόμενος «C» (που βρίσκεται στην ταράτσα του Μεγάρου του ΟΤΕ) και ο λεγόμενος «39» (ο οποίος εγκαταστάθηκε με την ευκαιρία των Ολυμπιακών Αγώνων του 2004 στο MPC, *Media Press Center*). Η επικοινωνία των κινητών σταθμών (MS) με τους σταθμούς βάσης γίνεται μέσω του εναέριου πρωτοκόλλου. Ο οίκος Motorola χρησιμοποιεί την ονομασία DIMETRA-P (*DIGital Motorola Enhanced Trunked Radio-Private*), που σημαίνει Ψηφιακό Προηγμένο Συγκαναλικό Ραδιοδίκτυο Motorola-Ιδιωτικό. Ο προσδιορισμός “P” υποδηλώνει ότι οι υπηρεσίες και οι ευκολίες του DIMETRA-P εστιάζονται όχι στις ανάγκες του κοινού αλλά σε υπηρεσίες ασφαλείας. Σημειώνεται ότι όλο το δίκτυο που προαναφέραμε ανήκει στην κυριότητα του Ο.Τ.Ε. (Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών της Ελλάδας).

Το πεδίο μες το οποίο κινήθηκε η παρούσα εργασία αφορά αποκλειστικά το σύστημα TETRA του ΟΤΕ όσον αφορά τις έννοιες της εγκατάστασης, ανάπτυξης, ολοκλήρωσης προστασίας κι εξέλιξης τόσο του λογισμικού όσο και του υλικοτεχνικού εξοπλισμού.

Το δίκτυο OTElink που προαναφέραμε αποτελεί περίπτωση ενός ζευκτικοποιημένου ραδιοδικτύου (*trunked radio network*) που επιτρέπει υψηλό βαθμό χρησιμοποίησης των ραδιοδιαύλων του. Οποιοδήποτε ραδιοδίκτυο με δυνατότητα ζεύξης μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους χρήστες από ένα κλασικό ραδιοδίκτυο με τον ίδιο αριθμό ραδιοδιαύλων, ήτοι καναλιών για τους εξής λόγους:

- ✓ Τα κανάλια μεταφοράς της τηλεπικοινωνιακής κίνησης του χρήστη (TCH-Traffic Channels) εκχωρούνται με καθορισμένο και τακτικό τρόπο μέσω του ραδιοδιαύλου έλεγχου (CCH-Control Channel),

- ✓ Όλοι οι διαθέσιμοι ραδιοδιαύλοι μεταφοράς τηλεπικοινωνιακής κίνησης του χρήστη διαμοιράζονται σ'όλους τους χρήστες του ραδιοδικτύου.

- ✓ Η χρήση ραδιοδιαύλου ελέγχου για την εκχώρηση πόρων του δικτύου στις αιτήσεις κλήσεων επιτρέπει την πιο εξελιγμένη εκχώρηση πόρων, προτεραιοτήτων μεταξύ των χρηστών και την προτεραιότητα αποκατάστασης κλήσης απ'ότι είναι εφικτό με τα συμβατικά ραδιοδίκτυα. Επιπλέον η χρησιμοποίηση της τεχνικής TDMA (*Time Division Multiple Access – Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου*) βελτιώνει κι αυξάνει την απόδοση της λειτουργικότητας του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα η λειτουργία του καναλιού έλεγχου εκχωρείται σε μια και μοναδική χρονοθυρίδα (*timeslot*) κάθε φορά ενός συγκεκριμένου φυσικού καναλιού (συχνότητα) κι όχι σ'έναν αποκλειστικό φυσικό ραδιοδιάυλο (συχνότητα) όπως συμβαίνει στα αναλογικά δίκτυα ζευκτικοποιημένα δίκτυα.

Λίγα Λόγια για το σύστημα TETRA

Πρόκειται για σύστημα επαγγελματικής κινητής ραδιοτηλεφωνίας που αναπτύχθηκε απ'τον οργανισμό ETSI. Προσφέρει πρωτόκολλα επικοινωνίας διαθέτοντας διαφορετικά χαρακτηριστικά απ'το σύστημα GSM (της δημόσιας κυβελωτής κινητής τηλεφωνίας) και προορίζεται κυρίως για τις εξής κατηγορίες χρηστών:

- Αστυνομία, πυροσβεστική, ασθενοφόρα (όσον αφορά υπηρεσίες εκτάκτων αναγκών, άμεσης βοήθειας και δημόσιας τάξης),
- Κυβερνητικά όργανα, εθνικά ή τοπικά,
- Αεροδρόμια, λιμάνια, σιδηρόδρομοι, μετρό, λεωφορεία, ταξί (ό,τι αφορά τις δημόσιες και ιδιωτικές μεταφορές),
- Εταιρείες ή οργανισμοί που έχουν την ανάγκη η ιδιωτική τους επικοινωνία να περιορίζεται εντός των δικών τους ορίων.

Σε κάθε περίπτωση διατίθενται συχνότητες που κατανέμονται με αποκλειστικό τρόπο στους χρήστες TETRA: η δεσμευμένη ζώνη συχνοτήτων είναι σε γενικές γραμμές άλλη απ'αυτήν που χρησιμοποιείται για τη δημόσια κινητή τηλεφωνία (π.χ. υπάρχουν ραδιοσυστήματα που λειτουργούν ανάμεσα στα 380-400MHz είτε ακόμη και κοντά στα 800MHz). Το διάστημα συχνοτήτων ανάμεσα στα πολλαπλά φέροντα είναι ίσο με 25kHz και η πρόσβαση στο κανάλι είναι της μορφής TDMA, δηλαδή πολλαπλής πρόσβασής με διαίρεση χρόνου. Επί τη ευκαιρία τονίζουμε το γεγονός ότι τα συμβατικά ραδιοσυστήματα (*radio*) που χρησιμοποιούν την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) υστερούν πολύ σε σχέση με τα συστήματα TETRA.

Ένα βασικότατο σημείο που χρίζει ιδιαίτερης προσοχής είναι ότι προβλέπονται δύο κύριες λειτουργικές καταστάσεις για την επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων κινητών σταθμών MS:

1. DMO (*Direct Mode Operation*)
2. TMO (*Trunked Mode Operation*) η οποία λέγεται και V+D (*Voice plus Data*)

Στην κατάσταση λειτουργίας *trunked* η επικοινωνία προϋποθέτει τη διαμεσολάβηση μιας υποδομής που λέγεται SwMI (*Switching and Management Infrastructure*). Αντίθετα στην κατάσταση λειτουργίας *direct* τα κινητά επικοινωνούν εντός των ορίων μιας καθορισμένης περιοχής με απ'ευθείας τρόπο, ήτοι χωρίς κάποια υποδομή υποστήριξης.

Τέλος σε σχέση με το TMO και το DMO καλό θα ήταν να αναφερθούμε και σ'ένα τρίτο πρωτόκολλο που φέρει την ονομασία DW (*Dual Watch*), το οποίο υποστηρίζει και τις δύο λειτουργικές καταστάσεις που προαναφέρθηκαν. Χρησιμοποιώντας το DW μια συσκευή *radio* είναι σε θέση να παρακολουθεί και το κανάλι DM και το κανάλι TM: χάρη σ'αυτή τη δραστηριότητα παρακολούθησης ένας χρήστης μπορεί να έρθει σ'επαφή μ'έναν άλλο χρήστη ανεξάρτητα αν ο τελευταίος λειτουργεί στην κατάσταση *trunked* ή στην κατάσταση *direct*. Αυτό είναι ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα του συστήματος TETRA.

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή στο δίκτυο TETRA και μια επισκόπηση των κύριων γνωρισμάτων του

1.Α. Εισαγωγικά

TETRA είναι η συντομογραφία των λέξεων *TErrestrial Trunked RAdio* με την οποία έχει γίνει εδώ και κάποια χρόνια, διεθνώς γνωστό το πρότυπο για τις ψηφιακές επίγειες συγκαναλικές ραδιοεπικοινωνίες. Το TETRA (*TErrestrial Trunked RAdio*) είναι ένα πρότυπο ψηφιακών επικοινωνιών (*TETRA Standard*), που έχει αναπτυχθεί και καθιερωθεί απ' το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (*European Telecommunications Standards Institute- ETSI*). Μεταφράζοντας στα ελληνικά σημαίνει κατά λέξη: Επίγειο Συγκαναλικό Σύστημα Ραδιοεπικοινωνιών. Το 1994 ένας μεγάλος αριθμός από εταιρείες τηλεπικοινωνιών, κατασκευάστριες εταιρείες, ρυθμιστικές αρχές αλλά και ομάδες χρηστών υπέγραψαν ένα καταστατικό / μνημόνιο συνεργασίας και κατανόησης με κύριο σκοπό την καθιέρωση, προώθηση και εξάπλωση του προτύπου TETRA. Το καταστατικό αυτό είναι διεθνώς γνωστό με το όνομα (*TETRA MoU, Memorandum of Understanding*) και απαντάται στην ηλεκτρονική διεύθυνση: (www.tetramou.com). Σ' αυτήν την ηλεκτρονική διεύθυνση μπορεί κανείς να βρει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τις νεότερες εξελίξεις σχετικά με τα συστήματα TETRA καθώς και να μελετήσει όλα τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί με τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον μέσα από συνδέσμους (*links*) μπορεί να επισκεφθεί δικτυακούς τόπους άλλων χωρών που αφορούν το TETRA, να πληροφορηθεί για πιθανά συνέδρια που λαμβάνουν χώρα και μέσα από το *forum* να έρθει σ' επαφή με χρήστες, επιστήμονες και πάσης φύσης ενδιαφερόμενους για το σύστημα αυτό. Με άλλα λόγια η συγκεκριμένη σελίδα αποτελεί ένα ζωντανό κύτταρο συνεχούς εξέλιξης που στοχεύει στην προώθηση και στην ολοένα και μεγαλύτερη εξάπλωση του προτύπου TETRA.

Το TETRA έχει αρκετές ομοιότητες με το παγκόσμιο πρότυπο για τις κινητές επικοινωνίες (GSM) το οποίο ανέπτυξε και πάλι το ETSI. Τελείως επιγραμματικά αναφερόμαστε στην υπηρεσία αποστολής σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SDS στο TETRA, SMS στο GSM) ή στη χρήση σταθμών βάσης για την επικοινωνία των τερματικών. Ωστόσο παρατηρούνται και πολλές διαφορές, οι οποίες οφείλονται στις προτεραιότητες που τέθηκαν κατά την ανάπτυξη του συστήματος TETRA. Ο σκοπός της δημιουργίας του TETRA ήταν η εξυπηρέτηση των πιο απαιτητικών επαγγελματιών της κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή έπρεπε να είναι κατάλληλο για σώματα όπως ο στρατός, η πυροσβεστική, η αστυνομία αλλά και για ομάδες εργαζομένων στις διεθνείς μεταφορές (αεροδρόμια, λιμάνια, σιδηροδρομικοί σταθμοί κ.α.) και στις εταιρείες ασφάλειας-φύλαξης χώρων κ.ο.κ. Δηλαδή το TETRA σε αντίθεση με το GSM, που απευθύνεται σχεδόν αποκλειστικά σε ιδιώτες, έχει πολύ περισσότερες δυνατότητες, τέτοιες που να ταιριάζουν στον ιδιαίτερο χαρακτήρα των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης που αντιμετωπίζουν οι παραπάνω ομάδες.

Αυτή η υποδομή όπως προαναφέραμε, απευθύνεται πρώτιστα στις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες κινητής τηλεφωνίας για ομάδες που εμπλέκονται σε υψηλό κίνδυνο και δευτερευόντως σ' άλλες επιχειρήσεις που παρέχουν υπηρεσίες μεταδόσεων φωνής και δεδομένων. Όλες αυτές οι ομάδες αποτελούν χρήστες των ιδιωτικών/επαγγελματικών κινητών ραδιοεπικοινωνιών (*Private/Professional Mobile Radio-PMR communications*) ή της δημόσιας κινητής ραδιο-επικοινωνιακής τεχνολογίας πρόσβασης (*Public Access Mobile Radio*

Technology-PAMR). Τα συστήματα ραδιοεπικοινωνιών που σχετίζονται με μετάδοση φωνής και δεδομένων ως κύριοι φορείς των πληροφοριών, είναι άκρως ζωτικά για την ταχεία και ευέλικτη διεξαγωγή τακτικών και λειτουργικών επιχειρήσεων, ιδιαίτερα όσον αφορά τους οργανισμούς που ασκούν καθήκοντα ασφαλείας. Επιπλέον, το δίκτυο TETRA επιτρέπει σε ανεξάρτητους κατασκευαστές να αναπτύξουν υποδομή δικτύου και παραγωγή τερματικών.

Πιο αναλυτικά οι προτεραιότητες που τέθηκαν στη σχεδίαση του TETRA ήταν η άριστη ποιότητα φωνής κατά την επικοινωνία, η γρήγορη ταχύτητα επίτευξης σύνδεσης μεταξύ δύο τερματικών, η επιλογή μεταξύ ατομικών κλήσεων ανάμεσα σε δύο τερματικά (*private - individual calls*) ή εκπομπής κατά ομάδες (*group calls*), η μεγάλη εμβέλεια ραδιοκάλυψης με δυνατότητα περαιτέρω επέκτασης, η επίτευξη ασφαλών και ανεκτικών σε σφάλματα επικοινωνιών και η δυνατότητα μεταφοράς τόσο φωνής όσο και δεδομένων. Στη μορφή που έλαβε το TETRA υποστηρίζει ασύρματη μετάδοση τόσο μεταξύ των κινητών σταθμών (MS) και του κυψελωτού δικτύου πρόσβασης, όσο και απευθείας επικοινωνία μεταξύ δύο τερματικών (DMO), χωρίς την παρεμβολή κάποιου σταθμού βάσης (BS), οπότε το δίκτυο μπορεί να επεκταθεί κατά βούληση. Στο σύστημα παρέχεται ένας μικρός αριθμός καναλιών / ραδιοδιαύλων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά από κάθε τερματικό και σε κάθε κυψέλη, κάτι που επιτρέπει την κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών ενός μεγάλου αριθμού χρηστών σε μια ευρείας έκτασης περιοχή με την κατάληψη φάσματος περιορισμένου εύρους. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται υψηλής απόδοσης μέθοδοι κωδικοποίησης και κρυπτογράφησης των δεδομένων, ώστε η μετάδοση φωνής να γίνεται με υψηλή καθαρότητα και να αποτρέπεται η χρήση του δικτύου από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Ακόμη είναι δυνατή η μετάδοση τόσο φωνής όσο και δεδομένων, είτε με τη μορφή σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SDS) είτε με σύνδεση του τερματικού με το δίκτυο μέσω του IP (*Internet Protocol*).

Τα προϊόντα TETRA έχουν ενσωματωμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα οποία τους επιτρέπουν την εξασφάλιση της ασφάλειας των ευαίσθητων μεταδόσεων δεδομένων και φωνής. Όπως είναι αναμενόμενο, τα μέσα που χρησιμοποιούν τα σώματα ασφαλείας για την ασύρματη επικοινωνία τους, πρέπει να είναι απόλυτα ασφαλή. Κανείς τρίτος δεν πρέπει να έχει τη δυνατότητα παρείσφρησης στη μεταξύ τους επικοινωνία, ενώ παράλληλα, τα μέσα αυτά πρέπει να βρίσκονται σε λειτουργία ακόμα και υπό τις πιο αντίξοες συνθήκες και να μην επηρεάζονται από το φόρτο των κλήσεων. Μια φυσική καταστροφή για παράδειγμα, δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να θέσει εκτός λειτουργίας τους σταθμούς βάσης του δικτύου.

Με τα παλιά συστήματα στα ειδικά ραδιοδίκτυα η ποιότητα επικοινωνίας παρέμενε χαμηλή, με θόρυβο και παρεμβολές. Ήταν συχνή η συμφόρηση του φάσματος συχνοτήτων και η αδυναμία εκχώρησης άλλων συχνοτήτων σε νέα ειδικά ραδιοδίκτυα. Για να αρθεί το πρόβλημα αυτό άρχισαν να αναπτύσσονται τα αναλογικά συγκαναλικά συστήματα (*Trunking*) που μπορούσαν να εξυπηρετήσουν πολλές ανεξάρτητες ομάδες χρηστών με τα ίδια / κοινά κανάλια συχνοτήτων και κοινή υποδομή. Αλλά και τα αναλογικά συγκαναλικά συστήματα δεν επαρκούσαν για τα σημερινά δεδομένα, γι' αυτό και δημιουργήθηκαν τα ψηφιακά συγκαναλικά συστήματα. Το TETRA αποτελεί τυποποίηση ψηφιακού συγκαναλικού συστήματος που παρέχει υψηλή ποιότητα επικοινωνίας με ψηφιακή τεχνολογία και χρονοδιαιρετική τεχνική πολλαπλής πρόσβασης (TDMA). Ως γνωστόν οι ψηφιακές επικοινωνίες παρουσιάζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων σε τομείς όπως είναι: η ποιότητα φωνής, η ραδιοκάλυψη, οι υπηρεσίες *non-voice*, η ασφάλεια και το κόστος.

Τα δίκτυα TETRA επιτρέπουν τη διασύνδεση με τα σημαντικότερα εξωτερικά δίκτυα όπως είναι τα δημόσια και ιδιωτικά τηλεφωνικά δίκτυα, τα διάφορα δίκτυα δεδομένων όπως τα LAN και WLAN, το *internet* καθώς και κάθε άλλο δίκτυο PMR. Η τεχνολογία TETRA είναι απόλυτα συμβατή με κάθε δίκτυο και αυτό επιτρέπει σε κάθε χρήστη του δικτύου την πρόσβαση σε κάθε λογής πληροφορίες και βάσεις δεδομένων. Αυτό καθιστά το TETRA, μια υπερσύγχρονη πλατφόρμα εργασίας που μελλοντικά, αν δεν έχει γίνει ήδη, μπορεί να μονοπωλήσει την αγορά που σχετίζεται με την ανάπτυξη δικτύων ασύρματων και προσωπικών επικοινωνιών.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι κύριες παράμετροι του συστήματος TETRA:

<i>Παράμετρος</i>	<i>Τιμή</i>
Carrier spacing (Εύρος ζώνης καναλιού)	25 kHz
Modulation (Διαμόρφωση)	$\pi/4$ -DQPSK
Carrier data rate (Ρυθμός δεδομένων φέροντος)	36 kb/s
Voice coder rate (Ρυθμός κωδικοποιητή φωνής)	ACELP (4.56 kb/s net, 7.2 kb/s gross)
Access method (Μέθοδος πρόσβασης)	TDMA with 4 time slots/carrier
User data rate (Ρυθμός δεδομένων χρήστη)	7.2 kb/s per time slot
Maximum data rate (Μέγιστος ρυθμός δεδομένων)	28.8 kb/s
Protected data rate (Ρυθμός προστατευμένων δεδομένων)	Up to 19.2 kb/s

Πίνακας 1: Κύριες παράμετροι του δικτύου TETRA

1.A.1. Συχνότητες Λειτουργίας

Για λόγους συμβατότητας το ETSI αποφάσισε να χρησιμοποιηθούν περιοχές συχνοτήτων οι οποίες καθορίστηκαν από το CEPT (Ευρωπαϊκό Οργανισμό Ταχυδρομείων και Τηλεφωνίας). Αρχικά το TETRA λειτουργούσε στην περιοχή συχνοτήτων 380-400 MHz. Στη συνέχεια παραχωρήθηκαν οι συχνότητες 410-430 MHz και 870-888 MHz. Συγκεντρωτικά, οι περιοχές συχνοτήτων που χρησιμοποιεί σήμερα το TETRA 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

1.A.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του TETRA

Το TETRA αποτελεί συγκαναλικό δίκτυο (*trunked*) με αποτέλεσμα την καλύτερη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης ραδιοσυχνοτήτων. Με άλλα λόγια, μπορούν να «χωρέσουν» περισσότεροι χρήστες ανά ραδιοδιάλογο σε σχέση μ'ένα συμβατικό κανάλι. Έτσι μπορεί ένας σχετικά μικρός αριθμός διαύλων επικοινωνίας να μοιράζεται σ'ένα μεγάλο αριθμό χρηστών, πράγμα που σημαίνει οικονομία σε εύρος ζώνης. Με τον τρόπο αυτόν μπορεί να εξυπηρετήσει όσους επιθυμούν επικοινωνία ανεπηρέαστη απ' τις συνθήκες φόρτου του δικτύου. Στο σημείο αυτό, το TETRA υπερτερεί σε σχέση με την τεχνολογία της κινητής τηλεφωνίας GSM στην οποία παρατηρείται ότι ο μεγάλος φόρτος τηλεφωνικών κλήσεων οδηγεί τις χωρητικότητες του δικτύου στα άκρα, με αποτέλεσμα πάρα πολλοί συνδρομητές να μην μπορούν να επικοινωνήσουν (*call blocking*) σε συνθήκες αυξημένης χρήσης.

Το TETRA υποστηρίζει ασύρματη μετάδοση τόσο μεταξύ των κινητών σταθμών (*Mobile Stations, MS*) και του κυψελωτού δικτύου πρόσβασης, όσο κι απευθείας επικοινωνία μεταξύ

δύο τερματικών (*Direct Mode Operation, DMO*), χωρίς την παρεμβολή κάποιου σταθμού βάσης (*Base Station, BS*), γεγονός που καθιστά εύκολη την επέκταση του δικτύου.

Επιπλέον, το TETRA είναι ένα σύστημα που μπορεί να καλύψει τις επικοινωνιακές ανάγκες ενός μεγάλου αριθμού χρηστών σε μια ευρείας έκτασης περιοχή με την κατάληψη φάσματος περιορισμένου εύρους. Κάτι τέτοιο καθίσταται εφικτό, καθώς στο σύστημα παρέχεται ένας μικρός αριθμός ραδιοδιαύλων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά από κάθε τερματικό και σε κάθε κυψέλη.

Παράλληλα, οι υψηλής απόδοσης μέθοδοι κωδικοποίησης και κρυπτογράφησης των δεδομένων που χρησιμοποιούνται συμβάλλουν στην υψηλή καθαρότητα κατά τη μετάδοση φωνής αλλά και στην αποτροπή της χρήσης του δικτύου από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Το TETRA επιτρέπει μετάδοση 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 IP (*Internet Protocol*).

Στα μειονεκτήματα του TETRA θα μπορούσε κανείς να εντάξει το γεγονός ότι το σύστημα είναι συγκριτικά πιο ακριβό σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα που χρησιμοποιούν τον ίδιο αριθμό ραδιοδιαύλων και σταθμών βάσης. Αυτό οφείλεται στο ότι η «ευφυΐα» που υποστηρίζεται από ένα *trunking* σύστημα απαιτεί τη χρήση μικροεπεξεργαστών στα τερματικά του συστήματος όπως επίσης και τη χρήση υπολογιστών τόσο στους συγκαναλικούς ελεγκτές (*Trunking Controllers*) όσο και στους ελεγκτές συστήματος (*System Controllers*).

Επίσης το κόστος του λογισμικού που χρησιμοποιείται στις συσκευές αυτές αντικατοπτρίζεται στις τιμές πώλησης του αντίστοιχου εξοπλισμού.

Επιπλέον, θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν είναι συμφέρουσα η χρησιμοποίηση συγκαναλικών συστημάτων, όπως είναι και το TETRA για μικρό αριθμό χρηστών. Η χρήση τους γίνεται αποδοτική σε δίκτυα με σχετικά μεγάλη χωρητικότητα, απαιτώντας κατά μέσο όρο 3 ή περισσότερα κανάλια από κάθε σταθμό βάσης. Σε διαφορετική περίπτωση έχουμε μη αποδοτική χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης ραδιοσυχνοτήτων και είναι συμφέρουσα η υιοθέτηση ενός συμβατικού PMR συστήματος.

Είναι γεγονός λοιπόν ότι υπάρχει αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω της ύπαρξης μικροεπεξεργαστών και υπολογιστών στα συστήματα αυτά. Η επεκτασιμότητα των συγκαναλικών συστημάτων, δηλαδή η δυνατότητα ενσωμάτωσης νέων εφαρμογών ή/και υπηρεσιών, ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών, μπορεί να αυξήσει σημαντικά την πολυπλοκότητα υλοποίησης και λειτουργίας των τερματικών σε σχέση με τα παραδοσιακά PMR συστήματα.

1.A.3. Η μέθοδος πρόσβασης TDMA

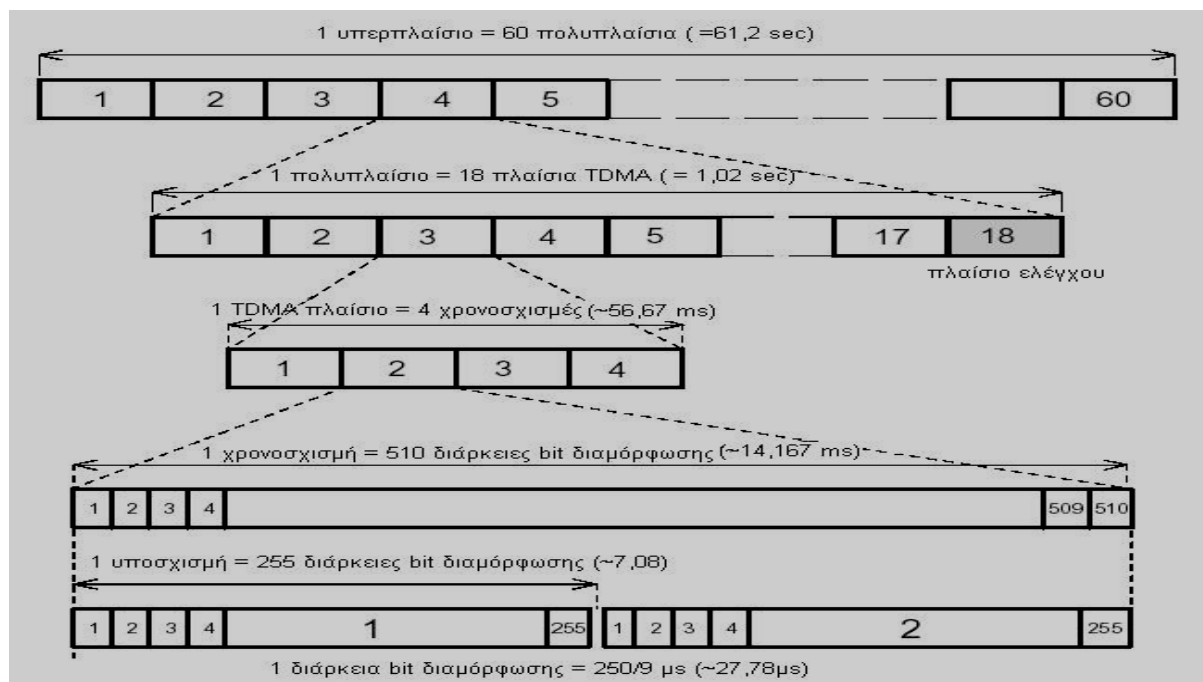
Το TETRA χρησιμοποιεί τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με πολυπλεξία χρόνου (TDMA, *Time Division Multiple Access*) με 4 χρονοθυρίδες ανά φέρον. Οι 4 ανεξάρτητοι δίαυλοι επικοινωνίας τους οποίους χρησιμοποιεί το TETRA καταλαμβάνουν εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων 25kHz.

Είναι φανερό η αποδοτική χρήση του φάσματος, καθώς στο ευρέως διαδεδομένο σύστημα GSM έχουμε διαύλους εύρους 200kHz με χωρισμό τους σε 8 χρονοσχισμές, που σημαίνει 8 διαθέσιμα κανάλια ανά 200kHz, ενώ για το TETRA έχουμε αντίστοιχα 32 κανάλια, καθένα από τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετάδοση είτε φωνής είτε δεδομένων.

Κατά την TDMA πρόσβαση σ'ένα δίαυλο επικοινωνιών υπάρχει ροή πολυπλεγμένης πληροφορίας από τόσες πηγές όσες και το πλήθος των χρονοθυρίδων που υποστηρίζει η συγκεκριμένη υλοποίηση TDMA (εδώ 4 χρονοθυρίδες). Κάθε πηγή πληροφορίας έχει στη διάθεσή της όλο το διατιθέμενο φάσμα ραδιο-συχνοτήτων (εδώ 25kHz) για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί/ορίζεται η χρονική σχισμή. Μετά το πέρας του χρόνου αυτού μεταδίδει η επόμενη πηγή κ.ο.κ.

Η χρονοσχισμή (*time slot*) αποτελεί το βασικό πόρο μετάδοσης της πληροφορίας διάρκειας $14,167\text{ms}$ ($8 \frac{5}{6} \text{ms}$), με ρυθμό 36 kbps . Αυτό σημαίνει πως η διάρκεια της χρονοσχισμής, συμπεριλαμβανομένων των διαστημάτων φύλαξης και ανόδου, είναι 510 bits (255 σύμβολα διαμόρφωσης). Οι χρονοσχισμές στο κανάλι ανόδου (*uplink*) μπορούν να διαιρεθούν σε δύο υποσχισμές. Το φυσικό περιεχόμενο κάθε χρονοσχισμής αποτελεί μια ριπή (*burst*). Σημειώνεται ότι οι *uplink* ριπές διαφέρουν από τις *downlink* ριπές καθώς στην άνοδο οι ριπές περιέχουν τμήμα στο οποίο δίνεται η δυνατότητα να ενεργοποιηθούν και να γραμμικοποιηθούν οι ενισχυτές ισχύος (*ramp-up linearization*) των κινητών. Αυτό το τμήμα είναι ίσο με 34 bits διαμόρφωσης και λόγω του ότι δεν υπάρχει τέτοιο διάστημα στις *downlink* ριπές, η χωρητικότητα μίας ριπής ανόδου είναι μεγαλύτερη. Η περίοδος στην οποία επαναλαμβάνεται εκπεμπόμενη ριπή από διάφορες πηγές πληροφορίας καλείται πλαίσιο (*frame*).

Τα *bits* συγκροτούν ιεραρχικά μεγαλύτερα λογικά μπλοκ πληροφορίας, που παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 1: Δομή TDMA

Τέσσερις χρονοθυρίδες σχηματίζουν ένα πλαίσιο διάρκειας $56,67\text{ms}$. Κάθε χρονοθυρίδα, όπως αναφέραμε και παραπάνω, έχει διάρκεια $14,167\text{ms}$ και μεταφέρει 510 bits από τα οποία τα 432 είναι *bits* πληροφορίας και τα υπόλοιπα 78 αποτελούν τα *bits* πλεονασμού.

Τα πολυπλαίσια (*multiframe*) διαιρούνται σε 18 πλαίσια και έχουν διάρκεια $1,02\text{s}$ έκαστο. Τα πρώτα 17 πλαίσια μεταφέρουν πληροφορία χρήστη (φωνή και δεδομένα). Το 18ο πλαίσιο κάθε πολυπλαίσιου είναι το πλαίσιο ελέγχου, το οποίο επιτρέπει στο σύστημα να μεταφέρει πληροφορίες σηματοδότησης και ελέγχου προς τα τερματικά ακόμη κι όταν αυτά είναι κατελημμένα. Δεδομένου ότι ένα πολυπλαίσιο διαρκεί $1,02\text{s}$ και μεταφέρει συνολικά 29376 bits ($17 \times 4 \times 432$) ο ρυθμός μετάδοσης χρήσιμης πληροφορίας είναι 28800 bps ανά φέρον ή 7200 bps ανά κανάλι.

Το υπερπλαίσιο (*hyperframe*) αποτελείται από 60 πολυπλαίσια και διαρκεί $61,2\text{s}$. Στο επίπεδο του υπερπλαίσιου διενεργούνται οι λειτουργίες συγχρονισμού και κρυπτογράφησης.

Η αποδοτική χρήση του εύρους των RF συχνοτήτων απ'τα συστήματα TETRA είναι ένας συνδυασμός τριών παραγόντων, που είναι:

- Το εύρος ζώνης που απασχολεί κάθε κανάλι επικοινωνίας,
- Η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, η οποία οριοθετείται απ'το λόγο φέροντος προς παρεμβολή (*Carrier to Interference ratio C/I*) σε *dB*
- Η τεχνολογία *trunking* που χρησιμοποιείται.

1.A.4. Η διαμόρφωση $\pi/4$ -DQPSK

Ο τύπος διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται είναι γνωστός με την ονομασία: $\pi/4$ -διαφορική ορθογωνική κωδικοποίηση φάσης ($\pi/4$ -shifted Differential Quaternary Phase Keying, $\pi/4$ -DQPSK), με ρυθμό διαμόρφωσης 36 kbps.

Το σύμβολο διαμόρφωσης $S(k)$, όπου k είναι ο ανταποκρινόμενος αριθμός συμβόλου, προκύπτει με διαφορική κωδικοποίηση. Αυτό σημαίνει πως το $S(k)$ θα λαμβάνεται με εφαρμογή της μετάβασης φάσης $D\phi(k)$ στο προηγούμενο σύμβολο $S(k-1)$, δηλαδή σε μιγαδικό συμβολισμό:

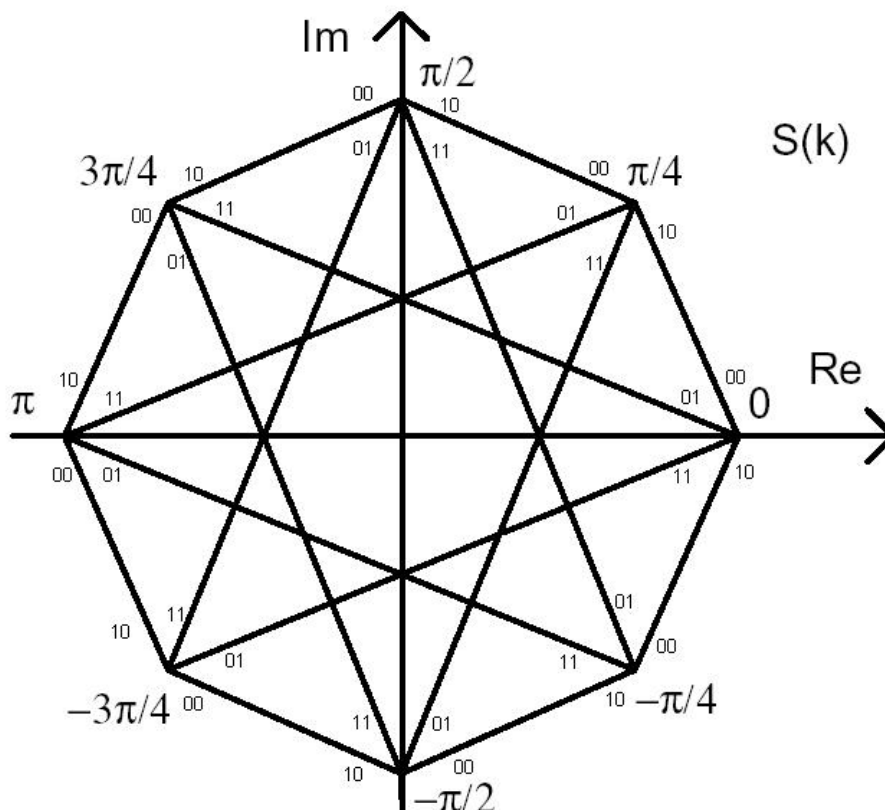
$$S(k) = S(k-1) \exp(j D\phi(k))$$

$$S(0) = 1$$

Η μετάβαση φάσης $D\phi(k)$ συσχετίζεται με τα *bits* διαμόρφωσης όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

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

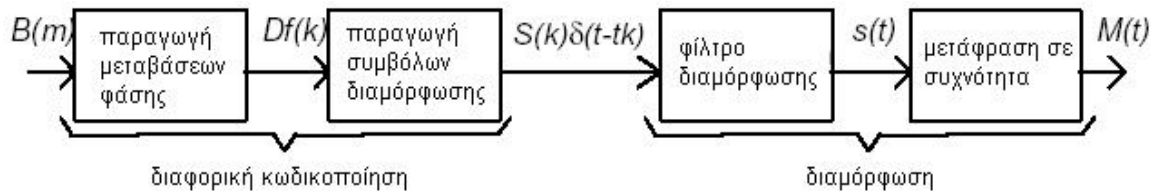
Πίνακας 2: Πιθανές μεταβάσεις φάσης στην $\pi/4$ -DQPSK διαμόρφωση



Σχήμα 2: Διάγραμμα μεταβάσεων φάσης στην $\pi/4$ -DQPSK διαμόρφωση

Το μπλοκ διάγραμμα της διαδικασίας διαμόρφωσης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα, που έχει επεξηγηματική λειτουργία και δεν καθορίζει μια συγκεκριμένη υλοποίηση. Το φίλτρο διαμόρφωσης, που διεγείρεται απ'τη μιγαδική κρουστική συνάρτηση *Dirac* $S(k)\delta(t-t_k)$, ιδανικά έχει κρουστική απόκριση $g(t)$.

Το ιδανικό φίλτρο διαμόρφωσης θα πρέπει να έχει γραμμική απόκριση φάσης, που ορίζεται απ'την έκταση της απόκρισης συχνότητας $|H(f)| = G(f)$.



Σχήμα 3: Μπλοκ διάγραμμα της διαδικασίας διαμόρφωσης

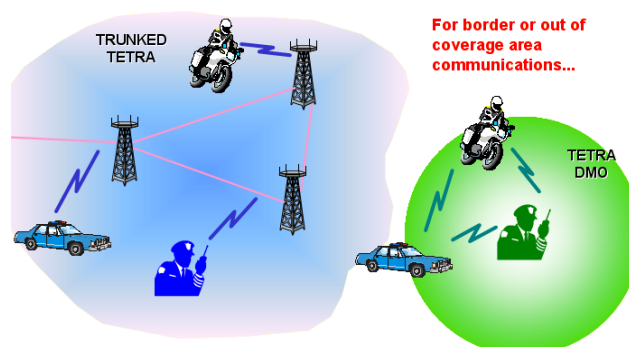
1.B. Direct Mode Operation (DMO)

Ο όρος *Direct Mode Operation* περιγράφει την ικανότητα των τερματικών TETRA να επικοινωνούν απ' ευθείας μεταξύ τους (όπως τα "Walkies-Talkies") ανεξάρτητα απ'τη λειτουργία συγκαταλιτικού τρόπου *Trunked Mode Operation* (TMO). Η λειτουργία DMO δεν είναι καινούργια και υπήρξε μια θεμελιώδης λειτουργία των παραδοσιακών συστημάτων επικοινωνιών για αρκετές δεκαετίες. Οι τυπικές εφαρμογές της λειτουργίας αυτής αφορούν κυρίως επικοινωνίες τοπικής εμβέλειας (*local area*) εκτός του δικτύου TMO καθώς και την εξάπλωση του δικτύου αυτού. Για να βελτιωθούν οι δυνατότητες επικοινωνίας, όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία αυτή, παρέχεται στους DMO χρήστες η δυνατότητα να συνδέονται με χρήστες του TMO δικτύου κατά τη διάρκεια λειτουργίας εκτός του δικτύου αυτού καθώς επίσης και άλλες δυνατότητες που επιτρέπουν καλύτερη ραδιοκάλυψη.

1.B.1 DMO τοπικής περιοχής

Οι επικοινωνίες αυτές χρησιμοποιούνται κατά κόρον, για να εξασφαλίσουν πρόσθετη χωρητικότητα δικτύου εκτός του TMO δικτύου, σε δραστηριότητες που εντοπίζονται σε περιορισμένη περιοχή, σε έκτακτα ή περιοδικά γεγονότα που συνδέονται επίσης με μια καθορισμένη γεωγραφική έκταση. Οι επικοινωνίες αυτές λαμβάνουν επίσης χώρα σε περιοχές όπου η ραδιο-κάλυψη του TMO δικτύου είναι ανεπαρκής. Για να εξασφαλιστεί αυτή η δυνατότητα επικοινωνίας πρέπει τα τερματικά TETRA να είναι εφοδιασμένα τόσο με DMO όσο και με TMO δυνατότητες.

Για να καταστεί πιο κατανοητή η διαφορά μεταξύ των λειτουργιών TMO και DMO δίνεται η παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 4: Λειτουργίες TMO και DMO του δικτύου TETRA

Η επικοινωνία με *DMO* χωρίς να υπάρχει δηλαδή ανάγκη μεσολάβησης του κύριου *TMO* δικτύου συμβάλλει στο να αποφευχθούν προβλήματα χαμηλού βαθμού εξυπηρέτησης *GoS* που παρουσιάζει το δίκτυο *TMO* όταν έχει μεγάλο φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης προς διαχείριση. Είναι επίσης πιθανό, η ραδιο-κάλυψη που παρέχεται από τον τοπικό σταθμό βάσης να μην είναι επαρκής να υποστηρίξει την επικοινωνία μεταξύ τερματικών που μετακινούνται ανάλογα με τις θέσεις των χρηστών, οπότε η λειτουργία *DMO* είναι ο μόνος τρόπος επικοινωνίας μεταξύ τους. Για τέτοιους τύπους επικοινωνιών, μια *RF* κάλυψη με ακτίνα περίπου 250 μέτρα θεωρείται συνήθως περισσότερο από ικανοποιητική. Είναι επίσης δυνατόν κατά την αποκλειστική λειτουργία *DMO* να συνομιλούν και περισσότεροι από δύο χρήστες μεταξύ τους κατά το πρότυπο των *group calls*:



INDIVIDUAL CALL

Σχήμα 5: Επικοινωνία ανάμεσα σε δύο χρήστες



GROUP CALL

Σχήμα 6: Επικοινωνία ανάμεσα σε περισσότερους από δύο χρήστες

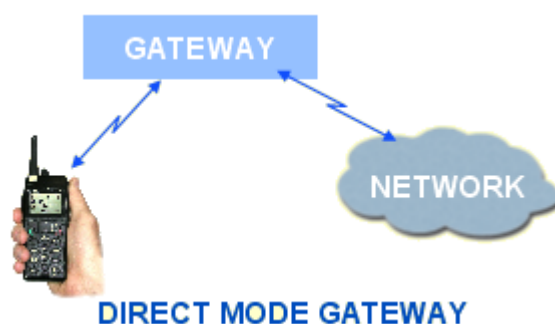
1.B.2 Επέκταση Βεληγεκούς του δικτύου *TMO*

Η πιο συχνή εφαρμογή της λειτουργίας *DMO* είναι να παρέχει επέκταση της ακτίνας κάλυψης του δικτύου *TMO* επιτρέποντας την επικοινωνία με φορητές συσκευές, σε περιοχές ενός δικτύου *TETRA* όπου υπάρχει μόνο ραδιο-κάλυψη κινητών επικοινωνιών. Στην περίπτωση π.χ. των σωμάτων ασφαλείας και συγκεκριμένα της αστυνομίας, για να καταστεί δυνατή αυτή η επέκταση της *RF* κάλυψης, ένα όχημα εφοδιασμένο μ'ένα κινητό τερματικό *TETRA* πρέπει να συνδεθεί μ'ένα *handportable* τερματικό ή μ' ένα άλλο κινητό τερματικό που επικοινωνεί με το *TMO* δίκτυο μέσω της λειτουργίας *DMO*.

Το *handportable* τερματικό επικοινωνεί μέσω *DMO* με το τερματικό *TETRA* που βρίσκεται μέσα στο όχημα, το οποίο με τη σειρά του επικοινωνεί μέσω *TMO* με το δίκτυο *TETRA* μέσω της κάλυψης που εξασφαλίζει ο πλησιέστερος σταθμός βάσης του δικτύου. Όπως και προηγουμένως, για τέτοιες εφαρμογές, μια απόσταση κάλυψης περίπου 250 μέτρα θεωρείται αρκετά ικανοποιητική. Οι *handportable* συσκευές βρίσκουν εφαρμογή σε σώματα όπως η αστυνομία ή η πυροσβεστική, καθώς εξυπηρετούν αλλά και διευκολύνουν κατά πολύ τους αξιωματικούς ασφαλείας αλλά και τους πυροσβέστες εν ώρα δράσης. Παράλληλα, έχοντας άμεση πρόσβαση σε επικοινωνία με το κέντρο ακόμη και όταν είναι απομακρυσμένοι απ' το αυτοκίνητο υπηρεσίας ή το πυροσβεστικό όχημα διασφαλίζουν και την προσωπική τους ασφάλεια.

1.B.3 Επικοινωνία μεταξύ DMO και TMO χρηστών

Η επικοινωνία αυτή μπορεί να επιτευχθεί μέσω των *DMO* θυρών (*DMO Gateways*).



Σχήμα 7: Επικοινωνία TMO και DMO μέσω Gateway

Αν και οι θύρες αυτές κανονικά χρησιμοποιούνται για να επεκτείνουν την περιοχή κάλυψης των TMO δικτύων, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν δίκτυα DMO τοπικής περιοχής με το βασικό δίκτυο TMO όταν κάτι τέτοιο απαιτείται. Αυτός ο τύπος σύνδεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από την *RF* κάλυψη που παρέχεται από το TMO δίκτυο. Μια άλλη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ DMO και TMO χρηστών είναι η αποκαλούμενη *Dual Watch*, η οποία, όταν είναι ενεργοποιημένη, ψάχνει περιοδικά για κλήσεις είτε στους DMO είτε στους TMO χρήστες, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας που έχει επιλεγεί.



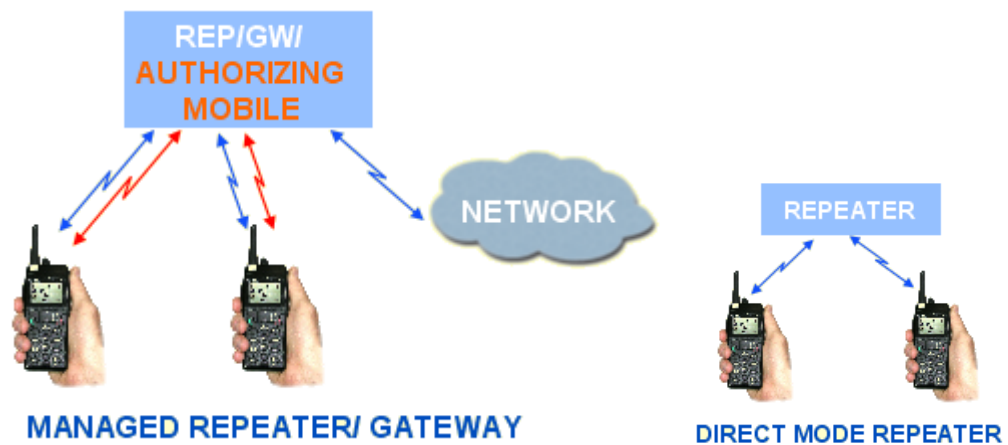
Σχήμα 8: Επικοινωνία TMO και DMO μέσω Dual Watch

Για παράδειγμα, αν ο τρόπος λειτουργίας που έχει επιλεγεί είναι ο DMO, το κινητό τερματικό θα ψάξει για κλήσεις που προέρχονται από το TMO δίκτυο και αντιστρόφως. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να υπάρξει τόσο στα κινητά όσο και στα *handportable* τερματικά. Προφανώς όμως, για να μπορούν τα τελευταία να υποστηρίξουν την “*Dual Watch*” δυνατότητα, θα πρέπει να υπάρχει ραδιο-κάλυψη από το TMO δίκτυο.

1.B.4 Βελτίωση απόδοσης φάσματος με χρήση του DMO τοπικής περιοχής

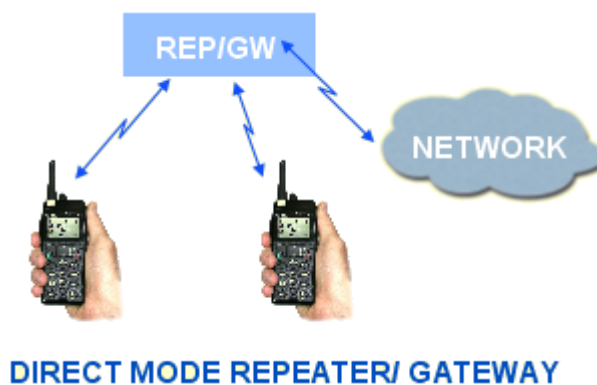
Αν και η απόδοση της ραδιο-κάλυψης κατά τη λειτουργία *DMO* είναι παραπάνω από ικανοποιητική για τις περισσότερες εφαρμογές, υπάρχουν και στιγμές όπου παρουσιάζεται η ανάγκη να γίνει ακόμη πληρέστερη αυτή η κάλυψη, όπως για παράδειγμα σε εφαρμογές για περιοχές όπου παρατηρείται ένας μεγάλος αριθμός άναρχα δομημένων κτιρίων (διαφόρων εμποδίων εν γένει) που προκαλούν μη επιτρεπτές απώλειες στην ισχύ του λαμβανόμενου σήματος, λόγω της διάδοσης του σήματος σε πολλαπλές διαδρομές και του φαινομένου της

συμβολής στο δέκτη. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο προτείνεται η χρησιμοποίηση επαναληπτών (*repeaters*) οι οποίοι θα βρίσκονται στα κινητά τερματικά TETRA των οχημάτων, ή σε μια μεταφερόμενη μονάδα, που θα τοποθετείται κατάλληλα κάθε ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή κάλυψη.



Σχήμα 9: Χρήση επαναλήπτη για βελτιωμένη απόδοση φάσματος

Για πρακτικούς λόγους, έως τώρα κάτι τέτοιο έχει υλοποιηθεί μόνο στα κινητά τερματικά. Επιπρόσθετα, οι επαναλήπτες μπορούν να ενσωματώνουν μια *gateway* δυνατότητα, ώστε να είναι σε θέση να εγκαθιστούν σύνδεση μεταξύ *DMO* και του δικτύου *TMO*, όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο:



Σχήμα 10: Χρήση επαναλήπτη με ενσωματωμένη gateway λειτουργία για επικοινωνία TMO-DMO

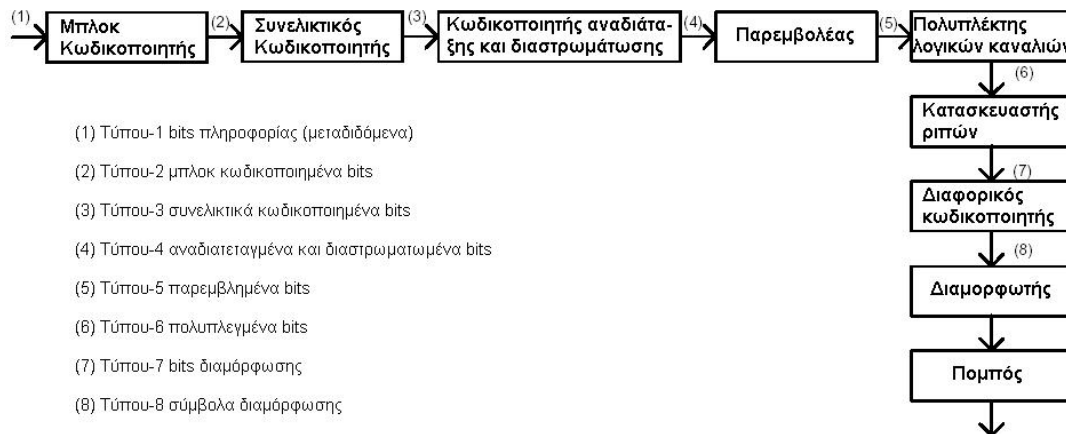
Από τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι πολλοί από τους χρήστες των παραδοσιακών PMR συστημάτων μπορούν να επιτύχουν οικονομικά οφέλη χρησιμοποιώντας τη λειτουργία DMO και μάλιστα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ραδιο-κάλυψης, βαθμού εξυπηρέτησης GoS και αξιοπιστίας του δικτύου. Από τη μέχρι τώρα εμπειρία, οι συνήθεις εφαρμογές που χρησιμοποιούν DMO απαιτούν μια απόσταση κάλυψης όχι μεγαλύτερη από 250 μέτρα, ενώ η απόσταση δεν ξεπερνά το 1km για μεγαλύτερης κλίμακας περιστατικά.

1.Γ. Ασύρματη ζεύξη

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε το υποσύστημα ασύρματης επικοινωνίας.

1.Γ.1 Αλυσίδα μετάδοσης

Η διαμόρφωση αναφοράς για την αλυσίδα μετάδοσης, στη μορφή που λαμβάνει για τον πομπό του συστήματος, έχει την παρακάτω διαγραμματική μορφή:



Σχήμα 11: Διαγραμματική μορφή αλυσίδας μετάδοσης

Το σύστημα αυτό αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

1. Μπλοκ κωδικοποιητής: εισάγει τα *bits* πληροφορίας σε μπλοκ για την περαιτέρω επεξεργασία και αποστολή τους.
2. Συνελκτικός κωδικοποιητής: επιτελεί τη λειτουργία της κωδικοποίησης με συνέλιξη, ώστε να μεγιστοποιηθεί η πιθανότητα σωστής αναγνώρισης των επιμέρους *bits* στο δέκτη.
3. Κωδικοποιητής αναδιάταξης και διαστρωμάτωσης: αναλαμβάνει τη μετάθεση των *bits* του σήματος, με στόχο την απόκρυψη των πληροφοριών που περιέχονται σ' αυτό.
4. Παρεμβολέας: μεταβάλλει την ακολουθία των προς μετάδοση *bits* αντικαθιστώντας το καθένα με το *modulo-2* (συμπλήρωμα ως προς 2) άθροισμά του με το αντίστοιχο στοιχείο από μια δεδομένη ακολουθία περίπλεξης από *bits* (*scrambling sequence*), ώστε να περιοριστεί ο πλεονασμός και να απαλειφθεί η *DC* πόλωση του σήματος που θα μεταδοθεί.
5. Πολυπλέκτης λογικών καναλιών: συνθέτει έναν αριθμό από διαφορετικά λογικά κανάλια στο ίδιο σήμα, προς εξοικονόμηση του διαθέσιμου φάσματος.
6. Κατασκευαστής ριπών: μετατρέπει την εισερχόμενη ακολουθία *bits* σε ξεχωριστές ριπές, που θα χρησιμοποιηθούν για την εκπομπή σε κάθε χρονοσχισμή.
7. Διαφορικός κωδικοποιητής: μετασχηματίζει τα *bits* προς μετάδοση με βάση τις αρχές της διαφορικής κωδικοποίησης.
8. Διαμορφωτής: διαμορφώνει το φέρον αναφοράς με βάση τα *bits* εισόδου του, σχηματίζοντας το ακριβές σήμα προς μετάδοση.

9. Πομπός: ενισχύει και μεταδίδει το σήμα.

1.Γ.2 Λογικά κανάλια (Logical channels)

Τα λογικά κανάλια αναπαριστούν τη διαπαφή μεταξύ του πρωτοκόλλου και του υποσυστήματος ασύρματης ζεύξης. Αποτελούν λοιπόν προσυμφωνημένους τύπους ριπών που εξυπηρετούν κάποιο συγκεκριμένο σκοπό και κάνουν δυνατή τη λειτουργικότητα του συστήματος, τον έλεγχο του, καθώς και την παροχή διαφόρων υπηρεσιών. Τα λογικά κανάλια μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα **κανάλια κυκλοφορίας**, που μεταφέρουν ομιλία ή δεδομένα με τη μέθοδο της μεταγωγής κυκλώματος, και τα **κανάλια ελέγχου**, που μεταφέρουν μηνύματα σηματοδότησης και πακέτα δεδομένων.

- Τα κανάλια κυκλοφορίας/κίνησης (*Traffic Channel, TCH*) μεταφέρουν τα δεδομένα των χρηστών. Διαφορετικά είδη καναλιών κίνησης ορίζονται για εφαρμογές φωνής ή δεδομένων και για διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων:
 - Κανάλι κίνησης φωνής (*Speech Traffic Channel, TCH/S*)
 - Κανάλι κίνησης δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος, με τις εξής επιλογές:
 - 7.2 kbps καθαρός ρυθμός μετάδοσης (*TCH/7.2*)
 - 4.8 kbps καθαρός ρυθμός μετάδοσης (*TCH/4.8*)
 - 2.4 kbps καθαρός ρυθμός μετάδοσης (*TCH/2.4*)
- Για τα κανάλια ελέγχου (*Control Channels, CCH*) έχουν οριστεί πέντε κατηγορίες:
 - Κανάλι έλεγχου ευρυεκπομπής (*Broadcast Control Channel, BCCH*)
 - Κανάλι ευθυγράμμισης (*Linearization Channel, LCH*)
 - Κανάλι σηματοδότησης (*Signalling Channel, SCH*)
 - Κανάλι ανάθεσης πρόσβασης (*Access Assignment Channel, AACH*)
 - Κανάλι κλοπής (*Stealing Channel, STCH*)

Το BCCH είναι ένα μονής κατεύθυνσης κανάλι για κοινή χρήση απ' όλους τους *MS*, στους οποίους εκπέμπει ευρέως γενικές πληροφορίες. Υπάρχουν δύο κατηγορίες *BCCH* :

1. *Broadcast Network Channel (BNCH)*, μόνο για τη ζεύξη καθόδου, εκπέμπει πληροφορίες δικτύου στους *MS*.
2. *Broadcast Synchronization Channel (BSCH)*, μόνο για τη ζεύξη καθόδου, όπου εκπέμπονται πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για συγχρονισμό χρόνου και παρεμβολής (*scrambling*) των *MS*.

Το LCH χρησιμοποιείται από τη βάση και τους *MS* για να συγχρονίζουν/ ευθυγραμμίζουν τους πομπούς τους. Ορίζονται δύο ειδών *LCH*:

1. *Common Linearization Channel (CLCH)*, μόνο για ζεύξη ανόδου, κοινό για όλα τους *MS*.
2. *BS Linearization Channel (BLCH)*, μόνο για ζεύξη ανόδου, χρησιμοποιείται από το σταθμό βάσης.

Το SCH χρησιμοποιείται απ' όλους τους *MS*, αλλά μπορεί να μεταφέρει μηνύματα ειδικά για ένα ή για μια ομάδα από *MS*. Η λειτουργία του συστήματος απαιτεί την εγκατάσταση ενός τουλάχιστον *SCH* ανά *BS*. Το *SCH* μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το μέγεθος του μηνύματος:

1. *Full Size Signalling Channel (SCH/F)*, διπλής κατεύθυνσης κανάλι για μηνύματα πλήρους μεγέθους.
2. *Half Size Downlink Signalling Channel (SCH/HD)*, μόνο για ζεύξη καθόδου, για μισού μεγέθους μηνύματα.
3. *Half Size Uplink Signalling Channel (SCH/HD)*, μόνο για ζεύξη ανόδου, για μισού μεγέθους μηνύματα.

Το *AACH* είναι παρόν σε όλες τις μεταδιδόμενες σχισμές καθόδου. Χρησιμοποιείται για να επισημάνει σε κάθε φυσικό κανάλι την ανάθεση των σχισμών ανόδου και καθόδου. Το *AACH* είναι ενσωματωμένο στο *MAC (Medium Access Control)*.

Το *STCH* είναι ένα κανάλι σχετιζόμενο με ένα *TCH* που προσωρινά «κλέβει» ένα μέρος από την χωρητικότητα του συσχετισμένου *TCH* για να μεταδώσει μηνύματα ελέγχου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτείται ταχεία σηματοδότηση. Στη λειτουργία *half duplex* το *STCH* είναι μονής κατεύθυνσης και έχει την ίδια κατεύθυνση με το συσχετισμένο *TCH*.

1.Γ.3 Φυσικά κανάλια (Physical Channels)

Ένα φυσικό κανάλι ορίζεται ως ένα ζεύγος που αποτελείται από δύο ραδιοσυχνότητες φερόντων (RF ζεύξης ανόδου και καθόδου) και έναν *TN (Timeslot Number)*. Είναι δηλαδή ο μηχανισμός μετάδοσης που κάνει δυνατή την επικοινωνία μεταξύ δύο χρηστών, δηλαδή ένα φέρον και μια χρονοθυρίδα που θα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την εξυπηρετούμενη κλήση. Πάνω σ' αυτό το φυσικό κανάλι μπορούν να μεταδοθούν τα λογικά κανάλια που απαιτούνται. Ορίζονται τρεις τύποι φυσικών καναλιών:

- Το φυσικό κανάλι κυκλοφορίας (*Traffic Physical channel, TP*), που μεταφέρει κυρίως λογικά κανάλια κίνησης (*TCH*)
- Το φυσικό κανάλι ελέγχου (*Control Physical channel, CP*), που μεταφέρει αποκλειστικά το λογικό κανάλι ελέγχου (*CCH*).

Ορίζονται δύο τύποι καναλιών *CP*:

1. *Main Control Channel (MCCH)*
2. *Secondary Control Channel (SCCH)*.

Το *RF* φέρον που περιέχει το *MCCH* ονομάζεται κύριο φέρον.

- Το αδέσμευτο φυσικό κανάλι (*Unallocated Physical Channel, UP*)
Το *UP* είναι ένα φυσικό κανάλι που δεν έχει εκχωρηθεί σ' έναν ή περισσότερους *MS*.

Ο τύπος του φυσικού καναλιού υποδεικνύεται στο *AACH* (λογικό κανάλι ανάθεσης πρόσβασης).

Η μετάδοση περιλαμβάνει κι άλλες λειτουργίες, οι οποίες επιβάλλουν τη διαχείριση ειδικών πρωτοκόλλων μεταξύ *BS* και *MS* και διαιρούνται στο συγχρονισμό και στον έλεγχο ζεύξης του υποσυστήματος ασύρματης μετάδοσης.

Ο συγχρονισμός ενσωματώνει την ανάκτηση συχνότητας και χρονισμού απ' το δέκτη, καθώς και τη ρύθμιση της χρονικής βάσης των *MS*. Ο έλεγχος ζεύξης περιλαμβάνει προσαρμοσμένο έλεγχο ισχύος, που ρυθμίζει την εκπεμπόμενη *RF* ισχύ, διασφαλίζοντας ότι η απαιτούμενη ποιότητα επικοινωνίας επιτυγχάνεται με την ελάχιστη δυνατή εκπεμπόμενη ισχύ. Τη διαχείριση της λειτουργίας αυτής αναλαμβάνει ο *MS* κατά την αρχική πρόσβαση και τόσο ο *MS* όσο και ο *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 ms), το κατώφλι ποιότητας για ομιλία πλήρους ρυθμού επιτυγχάνεται από μια 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 *BS* και -103 dBm για τα *MS*.

1.Γ.4. Καταστάσεις λειτουργίας TETRA

Το σύστημα TETRA περιλαμβάνει τις ακόλουθες καταστάσεις λειτουργίας:

- Καταστάσεις μετάδοσης:
 - i. Συνεχής μετάδοση καθόδου (*Downlink-Continuous Transmission, D-CT*).
Η *D-CT* κατάσταση είναι επιβεβλημένη για κάθε MS, καθώς τέτοιος εξοπλισμός θα πρέπει να συλλειτουργεί μ'έναν TETRA BS που θα είναι σε κατάσταση *D-CT*.
Ο BS χρησιμοποιεί διαρκώς συνεχόμενες ριπές ζεύξης καθόδου. Η μετάδοση είναι συνεχής στο κύριο φέρον. Στα υπόλοιπα φέροντα επιτρέπεται ασυνεχής μετάδοση η οποία δεν είναι ορατή από τα MS.
 - ii. Μετάδοση χρονικού καταμερισμού φέροντος κάτω ζεύξης (*Downlink-Carrier Timesharing Transmission, D-CTT*)
Η συχνότητα φέροντος μπορεί να κατανεμηθεί σε ξεχωριστές κυψέλες, με καθένα απ'τα τέσσερα φυσικά κανάλια της επιμερισμένο ανεξάρτητα στις κυψέλες αυτές. Ο BS χρησιμοποιεί ασυνεχείς ριπές κάτω ζεύξης.
 - iii. Μετάδοση χρονικού καταμερισμού του MCCH ζεύξης καθόδου (*Downlink-Main Control Channel Timesharing Transmission, D-MCCHTT*)
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.

Μετάδοση πολλαπλών σχισμών

Για την ίδια επικοινωνία χρησιμοποιούνται δύο έως τέσσερα φυσικά κανάλια. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα, αν επιθυμούμε να αυξήσουμε το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ή να αναμείξουμε φωνή και δεδομένα.

- Καταστάσεις ελέγχου:
 - i. Κατάσταση κανονικού ελέγχου (*Normal Control Mode, NCM*): είναι επιβεβλημένη για κάθε συσκευή TETRA. Παρέχει τις υπηρεσίες TETRA με πλήρη απόδοση. Απαιτεί την ανάθεση ενός *MCCH*.
 - ii. Κατάσταση ελάχιστου ελέγχου (*Minimum Control Mode, MCM*): είναι υποχρεωτική μόνο για τα MS.
Παρέχει τις υπηρεσίες TETRA με μειωμένη απόδοση. Όλα τα φυσικά κανάλια κάθε RF φέροντος είναι διαθέσιμα για μεταφορά πληροφορίας.

1.Γ.5. Σταθμοί βάσης και κινητά τερματικά (BS & MS)

Τα RF κανάλια ορίζονται ως συγκεκριμένα τμήματα του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων (που κυμαίνεται από 10kHz έως 300GHz). Αυτά χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία από το σταθμό βάσης (BS) προς το κινητό τερματικό (MS), οπότε σχηματίζεται η ζεύξη καθόδου (*Downlink, DL*), καθώς και για τη σύνδεση του MS με τον BS, οπότε σχηματίζεται η ζεύξη ανόδου (*Uplink, UL*).

Η ισχύς λειτουργίας για τους BS και MS δίνεται στους παρακάτω πίνακες (βλ. [8]) :

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 3: 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 4: Ονομαστική ισχύς πομποδεκτών MS

1.Δ. Διεπαφές του ασύρματου δικτύου TETRA

1.Δ.1. Υποδομή διαχείρισης και μεταγωγής (Switching and Management Infrastructure- SwMI)

Η συντομογραφία SwMI χρησιμοποιείται για να δηλώσει όλο τον εξοπλισμό και τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελείται ένα δίκτυο TETRA, συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών βάσης. Αρχικά προτάθηκε η ένταξη στο σύνολο των *standard interfaces* ενός *interface* και για τους σταθμούς βάσης (όπως υπάρχει στο πρότυπο GSM), ωστόσο η πρόταση αυτή απορρίφθηκε ως μη πρακτική, καθώς κάτι τέτοιο ίσως να περιόριζε τους διάφορους κατασκευαστές στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζουν τα δίκτυά τους στοχεύοντας στην επίτευξη βέλτιστης απόδοσης και της σχεδιαστικής ευελιξίας. Για παρόμοιους λόγους συμφωνήθηκε πως οτιδήποτε βρίσκεται εντός της SwMI δε θα προτυποποιηθεί, παρέχοντας έτσι ευελιξία στους κατασκευαστές υποδομής των δικτύων TETRA και συγχρόνως τη δυνατότητα να καταθέτουν προτάσεις διαφορετικού κόστους όταν προκληρυχθεί κάποιος διαγωνισμός. Αυτή η μεθόδευση επιτρέπει επίσης τη γρήγορη υιοθέτηση και ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών χωρίς να απαιτείται μια μακρά διαδικασία προτυποποίησης.

1.Δ.2. Ραδιοδιεπαφές (Air Interfaces)

Οι ραδιοδιεπαφές είναι τα πιο σημαντικά αλλά και πιο σύνθετα *interfaces* του δικτύου TETRA. Υλοποιούν τη διασύνδεση είτε μεταξύ των σταθμών βάσης και των κινητών τερματικών είτε μεταξύ τερματικών κατά την *Direct Mode* λειτουργία.

1.Δ.3. Διεπαφή περιφερειακού εξοπλισμού (Peripheral Equipment Interface-PEI)

Η διεπαφή αυτή υλοποιεί τη σύνδεση μεταξύ ενός κινητού τερματικού και μιας εξωτερικής μονάδας υποστηρίζοντας τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ εφαρμογών που «τρέχουν» στην εξωτερική αυτή μονάδα και του συνδεδεμένου μ' αυτή τερματικού TETRA.

1.Δ.4. Διεπαφή απομακρυσμένου αποστολέα (Remote Dispatcher Interface)

Ο αρχικός σκοπός αυτής της διεπαφής ήταν να επιτρέψει την ενσύρματη σύνδεση με απομακρυσμένους αποστολείς, όπως αυτοί που βρίσκονται σε μεγάλα κέντρα ελέγχου. Η υλοποίηση όμως ενός τέτοιου *interface* χωρίς να μειωθεί η συνολική απόδοση του δικτύου ήταν αδύνατη. Κι αυτό γιατί οι κατασκευαστές που ασχολούνται με εξοπλισμό ελέγχου για *Professional Mobile Radio* (PMR) εφαρμογές, είχαν στην πλειοψηφία τους διαφορετικό τρόπο για τη διασύνδεση του υποσυστήματος ελέγχου με το PMR δίκτυο. Παρόμοια, η αρχιτεκτονική των διαφόρων κατασκευαστών διαφέρει και στα δίκτυα TETRA, ενώ είναι γενικά δύσκολο να προτυποποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί ένα κοινώς αποδεκτό *interface*.

1.Δ.5. PSTN / ISDN / PABX

Αυτό το interface επιτρέπει τη διασύνδεση μεταξύ του δικτύου TETRA και δικτύων όπως τα PSTN, ISDN, PBX.

1.Δ.6. Διεπαφή μεταξύ διαφορετικών συστημάτων (Inter-System Interface-ISI)

Αυτή η διεπαφή επιτρέπει σε υποδομές προερχόμενες από διαφορετικούς κατασκευαστές δικτύων TETRA να λειτουργούν αλληλεπιδρώντας μεταξύ τους υλοποιώντας έτσι τη δυνατότητα της “δια-λειτουργικότητας” (*interoperability*) μεταξύ δύο ή περισσότερων δικτύων TETRA. Υπάρχουν δύο μέθοδοι για τη διασύνδεση των δικτύων και τη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ τους στο πρότυπο: η μεταγωγή κυκλώματος και η μεταγωγή πακέτου.

1.Δ.7. Διεπαφή διαχείρισης του δικτύου (Network Management Interface-NMI)

Όπως συνέβη και με το *Local Dispatcher Interface*, η ανάπτυξη ενός κοινού *interface* διαχείρισης αποδείχθηκε μη πρακτική. Ωστόσο, η αρχική αυτή προσπάθεια προτυποποίησης δεν απέβη τελείως άστοχη, αφού στη συνέχεια λειτούργησε ως ένας κατανοητός οδηγός που βοήθησε τους χρήστες στον προσδιορισμό των απαιτήσεων διαχείρισης του δικτύου.

1.E. Υπηρεσίες φωνής και δεδομένων

Στη συνέχεια, αναλύονται κάποιες από τις σημαντικότερες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων του δικτύου TETRA.

1.E.1. Βασικές υπηρεσίες φωνής

I. Ατομική κλήση (*Individual Call*)

Επικοινωνία ατόμου με άτομο. Μπορεί να είναι μονόδρομη (*simplex*), ημιαμφίδρομη (*semi-duplex*) ή πλήρως αμφίδρομη (*full duplex*), από τερματικό σε τερματικό (TETRA ή GSM), από τερματικό σε εκφωνητή ή από τερματικό σε συνδρομητή του τηλεφωνικού δικτύου (PSTN).

II. Ομαδική κλήση (*Group Call*)

Επικοινωνία ατόμου με ομάδα ατόμων (συνήθως αναφέρεται ως «*all informed net*» ή «*talk group call*»). Αυτή είναι πιθανώς η πιο βασική υπηρεσία φωνής στα δίκτυα TETRA, αλλά η αποτελεσματική υποστήριξή της είναι ακόμη μια σύνθετη υπόθεση. Κι αυτό γιατί οι κλήσεις προς ομάδες χρηστών έχουν ορισμένες ειδικές απαιτήσεις όπως:

- Πρέπει να χρησιμοποιείται μια απλή λειτουργία «*Push to Talk*» προκειμένου να επιτυγχάνονται γρήγοροι χρόνοι έναρξης της κλήσης προς κάποιο *group* χρηστών.
- Πρέπει να είναι εφικτή η διαχείριση των κλήσεων με αρκετούς διαφορετικούς τρόπους, ώστε να βελτιστοποιείται το φορτίο του δικτύου.
- Πρέπει να υπάρχει μια συγκεκριμένη περιοχή όπου θα λαμβάνουν χώρα (*Area Selection*).
- Υπάρχει ανάγκη ενός πολύ αξιόπιστου πρωτοκόλλου έναρξης κλήσης (*call set-up protocol*) το οποίο θα εξασφαλίζει ότι όλα τα μέλη μια ομάδας χρηστών (*group*) είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους όταν πρωτοεμφανίζεται μια κλήση. Η ύπαρξη ενός τέτοιου πρωτοκόλλου έρχεται να καλύψει την αδυναμία ύπαρξης ενός σήματος επιβεβαίωσης λήψης της κλήσης (*call acknowledgment*), όταν η κλήση απευθύνεται σε πολλαπλούς αποδέκτες.

- Είναι ανάγκη να υπάρχουν μηχανισμοί προτεραιότητας, ώστε να εξασφαλίζεται ότι κάποιοι συγκεκριμένοι χρήστες που μπορεί να βρίσκονται διεσπαρμένοι σε ευρεία γεωγραφική περιοχή, εξυπηρετούνται δηλαδή από διαφορετικούς σταθμούς βάσης, παραμένουν συνδεδεμένοι μεταξύ τους σε περίπτωση που το δίκτυο είναι απασχολημένο.

Όλη αυτή η πολυπλοκότητα καθιστούσε τα μέχρι τώρα δημόσια κυψελωτά δίκτυα μη ικανά να υποστηρίζουν κλήσεις προς ομάδες χρηστών (*group calls*), αφού σε αντίθεση με τα δίκτυα TETRA ήταν σχεδιασμένα να υποστηρίζουν μόνο κλήσεις «*one to one*».

III. Ομαδική κλήση με επιβεβαίωση (Acknowledged Call)

Ομαδική κλήση κατά την οποία αυτός που έκανε την έναρξη της κλήσης έχει τη δυνατότητα να δει ποια άτομα της ομάδας συμμετέχουν στην κλήση.

IV. Εκπομπή με πολλούς αποδέκτες (Broadcast Call)

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.

V. Κρυπτοφώνηση

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

1.E.2. Απαραίτητες συμπληρωματικές υπηρεσίες

I. Κλήση υπέρτερης προτεραιότητας (*pre-emptive priority call*)

Αυτή η υπηρεσία, που ορίζει ως κλήσεις μέγιστης προτεραιότητας τις επείγουσες κλήσεις (*emergency calls*), παρέχει για το σκοπό αυτό την υψηλότερη προτεραιότητα κατάληψης της ανόδου καθώς και την υψηλότερη προτεραιότητα πρόσβασης στους πόρους του δικτύου. Για τις επείγουσες κλήσεις στα δίκτυα TETRA πρέπει να αναφέρουμε ότι μπορεί να γίνει εκκίνησή τους μέσω ενός ειδικού διακόπτη ενσωματωμένου στα κινητά τερματικά, ο οποίος είναι τοποθετημένος αποκλειστικά για το σκοπό αυτό.

II. Επίσχεση κλήσης (*call retention*)

Αυτή η υπηρεσία έχει σκοπό να προστατεύσει επιλεγμένους χρήστες από αναγκαστική αποχώρηση από το δίκτυο, που πρακτικά σημαίνει διακοπή της κλήσης, που μπορεί να οφείλεται σε μια κλήση μεγαλύτερης προτεραιότητας, όπως εξετάστηκε παραπάνω, όταν το δίκτυο παρουσιάζει μεγάλο βαθμό απασχόλησης. Όταν όμως ένα δίκτυο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να υποστηρίζει *emergency calls* είναι θεμιτό η δυνατότητα αυτή να παρέχεται σε μια πολύ μικρή ομάδα χρηστών ώστε να εξασφαλίζεται τουλάχιστον ότι δε θα διακόπτονται σημαντικές κλήσεις (η σημαντικότητα καθορίζεται από την προτεραιότητα που ορίζεται για την εκάστοτε κλήση) κατά τη διάρκεια μεγάλης κίνησης στο δίκτυο.

III. Προτεραιότητα κλήσης (*priority call*)

Αυτή η υπηρεσία παρέχει διάφορα επίπεδα πρόσβασης στους πόρους του δικτύου ανάλογα με την προτεραιότητα που έχει καθορίσει ο χρήστης για την κλήση που πραγματοποιεί μέσω του τερματικού του. Επειδή στα δίκτυα TETRA υπάρχουν 16 επίπεδα προτεραιότητας, η υπηρεσία αυτή είναι ικανή να παρέχει διάφορους βαθμούς εξυπηρέτησης GoS (*Grade of Service*) κατά τη διάρκεια περιόδων μεγάλου φορτίου στο δίκτυο.

IV. Δυναμική εκχώρηση αριθμού ομάδας (*Dynamic Group Number Assignment*)

Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει τη δημιουργία μοναδικών/ξεχωριστών *groups* χρηστών προκειμένου να ικανοποιηθούν διαφορετικές απαιτήσεις επικοινωνιών. Η εφαρμογή αυτή κρίνεται εξαιρετικά χρήσιμη από ένα μεγάλο αριθμό οργανισμών δημόσιας ασφάλειας, αφού ενθαρρύνεται η δυναμική δημιουργία ομάδων κοινής συνομιλίας, καθιστώντας δυνατή την επικοινωνία για συγκεκριμένα περιστατικά.

V. Ανοικτή ακρόαση (*Ambience listening*)

Ένας αποστολέας (*dispatcher*) μπορεί να θέσει ένα τερματικό σε λειτουργία ανοικτής ακρόασης χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό από το χρήστη του συγκεκριμένου τερματικού. Έτσι ο *dispatcher* είναι σε θέση να ακούει συζητήσεις ή διάφορους θορύβους του περιβάλλοντος του χρήστη στο βαθμό που του εξασφαλίζει η ευαισθησία του ενσωματωμένου μικροφώνου στο τερματικό του χρήστη. Αυτή η υπηρεσία μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές όπως η μεταφορά σημαντικών ή πολύτιμων φορτίων που είναι πιθανό να απειλούνται από πειρατεία/ κλοπή ή ακόμη και σε δημόσια οχήματα (όπως τα μέσα μαζικής μεταφοράς) για να διασφαλίζεται η ομαλή και εύρυθμη λειτουργία τους. Παρ'όλα αυτά, υπάρχουν χρήστες που θεωρούν εύλογα ότι η υπηρεσία αυτή παραβιάζει κάποια προσωπικά δεδομένα, και για το λόγο αυτό μπορούν να εφοδιάζονται με την υπηρεσία ανοικτής ακρόασης μόνο όσοι θεωρούν άκρως απαραίτητη την υπηρεσία αυτή για την ασφάλεια και την προστασία τους.

VI. Κλήση εξουσιοδοτημένη από επιτελικό αποστολέα (*Call authorized by Dispatcher*)

Η υπηρεσία αυτή δίνει τη δυνατότητα σ'έναν επιτελικό αποστολέα να ελέγχει τις αιτήσεις κλήσεων των χρηστών προτού προχωρήσει η κλήση κι αυτό σε περιπτώσεις που πρέπει να υπάρχει διαρκής επίβλεψη των κλήσεων που γίνονται από τους χρήστες. Αυτή η υπηρεσία μπορεί επίσης να μειώσει το ποσό της κίνησης σ'ένα δίκτυο αφού μπορεί ο εκάστοτε *dispatcher* να επιτρέπει την πραγματοποίηση κλήσεων που είναι απαραίτητες και συνδέονται στενά μεταξύ τους. Ωστόσο, η συχνή ανάγκη για κλήσεις προς ομάδες χρηστών (*all informed net*) σε συνδυασμό με τη χρονική καθυστέρηση που επιβάλλει ο έλεγχος της αίτησης κλήσης από τον *dispatcher* κάνει μη θεμιτή τη χρησιμοποίησή της από κάποιους χρήστες.

VII. Επιλογή περιοχής (*Area Selection*)

Μέσω της υπηρεσίας αυτής δηλώνονται οι περιοχές λειτουργίας των χρηστών. Στην ουσία, η υπηρεσία αυτή προσομοιώνει την ικανότητα ενός *dispatcher* να επιλέγει διαφορετικούς σταθμούς βάσης προς τους οποίους να απευθύνει κλήσεις, όπως ήταν εφικτό και στα συμβατικά δίκτυα. Η υπηρεσία αυτή δίνει επίσης τη δυνατότητα να βελτιώνουμε την κατανομή της κίνησης στο δίκτυο και τη συνολική αποδοτικότητα χρήσης του φάσματος συχνοτήτων ελαττώνοντας, όποτε αυτό είναι επιθυμητό, την περιοχή λειτουργίας για *group* χρηστών που προφανώς θα δέχονται «*all informed net*» κλήσεις.

VIII. Καθυστερημένη είσοδος (*Late Entry*)

Δεν είναι υπηρεσία, αλλά ένα χαρακτηριστικό του *air interface*, το οποίο επιτρέπει σε τερματικά να συνδεθούν σ'ένα κανάλι επικοινωνίας με παρόμοιο τρόπο με τα παραδοσιακά PMR τερματικά. Για παράδειγμα, αν ένας χρήστης θέσει σε λειτουργία το TETRA τερματικό του και είναι σε εξέλιξη μια κλήση, τότε το κανάλι ελέγχου θα εκτρέψει αυτόματα το τερματικό του χρήστη σ'ένα *group* ομιλίας για τη συγκεκριμένη κλήση. Το ίδιο θα συμβεί

και στην περίπτωση που το τερματικό του χρήστη βρεθεί προσωρινά εκτός ραδιο-κάλυψης (για παράδειγμα μέσα σ' ένα τούνελ) και στη συνέχεια επανέλθει σε περιοχή κάλυψης.

1.E.3 Υπηρεσίες δεδομένων (Data Services)

I. Κλήσεις δεδομένων μεταγωγής κυκλώματος (*Circuit Mode Data*)

Πρόκειται για κλήσεις αποστολής δεδομένων με τη χρήση μιας έως τεσσάρων χρονοθυρίδων και για ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ 7.2/14.4/21.6/28.8kbps. Πραγματοποιούνται μέσω των καναλιών κίνησης και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων αλλά και για απαιτητικές εφαρμογές όπως *video*.

II. Κλήσεις δεδομένων μεταγωγής κυκλώματος με προστασία (*Circuit Mode Protected Data*)

Παρόμοιες με τις παραπάνω κλήσεις, αλλά με τη χρήση αλγορίθμων ασφαλείας και για ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ 4.8/9.6/14.4/19.2 kbps.

III. Κλήσεις δεδομένων μεταγωγής κυκλώματος με υψηλή προστασία (*Circuit Mode Heavily Protected Data*)

Παρόμοιες με τις παραπάνω κλήσεις, αλλά με τη χρήση πιο πολύπλοκων αλγορίθμων ασφαλείας και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο οι ρυθμοί μετάδοσης είναι κατά τι χαμηλότεροι, κυμαινόμενοι μεταξύ 2.4/4.8/7.2/9.6 kbps.

IV. Κλήσεις πακετοτροπικών δεδομένων (*Packet Mode Data – Connection Oriented/Connectionless*)

Κλήσεις αποστολής δεδομένων με τη χρήση πρωτοκόλλου *IP* πάνω σε μια ή περισσότερες δεσμευμένες χρονοθυρίδες. Οι ρυθμοί μετάδοσης είναι χαμηλότεροι σε σύγκριση με εκείνους της μεταγωγής κυκλώματος λόγω του υπερκείμενου πλαισίου *IP*.

V. Μηνύματα κατάστασης (*Status Messages*)

Μέσω ενός αριθμού γίνεται αποστολή ενός εκ των 16 προκαθορισμένων σύντομων γραπτών μηνυμάτων, από το τερματικό στον εκφωνητή.

VI. Κλήσεις σύντομων δεδομένων (*Short Data Service*)

Αποστολή βραχέων δεδομένων έως και 2047 ψηφία. Κατάλληλη για μετάδοση μικρών γραπτών μηνυμάτων.

1.E.4. Βασικές υπηρεσίες δεδομένων

I. Υπηρεσία βραχέων δεδομένων (*SDS - Short Data Service*)

Η υπηρεσία εξασφαλίζει την ανταλλαγή μηνυμάτων δεδομένων που μπορούν να υπερβαίνουν τα 256 bytes. Τα μηνύματα αυτά μπορεί να δηλώνουν την τρέχουσα κατάσταση ενός τερματικού (*status messaging*), να περιέχουν πληροφορίες για την τοποθεσία, όπως αυτά που προβλέπονται από το *TETRA Location Information Protocol (LIP)*, να περιέχουν πληροφορίες με τη μορφή απλού μηνύματος κειμένου και όλα αυτά ή σε διάταξη «*point to point*» είτε σε «*point to multipoint*». Λόγω της σχετικά μικρής διάρκειας των *SDS* μηνυμάτων, η υπηρεσία αυτή υποστηρίζεται από το κανάλι ελέγχου του συστήματος *TETRA*.

II. Υπηρεσία πακετοδομένων (*PDS - Packet Data Service*)

Η υπηρεσία αυτή μπορεί να υποστηριχθεί είτε από μια μόνο χρονοσχισμή της δομής *TDMA* πετυχαίνοντας πολύ μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης *bits* της τάξης των 4800 *bits/sec* (4,8 *kbps*) είτε από πολλαπλές χρονοσχισμές μέχρι το ανώτερο όριο των τεσσάρων. Η χρήση πολλαπλών χρονοθυρίδων είναι πολλές φορές προτιμητέα σε μια λύση δυναμικής εκχώρησης του εύρους ζώνης συχνοτήτων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να αυξήσει τη συνολική διέλευση δεδομένων μέχρι και 19,2 *kbits/sec* (19,2 *kbps*) προκαλώντας ως εκ τούτου την αύξηση των *non-voice* εφαρμογών που μπορούν να υποστηριχθούν από το TETRA.

Κεφάλαιο 2^ο

Το πρωτόκολλο TETRA DMO

Το κεφάλαιο που ακολουθεί έχει ως σκοπό να μας βοηθήσει να κατανοήσουμε τη λεγόμενη αμεσότροπη λειτουργία του συστήματος TETRA και χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος που χρησιμεύει ως μια εισαγωγή στον «κόσμο» της απ'ευθείας μετάδοσης (*Direct Mode*) μεταξύ κινητών σταθμών TETRA MS, θα εξετάσουμε τις πιο σημαντικές, μα και πιο χρήσιμες κατά την άποψή μας πλευρές του πρωτοκόλλου TETRA DMO. Ειδικότερα θα επιχειρήσουμε μια ευρεία επισκόπηση στις γενικές έννοιες που χαρακτηρίζουν το πρωτόκολλο, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις πολυποίκιλες υπηρεσίες που προσφέρονται. Στο δεύτερο μέρος δοκιμάζουμε να εμβαθύνουμε στις έννοιες βάσης του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου επιχειρώντας μια λεπτομερή αναφορά στα πακέτα δεδομένων, τα φυσικά και τα λογικά κανάλια ενώ παράλληλα προσπαθούμε να εξηγήσουμε την όλη διαδικασία στην οποία στηρίζονται οι προαναφερθείσες υπηρεσίες και λειτουργίες.

Προτού αρχίσουμε την ενασχόλησή μας με το πρωτόκολλο, κρίνεται χρήσιμο να τονίσουμε ότι καθ'όλη τη διπλωματική εργασία οι όροι χρήστης, ραδιοσύστημα/ραδιοτηλέφωνο, κινητό/τερματικό και DM-MS (*Direct Mobile Station*) χρησιμοποιούνται αδιαχώριστα υποδηλώνοντας μια ραδιοσυσκευή, όπως είναι μια συσκευή *hardware* που περιλαμβάνει εγκατεστημένο λογισμικό με μια ακριβή ρύθμιση δεδομένων καθώς και τη φυσική οντότητα που κάνει χρήση αυτών. Όπου αποδειχθεί αναγκαίο να ειδικεύσουμε την αναφορά μας σ'ένα μόνο φυσικό πρόσωπο ή σε μια μόνο ραδιοσυσκευή θα κάνουμε τις απαραίτητες επισημάνσεις/διευκρινίσεις.

2.Α. Γενικές Έννοιες του πρωτοκόλλου DMO

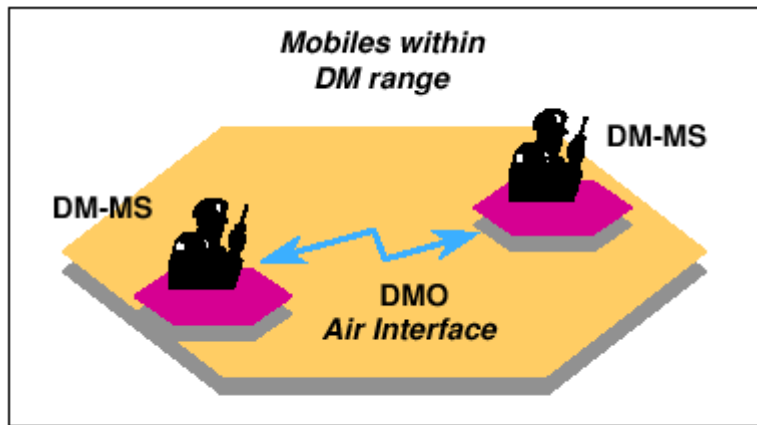
Όπως ήδη αναφέραμε στην εισαγωγή, μέσω της μορφής DMO είναι δυνατό να θέσουμε σ'επικοινωνία δύο ή περισσότερα κινητά με απ'ευθείας τρόπο χωρίς δηλαδή τη βοήθεια μιας υποδομής επικοινωνίας, στο εσωτερικό μιας ορισμένης περιοχής.

Η εισαγωγή αυτής της μορφής κρίνεται χρήσιμη ώστε να ξεπεράσουμε πρώτα απ'όλα τα μειονεκτήματα που προέρχονται από το γεγονός ότι στην κατάσταση λειτουργίας TMO για κάθε επικοινωνία ακόμη και ανάμεσα σε κοντινά κινητά μεσολαβεί τουλάχιστον μια SwMI (*Switching Management Infrastructure*). Με δεδομένη την περιορισμένη φορητότητα, το *direct mode* που δεν μπορεί παρά να θεωρηθεί προφανώς μια εναλλακτική στο *trunked mode*, πρέπει να θεωρείται κατά προτίμηση μια συμπλήρωσή του, συνήθως όταν δεν είναι εφικτή η χρησιμοποίησή του.

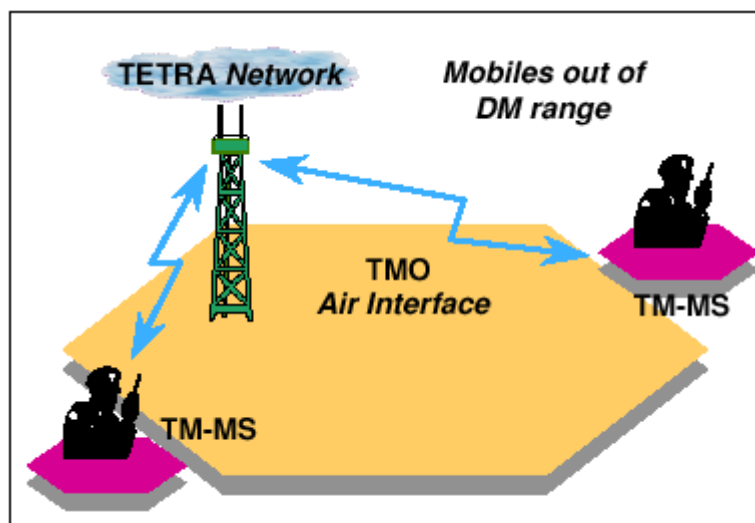
Στην πράξη η χρήση του *direct mode* αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματική στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- ♣ Αγροτικές περιοχές δίχως υποδομές υποστήριξης
- ♣ Αστικές περιοχές με αραιή κάλυψη όπως λόγου χάρη το εσωτερικό κτιρίων, υπόγειοι χώροι στάθμευσης και υπόγειοι σιδηρόδρομοι
- ♣ Για απρόβλεπτους λειτουργικούς λόγους όταν το σύστημα *trunked* δε λειτουργεί (δεν είναι χρησιμοποιήσιμο) ή λόγω συμφόρησης του δικτύου είτε εξαιτίας κάποιας προσωρινής βλάβης.

Στα σχήματα που ακολουθούν, απεικονίζεται η τυπική κατάσταση μιας επικοινωνίας στη μορφή *direct* και στη μορφή *trunked*:



Σχήμα 12: Επικοινωνία ανάμεσα σε δύο DM-MS



Σχήμα 13: Επικοινωνία ανάμεσα σε δύο TM-MS

2.A.1 Υπηρεσίες του Direct Mode

Οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το σύστημα TETRA DMO όπως θα δούμε, διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: στις υπηρεσίες βάσης και τις ενδογενείς υπηρεσίες (γνωστές και ως συμπληρωματικές υπηρεσίες).

Για να μπορέσουμε να καταλάβουμε πλήρως τα θέματα που ακολουθούν κρίνεται απαραίτητο να διευκρινίσουμε ότι ένα κινητό στο εσωτερικό ενός συστήματος TETRA χαρακτηρίζεται μέσω μιας διεύθυνσης *hardware* (TEI, *Tetra Equipment Identity*), μιας ατομικής διεύθυνσης (ITSI, *Individual Tetra Subscriber Identity*) και από δύο ή περισσότερες ομαδικές διευθύνσεις (GTSI, *Group Tetra Subscriber Identity*). Η διεύθυνση ITSI όπως και οι διευθύνσεις GTSI που χρησιμοποιούνται (αξιοποιούνται) στη φάση της κλήσης, αποτελούνται από 48 *bits* και υποδιαιρούνται σε δύο μέρη, καθένα μήκους ακριβώς ίσου με 24 *bits*: το πρώτο μέρος παίρνει την ονομασία MNI (*Mobile Network Identity*) και το δεύτερο ονομάζεται SSI (*Short Subscriber Identity*). Η SSI αναγνωρίζει μονοσήμαντα ένα κινητό στο εσωτερικό μιας ολόιδιας MNI. Η MNI συνίσταται με τη σειρά της από δύο πεδία: τον MCC (*Mobile Country Code*) που ξεχωρίζει τη χώρα όπου ανήκει το κινητό και από τον MNC (*Mobile Network Code*) που ξεχωρίζει το δίκτυο εντός του οποίου λειτουργεί το κινητό.

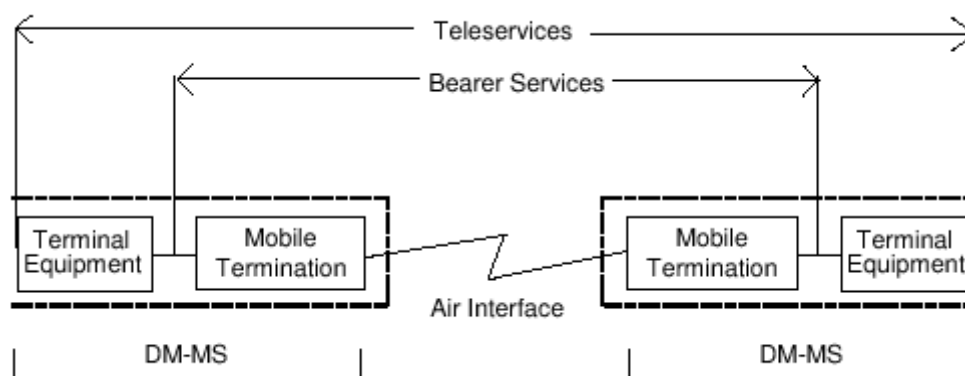
2.A.1.1 Υπηρεσίες Βάσης

Το πρότυπο στο εσωτερικό των υπηρεσιών βάσης, διακρίνει την υπηρεσία φέροντος (*bearer service*) από την τηλευπηρεσία (*teleservice*).

Μια *bearer service* είναι ένας τύπος υπηρεσίας που πραγματοποιεί τη μεταβίβαση πληροφοριών μέσω της ραδιοδιεπαφής εμπλέκοντας μόνο τις λειτουργίες του χαμηλού επιπέδου (δηλαδή τα κατώτερα επίπεδα του προτύπου OSI, *Open System Interconnection* στο οποίο βασίζονται προφανώς οι διατάξεις του συστήματος TETRA και για τις οποίες θα μιλήσουμε στο 2^ο μέρος του κεφαλαίου και συγκεκριμένα στην παράγραφο 2.B.1), παραλείποντας κατά συνέπεια όποιες επιτελούν τις λειτουργίες του τερματικού.

Αντιθέτως μια τηλευπηρεσία *teleservice* είναι ένα είδος υπηρεσίας που αξιοποιώντας την *bearer service* κάνει πλήρη χρήση των λειτουργιών που προσφέρονται από το πρωτόκολλο, εμπλέκοντας επιπλέον και τα ανώτερα επίπεδα του προτύπου OSI.

Συνεπώς η κυριότερη διαφορά ανάμεσα στις δύο προαναφερθείσες υπηρεσίες αφορά το επίπεδο των διεπαφών όσον αφορά τα δύο είδη υπηρεσιών:



Σχήμα 14: Οι δύο προσφερόμενες υπηρεσίες από το DMO: *teleservice* και *bearer service*

Στο σχήμα που προηγείται ο όρος *mobile termination* υποδηλώνει τη ραδιοσυσκευή και ο όρος *terminal equipment* υποδηλώνει τις συνήθεις διατάξεις που δύνανται να συνδεθούν στη συσκευή (επιτραπέζιοι, *palm*s κτλ.).

Για τους σκοπούς μας αυτή η υποδιαίρεση δεν προϋποθέτει κάποια σχέση και ακριβώς γι' αυτό το λόγο στη συνέχεια θα περιγράψουμε τις πιο ουσιαστικές υπηρεσίες βάσης χωρίς να γίνεται οποιαδήποτε διάκριση.

Είναι σημαντικό να καταστήσουμε σαφές ότι με το πρωτόκολλο DMO είναι εφικτό να μεταδίδουμε και να λαμβάνουμε φωνή, δεδομένα και *short data message* αλλά στην πραγματικότητα η ήδη υπάρχουσα υλοποίηση πάνω στην οποία βασίζεται η παρούσα εργασία προβλέπει μόνο τις φωνητικές κλήσεις και τα σύντομα γραπτά μηνύματα δεδομένων (SDS) : στη συνέχεια της εργασίας θα παραλείψουμε οικειοθελώς οποιαδήποτε αναφορά στις κλήσεις δεδομένων.

2.A.1.1.1 Μετάδοση και λήψη κυκλοφορίας φωνής

Όσον αφορά στις φωνητικές κλήσεις μια από τις μεγαλύτερες διαφορές ανάμεσα στο πρωτόκολλο TMO και το πρωτόκολλο DMO είναι ότι ενώ στο τελευταίο υποστηρίζεται μόνο η μετάδοση *half duplex* (λέγεται επίσης και *simplex*), στο πρώτο υποστηρίζεται επιπλέον αυτή του τύπου *full duplex*. Αυτό σημαίνει ότι ενώ στο DMO μπορεί να μιλάει μόνο ένα κινητό τη φορά και όλα τα άλλα μπορούν μόνο ν' ακούνε, στο TMO σε κάποιες περιπτώσεις (ατομικές κλήσεις) γίνεται να μεταδίδουμε και να λαμβάνουμε ταυτόχρονα.

Η μετάδοση *half duplex* στο DMO υποδιαιρείται τελικά σε *normal mode* και *frequency efficient mode*: στην πρώτη μορφή το φέρον RF τυγχάνει χρήσης από μία μόνο επικοινωνία ενώ αντίθετα στη δεύτερη το ίδιο φέρον RF διατίθεται σε δύο ανεξάρτητες επικοινωνίες.

Σ'όλα αυτά απομένει να προσθέσουμε ότι η φωνητική επικοινωνία μπορεί να είναι κρυπτογραφημένη ή όχι υποβοηθώντας τις απαιτήσεις του χρήστη και χωρίζεται στις ατομικές και τις ομαδικές κλήσεις. Δευτερευόντως σημαντικό ρόλο παίζει και ο αριθμός των συνομιλητών που εμπλέκονται στην κλήση.

1. Ατομικές κλήσεις

Μια ατομική κλήση είναι μια επικοινωνία *point to point* ανάμεσα σ'ένα κινητό που καλεί και σ'αυτό που καλείται. Στην DMO, μια κλήση μπορεί να ενεργοποιηθεί μόνο ανάμεσα σε δύο DM-MS που έχουν επιλέξει το ίδιο φέρον RF.

Σ'αυτό το είδος επικοινωνίας το κινητό που καλεί θα στείλει τη διεύθυνσή του στο κινητό που καλείται χρησιμοποιώντας την ITSI, δηλαδή τον προκαθορισμένο αριθμό που σχετίζεται με κάθε συσκευή και που αντιπροσωπεύει στο εξής το μοναδικό αναγνωριστικό εντός του συστήματος TETRA.

Οι ατομικές κλήσεις μπορούν να συμβούν με ή χωρίς έλεγχο παρουσίας, δηλαδή με ή χωρίς τη δυνατότητα εκ μέρους του καλούντος να ζητήσει από τον κληθέντα μια ρητή επιβεβαίωση της αποδοχής της κλήσης προτού αυτή να ξεκινήσει.

2. Ομαδικές κλήσεις

Μια ομαδική κλήση είναι μια επικοινωνία *point to multipoint* μεταξύ ενός κινητού που καλεί και δύο ή περισσότερων κινητών που καλούνται. Όπως ήδη έχει λεχθεί για τις ατομικές κλήσεις, έτσι και για τις ομαδικές κλήσεις ισχύει ότι μπορούν να λάβουν χώρα μόνο μεταξύ DM-MS που έχουν επιλέξει το ίδιο φέρον RF.

Για να ενεργοποιήσουμε μια επικοινωνία αυτού του τύπου αυτός που καλεί θα διευθύνσει τη μετάδοση χρησιμοποιώντας μια GTSI, δηλαδή τον προκαθορισμένο αριθμό που θα είναι κοινός για όλα τα μέλη της ίδιας ομάδας κινητών και επιπλέον θα αντιπροσωπεύει τη διεύθυνση. Το κάθε μέλος μιας συγκεκριμένης ομάδας ωστόσο μεταξύ των έγκυρων διευθύνσεων έχει την ίδια GTSI διαθέτοντας όμως διαφορετική ITSI.

Σ'αυτό το είδος κλήσης εξάλλου αυτός που καλεί δεν έχει τη δυνατότητα να γνωρίζει αν τα κινητά που καλούνται είναι σε θέση να δεχθούν την κλήση προτού καν αυτή αρχίσει: εκ των πραγμάτων λοιπόν η κλήση ενεργοποιείται ακόμη κι αν δεν υπάρχουν κινητά για λήψη.

Συμπερασματικά είναι βασικό να υπογραμμίσουμε το γεγονός ότι οι ομαδικές κλήσεις αντιπροσωπεύουν μια αποκλειστική υπηρεσία του συστήματος TETRA που το διαφοροποιεί κατά έναν ουσιαστικό τρόπο απ'ότι συμβαίνει στο δημόσιο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, όπου ακριβώς τέτοιες κλήσεις δεν είναι πραγματοποιήσιμες.

2.A.1.2 Short Data Service (SDS)

Με τον όρο SDS υποδηλώνουμε την υπηρεσία που σχετίζεται με τη μετάδοση και τη λήψη σύντομων μηνυμάτων δεδομένων, όπως είναι τα σύντομα γραπτά μηνύματα κειμένου. Αυτή η υπηρεσία είναι συγκρίσιμη μ'εκείνη που προσφέρεται από το δημόσιο δίκτυο κινητών επικοινωνιών, τη γνωστή μας υπηρεσία για την αποστολή και λήψη σύντομων γραπτών μηνυμάτων, δηλαδή τα λεγόμενα SMS.

Τα πιο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά για τα μηνύματα SDS μπορούμε να τα συνοψίσουμε στα εξής:

- ♣ Μπορούν να μεταδοθούν σε μια μετάδοση *stand-alone* δηλαδή με αυτόνομο τρόπο ή στο εσωτερικό μιας μετάδοσης κυκλοφορίας φωνής ή δεδομένων.

♣ Μπορούν να οριστούν από το χρήστη είτε να είναι προκαθορισμένου τύπου (το τελευταίο είναι χρήσιμο σε επείγουσες περιπτώσεις ή για την προώθηση σηματοδότησης, διαθέτοντας ένα προκαθορισμένο νόημα εντός του συστήματος TETRA)

♣ Μπορούν να μεταδοθούν ακριβώς όπως και η κυκλοφορία φωνής, σ'ένα μοναδικό κινητό, μέσω μιας σύνδεσης *point to point* (ανάλογα με τις ατομικές κλήσεις), είτε σε δύο ή πιο πολλά κινητά μέσω μιας σύνδεσης *point to multipoint* (ανάλογα με τις ομαδικές κλήσεις)

♣ Τέλος μόνο για τις ατομικές επικοινωνίες το πρότυπο TETRA DMO προβλέπει τη δυνατότητα να έχουμε μηνύματα με ή χωρίς επιβεβαίωση (*acknowledgement*), με άλλα λόγια με ή χωρίς τη δυνατότητα εκ μέρους του αποστολέα του μηνύματος να ζητήσει απ'τον παραλήπτη μια σαφή επιβεβαίωση της παραλαβής του μηνύματος.

Σ'αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να υπενθυμίσουμε ότι το σύστημα TETRA DMO επί του παρόντος είναι σε θέση να προσφέρει μόνο SDS χωρίς επιβεβαίωση παραλαβής, σε αντίθεση με το σύστημα TETRA TMO, το οποίο προσφέρει αναγνώριση λήψης, δηλαδή αναφορά παράδοσης (*acknowledgement*) και είναι αυτό που χρησιμοποιήσαμε για να φέρουμε εις πέρας τη διαδικασία των μετρήσεων με τη βοήθεια της εφαρμογής που θα περιγράψουμε στο 4^ο Κεφάλαιο.

2.A.1.2 Ενδογενείς υπηρεσίες

Σ'αυτήν την κατηγορία ανήκουν όλοι οι τύποι υπηρεσιών που στηρίζονται σ'αυτές της βάσης, που περιγράψαμε πρωτύτερα, και που λειτουργούν εκμεταλλευόμενες τη δυνατότητα του καναλιού σηματοδότησης πάνω στο οποίο υλοποιούνται.

Θα δούμε αμέσως μια περίληψη των κυριότερων ενδογενών υπηρεσιών, που λέγονται και συμπληρωματικές.

2.A.1.2.1 DM late entry

Η υπηρεσία *late entry* επιτρέπει σ'ένα DM-MS να εισέλθει σε μια κλήση όταν αυτή είναι ήδη ενεργή. Προφανώς η είσοδος είναι δυνατή μόνο αν η κλήση είναι χωρίς έλεγχο παρουσίας και διευθυνσιοδοτημένη σε μια από τις έγκυρες διευθύνσεις του κινητού (ITSI ή GTSI).

2.A.1.2.2 TPNI

Η υπηρεσία TPNI (*Transmitting Party Number Identification*) επιτρέπει, σ'ένα κινητό που πραγματοποιεί μια κλήση, να γνωστοποιήσει τη δική του ITSI στους μοναδικούς αποδέκτες της κλήσης. Μια τέτοια υπηρεσία καλείται στην περίπτωση που αυτός που καλεί είχε χρησιμοποιήσει ως διεύθυνση προέλευσης (πηγαία) μια ψευδό SSI (*Short Subscriber Identity*) ή εφόσον θέλει να λειτουργήσει ανώνυμα ή εφόσον πρέπει να πραγματοποιήσει μια κλήση inter-MNI (*Mobile Network Identity*), όπως μια κλήση που εμπλέκει κινητά που λειτουργούν σε διαφορετικά δίκτυα TETRA (και κατά συνέπεια έχουν διαφορετικές MNI).

2.A.1.2.3 Προτεραιότητα έκτακτης ανάγκης

Η υπηρεσία έκτακτης ανάγκης συμβάλλει στην πραγματοποίηση κλήσεων ιδιαίτερης σημασίας αποδίδοντας σ'αυτές τη μέγιστη προτεραιότητα. Πράγματι αποδίδοντας σε μια κλήση την προτεραιότητα έκτακτης ανάγκης, καθίσταται δυνατό να χρησιμοποιήσουμε ένα φέρον RF ακόμη κι αν είναι ήδη κατειλημμένο από άλλη κλήση κατώτερης προτεραιότητας και επί πλέον εξασφαλίζει τη διατήρηση του ελέγχου του καναλιού μέχρι το πέρας της ίδιας κλήσης.

Οι κλήσεις έκτακτης ανάγκης μπορούν να είναι είτε ατομικές είτε ομαδικές.

Στην τρέχουσα υλοποίηση εκ των πραγμάτων, μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο στη μορφή *open group*, δηλαδή θέτοντας στο 1 όλα τα *bits* των MNI και των SSI (κατά συνέπεια πραγματοποιώντας μια κλήση σ'όλους τους DM-MS που είναι παρόντες στο φέρον RF) είτε σταθεροποιώντας μια MNI και θέτοντας στο 1 όλα τα *bits* των SSI (έτσι πραγματοποιώντας μια κλήση σ'όλους τους παρόντες DM-MS στο φέρον και που διαθέτουν αυτήν τη συγκεκριμένη MNI), ή στη μορφή *group*, δηλαδή επιλέγοντας την ομάδα στην οποία καταφθάνει η κλήση.

2.A.2 Επεκτάσεις για το πρωτόκολλο DMO

Σ'αυτήν την παράγραφο θα περιγράψουμε πιο λεπτομερώς τα είδη των επικοινωνιών που προβλέπονται μες το πεδίο δράσης του DMO. Μερικές απ'αυτές απαιτούν τη χρήση κατάλληλων διατάξεων για τις οποίες καθίσταται απαραίτητος ο καθορισμός ενός κατάλληλου πρωτοκόλλου.

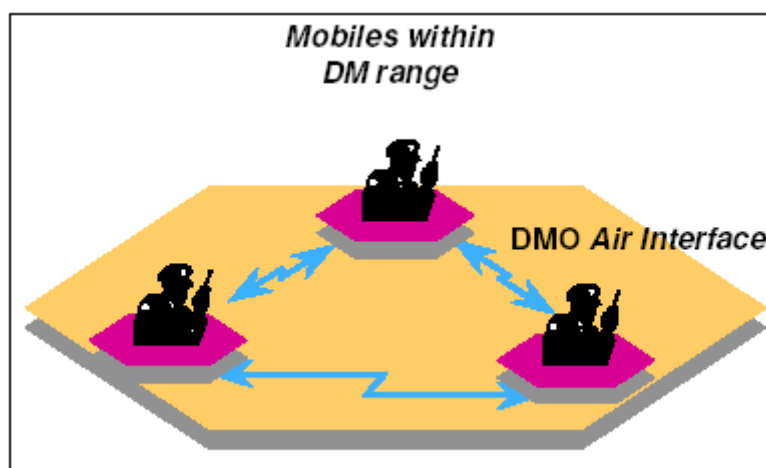
Μέσα στην περιοχή DMO είναι λοιπόν δυνατό να διακρίνουμε τύπους επικοινωνίας:

- Σύνδεση βάσης μεταξύ χρηστών DM
- Μοντέλο αναφοράς του DM *dual watch*
- Σύνδεση ανάμεσα σε δύο DM-MS μέσω ενός DM *repeater*
- Σύνδεση με το δίκτυο TETRA μέσω μιας DM *gateway*
- Συνδυασμός DM *repeater* και DM *gateway*.

2.A.2.1 Επικοινωνία βάσης μεταξύ χρηστών DM

Το μοντέλο βάσης του DMO αναφέρεται στην πιο απλή επικοινωνία *point to point* ή *point to multipoint* που μπορούμε να έχουμε μεταξύ DM-MS.

Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει ακριβώς μια τέτοια επικοινωνία που μπορεί λοιπόν να συμβεί μόνο διαμέσου της διεπαφής αέρα του DMO:



Σχήμα 15: Σύνδεση βάσης μεταξύ κινητών DM

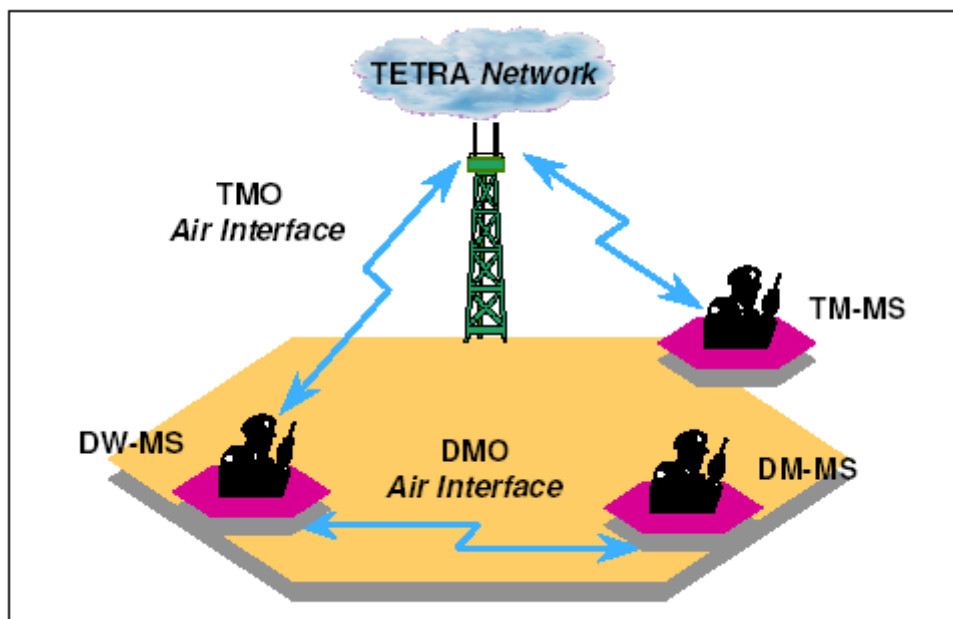
2.A.2.2 Επικοινωνία ενός DW-MS

Όπως ήδη τονίσαμε στην εισαγωγή, ένα κινητό *dual watch* είναι σε θέση να λειτουργεί είτε μέσω της διεπαφής αέρα DMO είτε μέσω της διεπαφής αέρα TMO.

Ένας DW-MS, όταν είναι ενεργός, μπορεί να βρίσκεται σε μια από τις παρακάτω τρεις καταστάσεις:

- Να μην εμπλέκεται σε μια κλήση DMO ούτε σε TMO αλλά να είναι ενεργός και στην επιτήρηση του καναλιού ελέγχου του TM μα και σ'αυτήν της φέρουσας RF, επιλεγμένης από τον DM
- Να εμπλέκεται σε μια κλήση DMO, μέσω της διεπαφής αέρα DMO και συγχρόνως να είναι ενεργός στην περιοδική παρακολούθηση του καναλιού ελέγχου TM μέσω της διεπαφής αέρα TMO (μόνο αν είναι *full dual watch*)
- Να εμπλέκεται σε μια επικοινωνία τύπου TMO και συγχρόνως να είναι ενεργός στην περιοδική επιτήρηση της φέρουσας RF, επιλεγμένης από τον DM (μόνο αν είναι *full dual watch*).

Εν πάση περιπτώσει είναι σημαντικό να υπογραμμίσουμε ότι ένας DW-MS είναι σε θέση να επικοινωνεί ταυτόχρονα μέσω της διεπαφής αέρα DMO και μέσω της διεπαφής αέρα TMO, όντας συγχρόνως αναμεμιγμένος σε κλήσεις DMO και TMO.



Σχήμα 16: Dual Watch, μοντέλο αναφοράς

2.A.2.3 Direct mode repeater (DM-REP)

Ο μεταδότης DM *repeater* είναι μια κινητή συσκευή ικανή να ενισχύσει το σήμα κατά την είσοδό του (γι'αυτό και εγκαθίσταται πάνω σε οχήματα) και κατά συνέπεια είναι σε θέση να αυξήσει την ακτίνα κάλυψης των κινητών που επικοινωνούν μέσω της ίδιας συσκευής.

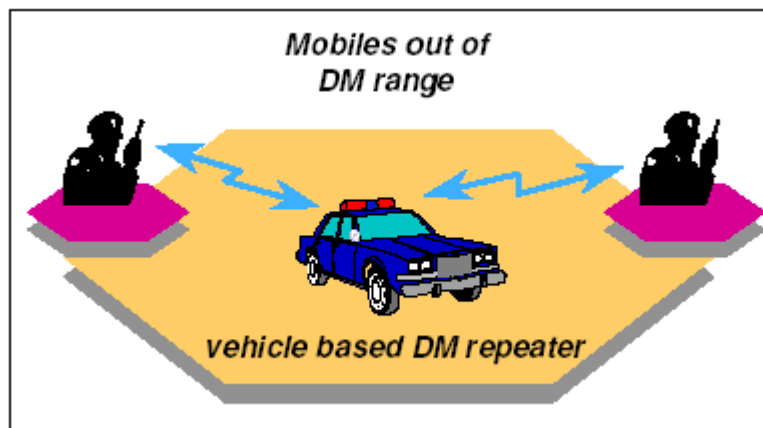
Ο DM-REP υπάγεται στο πρότυπο τύπου αναγέννησης (ανανέωσης) με την έννοια ότι αποκωδικοποιεί και επανακωδικοποιεί τη λαμβανόμενη κίνηση για να βελτιώσει τις επιδόσεις της σύνδεσης μεταξύ των ποικίλων DM-MS.

Ο DM *repeater* λαμβάνει πληροφορίες πάνω στο κανάλι *uplink* του κινητού που μεταδίδει και επαναμεταδίδει αυτήν την ίδια πληροφορία προς ένα ή πιο κινητά πάνω στο κανάλι *downlink*.

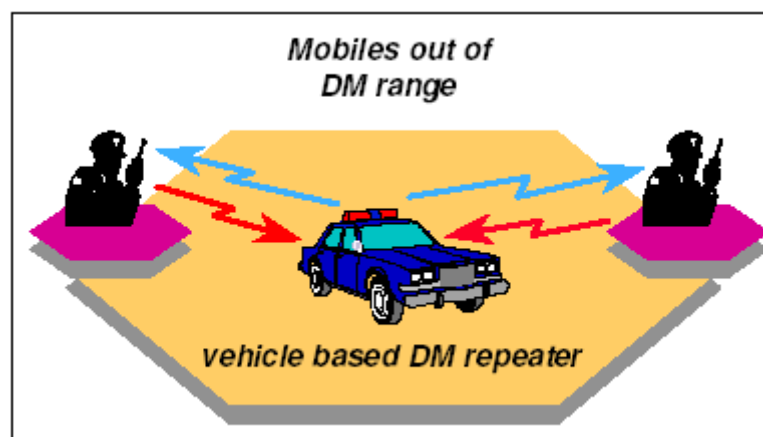
Το πρότυπο TETRA DMO ορίζει τρεις διαφορετικούς τύπους μεταδότη (*repeater*):

- Τύπος 1A: Τα κανάλια *uplink* και *downlink* κατανέμονται πάνω στην ίδια φέρουσα ραδιοσυχνότητα RF. Η συσκευή είναι σε θέση να υποστηρίξει μια απλή (μοναδική – μονή – ξεχωριστή) κλήση DM την κάθε φορά.
- Τύπος 1B: Τα κανάλια *uplink* και *downlink* κατανέμονται πάνω σε δύο διαφορετικές φέρουσες RF, η μια χρησιμοποιείται μόνο για τη μετάδοση κι η άλλη μόνο για τη λήψη. Η συσκευή είναι σε θέση να υποστηρίξει μια μοναδική κλήση DM τη φορά.
- Τύπος 2 : Όπως στον τύπο 1B τα κανάλια *uplink* και *downlink* κατανέμονται πάνω σε δύο διαφορετικές φέρουσες RF, η μια μόνο για τη μετάδοση κι η άλλη μόνο για τη λήψη. Εν τούτοις η συσκευή αυτή τη φορά είναι σε θέση να υποστηρίξει δύο ανεξάρτητες κλήσεις DM που πραγματοποιούνται σε μορφή *frequency efficient mode*.

Τα ακόλουθα δύο σχήματα απεικονίζουν τη διαφορά ανάμεσα σ'έναν DM *repeater* τύπου 1A, στον οποίο επομένως χρησιμοποιείται μια μοναδική συχνότητα για να οδηγήσει την επικοινωνία DM και τους τύπους 1B και 2 όπου αντίθετα χρησιμοποιούνται μια συχνότητα για μετάδοση κι άλλη για λήψη.



Σχήμα 17: DM *repeater*, τύπου 1A



Σχήμα 18: DM *repeater*, τύπων 1B και 2

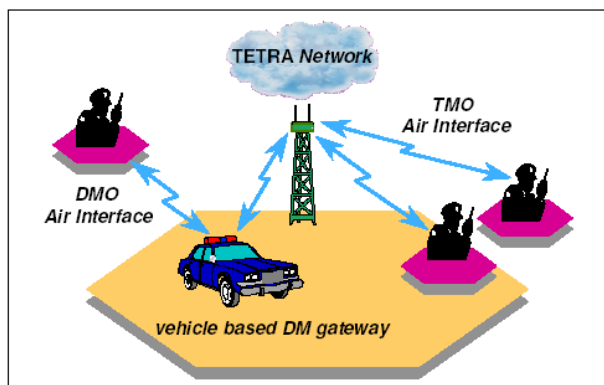
Μια συσκευή DM *repeater* μπορεί να σηματοδοτήσει την παρουσία της εντός της φέρουσας ραδιοσυχνότητας και τη διαθεσιμότητά της ώστε να χρησιμοποιηθεί για την περιοδική ανταπόκριση ενός σήματος παρουσίας. Αυτό το σήμα χρησιμεύει άλλωστε και στο να προσδιορίσει ποιοι DM-MS μπορούν να χρησιμοποιούν τη συσκευή αυτή και για πόσο χρόνο.

2.A.2.4 Direct mode gateway (DM-GATE)

Η *DM gateway* είναι μια κινητή διάταξη (εγκαθίσταται όπως ο *DM repeater* πάνω σε οχήματα) που επιτρέπει σ'ένα κινητό DM να επικοινωνεί μ'ένα κινητό TM χρησιμοποιώντας μόνο τη διεπαφή αέρα DMO.

Μια τέτοια συσκευή συνεπώς αντιπροσωπεύει τη διεπαφή μεταξύ του «κόσμου» *direct mode* και του «κόσμου» *trunked mode*: η λειτουργία της είναι αυτή της «μετάφρασης» της επικοινωνίας DMO σε *format* TMO και αντιστρόφως.

Το επόμενο σχήμα δείχνει την πιο απλή σύνδεση που μπορούμε να έχουμε μεταξύ ενός DM-MS και ενός TM-MS:



Σχήμα 19: *DM gateway*, μοντέλο αναφοράς

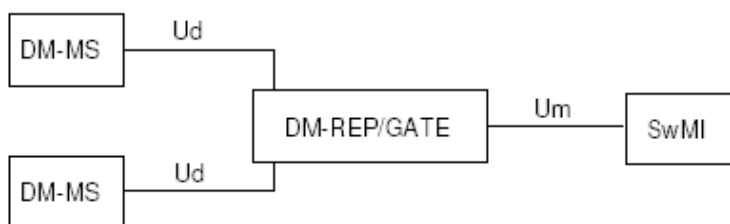
Μεταξύ των πιο σημαντικών χαρακτηριστικών της DM-GATE βρίσκουμε ότι μια τέτοια συσκευή είναι σε θέση να υποστηρίξει αποκλειστικά μια κλήση τη φορά μεταξύ του δικτύου *trunked* και της ομάδας χρηστών DM (ή ενός χρήστη DM). Τελείως ανάλογα με τον DM-REP, η DM-GATE επισημαίνει την παρουσία της στα κινητά που βρίσκονται μέσα στη δική της ζώνη κάλυψης DM χάρη στην αποστολή του σήματος παρουσίας.

Η χρησιμότητα του να αποκτήσει πρόσβαση ένας DM-MS στο δίκτυο *trunked* φαίνεται από το γεγονός ότι εκμεταλλευόμενοι την τελευταία, μειώνονται δραστικά τα προβλήματα κάλυψης της επικοινωνίας DM και εξάλλου διασυνδέονται δυο «κόσμοι» που είναι θεωρητικά χωρισμένοι από τα όρια της ραδιοδιεπαφής.

2.A.2.5 Direct mode repeater / gateway (DM-REP/GATE)

Η συσκευή DM-REP/GATE συνδυάζει τη λειτουργικότητα ενός *DM repeater* μ'εκείνη μιας *DM gateway*.

Μια τέτοια συσκευή είναι επομένως σε θέση να επιτύχει ταυτόχρονα τις λειτουργίες ενός *repeater* για την επικοινωνία ανάμεσα σε κινητά DM (μέσω της διεπαφής αέρα DMO, Ud) και αυτές μιας *gateway* για την επικοινωνία μεταξύ κινητών DM και TM (μέσω της διεπαφής αέρα TMO, Um).



Σχήμα 20: *DM-REP/GATE*, μοντέλο αναφοράς

2.B. Εμβάθυνση στο TETRA DMO

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα δούμε τις πιο βασικές έννοιες του πρωτοκόλλου DMO, εμβαθύνοντας σ'όλα όσα αναφέραμε στο προηγούμενο μέρος. Πιο συγκεκριμένα θα περάσουμε σε πιο γενικά θέματα, που μπορούν να ισχύουν ακόμη και για άλλα πρωτόκολλα τηλεπικοινωνιών απ'το TETRA, σε θέματα πάντα σχετικά με τη βάση αλλά και πιο εξειδικευμένα για το πρωτόκολλο *direct mode*.

2.B.1 Η δόμηση σε επίπεδα

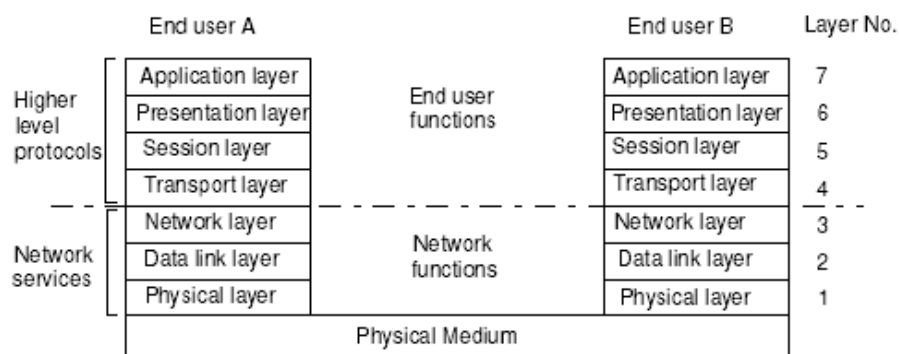
Η πρώτη έννοια βάσης που αξίζει να εξετάσουμε είναι το πρότυπο OSI (*Open System Interconnection*), δηλαδή τη δομή αναφοράς που χρησιμοποιείται για τη σκιαγράφιση της συμπεριφοράς μιας συσκευής *radio* μέσα στο σύστημα TETRA DMO. Το μοντέλο OSI, στην πράξη, απαρτίζεται από επτά λειτουργικά επίπεδα και είναι εν γένει εξειδικευμένο για εργασίες συστημάτων με αρχιτεκτονική οργανωμένη σε επίπεδα. Εξειδικεύοντας στα πρωτόκολλα τηλεπικοινωνιών είναι δυνατό να παρατηρήσουμε πως η πολυσυνθετότητα των συστημάτων που αλληλοσυσχετίζονται προέρχεται κυρίως από την πολυπλοκότητα λειτουργιών, δεδομένου ότι αυτές εξελίσσονται παράλληλα και με φανερή ανεξαρτησία η μία από την άλλη. Στο πλαίσιο αυτής της θεώρησης είναι προφανής ο συσχετισμός των διαφορετικών λειτουργικοτήτων στα διάφορα επίπεδα, τηρώντας την ιεραρχία του συστήματος: κάθε επίπεδο αξιοποιεί τις υπηρεσίες που του παρέχονται από το κατώτερο επίπεδο για να προμηθεύσει κι αυτό με τη σειρά του το πιο πάνω επίπεδο με άλλες υπηρεσίες.

Τα επτά διακεκριμένα επίπεδα του προτύπου OSI ακολουθούν αμέσως παρακάτω:

1. *Physical layer*
2. *Data link layer*
3. *Network layer*
4. *Transport layer*
5. *Session layer*
6. *Presentation layer*
7. *Application layer*

Το πρότυπο TETRA DMO ορίζει *υπηρεσίες δικτύου*, οι οποίες εμπλέκουν μόνο τα τρία πρώτα επίπεδα του προτύπου OSI, ενώ τα άλλα επίπεδα υλοποιούν (εφαρμόζουν – εκτελούν) τα λεγόμενα *ανώτερα τμήματα* του πρωτοκόλλου: στην πράξη τα πρώτα διαχειρίζονται τις λειτουργίες δικτύου, τη στιγμή που τα δεύτερα είναι υπεύθυνα για τις λειτουργίες προς το χρήστη.

Και να λοιπόν πως αναπαρίσταται μια γενικευμένη επικοινωνία ανάμεσα σε δύο DM-MS, μες το μοντέλο OSI:



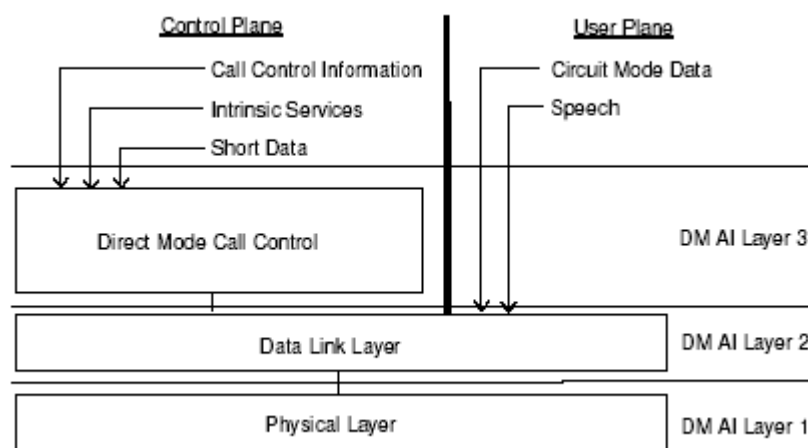
Σχήμα 21: Μοντέλο OSI προσαρμοσμένο για αρχιτεκτονικές επικοινωνίας

Οι διάφορες διαδικασίες που συγκροτούν τα επίπεδα της στοίβας OSI περιγράφονται σε «σταματημένες μηχανές» που μπορούν να διεγερθούν από ένα μήνυμα² ή από ένα μετρητή (*timer*): το σύνολο των μηνυμάτων όπου δύο ή περισσότερες διαδικασίες ανταλλάσσουν για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, συγκροτεί τη διεπαφή ανάμεσα σ' αυτές τις δύο διεργασίες, γνωστή ως SAP (*Service Access Point*).

Η φιλοσοφία των αρχιτεκτονικών σε επίπεδα βασίζεται στην ανεξαρτησία του καθενός επιπέδου, υπό τον όρο της εφαρμογής των υπηρεσιών που αυτό οφείλει να παρέχει και/ή να λαμβάνει από τα γειτονικά επίπεδα. Άρρηκτα συνδεδεμένη μ' αυτή τη φιλοσοφία βρίσκουμε την έννοια της ανταλλαγής *peer-to-peer*, μέσω της οποίας ένα επίπεδο ανταλλάσσει πληροφορίες με την αντίστοιχη/ομότιμη οντότητα του, που βρίσκεται σ' ένα απομακρυσμένο σημείο. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι κάθε επίπεδο μπορεί να αναπτύσσεται ξεχωριστά από τα υπόλοιπα και πως το αποτέλεσμα μιας τέτοιας ανταλλαγής που επέρχεται σ' αυτό δε γίνεται αντιληπτό απ' τα γειτονικά επίπεδα, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν τροποποιήσεις στα μηνύματα που ανταλλάσσονται με τα τελευταία.

2.B.1.1 Επίπεδα OSI σχετικά μ' ένα κινητό DM

Το πρότυπο TETRA DMO, όπως ορίζεται από τον ETSI διευκρινίζει μόνο τα κάτω επίπεδα της στοίβας OSI: στην περίπτωση του DMO τα επίπεδα υπό αμφισβήτηση είναι το επίπεδο *physical*, το επίπεδο *data link* και το επίπεδο *DM call control*.



Σχήμα 22: Επίπεδα του προτύπου OSI για τη λειτουργικότητα ενός DM-MS

2.B.1.1.1 Το φυσικό επίπεδο

Το επίπεδο *physical* είναι το πιο χαμηλό από τα επίπεδα του προτύπου OSI και είναι αυτό που πραγματοποιεί τη μετάδοση της ακολουθίας των *bits* στον αέρα, υλοποιώντας στην πράξη το πρωτόκολλο. Ο ρόλος αυτού του επιπέδου, λοιπόν είναι να ορίζει την κωδικοποίηση των *bits* για τα συναφή ηλεκτρικά σήματα ενώ εφοδιάζει με κάποιες οδηγίες τους συνδέσμους που πρέπει να τηρούνται από το φυσικό μέσο που είναι σε χρήση.

2.B.1.1.2 Το επίπεδο MAC

Το επίπεδο *data link*, που λέγεται επίσης και MAC (*Medium Access Control*), είναι σε θέση να γνωρίζει την κατάσταση του καναλιού πάνω στο οποίο διαβιβάζεται (διακινείται) η πληροφορία, να ρυθμίζει το ρυθμό των *bits* της μετάδοσης και να γνωρίζει εκ νέου αν το σύστημα που καλείται είναι ενεργό στη λήψη, επιτρέποντας έτσι να υλοποιήσουμε μια επικοινωνία προσανατολισμένη προς τη σύνδεση.

Στις υφιστάμενες (υπάρχουσες υλοποιήσεις) του πρωτοκόλλου DMO, το MAC απαρτίζεται απ' το *upper MAC* και το *lower MAC*: ενώ το πρώτο υποεπίπεδο επικοινωνεί με το επίπεδο 3 μέσω της ανταλλαγής μηνυμάτων, με ασύγχρονο τρόπο και δουλεύοντας με *bytes*, το δεύτερο επικοινωνεί με το επίπεδο 1, με σύγχρονο τρόπο και με δεδομένο ότι αυτή τη φορά δεν εργάζεται με μηνύματα αλλά με *interrupt* και με *bits*. Όπως δείχνουμε στο Σχήμα 22, στο επάνω μέρος (στην κορυφή) αυτού του επιπέδου βρίσκονται:

- Το *user plane*, υπεύθυνο για τη μεταφορά (μεταγωγή) της κίνησης φωνής και δεδομένων και
- Το *control plane*, που ασχολείται με τη διαχείριση της διεπαφής αέρα, δηλαδή με το άνοιγμα (έναρξη) και τη διατήρηση των συνδέσεων μεταξύ κινητών μέσω της ανταλλαγής σηματοδοσίας με την πρέπουσα/αρμόζουσα διευθυνσιοδότηση.

2.B.1.1.3 Το επίπεδο DMCC

Το επίπεδο 3 για το DMO, είναι το λεγόμενο *DMCC (Direct Mode Call Control)*. Αυτό το επίπεδο ανήκει στο *control plane* και η λειτουργία του συνίσταται κυρίως στο να διευθύνει (κατευθύνει) την επιλεγμένη φέρουσα RF σ'όλες τις δικές του πιθανές πραγματοποιήσιμες καταστάσεις. Εξαρτάται από αυτό να αποφασίσει πώς να ενεργοποιήσει μια κλήση DMCC, να αποφασίσει πώς να ενεργοποιήσει μια κλήση (ή υπηρεσία SDS), πώς να τη διατηρήσει ενεργή και πώς να τη διευθετήσει (διαχειριστεί) σε σχέση με άλλες κλήσεις που τυχόν εισέρχονται και/ή εξέρχονται (βρίσκονται στην είσοδο και/ή στην έξοδο).

2.B.1.1.4 Τα άλλα επίπεδα

Για τα εναπομείναντα επίπεδα δεν υφίστανται προδιαγραφές απ' το επίσημο πρότυπο εφ'όσον η υλοποίησή τους θεωρείται ότι βρίσκεται αποκλειστικά (εξ'ολοκλήρου) υπ'ευθύνη των παραγωγών.

Το σημαντικό είναι ότι δεν υφίστανται ασυμφωνίες (δυσαρμονίες) με την εκτελεσθείσα δραστηριότητα των κατώτερων επιπέδων, που είναι τα μοναδικά πάνω στα οποία εγκαθίστανται (επιβάλλονται) πραγματικοί σύνδεσμοι λειτουργίας (χειρισμού).

2.B.2 Τρόπος διευθυνσιοδότησης

Στη συνηθισμένη επικοινωνία μεταξύ κινητών, μια πλευρά παριστάνεται απ' τη διευθυνσιοδότηση και αυτό είναι το κίνητρο που στην παρούσα παράγραφο θα μας εισάγει στις παρεχόμενες έννοιες βάσης που έχουν υιοθετηθεί για την αναγνώριση (εξακρίβωση - ταυτοποίηση) ενός κινητού.

Το σύστημα TETRA DMO προβλέπει για τη διευθυνσιοδότηση τη χρήση των ακόλουθων τύπων διεύθυνσης:

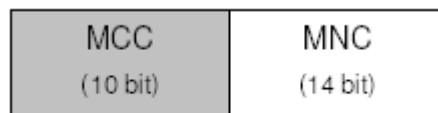
- ITSI (*Individual Tetra Subscriber Identity*)
- GTSI (*Group Tetra Subscriber Identity*)
- TEI (*Tetra Equipment Identity*)

2.B.2.1 ITSI, η ατομική διεύθυνση

Η ITSI είναι μια ατομική διεύθυνση ενός DM-MS. Μια τέτοια διεύθυνση, μοναδική για κάθε κινητό αποτελείται από 48 *bits* και υποδιαιρείται σε δύο μέρη, το καθένα με μήκος ακριβώς ίσο με 24 *bits*: στο πρώτο μέρος δίνεται το όνομα MNI (*Mobile Network Identity*)

και στο δεύτερο το όνομα SSI (*Short Subscriber Identity*, σ' αυτήν την περίπτωση πρόκειται για την ISSI, *Individual SSI*).

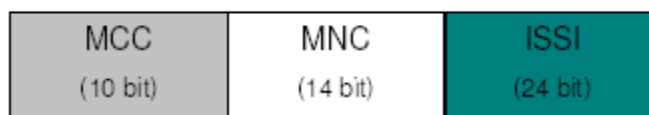
Η MNI με τη σειρά της συνίσταται σε δύο πεδία: τον MCC (*Mobile Country Code*), που διακρίνει το έθνος καταγωγής του κινητού και τον MNC (*Mobile Network Code*), που διακρίνει το δίκτυο εντός του οποίου λειτουργεί το κινητό. Αυτά τα δύο πεδία σχηματίζονται από 10 και 14 *bits* αντίστοιχα:



Σχήμα 23: Η δομή της MNI

Η ISSI, αντιθέτως, αναγνωρίζει ένα κινητό με ξεκάθαρο τρόπο (μονοσήμαντα) στο εσωτερικό της ίδιας MNI. Όλα αυτά μας κάνουν να καταλάβουμε ότι για μια σωστή διευθυνσιοδότηση το DM-MS πομπός (μεταδότης – διαβιβαστής) οφείλει να αξιοποιήσει απαραίτητα στο ακέραιο την ITSI της κλήσης εφόσον η μόνη ISSI ή η μόνη MNI δε θα επαρκούσαν.

Η περίπλοκη (πολυσύνθετη) δομή μιας κοινότυπης ατομικής διεύθυνσης μπορεί να αναπαρασταθεί (παρασταθεί) λοιπόν ως εξής:



Σχήμα 24: Η δομή της ITSI

2.B.2.2 GTSI, η διεύθυνση ομάδας

Σε αντίθεση με την ITSI, η GTSI είναι ένας αριθμός που παριστάνει τη διεύθυνση μιας ομάδας, στην οποία μπορεί να ανήκει ο DM-MS.

Παρά τα όσα συμβαίνουν με την ITSI, που είναι οπωσδήποτε συσχετισμένη με τον κάθε DM-MS, δεν είναι εξίσου βέβαιο ότι μια GTSI σχετίζεται πάντα μ' έναν DM-MS. Στην πραγματικότητα είναι καθιερωμένο ότι κάθε DM-MS ανήκει τουλάχιστον σε δύο ομάδες, γνωστές με το όνομα: *open group*.

Έτσι λοιπόν αν μ' ένα κινητό σχετίζεται μια GTSI αυτό σημαίνει ότι αυτό είναι σε θέση να συμμετέχει σ' όλες τις κλήσεις που θα έχουν ως διεύθυνση τη συγκεκριμένη GTSI και το ίδιο θα ισχύει και για όλα κινητά που διαθέτουν την ίδια διεύθυνση ομάδας.

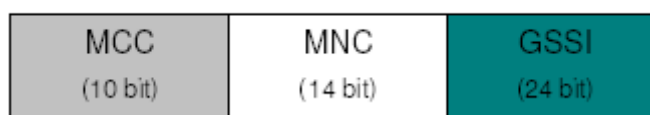
Όπως η ITSI έτσι και η GTSI έχει το μήκος των 48 *bits* και αποτελείται από τα 24 *bits* της MNI και από τα 24 *bits* της SSI (εδώ παίρνει την επωνυμία GSSI, Group SSI)

Τώρα όσον αφορά την MNI κάνουμε δεκτές όλες τις θεωρήσεις που έγιναν στην προηγούμενη παράγραφο.

Αντίθετα η GSSI χαρακτηρίζει με μονοσήμαντο τρόπο ένα σύνολο κινητών που βρίσκονται εντός της ίδιας MNI.

Όπως έχουμε πει πρωτότερα με το κάθε κινητό σχετίζονται, εκ προτύπου, το λιγότερο δύο GTSI, γνωστές ως *open group*. Η πρώτη είναι μια ιδιαίτερη διεύθυνση ομάδας (αποτελούμενη συνολικά από 48 *bits*, που έχουν όλα την τιμή 1) η οποία έχει ως σκοπό, σε έκτακτες περιπτώσεις, να καθιστά προσβάσιμα όλα τα κινητά που βρίσκονται συντονισμένα στην ίδια συχνότητα ανεξαρτήτως της δικιάς τους MNI. Η δεύτερη, τελείως ανάλογα, συναινεί στην επίτευξη της προσιτότητας μεταξύ όλων των κινητών που βρίσκονται στην ίδια φέρουσα RF, διαθέτοντας την ίδια MNI: μόνο αυτή η δεύτερη GTSI σε αντίθεση με την πρώτη, έχει τη SSI, που αποτελείται από μονά *bits* ίσα με 1, ενώ η MNI κατέχει μια βαρυσήμαντη τιμή.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν όσα προείπαμε, μια διεύθυνση ομάδας έχει την ίδια δομή μ' αυτήν της ατομικής διεύθυνσης, με άλλα λόγια:



Σχήμα 25: Η δομή της GTSI

2.B.2.3 ΤΕΙ, η διεύθυνση σειράς

Άλλη μια διεύθυνση που λέγεται ΤΕΙ είναι συσχετισμένη με τις ραδιοσυσκευές DMO, η οποία δεν είναι παρά ένας σειριακός αριθμός, χρήσιμος για το μονοσήμαντο χαρακτηρισμό του *hardware* της συσκευής, ώστε η τελευταία να παραλείψει τις προαναφερθείσες διευθύνσεις.

2.B.2.4 Διευθυνσιοδότηση πύλης (gateway) ή επαναλήπτη (repeater)

Μέχρι τώρα εξετάσαμε τη διευθυνσιοδότηση ως χαρακτηριστικό από πλευράς των ραδιοσυσκευών που κάνουν χρήση της λειτουργικότητας κινητών DMO.

Αντιθέτως, όσον αφορά τις ραδιοσυσκευές που αξιοποιούν τη λειτουργικότητα μιας DM gateway ή ενός DM repeater, η κατάσταση αλλάζει αφού αυτές οι διατάξεις διαθέτουν ένα είδος διαφορετικής διευθυνσιοδότησης.

Εκτός από την ΤΕΙ που χαρακτηρίζει μονοσήμαντα το *hardware*, τέτοιες διατάξεις χαρακτηρίζονται από μια διεύθυνση αποτελούμενη μόνο από 10 bits. Η διεύθυνση αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται απ' τα κινητά στην περίπτωση μιας επικοινωνίας μέσω DM gateway ή DM repeater για τη διευθυνσιοδότηση των τελευταίων κατά την εμπλοκή τους σε μια κλήση.

Στην περίπτωση που οι διατάξεις επιλέξουν να λειτουργούν με ανωνυμία, η διεύθυνσή τους δε μεταδίδεται εναερίως εφ' όσον δεν υπάρχει καμία αποστολή ενός σήματος παρουσίας. Σ' αυτήν την περίπτωση το κινητό που επιθυμεί να πραγματοποιήσει μια κλήση μέσω μιας DM gateway ή ενός DM repeater οφείλει να διαθέτει μια διεύθυνση που θα έχει από πριν διαμορφωθεί κατάλληλα.

Τέλος κι αυτές οι διατάξεις μπορούν να κάνουν χρήση της GTSI αλλά μόνο για λόγους εσωτερικής λειτουργικότητας (όπως για διανομές εξουσιοδοτήσεων, καταχωρήσεις στο δίκτυο κτλ). Πάντως είναι αβέβαια η χρήση της GTSI για τη διευθυνσιοδότηση από πλευράς DMO, δηλαδή για τη λήψη κλήσεων από τις διατάξεις αυτές.

2.B.3 Ρόλοι ενός κινητού DM

Στην DMO, μιας και δεν υπάρχει εκεί μια υποδομή ελέγχου που να διευθύνει την πρόσβαση στο κανάλι, η διαχείριση του τελευταίου αφήνεται στο δυσπροσάρμοστο και ασταθρό συνάμα συγχρονισμό που εκτελούν τα κινητά από μόνα τους. Ακριβώς γι' αυτό το λόγο και σκοπεύοντας να περιγράψουμε τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά της μετάδοσης σε μορφή *direct* είναι ανάγκη να εξετάσουμε πρώτα τους διάφορους ρόλους που μπορεί να αναλάβει ένα κινητό.

Πράγματι ανάλογα το είδος της κάθε εφαρμοσμένης δραστηριότητας ένα σύνθητες κινητό μπορεί να κατέχει το ρόλο του αφέντη (*master*), του σκλάβου (*slave*) και του τεμπέλη (*idle*). Σε σχέση με το ρόλο που έχει αναλάβει κάθε κινητό μπορεί να επωφεληθεί με διαφορετικό τρόπο από τις ποικίλες λειτουργίες που είναι στη διάθεσή του εκ του πρωτοκόλλου DMO.

2.B.3.1 Ρόλος του αφέντη (master)

Ένας DM-MS λέμε ότι έχει το ρόλο *master* όταν ενώ παρακολουθεί μια διαθέσιμη φέρουσα RF ή ενώ έχει αποκτήσει την άδεια λειτουργίας πάνω σ'αυτή απ'τον προηγούμενο αφέντη, αρχίζει να προωθεί πακέτα συγχρονισμού πάνω της. Τέτοια πακέτα είναι τα DSB, (*Direct mode Synchronization Burst*, βλέπε § 2.B.5.1.2). Ο «αφέντης» επιβάλλει σ'όλα τα κινητά DM που βρίσκονται συντονισμένα πάνω σ'εκείνη τη συχνότητα, το δικό του χρονισμό.

Όταν σε μια φέρουσα RF είναι παρόν ένα κινητό *master* που επιβάλλει το δικό του χρονισμό, μιλάμε πιο ειδικά για ένα κανάλι DMO δομημένο σε πλαίσια (*frames*) και σε προσωρινές σχισμές (*slots*), (βλέπε § 2.B.5).

2.B.3.2 Ρόλος του σκλάβου (slave)

Ένας DM-MS ορίζεται ως *slave* όταν είναι σε θέση να παραλαμβάνει είτε πακέτα σηματοδοσίας είτε κυκλοφορίας (με φωνή, δεδομένα ή σύντομα γραπτά μηνύματα, SDS), απ'το *master* της επικοινωνίας: αυτό σημαίνει ότι ένα κινητό DM στο ρόλο του *slave* εκτός του ότι βρίσκεται σε συγχρονισμό με το *master* είναι επίσης και άμεσα εμπλεκόμενο στην επικοινωνία που αυτός έχει ενεργοποιήσει.

2.B.3.3 Ρόλος του τεμπέλη (idle)

Ένας DM-MS λέμε ότι είναι *idle* αν περιορίζεται στο να επιτηρεί την επιλεγμένη φέρουσα ραδιοσυχνότητα RF, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή να απασχοληθεί από μια κλήση. Σ'αυτήν την περίπτωση, όντας όχι άμεσα αναμεμιγμένο στην ενεργοποιημένη επικοινωνία απ' το *master*, το κινητό DM στο ρόλο του *idle* γνωρίζει και ακολουθεί το συγχρονισμό του καναλιού αλλά δεν είναι εξουσιοδοτημένο να λαμβάνει το περιεχόμενο της κυκλοφορίας που τυχαία το διαπερνά.

2.B.4 Καταστάσεις του καναλιού DM

Έχοντας εξετάσει τους ρόλους που μπορεί να κατέχει ένα κινητό DM, είναι τώρα αναγκαίο να λάβουμε υπ'όψιν μας τις καταστάσεις στις οποίες η φέρουσα ραδιοσυχνότητα RF ή η συχνότητα DM μπορούν να βρίσκονται.

2.B.4.1 Ελεύθερη συχνότητα (free frequency)

Η συχνότητα DM καθορίζεται ως ελεύθερη ή διαθέσιμη αν επ'αυτής δεν υπάρχει καμιά σήμανση, εξαιρώντας τα σταλμένα σήματα παρουσίας από διάφορες διατάξεις (μεταξύ των πληροφοριών που περιέχονται σ'αυτά τα σήματα θα υπάρχει, σ'αυτήν την περίπτωση, άλλη μια πληροφορία που θα αφορά τη διαθεσιμότητα του καναλιού).

Ακόμη μια συχνότητα μπορεί να θεωρηθεί ως ελεύθερη όταν πάνω της ανιχνεύονται μεν σήματα, αλλά το επίπεδο τους καταλήγει να είναι κατώτερο από ένα προκαθορισμένο κατώφλι: σ'αυτήν την περίπτωση λέγεται ότι ο DM-MS εφαρμόζει το *μηχανισμό του κατωφλιού*. Η χρήση του τελευταίου είναι προβλεπόμενη, απ' το πρότυπο, με σκοπό να διαχωρίσει μια αξιοσημείωτη ενέργεια απ'τον καθιερωμένο κανονικό θόρυβο που διαδίδεται επί του καναλιού ή από μια άλλη δυσκολοδιακρίτη δραστηριότητα.

2.B.4.2 Κατειλημμένο κανάλι (occupied channel)

Το κανάλι DM ορίζεται ως κατειλημμένο όταν έπ' αυτού μεταδίδονται είτε σηματοδοσίες είτε κίνηση.

Για να μην έχουμε μετά το πρόβλημα που ένα κινητό δύναται να καταλάβει το κανάλι για απεριόριστο χρόνο, έχει προβλεφθεί η χρήση ενός ληξιπρόθεσμου μετρητή, ο οποίος τερματίζει μετά βίας τη φάση της κατάληψης: ο μετρητής αναγνωρίσιμος με το ακρωνύμιο DT311 εγκαθίσταται απριόρι με μια τιμή της τάξης των 300sec και είναι ορατός μόνο απ' το κινητό *master* που διατηρεί κατειλημμένο το κανάλι.

Κατά τη διάρκεια της φάσης κατάληψης ο *master* μεταβιβάζει τις περιοδικές σημάνσεις σκοπεύοντας να διατηρήσει το δικό του χρονισμό επί του καναλιού και να δώσει τη δυνατότητα σε κάθε DM-MS που είναι συντονισμένος πάνω στη φέρουσα RF, να ακολουθήσει το χρονισμό και πιθανόν και την κλήση.

2.B.4.3 «Κρατημένο κανάλι» (reserved channel)

Το κανάλι DM περνά στην κατάσταση κράτησης όχι πριν να ολοκληρωθεί η φάση κατάληψης του, δηλαδή όχι προτού ο *master* να τελειώσει με τη μετάδοση της κυκλοφορίας. Όταν ο *master* τελειώσει με τη μετάδοση κυκλοφορίας δεν εγκαταλείπει αμέσως το κανάλι αλλά συνεχίζει να έχει τον έλεγχο του για μια συγκεκριμένη περίοδο μες την οποία μεταδίδει μόνο σήματα, εκ των οποίων καθίσταται εμφανές ότι το κανάλι βρίσκεται στη κατάσταση κράτησης.

Είναι βασικό να υπογραμμίσουμε τη χρησιμότητα του να έχουμε για λίγο το κανάλι κρατημένο: ο *master*, σ' αυτό το προσωρινό διάστημα, κατέχει όντως την προτεραιότητα σε σχέση με τα άλλα κινητά, να καταλάβει εκ νέου το κανάλι και επομένως τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει εύκολα μια άλλη τυχαία μετάδοση. Με ανάλογο τρόπο, όταν το κανάλι είναι «κρατημένο» («πιασμένο»), όλοι οι εμπλεκόμενοι στην κλήση *slaves* έχουν ένα μηχανισμό προτίμησης που τους επιτρέπει να υπεισέρχονται στο ρόλο του *master* «δίνοντας ζωή» σε νέες μεταδόσεις κυκλοφορίας.

Όταν πια εξαντληθεί αυτή η χρονική περίοδος, η διάρκεια της οποίας εμπεριέχεται στις μεταδιδόμενες σηματοδοσίες απ' το *master*, το κανάλι επιστρέφει στην κατάσταση ελευθερίας.

2.B.4.4 Απασχολημένο κανάλι (busy channel)

Ο χαρακτηρισμός του καναλιού ως *busy* υιοθετείται σ' όλες εκείνες τις περιπτώσεις που δεν επιτυγχάνεται ο καθορισμός της ενεργής κατάστασης του καναλιού.

Ένας DM-MS μπορεί λοιπόν να αντιληφθεί το κανάλι ως *busy* όταν σ' αυτό υπάρχουν για παράδειγμα μη αποκωδικοποιήσιμες ενέργειες είτε όταν υπάρχουν μη περιγράψιμες κρυπτογραφημένες κλήσεις (βλ. § 2.B.6.2)

2.B.5 Η δομή της όλης διαδικασίας

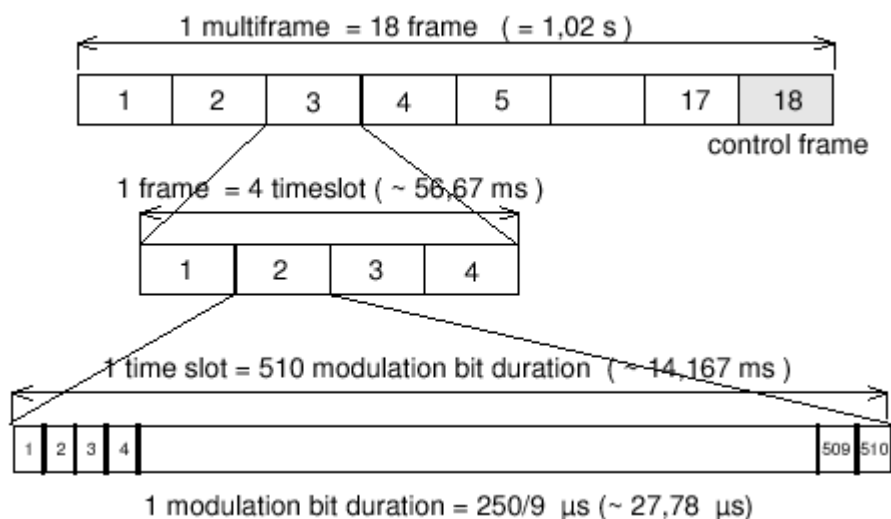
Όπως έχει ήδη ειπωθεί στην εισαγωγή, η φέρουσα RF τυγχάνει χρήσης απ' το πρωτόκολλο TETRA σύμφωνα με την τεχνική TDMA (*Time Division Multiple Access*).

Στο βάθος της δομής της τεχνικής TDMA υπάρχει η έννοια της υφής του αέρα, οργανωμένης με όρους όπως: προσωρινές σχισμές, πλαίσια, πολυπλαίσια και υπερπλαίσια. Το προσωρινό *slot* έχει μια διάρκεια, ίση ακριβώς με 14,167msec και μιας και η πληροφορία μες αυτό μεταδίδεται με το ρυθμό διαμόρφωσης των 36Kbit/sec, εκ των πραγμάτων αυτό θα αποτελείται από 510bits πληροφορίας (με άλλα λόγια περίπου 255 σύμβολα).

Ο συνδυασμός των τεσσάρων σχισμών μας δίνει ένα πλαίσιο, που έχει διάρκεια ίση με $56,67\text{ms}$, ενώ το σύνολο 18 πλαισίων μας δίνει ένα πολυπλαίσιο που κατά συνέπεια θα έχει διάρκεια περίπου $1,02\text{sec}$.

Ολόκληρο το πρωτόκολλο TETRA έχει οριστεί κάνοντας μνεία στη συγκρότηση με πολυπλαίσια.

Στο σχήμα που έπεται, φαίνονται όλα όσα περιγράψαμε με λόγια πριν από λίγο:



Σχήμα 26: Η δομή της διαδικασίας DM

Έχοντας περιγράψει τη δομή της όλης διαδικασίας DM, μας επιτρέπει να ολοκληρώσουμε τη συζήτηση περί δύο εννοιών για τις οποίες έγινε λόγος στην παράγραφο 2.A.1.1.1. Πρόκειται για τη μετάδοση με κανονικό τρόπο (*normal mode*, NM) και τη μετάδοση με το λεγόμενο τρόπο αποδοτικής συχνότητας (*frequency efficient mode*, FEM). Όταν δουλεύει σε NM, η φέρουσα RF υποστηρίζει μια και μοναδική επικοινωνία DM, η οποία χρησιμοποιεί τα *slots* 1 και 3 του κάθε πλαισίου. Αντιθέτως όταν λειτουργεί σε FEM, η μία και μοναδική φέρουσα RF υποστηρίζει δύο ανεξάρτητες επικοινωνίες DM, αναγνωρισμένες ως κανάλι A και κανάλι B: στο κανάλι A παραχωρούνται τα *slots* 1 και 3 κάθε πλαισίου ενώ στο κανάλι B τα υπόλοιπα *slots* 2 και 4. Η μετάδοση σε FEM εγγυάται τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση της φέρουσας αλλά από την άλλη επιβάλλει κάποιες δεσμεύσεις στην ικανότητα του *hardware* του *master* B. Σε σχέση πάντα με τη μετάδοση με τον τρόπο FEM χρειάζεται να ξεκαθαρίσουμε ότι ο ενεργός *master* στο κανάλι B πρέπει να ελέγχει σε τακτά χρονικά διαστήματα τις μεταδόσεις που συντελούνται πάνω στο κανάλι A, ώστε να αποκτήσει ένα σωστό συγχρονισμό και να αποφύγει την αλληλοκάλυψη των προσωρινών *slots* που ανήκουν στις δυο ταυτόχρονες κλήσεις.

Επιστρέφοντας και πάλι στη δομή της υφής DM είναι χρήσιμο να προσδιορίσουμε ότι το περιεχόμενο μιας και μοναδικής, προσωρινής σχισμής (*slot*) αναπαρίσταται από το επονομαζόμενο πακέτο.

Στην επόμενη παράγραφο ερχόμαστε στην περιγραφή των τριών διαφορετικών ειδών από πακέτα που μεταδίδονται εντός των προσωρινών σχισμών, αποτελώντας τη σύσταση της όλης διαδικασίας DM.

2.B.5.1 Πακέτα επικοινωνίας

Προτού παραθέσουμε τη λεπτομερή περιγραφή των πακέτων επικοινωνίας που προβλέπονται απ' το πρωτόκολλο DMO, θα ήταν χρήσιμο να καταστήσουμε σαφές ότι για να βελτιστοποιήσουμε τη μετάδοση και τη λήψη πάνω στο φυσικό κανάλι, αυτό υποδιαιρείται σε επιπλέον κανάλια με τέτοιο τρόπο ώστε να μην έχουμε ένα μοναδικό κανάλι που να διαχειρίζεται ένα πολύπλοκο πρόβλημα, αλλά πολλά κανάλια, το καθένα απ' τα οποία να

διαχειρίζεται ένα απλό πρόβλημα. Η συγκεκριμένη υποδιαίρεση προβλέπει το διαμελισμό του φυσικού καναλιού σε κανάλια κίνησης και σηματοδοσίας.

2.B.5.1.1 DNB, το πακέτο κυκλοφορίας

Πάνω στις σχισμές που ανήκουν στο φυσικό κανάλι διαβιβάζονται τα πακέτα τύπου DNB (*Direct mode Normal Burst*), η δομή των οποίων φαίνεται αμέσως πιο κάτω:

34 bit ramping & PA linear.	12 bit preamb. P1 or P2	2 bit phase adjustm.	216 bit block 1	22 bit normal training seq	216 bit block 2	2 bit tail	6 bit guard
-----------------------------------	-------------------------------	----------------------------	--------------------	----------------------------------	--------------------	---------------	----------------

Σχήμα 27: Η δομή του DNB

Ένα DNB περιέχει γενικά κυκλοφορία φωνής ή δεδομένων και το ρυθμό των *bits* (*bit rate*) που σχετίζεται μ' αυτό. Μόνο κατ' εξαίρεση το DNB μπορεί να περιέχει σηματοδοσίες, αυτό μπορεί να συμβεί όταν κατά τη διάρκεια της μετάδοσης κίνησης προκύψει επείγουσα ανάγκη να μεταδοθούν και σημάνσεις. Σ' αυτήν την περίπτωση το επίπεδο MAC μπορεί ν' αποφασίσει να τις μεταδώσει αμέσως (αντί για το χρήστη δεδομένων) πάνω στο κανάλι κυκλοφορίας, έτσι ώστε χρησιμοποιώντας τα DNB να μη χαθεί περαιτέρω χρόνος στην αναμονή του πρώτου *slot* που χρησιμεύει τις σηματοδοσίες. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή με την ονομασία *stealing*.

Ο άψογος χαρακτηρισμός και η ορθή αποκωδικοποίηση ενός πακέτου του τύπου DNB μπορεί να γίνει μόνο αφού έχει προηγηθεί η είσοδος σε κλήση, δηλαδή ύστερα από τη λήψη των πακέτων σηματοδοσίας, που μεταδίδονται από τον καλούντα τη στιγμή της ενεργοποίησής τους και για όλη τη διάρκεια της περιόδου κατάληψης.

Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι τα DNB δεν επαναφέρουν κάποια ένδειξη πάνω στο χρονισμό (εννοώντας το αρχικό *slot*, τους μετρητές σχισμών, πλαισίων κτλ) και αυτό φέρνει στο προσκήνιο τη σημασία της φάσης συγχρονισμού απ' άκρη σ' άκρη των πακέτων DNB, η οποία προηγείται και συνοδεύει κάθε μετάδοση κυκλοφορίας.

Το πρωτόκολλο DMO επιβάλλει ότι μες την περίοδο κατάληψης του καναλιού, τα πακέτα DNB μπορούν να διαβιβάζονται μόνο επί των *slots* 1 απ' το *frame* 1 ως το *frame* 17 της όλης διαδικασίας.

2.B.5.1.2 DSB, το πακέτο σηματοδοσίας

Επί των σχισμών που ανήκουν στο κανάλι σηματοδοσίας μεταδίδονται τα μοναδικά πακέτα του τύπου DSB (*Direct mode Synchronization Burst*), η δομή των οποίων περιγράφεται στο κάτωθι σχήμα:

34 bit ramping & PA linear.	12 bit preamb. P3	2 bit phase adjust	80 bit freq. correct	120 bit block 1	38 bit synchronise training seq	216 bit block 2	2 bit tail	6 bit guard
-----------------------------------	-------------------------	--------------------------	----------------------------	--------------------	---------------------------------------	--------------------	---------------	----------------

Σχήμα 28: Η δομή του DSB

Ένα DSB περιέχει τις αναγκαίες πληροφορίες για να ανοίξει και να κλείσει μια κλήση, για να διατηρείται το κανάλι στην κατάσταση *occupied* ή *reserved* και για να εφαρμόζονται οι μηχανισμοί *pre-emption* και *changeover* (βλ. § 2.B.6.1).

Όπως δείχνει το προηγούμενο σχήμα, στο εσωτερικό ενός DSB παρευρίσκεται μια ιδιαίτερη ακολουθία των 80 bits που λέγεται FCF (Frequency Correction Field), που χάρη στο ιδιαίτερο φυσικό της περιεχόμενο καθιστά εύκολα αναγνωρίσιμο το πακέτο ση φάση της παραλαβής. Ο διαχωρισμός και η ορθή αποκωδικοποίηση των DSB αντιπροσωπεύει τον άξονα γύρω απ' τον οποίο περιστρέφονται όλοι οι υπό ενεργοποίηση μηχανισμοί επιτήρησης επί της επιλεγμένης φέρουσας RF. Η παραλαβή τουλάχιστον ενός DSB όντως επιτρέπει σ'

ένα κινητό που επιτηρεί μια συχνότητα, να εισέλθει στην κλήση ή να ακολουθήσει την εξέλιξή της μέσα απ' το ρόλο του *idle*.

Γι' αυτό το σκοπό τα πακέτα σηματοδότησης συμπεριλαμβάνουν επιπλέον, όλες τις πληροφορίες που είναι σχετικές με τον επιβαλλόμενο απ' το *master* χρονισμό που αυτός μεταδίδει: η λήψη ενός DSB λοιπόν επιτρέπει στα κινητά που είναι συντονισμένα στη συχνότητα να συντονίσουν με το *master* τις αναφορές τους στη συχνότητα, συγχρονίζοντας το χρονισμό τους μ' αυτόν που τους έχει επιβληθεί.

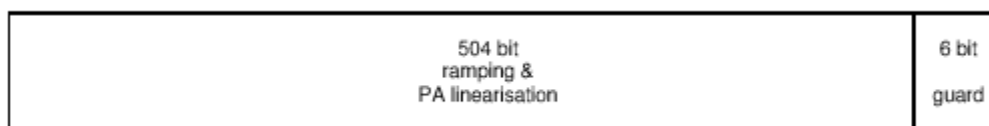
Το πρωτόκολλο DMO επιβάλλει τη μετάδοση αυτού του τύπου πακέτων από μέρους του *master* ως ελάχιστο πάνω στα:

- *Slots* 1 και 3 του *frame* 18
- *Slot* 3 των *frames* 6 και 12 όταν το κανάλι είναι κατειλημμένο
- *Slots* 1 και 3 των *frames* 6 και 12 όταν το κανάλι είναι σε φάση κράτησης
- *Slot* 3 των *frames* 2, 5, 8, 11, 14 και 17 όταν το κανάλι είναι κατειλημμένο και θέλουμε να κάνουμε μια αίτηση *pre-emption*.

Τα *slots* 3 των εναπομεινάντων πλαισίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση DSB είτε από μέρους του *master* είτε απ' τη μεριά των κινητών *slave* ή *idle*.

2.B.5.1.3 DLB, το πακέτο ευθυγράμμισης

Στον αέρα, εκτός των DNB και DSB μπορεί να ταξιδέψει ένα ακόμη είδος πακέτου, το λεγόμενο DLB (*Direct mode Linearization Burst*), του οποίου η δομή φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 29: Η δομή του DLB

Ένα DLB δε μεταφέρει κανένα πληροφοριακό περιεχόμενο αλλά μπορεί να είναι απαραίτητο για την επονομαζόμενη διαδικασία ευθυγράμμισης (ή καταστολή της εναπομείνουσας φέρουσας), δηλαδή για να επιτευχθεί μια περιοδική προσαρμογή του μεταδότη (πομπού) κατά τρόπο που να βελτιώνει τις επιδόσεις.

Τα κινητά μπορεί να έχουν ανάγκη από τέτοιες λειτουργίες όταν για παράδειγμα αλλάζουν συχνότητα ή όταν οφείλουν να αλλάξουν το επίπεδο δυναμικότητάς τους κατόπιν συγκεκριμένων ανιχνεύσεων, απωλειών, της εναέριας ραδιοδραστηριότητας.

Το πρωτόκολλο επιβάλλει ότι, μες την περίοδο κατάληψης του καναλιού, τα DLB μπορούν να καταλαμβάνουν μόνο το *slot* 3 του *frame* 3 της διαδικασίας.

Εν τούτοις, όμως, το πρωτόκολλο DMO δεν περιγράφει με σαφήνεια τη διαδικασία ευθυγράμμισης: η ενεργή υλοποίησή της όντως είναι στενά συνδεδεμένη με τα φυσικά χαρακτηριστικά της συσκευής και αυτά μπορούν να αλλάζουν από τον ένα οίκο κατασκευής στον άλλο. Έτσι εξυπακούεται ότι αυτή συνεπάγεται μια εναέρια μετάδοση που για να είναι αποτελεσματική προϋποθέτει τη χρησιμοποίηση της σχισμής 3 στο πλαίσιο 3.

2.B.5.2 PDU επιπέδου 3 και επιπέδου 2

Στην παρούσα παράγραφο εισερχόμαστε στην έννοια της PDU (*Protocol Data Unit*) των επιπέδων 2 και 3.

Πρώτα απ' όλα ας διευκρινίσουμε ότι ως PDU εννοούμε ένα σύνολο από δεδομένα που διαθέτουν μια συγκεκριμένη, σαφή σύνταξη, ήτοι ένα σύνολο από δεδομένα οργανωμένα σε πεδία, των οποίων γνωρίζουμε τη σειρά, το νόημα και το μήκος σε *bits*.

Οι PDUs επιπέδου 3, που είναι φτιαγμένες από DMCC, παίρνουν την ονομασία DM-SDU (*Direct Mode – Service Data Unit*). Τα πεδία μιας χαρακτηριστικής DM-SDU είναι τα «γνήσια» στοιχεία επιπέδου 3 υπό την έννοια ότι είναι ορατά μόνο στο επίπεδο DMCC, είναι κρυμμένα (εκτός από τις αντίστροφες ενδείξεις που προέρχονται από τις PDUs επιπέδου 2) και μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο από τους κατευθυνόμενους DM-MS.

Σε καθεμία DM-SDU τοποθετούνται ύστερα, το ένα δίπλα στο άλλο, τα λεγόμενα *message dependent elements*, δηλαδή τα πρόσθετα εκείνα πεδία των οποίων το περιεχόμενο μπορεί να καθοριστεί είτε στο επίπεδο 3 είτε στο επίπεδο 2. Τέτοια πεδία είναι ήδη ορατά στο επίπεδο 2 πάνω σ'όλα τα κινητά που έχουν συντονιστεί στη φέρουσα RF και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για να κάνουν σύζευξη με μια κλήση, είτε για να ακολουθήσουν επιτυχώς την εξελικτική πορεία.

Ο επόμενος πίνακας δείχνει πως παρουσιάζεται μια DM-SETUP PDU, δηλαδή μια PDU επιπέδου 3 (DM-SDU) και τα *message dependent elements* που σχετίζονται μ' αυτή. Τέτοιες PDU τυγχάνουν χρήσης όταν θέλουμε να αποκαταστήσουμε μια κλήση χωρίς έλεγχο παρουσίας του καλούμενου.

Information element ^a	Length ^b	Type ^c	Remark
Message dependent elements			
Timing flag	1	M	
LCH in frame 3 flag	1	M	
Pre-emption flag	1	M	
Power class	3	M	
Power control flag	1	M	
Reserved	2	M	Default value = 00 ₂
Dual watch synchronization flag	1	M	
Two-frequency call flag	1	M	Always set to 0 for direct MS-MS operation
Circuit mode type	4	M	
Reserved	4	M	Default value = 0000 ₂
Priority level	2	M	
DM-SDU elements			
End-to-end encryption flag	1	M	
Call type flag	1	M	
External source flag	1	M	Always set to 0 for direct MS-MS operation and for operation with a DM-REP
Reserved	2	M	Default value = 00 ₂

Πίνακας 5: DM-SETUP PDU

Στη φάση μετάδοσης η DM-SDU και τα *message dependent elements* που σχετίζονται μ' αυτή, αποτελούν το περιεχόμενο των δύο πεδίων της PDU επιπέδου 2 που τυγχάνει μετάδοσης: μια τέτοια κατάσταση φαίνεται στους Πίνακες 7 και 8 που βρίσκονται στις επόμενες σελίδες.

Επίσης οι PDUs επιπέδου 2 που δημιουργούνται στο επίπεδο MAC, απαρτίζονται από ένα σύνολο πληροφοριών δομημένων σε πεδία. Μερικά απ' αυτά τα πεδία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά απ' το επίπεδο MAC, εφόσον εμπεριέχουν τις οδηγίες για να εισέλθουν σε μια κλήση ή να ακολουθήσουν το συγχρονισμό (όπως για παράδειγμα το *slot number*, το *frame number*, κτλ), άλλα πάλι χρησιμοποιούνται είτε απ' το MAC είτε από τα ανώτερα επίπεδα (παραδείγματος χάρη, η πηγαία διεύθυνση *source address* που εμπεριέχει τη διεύθυνση του κινητού που έστειλε την PDU) ενώ το πεδίο DM-SDU είναι ορατό αποκλειστικά και μόνο απ' το επίπεδο DMCC.

Μεταξύ των PDUs επιπέδου 2 επανεισέρχονται η DMAC-SYNC PDU και η DMAC-DATA PDU.

Η DMAC-SYNC PDU είναι μια PDU που περιέχει όλες τις αναγκαίες εκείνες πληροφορίες για να αποκτηθεί και να διατηρηθεί ο συγχρονισμός μιας κλήσης. Ακριβώς γι' αυτό το λόγο μεταδίδεται με DSB χρησιμοποιώντας τα 60 διαθέσιμα *bits* του λογικού καναλιού SCH/S και τα 124 *bits* του λογικού καναλιού SCH/H (βλ. § 2.B.5.3). Τα πεδία που αποτελούν μέρος του

SCH/S εμπεριέχουν πληροφορίες συγχρονισμού ενώ εκείνα που εμπεριέχονται στο SCH/H είναι πιο συνδεδεμένα με την κλήση και γι'αυτό χρησιμοποιούνται για ν'ακολουθήσουν την εξέλιξή της.

Information element	Length	Type	Remark
System code	4	M	
SYNC PDU type	2	M	Value 00 ₂ indicates DMAC-SYNC PDU
Communication type	2	M	Set to 00 ₂ for direct MS-MS operation
Master/slave link flag	1	C	Included if communication type = 01 ₂ or 11 ₂
Reserved	1	C	Included if communication type = 00 ₂ or 10 ₂ . Default value = 0
Gateway generated message Flag	1	C	Included if communication type = 10 ₂ or 11 ₂
Reserved	1	C	Included if communication type = 00 ₂ or 01 ₂ . Default value = 0
A/B channel usage	2	M	
Slot number	2	M	
Frame number	5	M	
Air interface encryption state	2	M	Determines interpretation of following 39 bits
Time Variant Parameter	29	C	Included if air interface encryption state ≠ 00 ₂
Reserved	1	C	Included if air interface encryption state ≠ 00 ₂ . Default value = 0
KSG number	4	C	Included if air interface encryption state ≠ 00 ₂
Encryption key number	5	C	Included if air interface encryption state ≠ 00 ₂
Reserved	39	C	Included if air interface encryption state = 00 ₂ . Default value = all zeros

Πίνακας 6: DM-SYNC PDU σε SCH/S

Information element	Length	Type	Remark
Repeater address	10	C	Included if communication type = 01 ₂
Gateway address	10	C	Included if communication type = 10 ₂ or 11 ₂
Reserved	10	C	Included if communication type = 00 ₂ . Default value = all zeros
Fill bit indication	1	M	
Fragmentation flag	1	M	
Number of SCH/F slots	4	C	Included if fragmentation flag = 1
Frame countdown	2	M	
Destination address type	2	M	Note
Destination address	24	C	Included if destination address type ≠ 10 ₂ (so always present for direct MS-MS operation and for operation with a DM-REP)
Source address type	2	M	Note
Source address	24	C	Included if source address type ≠ 10 ₂ (so always present for direct MS-MS operation and for operation with a DM-REP)
Mobile Network Identity	24	C	Always present if communication type = 00 ₂ or 01 ₂ . For communication type = 10 ₂ or 11 ₂ see part 5
Message type	5	M	
Message dependent elements	varies	C	
DM-SDU	varies	C	
NOTE: Neither the destination address type nor the source address type in DMAC-SYNC shall be set to 10 ₂ for direct MS-MS operation or for operation with a DM-REP.			

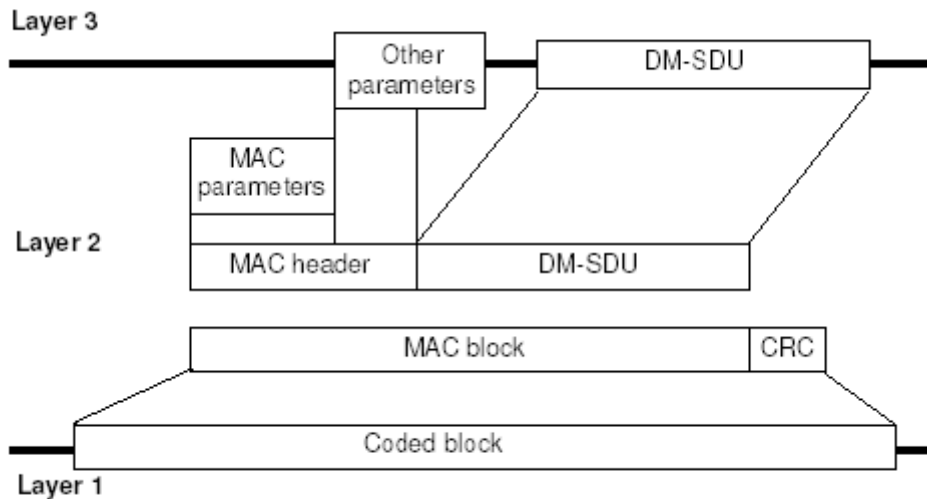
Πίνακας 7: DMAC-SYNC PDU σε SCH/H

Η DMAC-DATA PDU είναι μια PDU που περιέχει σηματοδότηση που αφορά τη διαχείριση της κλήσης σ'εξέλιξη και που καλείται κάθε φορά που εκμεταλλευόμαστε την τεχνική *stealing* (βλ. § 2.B.5.1.1): ακριβώς γι' αυτό το λόγο μεταδίδεται με DNB χρησιμοποιώντας το λογικό κανάλι STCH, ήτοι το λογικό κανάλι *stealing*.

Η ίδια αυτή PDU δύναται να μεταδοθεί με DNB αλλά χρησιμοποιώντας το λογικό κανάλι SCH/F: αυτό συμβαίνει όταν η DMAC-DATA PDU αναλαμβάνει το ρόλο *null* PDU, δηλαδή όταν το πεδίο *null* PDU *flag* τίθεται στο 1 και όλα τα διαδοχικά πεδία είναι κενά (βλ. Πίνακα 8). Η *null* PDU χρησιμεύει για παράδειγμα σ'ένα *master* όταν πρέπει να διακόψει τη μετάδοση ενός κατακερματισμένου μηνύματος με σκοπό να ελευθερώσει τη χρήση του καναλιού. Για να ενημερώσει όλους τους παραλήπτες του μηνύματος σχετικά μ' αυτή τη διακοπή της μετάδοσης, ο *master* στέλνει ακριβώς μια *null* PDU. Αυτή η συγκεκριμένη PDU μπορεί να μεταδοθεί και όταν αφού έχει ανοίξει μια κλήση, δε είναι αμέσως διαθέσιμα τα πακέτα φωνής υπό διευθυνσιοδότηση: περιμένοντας για τέτοια πακέτα προωθούνται στη θέση των *null* PDUs. Το σημαντικό προς υπογράμμιση είναι ότι αυτή η λειτουργία που έχει αναληφθεί απ' την DMAC-DATA PDU χρησιμοποιήσιμη μόνο για τις μεταδόσεις που κάνουν χρήση του λογικού καναλιού SCH/F.

Information element	Length	Type	Remark
MAC PDU type	2	M	Value 00 ₂ indicates DMAC-DATA PDU
Fill bit indication	1	M	
Second half slot stolen flag	1	M	Note 1
Fragmentation flag	1	M	Note 2
Null PDU flag	1	M	Note 3
Frame countdown	2	M	
Air interface encryption state	2	M	
Destination address type	2	M	Note 4
Destination address	24	C	Included if destination address type ≠ 10 ₂ (so always present for direct MS-MS operation and for operation with a DM-REP)
Source address type	2	M	
Source address	24	C	Included if source address type ≠ 10 ₂
Mobile Network Identity	24	C	Always present if communication type = 00 ₂ or 01 ₂ For communication type = 10 ₂ or 11 ₂ see part 5
Message type	5	M	
Message dependent elements	varies	C	
DM-SDU	varies	C	
NOTE 1: If DMAC-DATA is sent on SCH/F or in the second half of a slot, the second half slot stolen flag shall still be present but its content shall be ignored.			
NOTE 2: If DMAC-DATA is sent on SCH/F or in the second half of a slot, the fragmentation flag shall be set to 0.			
NOTE 3: For a Null PDU (i.e. if Null PDU flag = 1), there shall be no further information in the PDU after the Null PDU flag; in this case the Null PDU flag is the last element in the PDU.			
NOTE 4: The destination address type in DMAC-DATA shall not be set to 10 ₂ for direct MS-MS operation or for operation with a DM-REP.			

Πίνακας 8: DMAC-DATA PDU



Σχήμα 30: Σχηματισμός του μεταδιδόμενου μπλοκ από bits πάνω στο φυσικό μέσο

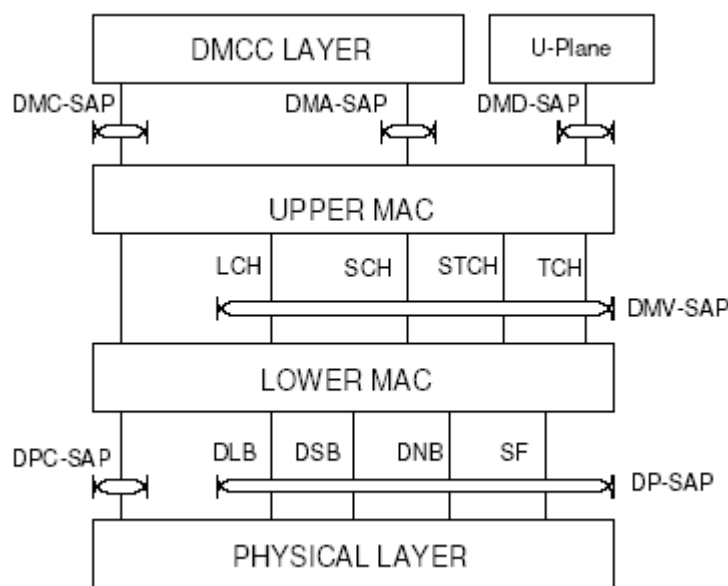
Απ' το προηγούμενο σχήμα γίνεται φανερή κάπως καλύτερα η διαδικασία της πακετοποίησης την οποία υφίστανται οι PDUs που έχουν παραχθεί στο επίπεδο 3 και στο επίπεδο 2 προτού να συνεχίσουν στη δική τους εναέρια μετάδοση:

Διευκρινίζουμε ότι το μπλοκ που συμβολίζεται ως CRC (Cyclic Redundancy Check) δεν είναι άλλο από ένα σύνολο από *bits* που είναι απαραίτητα για να υπολογίσουμε στη λήψη, αν υπάρχουν λάθη κατάστασης κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

2.B.5.3 Σχέση ανάμεσα στα πακέτα και τα λογικά κανάλια

Από τη σχετική αναφορά στην παράγραφο 2.B.1.1.2 γνωρίζουμε ήδη ότι το επίπεδο MAC απαρτίζεται απ' το *upper* MAC και το *lower* MAC: απ' τη σκοπιά του πρωτοκόλλου και όχι από μια πρακτική οπτική γωνία, αυτά τα δύο υποεπίπεδα επικοινωνούν εικονικά αναμεταξύ τους, μέσω πολλαπλών (πολυσχιδών) σταδίων ανάπτυξης (μια τέτοια διεπαφή φέρει τον τίτλο DMV-SAP, *Direct mode Mac Virtual SAP*) που εκμεταλλεύονται τα λογικά κανάλια διαφόρων τύπων.

Το ακόλουθο σχήμα δείχνει ακριβώς αυτό το «σενάριο»:



Σχήμα 31: Τα υποεπίπεδα MAC και τα λογικά κανάλια

Μέχρι αυτό το σημείο το φυσικό κανάλι είναι υποδιαιρεμένο σ'ένα λογικό κανάλι κυκλοφορίας και ένα σηματοδοσίας. Στην πραγματικότητα όμως αυτά τα δύο κανάλια υποδιαιρούνται σε περαιτέρω κανάλια σύμφωνα με τον τύπο της μετάδοσης που πραγματοποιείται πάνω τους.

Τα λογικά κανάλια που εν γένει μπορούμε να αξιοποιήσουμε, όπως φαίνεται κι απ'το προηγούμενο σχήμα είναι τα εξής:

- SCH (*Signaling Channel*), το κανάλι σηματοδοσίας που υποδιαιρείται στο SHS/S (SCH/*Synchronization*) για το συγχρονισμό, το SCH/H (SCH/*Half slot*) για τη σηματοδοσία που καταλαμβάνει μισό *slot* και το SCH/F (SCH/*Full slot*) για την κατακερματισμένη μετάδοση κυκλοφορίας
- TCH (*Traffic Channel*), το κανάλι κυκλοφορίας
- STCH (*STealing Channel*), το κανάλι *stealing* και
- LCH (*Linearization Channel*), το κανάλι ευθυγράμμισης.

Όπως ειπώθηκε προτύτερα, ένα χαρακτηριστικό πακέτο εκπροσωπεί το φυσικό περιεχόμενο ενός μοναδικού προσωρινού *slot*. Αφήνοντας κατά μέρος τα πακέτα ευθυγράμμισης, οι δύο άλλοι τύποι πακέτων έχουν στη διάθεσή τους δύο συγκροτήματα από *bits* για την ευφυΐα (πληροφόρηση) της μετάδοσης. (όπως μπορούμε να δούμε στο Σχήμα 27 ή στο Σχήμα 28)

Ας θεωρήσουμε τώρα τα δύο μπλοκ ενός DNB: αν και τα δύο περιέχουν κυκλοφορία φωνής ή δεδομένων θα κάνουμε χρήση του λογικού καναλιού κυκλοφορίας TCH, αν και τα δύο περιέχουν κίνηση φωνής ή δεδομένων είτε αν εμπεριέχουν τις *null* PDUs προτείνεται να κάνουμε χρήση του λογικού καναλιού SCH/F ενώ αν και τα δύο μπλοκ εμπεριέχουν τη συζευγμένη σηματοδοσία με τη διεύθυνση της κλήσης και αυτό συμβαίνει όταν αξιοποιούμε την τεχνική *stealing*, τότε επιβάλλεται η χρήση του λογικού καναλιού STCH+STCH. Τέλος όταν το πρώτο συγκρότημα περιέχει τη σηματοδοσία και το δεύτερο τη διακίνηση φωνής ή δεδομένων τότε λέμε να κάνουμε χρήση του λογικού καναλιού STCH+TCH.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει προηγουμένως, αυτές οι δύο τελευταίες καταστάσεις παρουσιάζονται μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες, όταν δηλαδή καθίσταται απαραίτητο να γίνει δίχως άλλο χρήση του *stealing*.

Παράλληλα μ'αυτό υπενθυμίζουμε ότι υπό κανονικές συνθήκες η μετάδοση της σηματοδοσίας ισοδυναμεί με μετάδοση μιας DMAC-SYNC PDU μέσω ενός DSB. Όταν αντίθετως εκμεταλλευόμαστε την τεχνική *stealing*, η σηματοδοσία προωθείται σε μια DMAC-DATA PDU δια μέσου ενός DNB.

Όπως είναι δυνατό να παρατηρήσουμε στον Πίνακα 8, μες την DMAC-DATA PDU είναι παρών το πεδίο ενός bit, *second half slot stolen flag* (στον Πίνακα 9 συμβολίζεται με SF) που χρησιμεύει για να μας δείξει αν το δεύτερο μπλοκ του πακέτου DNB παρευρίσκεται ακόμη στη σηματοδοσία (STCH+STCH) είτε παρευρίσκεται στην κυκλοφορία (STCH+ TCH).

Αντίθετα θεωρώντας τα δύο μπλοκ ενός DNB, αυτά μπορούν να περιέχουν μόνο τα δύο μέρη μιας DMAC-SYNC PDU (SHS/S+ SCH/H).

Τέλος στην περίπτωση στην οποία μεταδίδονται τα πακέτα DLB, ήτοι αυτά που περιέχουν μόνο σχετικές πληροφορίες με τη λειτουργία της ευθυγράμμισης, λέμε να κάνουμε χρήση του λογικού καναλιού LCH.

Ο πίνακας που ακολουθεί, συνοψίζει όλα όσα περιγράφηκαν ως εδώ:

Logical channel in DMV-SAP	Definition	Physical burst	Definition
SCH/S	synchronization channel	Block 1 of DSB	1 st half of synchronization burst
SCH/H	half slot signalling channel	Block 2 of DSB	2 nd half of synchronization burst
SCH/F	full slot signalling channel	DNB	normal burst
STCH	stealing channel	DNB + SF	normal burst and slot flag (note)
TCH	traffic channel	DNB	normal burst
LCH	linearization channel	DLB	linearization burst
NOTE: Slot flag is an indicator of the type of normal training sequence used in DNB.			

Πίνακας 9: Αντιστοίχιση ανάμεσα σε πακέτα και λογικά κανάλια

2.B.6 Άλλες εγγενείς υπηρεσίες

Στην παράγραφο 2.A.1.2 σταθήκαμε για λίγο να εξετάσουμε κάποιες ενδογενείς υπηρεσίες που υποστηρίζονται απ'το πρωτόκολλο TETRA DMO. Σ'αυτό το μέρος θα ολοκληρώσουμε τη συζήτησή μας, μιλώντας για τις ενδογενείς υπηρεσίες που εξαρτώνται στενά από τις έννοιες για τις οποίες θα μιλήσουμε αμέσως μετά απ'αυτή τη μικρή εισαγωγική παράγραφο.

Ιδιαίτερος θα σταθούμε στην ανάλυση των υπηρεσιών *pre-emption*, *changeover* και σε θέματα που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια των επικοινωνιών.

2.B.6.1 Υπηρεσίες *pre-emption* και *changeover*

Αφού έχουμε λάβει υπ'όψιν τους ρόλους που ένας DM-MS μπορεί να επιτελέσει και τις καταστάσεις στις οποίες το κανάλι DM μπορεί να βρίσκεται, δε μένει παρά να κάνουμε μια προσπάθεια να κατανοήσουμε δύο σημαντικές υπηρεσίες που προσφέρονται απ'το πρωτόκολλο DMO: *pre-emption* και *changeover*.

2.B.6.1.1 *Pre-emption* (Προ-αγορά)

Ο μηχανισμός *pre-emption* επιτρέπει σ'ένα κινητό *slave* ή *idle*, που θέλει να πάρει τον έλεγχο του καναλιού, να υπεισέλθει μες το ρόλο του *master* προκαταλαμβάνοντας με μια ρητή αίτηση το συγκεκριμένο *master*.

Το πρότυπο προβλέπει δύο είδη *pre-emption*: μια για νέα κλήση (*new call*), αν ο χρήστης διακόψει τον τρέχοντα *master* για να ενεργοποιήσει μια νέα κλήση και μια άλλη για συνεχιζόμενη κλήση (*ongoing call*) αν αντιθέτως ο χρήστης διακόψει τον τρέχοντα *master* για να συνεχίσει την κλήση που είναι σ'εξέλιξη.

Ενώ μια *pre-emption* για *new call* μπορεί να πραγματοποιηθεί από ένα κινητό *idle* που διακόπτει το *master* στην περίοδο που το κανάλι είναι απασχολημένο ή κρατημένο, μια *pre-emption* για *ongoing call* μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο από ένα κινητό *slave* στην περίοδο της κατάληψης του καναλιού.

Σ' αυτό το σημείο δεν πρέπει να παραλείψουμε ότι το κινητό *slave* ή *idle* μπορεί να προωθήσει την αίτηση για προαγορά (*pre-emption*) μόνο αν η προτεραιότητα της αίτησης είναι πιο υψηλή απ'αυτή της κλήσης που είναι σ'εξέλιξη. Ορισμένες χρονοθυρίδες (*slots*) έχουν προκαθοριστεί για τις αιτήσεις *pre-emption* (για παράδειγμα, για την επικοινωνία μεταξύ DM-MS, η χρονοσχισμή 3 των πλαισίων 2, 5, 8, 11, 14 και 17): στα συγκεκριμένα *slots* οι παραλήπτες έχουν εξουσιοδοτηθεί να μεταδίδουν ενώ ο *master* είναι υποχρεωμένος να λαμβάνει (ακόμη και στο κενό).

2.B.6.1.2 *Changeover* (Μεταστροφή)

Ο μηχανισμός *changeover* επιτρέπει σ' ένα κινητό *slave* της κλήσης σ' εξέλιξη να υπεισέλθει στον τρέχοντα *master* τη στιγμή που ο τελευταίος περατώνει τη μετάδοση κυκλοφορίας και το κανάλι περνά απ' την κατάσταση κατάληψης (*occupied*) στην κατάσταση κράτησης (*reserved*).

Όπως είδαμε για την *pre-emption* έτσι και οι αιτήσεις *changeover* κάνουν προώθηση των καταλλήλων προσωρινών χρονοθυρίδων (*slots*) και μπορούν να λάβουν χώρα μόνο αν ο *master* το έχει προληπτικά αφήσει να συμβεί. Σε αντίθεση με την *pre-emption* ο μηχανισμός *changeover* δε βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στην έννοια της προτεραιότητας της αίτησης.

2.B.6.2 Υπηρεσίες ασφαλείας

Το πρωτόκολλο TETRA DMO προβλέπει όσον αφορά την ασφάλεια πάνω στη μετάδοση, διάφορες τοπολογίες κρυπτογράφησης οι οποίες αντιστοιχούν και σε διάφορα επίπεδα προστασίας.

Μια ελάχιστη προστασία, που είναι πάντοτε παρούσα αλλά που αντιστρέφει μόνο τη μετάδοση των DNB έχει δοθεί απ' το μηχανισμό παρεμβολής (*scrambling*). Μια επιπλέον προστασία των μεταδιδόμενων δεδομένων που ο χρήστης μπορεί να ζητήσει, πάντα όμως όσον αφορά τα πακέτα DNB, δίνεται απ' την κρυπτογράφηση *end-to-end* που είναι μια κρυπτογράφηση που εκτελείται σε επίπεδο εφαρμογών. Αντιθέτως η μέγιστη προστασία που ο χρήστης μπορεί να ζητήσει, αναστρέφει είτε τα πακέτα DNB είτε τα DSB, είναι δεδομένη απ' την κρυπτογράφηση ραδιοεπαφής (AIE, Air Interface Encryption), δηλαδή από μια κρυπτογράφηση σ' επίπεδο διεπαφής αέρα.

Είναι βασικό να τονίσουμε ότι η κρυπτογράφηση *air interface* μπορεί να εφαρμοστεί και επί της κυκλοφορίας που είναι ήδη κρυπτογραφημένη απ' άκρη σ' άκρη, *end-to-end*: οι τρεις προβλεπόμενες τεχνικές προστασίας απ' το πρότυπο TETRA DMO μπορούν λοιπόν να συσσωρευτούν (συγκεντρωθούν).

Ξεκινάμε αμέσως μια σύντομη εξέταση των τριών αυτών μηχανισμών ασφαλείας.

2.B.6.2.1 Μηχανισμός scrambling

Το *scrambling* είναι μια τεχνική που μας επιτρέπει να εφαρμόσουμε μια μάσκα στα bits που συγκροτούν τα πακέτα της μεταδιδόμενης κίνησης.

Θεωρώντας την περίπτωση αμεσότροπης επικοινωνίας (DMO), ως παράδειγμα, μέσω μιας ειδικής διάταξης των 24 bits της SSI και των 6 λιγότερο σημαντικών bits (LSB) της MNI από την πηγαία διεύθυνση, δηλαδή του DM-MS που μεταδίδει, αποκτάται μια ακολουθία από 30 bits γνωστή ως *color code* (για να διαφοροποιηθεί απ' το χρησιμοποιούμενο τύπο επικοινωνίας *direct*, αυτή η ακολουθία από 30 bits «χτίζεται» εξυπηρετώντας τις διευθύνσεις των κινητών και των συσκευών που συμμετέχουν στην κλήση). Συνδυάζοντας αυτά τα 30 bits με μια καθορισμένη μαθηματική μέθοδο φθάνουμε στην ακολουθία *scrambling*. Η συγκεκριμένη ακολουθία των 30 bits αθροίζεται (προστίθεται) στο επίπεδο *lower MAC* με τη μορφή συμπληρώματος ως προς 2 με τα bits των DNB για μετάδοση (που ως αποτέλεσμα θα ληφθούν υπόψη σε μπλοκ από 30 bits τη φορά) και αντιπροσωπεύει ακριβώς τη μάσκα προστασίας που εφαρμόζεται στη μετάδοση.

Συμφέρει να διευκρινίσουμε ότι το επίπεδο *lower MAC* εφαρμόζει την ακολουθία *scrambling* σ' όλα τα λογικά κανάλια με εξαίρεση τα SHS/S και SCH/H του πακέτου DSB στα οποία προϋποτίθεται ο συνήθης μηχανισμός αλλά μ' όλα τα 30 bits του χρωματικού κώδικα (*color code*) ίσα με το 0: αυτό ισοδυναμεί με το να μην εφαρμόσουμε καμία μάσκα στο κανάλι.

Το κλειδί που επιτρέπει, μ' έναν ανάστροφο μηχανισμό σε σχέση μ' αυτόν που μόλις περιγράψαμε, την αποκωδικοποίηση των bits, στα οποία έχει «φορεθεί» η μάσκα είναι η γνώση της πηγαίας διεύθυνσης. Εφόσον μια τέτοια διεύθυνση παρευρίσκεται στα DSB που ο

χρήστης που καλεί στέλνει πριν και κατά τη διάρκεια της μετάδοσης κίνησης και αφού αυτά τα πακέτα DSB παραλαμβάνονται απ' όλους τους κινητούς σταθμούς που είναι συντονισμένοι στη συχνότητα, είναι εύκολο να καταλάβουμε γιατί το *scrambling* είναι ένας μηχανισμός που παρέχει μια προστασία κατά προσέγγιση.

Όμως η συγκεκριμένη τεχνική προσλαμβάνει μια μεγαλύτερη χρησιμότητα στην περίπτωση που δουλεύουμε σε *frequency efficient mode* ή σε ειδικά σενάρια όπως εκείνο στο οποίο ένα κινητό βρίσκεται στο περιθώριο της ζώνης ραδιοκάλυψης από δύο *masters* (το κινητό είναι σε θέση να αντιληφθεί και να συζευχθεί και με τις δυο κλήσεις αλλά οι σχετικοί *masters* λειτουργούν ο ένας εν αγνοία του άλλου). Στην περίπτωση FEM, αν σε κάποιο σημείο το κινητό αποδέκτης υπερπηδήσει/προσπεράσει ένα παροδικό *slot* εξαιτίας εσφαλμένου συγχρονισμού, αντί να λαμβάνει κίνηση απ' τον πραγματικό χρήστη που καλεί, θα ξεκινήσει να λαμβάνει την κίνηση του χρήστη που μετέδιδε στο άλλο κανάλι: ωστόσο όμως χάρη στο *scrambling*, το κινητό αποδέκτης δε θα κατορθώσει να αποκωδικοποιήσει αυτήν την κίνηση δεδομένου ότι ο *color code* είναι αναγκαστικά διαφορετικός από εκείνον που χρησιμοποιήθηκε στη δεύτερη κλήση. Σ' αυτό το σενάριο, λαμβάνοντας θόρυβο, το κινητό συνειδητοποιεί το λάθος και πιθανώς εγκαταλείπει την κλήση.

2.B.6.2.2 Κρυπτογράφηση σε επίπεδο εφαρμογών

Όπως ήδη είπαμε, η κρυπτογράφηση *end-to-end* είναι ένας μηχανισμός ασφαλείας που εφαρμόζεται εκ νέου μόνο στα DNB, μπορεί να απαιτηθεί απ' το χρήστη και επιτρέπει μια μεγαλύτερη προστασία αναφορικά με το *scrambling*.

Από πρακτικής πλευράς όταν ένα κινητό που καλεί, θέλει να αξιοποιήσει τη συγκεκριμένη κρυπτογράφηση οφείλει να θέσει στο 1 την τιμή της *end-to-end encryption flag* και οφείλει να μεταδίδει εναερίως περιοδικά και για *stealing* το κλειδί που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη λήψη για την αποκωδικοποίηση της κίνησης.

Information element	Length	Value	Remark
End-to-end encryption flag	1	0	Clear mode
		1	With TETRA end-to-end encryption

Πίνακας 10: Η προβλεπόμενη απ' το πρότυπο *end-to-end encryption flag*

Το γεγονός ότι το κλειδί δε βρίσκεται πλέον μες τα DSB μας επιτρέπει να πούμε ότι αυτή η τεχνική προστασίας είναι καλύτερη απ' την προηγούμενη: όντως αυτή τη φορά μόνο αυτός που είναι ενεργά αναμεμιγμένος στην επικοινωνία, με άλλα λόγια μόνο αυτός στον οποίο απευθύνεται η μετάδοση, είναι σε θέση να λάβει το κλειδί και επομένως να αποκωδικοποιήσει την κυκλοφορία.

Την ίδια στιγμή όμως, το γεγονός ότι το κλειδί μεταδίδεται εναερίως αντιπροσωπεύει και το μεγάλο μειονέκτημα αυτού του μηχανισμού: οποιαδήποτε πληροφορία ταξιδεύει εναερίως μπορεί να συλληφθεί κατά κάποιο τρόπο από κάποιον μη εξουσιοδοτημένο να το κάνει.

2.B.6.2.3 Κρυπτογράφηση σε επίπεδο ραδιοδιεπαφής (air interface encryption)

Η κρυπτογράφηση *air interface* είναι όπως έχουμε πει, ένας μηχανισμός ασφαλείας που μπορεί να ζητηθεί απ' το χρήστη και που εφαρμόζεται στη μετάδοση των DNB αλλά και των DSB.

Επιτυγχάνοντας να καλύψουμε με μάσκα επιπλέον και τα DSB και κατορθώνοντας σε αντίθεση με την κρυπτογράφηση *end-to-end* να κάνουμε το κλειδί της αποκωδικοποίησης να μην ταξιδεύει εναερίως, καταλαβαίνει κανείς γιατί αυτή η τεχνική είναι εκείνη που εγγυάται το μέγιστο επίπεδο ασφάλειας πάνω στη μετάδοση.

Σ' αντίθεση με τις προαναφερθείσες τεχνικές προστασίας, η χρήση της *air interface encryption* βασίζεται στην προληπτική διαμόρφωση ποικίλων αλγορίθμων κρυπτογράφησης

(όπως οι διάφορες παραλλαγές του KSG, *Key Stream Generator*) και διαφόρων κλειδιών αποκωδικοποίησης (όπως παραλλαγές του SCK, *Static Cipher Key*). Αν το ραδιοτηλέφωνο αποδέκτης δεν κατέχει το ίδιο σχήμα αλγορίθμων και την ίδια μήτρα κλειδιών με το μεταδότη τότε δεν καθίσταται δυνατό να αποκρυπτογραφήσει ορθά όλα όσα έλαβε.

Από πρακτικής πλευράς, ο συνήθης κινητός σταθμός θα δώσει οδηγίες στη λειτουργία κρυπτογράφησης καθορίζοντας τα κατάλληλα πεδία σε DMAC-SYNC PDU και DMAC-DATA PDU, δηλαδή κάνοντας χρήση του πεδίου *air interface encryption state* και των πεδίων που προσδιορίζονται με βάση αυτό. (βλ. Πίνακα 6 και Πίνακα 8)

Το πεδίο *air interface encryption state* σε DMAC-SYNC PDU και DMAC-DATA PDU διασαφηνίζει ποιος τύπος *air interface encryption* εφαρμόζεται κάθε φορά.

Information element	Length	Value	Remark
Air interface encryption state	2	00 ₂	Security class DM-1: no air interface encryption applied
		01 ₂	Security class DM-2-C: in the DMAC-SYNC PDU, the PDU is encrypted from the destination address element and onwards except for the source address type element, and any related traffic is air interface encrypted. In the DMAC-DATA PDU, the PDU is encrypted from the destination address type element and onwards
		10 ₂	Security class DM-2-A: the DM-SDU and any related traffic are air interface encrypted. Addresses are not encrypted
		11 ₂	Security class DM-2-B: the destination address (SSI), DM-SDU and any related traffic are air interface encrypted
NOTE 1: Except in DMAC-DATA PDUs for class DM-2-C, the destination and source address type elements are never encrypted.			
NOTE 2: DM-1 is considered the lowest level of security.			
NOTE 3: DM-2-A through DM-2-B to DM-2-C provide progressively increased levels of security by encrypting more of the signalling content.			

Πίνακας 11: Καταστάσεις της κρυπτογράφησης ραδιοεπαφής

Από τον προηγούμενο πίνακα γίνεται κατανοητό ότι αλλάζοντας την τιμή του πεδίου *air interface encryption state* αλλάζει ως συνέπεια και η μορφή της εφαρμογής κρυπτογράφησης και επομένως και η τάξη ασφάλειας:

- Η τάξη ασφαλείας DM-1 είναι εκείνη στην οποία δε χρησιμοποιούμε την κρυπτογράφηση ραδιοδιεπαφής.
- Η τάξη ασφαλείας DM-2-A είναι εκείνη στην οποία κρυπτογραφούνται μόνο η DM-SDU και η κυκλοφορία που μεταδίδεται μες τα DNB.
- Η τάξη ασφαλείας DM-2-B είναι εκείνη στην οποία κρυπτογραφούνται η DM-SDU, η διεύθυνση του παραλήπτη (ιδιαίτερα η SSI του παραλήπτη) και η κυκλοφορία που μεταδίδεται μες τα DNB.
- Η τάξη ασφαλείας DM-2-C είναι εκείνη στην οποία αντιθέτως εκτός απ'την κίνηση κρυπτογραφούνται οι πηγαίες και τελικές (προορισμού) διευθύνσεις, τα *message dependent elements* και η DM-SDU.

Είναι σχετικά εύκολο να συμπεράνουμε ότι η τάξη DM-2-C είναι εκείνη στην οποία έχουμε το πιο υψηλό επίπεδο προστασίας πάνω στη μετάδοση. Στην άλλη μεριά της ζυγαριάς ωστόσο, έχουμε το γεγονός ότι μ'αυτήν την τάξη ασφάλειας δεν είναι εφικτή η χρήση *pre-emption* μεταξύ ομάδων χρηστών που δε μοιράζονται τις ίδιες παραμέτρους κρυπτογράφησης (KSG και SCK): πράγματι σ'αυτήν την περίπτωση ένας DM-MS δεν μπορεί να ξέρει ούτε

την προτεραιότητα της επικοινωνίας σ'εξέλιξη ούτε τη διεύθυνση του *master* στην οποία τελικά θα διευθυνσιοδοτήσει τη χαρακτηριστική αίτηση *pre-emption*.

Η τάξη DM-2-B διαφοροποιείται, όσον αφορά την ασφάλεια, απ'την τάξη DM-2-C στο ότι η διεύθυνση πηγής, το είδος του μηνύματος και ορισμένα στοιχεία που εξαρτώνται απ'το μήνυμα, δεν είναι κρυπτογραφημένα: όμως καλύπτοντας με μάσκα την πηγαία διεύθυνση με μια ψευδό- SSI και σιγουρεύοντας ότι ο τύπος μηνύματος και τα στοιχεία που εξαρτώνται απ' αυτόν δεν αντιπροσωπεύουν ενδιαφέρουσα πληροφορία, γίνεται σαφές ότι η τάξη DM-2-B με τη χρησιμοποίηση της ψευδό-SSI απ'την πηγή, εγγυάται μια προστασία σχεδόν ισοδύναμη μ'αυτήν της τάξης DM-2-C. Με την τάξη DM-2-B ωστόσο, είναι εφικτό να κάνουμε *pre-emption* μεταξύ ομάδων χρηστών που δε μοιράζονται τις ίδιες παραμέτρους κρυπτογράφησης: ένας κινητός σταθμός που δεν κατέχει τις ίδιες παραμέτρους κρυπτογράφησης με το *master*, είναι επίσης σε θέση να ξέρει το είδος μηνύματος, την προτεραιότητα της επικοινωνίας σ'εξέλιξη και την ψευδό-SSI του *master*, δηλαδή όλα όσα απαιτούνται για μια αίτηση *pre-emption*. Σ'αυτήν την περίπτωση επιτυγχάνεται ένας βολικός συμβιβασμός ανάμεσα στη μέγιστη ελαστικότητα στη χρήση του φέροντος και στο μέγιστο επίπεδο ασφάλειας πάνω στα μεταδιδόμενα δεδομένα (διατηρώντας επιπλέον την ανωνυμία των μερών που εμπλέκονται στην επικοινωνία).

Η τάξη DM-2-A προσθέτει ένα περαιτέρω επίπεδο ασφάλειας πάνω στη μεταδιδόμενη κίνηση σε σύγκριση με το *scrambling* και την κρυπτογράφηση απ'άκρη-σ'άκρη μα δεν προσφέρει καμιά μορφή προστασίας πάνω στις διευθύνσεις των μερών που συμμετέχουν στην κλήση ή πάνω στις ρυθμίσεις της τελευταίας.

Τα πεδία που προσδιορίζονται απ' την κατάσταση της κρυπτογράφησης διεπαφής αέρα (*air interface encryption*) είναι τα εξής:

1. *Key Stream Generator number* (KSG), ήτοι ο δείκτης (ένδειξη) του αλγορίθμου της εφαρμοσμένης κρυπτογράφησης ραδιοεπαφής (δεν αλλάζει ποτέ εντός μιας κλήσης)
2. *Static Cipher Key number* (SCK), που λέγεται και *encryption key number*, δηλαδή πρόκειται για το δείκτη του κλειδιού που χρησιμοποιήθηκε στην κρυπτογράφηση (δεν αλλάζει ποτέ εντός μιας κλήσης)
3. *Time Variant Parameter* (TVP), είναι η ακολουθία από 29 *bits* που χρησιμοποιείται για να αρχικοποιήσει τον KSG στην αφετηρία κάθε χρονοθυρίδας (*slot*). Η τιμή αυτού του πεδίου αλλάζει στη βάση ενός προκαθορισμένου κριτηρίου.

Όπως τονίσαμε και πρωτύτερα, αν το ραδιοτηλέφωνο αποδέκτης δεν κατέχει έναν πίνακα αλγορίθμων ίδιο μ'αυτόν του μεταδότη, έτσι ώστε στην ένδειξη του λαμβανόμενου KSG να αντιστοιχεί ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς στη μετάδοση και μια μήτρα κλειδιού που να αντιστοιχεί στον SCK που χρησιμοποιήθηκε στη μετάδοση, τότε αυτό το κλητό δε θα είναι σε θέση να αποκωδικοποιήσει σωστά όσα έλαβε.

Κεφάλαιο 3^ο

Η υπηρεσία δεδομένων SDS

Στο ακόλουθο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε λεπτομερώς με την υπηρεσία σύντομων γραπτών μηνυμάτων (Short Data Service, SDS) η οποία αποτελεί και το υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται η εργασία αυτή και επιπλέον χάρη στο πρωτόκολλο TETRA SDS καθίσταται εφικτή η ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ κινητών σταθμών. Είναι δυνατή η χρήση του πρωτοκόλλου TETRA SDS είτε στην αμεσότροπη λειτουργία (TETRA DMO) είτε στη λειτουργία με χρήση σταθμών βάσης (TETRA TMO). Αν και οι μετρήσεις με τη βοήθεια της εφαρμογής, της οποίας τα χαρακτηριστικά θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο, έγιναν μέσω της ζεύξης των τερματικών με σταθμό βάσης (BS), ωστόσο για λόγους ολοκλήρωσης της συζήτησης που έχουμε ξεκινήσει για το πρωτόκολλο TETRA DMO, θα εστιαστούμε και σ' αυτό το κεφάλαιο στη μετάδοση και τη λήψη μηνυμάτων κειμένου για χρήστες κινητών DM-MS (Direct Mode-Mobile Stations).

Μια συνοπτική περιγραφή αυτής της υπηρεσίας που έχει ήδη γίνει στην παράγραφο 2.A.1.1.2, χαρακτηρίζεται από ένα μέρος που αφορά το πρωτόκολλο αέρα και ένα μέρος που αφορά το πρωτόκολλο εντός της ραδιοσυσκευής. Η υπηρεσία αναφέρεται διαδοχικά στην απ' ευθείας επικοινωνία μεταξύ κινητών και επίσης στο αν πρακτικά αυτή η επικοινωνία είναι διαθέσιμη σ' όλες τις μορφές του πρωτοκόλλου *direct* (MS-MS, MS-REP, MS-GATE). Στην καθομιλουμένη με τον όρο SDS εννοούμε χωρίς κάποια διάκριση τόσο την υπηρεσία που στηρίζεται στο πρωτόκολλο TETRA SDS, όσο και τα ίδια τα σύντομα γραπτά μηνύματα (τυπικά το πολύ μέχρι 190 χαρακτήρες) που αποστέλλονται μεταξύ των τερματικών TETRA. Έτσι όταν κατά τη διάρκεια της συζήτησης χρησιμοποιούμε τον όρο SDS από τα συμφραζόμενα θα βγαίνει το συμπέρασμα αν αναφερόμαστε στα μηνύματα καθ' αυτά ή στις λειτουργίες που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη υπηρεσία.

3.A. Η SDS για το DMO

Με την υποστήριξη του πρωτοκόλλου TETRA DMO, η SDS παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες κινητών να μεταβιβάζουν και να λαμβάνουν σύντομα γραπτά μηνύματα αξιοποιώντας το κανάλι DM ακριβώς όπως συμβαίνει και με τις φωνητικές κλήσεις.

Όπως είπαμε στην παράγραφο 2.A.1.1.2 αυτά τα γραπτά μηνύματα μπορεί να αντιπροσωπεύουν το σώμα πληροφορίας μιας επικοινωνίας «σημείο-σημείο», όπως είναι η ατομική είτε μιας επικοινωνίας «σημείο-πολλά σημεία» όπως είναι η ομαδική. Στην πρώτη περίπτωση είναι δυνατό να έχουμε τόσο μια υπηρεσία χωρίς επιβεβαίωση, ήτοι *unacknowledged*, δηλαδή χωρίς τη δυνατότητα εκ μέρους του αποστολέα να γνωρίζει αν ο παραλήπτης έχει λάβει ορθά το μήνυμα, όσο και με επιβεβαίωση, ήτοι *acknowledged*, δηλαδή με επιβεβαίωση της πιθανής παραλαβής. Στη δεύτερη περίπτωση είναι δυνατό να έχουμε μόνο μια υπηρεσία *unacknowledged*.

Όσον αφορά την υπηρεσία *acknowledged*, το πρότυπο προβλέπει για τον παραλήπτη του μηνύματος τη δυνατότητα να ενσωματώσει μια σύντομη απάντηση, δηλαδή δεδομένα σε περιορισμένη ποσότητα, μες την επιβεβαίωση που μεταδίδονται στον παραλήπτη (αυτή η απάντηση στο λαμβανόμενο μήνυμα δεν πρέπει να ακολουθείται από άλλη μια επιβεβαίωση εκ μέρους του *master*).

Τα SDS μπορούν να οριστούν απ' το χρήστη είτε μπορεί να είναι προκαθορισμένα. Στην πρώτη περίπτωση το μήκος του μηνύματος είναι μεταβλητό αλλά το μέγιστο μπορεί να

φθάσει τους 255 χαρακτήρες ενώ στη δεύτερη περίπτωση το μήκος του μηνύματος είναι σταθερό όσο το ίδιο το μήνυμα αντιπροσωπεύεται από έναν αριθμητικό κώδικα του οποίου η ερμηνεία βασίζεται στα προδιαμορφωμένα δεδομένα εντός του ραδιοτηλεφώνου.

Ακολούθως θα εξετάσουμε λεπτομερώς το πρωτόκολλο αέρα (βλ. § 3.A.2) όπως αυτό έχει οριστεί απ' το πρότυπο ETSI για τη μετάδοση και τη λήψη των μηνυμάτων κειμένου σε περιβάλλον TETRA DMO. Οι εγγενείς κανονισμοί για τη μετάδοση και λήψη στη διεπαφή αέρα (*air interface*) πρέπει να γίνονται σεβαστοί κατά γράμμα σύμφωνα με τις οδηγίες του εκάστοτε οίκου κατασκευαστών ώστε να είναι εγγυημένη η διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών που κατασκευάζονται από διαφορετικές εταιρείες.

Αντίθετα, αναφορικά με την υλοποίηση των επιπέδων πρωτοκόλλου που είναι εντός της συσκευής (βλ. § 3.A.3), το πρότυπο ETSI παρέχει απλές οδηγίες: η πραγματική υλοποίηση μπορεί να ακολουθεί οποιοδήποτε άλλο κριτήριο υπό τον όρο ότι η εναέρια συμπεριφορά θεωρείται εξασφαλισμένη.

3.A.1 Θεμελιώδεις έννοιες μιας DM-SDU

Είναι απαραίτητο να υπογραμμίσουμε ότι τόσο τα προκαθορισμένα μηνύματα όσο και εκείνα που ορίζονται απ' το χρήστη, σ' επίπεδο αέρα μεταφέρονται απ' την ίδια PDU.

Ειδικότερα για να προωθήσουμε μηνύματα δίχως επιβεβαίωση κάνουμε χρήση της DM-SDS UDATA PDU, για να προωθήσουμε μηνύματα με επιβεβαίωση κάνουμε χρήση της DM-SDS DATA PDU και τέλος για να στείλουμε την επιβεβαίωση, *acknowledgement* χρησιμοποιούμε την DM-SDS ACK PDU. Ακριβώς αυτός ο τελευταίος τύπος PDU, που χρησιμοποιείται απ' τον παραλήπτη για να στείλει την πρόπαιστη απάντηση σ' ένα μήνυμα με *acknowledgement*, είναι δυνατό να συμπεριλάβουμε μια σύντομη απάντηση. Πιο συγκεκριμένα το πρωτόκολλο επιβάλλει ότι μια DM-SDS ACK PDU μπορεί να περιέχει προκαθορισμένα μηνύματα ή καθορισμένα απ' το χρήστη με μήκος μέχρι και 229 bits εφόσον χρησιμοποιεί την FCS (Frame Check Sequence) δηλαδή έναν έλεγχο σφαλμάτων πάνω στα μεταδιδόμενα πλαίσια, ή μέχρι και 261 bits στην αντίθετη περίπτωση.

Οι επόμενοι δύο πίνακες απεικονίζουν το περιεχόμενο των προλεγομένων PDUs (DM-SDU) και πως αυτές σχετίζονται με τα *message dependent elements*:

Information element ²	Length ³	Type ⁴	Remark
Message dependent elements			
FCS flag	1	M	Always set to 0 if acknow. type ≠ 0001 ₂
DM-SDU elements			
Acknowledgement type	4	M	
Short Data Type Identifier	4	C	Included for acknow. type = 0001 ₂
User defined data 1	16	C	Conditional on SDTI
User defined data 2	32	C	Conditional on SDTI
User defined data 3	64	C	Conditional on SDTI
Length indicator	11	C	Conditional on SDTI
User defined data 4	variable	C	Conditional on SDTI
Precoded status	16	C	Conditional on SDTI
FCS	32	C	Included if FCS flag = 1

Πίνακας 12: Το περιεχόμενο της DM-SDS ACK PDU

Information element	Length	Type	Remark
Message dependent elements			
SDS time remaining	4	M	
SDS transaction type	1	M	
Priority level	2	M	
FCS flag	1	M	
DM-SDU elements			
Additional addressing flag	1	M	
Additional address type(s)	4	C	Included if additional addressing flag = 1
Calling party TSI	48	C	Conditional on additional address type(s)
Short Data Type Identifier	4	M	SDTI
User defined data 1	16	C	Conditional on SDTI
User defined data 2	32	C	Conditional on SDTI
User defined data 3	64	C	Conditional on SDTI
Length indicator	11	C	Conditional on SDTI
User defined data 4	variable	C	Conditional on SDTI
Precoded status	16	C	Conditional on SDTI
FCS	32	C	Included if FCS flag = 1

Πίνακας 13: Το περιεχόμενο των DM-SDS UDATA PDU και DM-SDS DATA PDU

Μεταξύ των πιο σημαντικών πεδίων της PDU που δείξαμε ακριβώς από πάνω, αναφέρουμε τα εξής:

- *FCS flag*: δείχνει αν μες την PDU συμπεριλαμβάνεται ή όχι η FCS, δηλαδή 32 bits που δίνουν τη δυνατότητα στη λήψη να καταλάβει αν κατά τη διάρκεια της λήψης έχουν δημιουργηθεί λάθη πάνω στα πλαίσια
- *Acknowledgement type*: αναπαριστά την απόκριση που ο παραλήπτης μιας DM-SDS DATA PDU στέλνει στον αποστολέα ενημερώνοντάς τον σχετικά με την επιτυχία της λειτουργίας παραλαβής του μηνύματος (βλ. Πίνακα 13)
- *Short data type identifier*: δείχνει στην περίπτωση που η PDU περιέχει ένα μήνυμα, αν αυτό είναι προκαθορισμένο (το SDS εμπεριέχεται στο πεδίο *precoded status*), καθορισμένο απ' το χρήστη και σε 16 bits (το SDS περιλαμβάνεται μέσα στο πεδίο *user defined data 1*), καθορισμένο απ' το χρήστη και σε 32 bits (το SDS περιλαμβάνεται μέσα στο πεδίο *user defined data 2*), καθορισμένο απ' το χρήστη και σε 64 bits (το SDS περιλαμβάνεται μέσα στο πεδίο *user defined data 3*) είτε αν είναι μήνυμα καθορισμένο απ' το χρήστη και μεταβλητού μήκους (το SDS εμπεριέχεται στο πεδίο *user defined data 4* και το μήκος του προσδιορίζεται μες το πεδίο *length indicator*).

Information element	Length	Value	Remark
Acknowledgement type	4	0000 ₂	Data message fully received, no data in acknowledgement
		0001 ₂	Data message fully received, data in acknowledgement (as indicated by SDTI)
		0010 ₂	Message received but FCS failed
		0011 ₂	Message not fully received
		others	Reserved

Πίνακας 14: Υποθετικές τιμές του πεδίου *acknowledgement type*

3.A.2 Πρωτόκολλο αέρα

Σ' αυτό το σημείο μας συμφέρει να διευκρινίσουμε τι ακριβώς το πρωτόκολλο TETRA DMO προβλέπει όσον αφορά τη μετάδοση μηνυμάτων χωρίς και με *acknowledgement*.

3.A.2.1 Unacknowledged SDS (SDS χωρίς επιβεβαίωση)

Ένας DM-MS που επιθυμεί να μεταδώσει ένα SDS χωρίς *acknowledgement*, ελέγχει πάνω απ' όλα την κατάσταση του καναλιού ανιχνεύοντας αν αυτό είναι ελεύθερο και κατόπιν μεταδίδοντας μια ακολουθία από DSB που εμπεριέχουν DM-SDS UDATA PDUs (sdu στο Σχήμα 32), εγκαθιστά πάνω της ένα συγχρονισμό αναλαμβάνοντας ταυτόχρονα το ρόλο του *master*.

Με βάση το μήκος σε χαρακτήρες του μηνύματος, η μετάδοσή του μπορεί να συμβεί κάνοντας χρήση των μοναδικών DSB ή καταφεύγοντας στον κατακερματισμό. Στην πρώτη περίπτωση το μήνυμα, όντας μικρό, εμπεριέχεται ολοκληρωτικά σ' ένα DSB της μεταδιδόμενης ακολουθίας. Αντίθετα στην περίπτωση που γίνεται προσφυγή στον κατακερματισμό, ήτοι στην περίπτωση που το μήνυμα συγκροτείται από πιο πολλούς χαρακτήρες, τα DSB («sdu») της μεταδιδόμενης ακολουθίας περιέχουν όλα το πρώτο θραύσμα του μηνύματος ενώ τα διαδοχικά («sd») μεταδίδονται για κάθε DSB μες τα *slots* των διαδοχικών *frames* (στο Σχήμα 32 απ' το *frame 1* ως το *frame 3*).

Παίρνοντας ως δεδομένο το ότι ο αποστολέας ενός μηνύματος χωρίς *acknowledgement* δεν έχει τη δυνατότητα να ξέρει αν η μετάδοσή του είχε αίσιο τέλος, το πρότυπο επιχειρεί να αυξήσει την απόδοση της μετάδοσης, αφήνοντας το *master* να μεταδώσει αμέσως ολόκληρο το μήνυμα χωρίς να επανελέγξει ότι το κανάλι είναι ελεύθερο και συνεπώς στέλνοντας στη στιγμή τα DSB (στο Σχήμα 32 απ' το *frame 4* ως το *frame 8*).

Frame #	17				18				1				2				3				4			
Slot #	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Channel	sdu	sdu	sdu	sdu	sdu	sdu	sdu	sdu	sd				sd		p?		sd		lch		sdu	sdu	sdu	sdu
Frame #	5				6				7				8				9				10			
Slot #	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Channel	sdu	sdu	sdu	sdu	sd		sdo		sd				sd		p?									

Σχήμα 32: Κανάλι στην περίπτωση μετάδοσης SDS δίχως *acknowledgement*

Στο προηγούμενο σχήμα εκτός από τις «sdu» και «sd» υπάρχουν κι άλλες συντομογραφίες:

- «p?» , χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει τα *slots* στα οποία μπορεί να φθάσει μια αίτηση *pre-emption* (το πρότυπο επιτρέπει τέτοιες αιτήσεις μες τα *slots* 3 των *frames* 2, 5, 8, 11, 14 και 17 όσο είναι σ' εξέλιξη η μεταβίβαση των θραυσμάτων)
- «lch» , χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει τα καταναλισκόμενα *slots* στη λειτουργία της ευθυγράμμισης και επομένως στην πιθανή μετάδοση από DLB (το πρότυπο επιτρέπει τέτοιες λειτουργίες μες το *slot* 3 του *frame* 3 και καθ' όσον είναι σ' εξέλιξη η μεταβίβαση των τεμαχίων)
- «sdo» , χρησιμεύει για να καταδείξει εκείνα τα *slots* στα οποία ο *master* υποχρεούται να μεταδώσει την DM-SDS OCCUPIED PDU έτσι ώστε να ενημερώσει όλους τους χρήστες που είναι συντονισμένοι πάνω στη συχνότητα, ότι το κανάλι είναι κατειλημμένο λόγω μετάδοσης SDS (το πρότυπο επιτρέπει τέτοιες σηματοδοσίες μες το *slot* 3 των *frames* 6, 12 και 18 όσο είναι σ' εξέλιξη η μετάδοση των κομματιών).

Εδώ είναι χρήσιμο να τονίσουμε ότι τα σενάρια που περιγράψαμε, αναφέρονται σε επικοινωνίες της μορφής *normal mode*, δηλαδή σε επικοινωνίες που χρησιμοποιούν μια συχνότητα για να υποστηρίξουν μια μοναδική κλήση ή SDS την κάθε φορά.

3.A.2.2 Acknowledged SDS (SDS με επιβεβαίωση)

Ο τρόπος εργασίας που επιβάλλεται από το πρότυπο σ' έναν DM-MS που επιθυμεί να μεταδώσει ένα SDS με *acknowledgement* είναι παρεμφερής μ' αυτόν που μόλις περιγράψαμε.

Η ουσιαστική διαφορά σε σχέση με την προηγούμενη υπηρεσία αντιπροσωπεύεται απ' το γεγονός ότι ο αποστολέας του μηνύματος, για να σταθεροποιήσει το συγχρονισμό του καναλιού και ταυτοχρόνως το ρόλο του ως *master*, οφείλει να μεταδώσει μια ακολουθία από DSB που εμπεριέχουν DM-SDS DATA PDUs («sds» στο Σχήμα 33) αντί για DM-SDS UDATA PDUs: αυτό επιτρέπει στον παραλήπτη να καταλάβει ότι ο *master* μεταδίδει ένα *unacknowledged* SDS και κατά συνέπεια προσδοκά στην κατάληξη της μετάδοσης ένα δικό του *acknowledgement* απόκρισης.

Ο παραλήπτης του μηνύματος στέλνει ακριβώς το ίδιο *acknowledgement*, εξυπηρετούμενος απ' την DM-SDS ACK PDU («sdk»), η οποία μεταδίδεται σε πακέτα DSB μες τα *slots* 1 κι 3 των πλαισίων που διαδέχονται εκείνο στο οποίο τελειώνει η μετάδοση του *master* (στο Σχήμα 33 απ' το πλαίσιο 5 ως το πλαίσιο 7). Επίσης το *acknowledgement* όπως το μήνυμα, μπορεί να μεταδοθεί προσφεύγοντας στον κατακερματισμό («sda»).

Η κυριότερη διαφορά σε σύγκριση με την προαναφερθείσα υπηρεσία αφορά την πιστότητα της μετάδοσης. Αυτή τη φορά είναι εγγυημένη ακριβώς λόγω της παρουσίας της *acknowledgement*: σε σχέση με την απάντηση που περιέχεται μες την επιβεβαίωση, όντως, ο αποστολέας μπορεί να αποφασίσει την επαναμετάδοση του μηνύματος.

Frame #	17				18				1				2				3				4			
Slot #	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Master	sds	sds	sds	sds	sds	sds	sds	sds	sd				sd	p?			sd		lch		sd			
Slave																								

Frame #	5				6				7				8				9				10			
Slot #	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Master																								
Slave	sdk		sdk		sdk		sdk		sda															

Σχήμα 33: Κανάλι στην περίπτωση μετάδοσης SDS με επιβεβαίωση

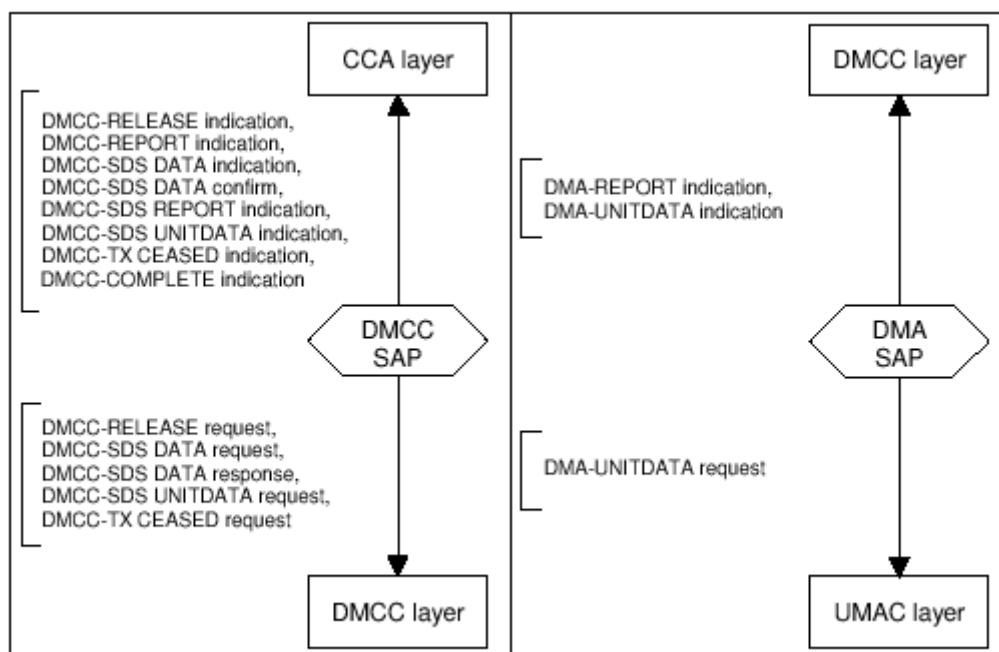
3.A.3 Εσωτερικό πρωτόκολλο στο ραδιοτηλέφωνο

Σ' αυτήν την παράγραφο θα εξετάσουμε τις προβλεπόμενες διαδικασίες απ' το πρότυπο TETRA σε σχέση με την υλοποίηση των εσωτερικών επιπέδων του πρωτοκόλλου στη συσκευή *radio*. Τέτοιες διαδικασίες σ' αντίθεση μ' όσα συμβαίνουν για την εναέρια δραστηριότητα, όπως περιγράφηκαν πριν, δεν είναι άλλες από τις «εκτελεσθείσες υποδείξεις» οι οποίες μπορούν να ακολουθηθούν ή όχι στη φάση της σχεδίασης/ανάπτυξης του λογισμικού.

Γενικότερα το πρωτόκολλο τείνει να αναθέτει μεγάλο μέρος των εργασιών στο επίπεδο DMCC δεδομένου ότι θεωρείται ενδεδειγμένο να επιλεγεί αυτό ως «ευφύες μέρος» του εσωτερικού πρωτοκόλλου του *radio*. Ακριβώς γι' αυτό το λόγο είναι σημαντικό να ανακαλέσουμε στη μνήμη μας ότι το DMCC αλληλεπιδρά με τα ανώτερα επίπεδα μέσω της διεπαφής DMCC-SAP και με το κατώτερο επίπεδο, ήτοι το MAC μέσω των διεπαφών DMA-

SAP και DMC-SAP (βλ. Σχήμα 31). Το DMCC, γενικά είναι πάντα *updated* σχετικά με την κατάσταση του καναλιού, χάρη στην παρακολούθηση που πραγματοποιείται απ' το κινητό επί της συχνότητας στην οποία είναι συντονισμένο: η γνωστοποίηση πάνω στις αλλαγές κατάστασης γίνεται μέσω των πιο χαμηλών επιπέδων.

Το επόμενο σχήμα δείχνει κάποιες οδηγίες που χαρακτηρίζουν το DMCC-SAP και το DMA-SAP με τις διαδρομές τους (με δεδομένο ότι κάποιες απ' αυτές πηγαίνουν αντίστοιχα απ' το DMCC και το DMA στο ανώτερο επίπεδο ενώ άλλες ακολουθούν αντίθετη διαδρομή):



Σχήμα 34: Οδηγίες που απαρτίζουν το DMCC-SAP και το DMA-SAP

Σε σχέση με τη μετάδοση και τη λήψη ενός SDS οι οδηγίες που τυγχάνουν χρήσης είναι οι: DMCC-SDS REPORT, η DMCC-SDS UNITDATA για τα μηνύματα δίχως επιβεβαίωση και η DMCC-SDS DATA για τα μηνύματα με *acknowledgement*.

Οι ακόλουθοι πίνακες δείχνουν τις παραμέτρους απ' τις οποίες απαρτίζονται οι οδηγίες που μόλις αναφέρθηκαν:

Parameter	Indication ^a
SDS transfer result	M

Πίνακας 15: Παράμετροι για την DMCC-SDS REPORT

Parameter	Request	Indication
Short data type identifier	M	M
User defined data 1	C (note 1)	C (note 1)
User defined data 2	C (note 1)	C (note 1)
User defined data 3	C (note 1)	C (note 1)
User defined data 4	C (note 1)	C (note 1)
Status number	C (note 1)	C (note 1)
Called party TSI	O (note 2)	M
Calling party TSI	-	M
Priority level	M	M
Extended error protection	M	-
Importance factor	O	-
Communication type (note 3)	M	M

NOTE 1: Depending on the value of short data type identifier.
 NOTE 2: Need not be supplied for a short data message sent as a transaction within an ongoing call.
 NOTE 3: Value "direct MS-MS operation" indicates part 3 operation.

Πίνακας 16: Παράμετροι για την DMCC-SDS UNITDATA

Parameter	Request	Indication	Response	Confirm
Short data type identifier	M	M	M	C (note 1)
User defined data 1	C (note 2)	C (note 2)	C (note 2)	C (note 2)
User defined data 2	C (note 2)	C (note 2)	C (note 2)	C (note 2)
User defined data 3	C (note 2)	C (note 2)	C (note 2)	C (note 2)
User defined data 4	C (note 2)	C (note 2)	C (note 2)	C (note 2)
Status number	C (note 2)	C (note 2)	C (note 2)	C (note 2)
Called party TSI	O (note 3)	M	-	-
Calling party TSI	-	M	-	-
Priority level	M	M	-	-
Extended error protection	M	-	M	-
Communication type (note 4)	M	M	-	-
NOTE 1: Included if the DM-SDS ACK PDU carried a short data message.				
NOTE 2: Depending on the value of short data type identifier.				
NOTE 3: Need not be supplied for a data message sent as a transaction within an ongoing call.				
NOTE 4: Value "direct MS-MS operation" indicates part 3 operation.				

Πίνακας 17: Παράμετροι για την DMCC-SDS DATA

3.A.4 Τρόποι μετάδοσης

Όπως έχουμε ήδη υπονοήσει στην παράγραφο 2.A.1.1.2, ένα SDS μπορεί να μεταδοθεί ως μια συναλλαγή *stand-alone*, δηλαδή με αυτόνομο τρόπο, ή εντός μιας μετάδοσης φωνής ή εντός μιας μετάδοσης δεδομένων.

Ειδικότερα υπάρχουν τέσσερις τρόποι με τους οποίους μπορεί να μεταδοθεί ένα SDS:

1. σα μια μετάδοση *stand-alone* πάνω σε ελεύθερο κανάλι
2. σα μια μετάδοση *stand-alone* πάνω σε ελεύθερο κανάλι αφού έχει γίνει *pre-emption* πάνω στην εξελισσόμενη κλήση
3. σε μορφή κλοπής, *stealing*, από ένα *master* που μεταδίδει κυκλοφορία φωνής (έγκυρη μορφή μόνο για τα *unacknowledged SDS*) και
4. ως μια μετάδοση εντός μιας κλήσης σε πορεία κατόπιν της *pre-emption* για *ongoing call* ή *changeover*.

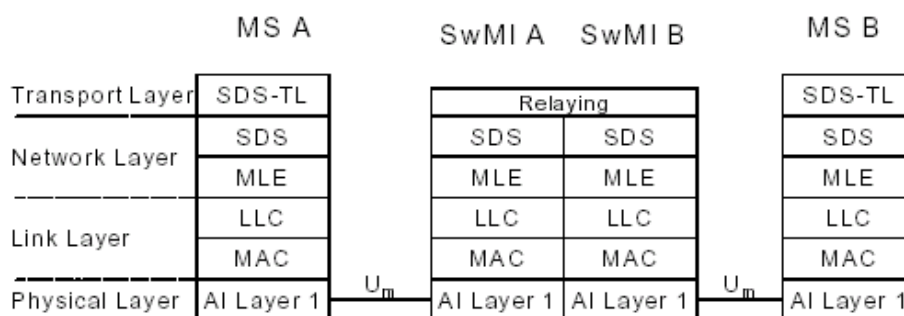
3.B. Το πρωτόκολλο TETRA SDS-TL

Σ' αυτό το μέρος δίνουμε μια περιγραφή των στρωμάτων που απαρτίζουν το πρωτόκολλο SDS-TL, όπως αυτά ορίστηκαν στα πρότυπα απ' τον ETSI. Αυτά τα πρότυπα καθορίζουν ένα πρωτόκολλο που προβλέπει τη μετάδοση μικρών/ σύντομων μηνυμάτων επί της ραδιοδιεπαφής (air interface) ανάμεσα σε κινητούς σταθμούς TETRA MS και ανάμεσα σ' έναν TETRA MS και μια SDS gateway. Τα σύντομα μηνύματα κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις τύπους: Τα SDS τύπου 1 ως 3 έχουν τυποποιημένο μήκος που δε γίνεται ν' αλλάξει και μπορούν να περιέχουν αντίστοιχα 16, 32 και 64 bits από δεδομένα που έχει καθορίσει ο εκάστοτε χρήστης. Αντίθετα τα SDS τύπου 4 μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα μεταβλητού μήκους. Εμείς για τη διαδικασία των μετρήσεων χρησιμοποιήσαμε τα SDS τύπου 4 αφού είχαμε διαφορετικά μήκη μηνυμάτων SDS.

Το πρωτόκολλο παρέχει δύο υπηρεσίες: α) την αποστολή και τη λήψη ορισμένων απ' το χρήστη ή προκαθορισμένων μηνυμάτων για επείγουσες καταστάσεις και β) την αποστολή και λήψη σύντομων μηνυμάτων δεδομένων. Και οι δύο υπηρεσίες προσφέρουν δυνατότητες για

επικοινωνία σημείο-σημείο ή σημείο-πολλά σημεία. Πολύ σημαντικό είναι το γεγονός πως το SDS μπορεί να σταλθεί ενώ βρίσκεται παράλληλα σ'εξέλιξη μια κλήση.

Η τυποποίηση της χρήσης των SDS τύπου 4 γίνεται ορίζοντας το στρώμα μεταφοράς των μηνυμάτων SDS που δεν είναι άλλο απ'το SDS-TL (SDS- Transport Layer). Αυτό ακριβώς το πρωτόκολλο καθορίζει ένα *format* επικεφαλίδας που επεκτείνει και εμπλουτίζει τη βασική SDS υπηρεσία. Η επικεφαλίδα του SDS-TL εμπεριέχει ένα αναγνωριστικό πρωτοκόλλου (*protocol identifier*) που στοχεύει στο να υποδείξει τον τύπο του πρωτοκόλλου στρώματος μεταφοράς (*Transport Layer protocol*) που κάνει χρήση της συγκεκριμένης υπηρεσίας. Το πρωτόκολλο SDS-TL επιπλέον παρέχει τα μέσα για την επιβεβαίωση απ'άκρη-σ'άκρη των μηνυμάτων (*end-to-end acknowledgement*).



Σχήμα 35: Στοιβά πρωτοκόλλου SDS

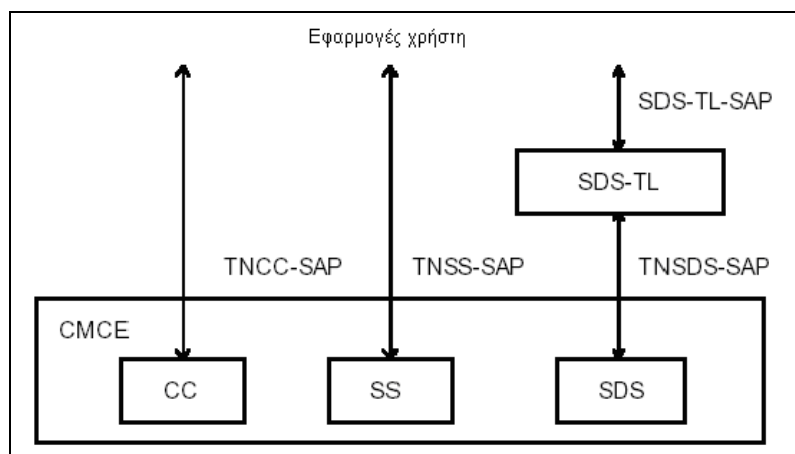
Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η στοιβά του πρωτοκόλλου SDS καθώς και το ότι το SDS-TL τοποθετείται ακριβώς πάνω από το στρώμα δικτύου (*Network Layer*). Επίσης στο σχήμα διακρίνεται η διασύνδεση των υποδομών μεταγωγής και διαχείρισης με τους κινητούς σταθμούς MS A και MS B. Στη στοιβά πρωτοκόλλου ξεχωρίζουμε τα εξής στοιχεία:

- AI Layer 1 (*Air Interface layer 1*): Είναι το στρώμα ραδιοδιεπαφής. Πρόκειται για τη φυσική διεπαφή. Ασχολείται με τη φυσική ριπή, η οποία συντίθεται από bits και σύμβολα (=συνδυασμός των 2 bits)
- MAC (*Medium Access Control*): Πρόκειται για το λεγόμενο έλεγχο πρόσβασης στο μέσο. Αυτό το υπόστρωμα χειρίζεται την εργασία του να διαμοιράσει το μέσο σ'έναν αριθμό χρηστών. Στο MAC η στοιβά πρωτοκόλλων χωρίζεται σε δύο μέρη, στο πεδίο του χρήστη (U-plane, *user plane*) για τη μετάδοση πληροφορίας χωρίς τη δυνατότητα διευθυνσιοδότησης και στο πεδίο ελέγχου (C-plane, *control plane*) για τη σηματοδότηση με δυνατότητα διευθυνσιοδότησης.
- LLC (*Logical Link Control*): Πρόκειται για το πρωτόκολλο που είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της λογικής ζεύξης ανάμεσα σ'ένα MS και μια SwMI πάνω από ένα απλό *radio hop*.
- MLE (*Mobile Link Entity*): Αυτό το υπόστρωμα εγκαθιστά και φροντίζει για τη διατήρηση της σύνδεσης με την SwMI.
- SDS: Αυτό το πρωτόκολλο παρέχει βασικές υπηρεσίες επί της ραδιοδιεπαφής. Το πρωτόκολλο SDS αποτελεί μέρος του υποστρώματος CMCE (*Circuit Mode Control Entity*).
- SDS-TL: Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο προσφέρει πολυπλεξία ενός αριθμού πρωτοκόλλων του στρώματος μεταφοράς (*Transport Layer protocols*) και επιπλέον

παρέχει αξιόπιστη απ'άκρη-σ'άκρη διανομή των δεδομένων μεταφοράς για κάποια απ'αυτά.

3.B.1 – Υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων SDS-TL

Η υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων SDS-TL διευρύνει την υπηρεσία δεδομένων SDS τύπου 4 και ως αποτέλεσμα την αντικαθιστά στις εφαρμογές χρήστη. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η θέση του πρωτοκόλλου SDS-TL στη στοίβα πρωτοκόλλων MS/LS (*Mobile Station/Line Station*) [12]:



Σχήμα 36. Τοποθέτηση του SDS-TL στη στοίβα του πρωτοκόλλου TETRA

όπου:

- SAP: *Service Access Point*, σημείο πρόσβασης σε υπηρεσία
- CC: *Call Control*, έλεγχος κλήσης
- SS: *Supplementary Service*, επιπρόσθετη υπηρεσία
- TNCC: *TETRA Network layer Call Control*, έλεγχος κλήσης στρώματος δικτύου TETRA
- TNSS: *TETRA Network layer Supplementary Service*, επιπρόσθετη υπηρεσία στρώματος δικτύου TETRA
- TNSDS: *TETRA Network layer Short Data Service*, υπηρεσία SDS στρώματος δικτύου TETRA

Το στρώμα SDS-TL τροποποιεί τη διευθυνσιοδότηση του στρώματος δικτύου του SDS όταν χρησιμοποιείται η δυνατότητα αποθήκευσης και προώθησης. Η οντότητα που στέλνει υποδεικνύει πάντα τη διεύθυνση του επόμενου κόμβου στην U/D-SDS DATA PDU. Όταν ο επόμενος κόμβος είναι μια οντότητα αποθήκευσης και προώθησης, η επόμενη διεύθυνση θα βρίσκεται μέσα στην SDS-TL PDU ως μια διεύθυνση προώθησης. Όταν η οντότητα που στέλνει είναι η οντότητα αποθήκευσης και προώθησης, η διεύθυνσή της υπάρχει ως διεύθυνση προέλευσης στην SDS-DATA PDU και η πραγματική διεύθυνση προέλευσης υπάρχει στην SDS-TL PDU στο στοιχείο πληροφορίας διεύθυνσης προώθησης.

Στο μοντέλο πρωτοκόλλου, ο εξωτερικός αριθμός συνδρομητή (αριθμός MS-ISDN) του χρήστη αποστολέα είναι γνωστός στην SwMI με βάση την ITSI του συνδρομητή και το αποστέλλον MS/LS δεν τον στέλνει. Θεωρείται επίσης πως η εφαρμογή χρήστη MS/LS γνωρίζει τον αριθμό MS-ISDN του από την ITSI της και δεν τον λαμβάνει ως έναν πρόσθετο εξωτερικό αριθμό χρήστη. Τα MS/LS μπορούν να χρησιμοποιήσουν έναν αριθμό MS-ISDN ως διεύθυνση προορισμού ή προέλευσης στο στοιχείο πληροφορίας, στην SDS-DATA PDU είτε στο στοιχείο πληροφορίας διεύθυνσης προώθησης.

Όταν κάποιο MS/LS χρησιμοποιεί τον αριθμό MS-ISDN ως διεύθυνση προορισμού με οντότητα αποθήκευσης και προώθησης, δεν υπάρχει διεύθυνση πύλης (*gateway*) μέσα στο στοιχείο πληροφορίας διεύθυνσης προώθησης για τον εξωτερικό συνδρομητή ή το χρήστη

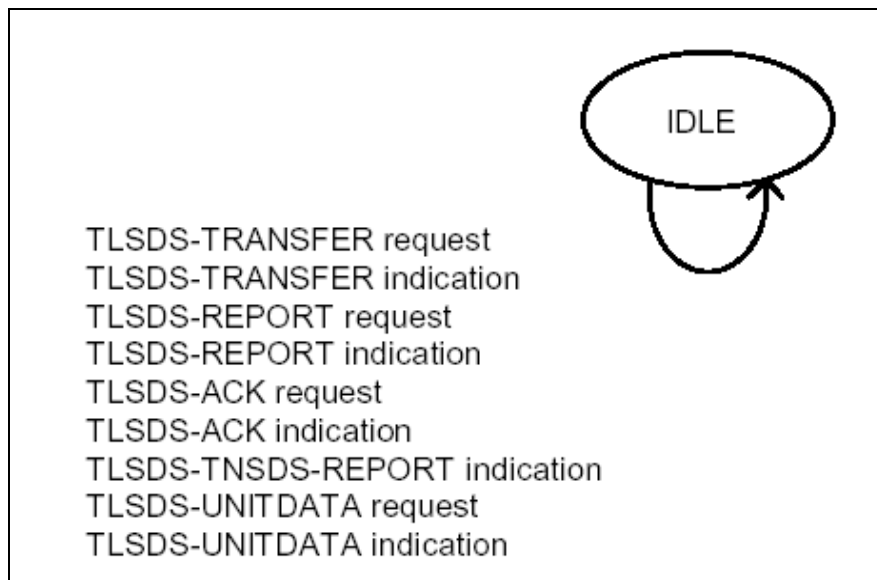
MS-ISDN και θεωρείται πως η SwMI ή ο εξυπηρετητής αποθήκευσης και προώθησης μπορούν να δρομολογούν το μήνυμα στην κατάλληλη πύλη ή προορισμό.

Η υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων SDS-TL παρέχει τα μέσα δια των οποίων μεταδίδονται SDUs από την πηγή στον προορισμό μ'έναν αξιόπιστο τρόπο. Η πηγή μπορεί να ζητήσει επαλήθευση λήψης και κατανάλωσης από τον προορισμό. Η επαλήθευση λήψης και κατανάλωσης μεταφέρεται μ'έναν αξιόπιστο τρόπο επίσης. Ο στόχος της αξιοπιστίας της μεταφοράς μπορεί να επιτευχθεί διαφανώς μέσα από την SwMI ή χρησιμοποιώντας δυνατότητες αποθήκευσης και προώθησης από την SwMI.

Το πρωτόκολλο SDS-TL καθορίζει τις εξής παραμέτρους για την υπηρεσία SDS:

- ❖ Επιβεβαίωση
 - Απαιτείται ή δεν απαιτείται περαιτέρω επιβεβαίωση για το μήνυμα.
- ❖ Αίτηση αναφοράς παράδοσης
 - Ζητείται ή δε ζητείται αναφορά παράδοσης.
 - Καταναλώνεται αναφορά παράδοσης.
 - Ζητείται και καταναλώνεται αναφορά παράδοσης
- ❖ Διεύθυνση προώθησης
 - SNA (*Short Number Address*)
 - SSI (*Short Subscriber Identity*)
 - SSI και επέκταση διεύθυνσης
 - Εξωτερικός αριθμός συνδρομητή
- ❖ Αναφορά (*reference*) μηνύματος = 0 ... 255
- ❖ Τίτλος αναφοράς μηνύματος = 0 ... 255, ένας τοπικός τίτλος για την πραγματική αναφορά μηνύματος.
- ❖ Αναγνωριστικό πρωτοκόλλου = το πρωτόκολλο που ενεργοποιείται απ'την οδηγία.
- ❖ Επιλογή υπηρεσίας
 - Ατομική υπηρεσία
 - Ομαδική ή ατομική υπηρεσία
- ❖ Αναφορά (*report*) σύντομης μορφής
 - Συνιστάται χρήση αναφοράς σύντομης μορφής (κατά την περίοδο εγκυρότητας του μηνύματος)
 - Επιτρέπεται μόνο απλή αναφορά
- ❖ Αποθήκευση
 - Επιτρέπεται ή δεν επιτρέπεται αποθήκευση
- ❖ Περίοδος εγκυρότητας
 - Μια προσπάθεια, χωρίς εκτεταμένη περίοδο εγκυρότητας
 - 10sec έως 2 εβδομάδες
 - Καθορισμένη από το δίκτυο

Στο παρακάτω σχήμα συνοψίζονται οι οδηγίες που περιλαμβάνονται στο πρωτόκολλο TETRA SDS-TL:



Σχήμα 37. Διάγραμμα μεταβάσεων καταστάσεων

Η κατάσταση IDLE αναπαριστά την αρχική και τελική κατάσταση όλων των ακολουθιών οδηγιών.

3.B.2 Επισκόπηση του πρωτοκόλλου SDS-TL

Όταν στέλνουμε ένα μήνυμα SDS-TL, η απονομή διεύθυνσης προς τον τελικό προορισμό επιτυγχάνεται μ'έναν αριθμό διαφορετικών τρόπων ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται λειτουργία αποθήκευσης και προώθησης. Οι ακόλουθες διευθύνσεις προορισμού ορίζονται σ'ένα μήνυμα SDS-TL από το MS/LS προς την SwMI και αντίστροφα:

- Διεύθυνση καλούσας πλευράς (προορισμού ή επόμενου κόμβου) σε U-SDS-DATA PDU
- Εξωτερικός αριθμός συνδρομητή (προορισμού ή επόμενου κόμβου) σε U-SDS-DATA PDU
- Διεύθυνση προώθησης (προορισμού) σε SDS-TRANSFER PDU
- Διεύθυνση προώθησης (πηγή προέλευσης) σε SDS-REPORT PDU
- Η διεύθυνση του χρησιμοποιούμενου στρώματος MAC υποδηλώνει τη διεύθυνση προέλευσης.

Ο εξωτερικός αριθμός συνδρομητή είναι μια προαιρετική πληροφορία που επιτρέπει να στέλνονται μέχρι και 24 *bits* (π.χ. σε μια διεύθυνση ISDN). Όταν χρησιμοποιείται στην U-SDS-DATA PDU τροποποιεί τη διεύθυνση καλούσας πλευράς (PDU επόμενου προορισμού ή τελευταίας πηγής). Όταν χρησιμοποιείται στη διεύθυνση προώθησης, είναι η διεύθυνση τελικού προορισμού ή πηγής προέλευσης.

Η διεύθυνση καλούμενης πλευράς είναι πάντα παρούσα και υποδεικνύει τη διεύθυνση του επόμενου κόμβου, είτε διεύθυνση τελικού προορισμού είτε οντότητας ή πύλης αποθήκευσης και προώθησης είτε εξωτερικού αριθμού συνδρομητή. Σε περίπτωση που δε χρησιμοποιείται διεύθυνση προώθησης, η διεύθυνση καλούμενης πλευράς (προαιρετικά τροποποιημένη από έναν αριθμό εξωτερικού συνδρομητή) υποδεικνύει τον τελικό προορισμό ή την πηγή προέλευσης. Η χρήση της διεύθυνσης στην περίπτωση αυτή φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Η μέθοδος απονομής διεύθυνσης, με τον τελικό προορισμό και την πηγή προέλευσης σε στοιχείο πληροφορίας του εξωτερικού αριθμού χρήστη στην U-SDS DATA PDU και η διεύθυνση πύλης στο στοιχείο πληροφορίας διεύθυνσης καλούσας πλευράς, υποστηρίζονται από το σενάριο αυτό.

PDU και hop	Διεύθυνση πηγής στην SDS-DATA PDU	Διεύθυνση προορισμού στην SDS-DATA PDU	Διεύθυνση προώθησης	Σημείωση
SDS-TRANSFER MS1→MS2	MS1	MS2	-	Καμία διεύθυνση προώθησης
SDS-REPORT MS2→MS1 (ελήφθη)	MS2	MS1	-	Καμία διεύθυνση προώθησης
SDS-REPORT MS2→MS1 (καταναλώθηκε)	MS2	MS1	-	Καμία διεύθυνση προώθησης
SDS-ACK MS2→MS1 (κατά-ναλώθηκε, επιβεβαιώθηκε)	MS1	MS2	Μη διαθέσιμη	

Πίνακας 18. Απευθείας επικοινωνία ανάμεσα στα MS1 και MS2

Η διεύθυνση προώθησης είναι ένα ακόμη προαιρετικό στοιχείο που υποδεικνύει τον τελικό προορισμό ή την πηγή προέλευσης και έχει τη μορφή ενός SSI είτε ενός TSI είτε ενός εξωτερικού αριθμού συνδρομητή. Η χρήση διευθύνσεων προώθησης στην περίπτωση επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο MS παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

PDU και hop	Διεύθυνση πηγής στην SDS-DATA PDU	Διεύθυνση προορισμού στην SDS-DATA PDU	Διεύθυνση προώθησης	Σημείωση
SDS-TRANSFER MS1→SwMI	MS1	SwMI	MS2	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει τον τελικό προορισμό
SDS-REPORT SwMI→MS1 (παραδόθηκε, αποθηκεύτηκε)	SwMI	MS1	MS2	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει τον προορισμό της αρχικής SDS-TRANSFER PDU
SDS-TRANSFER SwMI →MS2	SwMI	MS2	MS1	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει την πραγματική πηγή
SDS-REPORT MS2→SwMI (ελήφθη)	MS2	SwMI	MS1	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει την αρχική πηγή της SDS-TRANSFER PDU
SDS-REPORT SwMI →MS1 (ελήφθη)	SwMI	MS1	MS2	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει τον προορισμό της αρχικής SDS-TRANSFER PDU
SDS-ACK MS1→SwMI	MS1	SwMI	Μη	

(ελήφθη, επιβεβαιώθηκε)			διαθέσιμη	
SDS-REPORT MS2→SwMI (καταναλώθηκε)	MS2	SwMI	MS1	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει την αρχική πηγή της SDS-TRANSFER PDU
SDS-ACK SwMI →MS2 (καταναλώθηκε, επιβεβαιώθηκε)	SwMI	MS2	Μη διαθέσιμη	
SDS-REPORT SwMI→MS1 (καταναλώθηκε)	SwMI	MS1	MS2	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει τον προορισμό της αρχικής SDS-TRANSFER PDU
SDS-ACK MS1→SwMI (καταναλώθηκε, επιβεβαιώθηκε)	MS1	SwMI	Μη διαθέσιμη	

Πίνακας 19. Επικοινωνία ανάμεσα στα MS1 και MS2 με διεύθυνση προώθησης

Η χρήση των διευθύνσεων στην περίπτωση επικοινωνίας μέσω μιας πύλης στο χρήστη στον οποίο απευθυνόμαστε με εξωτερικό αριθμό συνδρομητή παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα. Ο χρήστης 2 γίνεται προσβάσιμος μέσω του εξωτερικού αριθμού χρήστη στο πεδίο διεύθυνσης- προώθησης ή στην U-SDS-DATA. Μπορούμε να απευθυνθούμε στο στοχευόμενο MS (με τη χρήση ενός MS-ISDN) χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους συνδυασμούς:

- μέσω μιας πύλης υποδεικνύοντας το SSI πύλης στη διεύθυνση καλούμενης πλευράς και το στόχο στον εξωτερικό αριθμό συνδρομητή της U-SDS-DATA χωρίς διεύθυνση προώθησης
- μέσω μιας πύλης υποδεικνύοντας το SSI πύλης στη διεύθυνση καλούμενης πλευράς και έναν εξωτερικό αριθμό συνδρομητή στη U-SDS-DATA (όπου ο εξωτερικός αριθμός χρήστη προσδιορίζει κάποια πύλη), με τον τελικό στόχο στον εξωτερικό αριθμό χρήστη στο πεδίο διεύθυνσης προώθησης

Η χρήση διευθύνσεων προώθησης μέσω πύλης για επικοινωνία ανάμεσα σε δύο MS παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

PDU και hop	Διεύθυνση πηγής στην SDS-DATA PDU	Διεύθυνση προορισμού στην SDS-DATA PDU	Διεύθυνση προώθησης	Σημείωση
SDS-TRANSFER MS1→SwMI	MS1	SwMI/SwMI με Χρήστη 2 ως εξωτερικό αριθμό χρήστη	Χρήστης 2	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει τον τελικό προορισμό ή αυτός μπορεί να είναι στον εξωτερικό αριθμό χρήστη
SDS-REPORT SwMI→MS1 (παραδόθηκε, αποθηκεύτηκε)	SwMI	MS1	MS2	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει τον προορισμό της αρχικής SDS-TRANSFER PDU

SDS-TRANSFER SwMI →MS2/χρήστης 2	SwMI	MS2/χρήστης 2	MS1	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει την πραγματική πηγή
SDS-REPORT MS2/χρήστης 2→ SwMI (ελήφθη)	MS2/χρήστης 2	SwMI	MS1	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει την αρχική πηγή της SDS-TRANSFER PDU
SDS-REPORT SwMI →MS1 (ελήφθη)	SwMI	MS1	MS2/χρήστης 2	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει τον προορισμό της αρχικής SDS-TRANSFER PDU
SDS-ACK MS1→ SwMI (ελήφθη, επιβεβαιώθηκε)	MS1	SwMI	Μη διαθέσιμη	
SDS-REPORT MS2/χρήστης 2→ SwMI (καταναλώθηκε)	MS2/χρήστης 2	SwMI	MS1	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει την πηγή της SDS-TRANSFER PDU
SDS-ACK SwMI →MS2/χρήστης 2 (καταναλώθηκε, επιβεβαιώθηκε)	SwMI	MS2/χρήστης 2	Μη διαθέσιμη	
SDS-REPORT SwMI→MS1 (καταναλώθηκε)	SwMI	MS1	MS2/χρήστης 2	Η διεύθυνση προώθησης δείχνει τον προορισμό της αρχικής SDS-TRANSFER PDU
SDS-ACK MS1→SwMI (καταναλώθηκε, επιβεβαιώθηκε)	MS1	SwMI	Μη διαθέσιμη	

Πίνακας 20. Επικοινωνία ανάμεσα στα MS1 και MS2 με διεύθυνση προώθησης μέσω πύλης

Στους πίνακες 18-20 θεωρήσαμε ως MS1, MS2 και SwMI τις διευθύνσεις των MS προέλευσης και προορισμού και τη διεύθυνση του σημείου αποθήκευσης και προώθησης αντίστοιχα. Η διεύθυνση SwMI μπορεί να περιέχει μια διεύθυνση πύλης ή μια διεύθυνση πύλης και μια εξωτερική διεύθυνση συνδρομητή.

Το στοιχείο πληροφορίας μεθόδου διευθυνσιοδότησης έχει το εξής περιεχόμενο:

- “*Service centre addressing preferred*”, ορίζει ότι το MS απευθύνει τις SDS-TL PDU υπηρεσίας μεταφοράς ώστε να περιέχει τον προορισμό της PDU στο στοιχείο πληροφορίας διεύθυνσης προώθησης και τη διεύθυνση κέντρου υπηρεσίας στην καλούμενη πλευρά ή στην καλούμενη πλευρά και στο στοιχείο πληροφορίας εξωτερικού αριθμού συνδρομητή της SDS-DATA PDU. Οι εξαιρέσεις στον κανόνα είναι:

- Το MS δε γνωρίζει τη διεύθυνση της οντότητας αποθήκευσης- προώθησης (κέντρο υπηρεσίας), οπότε μπορεί να επιχειρήσει να στείλει την PDU

άμεσα προς τον προορισμό χωρίς διεύθυνση προώθησης. Στο σενάριο αυτό, η SwMI είτε υποστηρίζει αυτήν τη λειτουργία με μια προεπιλεγμένη οντότητα αποθήκευσης-προώθησης, είτε απορρίπτει το μήνυμα.

- Το MS στέλνει το μήνυμα σ'ένα χρήστη μιας άλλης SwMI, οπότε μπορεί να χρησιμοποιήσει διεύθυνση προώθησης, ανάλογα με τον αν η άλλη SwMI υποστηρίζει λειτουργία προώθησης μηνυμάτων.

□ “*Never use service centre addressing*”, ορίζει ότι το MS απευθύνει τις SDS-TL PDU υπηρεσίας μεταφοράς απευθείας στον προορισμό της PDU. Το μήνυμα κατευθύνεται απευθείας στον προορισμό και δε χρησιμοποιείται διεύθυνση προώθησης. Αν απαιτείται προώθηση (μία SwMI μπορεί να υποστηρίζει αποθήκευση χωρίς την κλήση κάποιου κέντρου υπηρεσίας), η αποθήκευση τίθεται σε “storage allowed” και ο τύπος διεύθυνσης προώθησης τίθεται σε “no forward address present”, Ειδάλλως το bit αποθήκευσης τίθεται σε “storage not allowed”. Υπάρχουν οι ακόλουθες εξαιρέσεις:

- Το MS στέλνει το μήνυμα σ'ένα χρήστη μιας άλλης SwMI, οπότε μπορεί να χρησιμοποιήσει διεύθυνση προώθησης, ανάλογα με τον αν η άλλη SwMI υποστηρίζει λειτουργία προώθησης μηνυμάτων.
- “MS choice to use service centre addressing”, ορίζει ότι το MS μπορεί να επιλέξει τον τύπο διεύθυνσης που παρέχει. Το SwMI υποστηρίζει διευθυνσιοδότηση με ή χωρίς κέντρο υπηρεσίας. Το MS χρησιμοποιεί PDU χωρίς διεύθυνση προώθησης όταν δε χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες μεταφοράς (αποθήκευσης και προώθησης) της υποδομής SwMI.

3.B.3 Περιγραφή των στοιχείων του πρωτοκόλλου

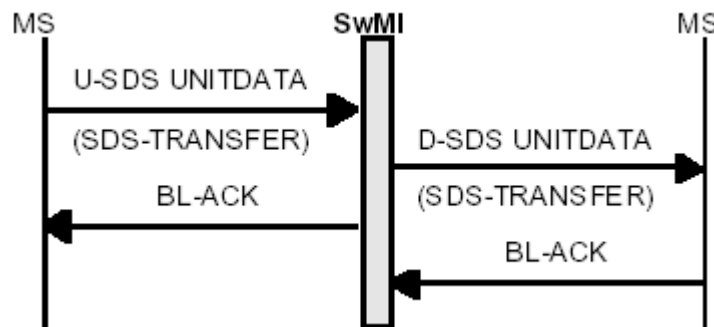
Κάθε SDS-DATA PDU τύπου 4 που στέλνεται, περιέχει ένα αναγνωριστικό πρωτοκόλλου, που υποδεικνύει στην εφαρμογή όπου απευθυνόμαστε ποιον τύπο πρωτοκόλλου εφαρμογής χρησιμοποιεί η υπηρεσία SDS. Στη συνέχεια θα ορίσουμε έναν αριθμό αναγνωριστικών πρωτοκόλλων που παρέχει π.χ. υπηρεσία δεδομένων ανταλλαγής μηνυμάτων κειμένου, GPS, WAP, M-DMO και OTAR. Επιπλέον έχουν δεσμευτεί αναγνωριστικά πρωτοκόλλου για μελλοντικές εισαγωγές νέων υπηρεσιών δεδομένων, καθώς και για υπηρεσίες ορισμένες από το χρήστη. Η τιμή του αναγνωριστικού πρωτοκόλλου καθορίζει εάν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται το στοιχείο πρωτοκόλλου SDS-TL (υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων) και το αντίστοιχο πρωτόκολλο.

1. Τύποι επιβεβαίωσης από-άκρη-σε-άκρη

Το πρωτόκολλο SDS-TL επιδιώκει εκτός από την παροχή ενός μηχανισμού που να υποδεικνύει τον τύπο της εφαρμογής που χρησιμοποιεί την υπηρεσία, την παροχή ενός μέσου για επιβεβαίωση από-άκρη-σε-άκρη των μηνυμάτων· ο μηχανισμός αυτός δεν προσφέρεται από την απλή υπηρεσία TETRA SDS. Το SDS-TL παρέχει δύο τρόπους επιβεβαίωσης που διαφέρουν από τις διαδικασίες επιβεβαίωσης στρώματος 2 που παρέχονται ήδη από το LLC. Ο τύπος της επιβεβαίωσης απ'άκρη-σ'άκρη που θα εφαρμοστεί σε μια μεταφορά μηνύματος ορίζεται από το δημιουργό με χρήση του στοιχείου πληροφορίας “Delivery report request”. Οι τύποι επιβεβαίωσης από-άκρη-σε-άκρη περιγράφονται στη συνέχεια:

- Μόνο επιβεβαίωση του στρώματος 2, δηλαδή χωρίς επιβεβαίωση από-άκρη-σε-άκρη
- Το LLC παρέχει μια υπηρεσία με επιβεβαίωση για PDU που μεταφέρονται από σημείο σε σημείο σε ένα βήμα, δηλαδή από MS σε SwMI και αντίστροφα. Η

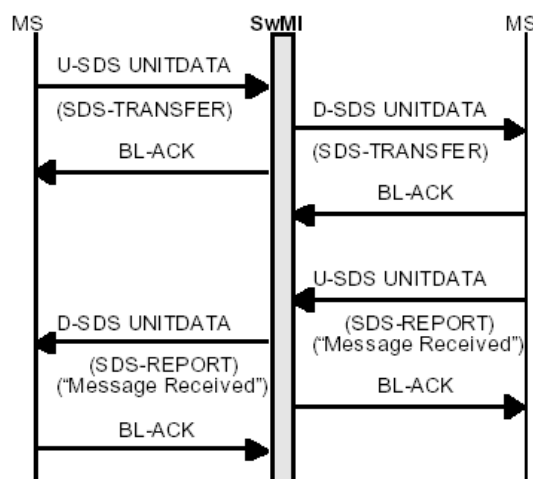
επιβεβαίωση επαληθεύει στον αποστολέα την ορθή λήψη της PDU στρώματος 3 από τον παραλήπτη. Ωστόσο, η επιβεβαίωση LLC δε σημαίνει ότι το λαμβάνον άκρο έχει εξετάσει τα περιεχόμενα της PDU. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται η επιβεβαίωση στρώματος 2:



Σχήμα 38. Επιβεβαίωση στρώματος 2

- Λήψη μηνύματος

Η επιβεβαίωση λήψης μηνύματος στέλνεται χρησιμοποιώντας το στρώμα SDS-TL για να υποδείξει ότι ένα μήνυμα που στάλθηκε από ένα MS/LS έχει ληφθεί επιτυχώς από τον προορισμό. Το μήνυμα επιβεβαίωσης είναι μια SDS-TL PDU που παράγεται στο MS/LS μετά την αποκωδικοποίηση της SDS-TL PDU που λαμβάνει από την πηγή προέλευσης (σε αντιδιαστολή με την επιβεβαίωση στρώματος 2 που στέλνεται πριν αποκωδικοποιηθεί η εισερχόμενη PDU). Για το λόγο αυτό, η επιβεβαίωση του τύπου αυτού στέλνεται από τον προορισμό πίσω στον αποστολέα και απλά αναμεταδίδεται από το SwMI. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απλή ή πολλαπλή μετάδοση (*point-to-point* ή *point-to-multipoint*) αν και πρέπει να ληφθεί μέριμνα για πολλαπλές μεταδόσεις όπου μεγάλα μεγέθη ομάδων μπορεί να οδηγήσουν σε έντονη κυκλοφορία στη διεπαφή αέρος από επιβεβαιώσεις. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η επιβεβαίωση “*message received*” από-άκρη-σε-άκρη:

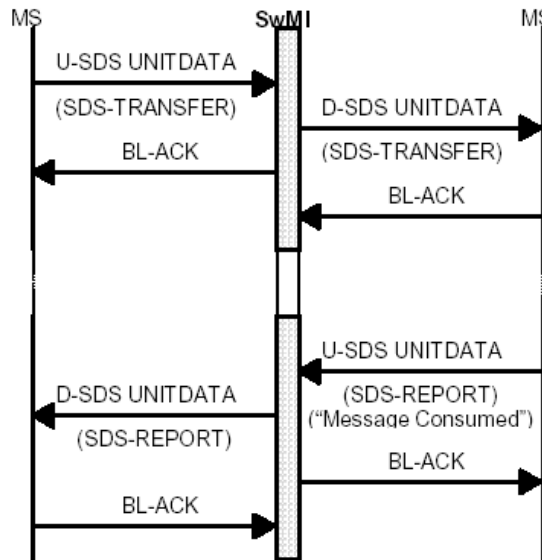


Σχήμα 39. Από-άκρη-σε-άκρη επιβεβαίωση *message received*

- Κατανάλωση μηνύματος

Η επιβεβαίωση κατανάλωσης μηνύματος στέλνεται χρησιμοποιώντας το στρώμα SDS-TL για να υποδείξει ότι το μήνυμα που στάλθηκε από ένα MS/LS έχει καταναλωθεί από τον παραλήπτη. Η κατανάλωση μηνύματος συμβαίνει εφόσον η SDS-TL PDU έχει ληφθεί και αποκωδικοποιηθεί από την εφαρμογή προορισμού και αναφέρεται στο σημείο όπου το μήνυμα χρησιμοποιείται ουσιαστικά από την

εφαρμογή, ενώ εξαρτάται από τη φύση της εφαρμογής. Όταν μια εφαρμογή έχει καταναλώσει ένα μήνυμα, μπορεί να χρησιμοποιήσει το πρωτόκολλο SDS-TL για να το διαβιβάσει πίσω στο δημιουργό. Στο σχήμα 40 παρουσιάζεται η επιβεβαίωση από-άκρη-σε-άκρη “*message consumed*”, όπου δεν εμφανίζεται η επιβεβαίωση λήψης μηνύματος που μπορεί να στέλνεται μεταξύ της μεταφοράς του μηνύματος και της επιβεβαίωσης κατανάλωσής του:



Σχήμα 40. Από-άκρη-σε-άκρη επιβεβαίωση *message consumed*

Για τύπους επιβεβαίωσης λήψης και κατανάλωσης μηνύματος, το πρωτόκολλο SDS-TL επιτρέπει στο δημιουργό ενός μηνύματος να καθορίσει ποιος τύπος επιβεβαίωσης είναι επιθυμητός από τον προορισμό. Μια εφαρμογή θα πρέπει να επιλέξει ανάλογα με τον τύπο δεδομένων που παραδίδονται και με τον τύπο μεταφοράς (απλή/πολλαπλή). Το SDS-TL παρέχει απλά μια εφαρμογή με πρότυπους μηχανισμούς για να διαβιβάζει τις αναφορές των επιβεβαιώσεων αυτών.

Τα κριτήρια για την κατανάλωση του μηνύματος εξαρτώνται από την εφαρμογή. Ακολουθούν μερικές αντιστοιχίσεις εφαρμογών και κριτηρίων:

- Ανταλλαγή μηνυμάτων κειμένου
 - Η κατανάλωση μηνύματος συμβαίνει όταν η εφαρμογή εμφανίζει το μήνυμα κειμένου στο χρήστη. Συνήθως αυτό απαιτεί μια ενέργεια από το χρήστη, ώστε να διαβαστεί το μήνυμα που έχει ληφθεί και αποθηκευτεί στο MS/LS.
- GPS (*Global Positioning System*, σύστημα παγκόσμιου εντοπισμού θέσης)
 - Το πρωτόκολλο GPS δεν καθορίζει την έννοια της κατανάλωσης μηνύματος. Η εφαρμογή που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο καθορίζει εάν μπορεί να εφαρμοστεί κατανάλωση μηνύματος.
- Απλή ανταλλαγή μηνυμάτων
 - Το πρωτόκολλο αυτό δε χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων SDS-TL. Αυτό σημαίνει πως δεν είναι διαθέσιμη καμία επιβεβαίωση από-άκρη-σε-άκρη.
- Απλό GPS
 - Το πρωτόκολλο αυτό δεν υποστηρίζει το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων SDS-TL. Αυτό σημαίνει πως δεν είναι διαθέσιμη καμία επιβεβαίωση από-άκρη-σε-άκρη.
- Άλλα πρότυπα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν SDS

Τα πρωτόκολλα αυτά μπορούν είτε να χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων SDS-TL είτε όχι. Μπορούν να δημιουργηθούν νέες εφαρμογές χρήστη που να δίνουν ξεχωριστό νόημα στην έννοια της κατανάλωσης μηνύματος.

2. Επιλογή υπηρεσίας – αναφορά σύντομης μορφής

Κάθε SDS-TRANSFER PDU ζεύξης ανόδου που αποστέλλεται, περιέχει ένα στοιχείο πληροφορίας επιλογής υπηρεσίας. Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιείται για να υποδείξει εάν το μήνυμα επιτρέπεται να σταλεί σε κάποια διεύθυνση ομάδας ή όχι. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι χρήσιμο σε εφαρμογές μηνυμάτων κειμένου όπου μπορεί να μην επιτρέπεται στο χρήστη να εισάγει χειροκίνητα την ομάδα προορισμού, οπότε το αποστέλλον MS δεν έχει τρόπο να πληροφορήσει το χρήστη πως το μήνυμα αυτό θα σταλεί σε πολλαπλούς στόχους. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ουσιαστική απώλεια πόρων αν ένα μήνυμα με μη μηδενικές αιτήσεις αναφοράς παράδοσης σταλεί ακούσια σε μια μεγάλη ομάδα από MS.

Για να αποφευχθεί αυτό, ένα στοιχείο πληροφορίας επιλογής υπηρεσίας αναγκάζει το χρήστη-δημιουργό του μηνύματος να κάνει μια σαφή επιλογή που θα επιτρέψει να σταλεί ένα μήνυμα σε μια ομάδα. Το δίκτυο τότε μπορεί να απορρίψει μηνύματα απευθυνόμενα σε ομάδες, που έχουν όμως το στοιχείο πληροφορίας επιλογής υπηρεσίας σε θέση *Individual Service* (ατομική υπηρεσία).

Το στοιχείο πληροφορίας αναφοράς σύντομης μορφής στις SDS-TRANSFER PDU ζεύξης καθόδου πληροφορεί το χρήστη παραλήπτη αν επιτρέπεται να χρησιμοποιεί ή όχι μηχανισμό αναφοράς σύντομης μορφής.

3. Αποθήκευση

Κάθε SDS-TRANSFER PDU που στέλνεται πρέπει να περιέχει ένα στοιχείο πληροφορίας αποθήκευσης, που χρησιμοποιείται για να υποδείξει εάν η SwMI επιτρέπεται να αποθηκεύει το μήνυμα περισσότερο απ'όσο απαιτείται για τη συνηθισμένη επεξεργασία. Αν υποδειχθεί από το στοιχείο πληροφορίας, το SwMI ή εν γένει ένα σημείο υπηρεσίας αποθήκευσης και προώθησης μπορεί να αποθηκεύει ένα μήνυμα για μετέπειτα προσπάθειες παράδοσης, αν ο προορισμός δεν είναι διαθέσιμος.

4. Αναφορά (reference) μηνύματος

Κάθε PDU υπηρεσίας μεταφοράς δεδομένων SDS-TL που στέλνεται πρέπει να περιέχει ένα στοιχείο πληροφορίας αναφοράς μηνύματος. Αυτή η αναφορά μηνύματος χρησιμοποιείται στην από-άκρη-σε-άκρη επιβεβαίωση πίσω από τον προορισμό ή σε αναφορές από την SwMI ή την οντότητα αποθήκευσης και προώθησης, για να υποδείξει στο δημιουργό ποιο μήνυμα επιβεβαιώνεται. Η αναφορά μηνύματος χρησιμοποιείται και στις αρνητικές επιβεβαιώσεις.

Ο δημιουργός επιλέγει μια διαφορετική αναφορά μηνύματος για κάθε νέο μήνυμα που στέλνεται, ανεξαρτήτως προορισμού, αν ζητά μια αναφορά παράδοσης. Αν εκκρεμεί μια επιβεβαίωση, η αντίστοιχη αναφορά μηνύματος δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί πάλι. Στην οντότητα πηγής, η εγκυρότητα της αναφοράς μηνύματος ενός μηνύματος λήγει ύστερα από ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, εφόσον δεν έχει ληφθεί η ζητούμενη αναφορά παράδοσης.

Ακολουθώντας αυτή τη χρήση της αναφοράς μηνύματος, ο συνδυασμός αναφοράς μηνύματος και διεύθυνσης πηγής (ITSI) επιτρέπει τη μονοσήμαντη αναγνώριση κάθε μηνύματος που μεταδίδεται στο δίκτυο TETRA. Η οντότητα αποθήκευσης και προώθησης ή η SwMI δεν τροποποιούν την τιμή της αναφοράς μηνύματος.

Επισημαίνεται πως στην περίπτωση μιας πύλης σ'ένα διαφορετικό δίκτυο τηλεπικοινωνιών, η διεύθυνση προέλευσης ή προορισμού είναι η διεύθυνση TETRA της

πύλης αυτής. Στην περίπτωση αναφορών σύντομης μορφής η αναφορά μηνύματος μπορεί να είναι το μόνο έγκυρο αναγνωριστικό της επιβεβαίωσης.

5. Περίοδος εγκυρότητας

Αν επιτρέπεται η αποθήκευση ενός μηνύματος, κάθε SDS-TRANSFER ή SDS-REPORT PDU που στέλνεται από ένα MS/LS περιέχει ένα στοιχείο πληροφορίας περιόδου εγκυρότητας, το οποίο υποδεικνύει για πόσο το μήνυμα μπορεί να κρατηθεί από το SwMI στην περίπτωση που δεν μπορεί να παραδοθεί στον προορισμό. Ένα MS προορισμού μπορεί να μην είναι διαθέσιμο επειδή είναι εκτός περιοχής ραδιοκάλυψης ή εκτός λειτουργίας. Αν το SwMI κρατά ένα μήνυμα, θα προσπαθήσει να το παραδώσει μέχρι να λήξει η περίοδος εγκυρότητας, μετά το πέρας της οποίας το μήνυμα απορρίπτεται και μια αναφορά σφάλματος στέλνεται πίσω στο MS/LS δημιουργό.

Σημειώνεται πως το SwMI μπορεί να μην υποστηρίζει μηχανισμό αποθήκευσης ή να περιορίζει τη διάρκεια της περιόδου εγκυρότητας, οπότε πρέπει να επιστρέφει μια αναφορά σφάλματος που να δείχνει εάν το μήνυμα δεν έχει ληφθεί και την SwMI δε θα αποθηκεύσει το μήνυμα ή αν η περίοδος εγκυρότητας έχει λήξει.

Αν η περίοδος εγκυρότητας τεθεί σε "0" ή το στοιχείο αυτό λείπει, το SwMI δεν αποθηκεύει το μήνυμα για μια εκτεταμένη περίοδο αν δεν μπορεί να παραδοθεί άμεσα.

6. Διεύθυνση προώθησης

Αν επιτρέπεται η αποθήκευση, κάθε SDS-TRANSFER που στέλνεται από ένα MS/LS μπορεί να περιέχει ένα στοιχείο πληροφορίας προώθησης διεύθυνσης. Το MS χρησιμοποιεί το στοιχείο αυτό όταν η διεύθυνση προορισμού στρώματος 3 δείχνει σ'ένα σημείο υπηρεσίας δικτύου (π.χ. ένα κέντρο υπηρεσιών) αντί της τελικής διεύθυνσης. Η χρήση ενός τέτοιου σημείου υπηρεσίας δικτύου μπορεί να είναι πολλαπλή. Το σημείο υπηρεσίας δικτύου μπορεί να:

- αναγνωρίζει το σημείο αποθήκευσης για ένα μήνυμα σε μια υπηρεσία αποθήκευσης και προώθησης
- αναγνωρίζει κάποια άλλη τιμή επιπρόσθετης συσκευής δικτύου

Η διεύθυνση προώθησης είναι παρόμοια με το στοιχείο πληροφορίας εξωτερικού αριθμού χρήστη στρώματος 3, αλλά είναι τελείως ανεξάρτητη αυτού.

Όταν χρησιμοποιείται στο πλαίσιο παροχής ενός απευθυνόμενου σημείου αποθήκευσης, η χρήση της διεύθυνσης προώθησης στην ζεύξη ανόδου έγκειται στο να πληροφορεί το σημείο υπηρεσίας δικτύου για τον πραγματικό προορισμό και στην ζεύξη καθόδου να πληροφορεί τον προορισμό για την πραγματική πηγή προέλευσης. Αν δεν παρουσιάζεται καμία διεύθυνση προώθησης, η πραγματική πηγή και ο πραγματικός προορισμός είναι οι διευθύνσεις που υπάρχουν στα στοιχεία πληροφορίας των CMCE SDS PDU.

7. Σχήμα κωδικοποίησης δεδομένων

Το στοιχείο πληροφορίας σχήματος κωδικοποίησης δεδομένων υποδεικνύει στην εφαρμογή προορισμού ποιος τύπος κωδικοποίησης δεδομένων έχει χρησιμοποιηθεί από την εφαρμογή σύμφωνα με τον τύπο του αναγνωριστικού πρωτοκόλλου. Για παράδειγμα, η εφαρμογή μηνυμάτων κειμένου μπορεί να χρησιμοποιεί αλφάβητο χαρακτήρων 7 bits ή 16 bits, ανάλογα με τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής. Το σχήμα κωδικοποίησης κειμένου ορίζει κάποια πρότυπα αλφάβητα με διαθέσιμες κάποιες εφεδρικές τιμές για ορισμό από το χρήστη και μελλοντικά πρότυπα σχήματα κωδικοποίησης. Η κωδικοποίηση GPS κάνει το ίδιο για το GPS.

Το στοιχείο πληροφορίας αυτό παρουσιάζεται στα πρωτόκολλα όπου το σχήμα κωδικοποίησης δεδομένων έχει μεγάλη σημασία. Για το λόγο αυτό δεν είναι μέρος του πρωτοκόλλου SDS-TL στρώματος 4 αλλά μάλλον μια προσθήκη στρώματος 6 στα καθορισμένα αναγνωριστικά πρωτοκόλλου.

8. Χρονική σφραγίδα

Το στοιχείο πληροφορίας χρονικής σφραγίδας δείχνει τον προσεγγιστικό χρόνο δημιουργίας ενός μηνύματος. Το στοιχείο πληροφορίας προστίθεται σε ένα μήνυμα από την SwMI για να επιτρέψει στον προορισμό να εκτιμήσει την ηλικία ενός μηνύματος. Η SwMI αποφασίζει αν θα προσθέσει μια χρονική σφραγίδα ή όχι. Η απόφαση αυτή μπορεί να βασίζεται στις δυνατότητες της SwMI ή σε συμφωνίες μέριμνας.

Σε κάποιες καταστάσεις η πρόσθεση μιας χρονικής σφραγίδας μπορεί να προκαλέσει την υπέρβαση του μέγιστου επιτρεπτού μήκους μηνύματος, οπότε στην περίπτωση αυτή δεν θα πρέπει να εισαχθεί.

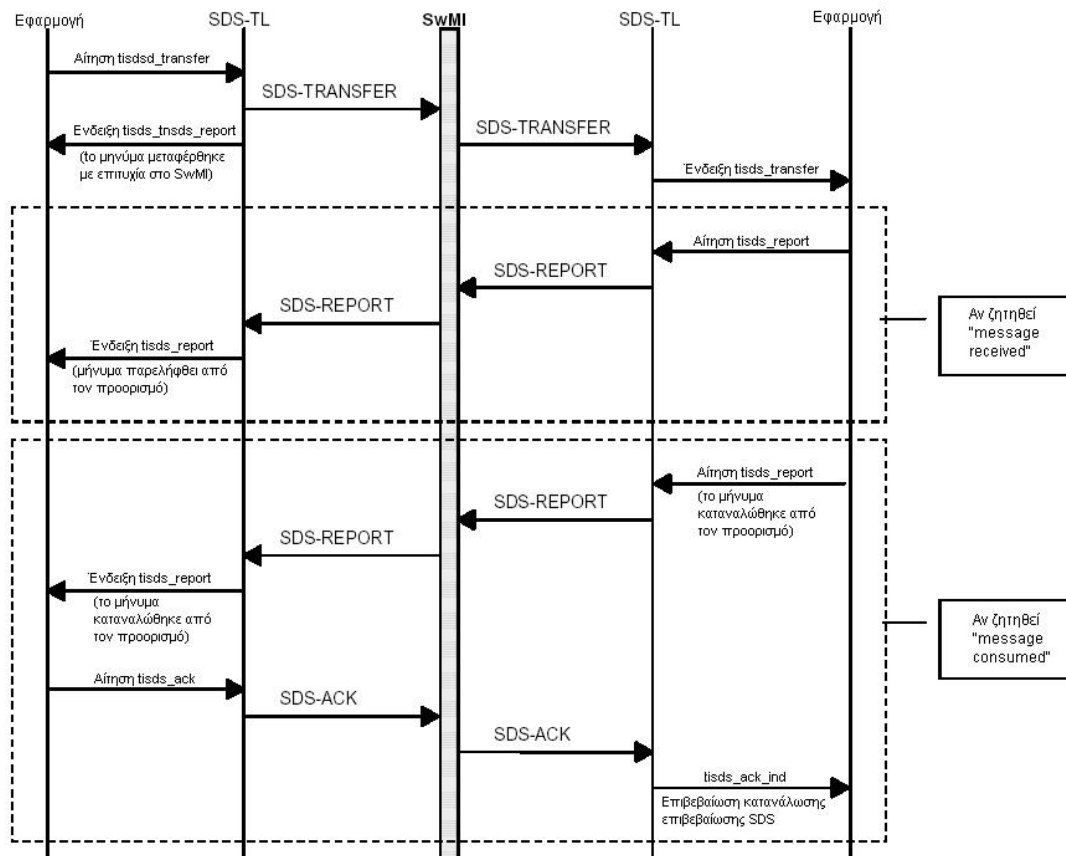
Το σχετικό στοιχείο πληροφορίας είναι παρόν σε πρωτόκολλα όπου χρησιμοποιούνται αποθήκευση και προώθηση μηνυμάτων και όπου η χρήση χρονικών σφραγίδων έχει μεγάλη σημασία. Επομένως, δεν είναι μέρος του πρωτοκόλλου SDS-TL στρώματος 4 αλλά μάλλον μια προσθήκη στρώματος 6 στα καθορισμένα αναγνωριστικά πρωτοκόλλου.

9. Μήκος δεδομένων χρήστη

Το στοιχείο πληροφορίας για το μήκος των δεδομένων χρήστη (ωφέλιμο φορτίο) προκύπτει από το πεδίο μήκους στην επικεφαλίδα της SDS DATA PDU, το οποίο υποδεικνύει τον αριθμό των *bits* στο ωφέλιμο φορτίο του SDS, συμπεριλαμβανομένου του (γνωστού) μήκους της επικεφαλίδας SDS-TL. Για εφαρμογές όπως απλά μηνύματα κειμένου, ο αριθμός των *bits* στο στοιχείο πληροφορίας δεδομένων χρήστη μαζί με το στοιχείο πληροφορίας σχήματος κωδικοποίησης κειμένου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προκύψει ο αριθμός των χαρακτήρων σε ένα μήνυμα. Για παράδειγμα, αν η στρώματος 3 επικεφαλίδα SDS τύπου 4 ορίζει ένα μήκος 86 *bits* και το σχήμα κωδικοποίησης είναι 7 *bits* ASCII, τότε το στοιχείο πληροφορίας δεδομένων χρήστη περιέχει 70 *bits* χαρακτήρων των 7 *bits*, μετά την αφαίρεση της επικεφαλίδας SDS-TL (αναγνωριστικό πρωτοκόλλου και σχήμα κωδικοποίησης κειμένου), υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν 10 χαρακτήρες.

3.B.4 Διαδικασίες του πρωτοκόλλου SDS-TL

Το σχήμα 41 παρουσιάζει την ακολουθία πρωτοκόλλου που περιγράφει τη μεταφορά ενός μηνύματος από ένα MS σε ένα άλλο MS (ή σε ομάδα από MS) όπου ζητούνται οι επιβεβαιώσεις από-άκρη-σε-άκρη τόσο για λήψη όσο και για κατανάλωση του μηνύματος. Η SDS-TRANSFER μεταφέρεται από U/D-SDS-DATA PDU με μια επιβεβαίωση να στέλνεται από την εφαρμογή του MS προορισμού με τη λήψη του μηνύματος. Η επιβεβαίωση μεταφέρεται με τη χρήση SDS-REPORT η οποία με τη σειρά της μεταφέρεται από U/D-SDS-DATA PDU. Με την κατανάλωση του μηνύματος από την εφαρμογή (π.χ. ανάγνωση του μηνύματος από το χρήστη), μια δεύτερη επιβεβαίωση από-άκρη-σε-άκρη (SDS-REPORT PDU) στέλνεται από τον προορισμό πίσω στο δημιουργό MS. Αυτή η δεύτερη επιβεβαίωση μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν μια δεύτερη επίκληση υπηρεσίας· η σύνδεση στην αρχική μεταφορά είναι η αναφορά μηνύματος και οι διευθύνσεις των MS. Εξαιτίας αυτού, η εφαρμογή μπορεί να ζητήσει οι SDS-REPORT PDU να επιβεβαιωθούν επίσης από-άκρη-σε-άκρη. Αυτή η επιβεβαίωση μεταφέρεται με SDS-ACK PDU. Σημειώνεται πως αν ο προορισμός καταναλώσει το μήνυμα προτού η αναφορά λήψης μηνύματος σταλεί, ο προορισμός μπορεί να στείλει πίσω μόνο την αναφορά κατανάλωσης.

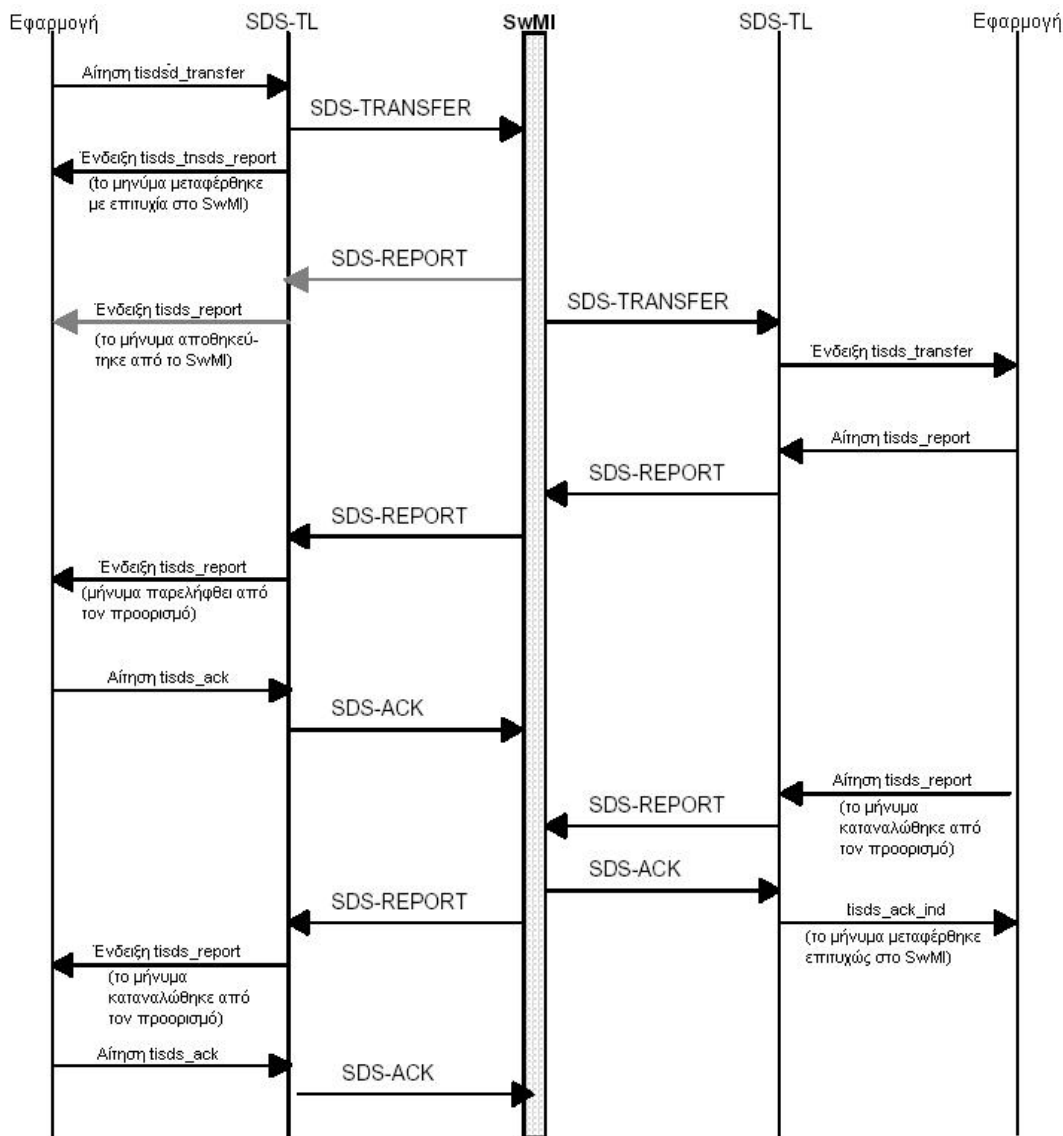


Σχήμα 41. Μεταφορά μηνύματος SDS με επιβεβαίωση από-άκρη-σε-άκρη, διαφανές SwMI

Αν χρησιμοποιούνται οι μηχανισμοί από-άκρη-σε-άκρη, η εφαρμογή θα πρέπει να ορίζει διαδικασίες για το χειρισμό επαναλαμβανόμενων προσπαθειών σε περίπτωση αγνοούμενων επιβεβαιώσεων. Οι διαδικασίες αυτές είναι ξεχωριστές για κάθε εφαρμογή.

Το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται εδώ διαφανώς στην SwMI, που λειτουργεί μόνο ως ένα δίκτυο στρώματος 3. Αυτό σημαίνει πως μέρος αυτής της ακολουθίας πρωτοκόλλου μπορεί να μείνει εκτός από την εφαρμογή χωρίς να απαιτείται να το γνωρίζει η SwMI. Συγκεκριμένα, το πρωτόκολλο SDS-TL επιτρέπει στην εφαρμογή να καθορίσει ποιο τύπο επιβεβαίωσης ζητά ο δημιουργός του μηνύματος. Αν δεν επιτρέπεται αποθήκευση, η SwMI θα πρέπει να δρα πάντα με διαφάνεια.

Αν η SwMI αποθηκεύει το μήνυμα για μετέπειτα παράδοση, η οντότητα αποθήκευσης και προώθησης της SwMI μπορεί να πληροφορήσει το δημιουργό MS στέλνοντας μια SDS-REPORT PDU, όπως φαίνεται στο σχήμα 42. Αυτή πληροφορεί το δημιουργό MS ότι το μήνυμα έχει ληφθεί από την υπηρεσία αποθήκευσης και προώθησης· το μήνυμα αυτό στέλνεται για αναφορές παράδοσης τόσο λήψης όσο και παράδοσης. Με την κατανάλωση του μηνύματος από μια εφαρμογή, μια δεύτερη επιβεβαίωση από-άκρη-σε-άκρη στέλνεται από τον προορισμό πίσω στο δημιουργό MS, πάλι μέσα από την υπηρεσία αποθήκευσης και προώθησης.



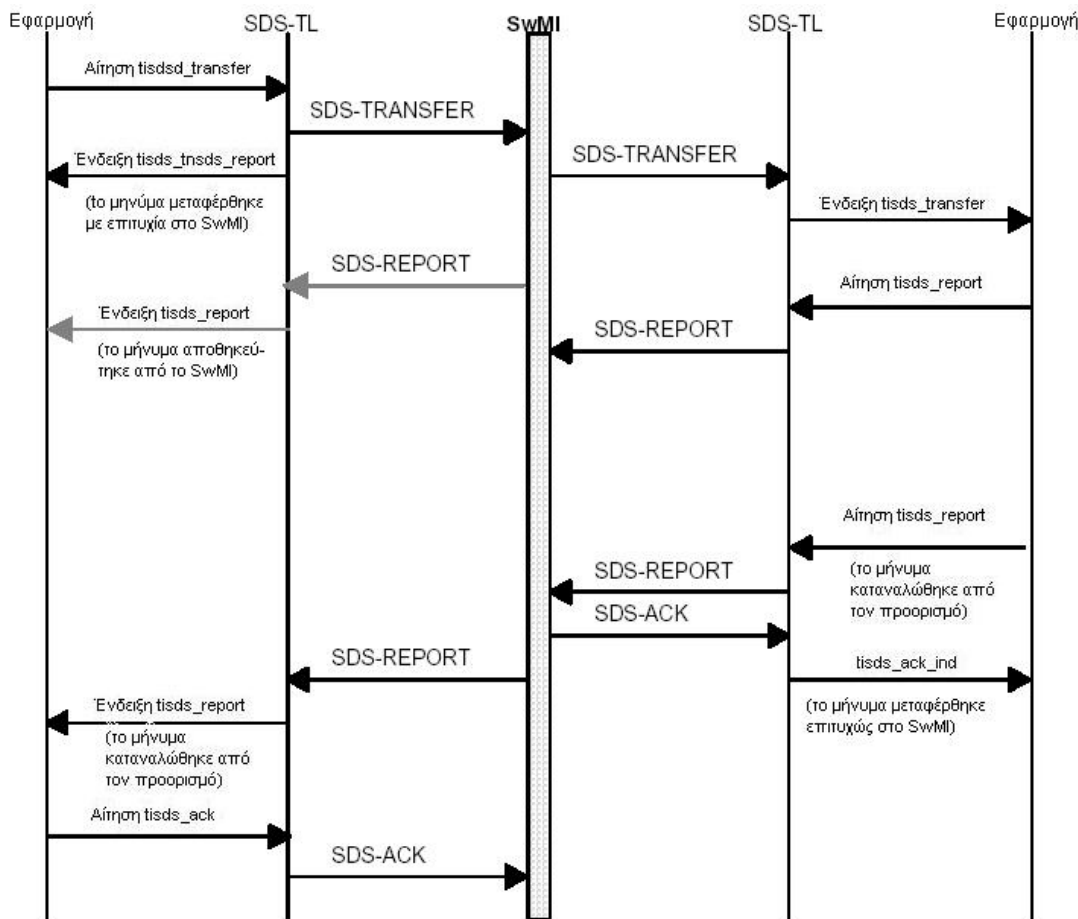
Σχήμα 42. Μεταφορά μηνύματος SDS με επιβεβαίωση από-άκρη-σε-άκρη, το SwMI επιτελεί αποθήκευση και προώθηση

Παρατηρούμε ότι η ακολουθία πρωτοκόλλου αλλάζει όταν η SwMI αποθηκεύει και προωθεί. Πρώτον, η ακολουθία μηνυμάτων αλλάζει εξαιτίας του ευφυούς τμήματος που ενυπάρχει στην SwMI. Δεύτερον, μια επιπρόσθετη επιβεβαίωση στρώματος 4 μπορεί να χρειαστεί: η επιβεβαίωση λήψης μηνύματος πίσω στην πηγή μπορεί να επιβεβαιωθεί, αν ζητηθεί. Ωστόσο, ακόμα κι αν υποστηρίζεται αποθήκευση και προώθηση στην SwMI και επιτρέπεται από την πηγή του μηνύματος, η αλληλουχία πρωτοκόλλου μπορεί να είναι ίδια με τη διαφανή περίπτωση: αν η SwMI παραδίδει το μήνυμα αμέσως, το μήνυμα *message stored by SwMI* μπορεί να μην αποσταλεί. Η SwMI παίζει τώρα έναν ενεργό ρόλο και η παράλειψη ενός τμήματος της ακολουθίας πρωτοκόλλου απαιτεί απ' αυτή να το γνωρίζει.

Αν το στοιχείο πληροφορίας διεύθυνσης προώθησης χρησιμοποιείται για να παρέχει υπηρεσία αποθήκευσης και προώθησης μέσω του σημείου υπηρεσίας δικτύου, η πραγματική διεύθυνση προορισμού είναι ορατή μόνο μέσα στο αρχικό SDS-TRANSFER PDU στην πλευρά πηγής της SwMI. Το ίδιο ισχύει για την πραγματική διεύθυνση πηγής στην πλευρά προορισμού. Από την πλευρά της SwMI, η πηγή και ο προορισμός δεν επικοινωνούν πλέον μεταξύ τους, αλλά και οι δύο επικοινωνούν με την οντότητα αποθήκευσης και προώθησης.

Όταν χρησιμοποιείται αποθήκευση και προώθηση η αντίστοιχη οντότητα της SwMI μπορεί να επιλέξει να τροποποιήσει την SDS-REPORT PDU στην πηγή για να πάρει μια επιπρόσθετη SDS-ACK. Ωστόσο αν ζητηθεί επιπλέον αναφορά κατανάλωσης αλλά όχι

λήψης μηνύματος, η SwMI μπορεί να επιλέξει να τροποποιήσει την SD-TRANSFER PDU στον προορισμό, όπως φαίνεται στο σχήμα 43. Αυτό θα επιτρέψει στην SwMI να σταματήσει την προσπάθεια παράδοσης του μηνύματος εφόσον αυτό φτάσει στην εφαρμογή προορισμού. Σημειώνεται πως η SDS-ACK PDU δεν είναι μια επιβεβαίωση από-άκρη-σε-άκρη αλλά από τον επόμενο κόμβο, ο οποίος μπορεί είτε να είναι ο τελικός προορισμός είτε όχι.



Σχήμα 43. Μετάδοση μηνύματος SDS με καταναλισκόμενη επιβεβαίωση, το SwMI τροποποιεί τις ζητούμενες αναφορές

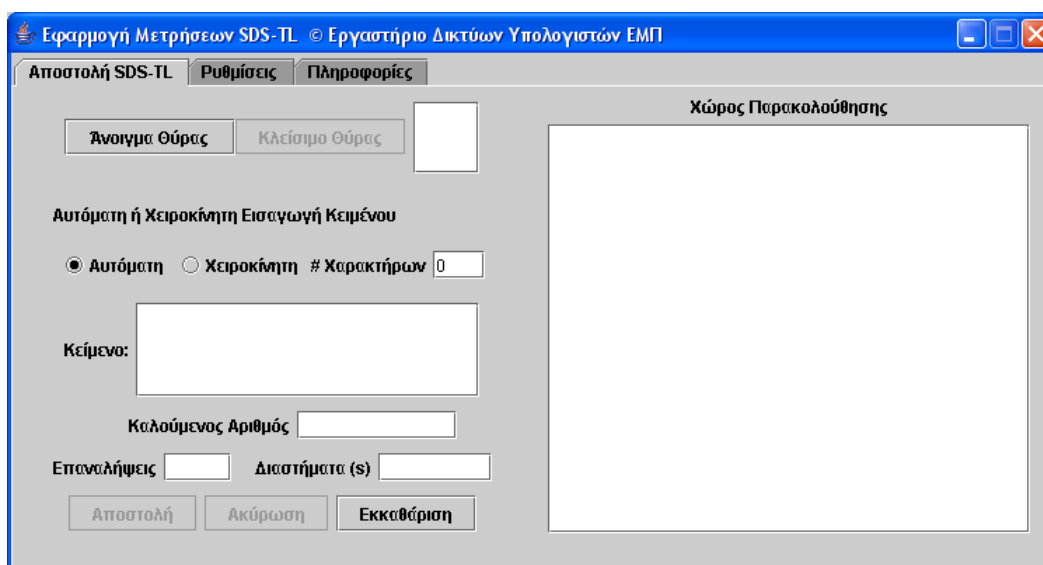
Κεφάλαιο 4^ο

Εφαρμογή αποστολής μηνυμάτων SDS-TL για το TETRA

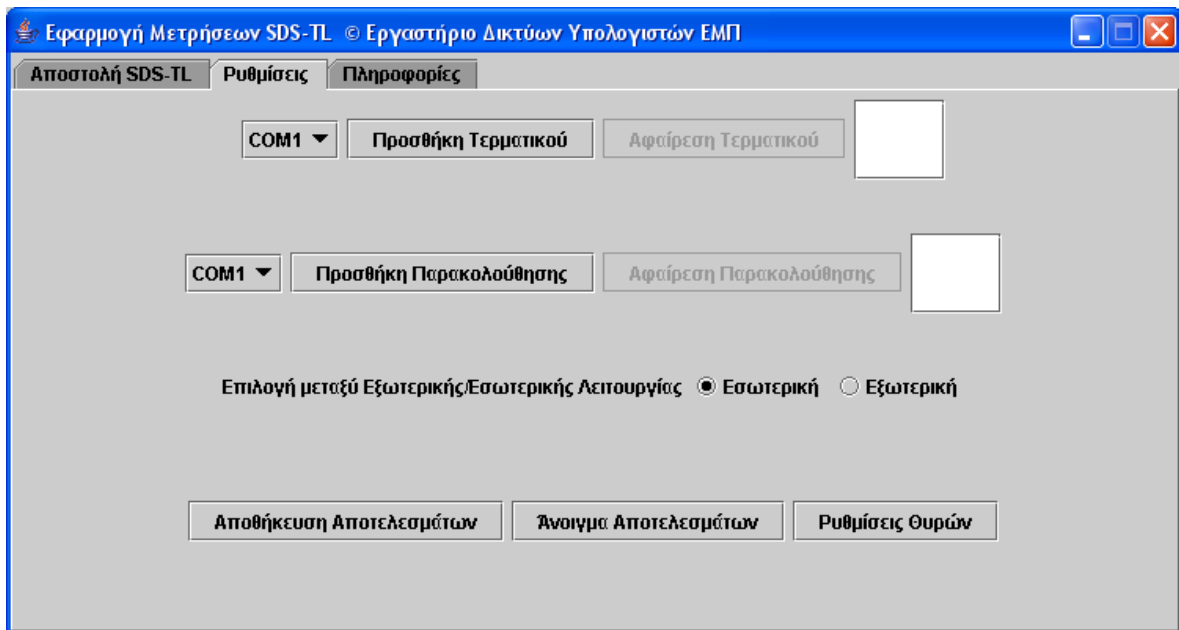
Με βάση τα χαρακτηριστικά του συστήματος TETRA και ειδικότερα της υπηρεσίας μηνυμάτων SDS, αναπτύχθηκε μια εφαρμογή για αποστολή και λήψη μηνυμάτων SDS-TL από τερματικές συσκευές συνδεδεμένες με υπολογιστή. Η εφαρμογή αυτή βασίζεται στις προδιαγραφές της διεπαφής περιφερειακού εξοπλισμού (PEI) του TETRA, που καθιστά δυνατή την επικοινωνία μεταξύ τερματικών συσκευών και υπολογιστή παρέχοντας τη δυνατότητα στο χρήστη του τελευταίου να αξιοποιήσει τις υποστηριζόμενες από τα τερματικά υπηρεσίες TETRA για να δομήσει συμπαγείς και πολύπλοκες εφαρμογές. Ο σκοπός για τον οποίο δημιουργήθηκε η εφαρμογή αυτή είναι η μελέτη της ταχύτητας απόκρισης τόσο του δικτύου TETRA όσο και των MT (*mobile terminals*) σε αιτήσεις αποστολής μηνυμάτων TETRA. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα εργαλείο που δίνει τη δυνατότητα να βρεθεί ο ελάχιστος χρόνος μεταξύ δύο επιτυχημένων αποστολών μηνυμάτων SDS-TL σε μια σειρά επιτυχημένων αποστολών μηνυμάτων από ένα τερματικό, για διάφορες συνθήκες φόρτισης του δικτύου και πάντα σε συνάρτηση με το μέγεθος των μεταδιδόμενων μηνυμάτων. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για να εξεταστεί η κατάσταση του δικτύου και να εντοπιστούν τυχόν δυσλειτουργίες ή βλάβες στα συστατικά του στοιχείου, όσο και για να διερευνηθεί από μηχανικούς επικοινωνιών το κατά πόσο το δίκτυο θα μπορούσε να ανταπεξέλθει στην εισαγωγή νέων απαιτητικών εφαρμογών, όπως η διαχείριση στόλου οχημάτων με εντοπισμό θέσης, που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της συχνής αποστολής δεδομένων από GPS σε SDS από κάθε όχημα.

4.A Περιγραφή των βασικών επιλογών της εφαρμογής

Η γραφική διεπαφή χρήστη που προέκυψε έχει δύο παράθυρα, ένα για την αποστολή μηνυμάτων κι ένα για τον καθορισμό των επιλογών θυρών και αρχείων. Έχουν την ακόλουθη μορφή:

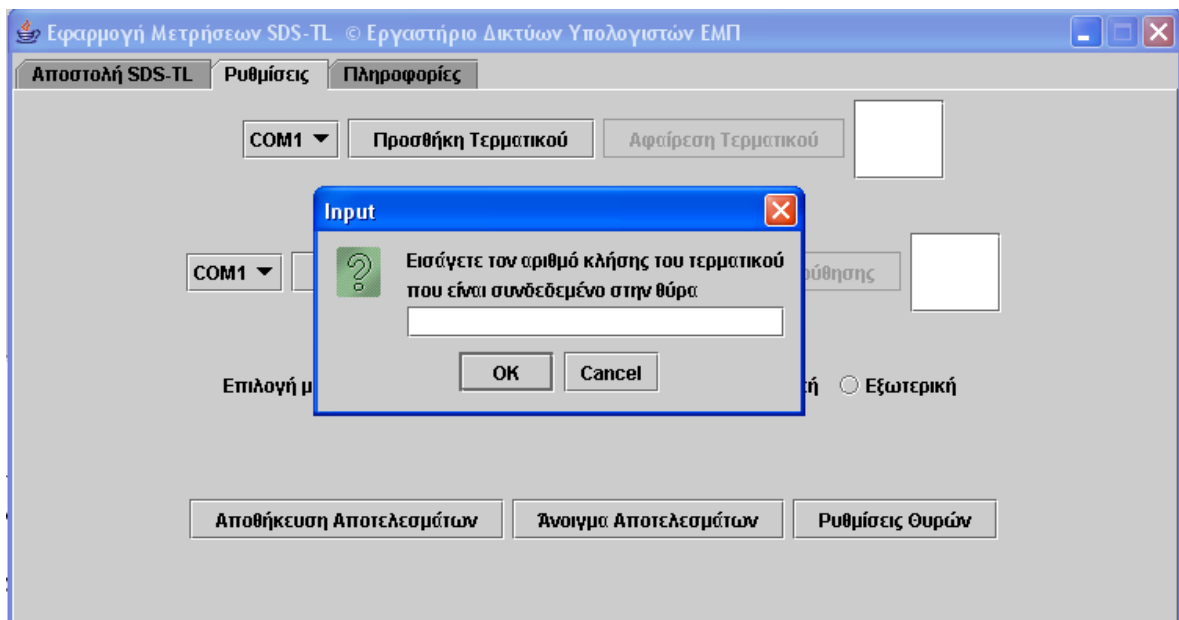


Σχήμα 44: Παράθυρο για τη ρύθμιση των παραμέτρων αποστολής ενός SDS



Σχήμα 45: Παράθυρο για την εισαγωγή των τερματικών και την αποθήκευση αποτελεσμάτων

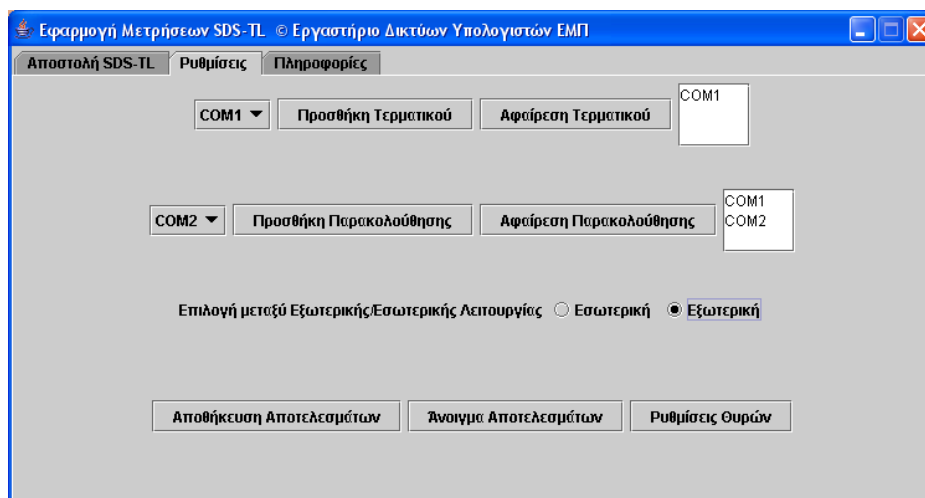
Για να ξεκινήσει η εκτέλεση της εφαρμογής θα πρέπει πρώτα να δηλωθούν οι θύρες που θα χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία με MT. Μπορούμε να επιλέξουμε μια θύρα όπου θα στέλνουμε αιτήσεις αποστολής SDS μέσω επιλογής “Προσθήκη Τερματικού”, εφόσον έχουμε επιλέξει την επιθυμητή θύρα στην επιλογή αριστερά του κουμπιού. Τότε, εμφανίζεται ένα παράθυρο για την εισαγωγή του αριθμού κλήσης του τερματικού που συνδέεται στη συγκεκριμένη θύρα, κάτι που επιτρέπει την ενεργοποίηση όλων των δυνατών επιλογών, όπως θα δούμε στη συνέχεια. Στο πλαίσιο κειμένου δεξιά εμφανίζονται οι επιλεγμένες για αποστολή μηνυμάτων θύρες. Εάν επιθυμούμε μπορούμε να αφαιρέσουμε μια επιλεγμένη θύρα μέσω της επιλογής “ Αφαίρεση Τερματικού”.



Σχήμα 46: Σ’ αυτό το μικρό παράθυρο πρέπει να εισάγουμε τον αριθμό κλήσης

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιες θύρες για να βλέπουμε τα δεδομένα που λαμβάνονται στο συνδεδεμένο MT, χωρίς να στέλνονται SDS-TL από αυτό. Αυτό γίνεται μέσω της επιλογής “Προσθήκη Παρακολούθησης”. Είναι προφανές πως όταν επιλέγουμε

κάποια θύρα για την αποστολή SDS, αυτή θα παρακολουθείται και για αποκρίσεις, οπότε δε χρειάζεται να την επανεισάγουμε ως *monitor*. Υπάρχουν επίσης η επιλογή απενεργοποίησης της λειτουργίας κάποιας θύρας ως *monitor* μέσω της επιλογής “Αφαίρεση Παρακολούθησης” καθώς κι ένα πλαίσιο κειμένου δεξιά, όπου εμφανίζονται οι θύρες που παρακολουθούνται για αποκρίσεις.

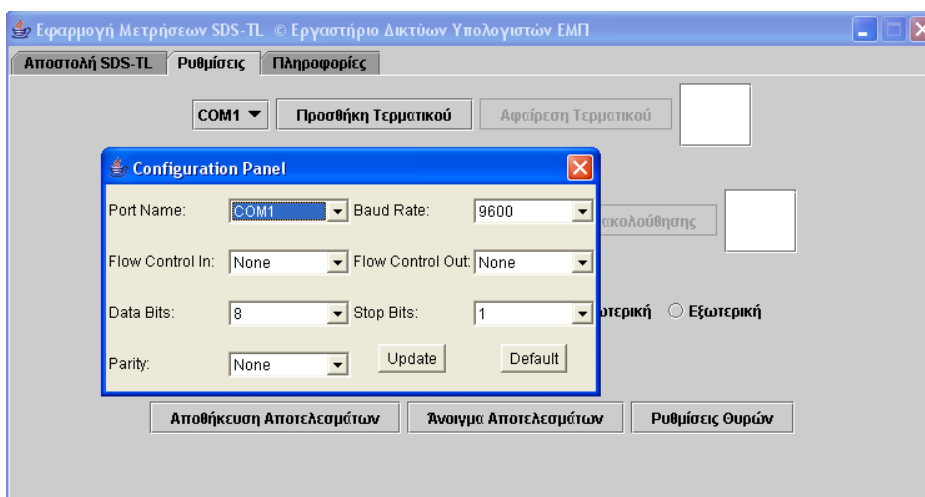


Σχήμα 47: Εισαγωγή ή αφαίρεση ενός τερματικού ως monitor

Ακριβώς από κάτω εμφανίζεται η επιλογή για εσωτερική ή εξωτερική διευθυνσιοδότηση. Με την επιλογή αυτή μπορούμε να διαλέξουμε μεταξύ της αποστολής μηνυμάτων μεταξύ των MT που αντιστοιχούν στις ενεργοποιημένες θύρες και της αποστολής μηνυμάτων από όλα τα δηλωμένα τερματικά προς ένα κοινό αριθμό. Στην πρώτη περίπτωση (Εσωτερική), το τερματικό που είναι στην πρώτη δηλωμένη θύρα θα στέλνει μηνύματα σε αυτό της δεύτερης δηλωμένης θύρας κ.ο.κ.

Στη δεύτερη περίπτωση (Εξωτερική), όλα τα τερματικά στέλνουν σε ένα καθορισμένο αριθμό, που μπορεί να είναι είτε κάποιο από τα τερματικά που αποστέλλουν SDS-TL είτε ένα τερματικό παρακολούθησης είτε κάποιος άλλος αριθμός γενικά.

Η τελευταία επιλογή του παραθύρου αυτού που φέρει το όνομα “Ρυθμίσεις Θυρών”, ανοίγει ένα παράθυρο για τη μεταβολή των παραμέτρων των διαθέσιμων θυρών. Οι παράμετροι που μπορούν να ρυθμιστούν είναι ο ρυθμός μετάδοσης, ο έλεγχος ροής εισόδου και εξόδου, ο αριθμός *bits* ανά χαρακτήρα, ο αριθμός *bits* παύσης και η ισοτιμία. Υπάρχει επιλογή για την καταχώρηση των ρυθμίσεων στην επιλεγμένη θύρα και για την επαναφορά των προεπιλεγμένων τιμών των παραμέτρων.



Σχήμα 48: Παράθυρο για τη ρύθμιση των παραμέτρων των θυρών

Εφόσον, λοιπόν, έχουμε δηλώσει κάποια(ες) θύρα(ες) για αποστολή μηνυμάτων μέσω των συνδεδεμένων σε αυτή(ες) ΜΤ, μπορούμε να επιστρέψουμε στο πρώτο παράθυρο (Σχήμα 44) για να προχωρήσουμε στη διαδικασία αποστολής μηνυμάτων. Αρχικά, στο πάνω αριστερά μέρος έχουμε την επιλογή για τη σύνδεση και την αποσύνδεση με τα ΜΤ των επιλεγμένων θυρών, που εμφανίζονται στο πλαίσιο κειμένου δεξιά των κουμπιών.

Εφόσον, λοιπόν, ενεργοποιήσουμε τη σύνδεση με τα τερματικά, μπορούμε να προχωρήσουμε στον καθορισμό των παραμέτρων της λειτουργίας αποστολής. Στο στάδιο αυτό απενεργοποιούνται οι επιλογές θυρών του προηγούμενου παραθύρου, καθώς δεν μπορούν να μεταβληθούν κατά την αποστολή μηνυμάτων. Για την επανενεργοποίησή τους θα πρέπει να πατηθεί το κουμπί κλεισίματος της σύνδεσης με τα ΜΤ των θυρών. Αρχικά, λοιπόν, για την αποστολή επιλέγουμε μεταξύ της αυτόματης και της χειροκίνητης εισαγωγής του κειμένου προς αποστολή. Στην επιλογή αυτόματης εισαγωγής “Αυτόματη”, δίνουμε τον αριθμό των χαρακτήρων του μηνύματος που θα στείλουμε και, πατώντας ENTER εμφανίζεται στο κάτωθι πλαίσιο κειμένου το προεπιλεγμένο κείμενο. Μπορούμε, δε, να εισάγουμε με το πληκτρολόγιο το κείμενο προς αποστολή με την επιλογή “Χειροκίνητη”.

Στη συνέχεια, εισάγουμε τον αριθμό κλήσης του ΜΤ στο οποίο θα αποσταλούν τα μηνύματα (το πεδίο αυτό είναι απενεργοποιημένο στην περίπτωση της εσωτερικής διευθυνσιοδότησης καθώς οι διευθύνσεις αποστολής έχουν εισαχθεί κατά τη δήλωση των θυρών), τον αριθμό των μηνυμάτων που θα σταλούν από κάθε ΜΤ και τα διαστήματα που θα μεσολαβούν μεταξύ δύο αποστολών για κάθε τερματικό.

Σε περίπτωση που έχουμε ενεργοποιήσει τη σύνδεση με τα ΜΤ, έχουμε δηλώσει το επιθυμητό κείμενο προς αποστολή και έχουμε εισάγει σωστά τον αριθμό κλήσης, τον αριθμό μηνυμάτων και τα διαστήματα επανάληψης, μπορούμε να προχωρήσουμε στην αποστολή των μηνυμάτων, πατώντας το κουμπί “Αποστολή”. Τότε ξεκινά η διαδικασία αποστολής, ενώ στο πλαίσιο κειμένου δεξιά παρουσιάζονται τα μηνύματα που στέλνονται προς και επιστρέφονται από τα τερματικά. Ταυτόχρονα, ενεργοποιείται και η επιλογή “Ακύρωση”, που διακόπτει τη διαδικασία αποστολής μηνυμάτων αν επιθυμείται κάτι τέτοιο. Μέσω, δε, της επιλογής “Εκκαθάριση” μπορούμε να διαγράψουμε τα περιεχόμενα του Χώρου Παρακολούθησης.

Εφόσον έχουμε εισάγει τους αριθμούς των τερματικών κατά τη δήλωση των θυρών, το πρόγραμμα κατά την εκτέλεση της διαδικασίας αποστολής μηνυμάτων προσπαθεί να υπολογίσει το χρόνο παράδοσης για κάθε μεταδιδόμενο μήνυμα. Στο τέλος εμφανίζεται ένα σχετικό διάγραμμα με τους χρόνους αυτούς, ενώ σε μεταδόσεις μεγάλου αριθμού μηνυμάτων κάποια διαγράμματα θα εμφανιστούν και ενδιάμεσα, παρουσιάζοντας ένα δείγμα από τους χρόνους μετάδοσης ώστε ο χρήστης να μπορεί να παρακολουθεί τη διαδικασία. Τα αποτελέσματα μπορούν να αποθηκευτούν σε αρχείο (μέσω της επιλογής “Save results to...”), για τη μετέπειτα επεξεργασία τους.

Για τις ανάγκες του δικού μας πειράματος εμείς επιλέξαμε να ορίσουμε το τερματικό «42» ως αυτό που θα στέλνει τα SDS (εισαγάγαμε στο παράθυρο του Σχήματος 46 τον αριθμό κλήσης 42) και θέσαμε το τερματικό «43» ως *monitor*, για να επιτηρεί την όλη διαδικασία. Επιλέξαμε εσωτερική λειτουργία επειδή μας ενδιέφερε το τερματικό που δηλώθηκε στην 1^η θύρα (COM1) δηλαδή το «42» να στέλνει SDS στο τερματικό που δηλώθηκε ως *monitor*, στη 2^η θύρα (COM2), δηλαδή το «43». Τώρα σχετικά με τις ρυθμίσεις των θυρών επιλέχθηκαν οι τυποποιημένες τιμές (*default*), δηλαδή αυτές που φαίνονται στο Σχήμα 48.

Στο παράθυρο για τον καθορισμό των παραμέτρων αποστολής των SDS (βλ. Σχήμα 44) επιλέξαμε ως καλούμενο αριθμό το 43 και ως αριθμό επαναλήψεων τις 1500 αφού η κάθε μέτρηση από τις 111 περιελάμβανε 1500 προσπάθειες αποστολής του κάθε SDS. Το κείμενο μπορούσε να εισαχθεί αυτόματα (γράφοντας μόνο τον αριθμό # των χαρακτήρων που επιθυμούμε) είτε χειροκίνητα (γράφοντας δικό μας κείμενο) χωρίς αυτό να έχει κάποια επίδραση στη διαδικασία των μετρήσεων. Τέλος στο «κουτάκι» για τα διαστήματα εισάγαμε 1, 1.5 και 2 αντίστοιχα που είναι τα διαστήματα μεσολάβησης σε δευτερόλεπτα.

Κεφάλαιο 5^ο

Μετρήσεις και στατιστικά στοιχεία για την καθυστέρηση μετάδοσης των SDS

Στις σελίδες που ακολουθούν παρουσιάζεται με τη μορφή γραφικών παραστάσεων η σχέση του χρόνου μετάδοσης των σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SDS) με τις προσπάθειες αποστολής, τον αριθμό των χαρακτήρων που περιέχει το εκάστοτε μήνυμα αλλά και το χρόνο που μεσολαβεί ανάμεσα στην αποστολή των μηνυμάτων. Όπως είναι αναμενόμενο όσο περισσότερους χαρακτήρες περιέχει το μήνυμα τόσο μεγαλύτερος και ο χρόνος μετάδοσης του. Δηλαδή η καθυστέρηση διάδοσης (*transmission delay*) αυξάνει ολοένα και περισσότερο όταν αυξάνει το μέγεθος του μηνύματος αλλά και όταν μειώνεται ο ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ των μηνυμάτων που αποστέλλονται.

Συνολικά με τη βοήθεια του δικτύου TETRA του ΟΤΕ έγιναν 111 μετρήσεις, από 37 μετρήσεις για τους τρεις διαφορετικούς χρόνους μεσολάβησης μεταξύ των μηνυμάτων. Οι χρόνοι που επιλέχθηκαν είναι οι εξής:

- ♣ Αποστολή SDS ανά ένα δευτερόλεπτο (per 1 sec)
- ♣ Αποστολή SDS ανά ενάμιση δευτερόλεπτο (per 1.5 sec)
- ♣ Αποστολή SDS ανά δύο δευτερόλεπτα (per 2 secs)

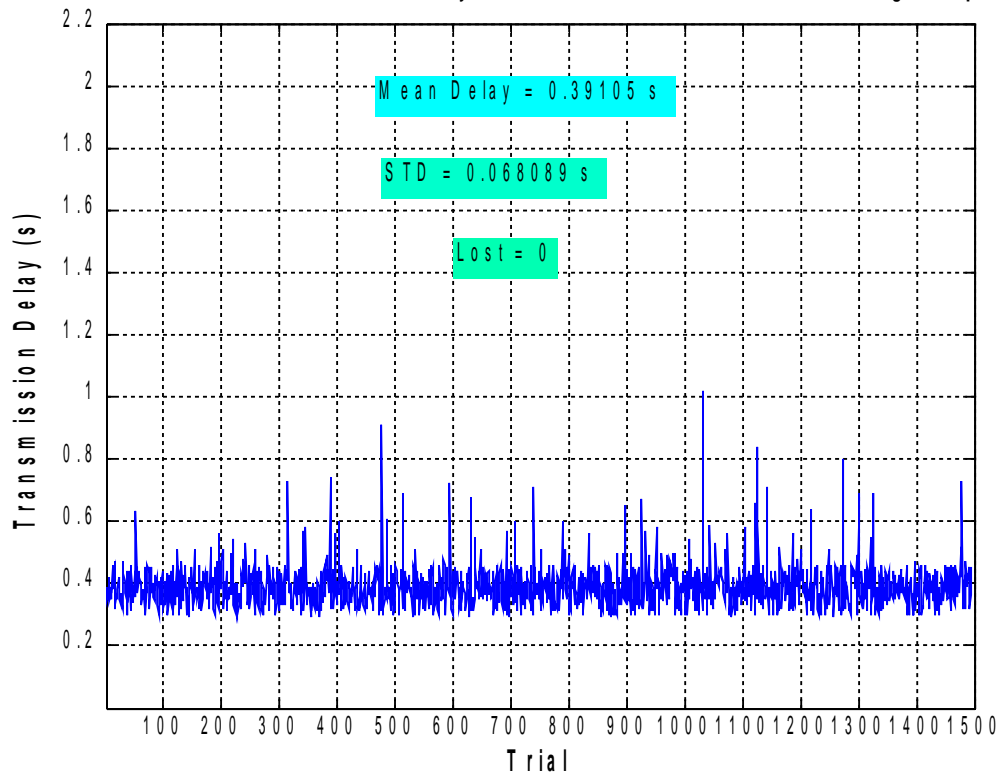
Για την καθεμιά ομάδα μετρήσεων το βήμα που χρησιμοποιήθηκε είναι 5 χαρακτήρες. Έτσι ξεκινήσαμε από 10 χαρακτήρες και σταδιακά φθάσαμε στους 190 χαρακτήρες που είναι κοντά στα όρια των δυνατοτήτων της υπηρεσίας για την αξιόπιστη αποστολή μηνυμάτων. Το εύρος 10 – 190 κρίνεται αρκετά ικανοποιητικό ώστε τα συμπεράσματα στα οποία θα καταλήξουμε από τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων να είναι κοντά στην πραγματικότητα.

Η στατιστική επεξεργασία περιλαμβάνει την εύρεση του μέσου όρου (mean delay) για την κάθε μέτρηση, καθώς και την τυπική απόκλιση (STD) αλλά και τα συνολικά μηνύματα που χάθηκαν (lost), είτε γιατί δεν παραλήφθηκαν από το άλλο τερματικό είτε γιατί δε στάλθηκαν ποτέ λόγω της μεγάλης καθυστέρησης διάδοσης. Σε κάθε μέτρηση από τις 111 γίνονται 1500 προσπάθειες (*trials*) αποστολής του συγκεκριμένου SDS.

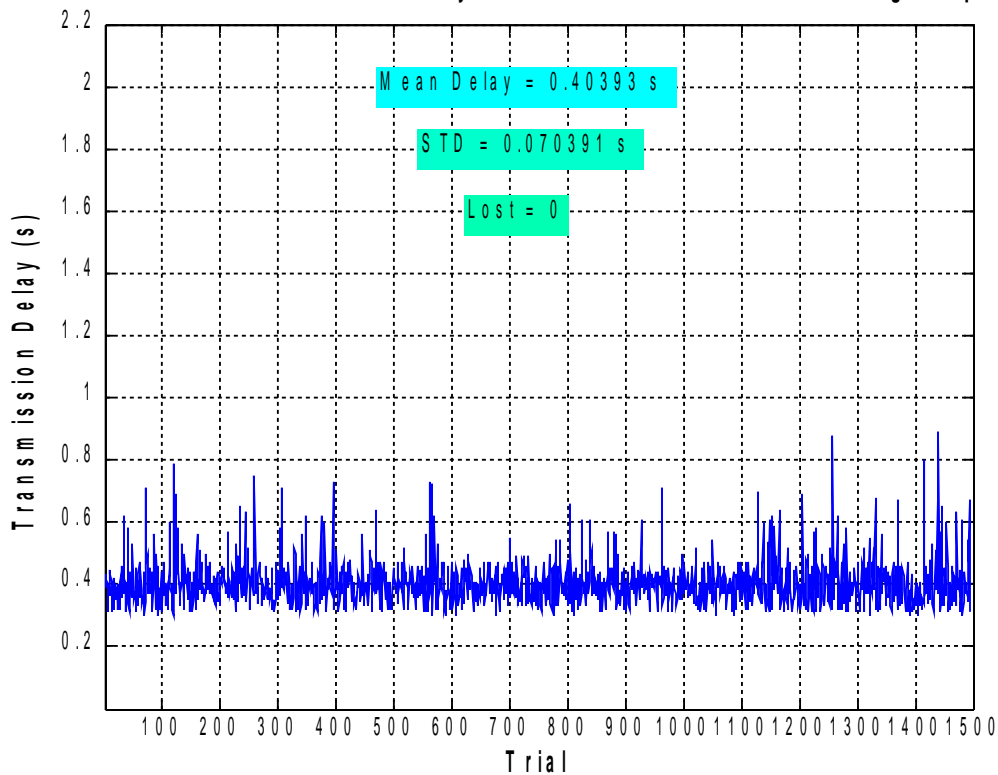
Ο σταθμός βάσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο «C» που βρίσκεται στο μέγαρο του ΟΤΕ και παρατηρήθηκε ότι οι χρόνοι μετάδοσης ήταν πολύ μικρότεροι όταν και το τερματικό αποστολέας «42» αλλά και το τερματικό παραλήπτης «43» ήταν συντονισμένα σ' αυτόν.

5.A. Αποστολή SDS ανά 1 δευτερόλεπτο

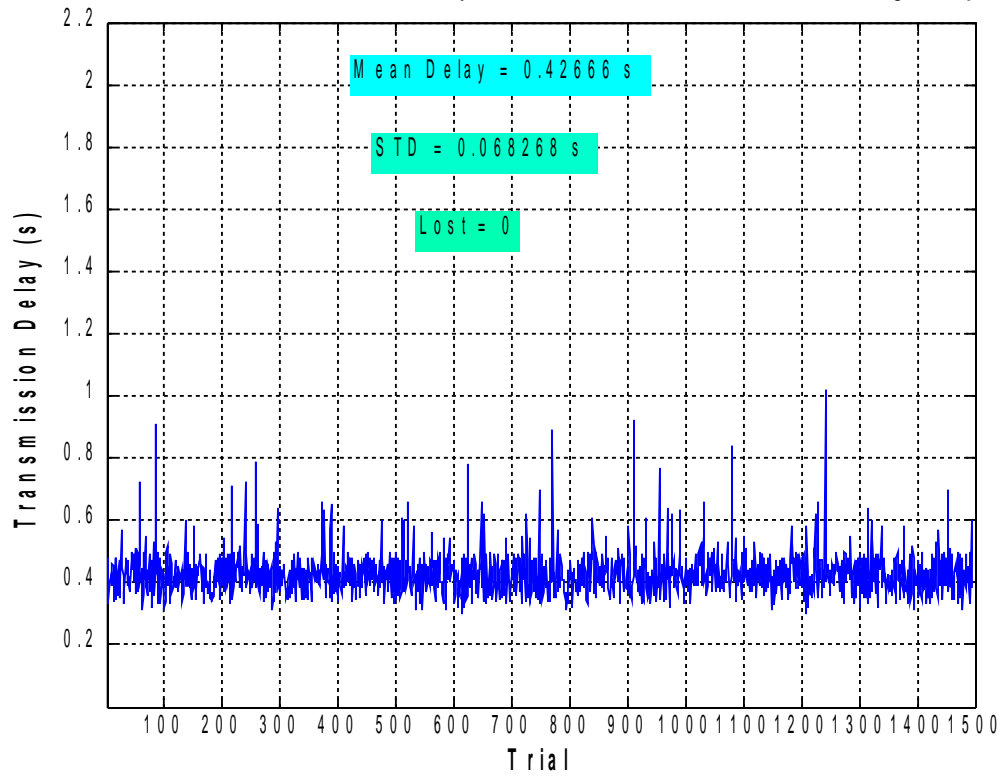
SDS-TL Transmission Delay for 10 Character Messages per 1 s



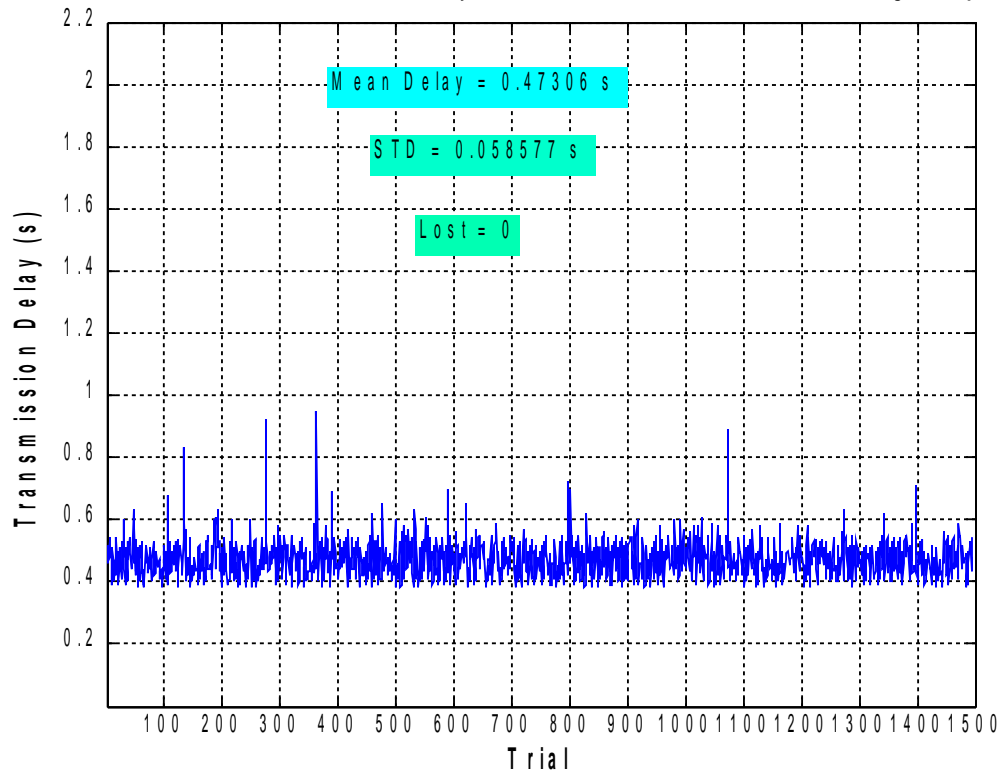
SDS-TL Transmission Delay for 15 Character Messages per 1 s



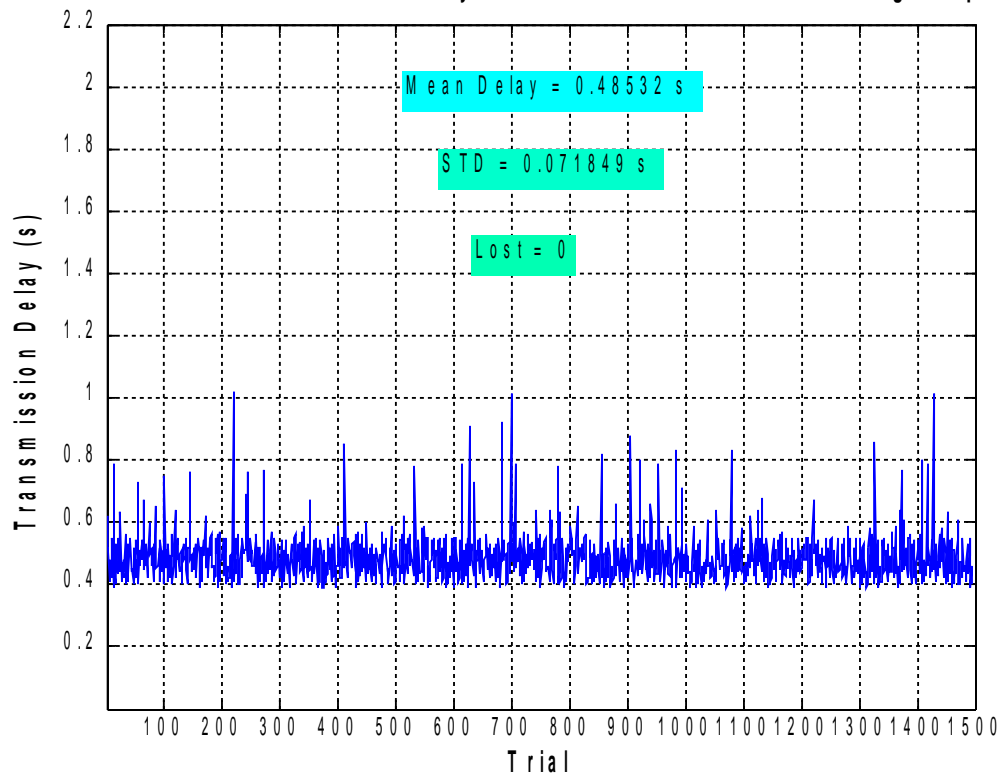
SDS-TL Transmission Delay for 20 Character Messages per 1 s



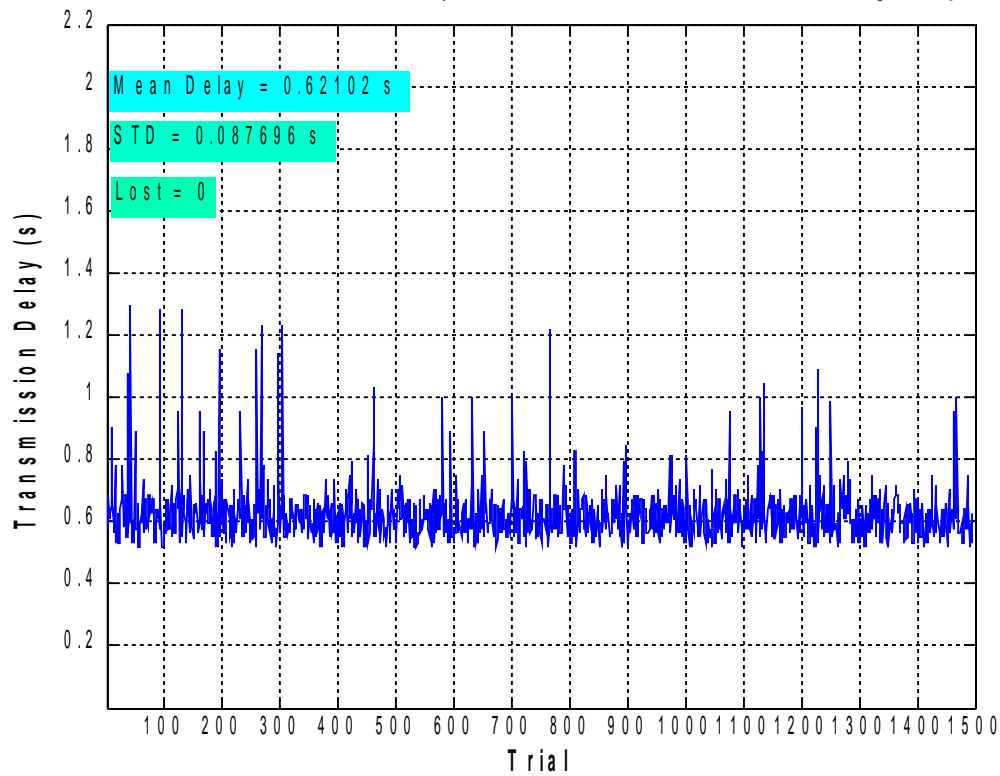
SDS-TL Transmission Delay for 25 Character Messages per 1 s



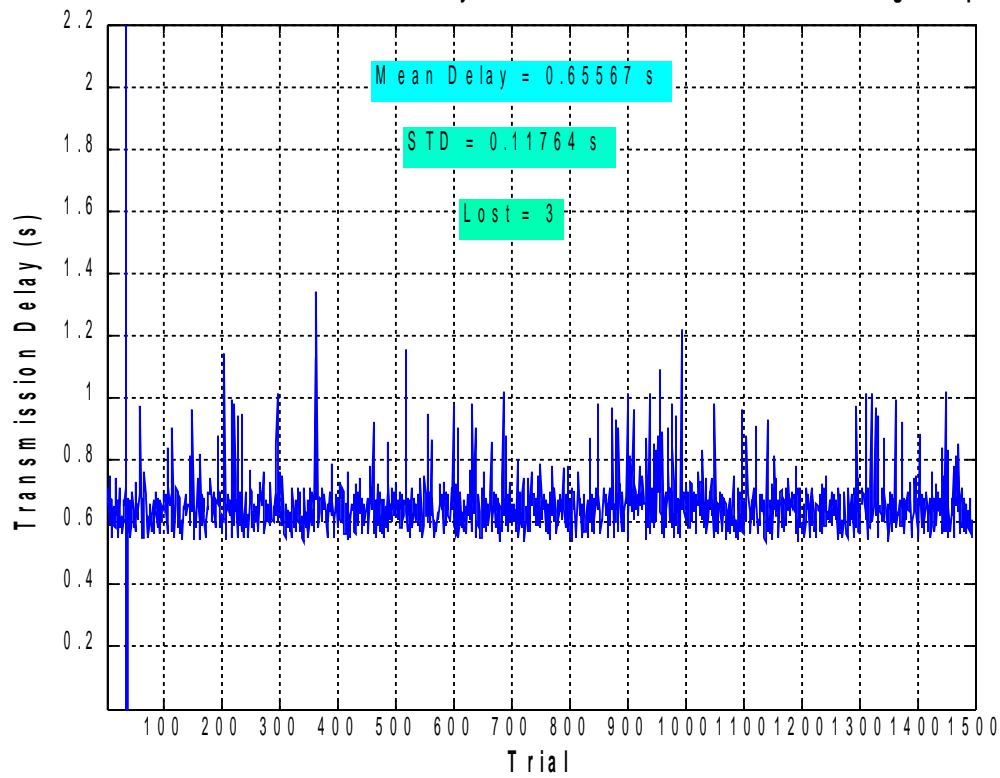
SDS-TL Transmission Delay for 30 Character Messages per 1 s



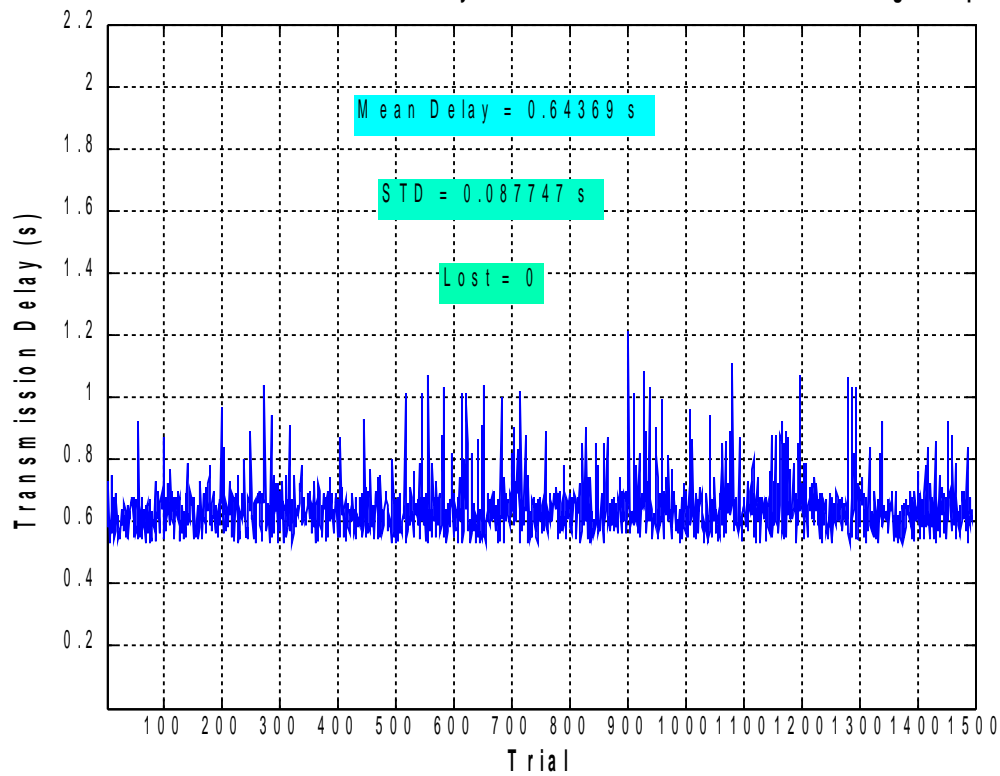
SDS-TL Transmission Delay for 35 Character Messages per 1 s



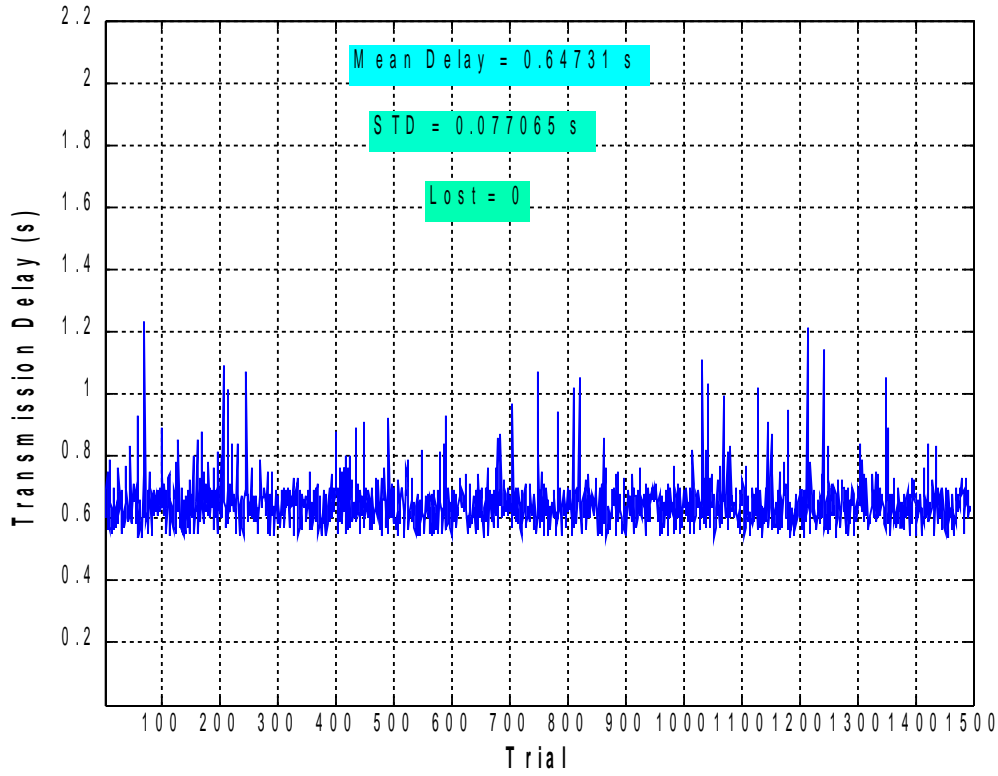
SDS-TL Transmission Delay for 40 Character Messages per 1 s



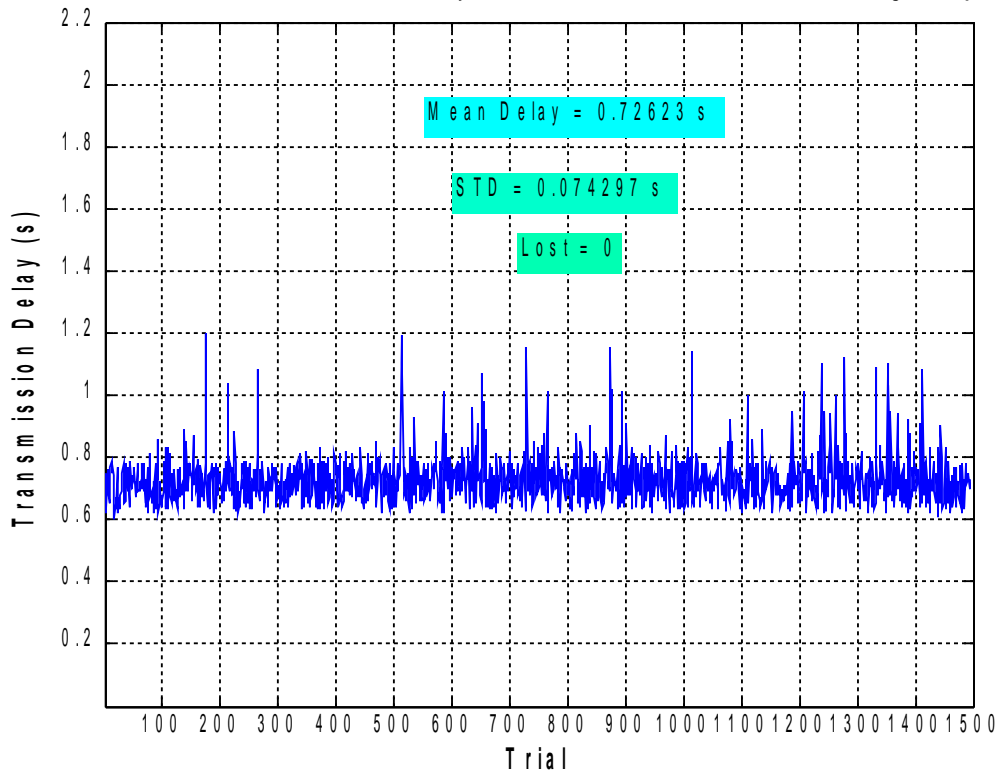
SDS-TL Transmission Delay for 45 Character Messages per 1 s



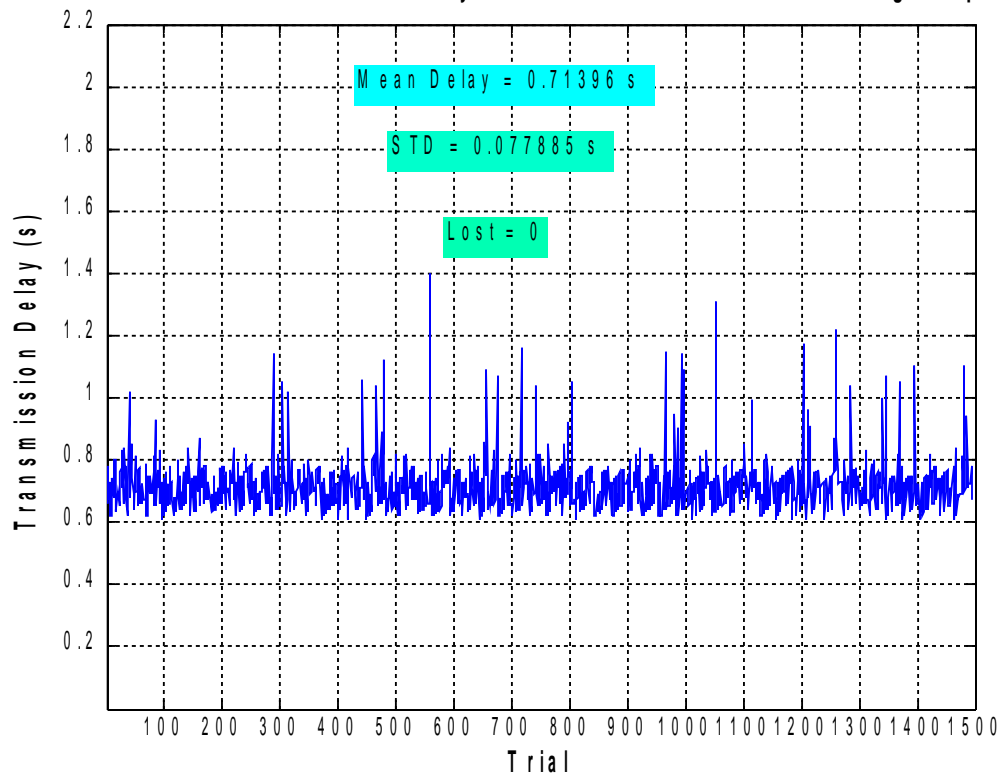
SDS-TL Transmission Delay for 50 Character Messages per 1 s



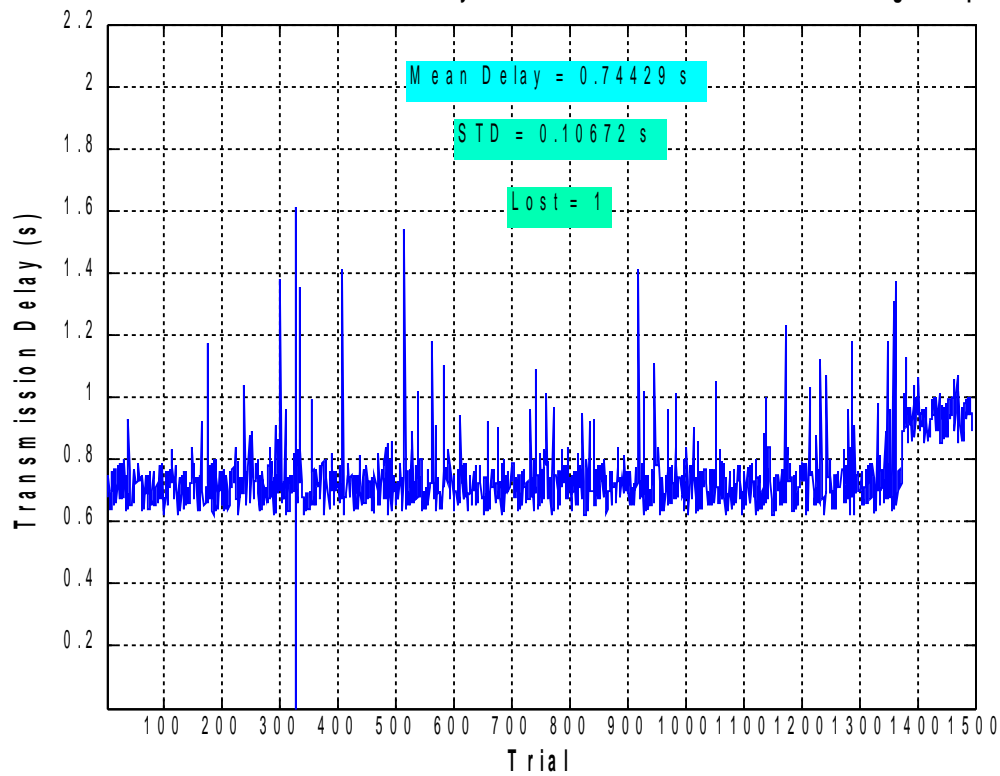
SDS-TL Transmission Delay for 55 Character Messages per 1 s



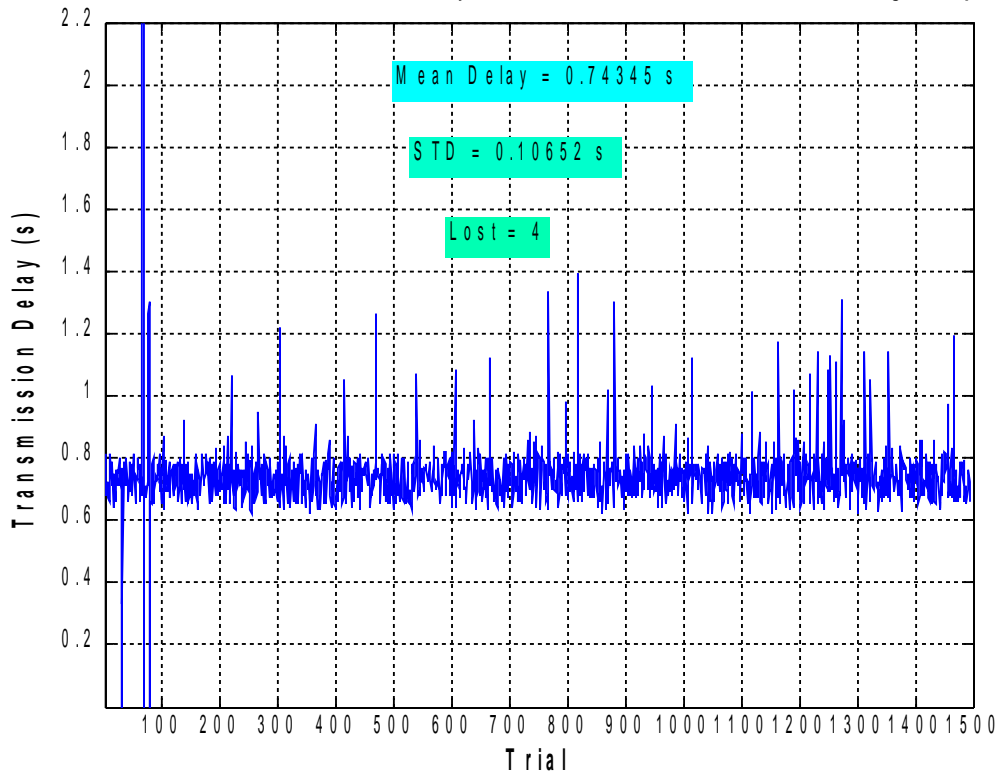
SDS-TL Transmission Delay for 60 Character Messages per 1 s



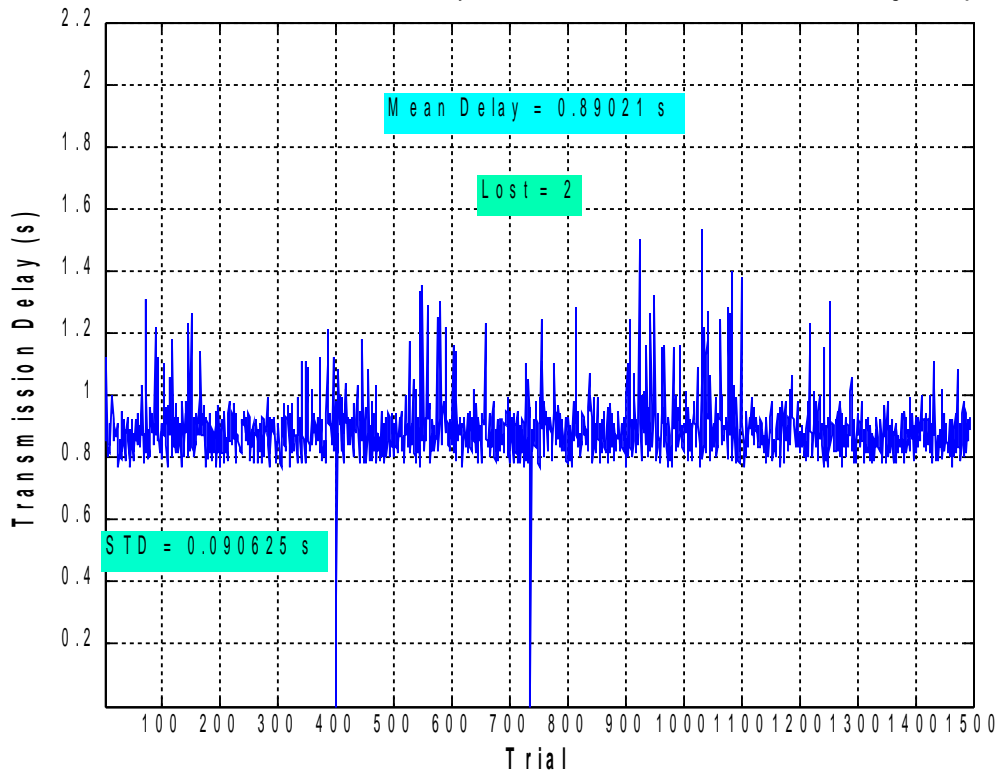
SDS-TL Transmission Delay for 65 Character Messages per 1 s



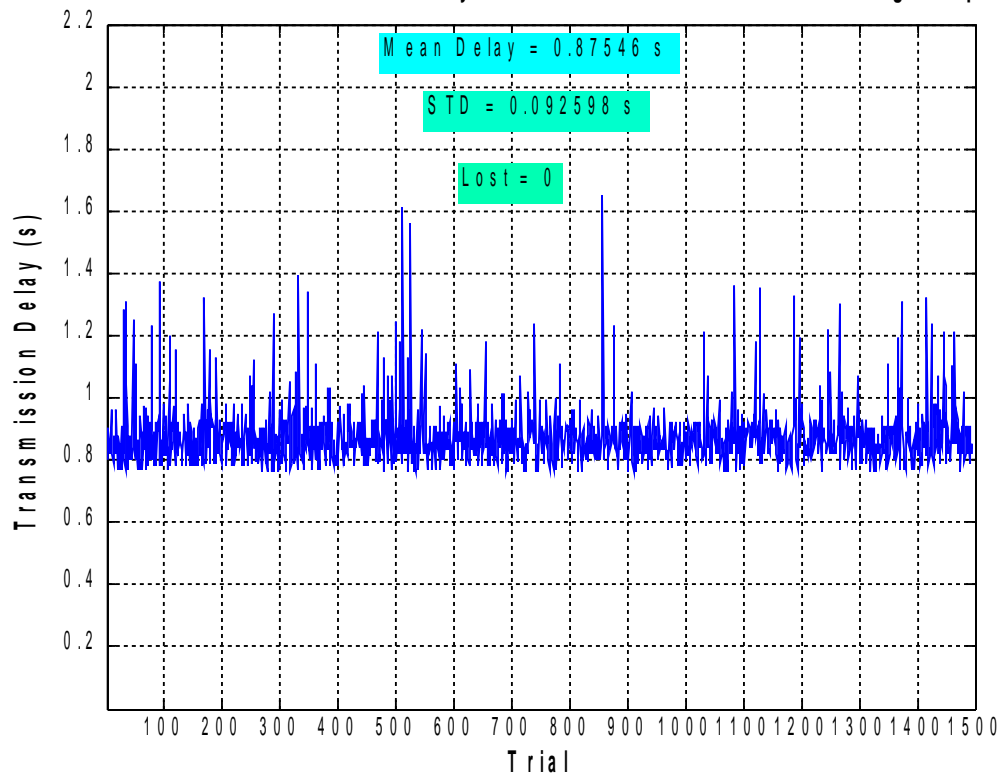
SDS-TL Transmission Delay for 70 Character Messages per 1 s



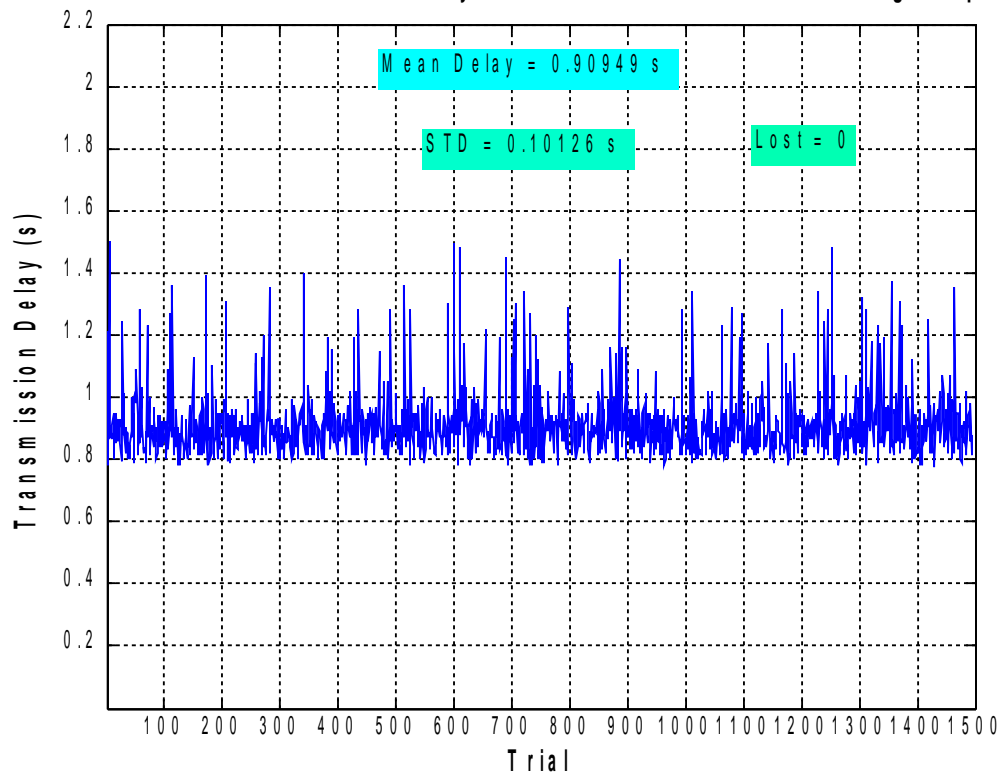
SDS-TL Transmission Delay for 75 Character Messages per 1 s



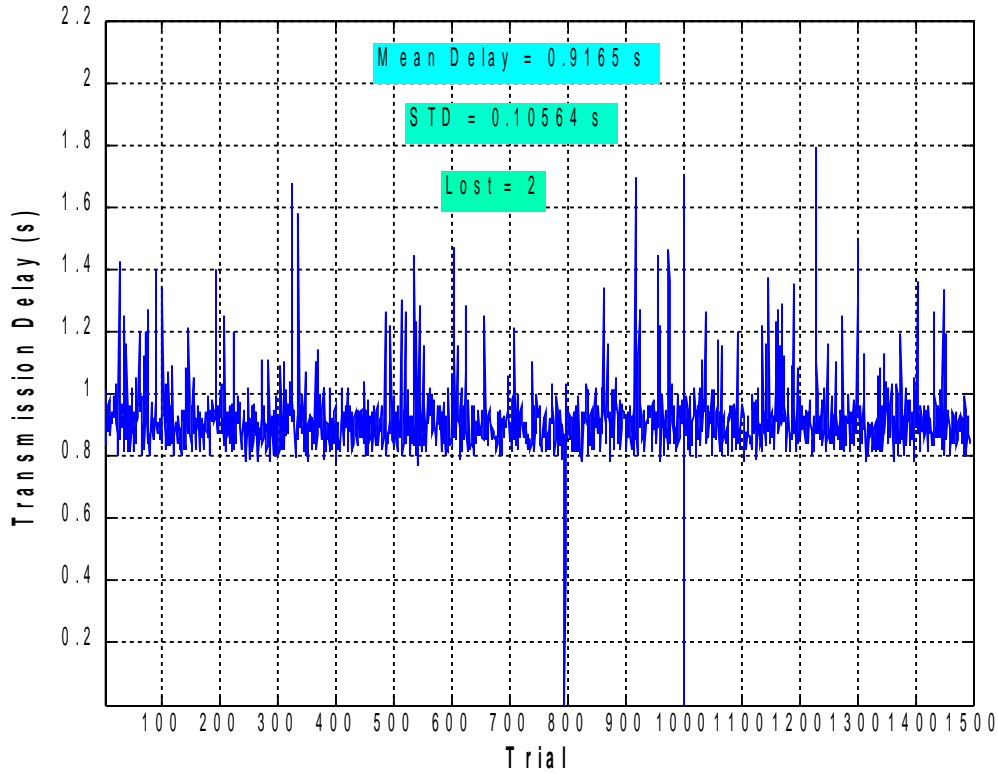
SDS-TL Transmission Delay for 80 Character Messages per 1 s



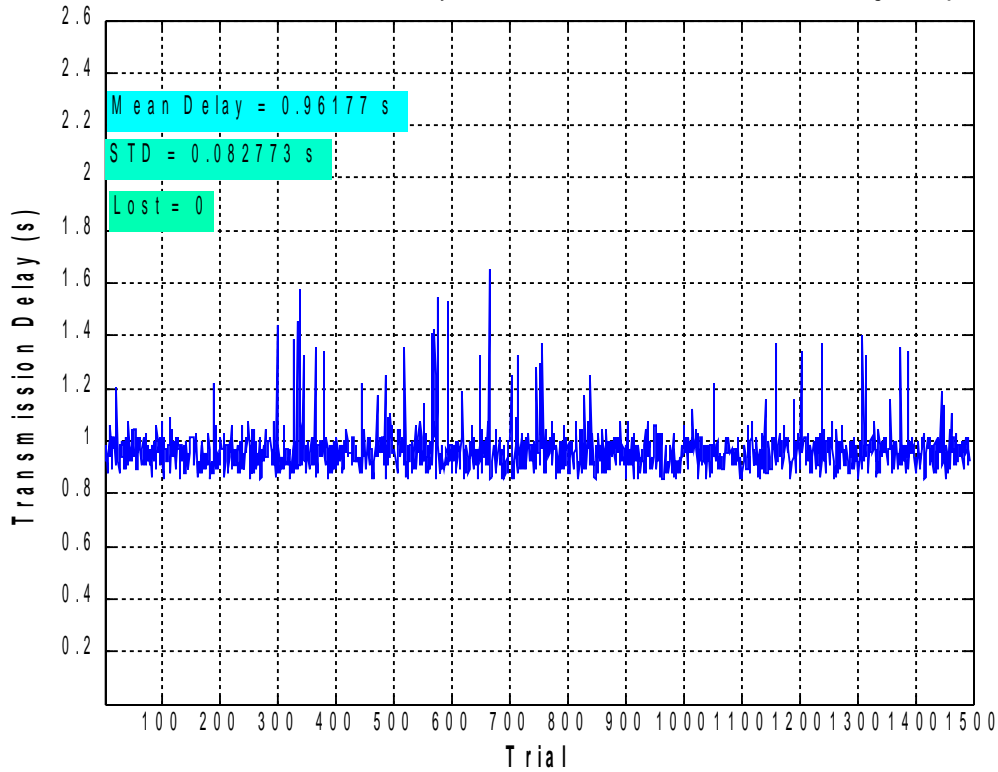
SDS-TL Transmission Delay for 85 Character Messages per 1 s



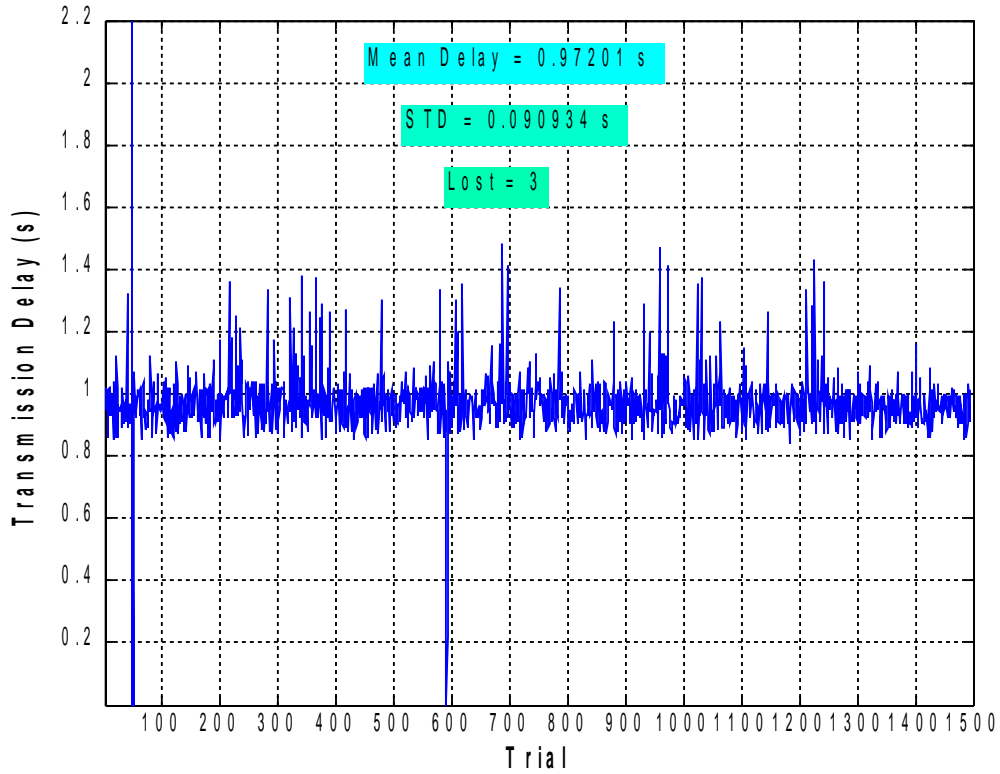
SDS-TL Transmission Delay for 90 Character Messages per 1 s



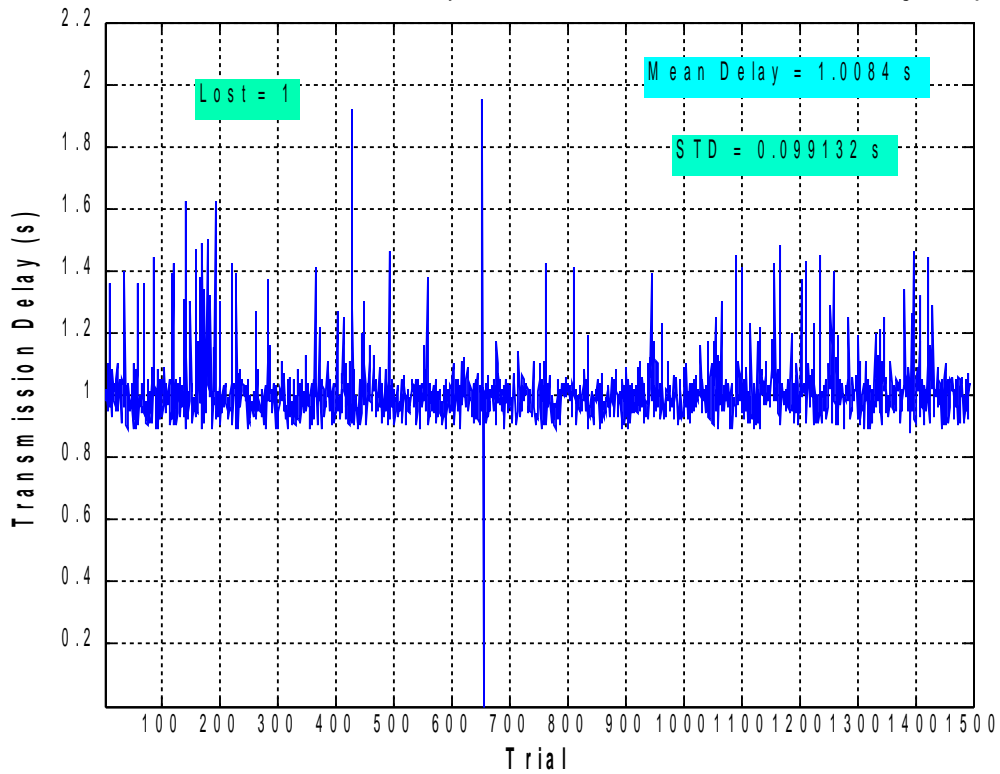
SDS-TL Transmission Delay for 95 Character Messages per 1 s



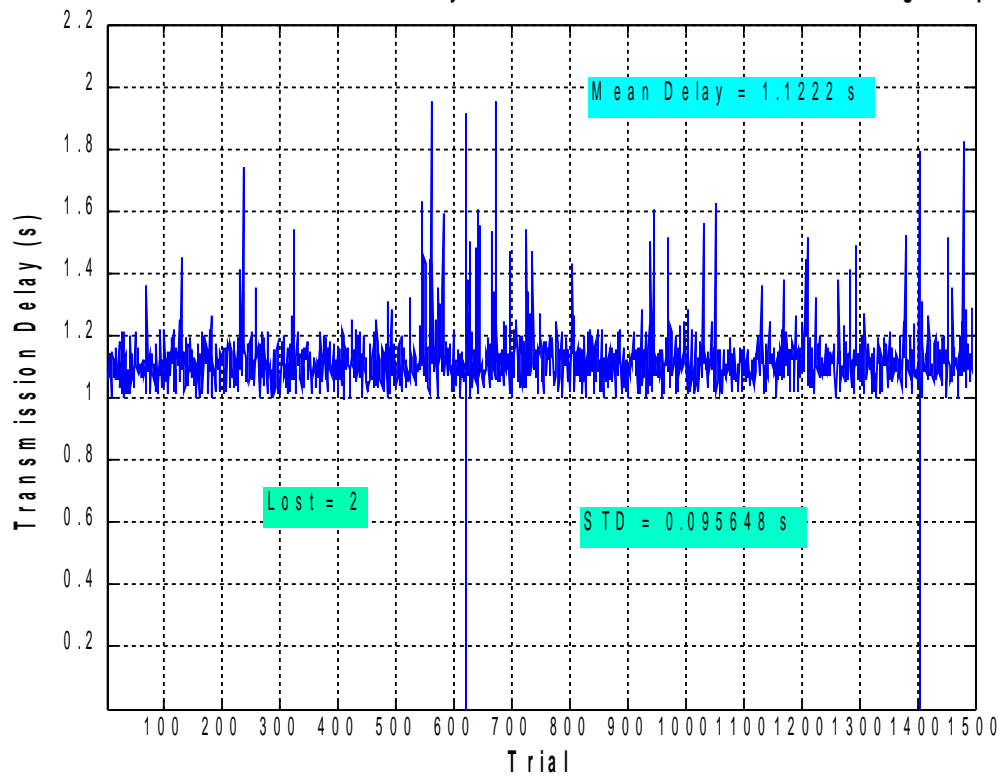
SDS-TL Transmission Delay for 100 Character Messages per 1 s



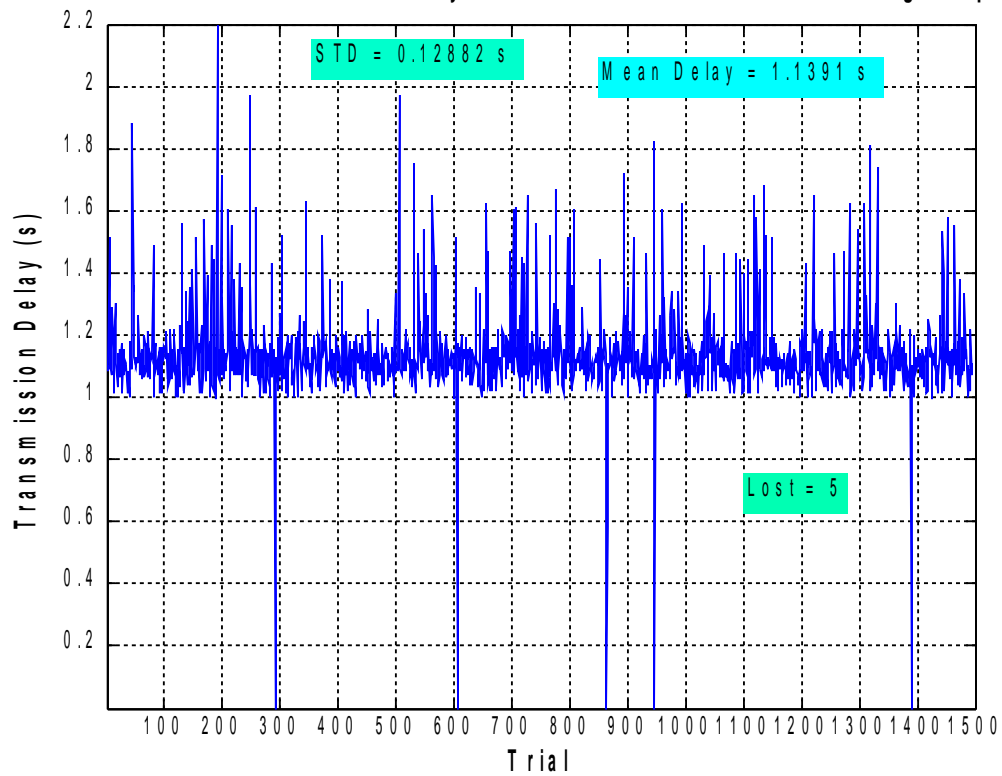
SDS-TL Transmission Delay for 105 Character Messages per 1 s



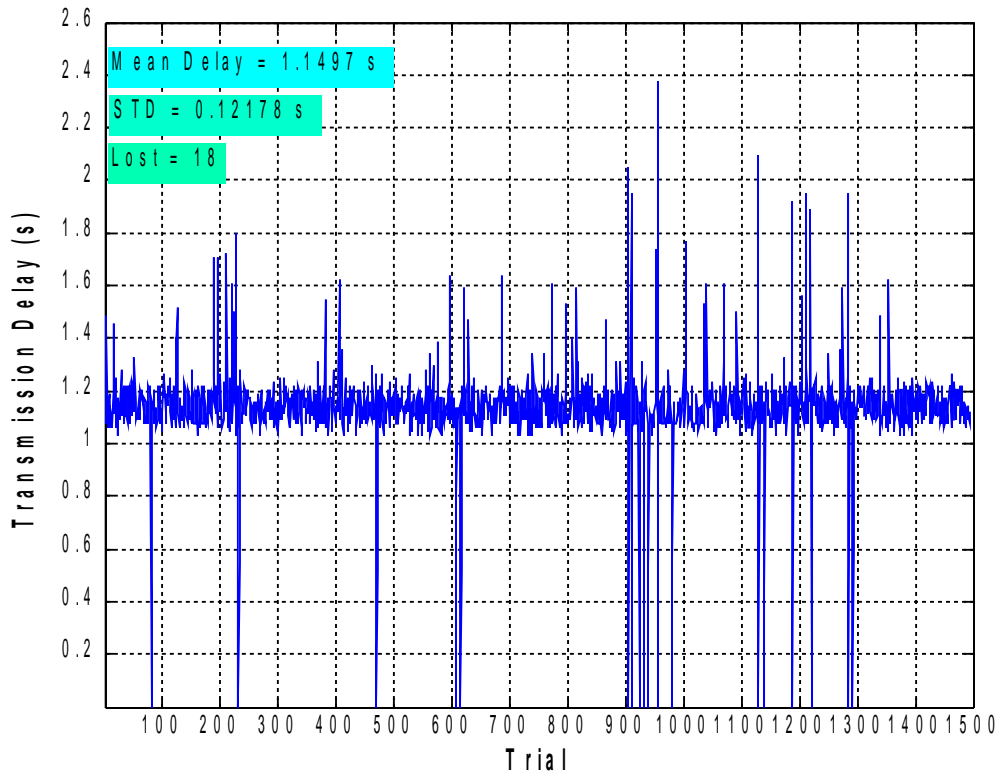
SDS-TL Transmission Delay for 110 Character Messages per 1 s



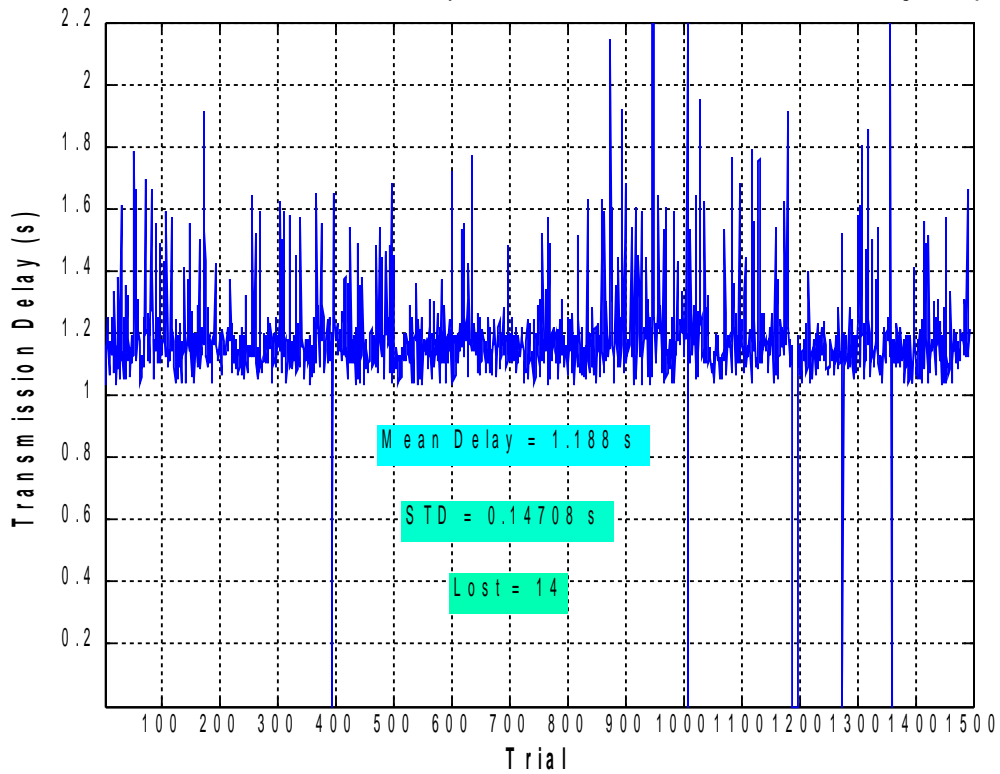
SDS-TL Transmission Delay for 115 Character Messages per 1 s



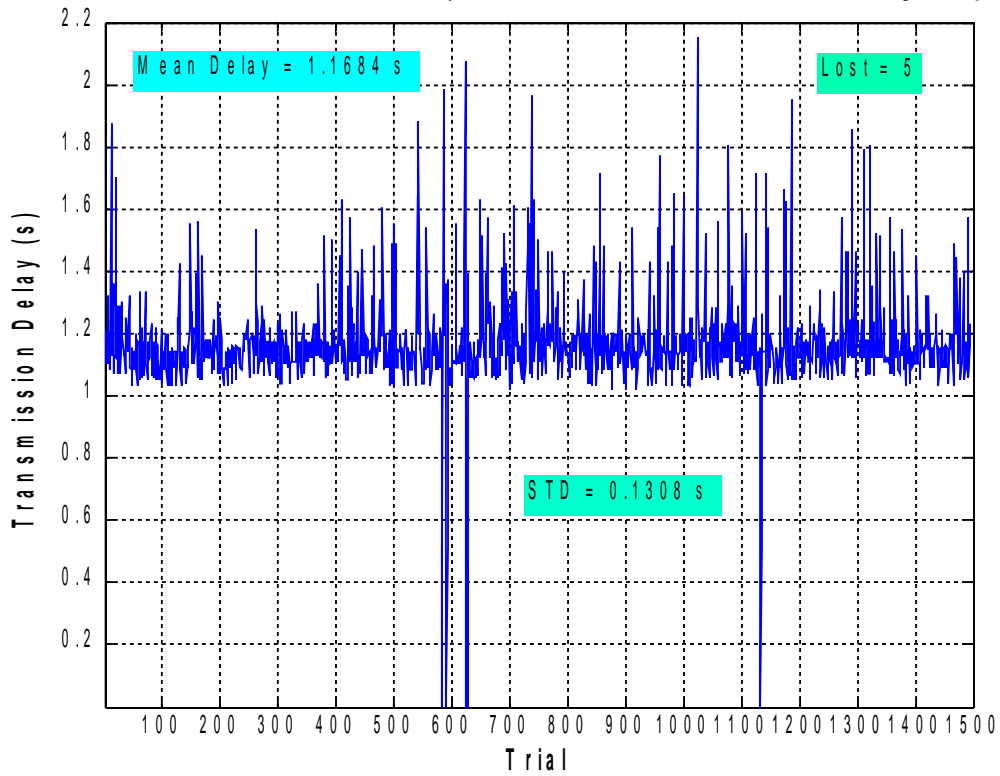
SDS-TL Transmission Delay for 120 Character Messages per 1 s



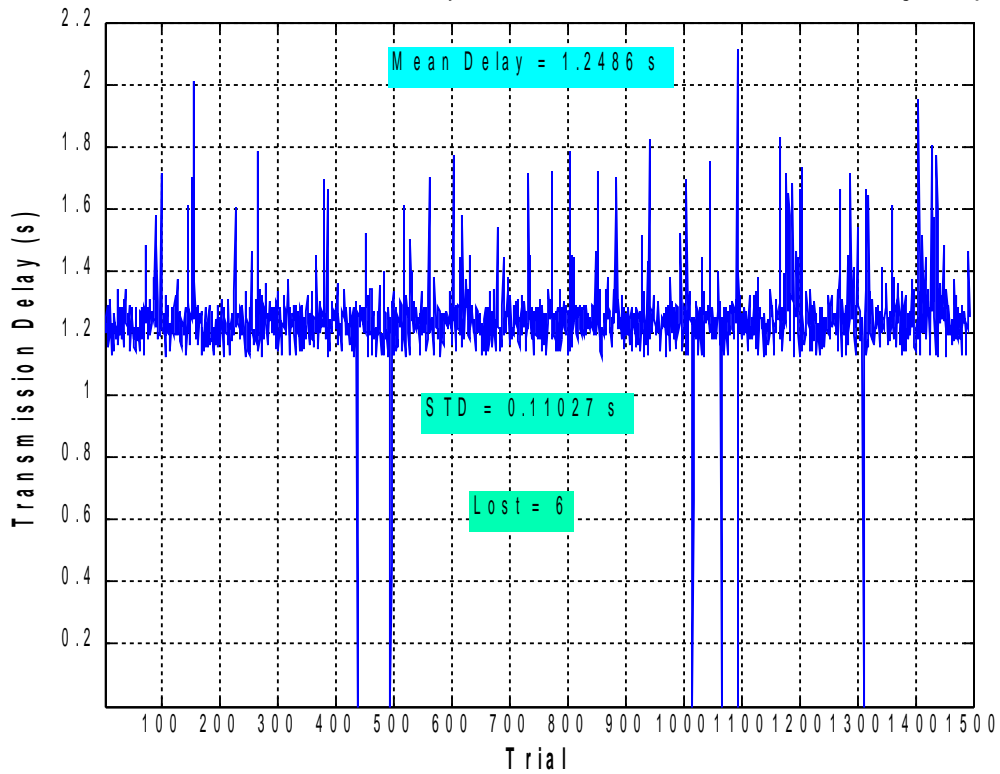
SDS-TL Transmission Delay for 125 Character Messages per 1 s



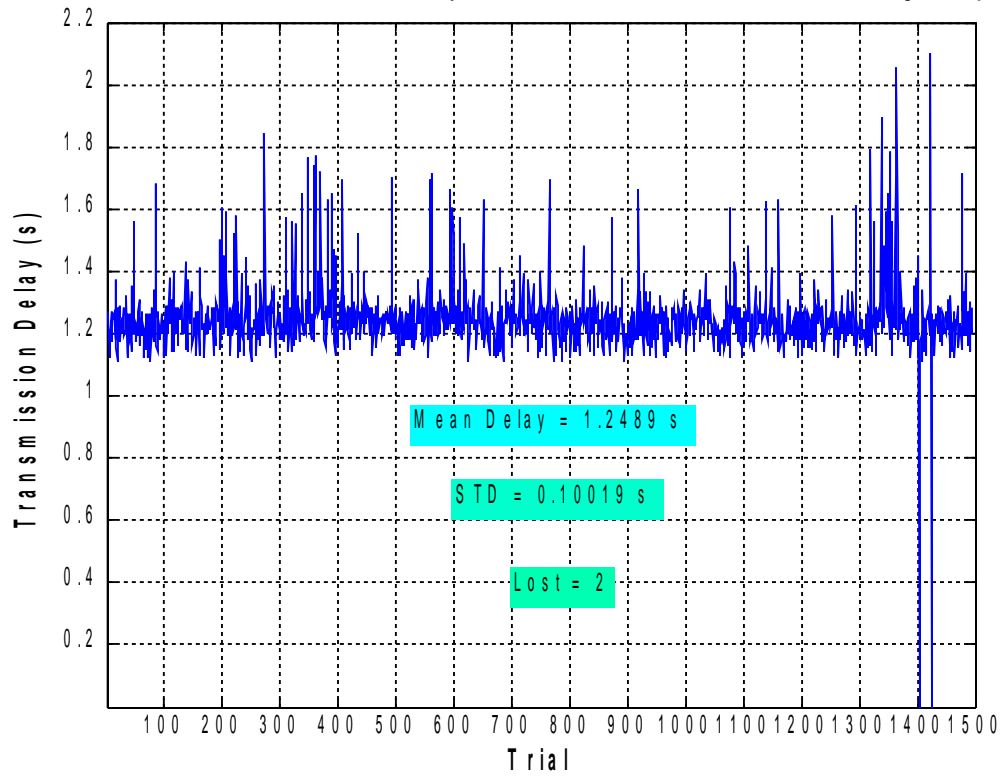
SDS-TL Transmission Delay for 130 Character Messages per 1 s



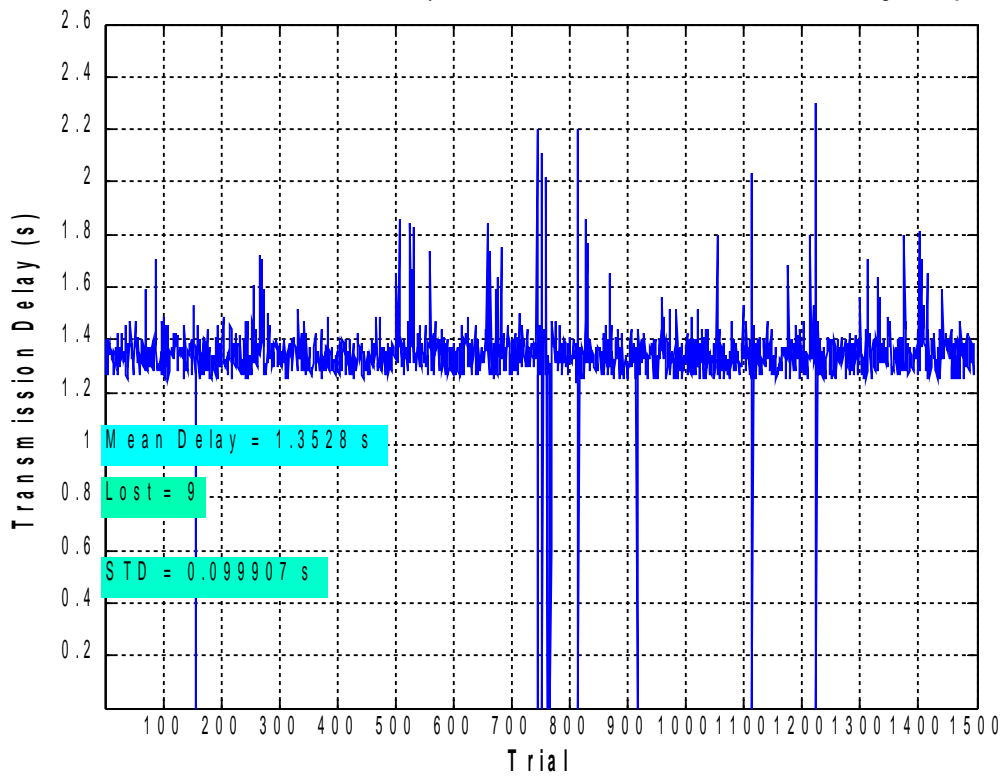
SDS-TL Transmission Delay for 135 Character Messages per 1 s



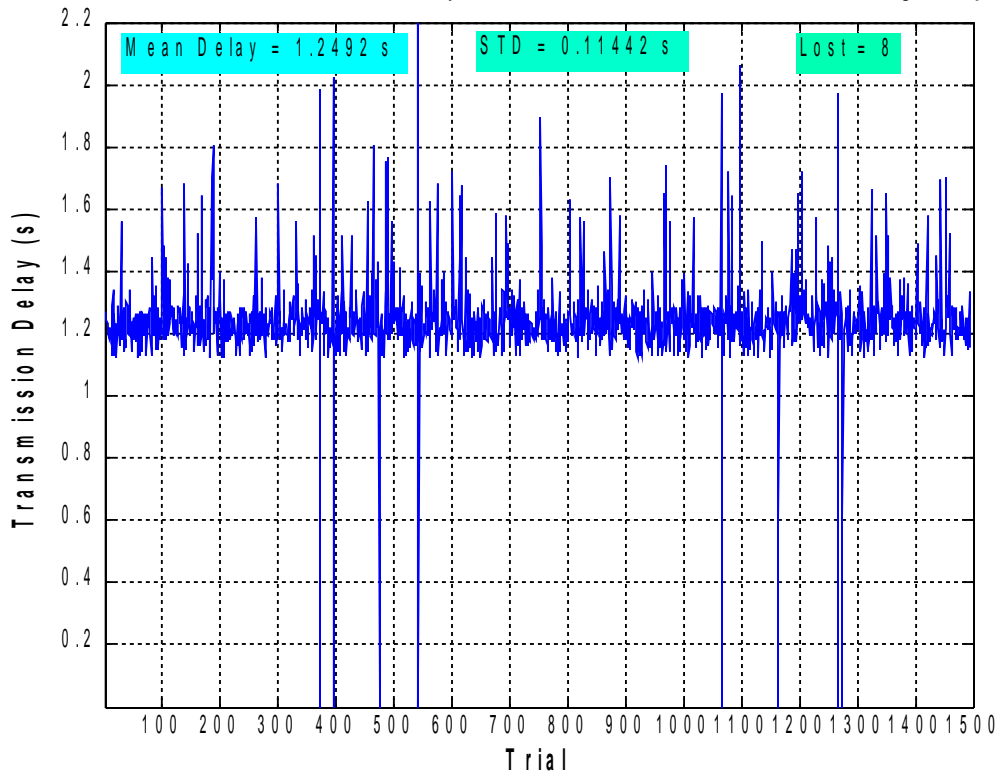
SDS-TL Transmission Delay for 140 Character Messages per 1 s



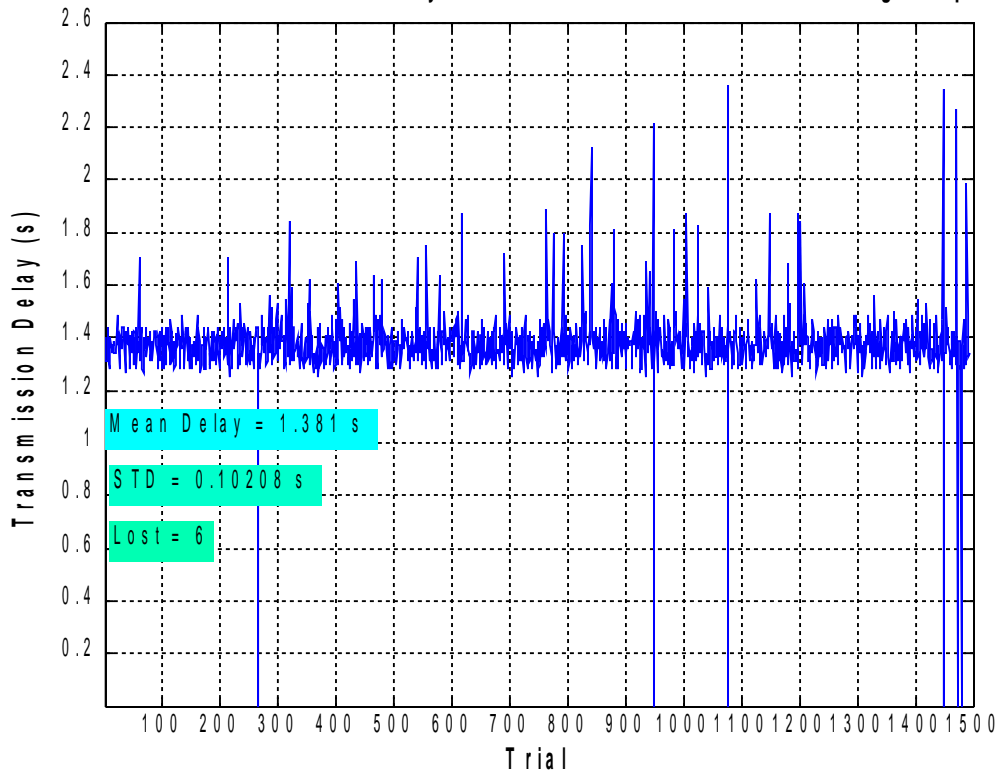
SDS-TL Transmission Delay for 145 Character Messages per 1 s



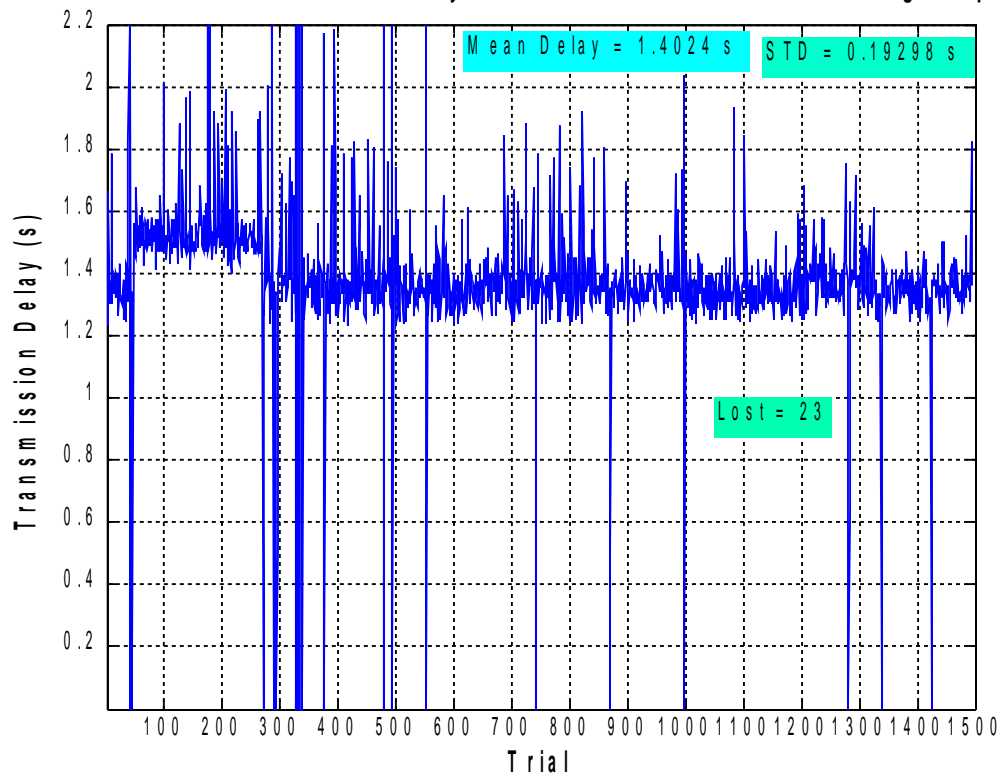
SDS-TL Transmission Delay for 150 Character Messages per 1 s



SDS-TL Transmission Delay for 155 Character Messages per 1 s

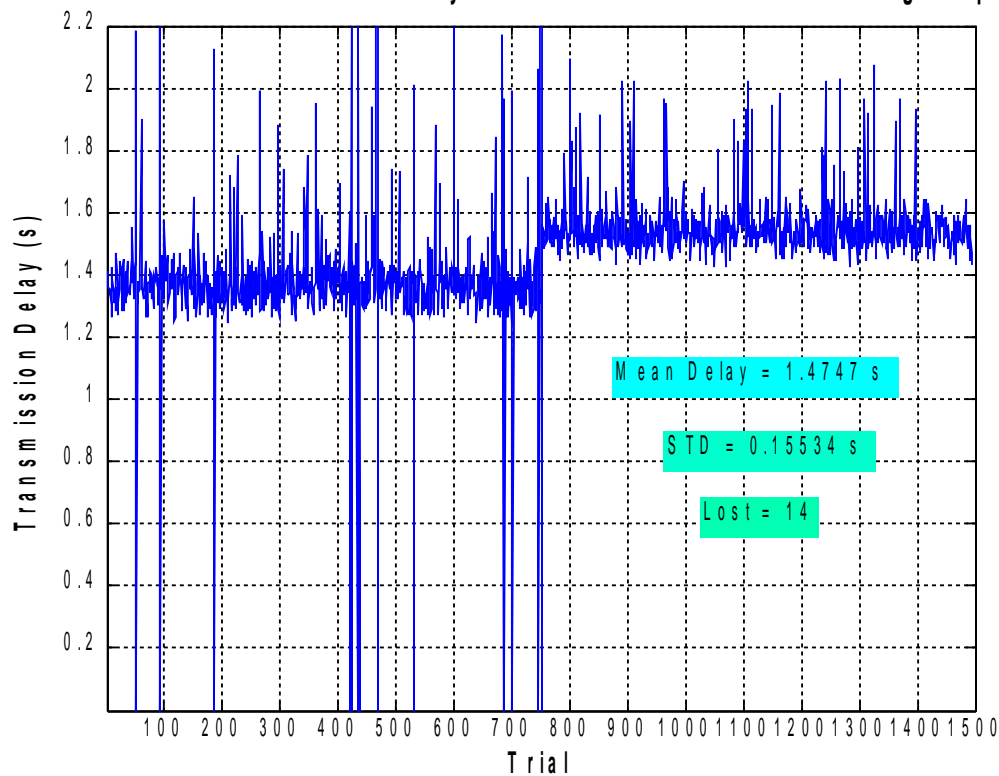


SDS-TL Transmission Delay for 160 Character Messages per 1 s



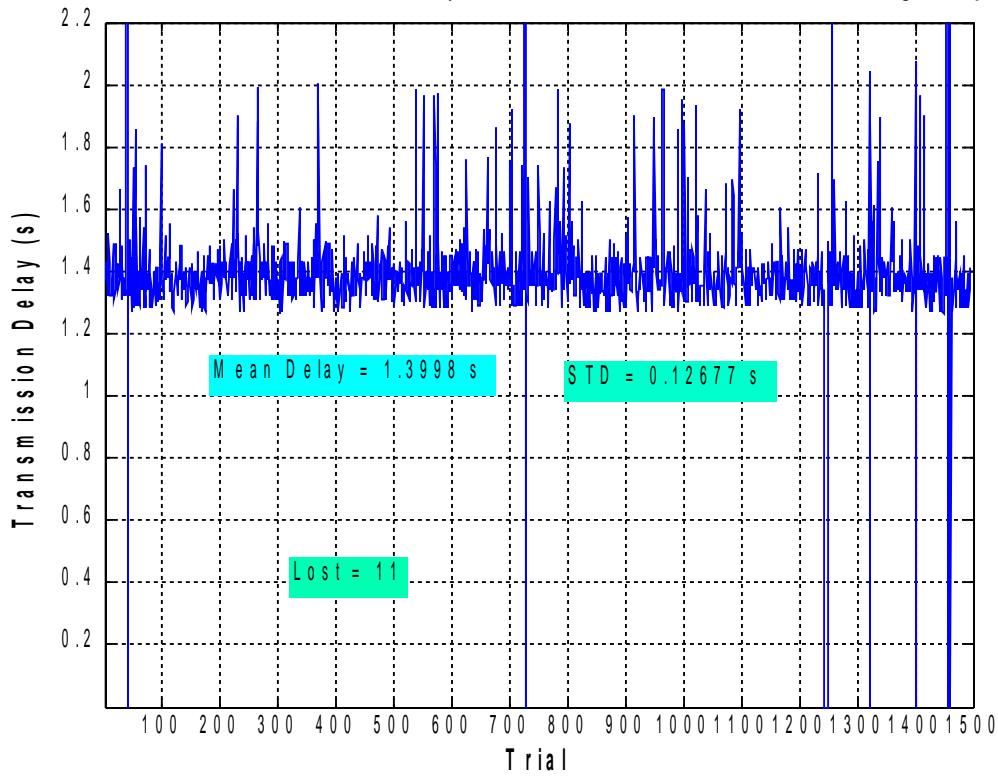
(160 χαρακτήρες : *handover* το 42 από περίπου 100^η – 200^η αποστολή των SDS και φόρτιση του 43 κοντά στην 300^η αποστολή)

SDS-TL Transmission Delay for 165 Character Messages per 1 s



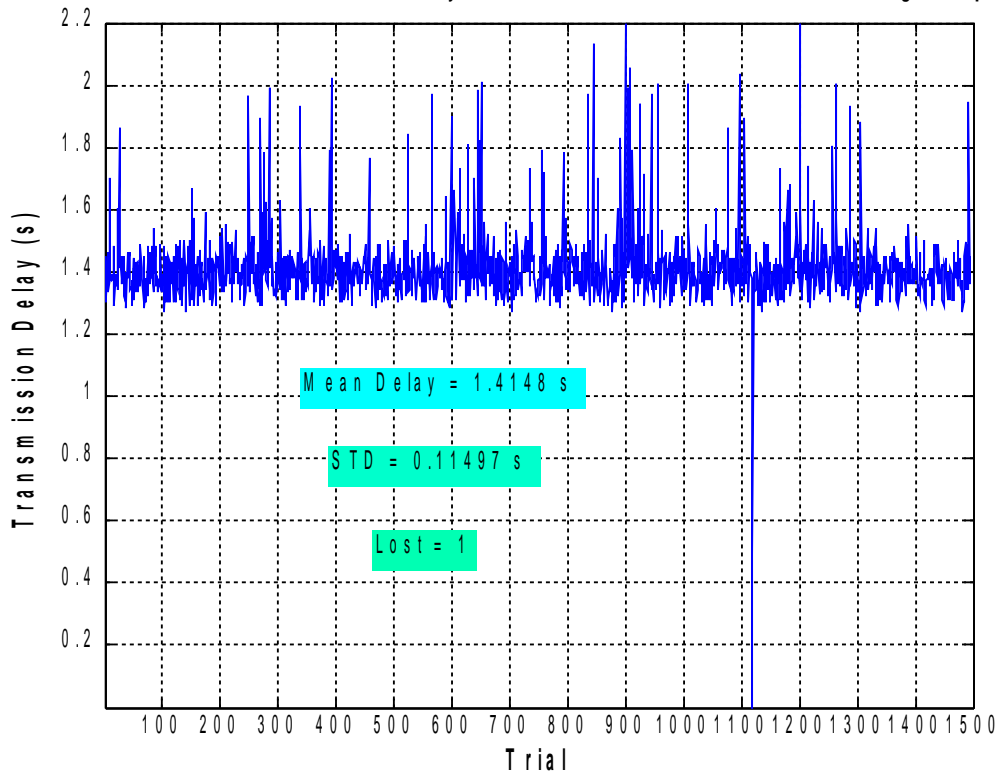
(165 χαρακτήρες : *handover* το 42 κοντά στην 770^η αποστολή του SDS)

SDS-TL Transmission Delay for 170 Character Messages per 1 s

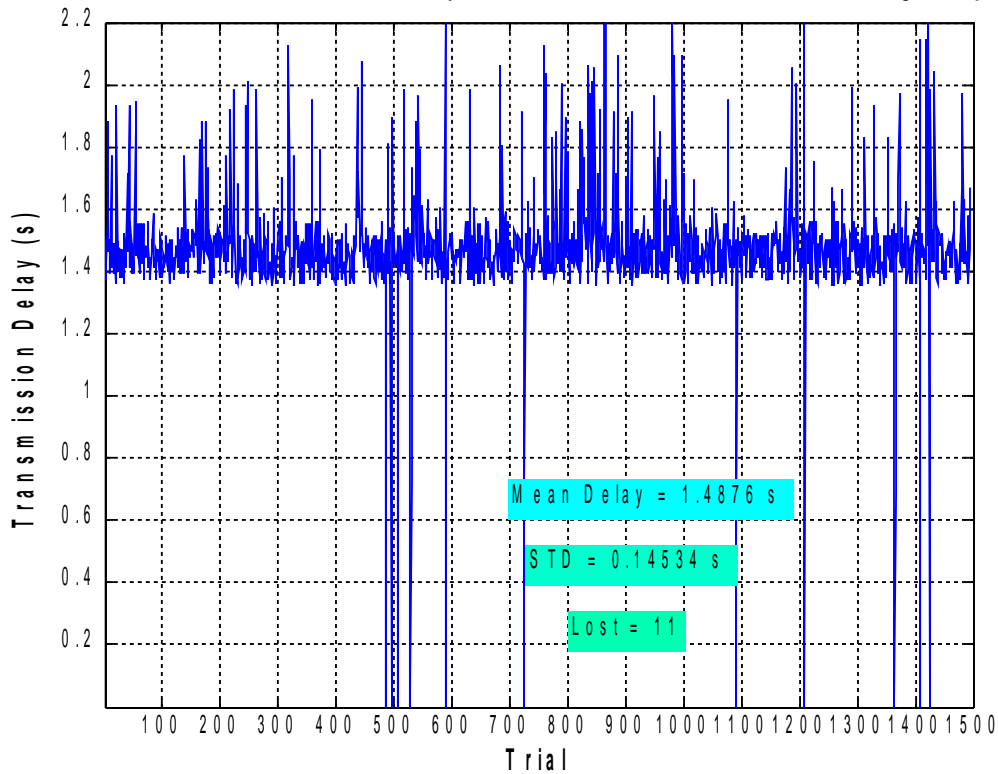


(170 χαρακτήρες : Ασθενές σήμα λόγω συνεχών αλλαγών θέσης των τερματικών περίπου στην 1400^η – 1500^η αποστολή των SDS)

SDS-TL Transmission Delay for 175 Character Messages per 1 s

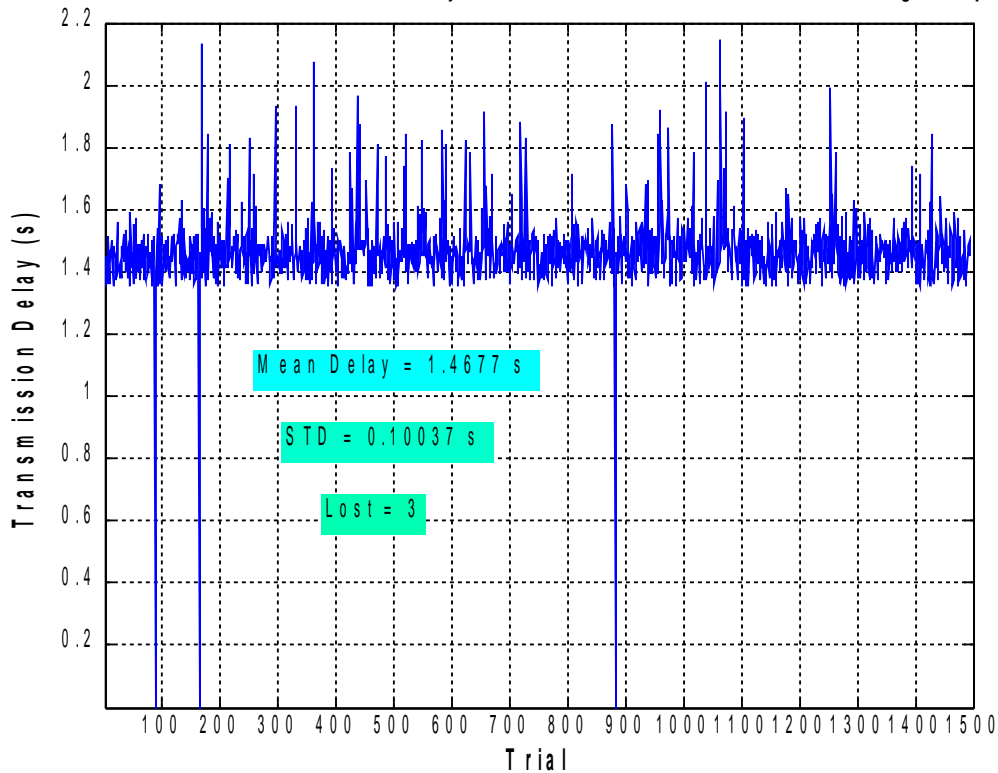


SDS-TL Transmission Delay for 180 Character Messages per 1 s



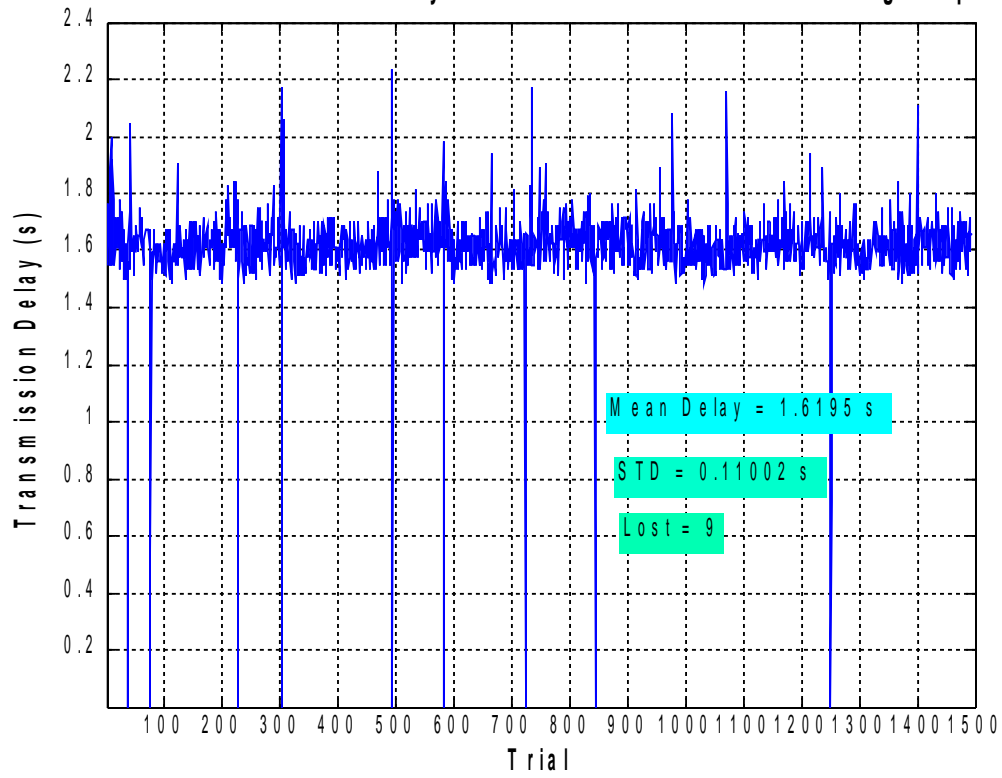
(180 χαρακτήρες : Φόρτιση του τερματικού 42 κοντά στο 550° SDS και φόρτιση του τερματικού 43 κοντά στο 660° SDS)

SDS-TL Transmission Delay for 185 Character Messages per 1 s



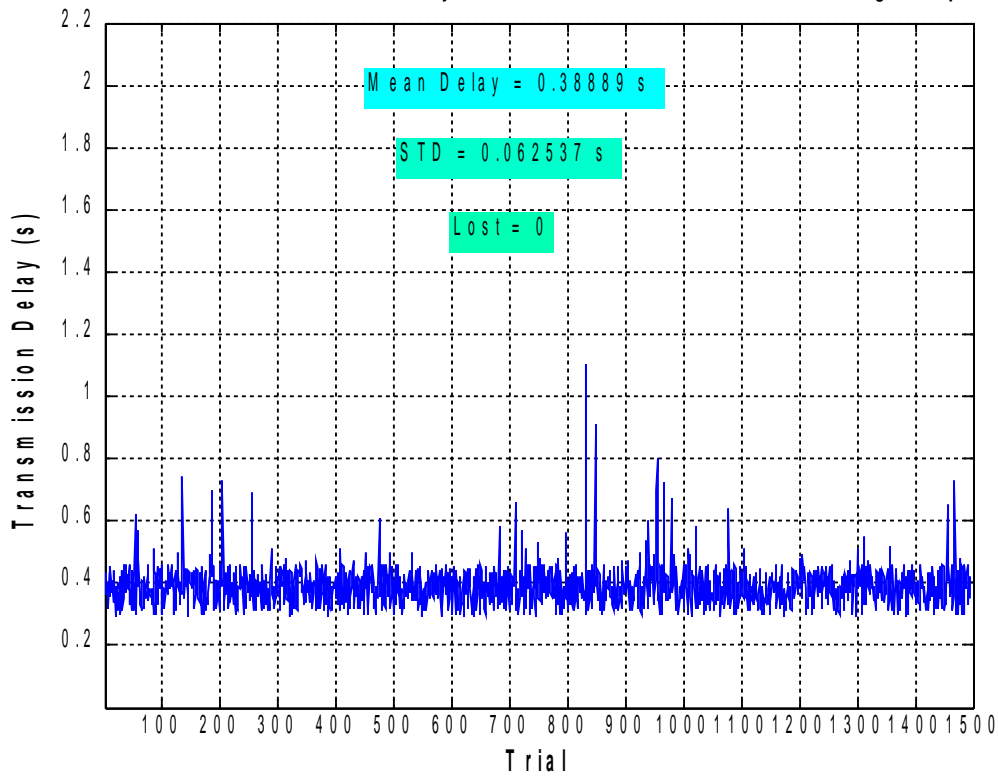
(185 χαρακτήρες : Φόρτιση του τερματικού 42 κοντά στο 100° SDS και φόρτιση του τερματικού 43 κοντά στο 400° SDS)

SDS-TL Transmission Delay for 190 Character Messages per 1 s

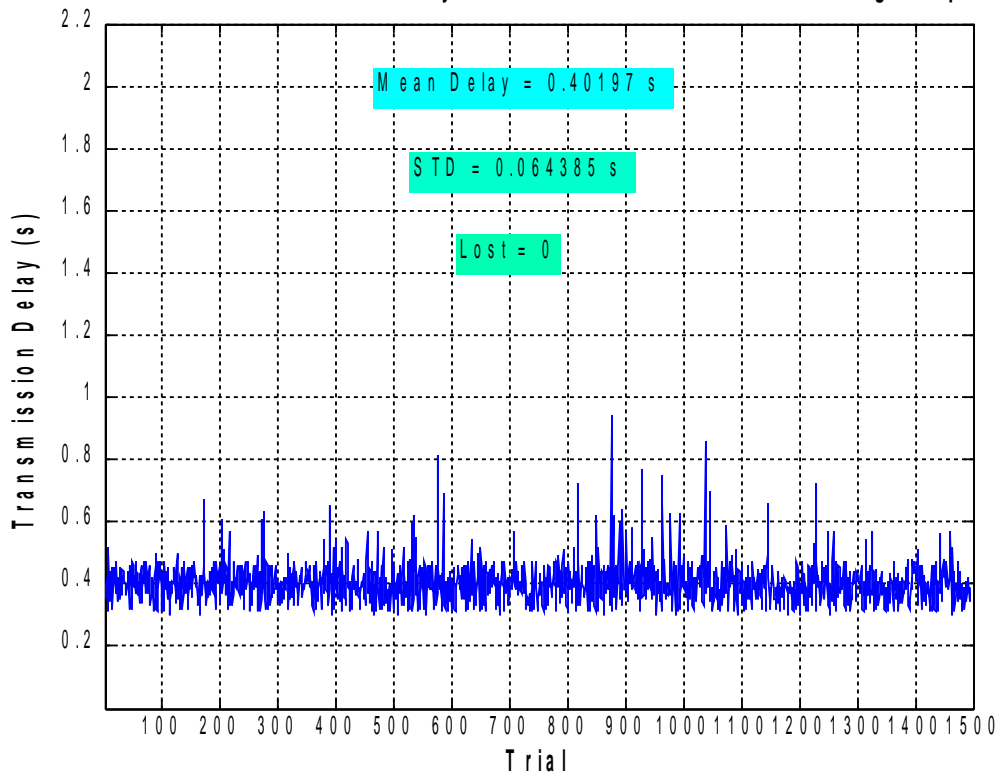


5.B. Αποστολή SDS ανά 1.5 δευτερόλεπτο

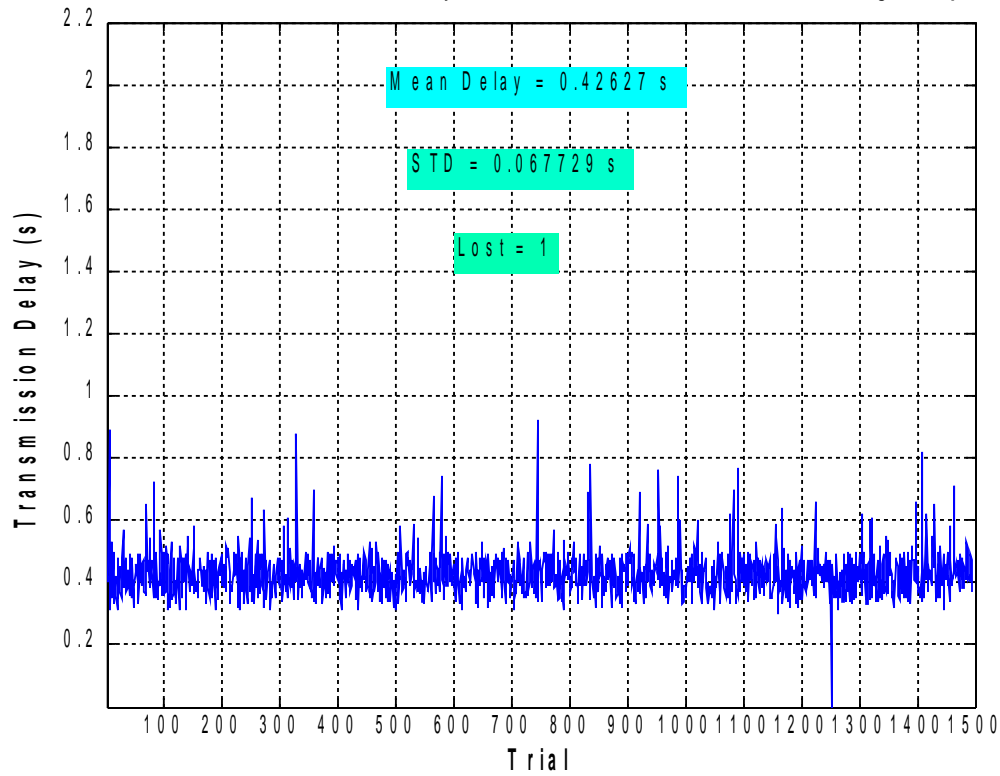
SDS-TL Transmission Delay for 10 Character Messages per 1.5 s



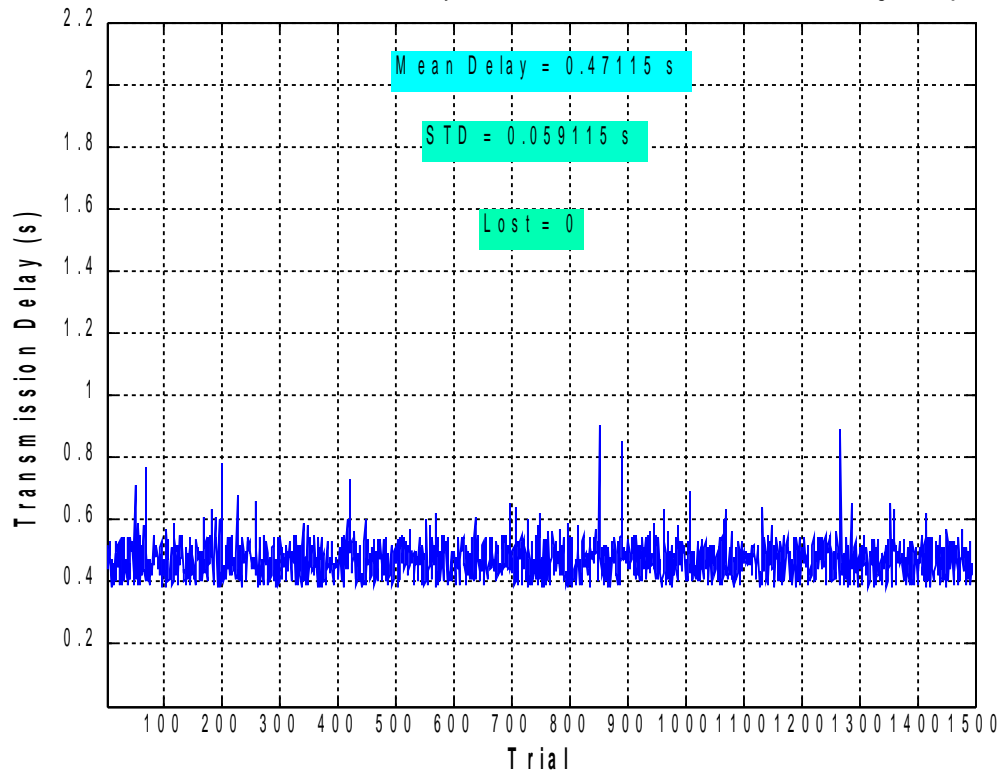
SDS-TL Transmission Delay for 15 Character Messages per 1.5 s



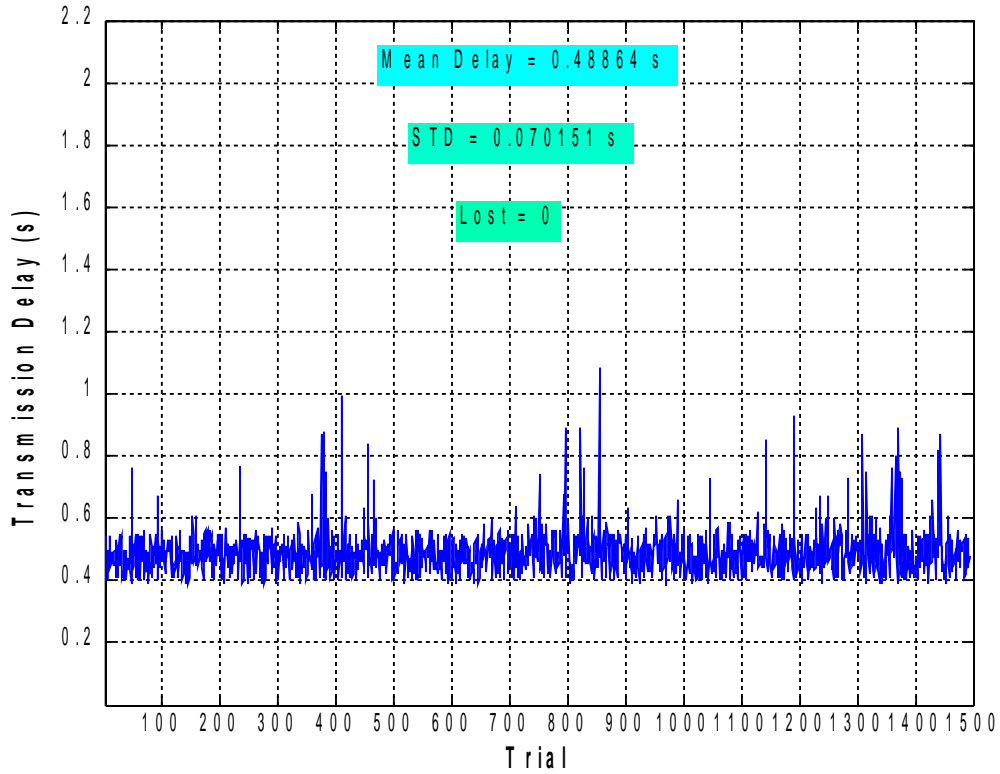
SDS-TL Transmission Delay for 20 Character Messages per 1.5 s



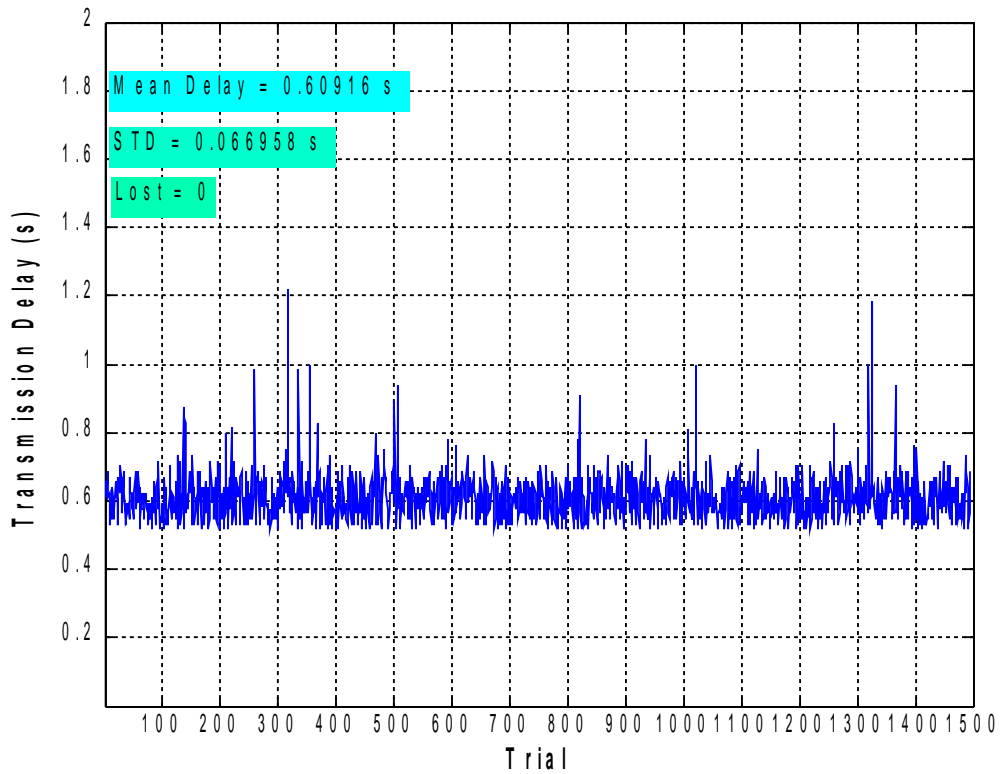
SDS-TL Transmission Delay for 25 Character Messages per 1.5 s



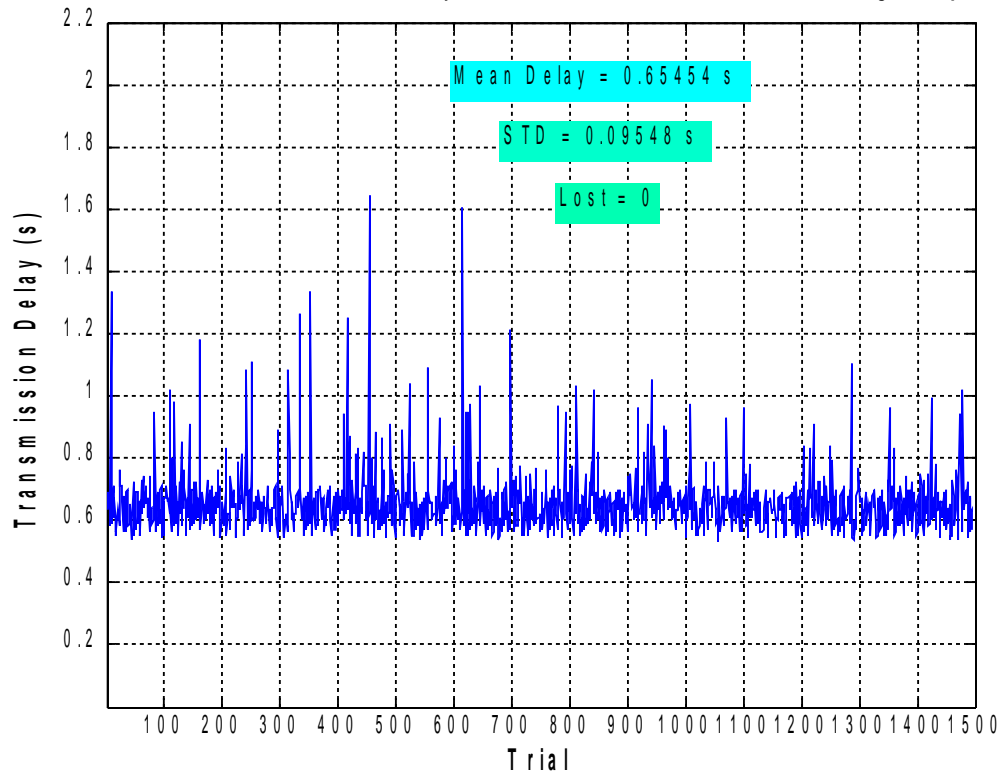
SDS-TL Transmission Delay for 30 Character Messages per 1.5 s



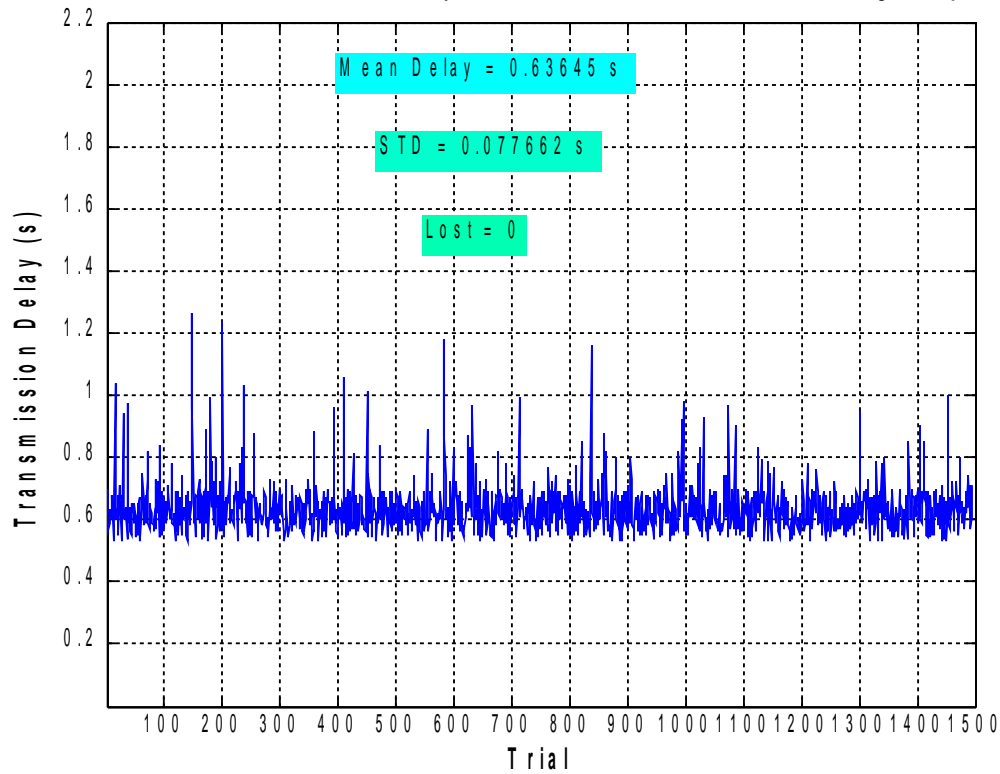
SDS-TL Transmission Delay for 35 Character Messages per 1.5 s



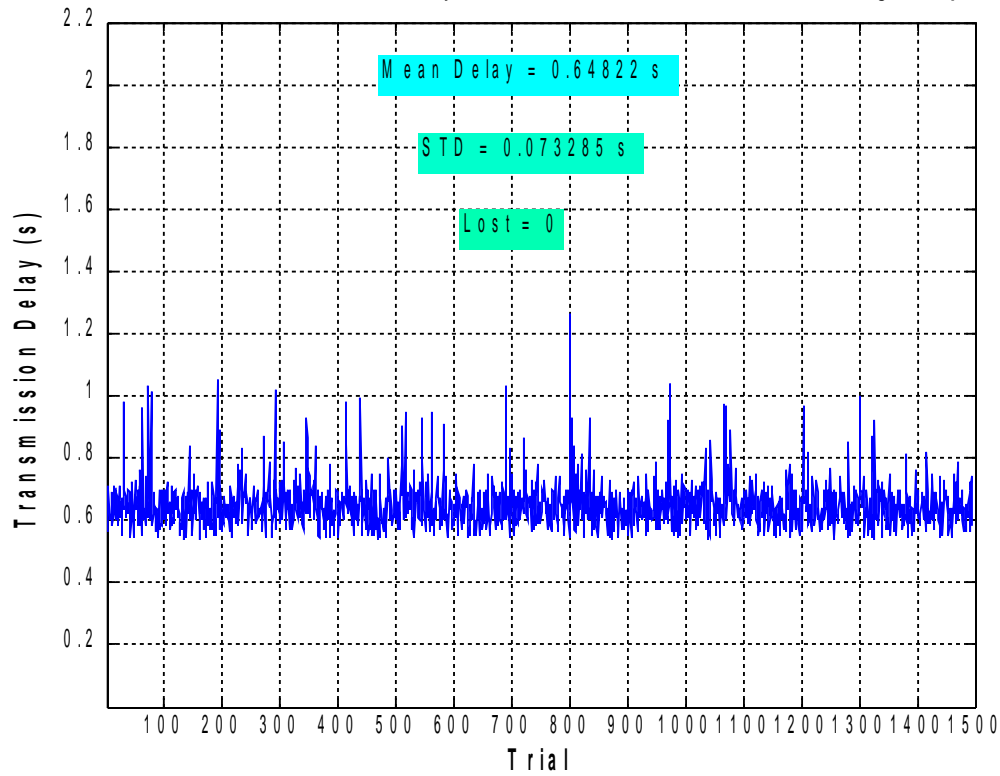
SDS-TL Transmission Delay for 40 Character Messages per 1.5 s



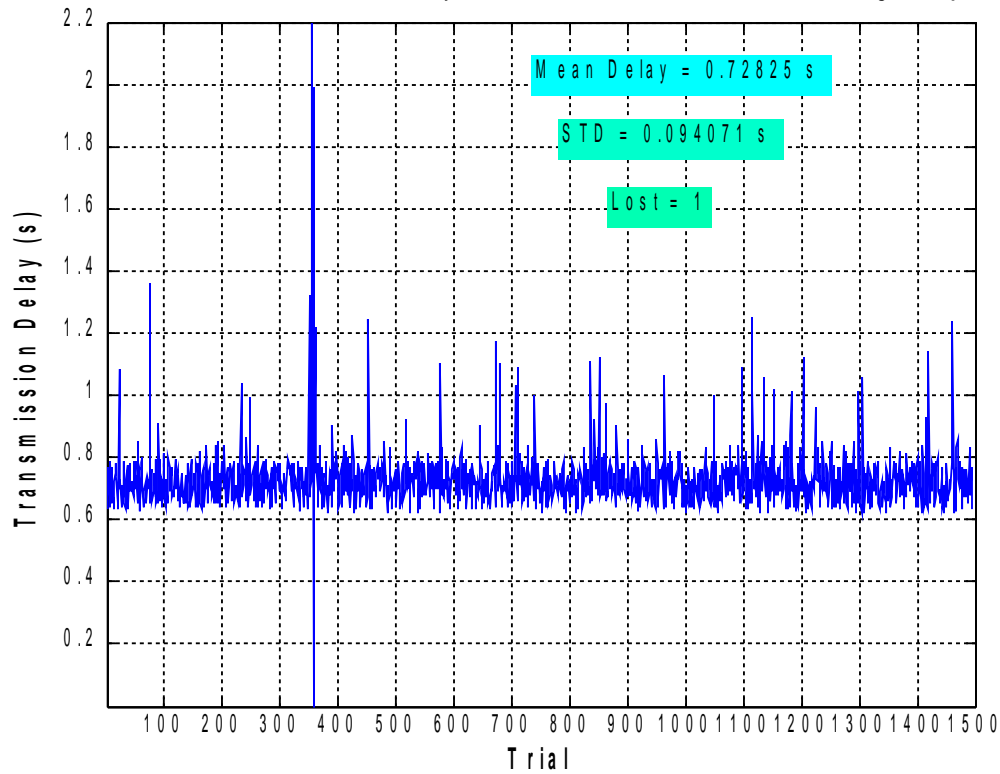
SDS-TL Transmission Delay for 45 Character Messages per 1.5 s



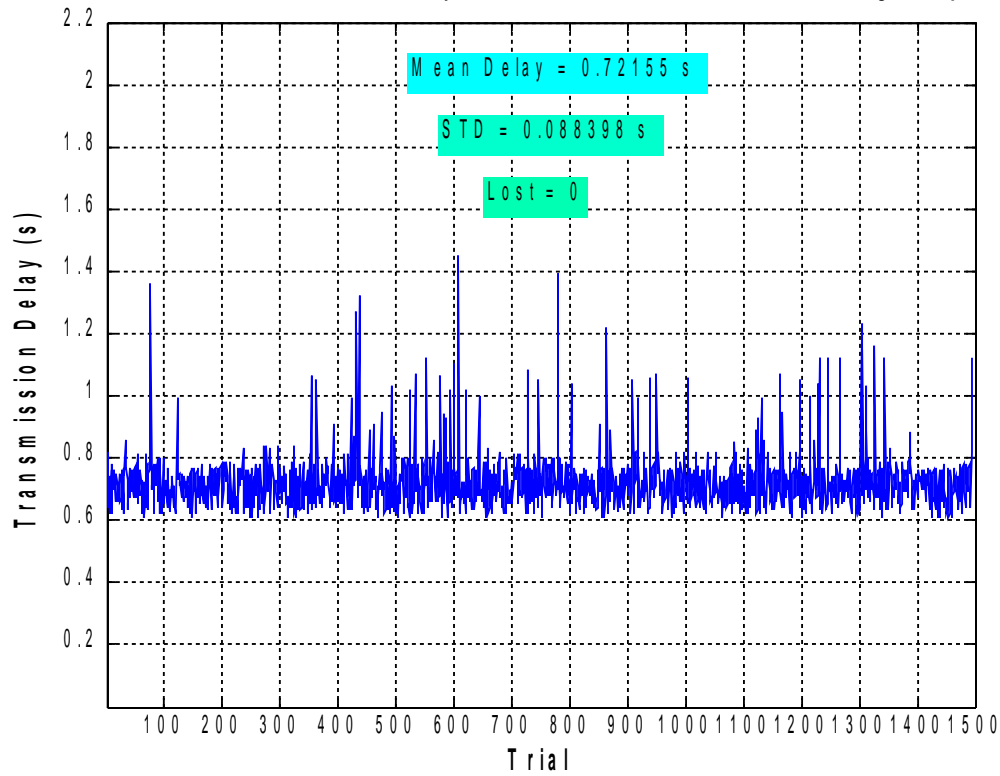
SDS-TL Transmission Delay for 50 Character Messages per 1.5 s



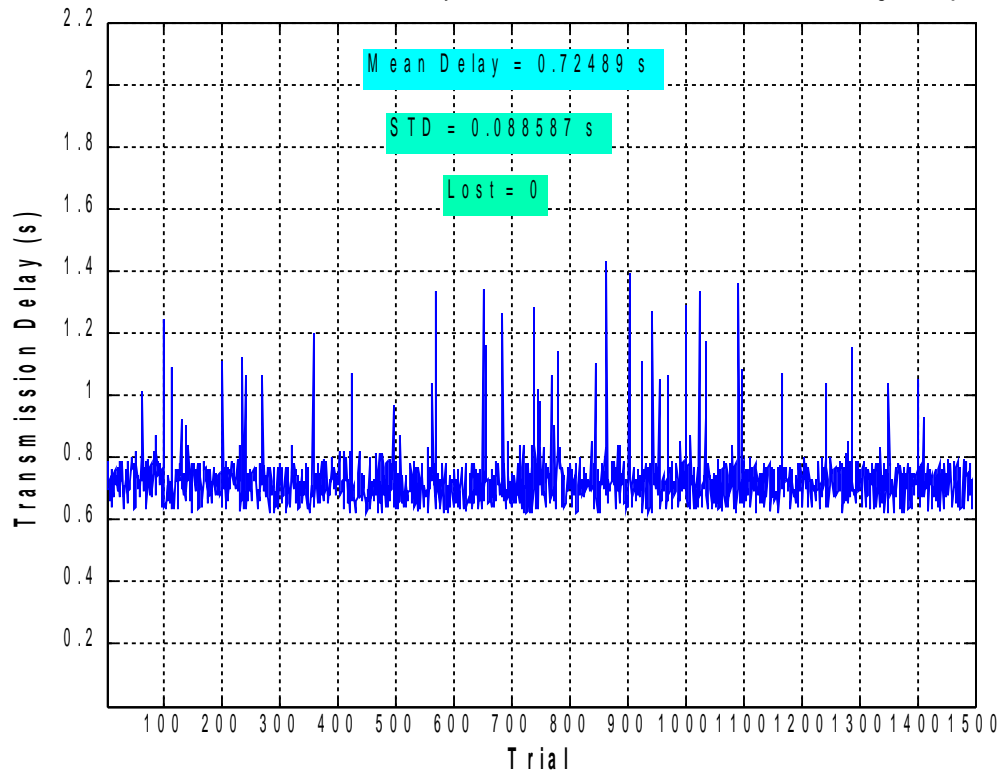
SDS-TL Transmission Delay for 55 Character Messages per 1.5 s



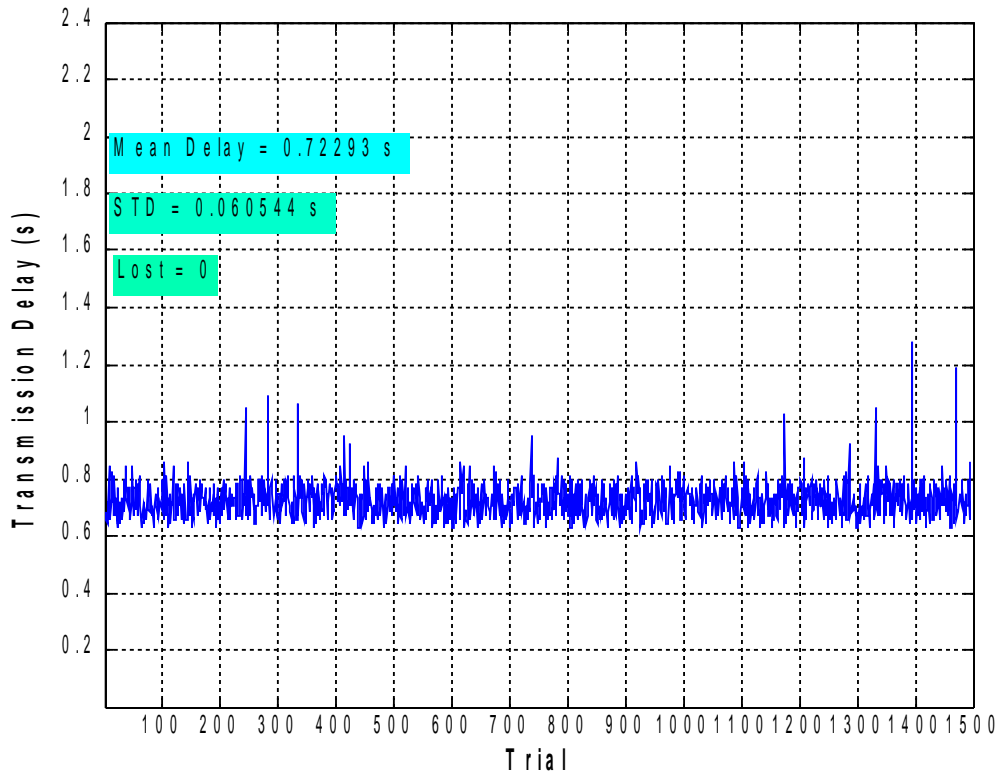
SDS-TL Transmission Delay for 60 Character Messages per 1.5 s



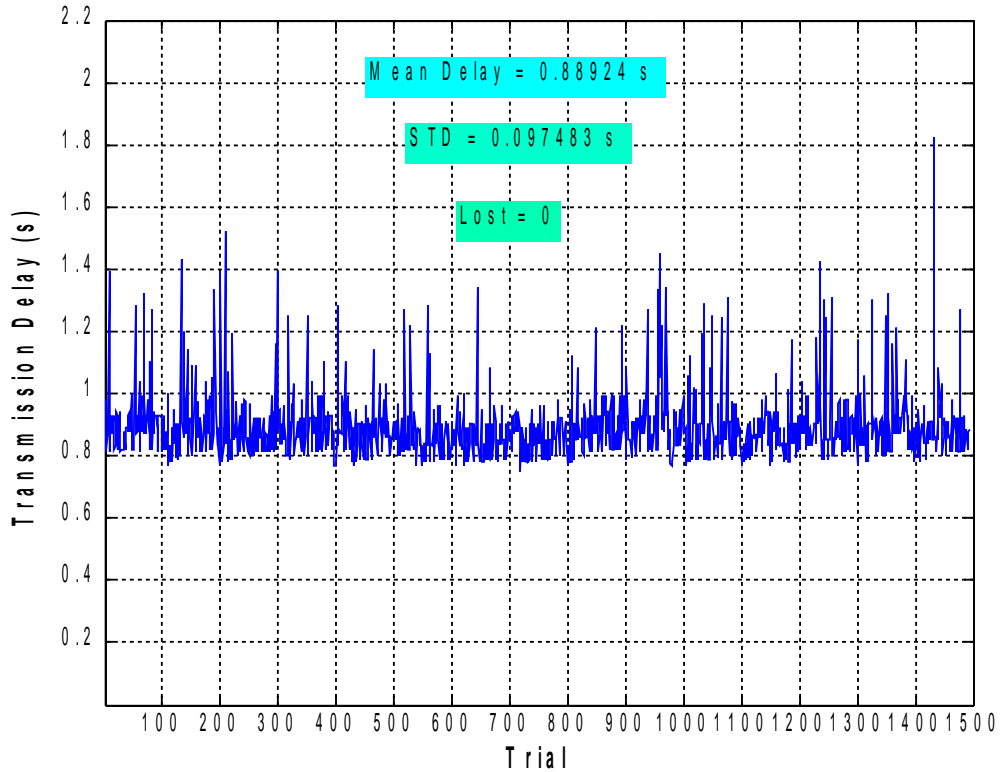
SDS-TL Transmission Delay for 65 Character Messages per 1.5 s



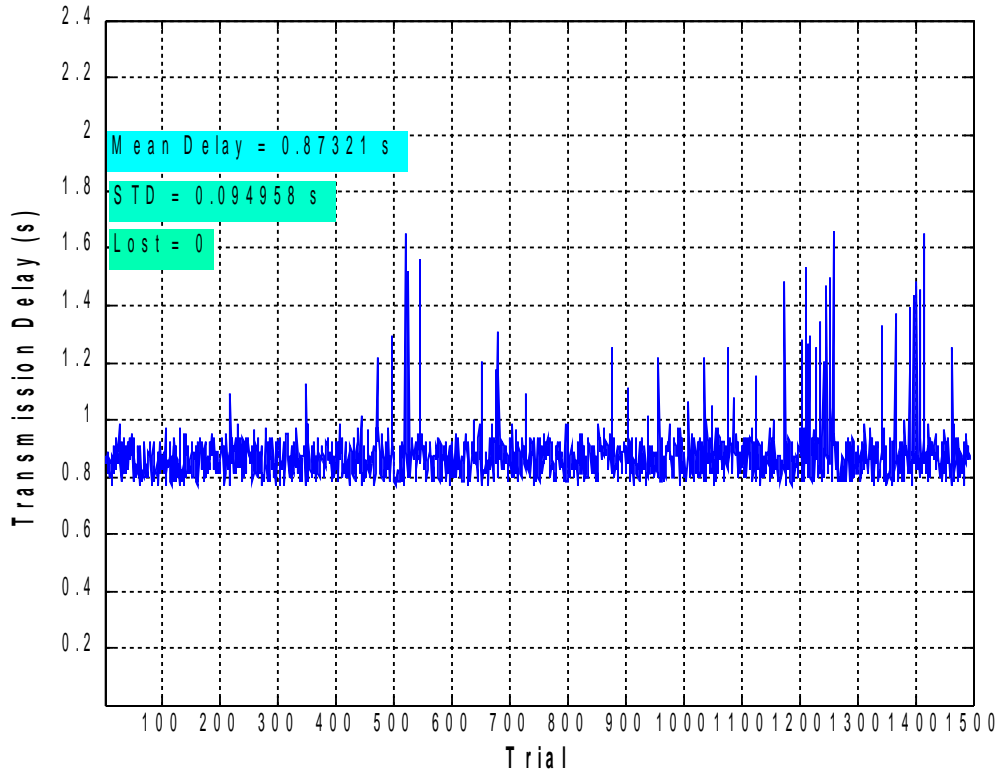
SDS-TL Transmission Delay for 70 Character Messages per 1.5 s



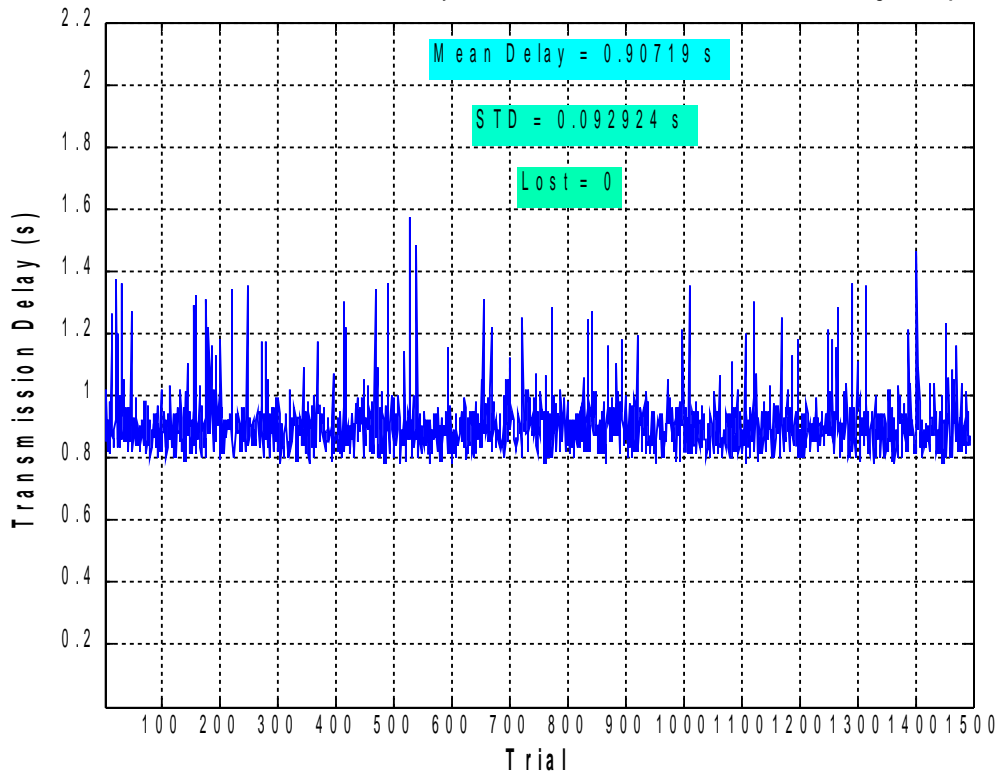
SDS-TL Transmission Delay for 75 Character Messages per 1.5 s



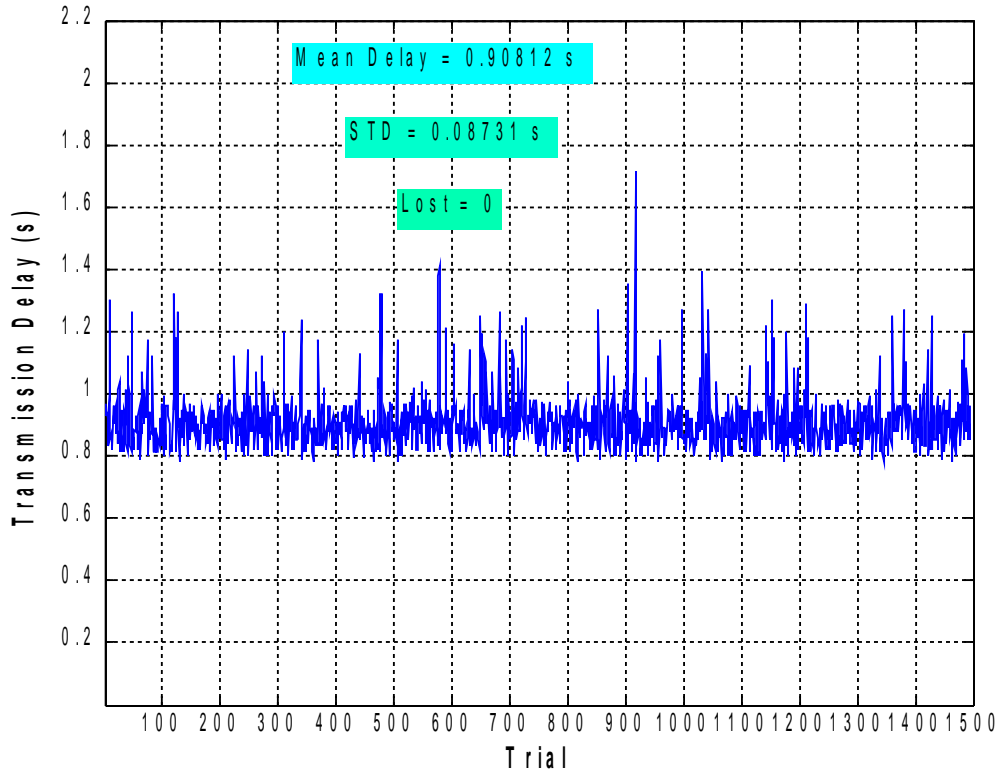
SDS-TL Transmission Delay for 80 Character Messages per 1.5 s



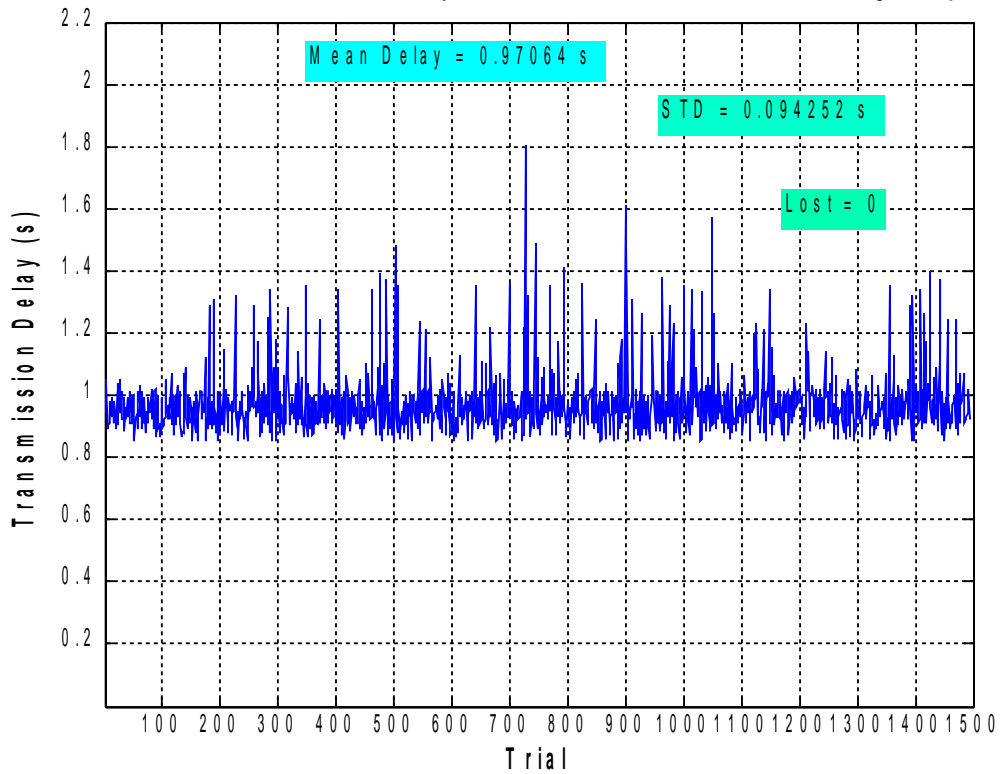
SDS-TL Transmission Delay for 85 Character Messages per 1.5 s



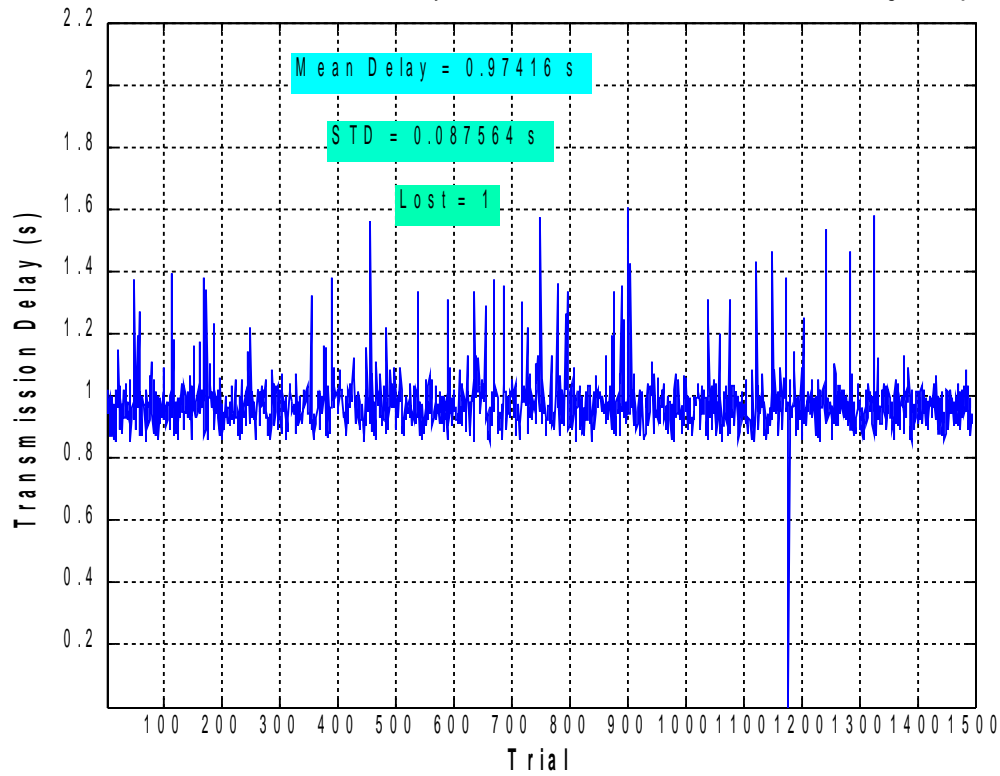
SDS-TL Transmission Delay for 90 Character Messages per 1.5 s



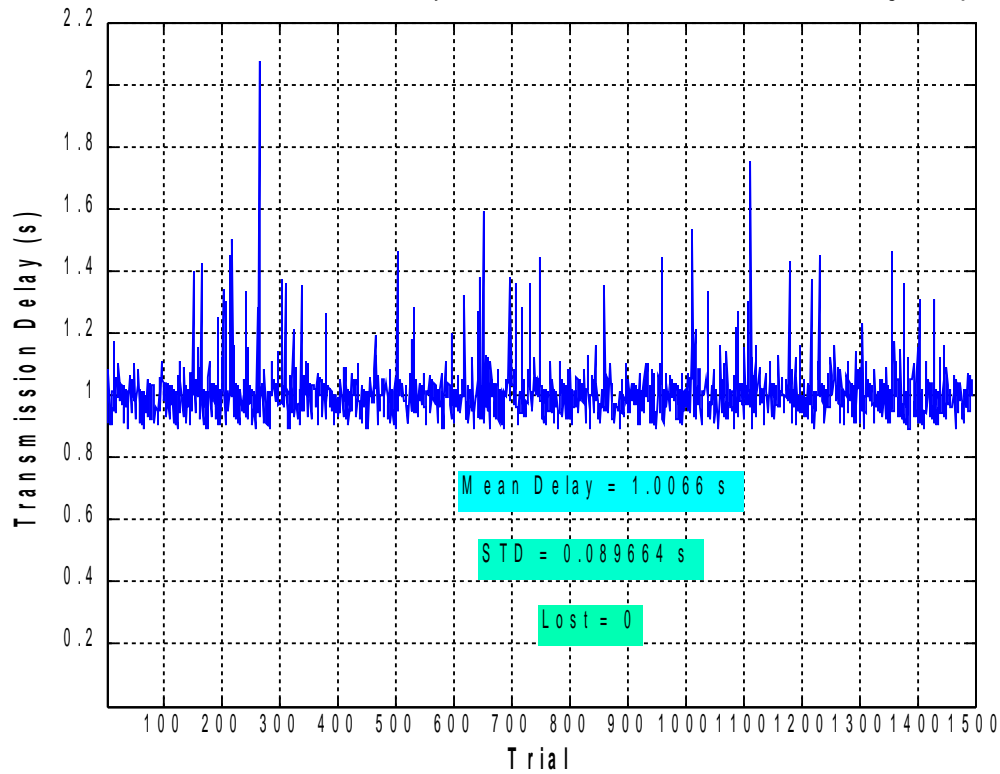
SDS-TL Transmission Delay for 95 Character Messages per 1.5 s



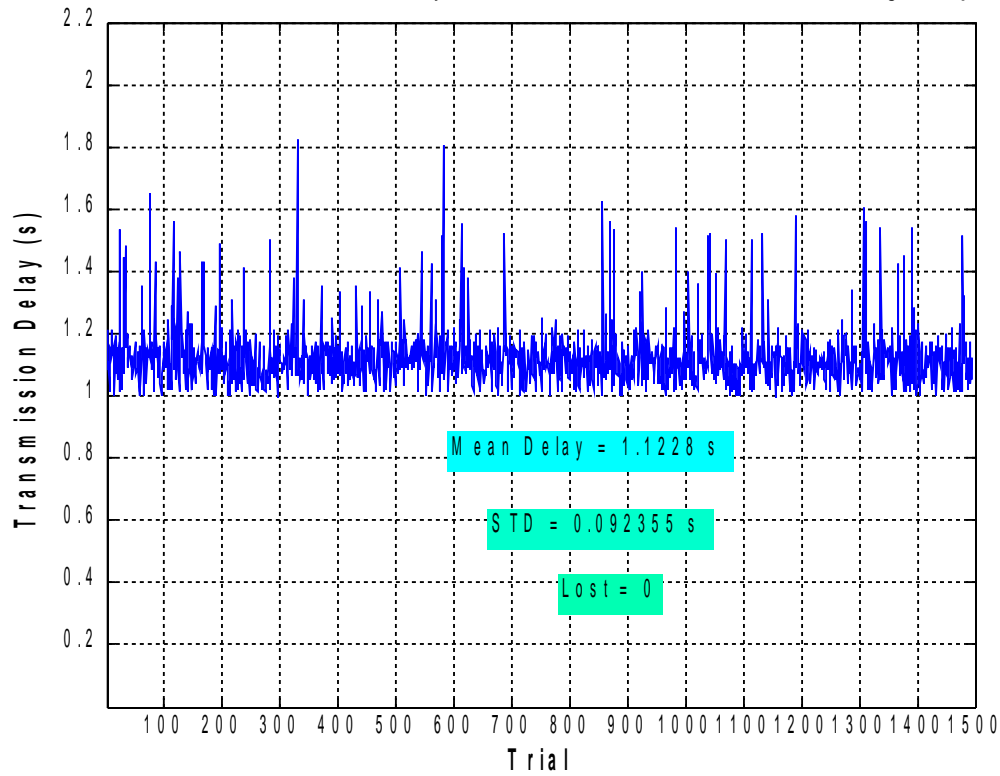
SDS-TL Transmission Delay for 100 Character Messages per 1.5



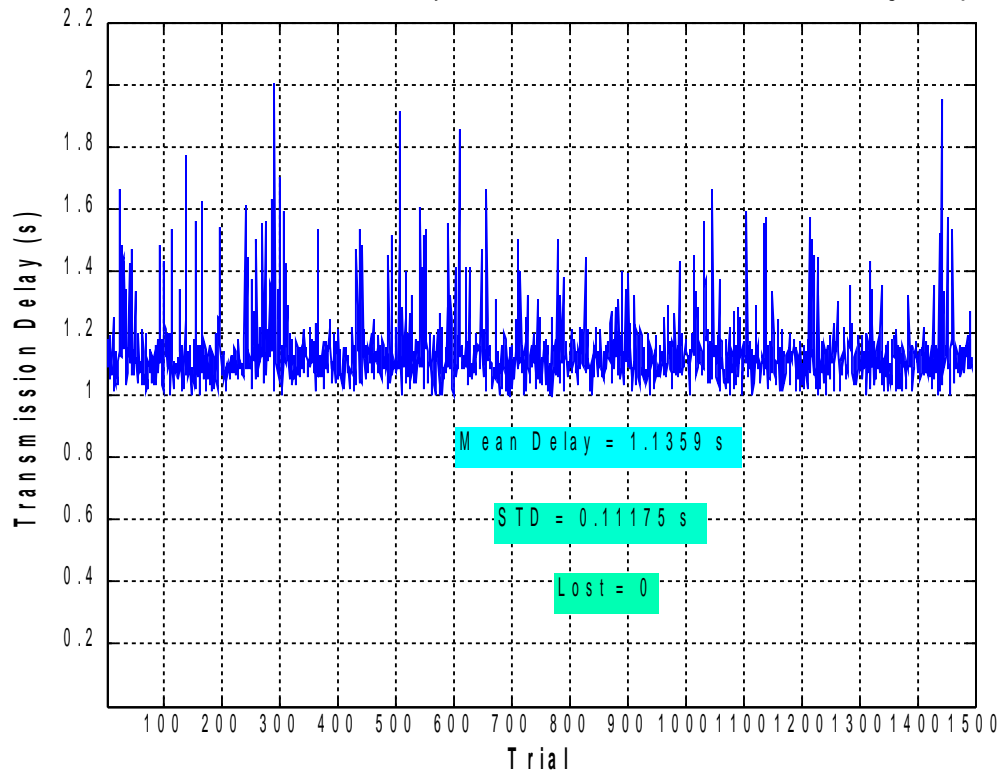
SDS-TL Transmission Delay for 105 Character Messages per 1.5



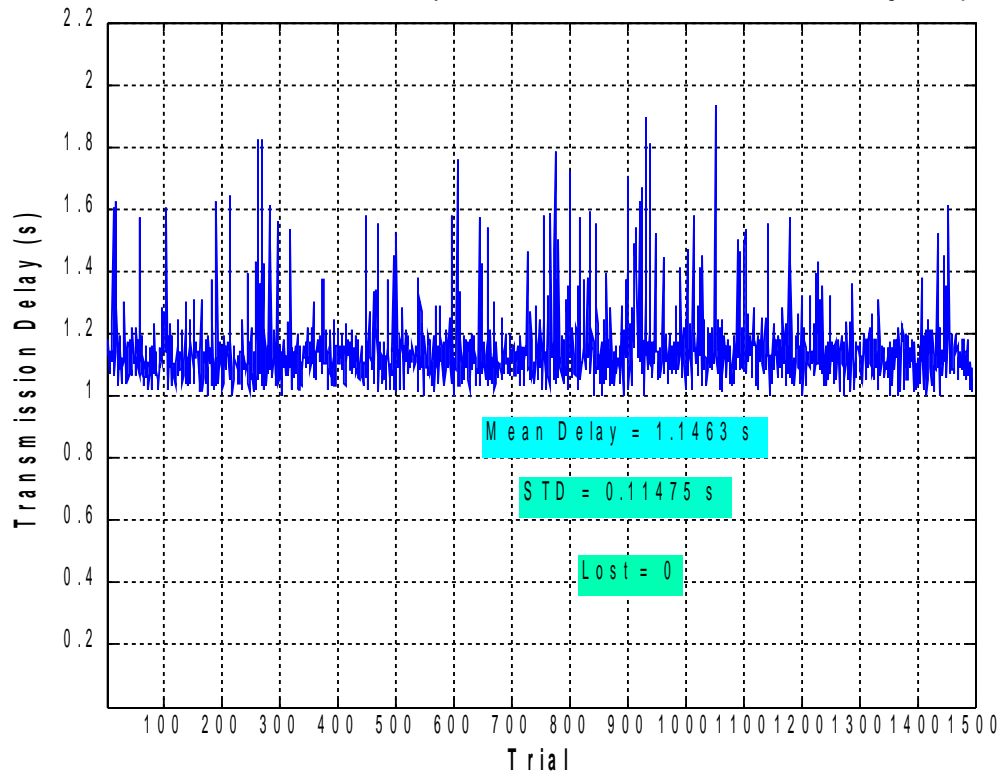
SDS-TL Transmission Delay for 110 Character Messages per 1.5



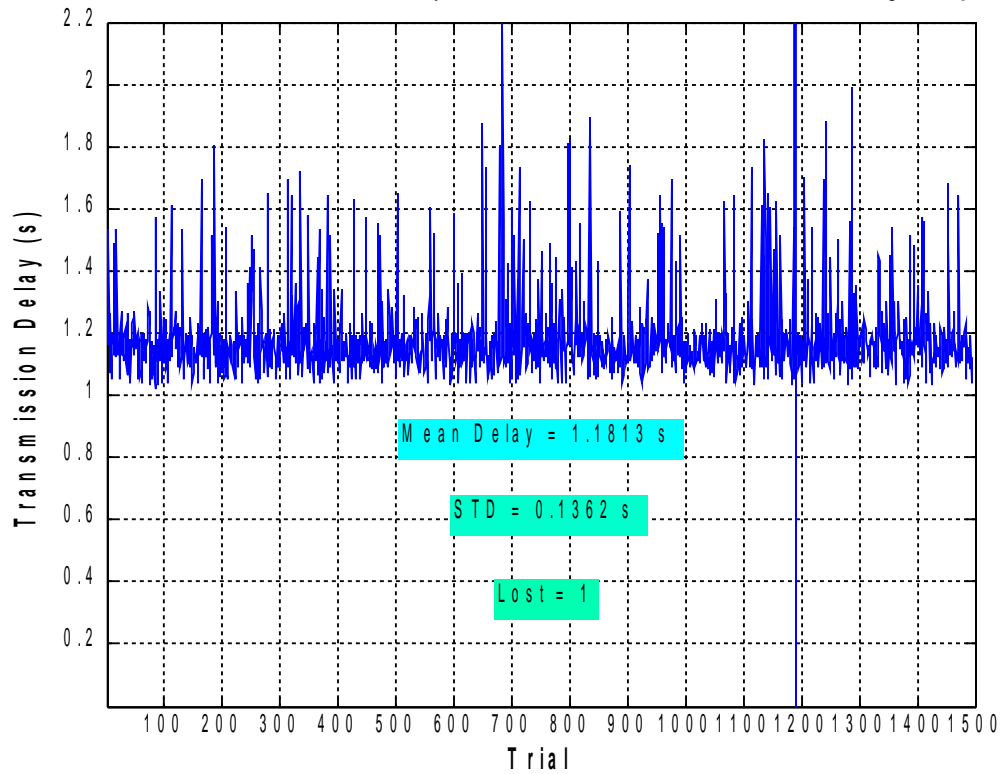
SDS-TL Transmission Delay for 115 Character Messages per 1.5



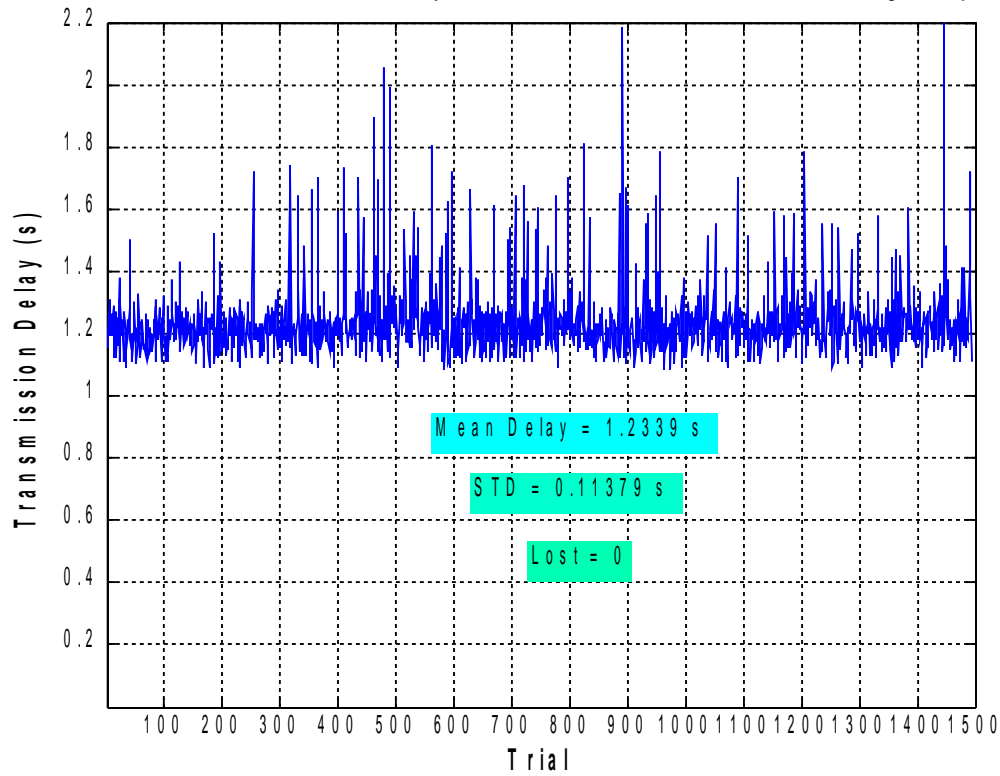
SDS-TL Transmission Delay for 120 Character Messages per 1.5



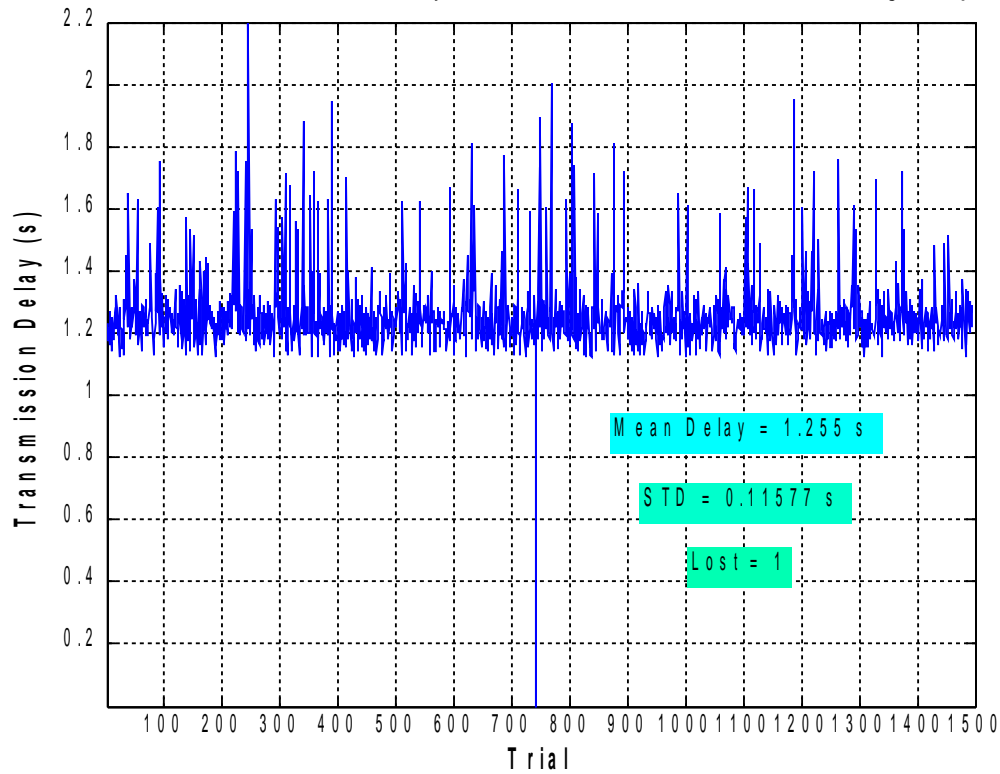
SDS-TL Transmission Delay for 125 Character Messages per 1.5



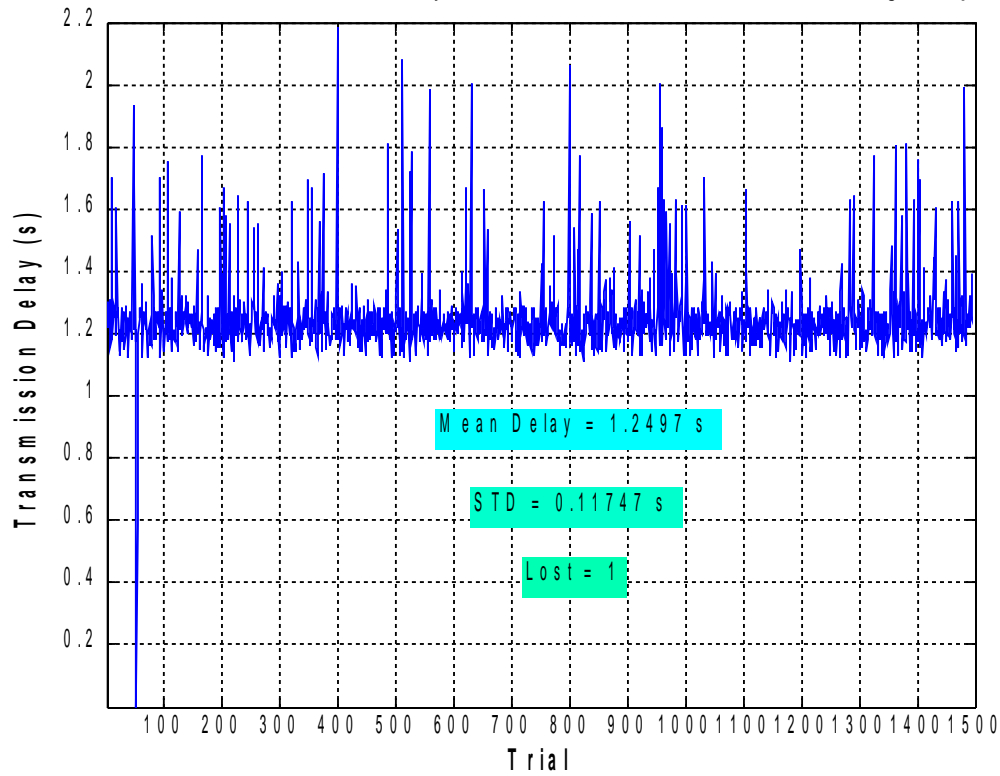
SDS-TL Transmission Delay for 130 Character Messages per 1.5



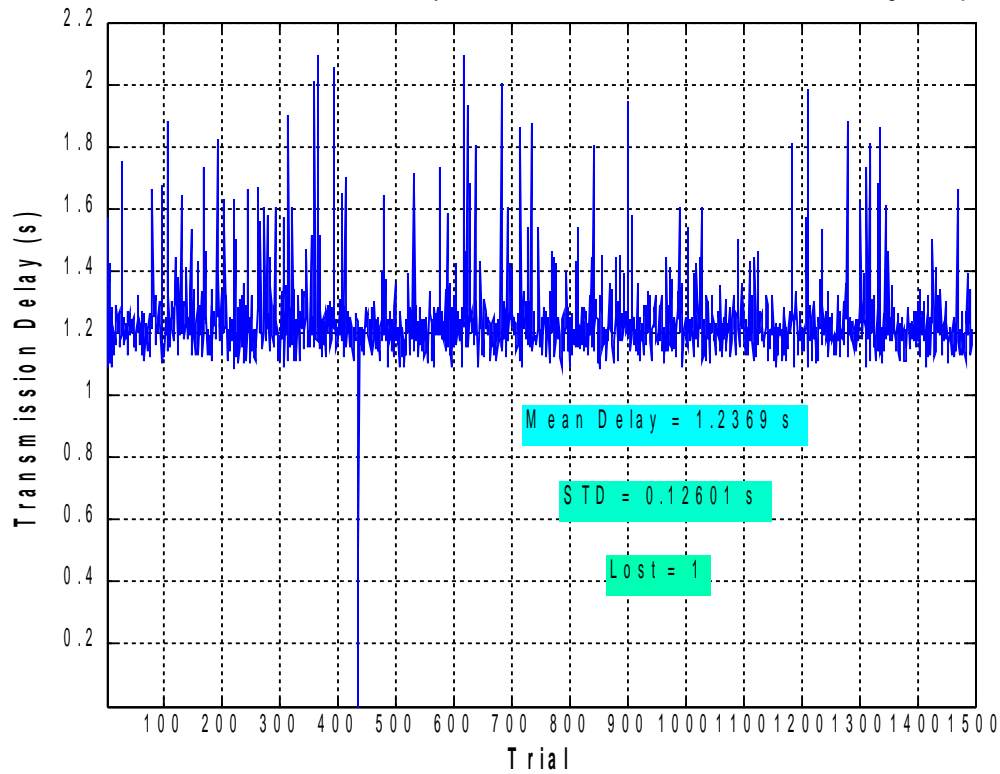
SDS-TL Transmission Delay for 135 Character Messages per 1.5



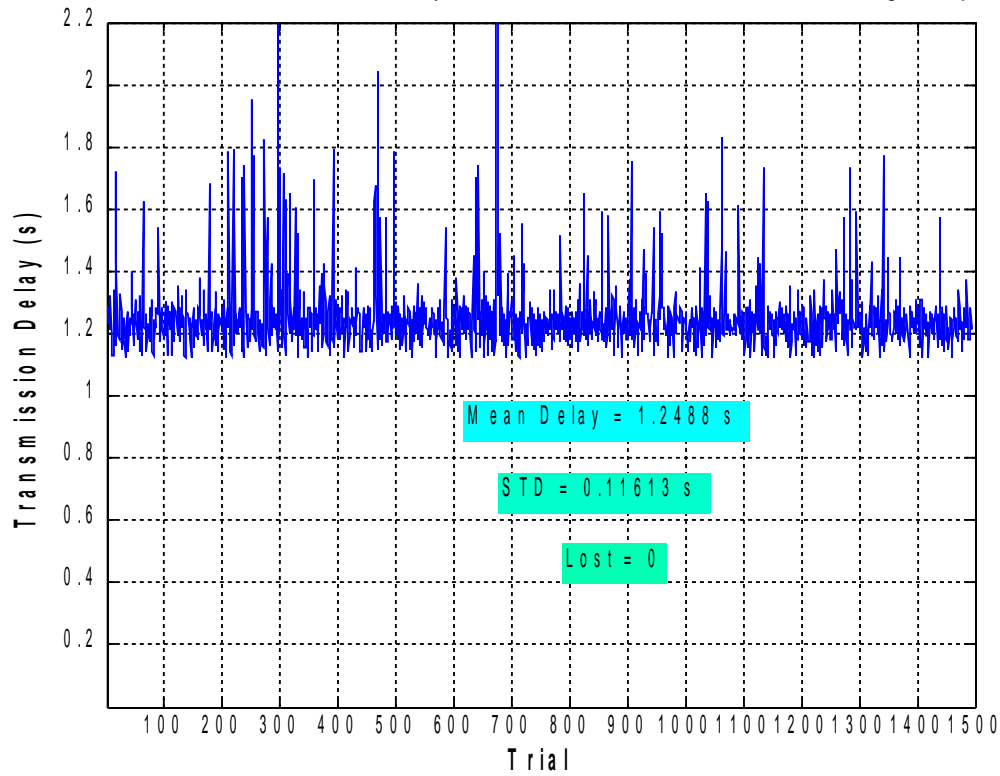
SDS-TL Transmission Delay for 140 Character Messages per 1.5



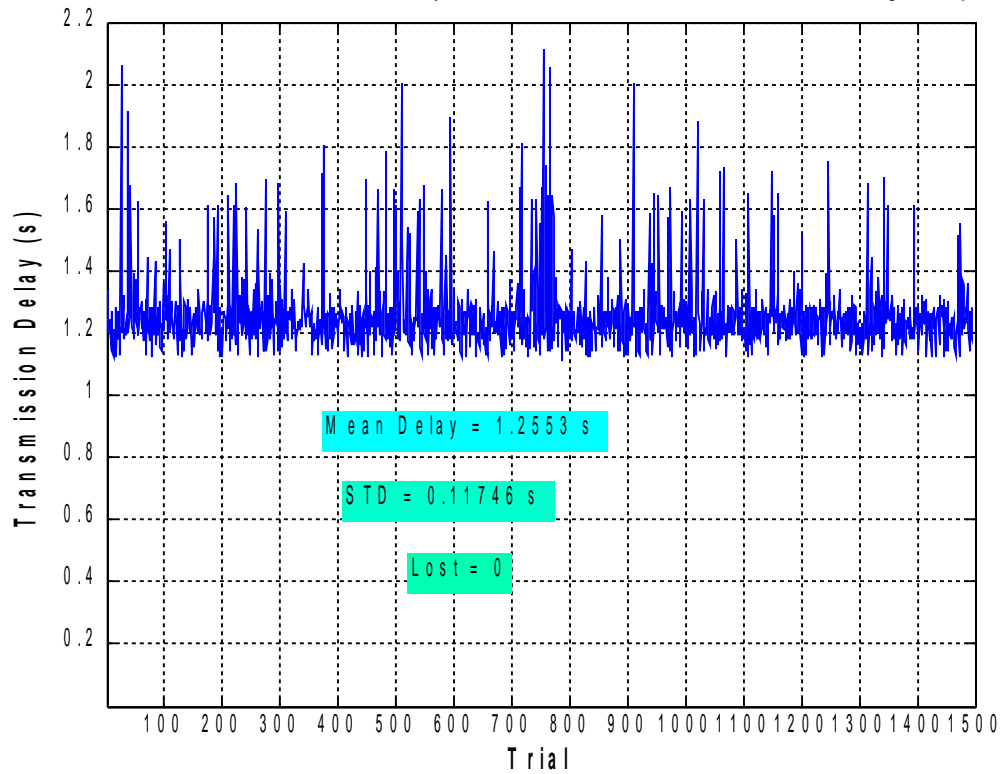
SDS-TL Transmission Delay for 145 Character Messages per 1.5



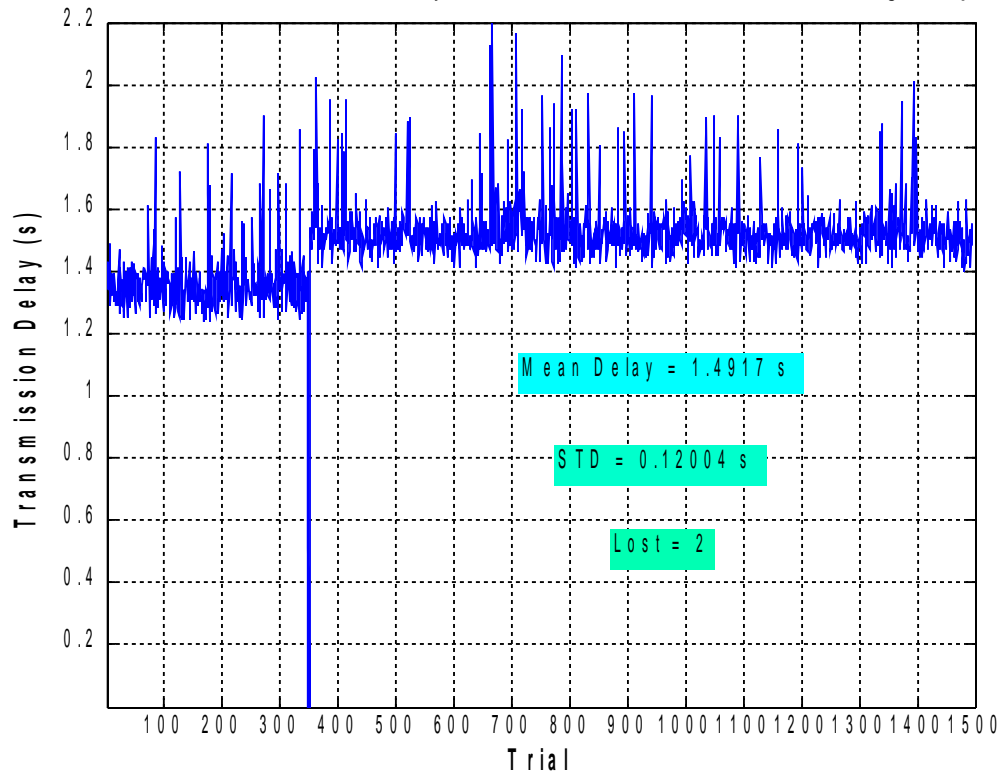
SDS-TL Transmission Delay for 150 Character Messages per 1.5



SDS-TL Transmission Delay for 155 Character Messages per 1.5

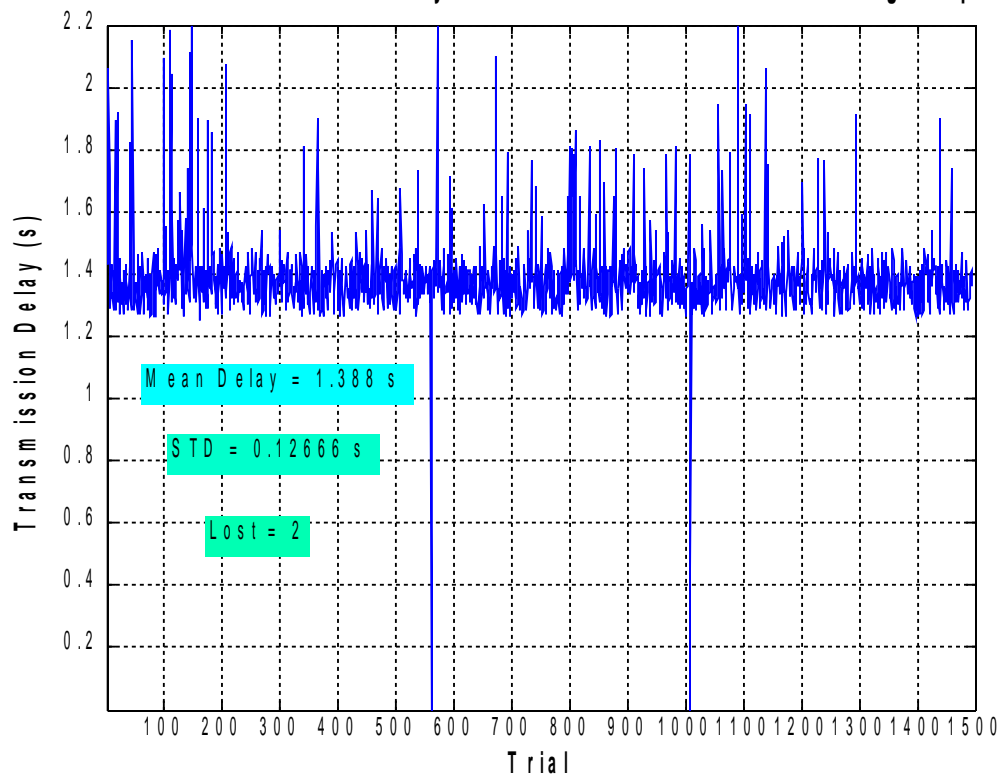


SDS-TL Transmission Delay for 160 Character Messages per 1.5

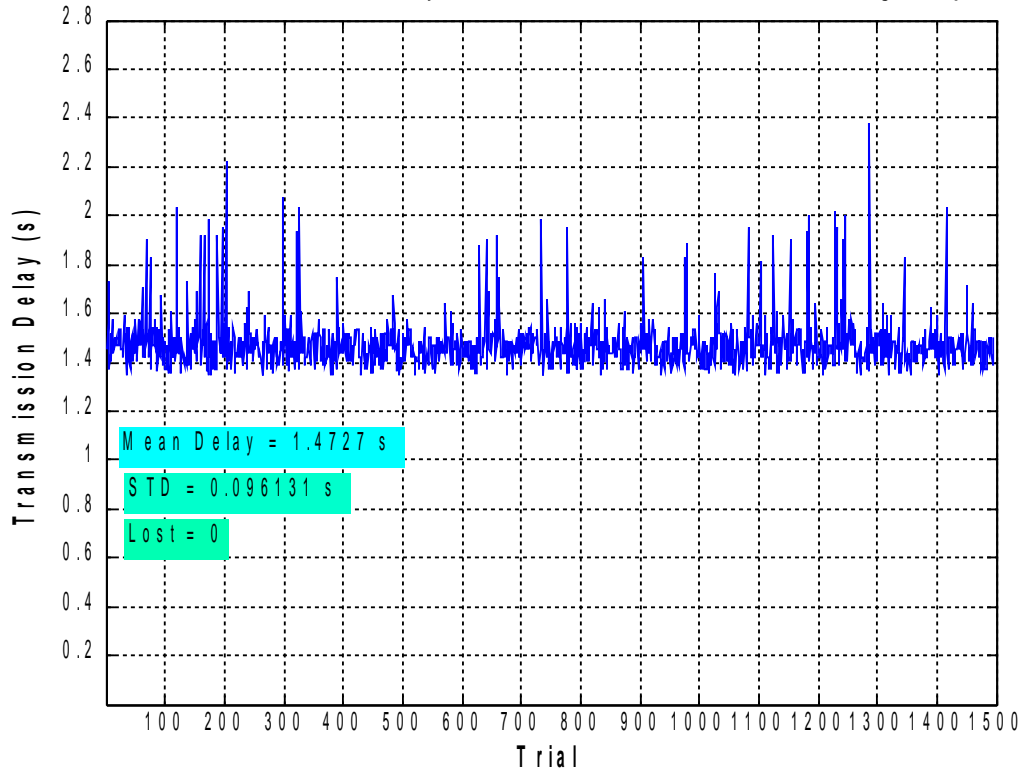


(160 χαρακτήρες : *handover* το 42 κοντά στο 350° SDS)

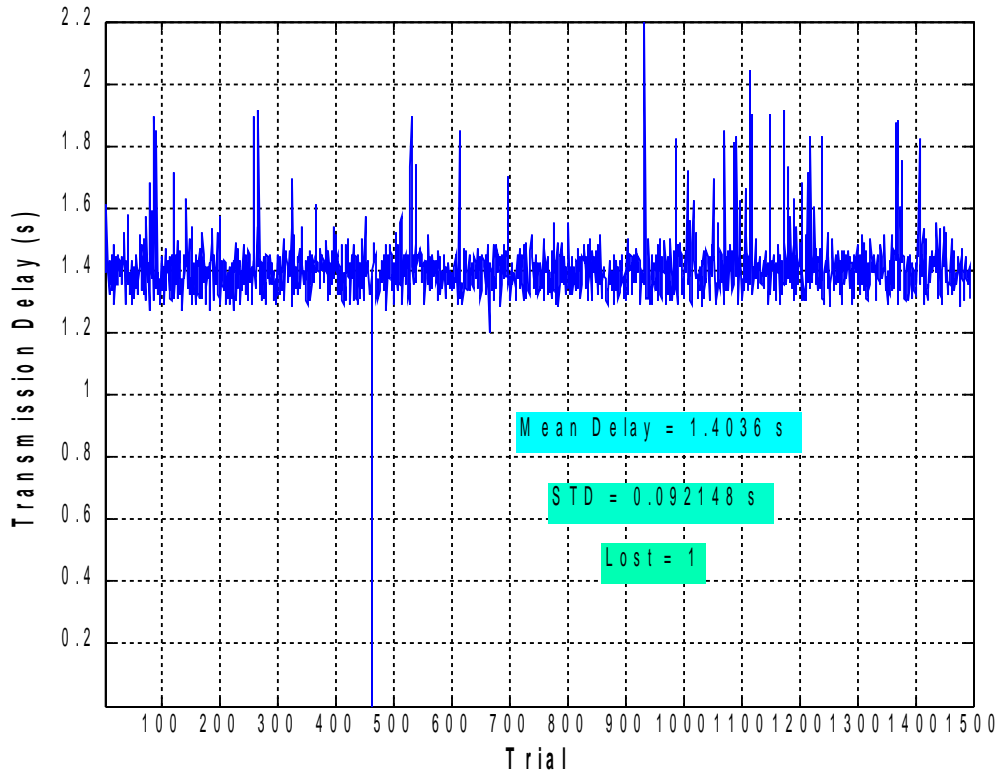
SDS-TL Transmission Delay for 165 Character Messages per 1.5



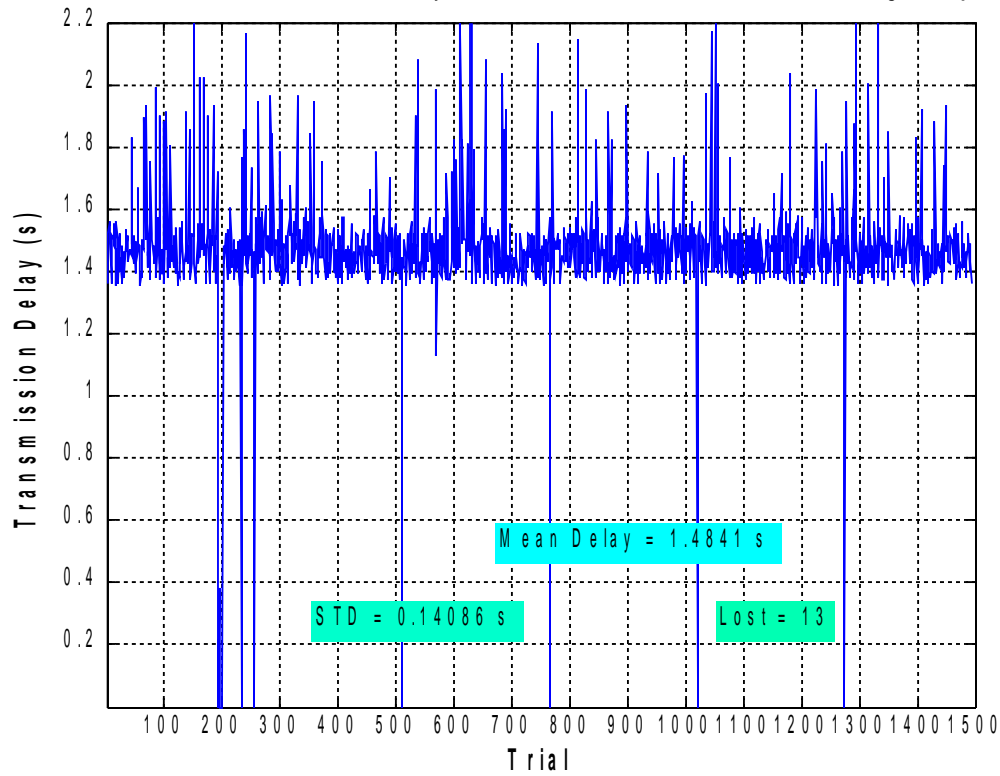
SDS-TL Transmission Delay for 170 Character Messages per 1.5 s



SDS-TL Transmission Delay for 175 Character Messages per 1.5 s

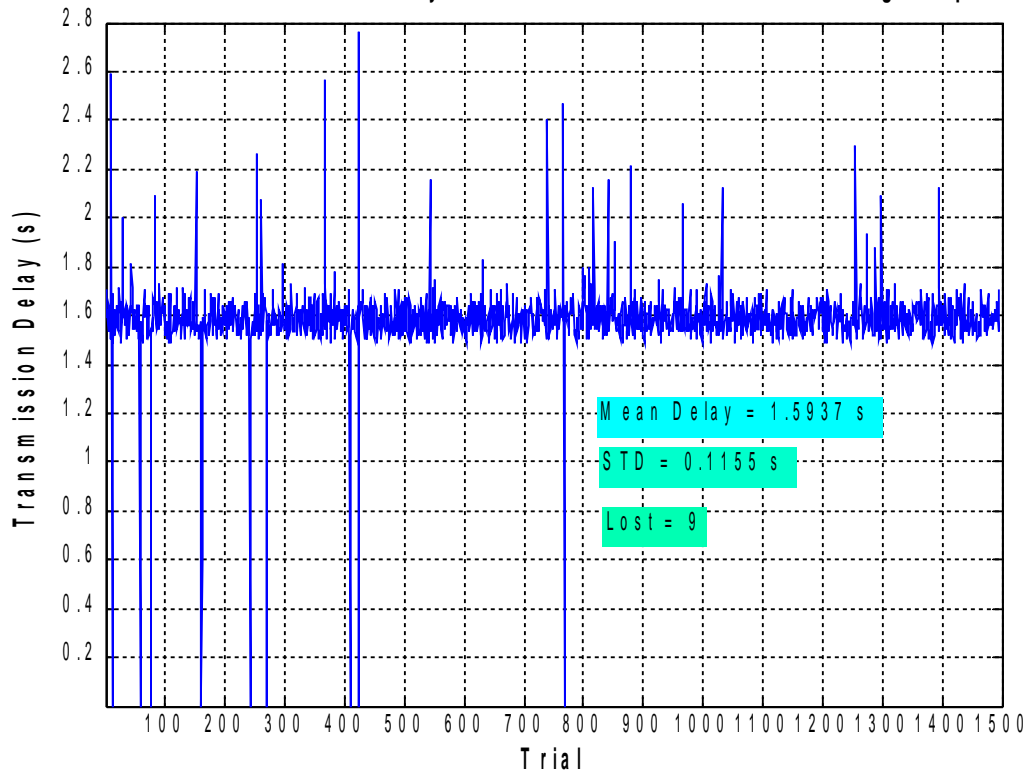


SDS-TL Transmission Delay for 180 Character Messages per 1.5

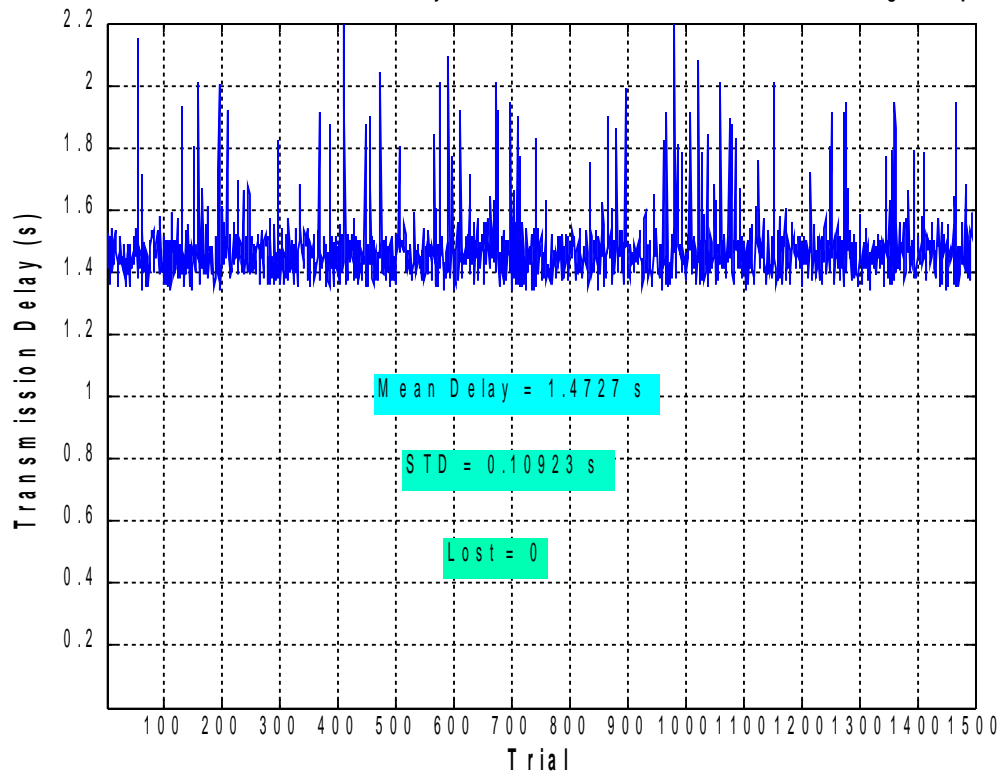


(180 χαρακτήρες : Απασχόληση του επεξεργαστή με άλλες εργασίες, όπως ανασυγκρότηση δίσκου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων)

SDS-TL Transmission Delay for 185 Character Messages per 1.5 s

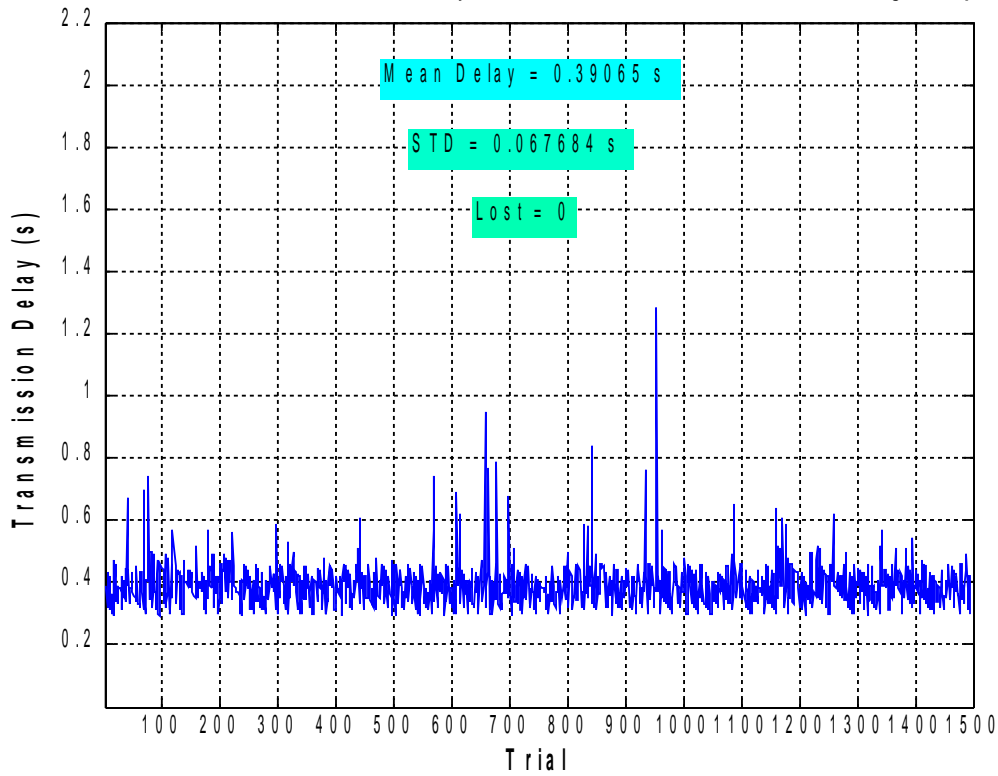


SDS-TL Transmission Delay for 190 Character Messages per 1.5

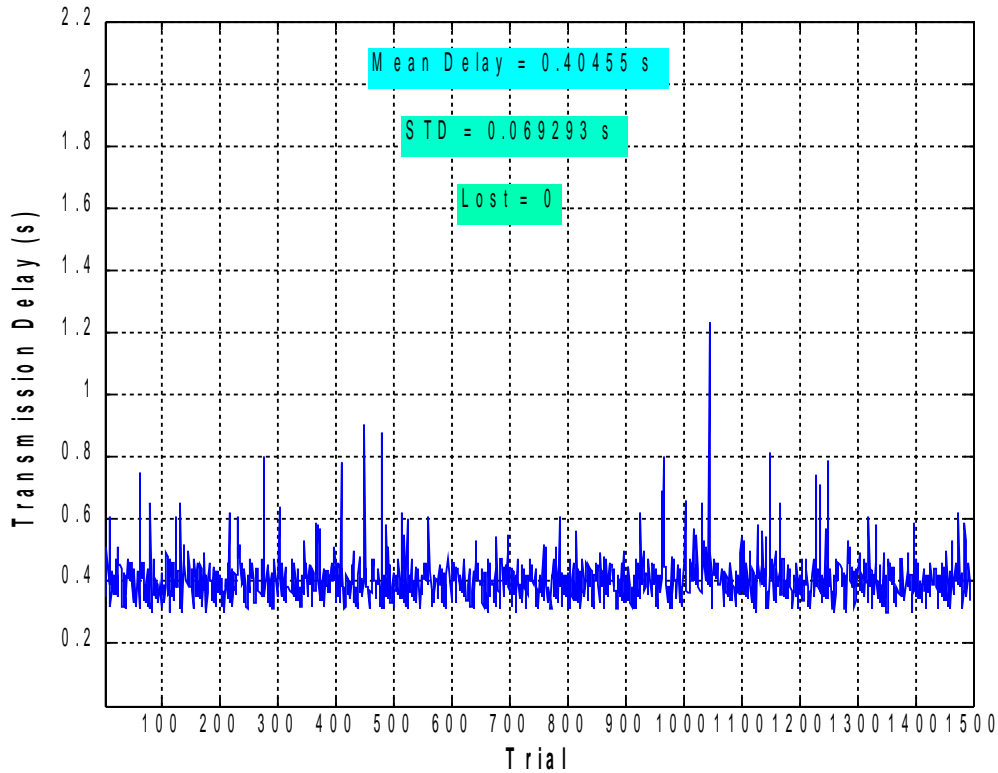


5.Γ. Αποστολή SDS ανά 2 δευτερόλεπτα

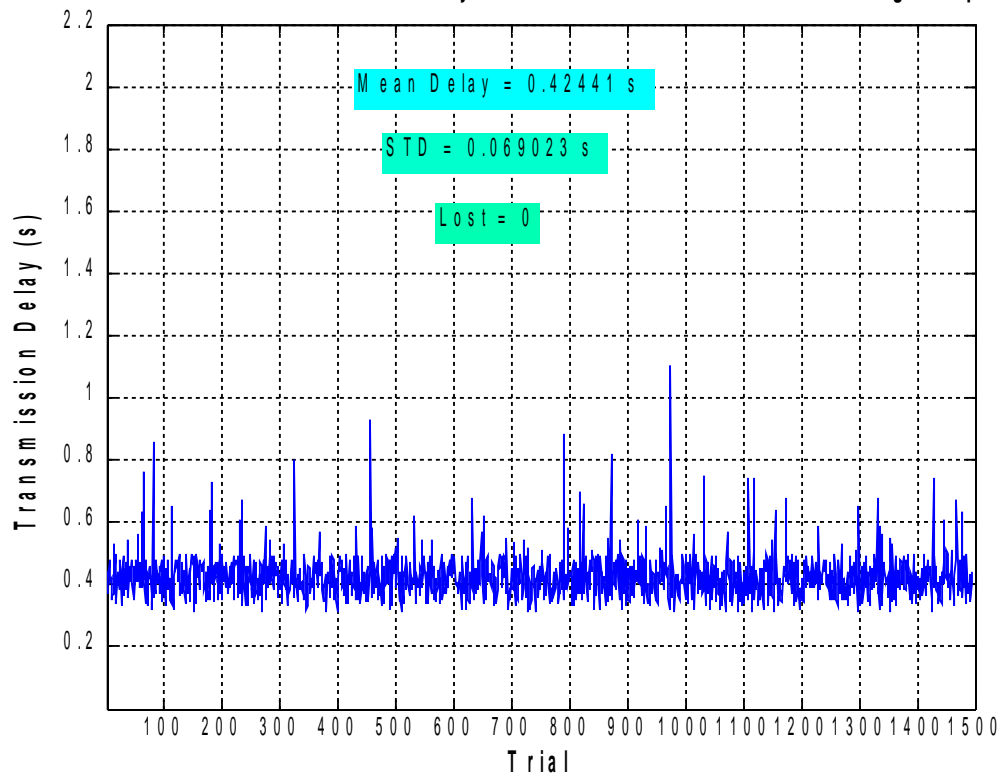
SDS-TL Transmission Delay for 10 Character Messages per 2 s



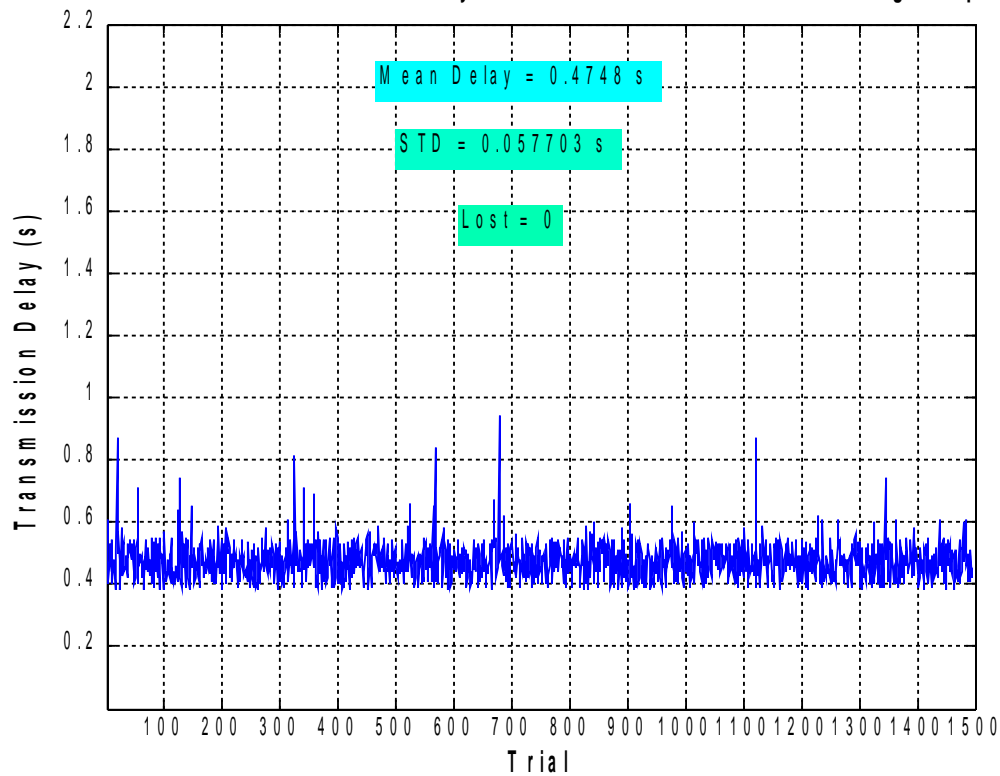
SDS-TL Transmission Delay for 15 Character Messages per 2 s



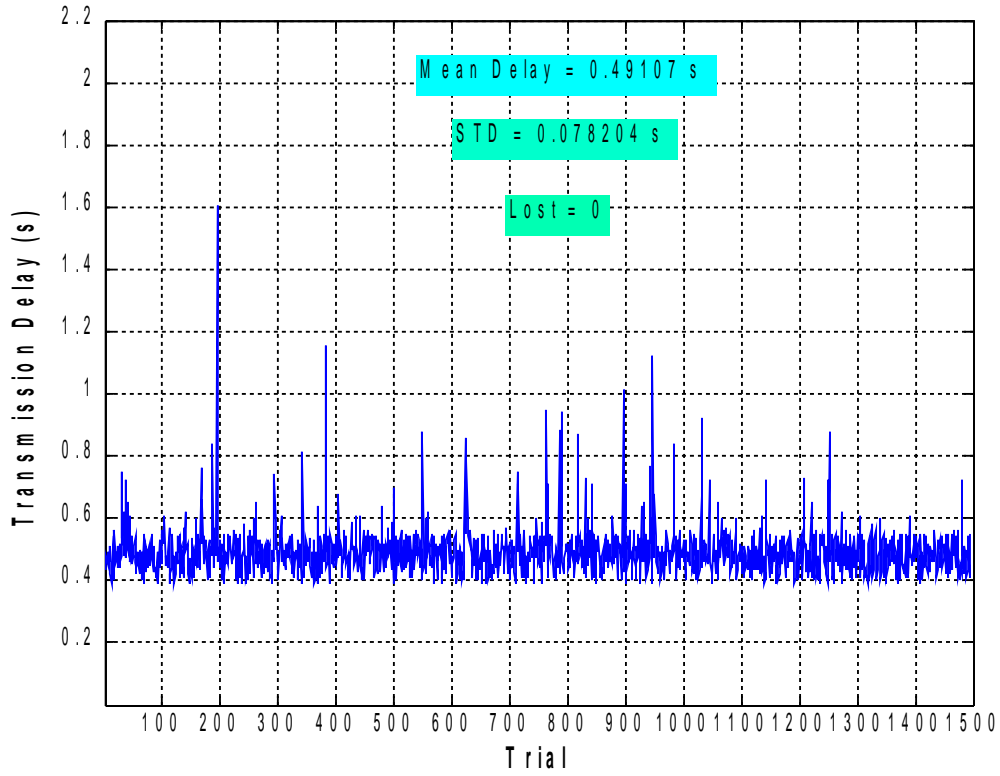
SDS-TL Transmission Delay for 20 Character Messages per 2 s



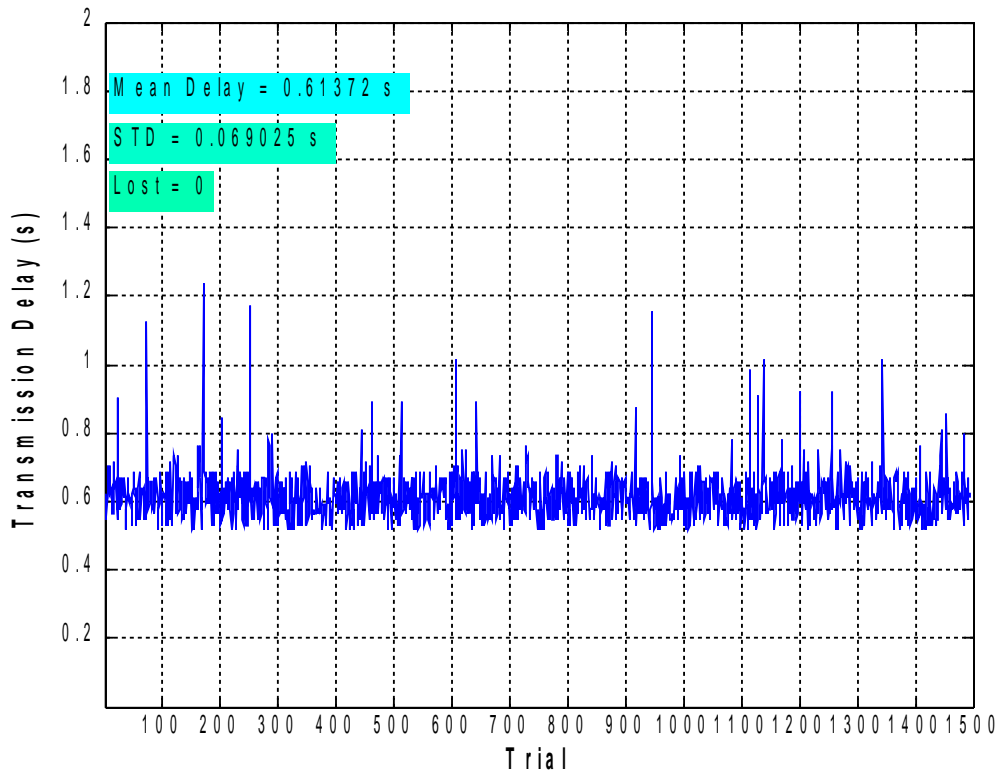
SDS-TL Transmission Delay for 25 Character Messages per 2 s



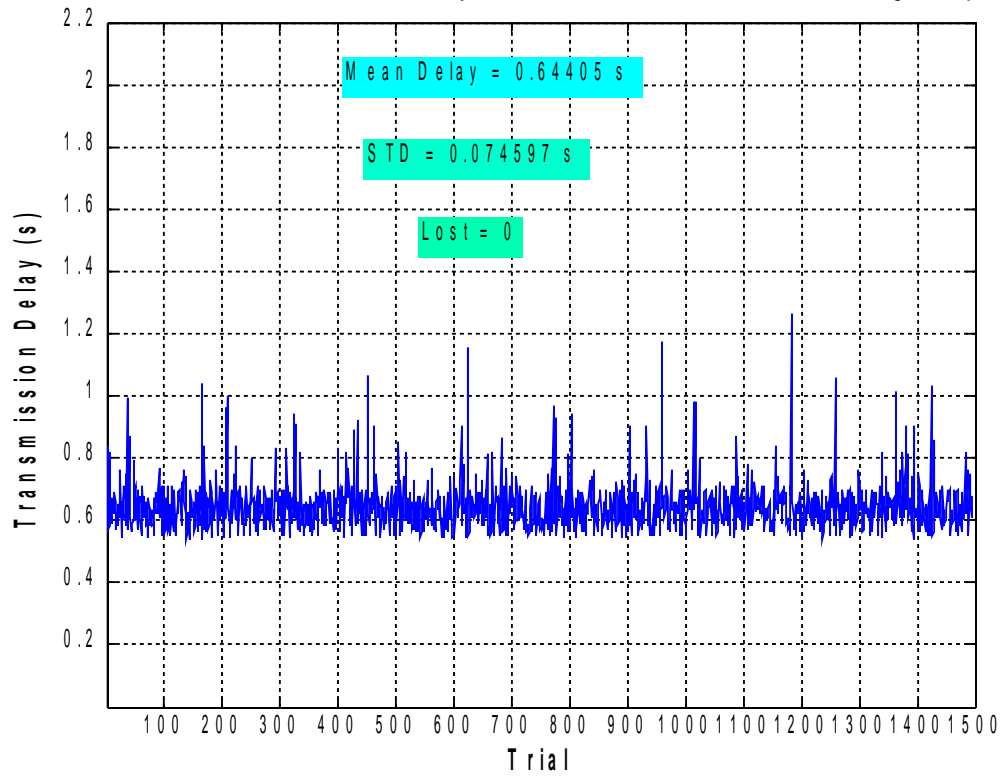
SDS-TL Transmission Delay for 30 Character Messages per 2 s



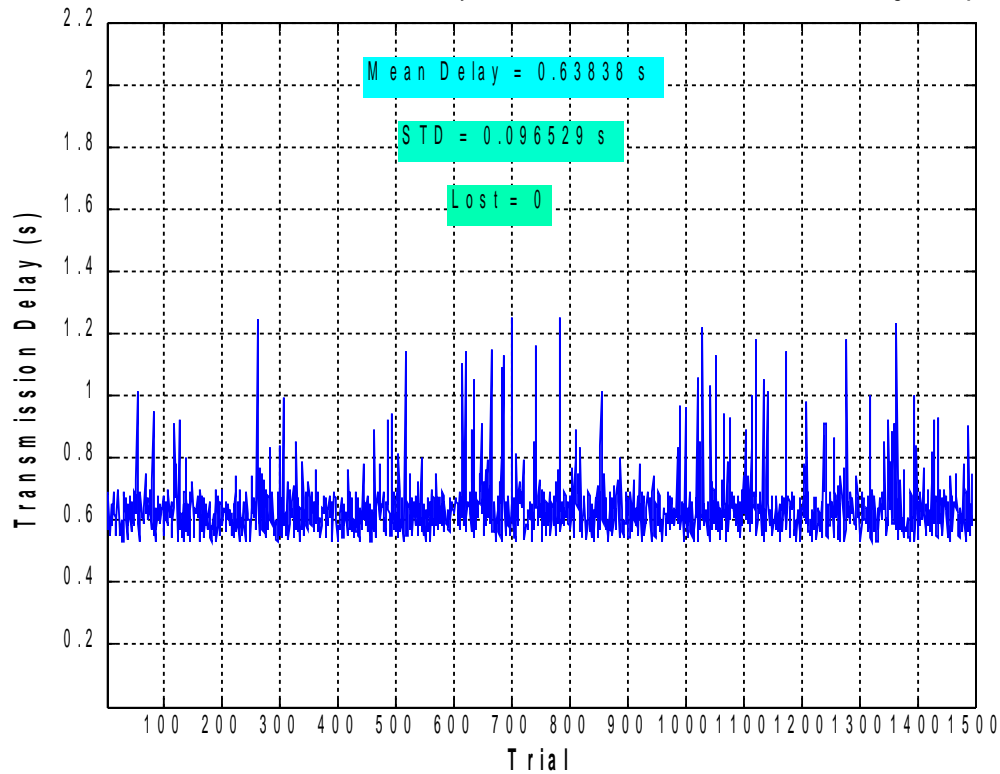
SDS-TL Transmission Delay for 35 Character Messages per 2 s



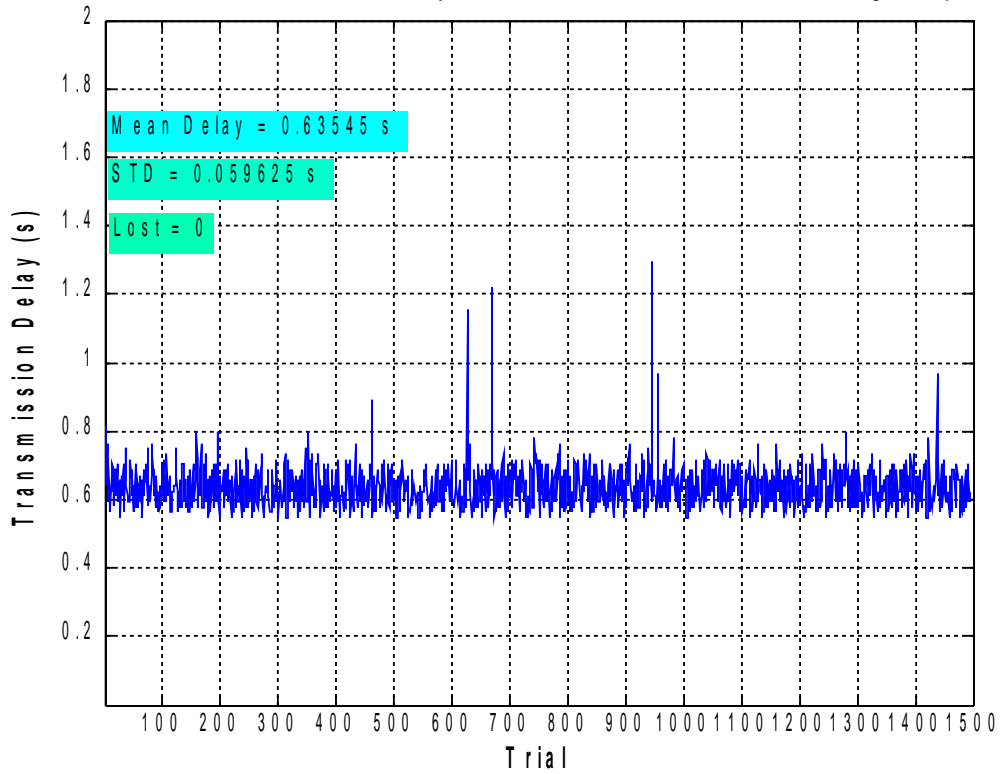
SDS-TL Transmission Delay for 40 Character Messages per 2 s



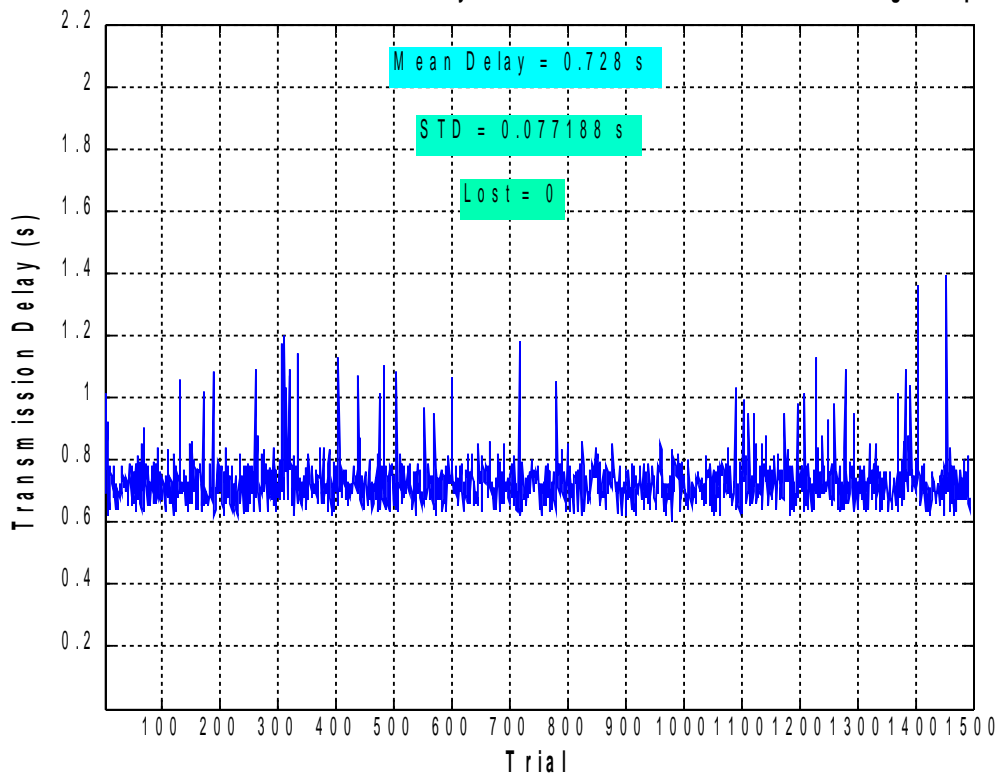
SDS-TL Transmission Delay for 45 Character Messages per 2 s



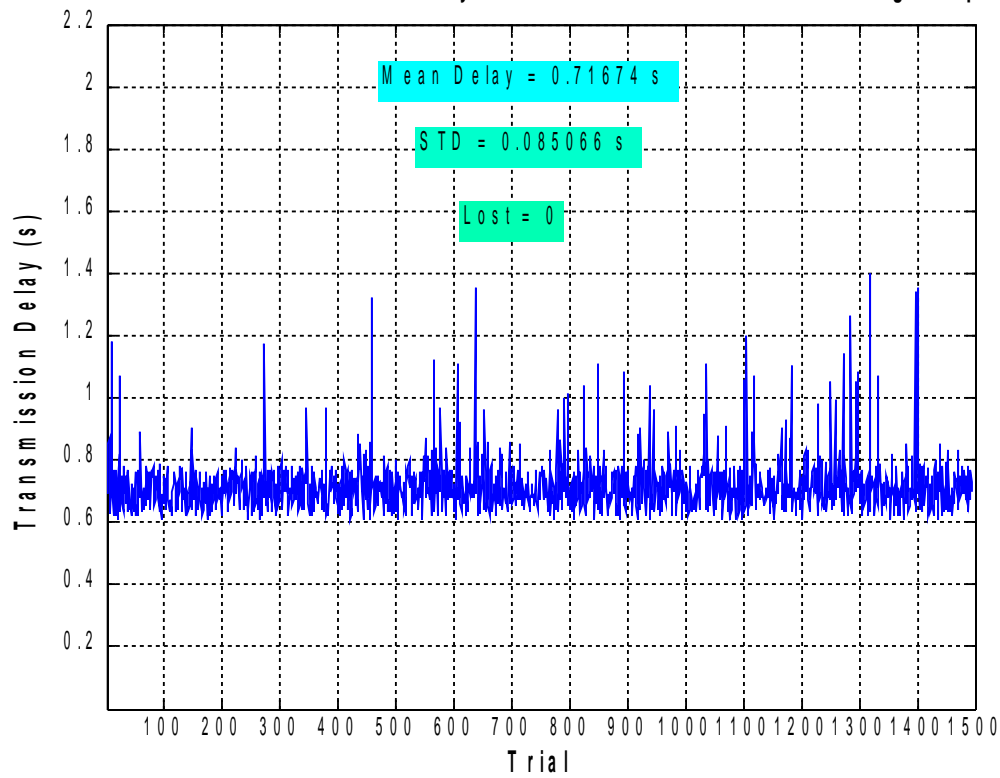
SDS-TL Transmission Delay for 50 Character Messages per 2 s



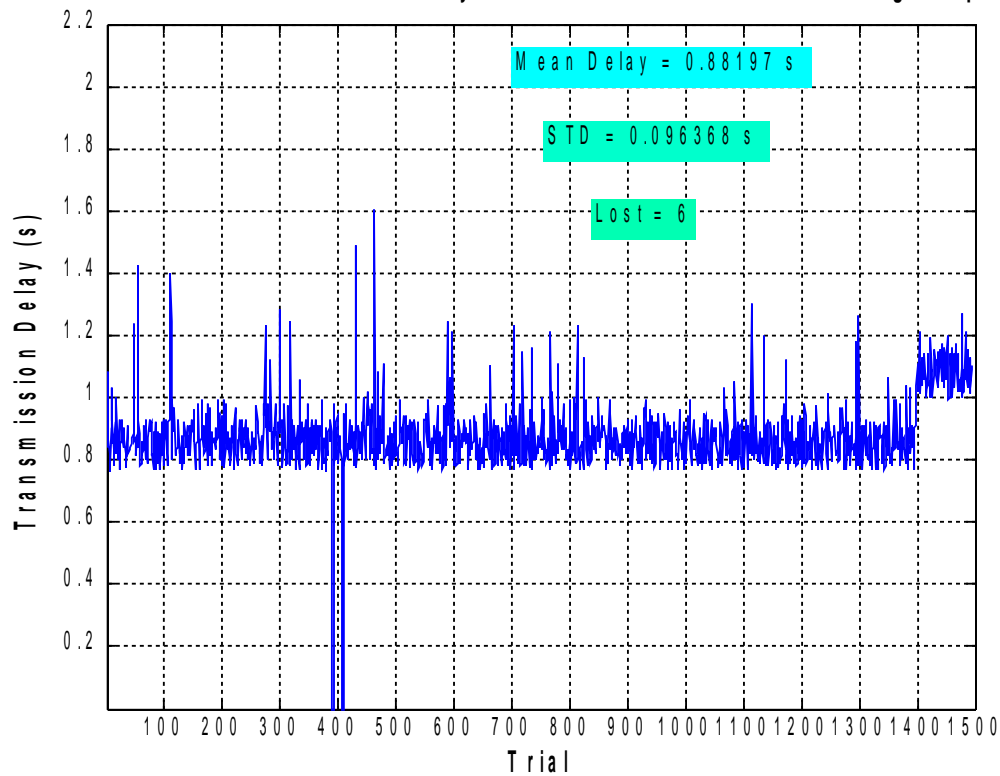
SDS-TL Transmission Delay for 55 Character Messages per 2 s



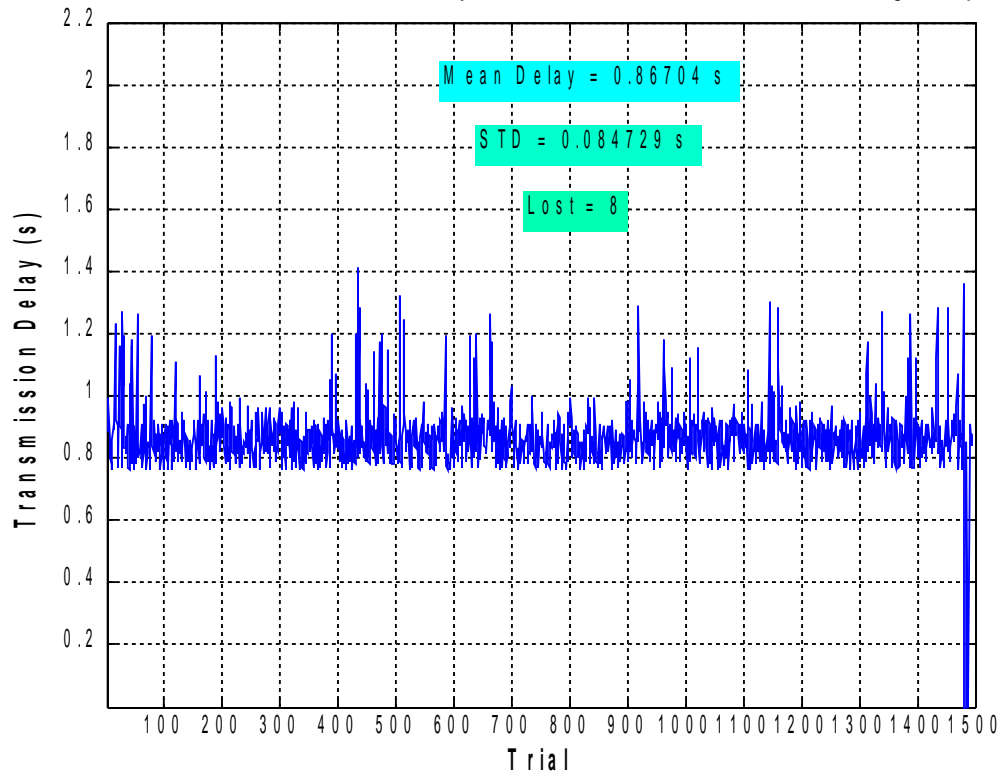
SDS-TL Transmission Delay for 60 Character Messages per 2 s



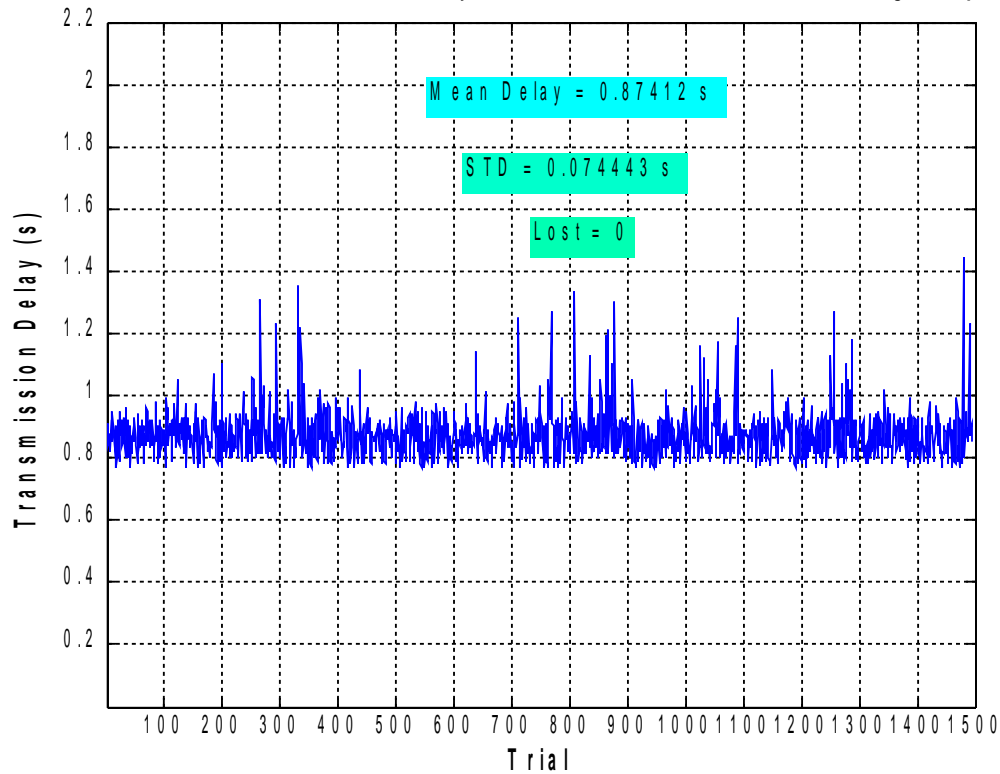
SDS-TL Transmission Delay for 65 Character Messages per 2 s



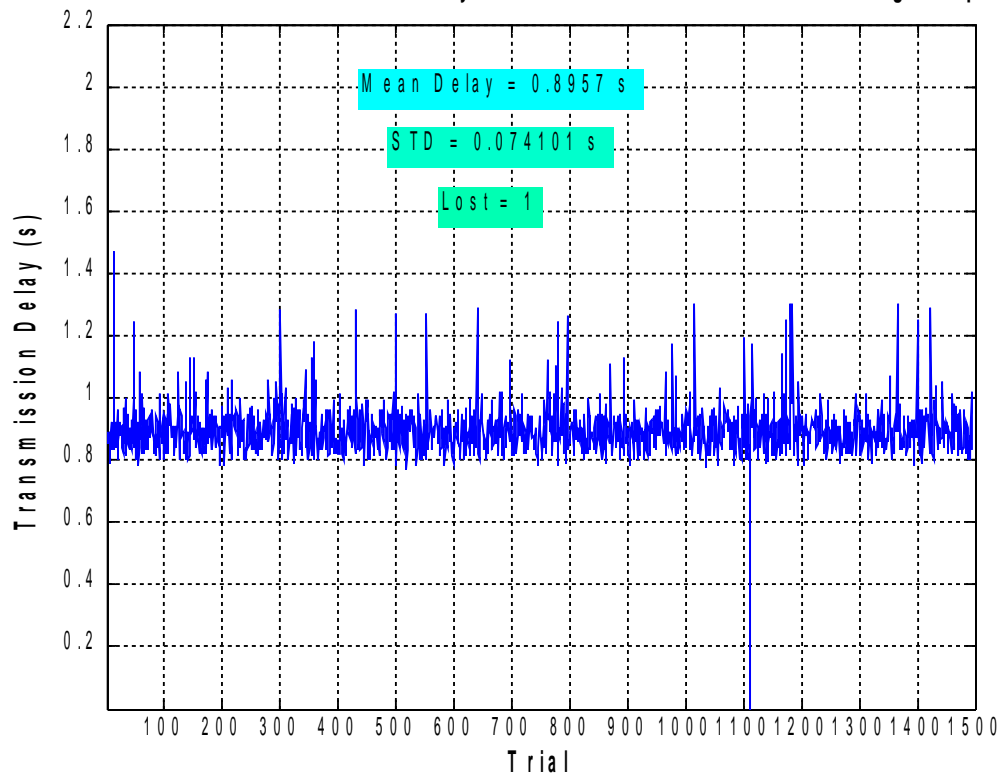
SDS-TL Transmission Delay for 70 Character Messages per 2 s



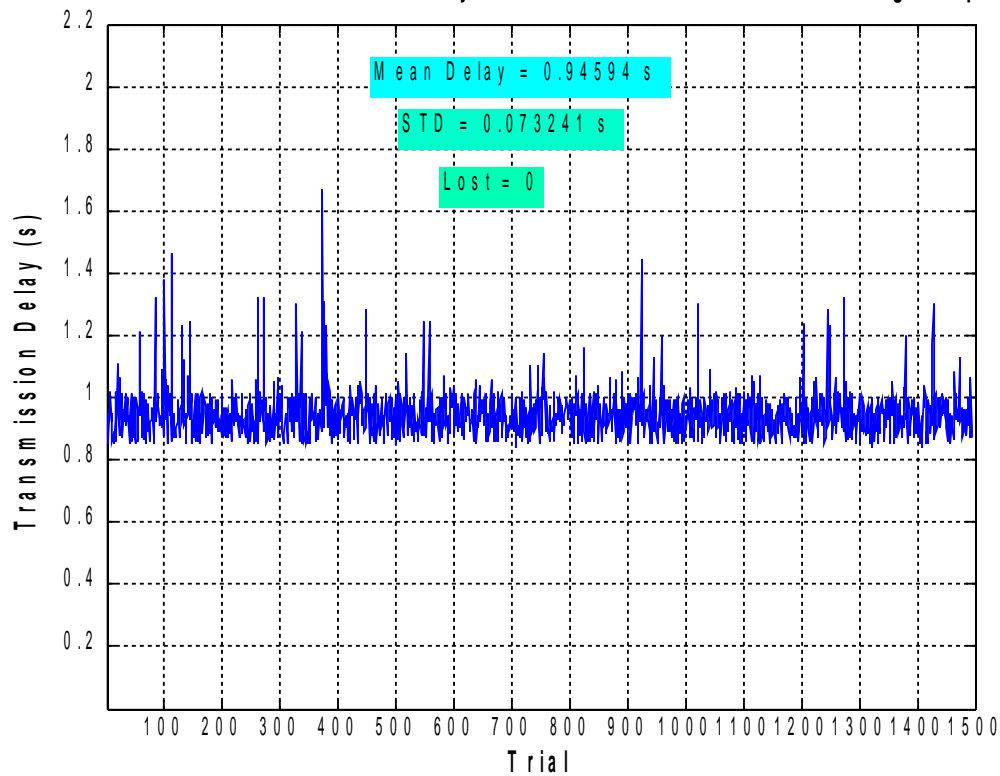
SDS-TL Transmission Delay for 75 Character Messages per 2 s



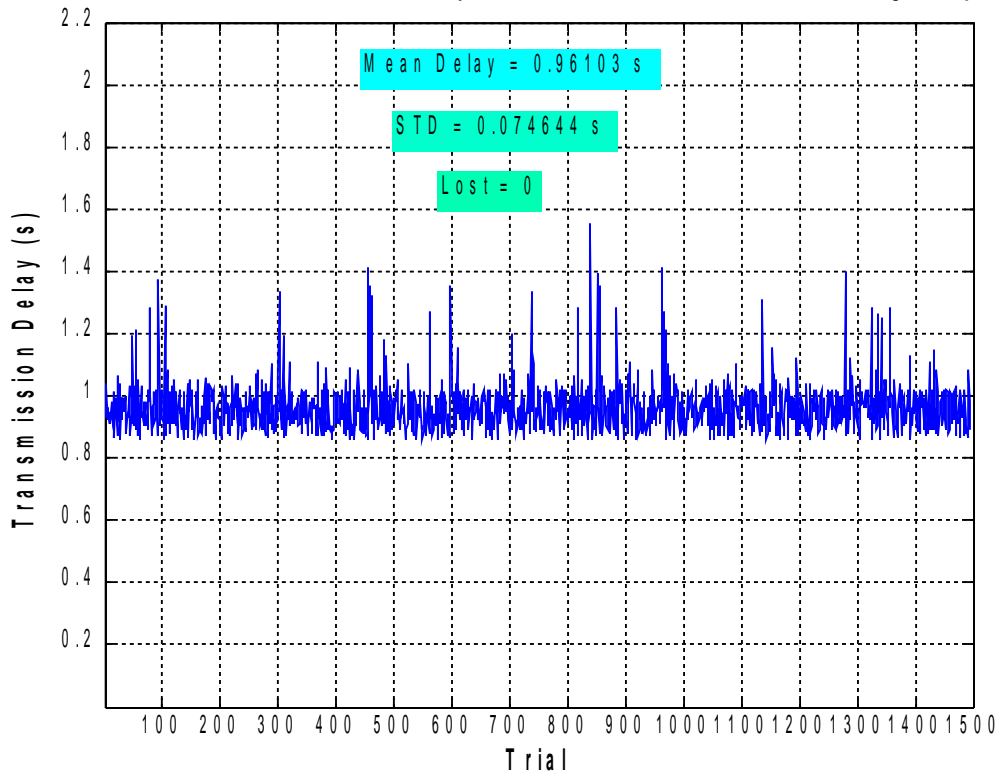
SDS-TL Transmission Delay for 80 Character Messages per 2 s



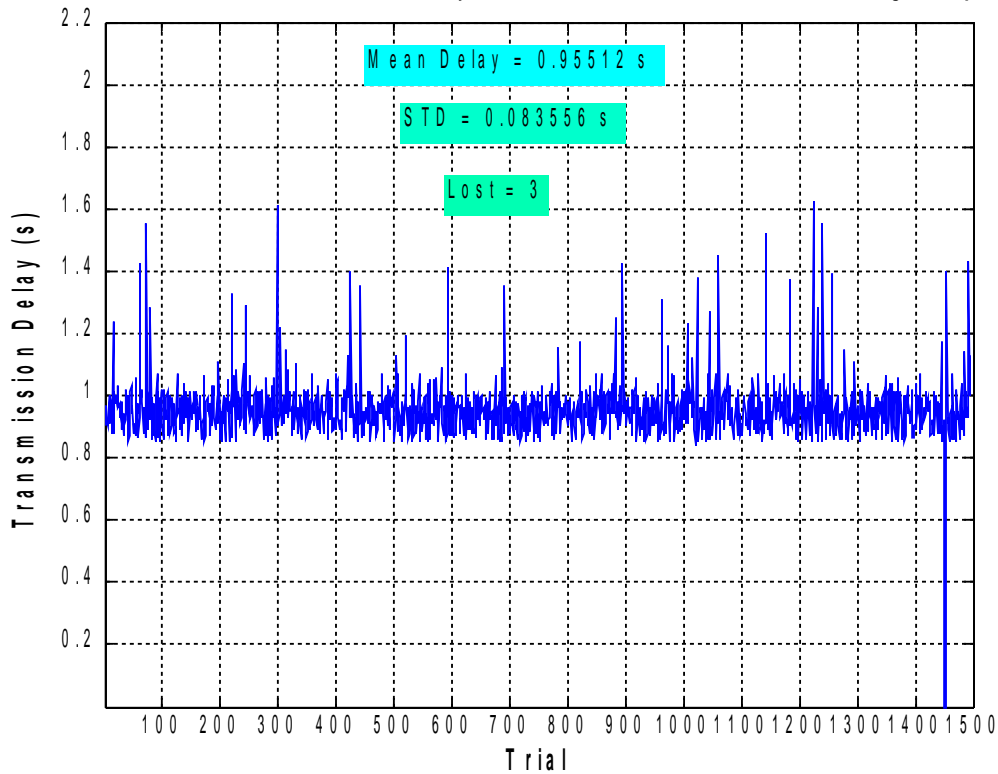
SDS-TL Transmission Delay for 85 Character Messages per 2 s



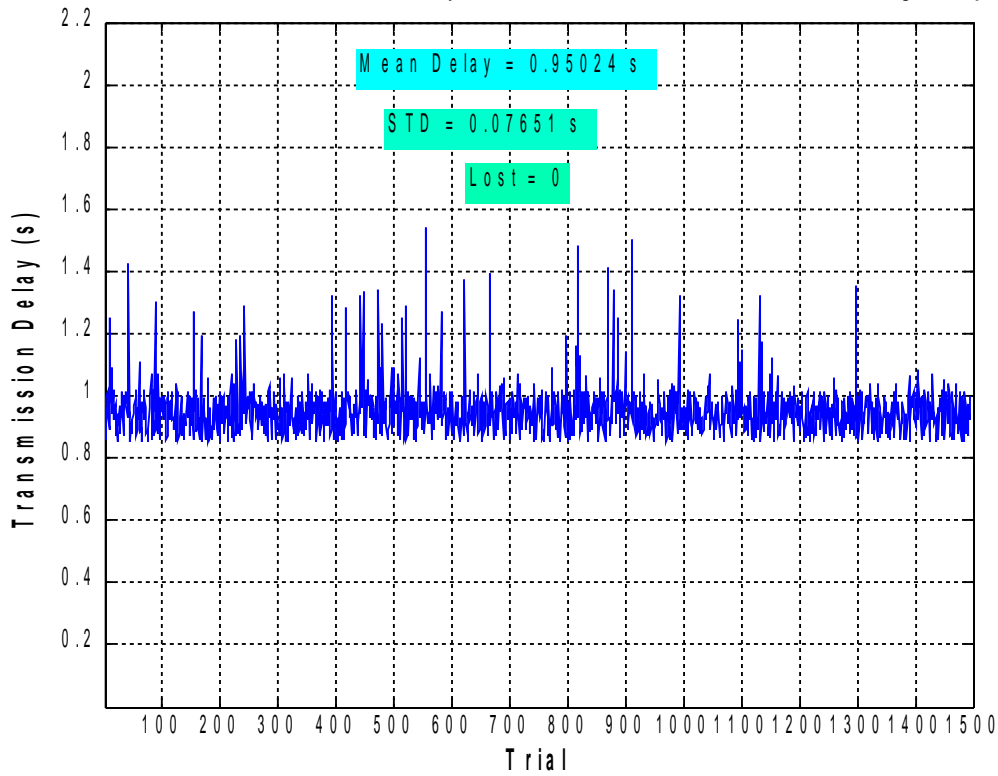
SDS-TL Transmission Delay for 90 Character Messages per 2 s



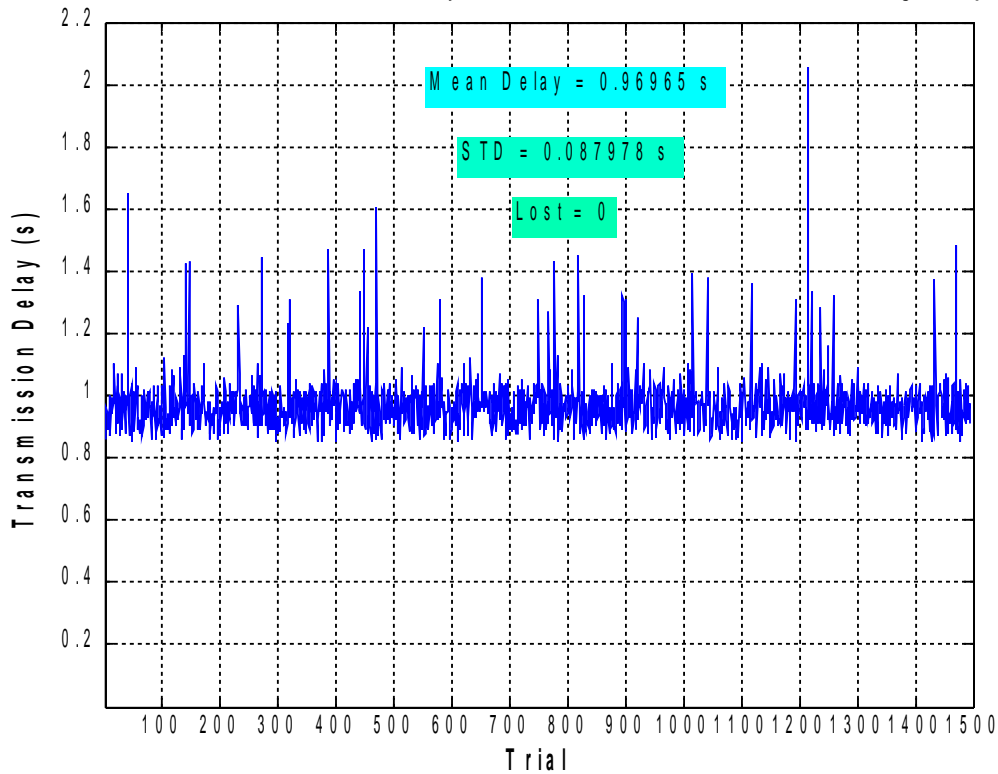
SDS-TL Transmission Delay for 95 Character Messages per 2 s



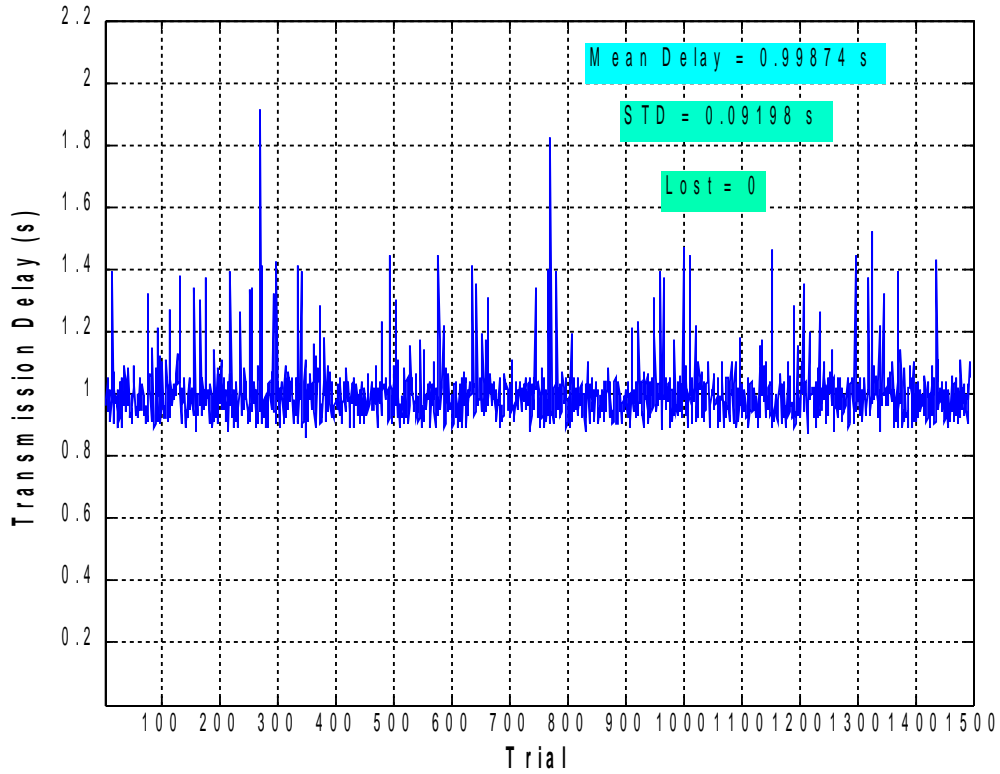
SDS-TL Transmission Delay for 100 Character Messages per 2 s



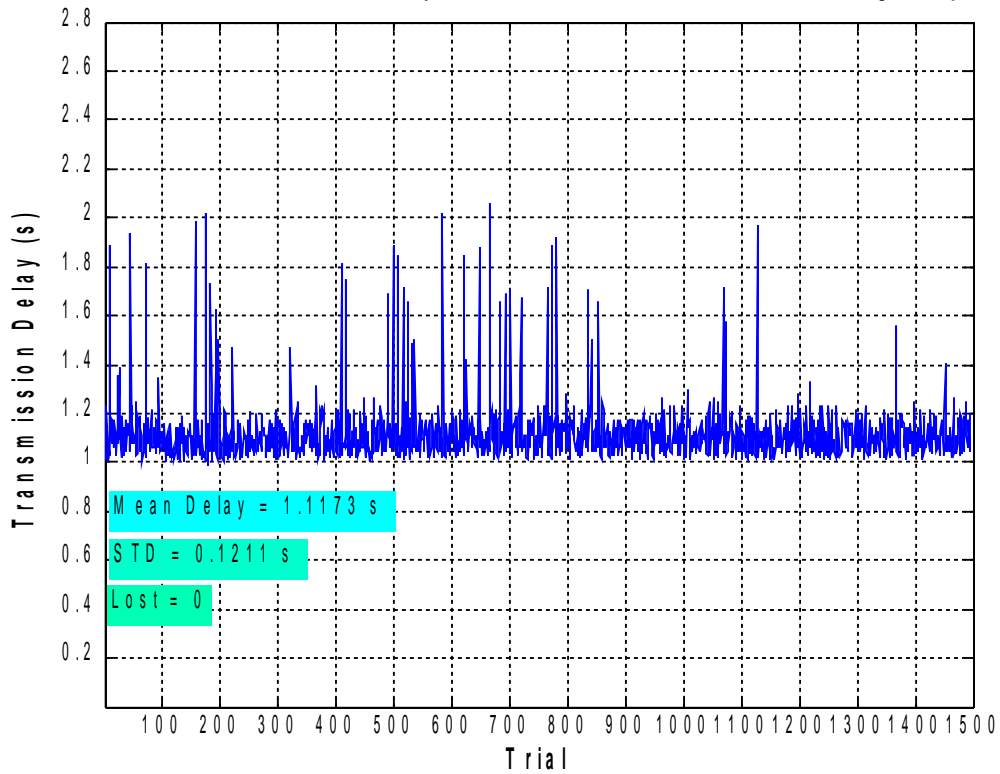
SDS-TL Transmission Delay for 105 Character Messages per 2 s



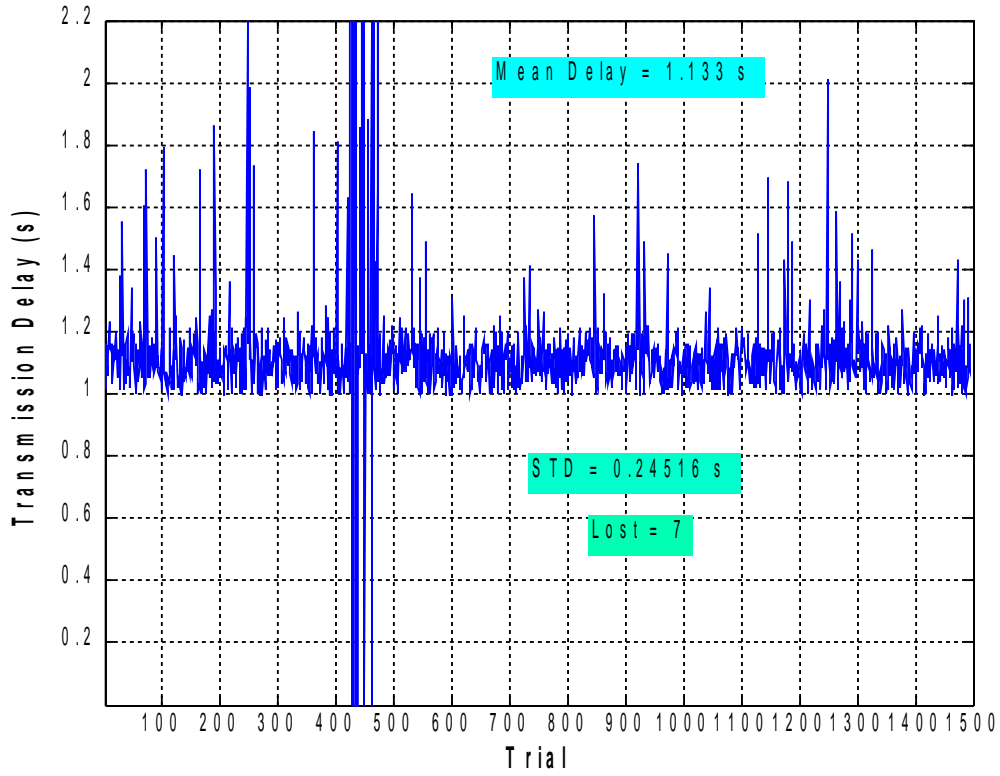
SDS-TL Transmission Delay for 110 Character Messages per 2 s



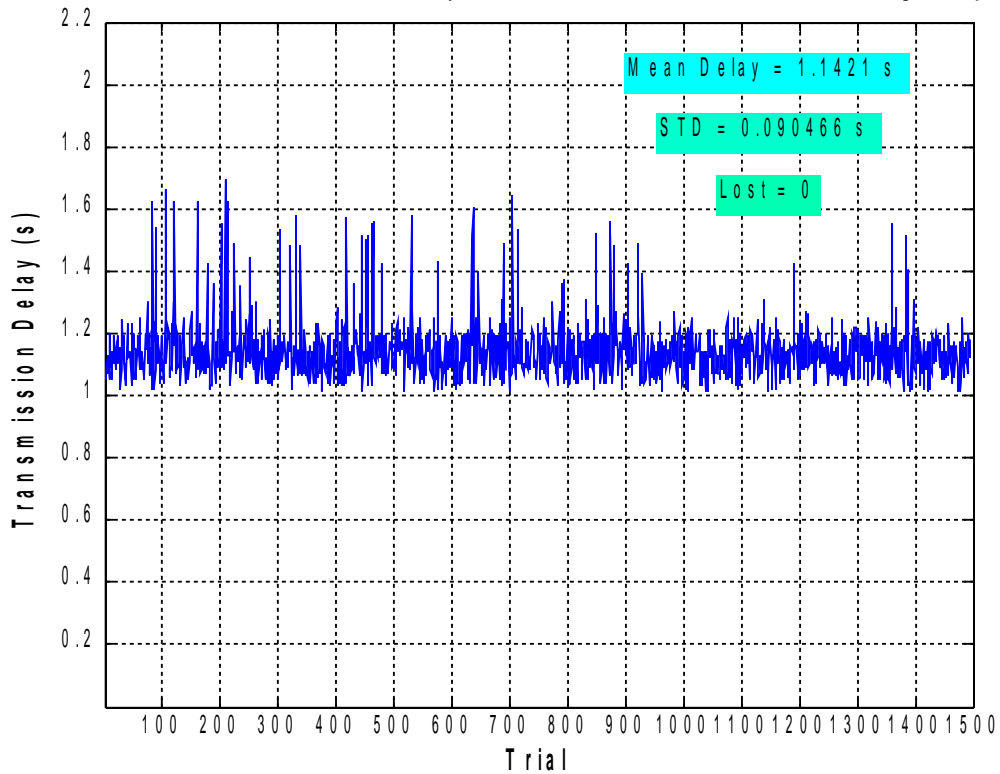
SDS-TL Transmission Delay for 115 Character Messages per 2 s



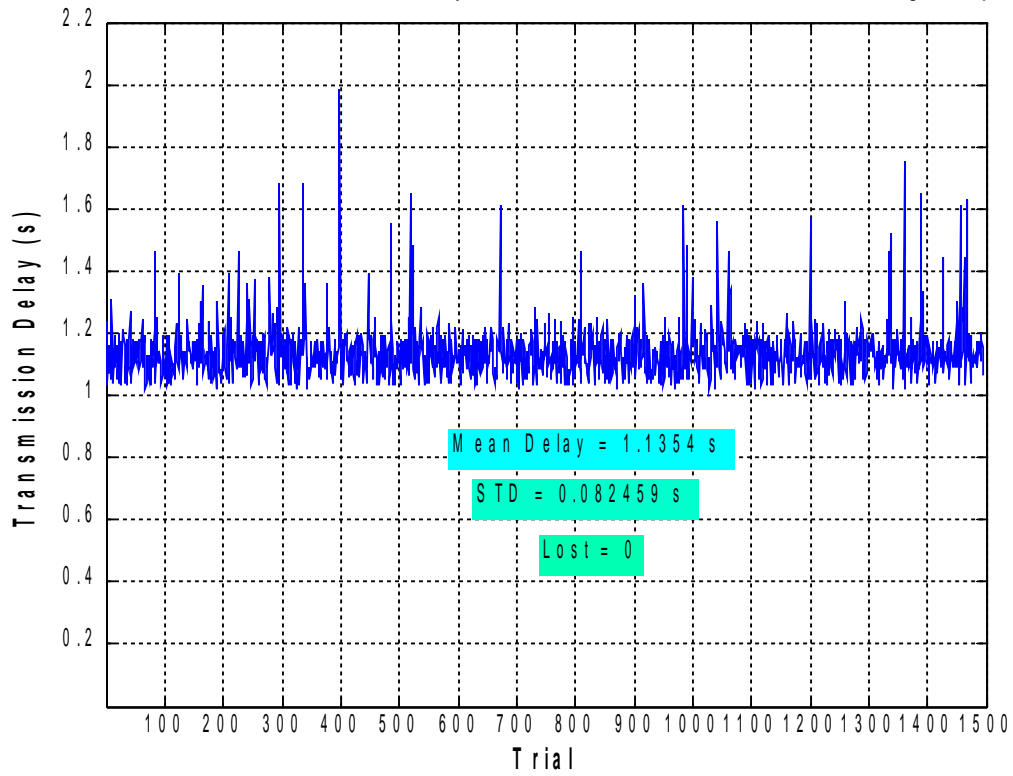
SDS-TL Transmission Delay for 120 Character Messages per 2 s



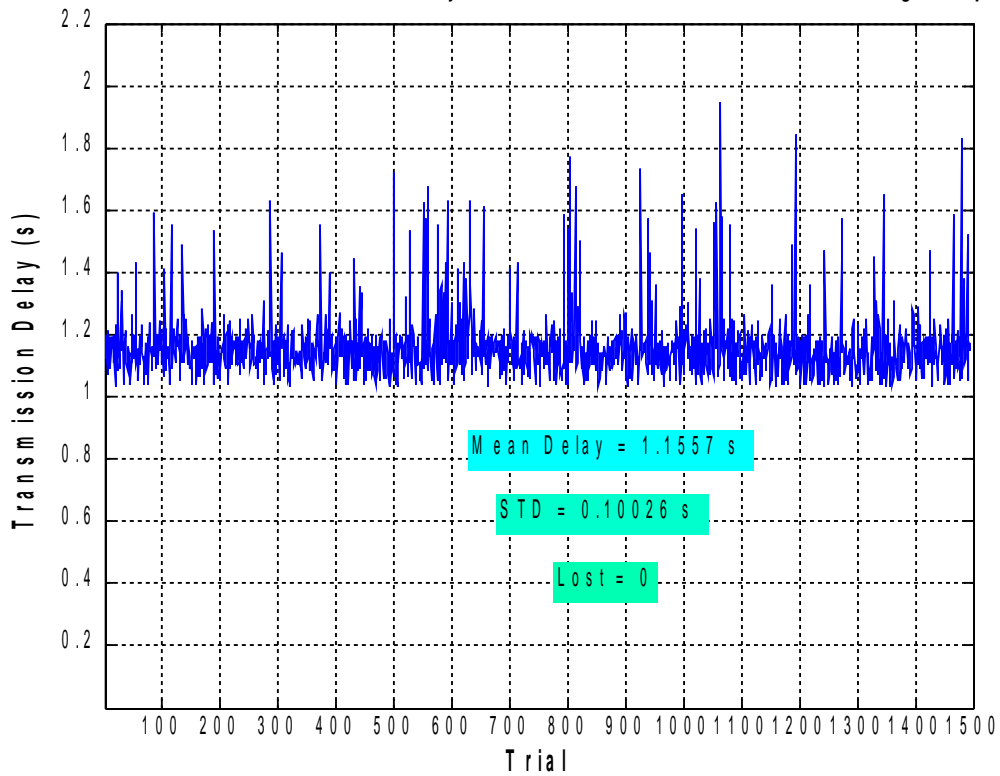
SDS-TL Transmission Delay for 125 Character Messages per 2 s



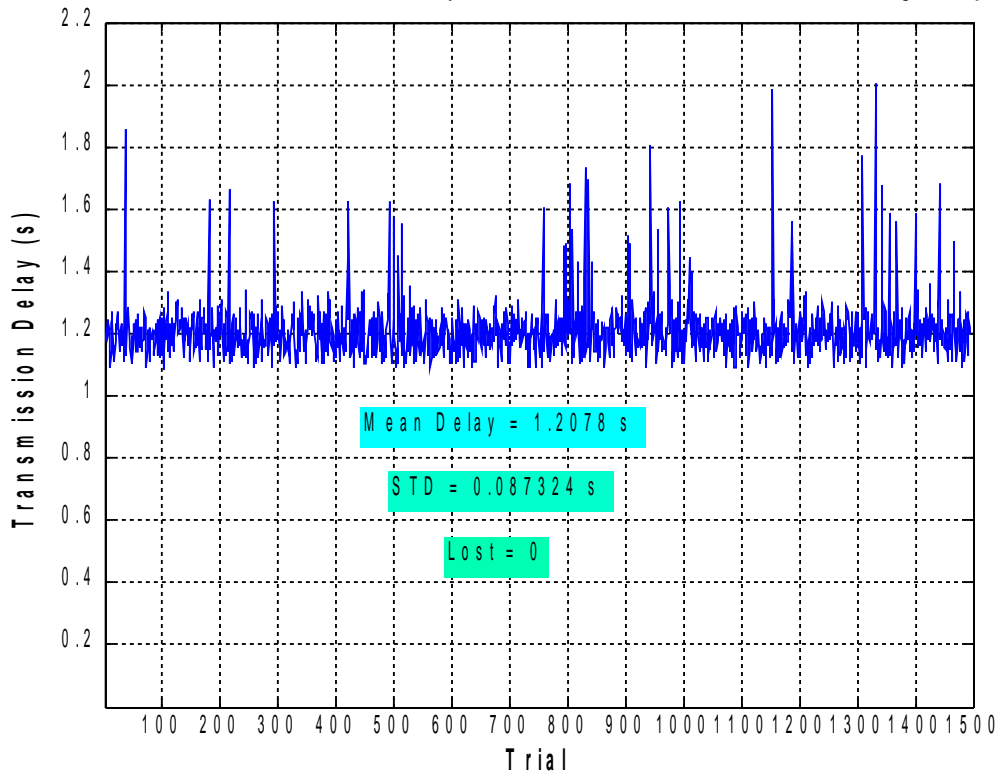
SDS-TL Transmission Delay for 130 Character Messages per 2 s



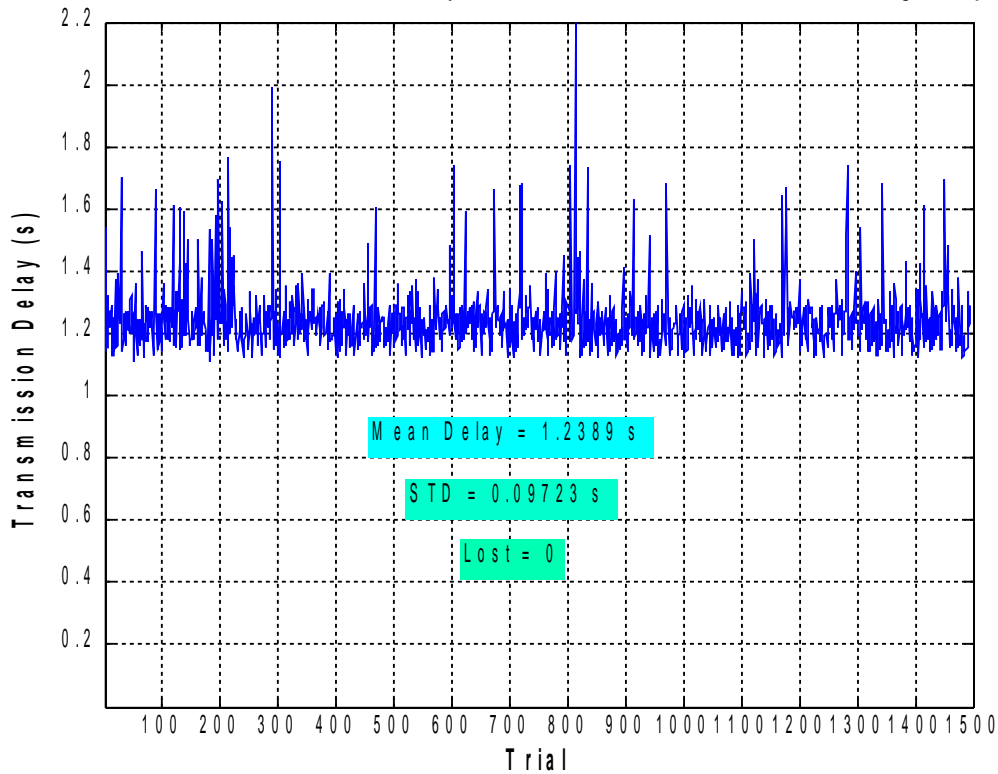
SDS-TL Transmission Delay for 135 Character Messages per 2 s



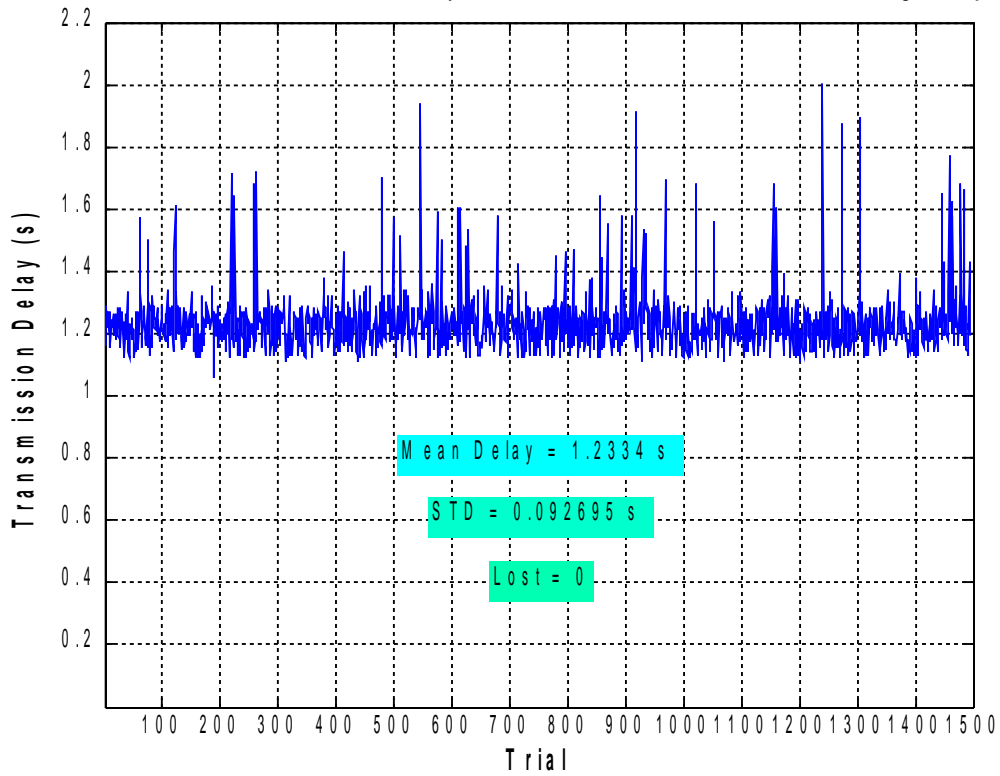
SDS-TL Transmission Delay for 140 Character Messages per 2 s



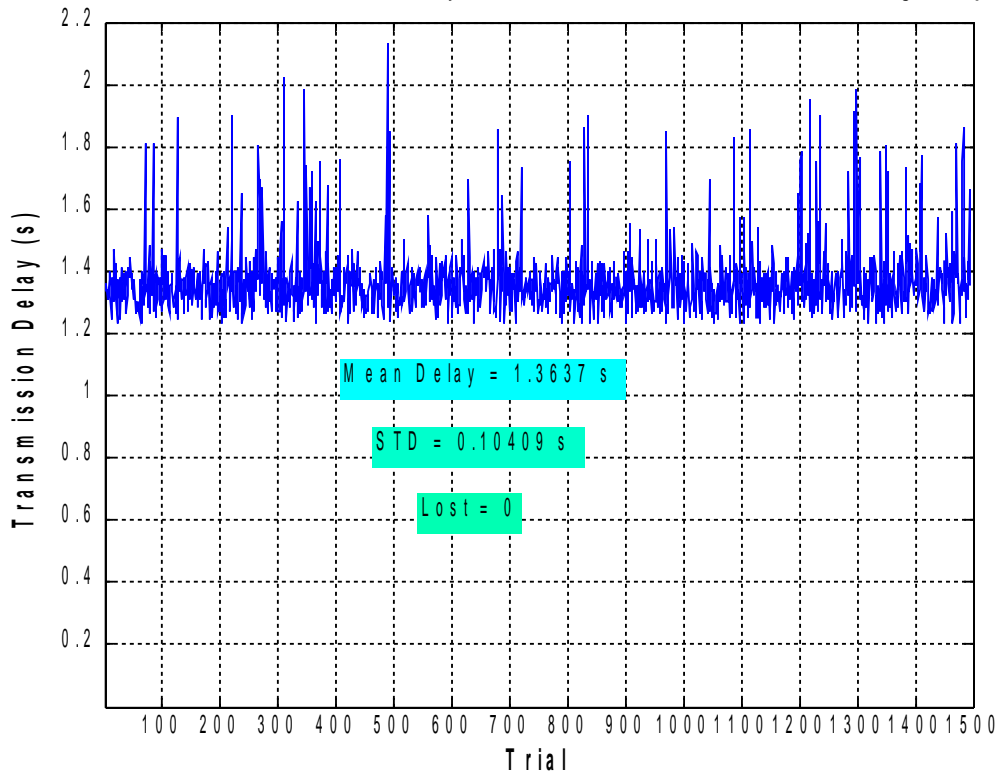
SDS-TL Transmission Delay for 145 Character Messages per 2 s



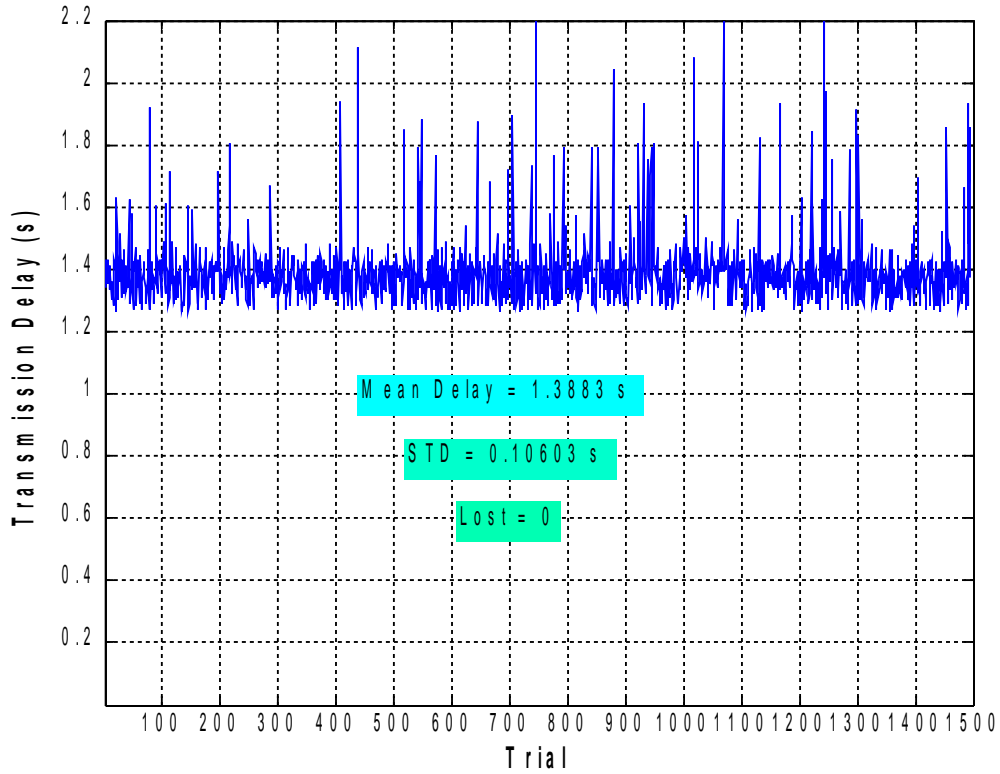
SDS-TL Transmission Delay for 150 Character Messages per 2 s



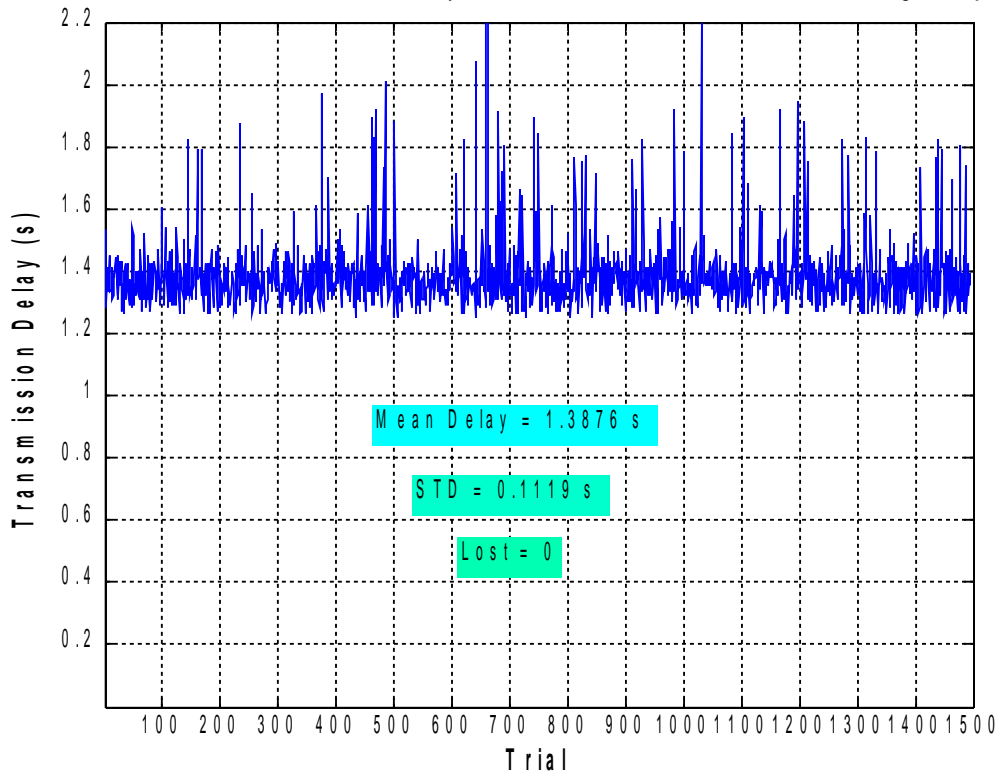
SDS-TL Transmission Delay for 155 Character Messages per 2 s



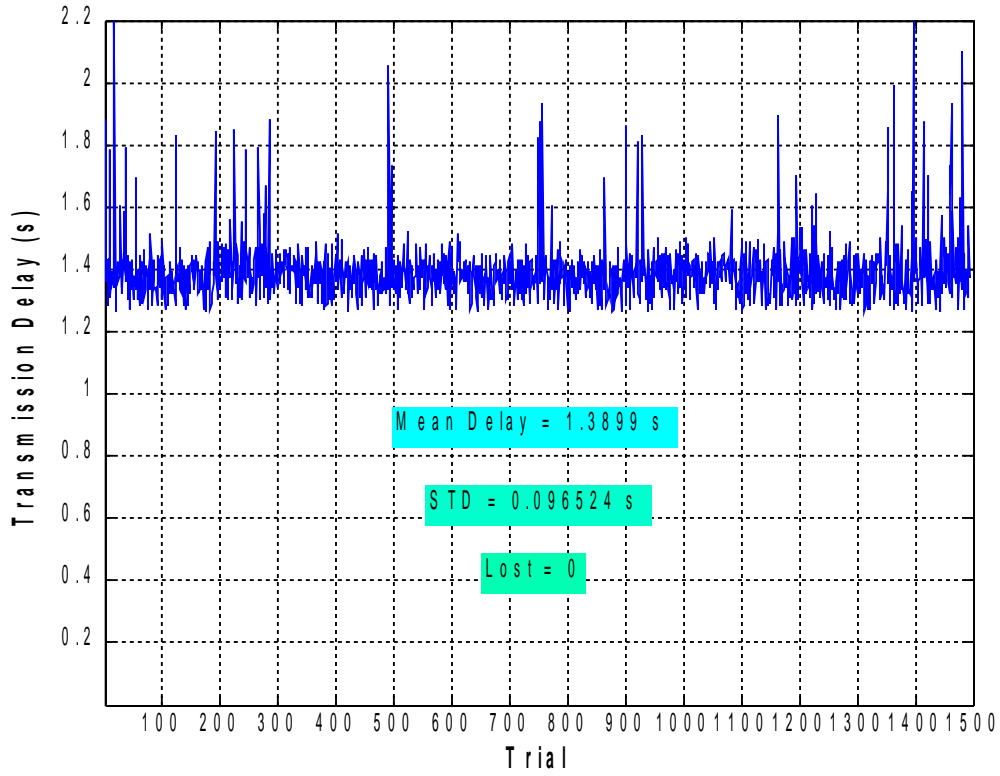
SDS-TL Transmission Delay for 160 Character Messages per 2 s



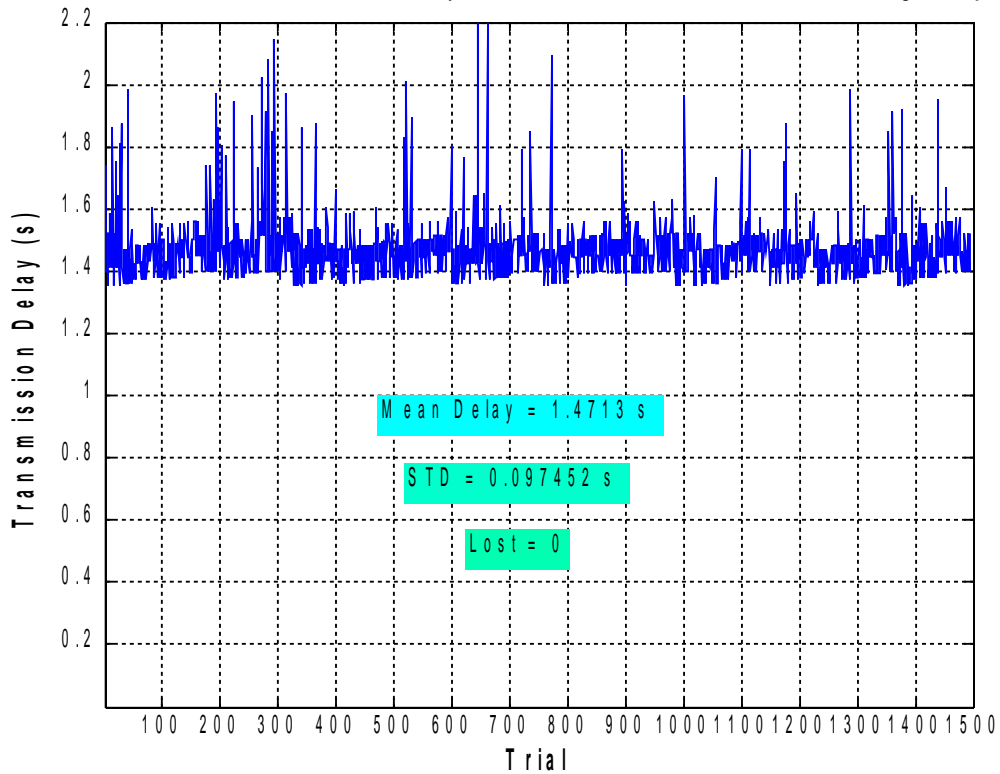
SDS-TL Transmission Delay for 165 Character Messages per 2 s



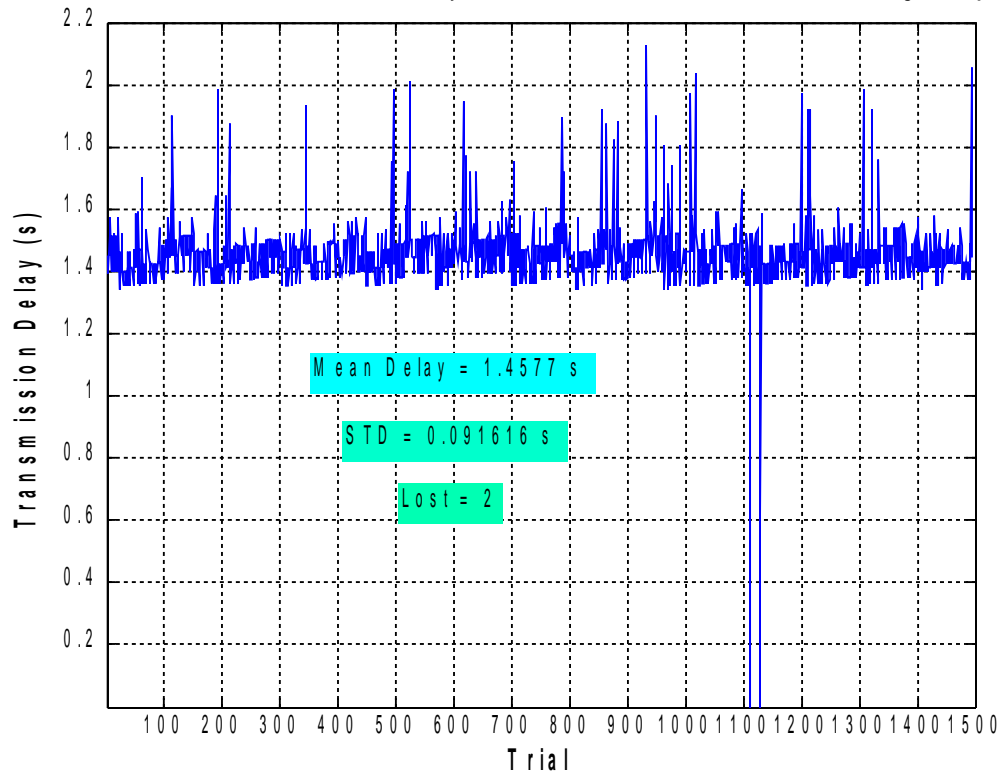
SDS-TL Transmission Delay for 170 Character Messages per 2 s



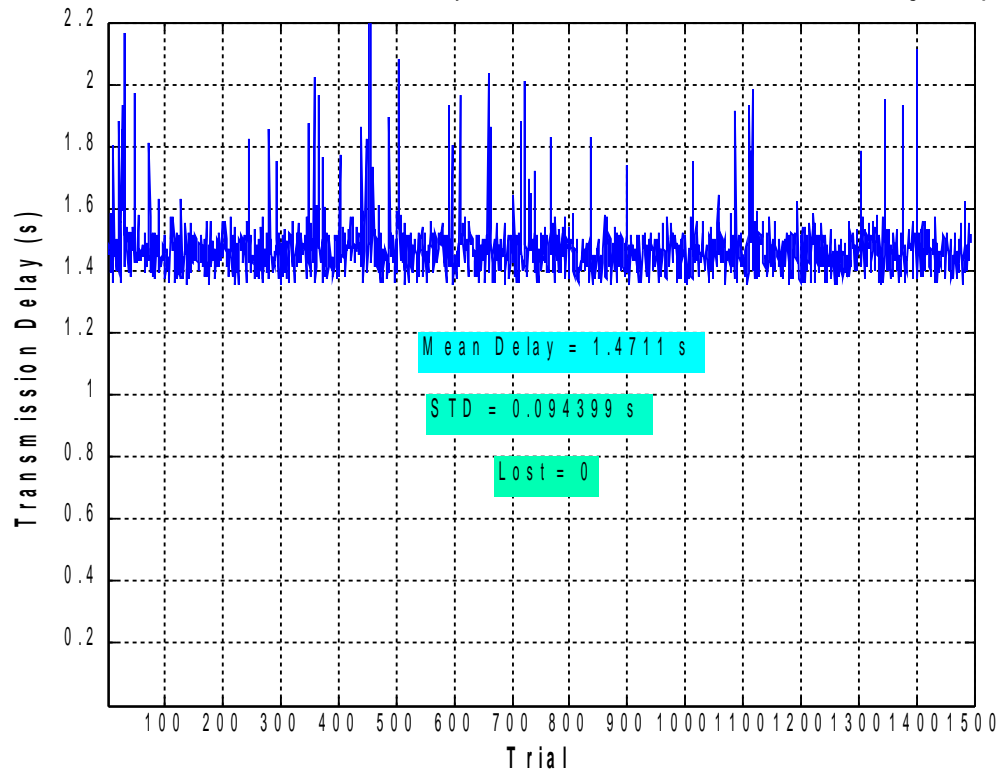
SDS-TL Transmission Delay for 175 Character Messages per 2 s



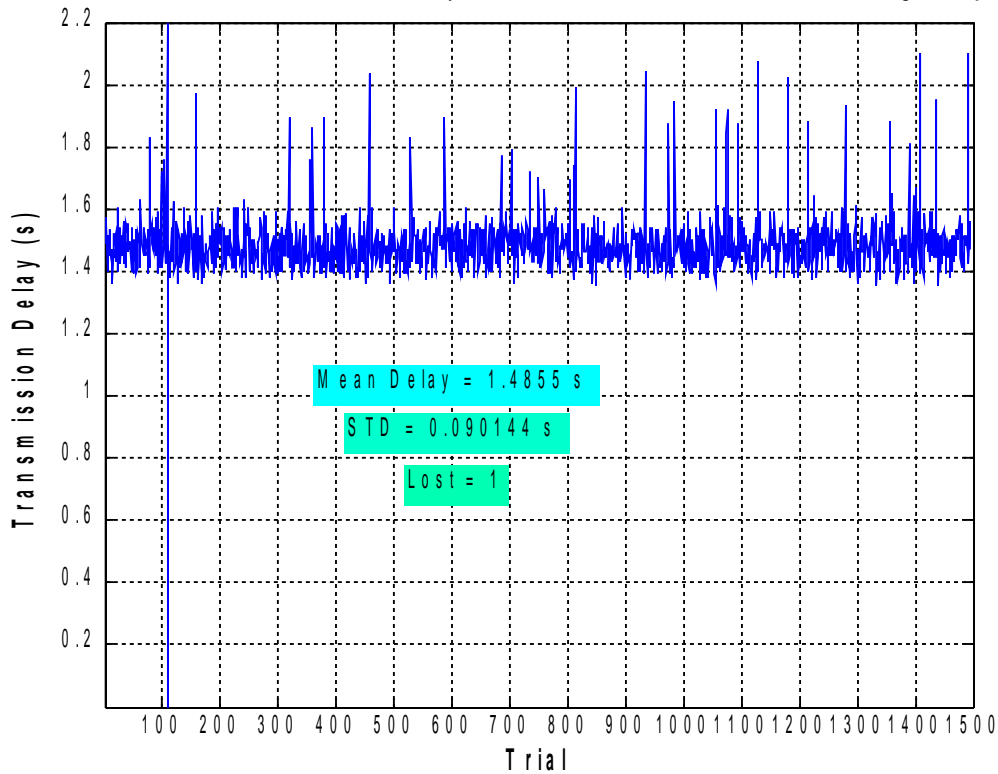
SDS-TL Transmission Delay for 180 Character Messages per 2 s



SDS-TL Transmission Delay for 185 Character Messages per 2 s



SDS-TL Transmission Delay for 190 Character Messages per 2 s



Ακολουθούν πίνακες με συγκεντρωμένες όλες τις μετρήσεις που έγιναν για τα μηνύματα από 10 έως 190 χαρακτήρες για να έχουμε μια σφαιρική εικόνα του μέσου όρου της καθυστέρησης μετάδοσης (*mean delay*) συναρτήσει των διαστημάτων μεσολάβησης (*intertransmission interval*).

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
1s	0,39105	0,40393	0,42667	0,47306	0,48532	0,62956	0,65567	0,64369	0,64731	0,72623	0,71396	0,74429	0,74345
1.5s	0,38889	0,40197	0,42627	0,47115	0,48864	0,62804	0,65454	0,63645	0,64822	0,72825	0,72155	0,72489	0,7552
2.0s	0,39065	0,40455	0,42441	0,4748	0,49107	0,62583	0,64405	0,63838	0,88191	0,728	0,71674	0,88197	0,86704
	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
1s	0,89021	0,87546	0,90949	0,9165	0,95817	0,97201	1,0084	1,1222	1,1391	1,1479	1,188	1,1684	1,2486
1.5s	0,88924	0,9266	0,90719	0,90812	0,97064	0,97416	1,0066	1,1228	1,1359	1,1463	1,1813	1,2339	1,255
2.0s	0,87412	0,8957	0,94594	0,96103	0,95512	0,95024	0,96965	0,99874	1,2381	1,133	1,1421	1,1354	1,1557
	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	1-190	
1s	1,2489	1,2276	1,2492	1,1794	1,4024	1,4747	1,3998	1,4148	1,4876	1,4677	1,5186	0,981063	
1.5s	1,2497	1,2369	1,2488	1,2553	1,4917	1,388	1,4384	1,4036	1,4841	2,1579	1,4727	1,004295	
2.0s	1,2078	1,2389	1,2334	1,3637	1,3883	1,3876	1,3899	1,4713	1,4577	1,4711	1,4855	0,989715	

Mean Delay

Ακολουθούν πίνακες με συγκεντρωμένες όλες τις μετρήσεις που έγιναν για τα μηνύματα από 10 έως 190 χαρακτήρες για να έχουμε μια γενική εικόνα της τυπικής απόκλισης (STD, *standard deviation*) της καθυστέρησης μετάδοσης συναρτήσει των διαστημάτων μεσολάβησης (*intertransmission intervals*).

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
1s	0,068089	0,070391	0,068268	0,058577	0,071849	0,11052	0,11764	0,087747	0,077065	0,074297	0,077885	0,10672	0,10652
1.5s	0,062537	0,064385	0,067729	0,059115	0,070151	0,11618	0,09548	0,077662	0,073285	0,094071	0,088398	0,088587	0,17999
2.0s	0,067684	0,069293	0,069023	0,057703	0,078204	0,080577	0,074597	0,096529	0,21141	0,077188	0,085066	0,096368	0,084729

	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
1s	0,090625	0,092598	0,10126	0,10564	0,081491	0,090934	0,099132	0,095648	0,12882	0,12081	0,14708	0,1308	0,11027
1.5s	0,097483	0,36287	0,092924	0,08731	0,094252	0,087564	0,089664	0,092355	0,11175	0,11475	0,1362	0,11379	0,11577
2.0s	0,074443	0,074101	0,073241	0,074644	0,083556	0,07651	0,087978	0,09198	0,62993	0,24516	0,090466	0,082459	0,10026

	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	1-190
1s	0,10019	0,13133	0,11442	0,30012	0,19298	0,15534	0,12677	0,11497	0,14534	0,10037	0,53968	0,121951
1.5s	0,11747	0,12601	0,11613	0,11746	0,12004	0,12667	0,20107	0,092148	0,14086	1,2407	0,10923	0,141677
2.0s	0,087324	0,09723	0,092695	0,10409	0,10603	0,1119	0,096524	0,097452	0,091616	0,094399	0,090144	0,108176

STD (Standard Deviation)

Ακολουθούν πίνακες με συγκεντρωμένες όλες τις μετρήσεις που έγιναν για τα μηνύματα από 10 έως 190 χαρακτήρες και πιο συγκεκριμένα για το συνολικό αριθμό των μηνυμάτων που χάθηκαν, δηλαδή δεν παραλήφθηκαν από το τερματικό «43» είτε δε στάλθηκαν ποτέ από το τερματικό «42» συναρτήσει των διαστημάτων μεσολάβησης (*intertransmission intervals*).

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
1s	0	0	0	0	0	213	3	0	0	0	0	1	4
1.5s	0	0	1	0	0	23	0	0	0	1	0	0	10
2.0s	0	0	0	0	0	7	0	0	14	0	0	6	8

	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
1s	2	0	0	2	101	3	1	2	5	35	14	5	6
1.5s	0	43	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
2.0s	0	1	0	0	3	0	0	0	76	7	0	0	0

	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	1-190
1s	2	25	8	344	23	14	11	1	11	3	141	26,48649
1.5s	1	1	0	0	2	2	17	1	13	56	0	4,702703
2.0s	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	3,378378

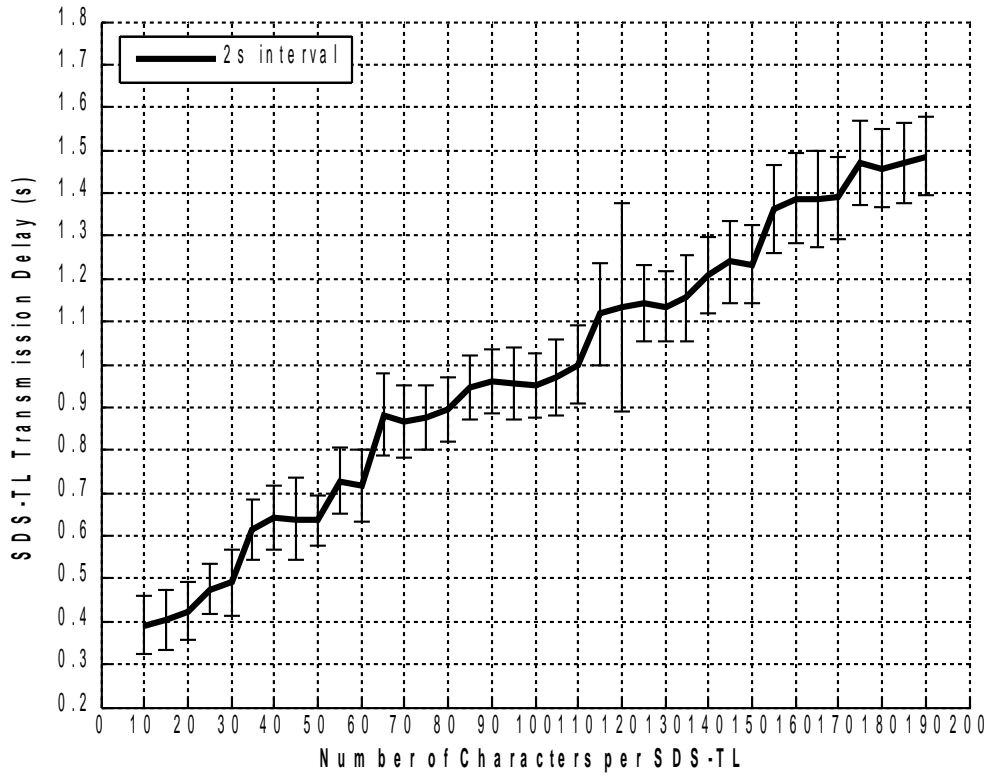
LOST

Συμπεράσματα

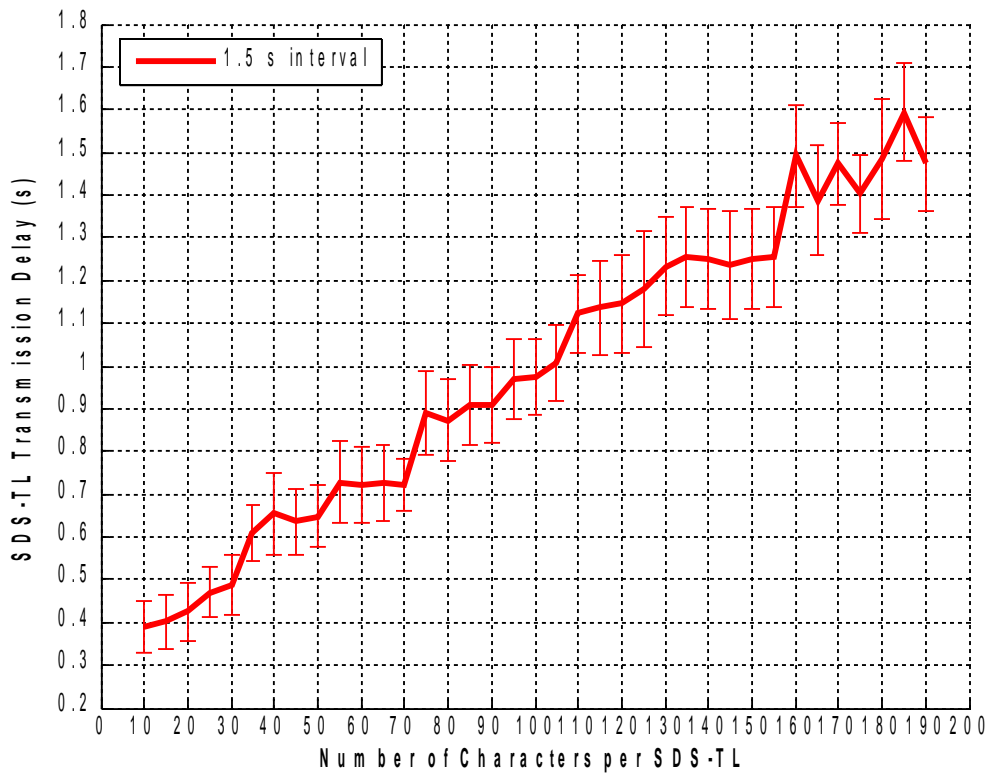
Στοχεύοντας να φθάσουμε σε ασφαλή από στατιστικής πλευράς αποτελέσματα, επαναλάβαμε την παραπάνω διαδικασία μετρήσεων για μεγέθη μηνυμάτων που κυμαίνονται από 10-190 *bytes* μ'ένα αυξητικό βήμα της τάξης των 5 *bytes*. Στα Σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζουμε την καθυστέρηση μετάδοσης απ'άκρη-σ'άκρη (μέση και τυπική απόκλιση) για διαστήματα μεσολάβησης των 2, 1.5 και 1 δευτερολέπτου αντίστοιχα. Σημειώνουμε ότι κάθε σημείο στα Σχήματα 49, 50 και 51 εμπεριέχει 1500 μετρήσεις. Αυτό σημαίνει ότι στα αποτελέσματα που προέκυψαν συμπεριλαμβάνεται ο συνολικός αριθμός των 166500 μετρήσεων. Ωστόσο ο πραγματικός αριθμός των μετρήσεων ήταν ακόμη υψηλότερος, αλλά εφόσον είχαμε θέσει κάποιους περιορισμούς σχετικά με το σύνθετο φορτίο δικτύου και την ικανοποιητική ραδιοκάλυψη επαναλάβαμε τις μετρήσεις που δε συμμορφώνονταν με τους συγκεκριμένους περιορισμούς. Οι μετρήσεις που κρίθηκαν μη ικανοποιητικές περιλαμβάνονται στο παράρτημα, που ακολουθεί αμέσως μετά.

Η καθυστέρηση μετάδοσης απ'άκρη-σ'άκρη όπως απεικονίζεται στα Σχήματα 49, 50 και 51 προκύπτει ότι είναι μια αύξουσα συνάρτηση του μεγέθους των μηνυμάτων ενώ μπορούν να παρατηρηθούν κλιμακούμενες επιδράσεις για όλα τα διαστήματα που μεσολαβούν μεταξύ των μεταδόσεων. Για παράδειγμα μηνύματα με μεγέθη δεδομένων χρήστη από 55-70 *bytes* απαιτούν τον ίδιο χρόνο για να παραδοθούν, ήτοι 0.7sec. Αντιθέτως ένα μήνυμα των 75 *bytes* παρουσιάζει μια καθυστέρηση μετάδοσης απ'άκρη-σ'άκρη της τάξης περίπου του 0.85sec, ασχέτως απ'τα διαστήματα μεσολάβησης της μετάδοσης. Το ίδιο φαινόμενο μπορεί να εξηγηθεί αν λάβουμε υπ'όψιν μας τη ραδιοδιεπαφή TETRA: κάθε μήνυμα στέλνεται μέσω της ραδιοδιεπαφής χρησιμοποιώντας την υπηρεσία TETRA SDS-TL. Το υποκείμενο στρώμα 2 (*Tetra Layer 2*) χωρίζει το μήνυμα σε κομμάτια/ριπές. Εφόσον κάθε ριπή μεταφέρει ένα δεδομένο αριθμό *bits* αυτό σημαίνει ότι οι χρησιμοποιούμενοι πόροι της ραδιοδιεπαφής αυξάνουν αλματωδώς για κάποια όρια του μήκους του μηνύματος. Παρ'όλα αυτά θα ήταν δύσκολο να υπολογίσουμε/μετρήσουμε τα όρια αυτά, μιας και οι πόροι που καταναλώθηκαν διαφέρουν στις κατευθύνσεις άνω και κάτω ζεύξης (*uplink/downlink*). Οπότε για μια υπηρεσία που απαιτεί περιοδική μετάδοση ενός σταθερού μεγέθους δεδομένων ανά μήνυμα (π.χ. θέση GPS σε συνδυασμό με την ταχύτητα οχήματος για ένα στόλο υπηρεσίας διαχείρισης), οι δημιουργοί εφαρμογών μπορεί να επιλέξουν να περιορίσουν το μέγεθος του μηνύματος στα 70 αντί για τα 75 *bytes* επιτυγχάνοντας έτσι μια εξοικονόμηση χρόνου της τάξης του 0.15sec για την καθυστέρηση μετάδοσης. Συγχρόνως ο χειριστής/λειτουργός του συστήματος TETRA θα αποκομίσει τα οφέλη των ραδιοπόρων που διαφορετικά θα υποχρησιμοποιούνταν, δηλαδή περίπου 1 *slot* ανά σύνδεση άνω/κάτω ζεύξης στο παραπάνω παράδειγμα. Άξιο αναφοράς είναι ότι όλα τα μεταδιδόμενα μηνύματα εκτός απ'τα δεδομένα χρήστη (10-190 *bytes*) περιείχαν επιπλέον και την επικεφαλίδα TL των 4 *bytes*.

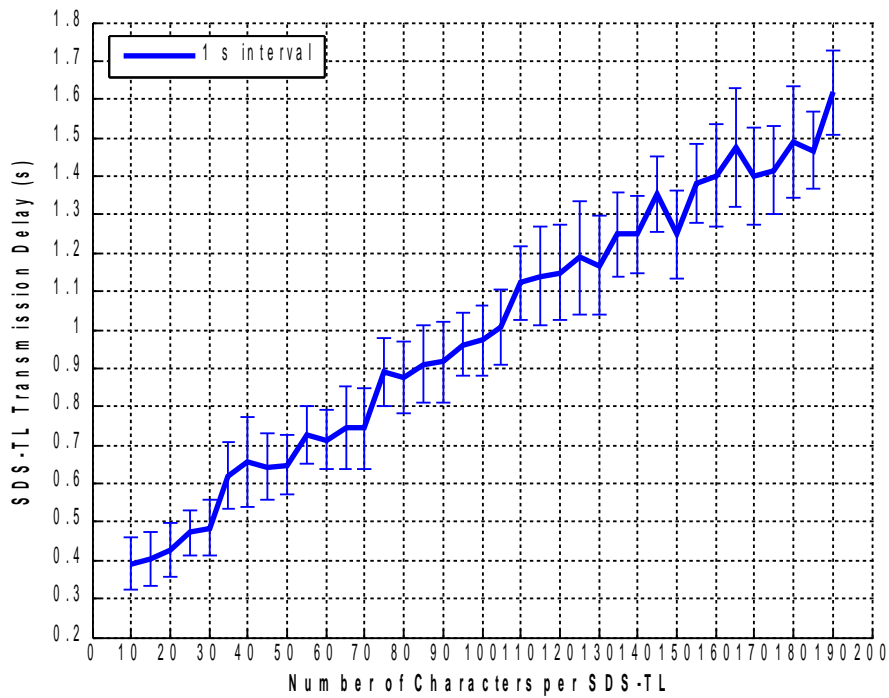
Η τυπική απόκλιση για την καθυστέρηση μετάδοσης απ'άκρη-σ'άκρη προκύπτει ότι είναι μια αύξουσα συνάρτηση του μεγέθους του μηνύματος διατηρώντας το ενδιάμεσο χρονικό διάστημα σταθερό. Αυτό γίνεται φανερό στα Σχήματα 49, 50 και 51 αν παρατηρήσουμε το εύρος των «ράβδων» σφαλμάτων (*error bars*) καθώς αυξάνει το μέγεθος του μηνύματος. Διατηρώντας το μέγεθος του μηνύματος σταθερό δεν παρατηρείται καμία ουσιαστική διαφορά για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης συναρτήσει των διαστημάτων μεσολάβησης. Ως εκ τούτου δεν πρέπει να αναμένει κανείς κάποια αξιοσημείωτη διαφορά στην τυπική διασπορά της καθυστέρησης: π.χ. η περίπτωση συνεχούς μετάδοσης μηνυμάτων των 100 *bytes* και ελαττώνοντας το μεσοδιάστημα απ'τα 2sec στο 1.5sec.



Σχήμα 49: Καθυστέρηση μετάδοσης για μεσοδιάστημα 2sec

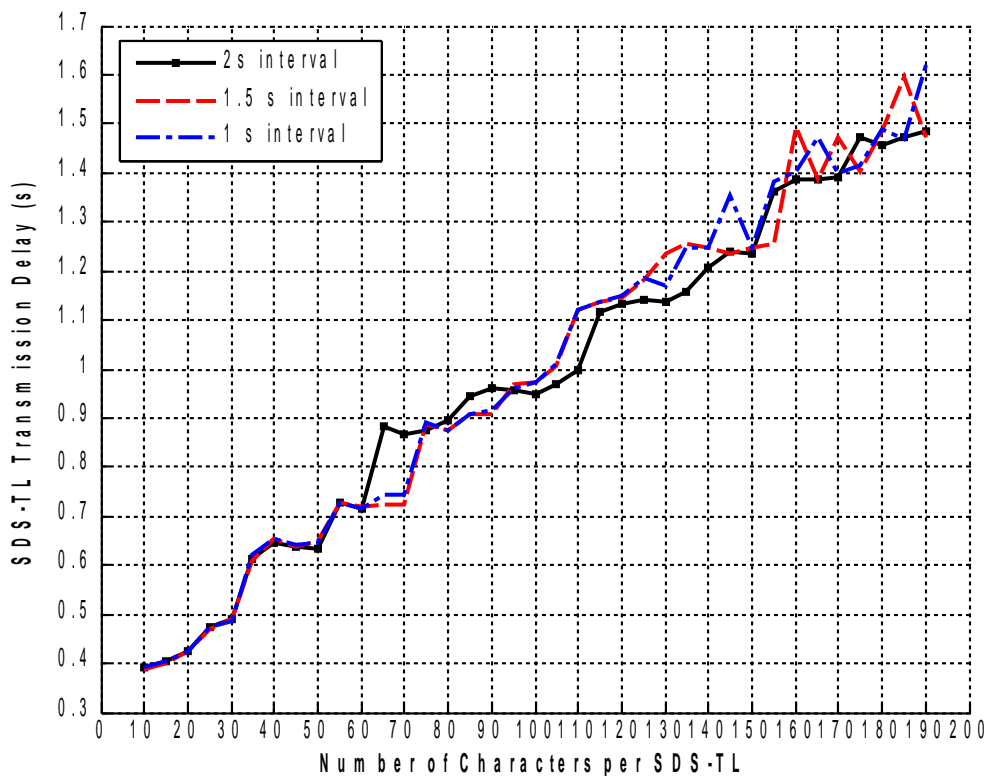


Σχήμα 50: Καθυστέρηση μετάδοσης για μεσοδιάστημα 1.5sec



Σχήμα 51: Καθυστέρηση μετάδοσης για μεσοδιάστημα 1sec

Στο Σχήμα 52 συνοψίζουμε τη μέση καθυστέρηση μετάδοσης απ' άκρη-σ' άκρη σε αντιπαράθεση με το μήκος για τα διαστήματα μεσολάβησης. Μεταθέσαμε τις γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 49-51 παραλείποντας τις ενδείξεις της τυπικής διασποράς (*error bars*), έτσι ώστε να πάρουμε μια σαφή γενική εικόνα. Παρόμοιες μέσες τιμές της μετάδοσης καθυστέρησης απ' άκρη-σ' άκρη παρατηρούνται για όλα ανεξαιρέτως τα διαστήματα διαμεσολάβησης. Η καθυστέρηση κυμαίνεται μεταξύ 0,4 και 1,6sec βάσει του μεγέθους του μηνύματος.



Σχήμα 52: Σύγκριση καθυστέρησης μετάδοσης και για τα τρία μεσοδιαστήματα

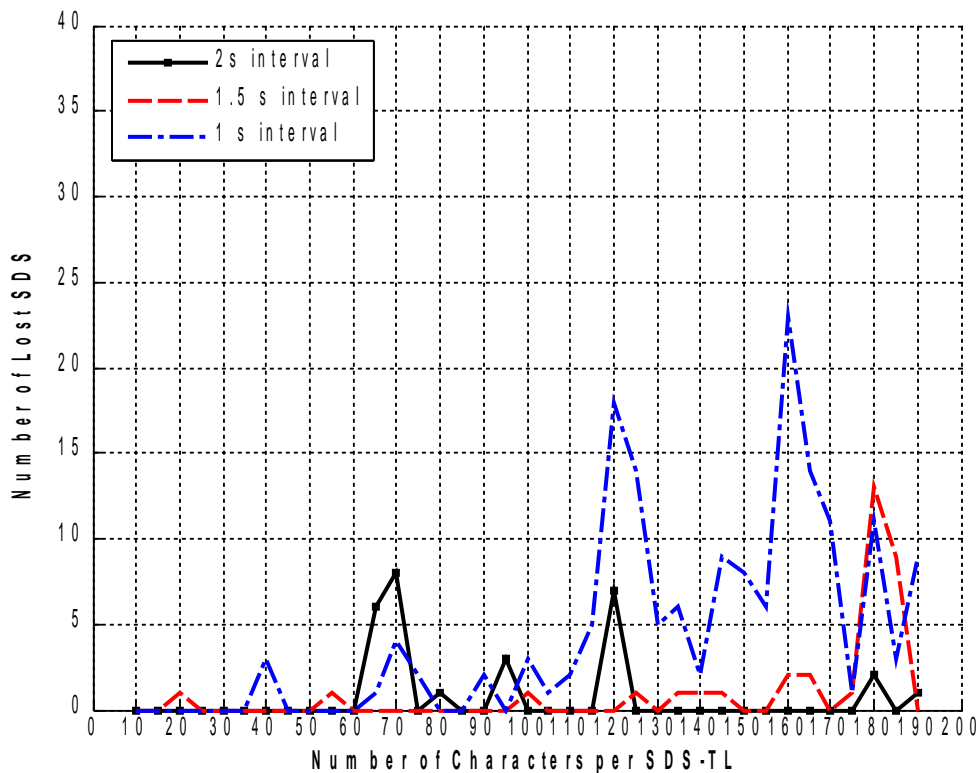
Στο Σχήμα 53 παρουσιάζουμε το ποσοστό SDS που χάθηκαν σε αντιπαράβολή με το μήκος του μηνύματος για τα τρία μεσοδιαστήματα. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί για το διάστημα των 2sec που μεσολαβεί αναμεσα στις μεταδόσεις, το ποσοστό των χαμένων SDS είναι αμελητέο (περίπου 0-0.27%). Αντίστοιχα για το διάστημα του 1.5sec το ποσοστό των χαμένων SDS είναι και πάλι ασήμαντο (περίπου 0-0.8%). Τέλος για την περίπτωση του μεσοδιαστήματος του 1sec, το ποσοστό των χαμένων SDS είναι ελαφρώς μεγαλύτερο, ήτοι 0-1.68%. Εν τούτοις ακόμη και για το διάστημα του 1sec, το ποσοστό των χαμένων SDS είναι μικρότερο του 0.6% για εύρος μηνυμάτων από 0-120 bytes.

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι η κλίμακα του Σχήματος 53 έχει ένα μέγιστο ίσο με 2% στον άξονα y. Αυτό σημαίνει ότι μια αύξηση από 0.2% ως 1.6% μεταφράζεται σε 3 και 24 χαμένα μηνύματα, εκ των 1500 μεταδιδόμενων μηνυμάτων αντίστοιχα.

Όσον αφορά στη μετάδοση των μηνυμάτων με μήκος μεγαλύτερο από 120 χαρακτήρες, για διάστημα του 1s, η απ' άκρη-σ' άκρη καθυστέρηση κυμαίνεται από 1.1 ως 1.6s. (βλ. Σχήμα 52). Επομένως η μεταφορά δεδομένων μέσω του SDS-TL καταλαμβάνει διαρκώς το κανάλι MCCCH στην κυνέλη αποστολέα και παραλήπτη. Κατά συνέπεια είναι πιθανότερο η μετάδοση του SDS-TL να συμπέσει με τη σηματοδοσία φωνητικής κλήσης ενός άλλου χρήστη ή να «συγκρουστεί» με τις μεταδόσεις SDS άλλων χρηστών προκαλώντας την απώλεια του SDS-TL.

Επιπροσθέτως αν και προσπαθήσαμε να εξασφαλίσουμε καλή παραλαβή σήματος είναι πιθανό ότι μερικές μεταδόσεις έλαβαν χώρα όταν τα τερματικά βρίσκονταν σε κατάσταση τυχαίας εξασθένισης σήματος, οπότε είναι λογικό ότι χάθηκαν κάποια SDS.

Εν κατακλείδι, εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για να μεταδώσουν κρίσιμα δεδομένα θα έπρεπε να αποφεύγουν διαστήματα μεσολάβησης κάτω του 1,5s όταν μεταδίδουν μηνύματα μεγαλύτερα από 120 χαρακτήρες.



Σχήμα 53: SDS που χάθηκαν συγκριτικά και για τα τρία μεσοδιαστήματα

Συντομογραφίες

AACH	Access Assignment CHannel , κανάλι ανάθεσης πρόσβασης
ACELP	Algebraic Code Excited Linear Prediction,
BCCH	Broadcast Control CHannel, κανάλι ελέγχου ευρείας εκπομπής
BER	Bit Error Rate, ρυθμός σφαλμάτων bit
BN	Bit Number, αριθμός bit
BS	Base Station, σταθμός βάσης
BSCH	Broadcast Synchronization CHannel,
CC	Call Control, έλεγχος κλήσης
CCH	Control CHannel, κανάλι ελέγχου
CDMA	Code Division Multiple Access,
CP	Control Physical channel, φυσικό κανάλι ελέγχου
CR	Carrier Return, επιστροφή φορέα
CRC	Cyclic Redundancy Check,
DCC	Direct mode Colour Code,
DL	Downlink, κάτω ζεύξη
DLB	Direct mode Linearization Burst,
DLL	Data Link Layer,
DMCC	Direct Mode Call Control,
DM-GATE	Direct Mode GATEway,
DM-MS	Direct Mode Mobile Station,
DM-REP	Direct Mode REPeater,
DM-SC	Direct Mode Service Centre,
DMO	Direct Mode Operation, λειτουργία άμεσου τρόπου/απ' ευθείας λειτουργία
DM-SDU	SDU from layer 3,
DNB	Direct mode Normal Burst,
DQPSK	Differential Quaternary Phase Shift Keying, διαφορική ορθογωνική κωδικοποίηση φάσης
DSB	Direct mode Synchronization Burst,
DTMF	Dual Tone Multi-Frequency,
DW-MS	Dual Watch Mobile Station,
ECCH	Extended Control CHannel, εκτεταμένο κανάλι ελέγχου
ETSI	European Telecommunications Standardization Institute, ευρωπαϊκός οργανισμός προτυποποίησης τηλεπικοινωνιών
F-DW-MS	Full DW-MS,
GPRS	General Packet Radio Services, γενικές ασύρματες υπηρεσίες πακέτων δεδομένων
GPS	Global Positioning System, παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης
GSM	Global System for Mobile communication, παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών
GSSI	Group Short Subscriber Identity,
GTSI	Group TETRA Subscriber Identity,
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol,
IDEN	Integrated Digital Enhanced Network,
I-DW-MS	Idle DW-MS,
IE	Information Element
IP	Internet Protocol, πρωτόκολλο διαδικτύου
ISDN	Integrated Service Digital Network,
ISSI	Individual SSI
ITSI	Individual TETRA Subscriber Identity, ατομικό αναγνωριστικό συνδρομητή

	TETRA
KSG	Key Stream Generator,
LCH	Linearization CHannel, κανάλι ευθυγράμμισης
LF	Line Feed, αλλαγή γραμμής
LLC	Logical Link Control,
LS	Line Station, σταθμός γραμμής
LSB	Least Significant Bits,
MAC	Medium Access Control, έλεγχος πρόσβασης στο μέσο
MAP	Mobile Application Part,
MCC	Mobile Country Code,
MCCH	Main Control CHannel, κύριο κανάλι ελέγχου
MLE	Mobile Link Entity, οντότητα κινητής ζεύξης
MM	Mobility Management, διαχείριση κινητικότητας
MMI	Man Machine Interface, διεπαφή ανθρώπου-μηχανής
MN	Multiframe Number, αριθμός πολυπλασιού
MNC	Mobile Network Code,
MNI	Mobile Network Identity,
mod	Modulo (base for counting),
MS	Mobile Station, κινητός σταθμός
MSB	Most Significant Bits,
MT2	Mobile Termination type 2, κινητό τερματικό τύπου 2
OTAR	Over The Air Rekeying,
PABX	Private Automated Branch eXchange
PDCH	Packet Data CHannel, κανάλι πακέτων δεδομένων
PDO	Packet Data Optimized, βελτιστοποίηση πακέτων δεδομένων
PDP	Packet Data Protocol, πρωτόκολλο πακέτων δεδομένων
PDU	Protocol Data Unit, μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου
PEI	Peripheral Equipment Interface, διεπαφή περιφερειακού εξοπλισμού
PL	Physical Layer,
PMR	Public Mobile Radio, δημόσιες ασύρματες κινητές επικοινωνίες
PSTN	Public Subscriber Telephone Network,
PTT	Push-To-Talk,
RF	Radio Frequency, ραδιοσυχνότητα
RMS	Root Mean Square, τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγώνου
RMSVE	RMS Vector Error, διάνυσμα σφάλματος RMS
SAP	Service Access Point, σημείο πρόσβασης υπηρεσίας
SAR	Segmentation And Reassembly,
SCCH	Secondary Control CHannel, δευτερεύον κανάλι ελέγχου
SCH	Signalling CHannel, κανάλι σηματοδότησης
SCK	Static Cipher Key,
SDS	Short Data Service, υπηρεσία σύντομων δεδομένων
SDS-TL	SDS Transfer/Transport Layer, στρώμα μεταφοράς SDS
SDU	Service Data Unit,
SMS	Short Message Service,
SN	Symbol Number, αριθμός συμβόλου
SN-SAP	SubNetwork SAP, SAP υποδικτύου
SS	Supplementary Service, επιπρόσθετη υπηρεσία
SSI	Short Subscriber Identity,
SSN	SubSlot Number, αριθμός υποσχισμής
SSVE	Sum Square Vector Error, αθροιστικό τετραγωνικό διανυσματικό σφάλμα
STCH	STealing CHannel, κανάλι κλοπής
STD	STandard Deviation, τυπική απόκλιση

SwMI	Switching and Management Infrastructure, υποδομή μεταγωγής και διαχείρισης
TCH	Traffic CHannel, κανάλι κίνησης
TCP	Transfer/Transport Control Protocol , πρωτόκολλο ελέγχου μεταφοράς
TD	
TDMA	Time Division Multiple Access, πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου
TE	Terminal Equipment, τερματικός εξοπλισμός
TEI	Terminal Equipment Identity,
TETRA	TErrestrial TRunked RAdio
TM-MS	Trunked Mode MS,
TMO	Trunked Mode Operation, συγκαναλικός τρόπος λειτουργίας
TN	Timeslot Number
TNP1	TETRA Network Protocol type 1
TNCC	TETRA Network layer Call Control
TNSDS	TETRA Network layer Short Data Service
TNSS	TETRA Network layer Supplementary Services
TP	Traffic Physical channel
TPNI	Transmitting Party Number Identification,
TSALP	TETRA SDS Adaptation Layer Protocol,
TSI	TETRA Subscriber Identity,
UDP	User Datagram Protocol,
UL	Uplink, άνω ζεύξη
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
V+D	Voice + Data
WAP	Wireless Application Protocol,
WCMP	Wireless Control Message Protocol,
WDP	Wireless Datagram Protocol
WSP	Wireless Session Protocol
WTP	Wireless Transaction Protocol

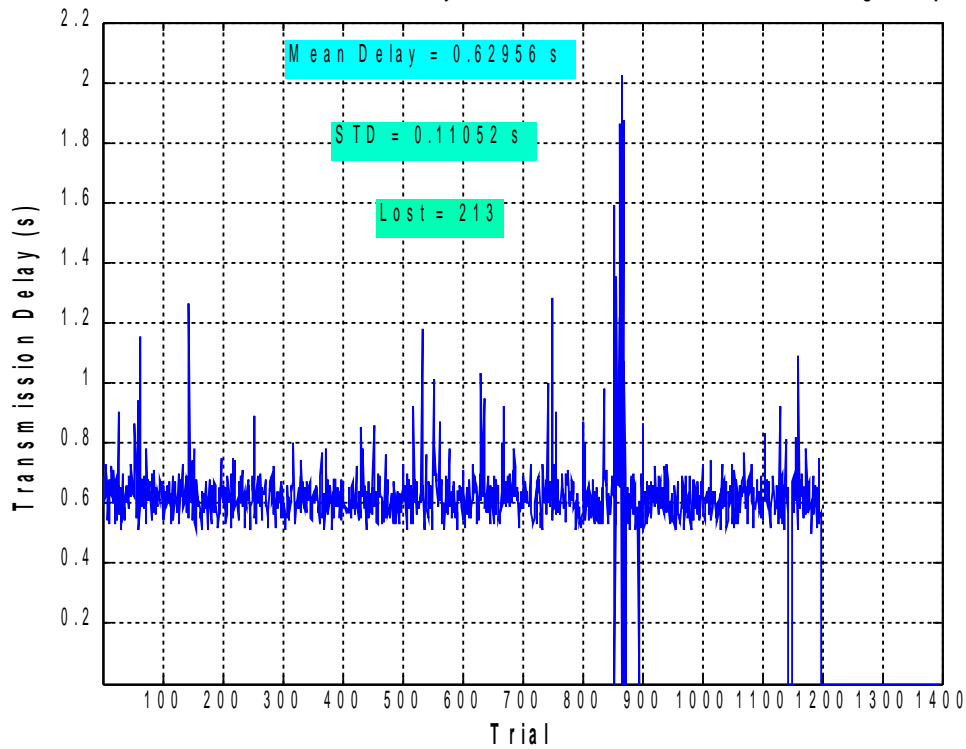
Βιβλιογραφία

- [1] ETSI EN 300 392-2 v2.6.1, “Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI),” May 2006.
- [2] ETSI, EN 300 395-2 V1.3.1, “Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Speech codec for full-rate traffic channel; Part 2 TETRA codec,” Jan. 2005.
- [3] ETSI, EN 300 392-7 v2.3.1, “Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 7: Security,” June 2006.
- [4] TIA/EIA-102.BAAA, “Project 25 FDMA Common Air Interface”, May 1998.
- [5] TIA, TSB102-A, “Project 25 System and Standards Definition”, Nov. 1995.
- [6] ETSI, ETS 300 393-2 second edition, “TETRA Packet Data Optimized (PDO) Air Interface”, Aug. 1999.
- [7] ETSI, EN 300 396-3, v1.2.1, “TETRA; Technical requirements for Direct Mode Operation (DMO); Part 3: Mobile Station to Mobile Station (MS-MS) Air Interface Protocol,” Aug. 2006.
- [8] ETSI, EN 300 392-1, v1.3.1, “Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 1: General network design,” June 2005.
- [9] ETSI, “Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Designers' guide; Part 2: Radio channels, network protocols and service performance,” May 1997.
- [10] D. Kuypers and M. Schinnenburg, “Traffic Performance Evaluation of Data Links in TETRA and TETRAPOL,” in Proceedings of 11th European Wireless Conference 2005, Vol. 2, p.p. 645-651, Nicosia, Cyprus, Apr. 2005.
- [11] C. Hoymann, C. et al. “Performance Analysis of TETRA and TAPS and Implications for Future Broadband Public Safety Communication Systems,” International Workshop on Broadband Wireless Ad-Hoc Networks and Services, ETSI, Sophia Antipolis, France, Sep. 2002.
- [12] Shou Li, "Performance Modelling of TETRA Air Interface", Master Thesis, Technical University of Denmark, June 2004.

Παράρτημα

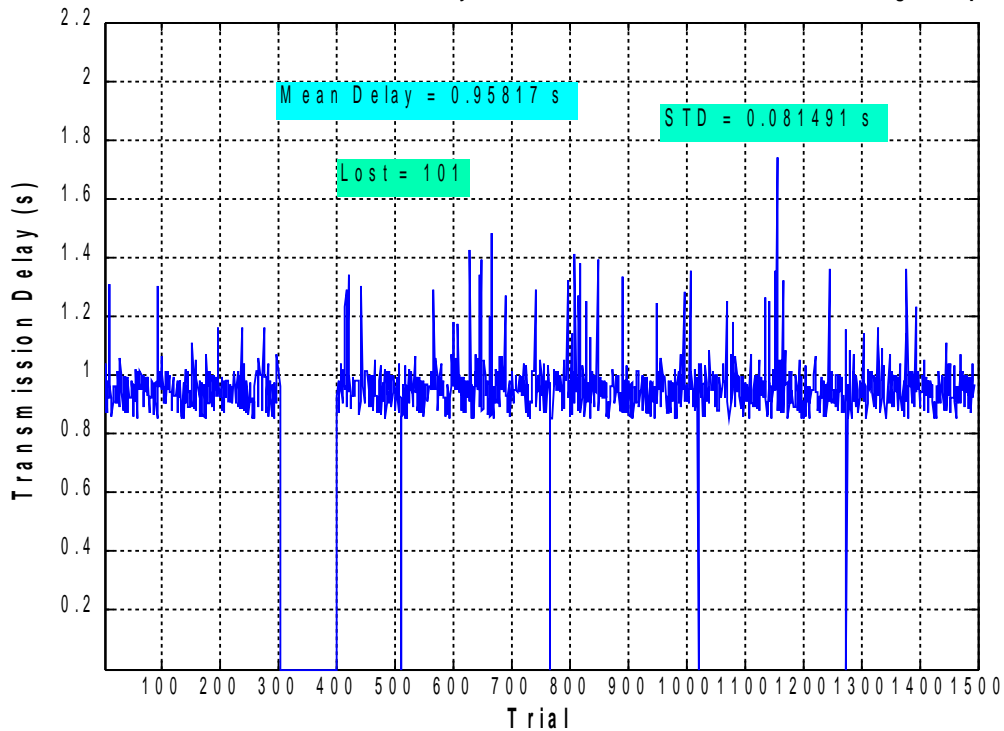
ΑΠΟΣΤΟΛΗ SDS ΑΝΑ 1.0 ΔΕΥΤΕΡΟΛΕΠΤΟ

SDS-TL Transmission Delay for 35 Character Messages per 1 s



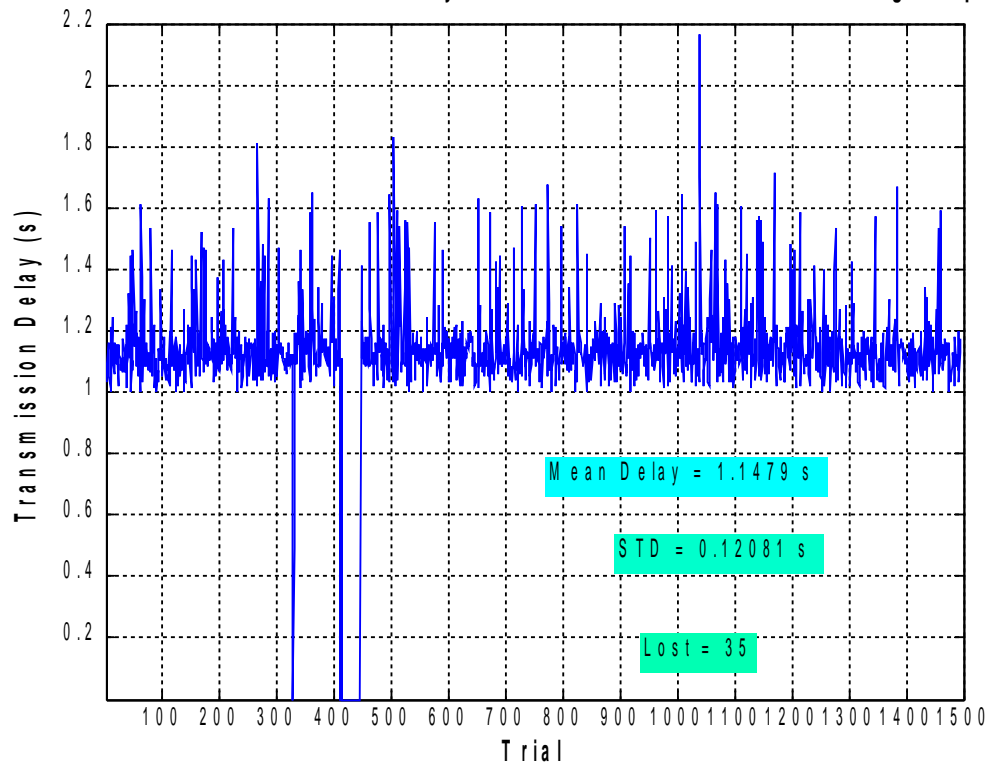
(Πρόβλημα με το καλώδιο)

SDS-TL Transmission Delay for 95 Character Messages per 1 s



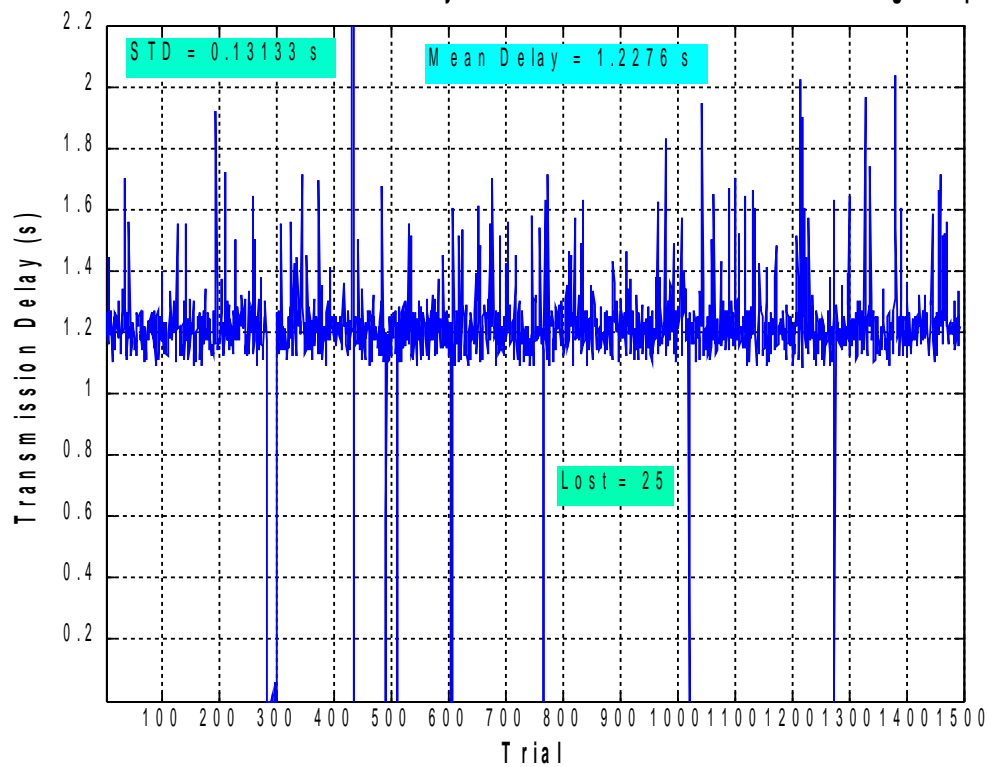
(Χάθηκε το σήμα)

SDS-TL Transmission Delay for 120 Character Messages per 1 s

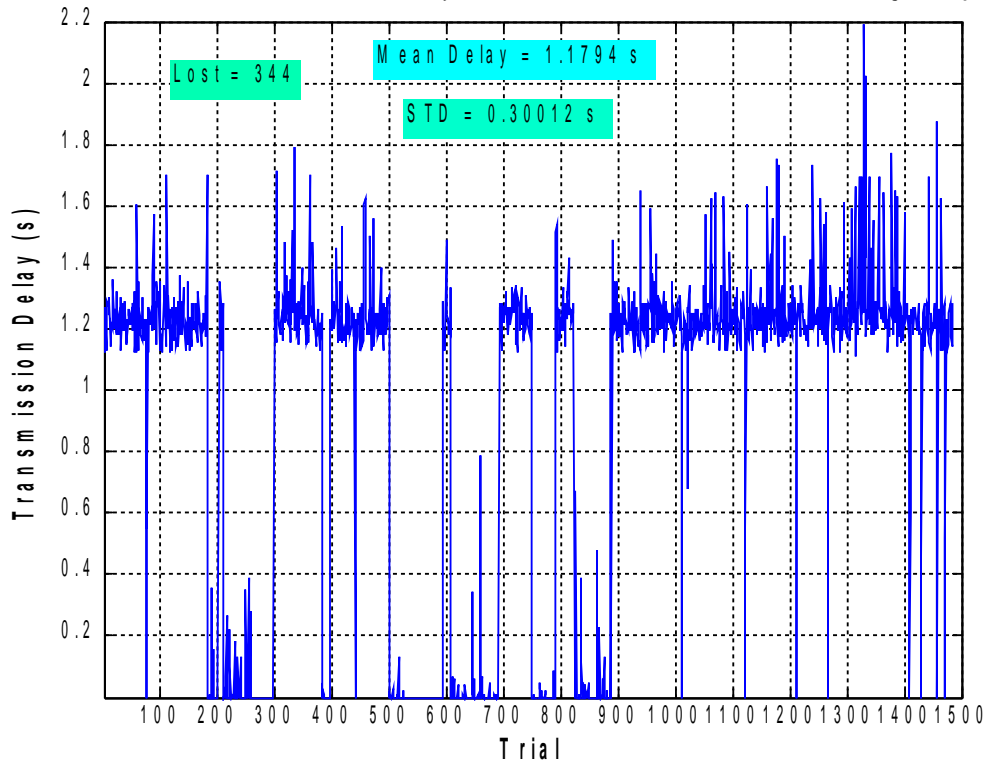


(Φόρτιση του τερματικού)

SDS-TL Transmission Delay for 145 Character Messages per 1 s

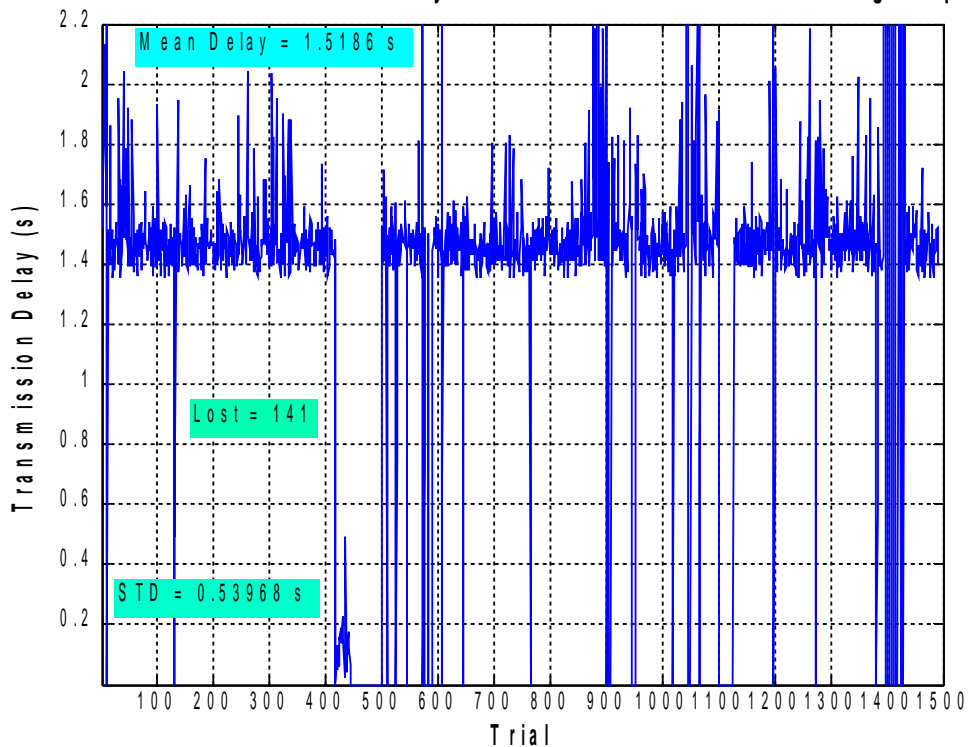


SDS-TL Transmission Delay for 155 Character Messages per 1 s



(Χάθηκε το σήμα)

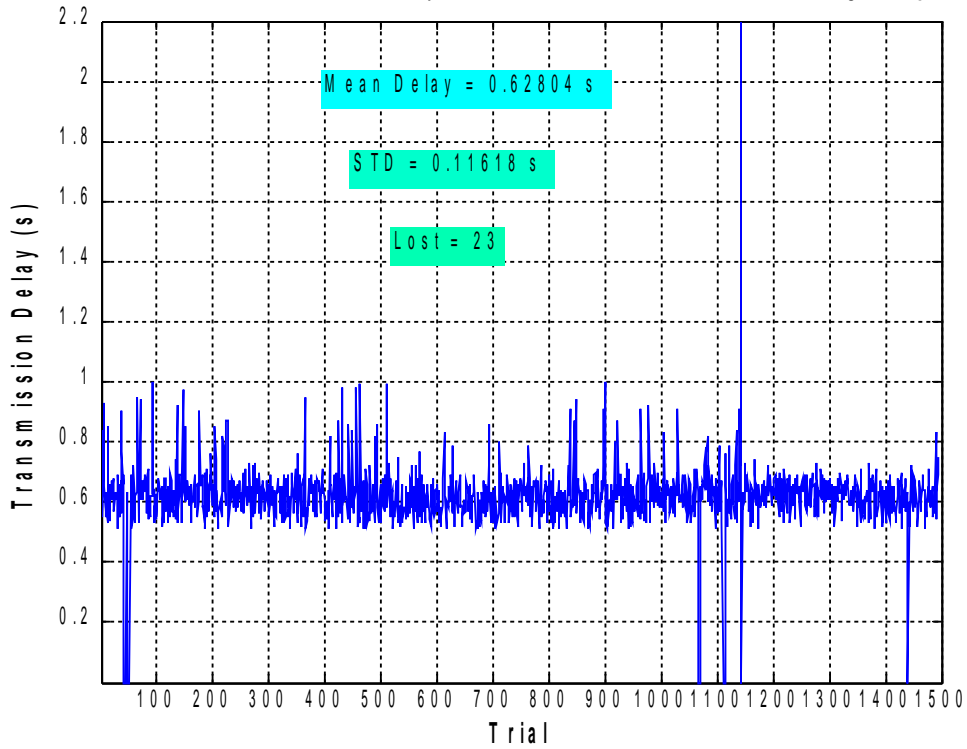
SDS-TL Transmission Delay for 190 Character Messages per 1 s



(Λήψη δύο κλήσεων κατά τη διαδικασία αποστολής των SDS και δύο *handovers* του τερματικού 43)

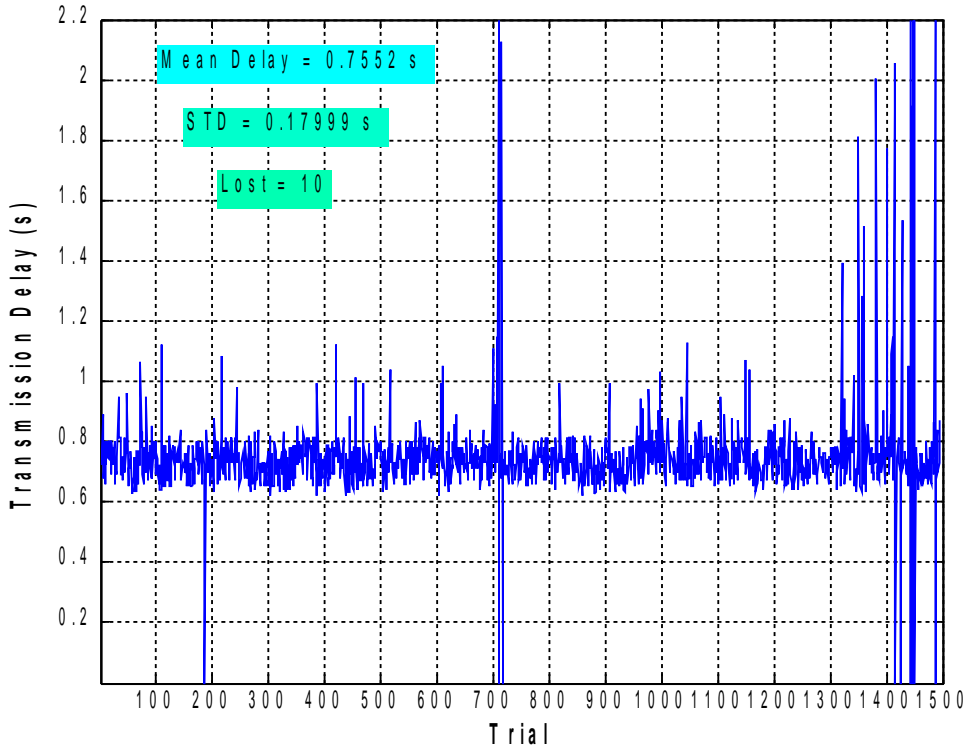
ΑΠΟΣΤΟΛΗ SDS ΑΝΑ 1.5 ΔΕΥΤΕΡΟΛΕΠΤΟ

SDS-TL Transmission Delay for 35 Character Messages per 1.5 s

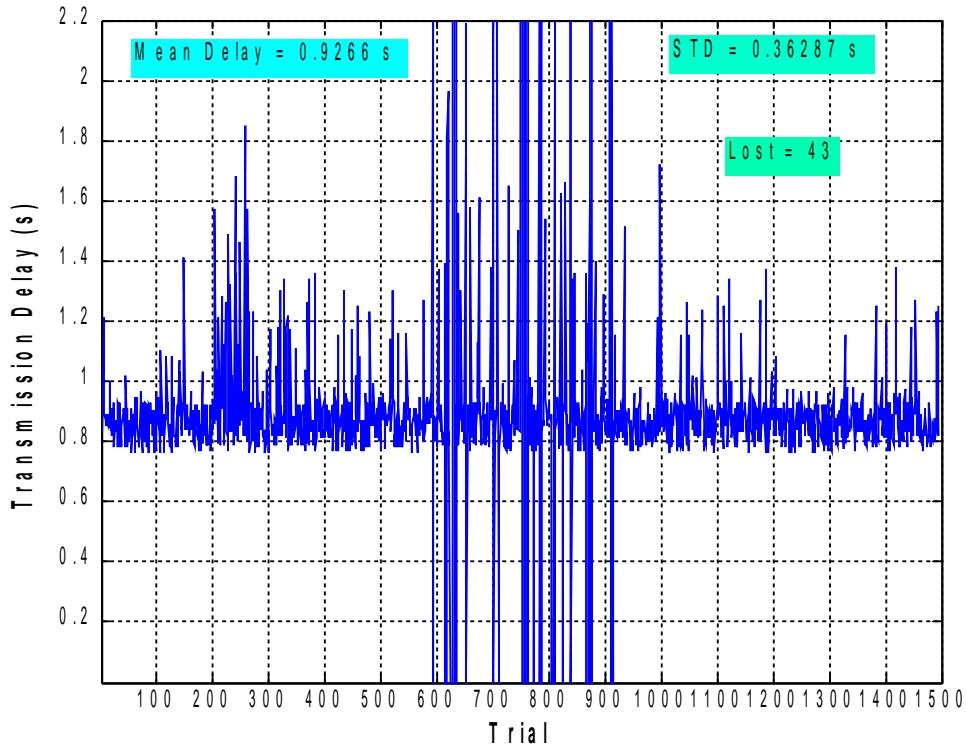


(Το τερματικό 43 έκανε *handover*)

SDS-TL Transmission Delay for 70 Character Messages per 1.5 s

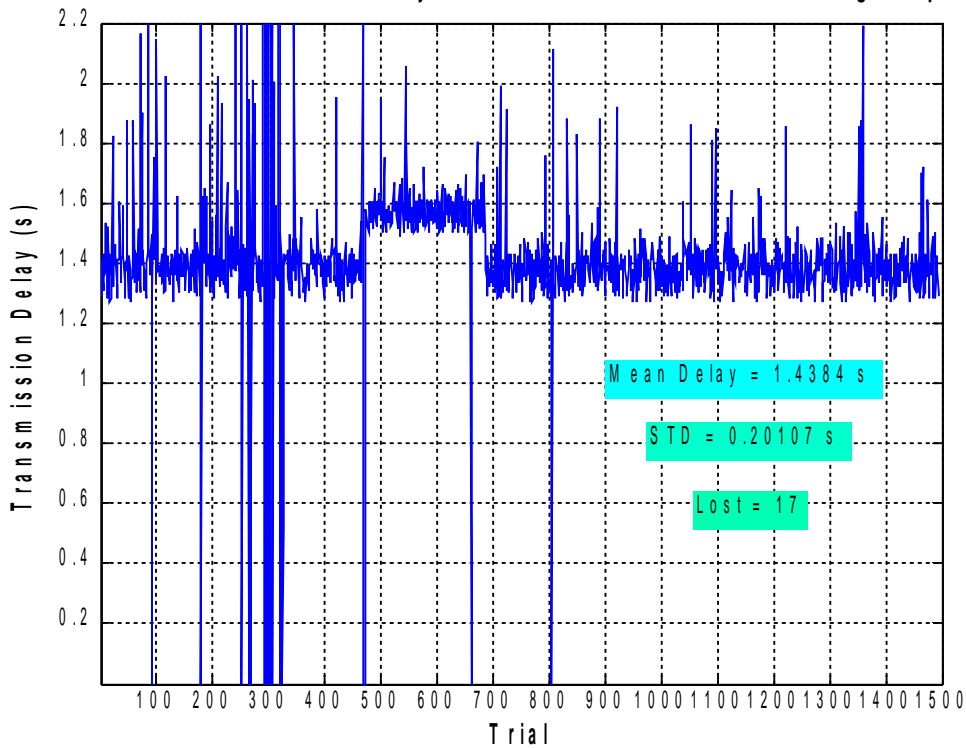


SDS-TL Transmission Delay for 80 Character Messages per 1.5 s



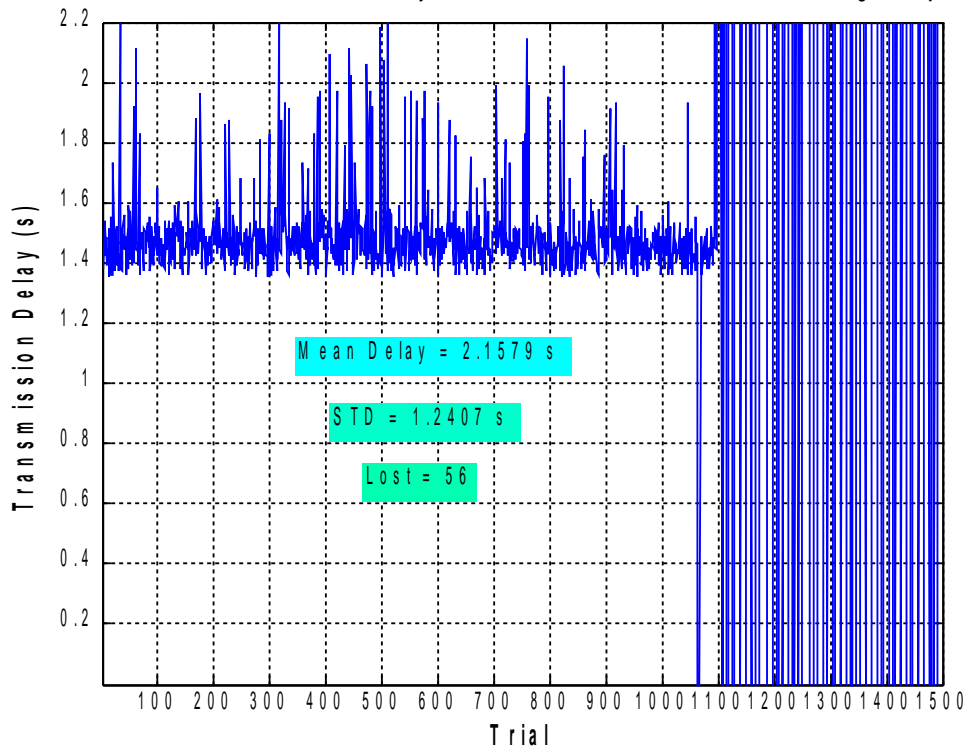
(Χάθηκε το σήμα)

SDS-TL Transmission Delay for 170 Character Messages per 1.5



(Φόρτιση του 42 περίπου στο 70° SDS και δύο *handovers* του 42 από 480° μέχρι 690° SDS)

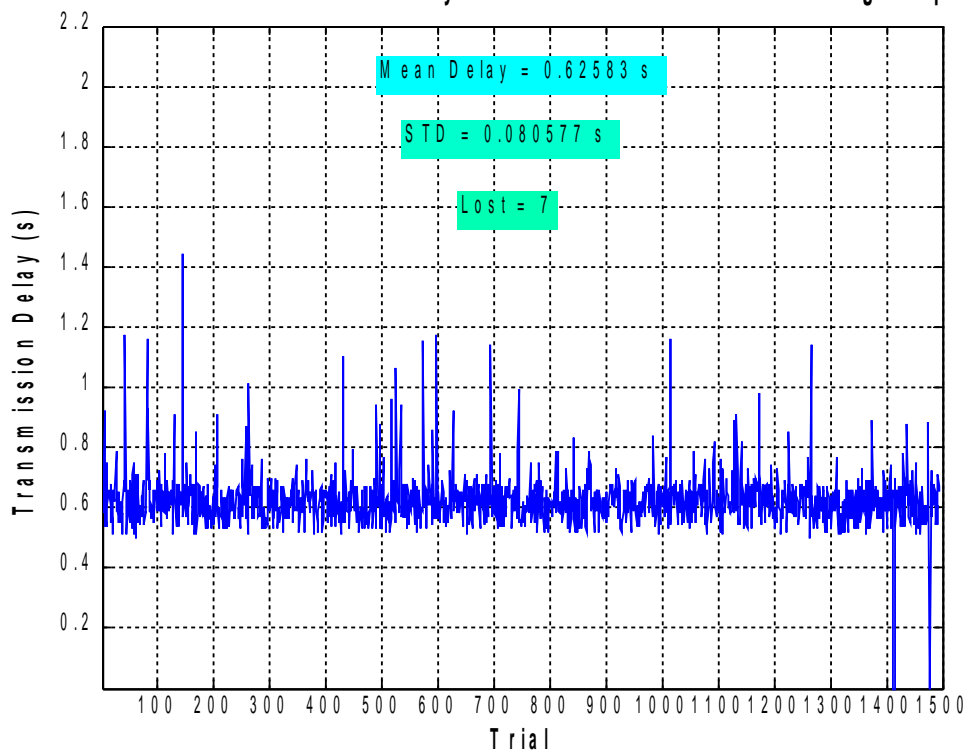
SDS-TL Transmission Delay for 185 Character Messages per 1.5



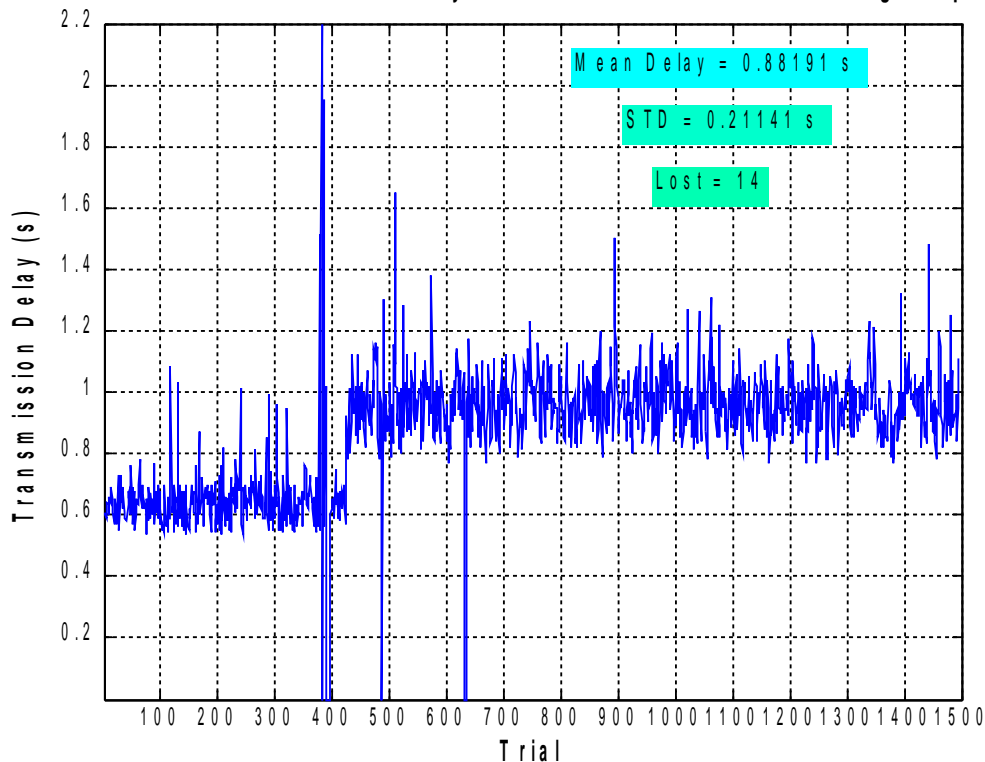
(Διαρκή *handovers* του τερματικού 43 μετά το 1100° SDS)

ΑΠΟΣΤΟΛΗ SDS ΑΝΑ 2.0 ΔΕΥΤΕΡΟΛΕΠΤΑ

SDS-TL Transmission Delay for 35 Character Messages per 2 s

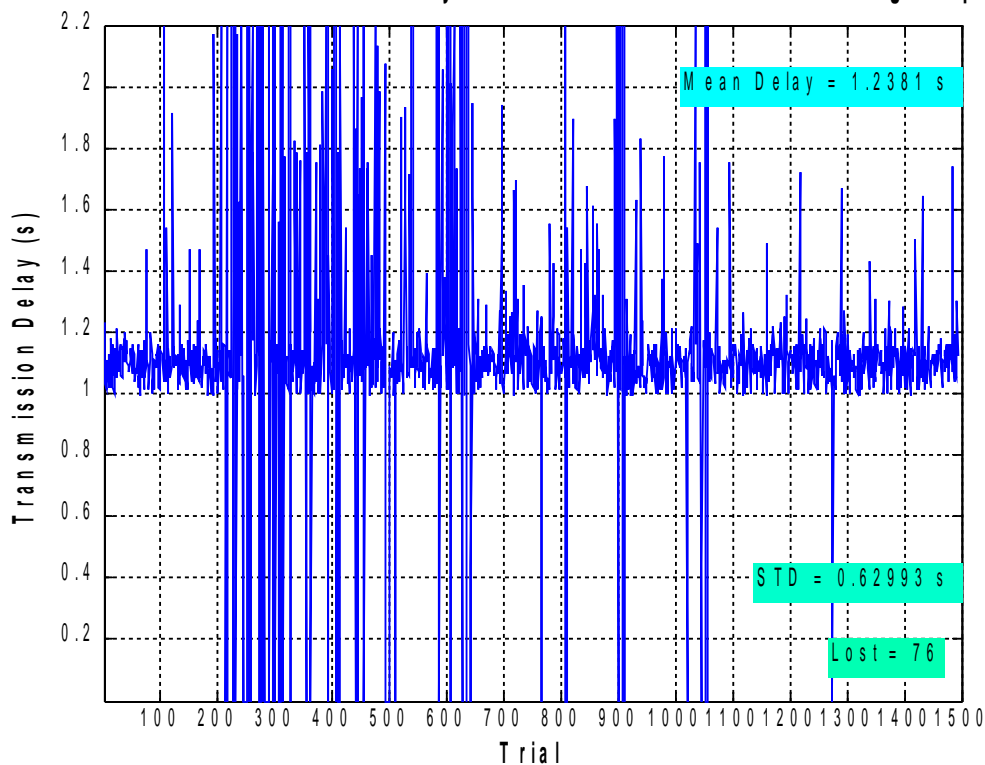


SDS-TL Transmission Delay for 50 Character Messages per 2 s



(Λίγο μετά το 400^ο SDS το τεμαχικό 43 έκανε *handover* σε σταθμό βάσης με ασθενέστερο σήμα, δηλαδή πέρασε στον «MPC-39» από το «C»)

SDS-TL Transmission Delay for 115 Character Messages per 2 s



(Χάθηκε το σήμα πολλές φορές κατά τη διάρκεια των μετρήσεων)