



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Η καταλληλότητα της τεχνολογίας Radio over IP σε συνδυασμό με δορυφορική μετάδοση στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας

Διδακτορική Διατριβή

Σπύρος Α. Αποστολάκος

Επιβλέπων καθηγητής:

Γ. Στασινόπουλος

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Η καταλληλότητα της τεχνολογίας
Radio over IP σε συνδυασμό με
δορυφορική μετάδοση στον Έλεγχο
Εναέριας Κυκλοφορίας**

Διδακτορική Διατριβή

Σπύρος Α. Αποστολάκος

Συμβουλευτική Επιτροπή:

Γ. Στασινόπουλος
Μ. Θεολόγου
Η.Κουκούτσης

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 15^η Οκτωβρίου 2015

Γ. Στασινόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Μ. Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Η.Κουκούτσης
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ε. Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ε. Καγιάφας
Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Β. Λούμος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δ. Ρεΐσης
Αν. Καθηγητής Ε.Κ.ΠΑ

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Σπύρος Α. Αποστολάκος

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

Copyright © Σπύρος Α. Αποστολάκος, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Οι επικοινωνίες φωνής αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της λειτουργίας του Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας (EEK). Σε χώρες με περίπλοκο ανάγλυφο και/ή εκτεταμένα νησιωτικά συμπλέγματα, όπως η Ελλάδα, η παροχή επαρκούς ραδιοκάλυψης, ιδιαίτερα σε χαμηλά ύψη, είναι εξαιρετικά δύσκολη και κοστοβόρα αν βασίζεται σε επίγεια τηλεπικοινωνιακή υποδομή μισθωμένων γραμμών, όπως είναι η συνήθης πρακτική. Οι δορυφορικές επικοινωνίες αποτελούν μία πιθανή λύση στο πρόβλημα αυτό, καθώς είναι διαθέσιμες παντού. Ταυτόχρονα, οι ρυθμιστικές αρχές σε παγκόσμιο επίπεδο προωθούν την υιοθέτηση τεχνολογιών δικτύωσης βασισμένων σε μεταγωγή πακέτων για την αεροναυτιλία, αναγνωρίζοντας τα προφανή πλεονεκτήματά τους. Το ερώτημα που η διατριβή επιχειρεί να απαντήσει είναι αν θα ήταν εφικτός ο συνδυασμός τηλεπικοινωνιών βασισμένων σε μεταγωγή πακέτων και δορυφορικών κυκλωμάτων (Radio over IP over satellite) για την υλοποίηση των επικοινωνιών μεταξύ πιλότων και ελεγκτών στην αεροναυτιλία.

Η βιβλιογραφική μελέτη απέδειξε πως το συγκεκριμένο θέμα δεν έχει ερευνηθεί καθόλου σε επιχειρησιακές συνθήκες. Το πρώτο βήμα της προσέγγισης που ακολουθήθηκε ήταν ο ορισμός μίας διαδικασίας εξαγωγής απαιτήσεων και αξιολόγησης από την οπτική γωνία της ποιότητας της επικοινωνίας, καθώς αν είναι κακή, μπορεί να σημαίνει τη διαφορά μεταξύ ζωής και θανάτου. Για τον σκοπό αυτό προσαρμόστηκε το E-model, δηλαδή το μοντέλο ποσοτικοποίησης της ποιότητας φωνής που χρησιμοποιείται σε τηλεφωνικά δίκτυα, στο συγκεκριμένο περιβάλλον μετάδοσης.

Κατόπιν, και προκειμένου να αποδειχθεί η ορθότητα της προσέγγισης καθώς και η καταλληλότητα της τεχνολογίας Radio over IP over satellite, σχεδιάστηκε, υλοποιήθηκε, εγκαταστάθηκε και αξιολογήθηκε επιχειρησιακά, με την βοήθεια της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας και υπό την επίβλεψη της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος, ένα σύστημα που εκπληροί τις απαιτήσεις που εξήχθησαν. Οι καινοτόμες αρχιτεκτονικές υλικού και λογισμικού που αναπτύχθηκαν και ιδιαίτερα ο καταμερισμός των λειτουργιών έγινε με άξονα τη διασφάλιση της ποιότητας της φωνής.

Η αξιολόγηση της υπηρεσίας που αναπτύχθηκε παρουσίασε σοβαρές προκλήσεις καθώς έπρεπε να εκτελεστεί σε επιχειρησιακές συνθήκες και δεν υπήρχε χώρος για λάθη με δεδομένο πως δεν υπάρχει προηγούμενο αντίστοιχης προσέγγισης σε παγκόσμιο επίπεδο. Για τον λόγο αυτό, εκτελέστηκαν μία σειρά από λεπτομερείς μετρήσεις που διασφάλισαν την ποιότητα της επικοινωνίας προτού το σύστημα παραδοθεί στους χρήστες του, βελτιστοποιώντας με τον τρόπο αυτό τις πιθανότητες αποδοχής του. Τα αποτελέσματα της τελικής αξιολόγησης από ελεγκτές και πιλότους κρίνονται ως εξαιρετικά και αποδεικνύουν την ορθότητα των θεωρήσεων και της υλοποίησης που ακολουθήθηκε.

Η βασική συνεισφορά της παρούσας μελέτης στο ερευνητικό πεδίο είναι η επαλήθευση της προσαρμογής του E-model στις ραδιο-επικοινωνίες που χρησιμοποιούνται στην αεροναυτιλία, οι καινοτόμες δομές υλικού και λογισμικού που σχεδιάστηκαν βάσει των απαιτήσεων στη ποιότητα φωνής και η επιχειρησιακή αξιολόγηση του συστήματος που επιβεβαίωσε πως η επίδραση της καθυστέρησης και της κωδικοποίησης φωνής δεν επηρεάζει την εκτέλεση του EEK, ακόμη και στις πιο απαιτητικές συνθήκες.

Λέξεις-κλειδιά: Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας, Ραδιοεπικοινωνίες φωνής, Μεταγωγή φωνής με χρήση πακέτων, Δορυφορικές επικοινωνίες, Ποιότητα φωνής

Abstract

Voice communications are an integral part of Air Traffic Control (ATC), since, without them, flight in a controlled airspace is practically impossible. In countries with complex terrain and/or large numbers of islands, like Greece, the provision of adequate radio coverage, especially at low altitudes, is extremely difficult and costly if it is based on leased line infrastructure, which is common practice. Satellite communications are a possible alternative, because they are available everywhere. At the same time, regulators worldwide are pushing forward towards the adaptation of technologies based on packet switching in ATC, recognizing their obvious advantages. The question this dissertation attempts to answer is whether it would be possible to combine packet-based networks with satellite communications (Radio over IP over satellite) to implement the voice communication path between pilots and flight controllers.

The bibliographical survey has indicated that the specific subject has not been dealt with yet in operational conditions. The first step in the approach which was then followed has been to define a procedure so as to extract the requirements and validate their fulfillment from the quality of service viewpoint, since bad voice quality can mean the difference between life and death. For that purpose, the E-model, which is used to quantify voice quality in telephony networks, has been adapted to radio calls.

In the sequel, and so as to prove the correctness of the approach and the suitability of the Radio over IP over satellite technology, a system has been designed, developed, installed and tested in operational conditions with the help of the Hellenic Civil Aviation Authority and under the supervision of the European Space Agency. Its innovative hardware and software architectures and particularly the functionality segmentation have been designed with special focus on the achievement of adequate quality of voice.

The evaluation of the developed system and service has been especially challenging since it had to be carried out in operational conditions with no room for error, taking into consideration that a similar effort has not been attempted before. For that reason, a series of tests have been carried out prior to field testing, so as to maximize the probability of its users accepting the system. The results of the subjective evaluation executed by pilots and flight controllers have proven the correctness of the approach and the proper operation of the designed system and service.

The basic contributions of this study to the literature are the validation of the adaptation of the E-model to aeronautic radio communications, the innovative hardware and software structures developed according to the desirable quality of service and the operational evaluation of the resulting system and service which has proven that the effect of delay and voice coding induced by the Radio over IP over satellite technology does not affect the ATC function, even in the most demanding circumstances, provided that a system implementing it is appropriately engineered.

Keywords: Air Traffic Control, Radio voice communications, VoIP, Satellite Communications, Voice quality

Πίνακας περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	25
1.1	Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΧΩΡΟΥ	26
1.2	ΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΩΝ ΠΤΗΣΕΩΝ	28
1.3	ΟΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΤΗΣ ΠΤΗΣΗΣ	28
1.4	ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΕΕΚ	30
1.5	Η ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΦΩΝΗΣ ΣΤΟΝ ΕΕΚ – ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ	31
2	ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΤΟ ΚΙΝΗΤΡΟ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	34
2.1	ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΣΤΟΝ ΕΕΚ	34
2.2	Η ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ	35
2.3	Η ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	36
3	Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΦΩΝΗΣ	37
3.1	Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΛΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟ E-MODEL	37
3.1.1	Η λειτουργία του E-model	37
3.1.2	Ο βασικός σηματοθορυβικός λόγος, R_o	38
3.1.3	Ο παράγοντας μείωσης της ποιότητας της φωνής λόγω ταυτόχρονων φαινομένων I_s	39
3.1.4	Ο παράγοντας μείωσης της ποιότητας φωνής λόγω κωδικοποίησης, I_e	41
3.1.5	Ο παράγοντας μείωσης της ποιότητας φωνής λόγω καθυστέρησης, I_d	41
3.1.6	Ο παράγοντας πλεονεκτήματος, A	42
3.2	Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΚΛΗΣΕΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	43
3.2.1	Ο από άκρο-σε-άκρο τηλεπικοινωνιακός διάυλος για κλήσεις ασυρμάτου	43
3.2.2	Οι βασικές αρχές προσαρμογής του E-model στις κλήσεις ασυρμάτου	45
3.2.2.1	Απλοποιήσεις του E-model σε σχέση με τον παράγοντα R_o και υπολογισμοί	47
3.2.2.2	Απλοποιήσεις του E-model σε σχέση με τον παράγοντα I_s	49
3.2.2.3	Απλοποιήσεις του E-model σε σχέση με τον παράγοντα I_d	51
3.2.2.4	Η τιμή του παράγοντα R για κλήσεις ασυρμάτου με χρήση μισθωμένων γραμμών	52
3.2.2.5	Ο παράγοντας R για κλήσεις ασυρμάτου με χρήση του προτεινόμενου συστήματος	53
3.2.2.5.1	Ο παράγοντας I_e	53
3.2.2.5.2	Ο παράγοντας I_q	54
3.2.2.5.3	Ο παράγοντας I_d	55
3.2.2.5.4	Καθορισμός του ορίου της καθυστέρησης	56
3.2.2.5.4.1	Καθορισμός του ορίου με χρήση της έννοιας του RCP	57
3.2.2.5.4.2	Άλλες δημοσιεύσεις στο θέμα της μέγιστης ανεκτής καθυστέρησης στον ΕΕΚ	58
3.2.2.6	Διαχείριση των παραγόντων που εισάγουν καθυστέρηση	59
3.2.2.6.1	Καθυστέρηση διάδοσης	59
3.2.2.6.2	Καθυστέρηση που προκαλείται από τον εξοπλισμό	59
3.2.2.6.2.1	Η διακύμανση καθυστέρησης και ο ενταμειυτής	59
3.2.2.6.2.1.1	Πιθανές υλοποιήσεις ενταμειυτή διακύμανσης καθυστέρησης	61
3.2.2.6.2.1.2	Στατικός ενταμειυτής	62
3.2.2.6.2.1.3	Δυναμικός ενταμειυτής	62
3.2.2.6.2.1.4	Απαιτήσεις επί της καθυστέρησης που εισάγεται από τον ενταμειυτή	62
3.2.2.6.2.2	Άλλες καθυστερήσεις που εισάγονται από το υπό μελέτη σύστημα και άλλο δικτυακό εξοπλισμό	62
3.2.2.7	Βελτιστοποίηση των απαιτήσεων καθυστέρησης και επιλογή κωδικοποιητή φωνής	62
3.2.2.8	Η τιμή του παράγοντα R για κλήσεις ασυρμάτου με χρήση του υπό μελέτη συστήματος	63
3.3	Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΕΣ ΚΛΗΣΕΙΣ	65
3.3.1	Ο από άκρο-σε-άκρο τηλεπικοινωνιακός διάυλος για τηλεφωνικές κλήσεις	65
3.3.2	Υπολογισμός του παράγοντα ποιότητας φωνής R για τηλεφωνικές κλήσεις	66
3.3.2.1	Προκαθορισμένες τιμές παραμέτρων σχετικών με τις τηλεφωνικές συσκευές και τον εξοπλισμό τερματισμού	66
3.3.2.2	Προκαθορισμένες τιμές παραμέτρων σχετιζόμενων με τον έλεγχο ηχούς	67
3.3.2.3	Τιμές παραμέτρων που έχουν ήδη υπολογιστεί για κλήσεις ασυρμάτου	67
3.3.2.4	Τιμές για τον παράγοντα R	67
3.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	68
3.5	Η ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΡΤΤ	70
3.6	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ	70
3.7	ΣΥΝΟΨΗ ΤΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ	73
4	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	74

4.1	Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ NGN ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΤΗΣ.....	75
4.2	Η ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ NGN ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ IP	76
4.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ CS	77
4.4	ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ NGN	79
4.5	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ NGN	80
4.6	ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ RoIP/VoIP	81
4.7	Η ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΦΩΝΗΣ	82
4.7.1	Η διεπαφή ασυρμάτου	83
4.7.1.1	Η θύρα ήχου	83
4.7.1.2	Η θύρα σηματοδότησης	85
4.7.1.2.1	Οι τύποι σηματοδότησης ασυρμάτου	85
4.7.1.2.2	Σχεδίαση της θύρας σηματοδότησης	89
4.7.2	Η διεπαφή τηλεφώνου	90
4.7.3	Ο επεξεργαστής DSP	91
4.7.4	Η αρχιτεκτονική της μονάδας VEF	92
4.8	Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ RoIP/VoIP	96
4.9	ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ DSP	98
4.9.1	Ο κωδικοποιητής/αποκωδικοποιητής φωνής	98
4.9.2	Η γεννήτρια τόνων	103
4.9.3	Ο ανιχνευτής ψηφίων DTMF	106
4.9.4	Η ηχητική γέφυρα	109
4.9.5	Η διεπαφή ψηφιακών δεδομένων ήχου	111
4.9.6	Η διεπαφή με τον επεξεργαστή γενικού σκοπού	112
4.9.7	Το πλαίσιο εκτέλεσης του λογισμικού DSP	113
4.9.8	Έλεγχος ορθής λειτουργίας λογισμικού επεξεργαστή DSP	115
4.9.8.1	Έλεγχος ορθής λειτουργίας του κωδικοποιητή / αποκωδικοποιητή φωνής G.729	115
4.9.8.2	Έλεγχος ορθής λειτουργίας της γεννήτριας τόνων	115
4.9.8.3	Έλεγχος ορθής λειτουργίας του ανιχνευτή DTMF	116
4.9.8.3.1	Έλεγχος απόκλισης συχνότητας – Έλεγχος DTMF.1	116
4.9.8.3.2	Έλεγχος ελάχιστης διάρκειας τόνου – Έλεγχος DTMF.2	116
4.9.8.3.3	Έλεγχος ελάχιστου χρονικού διαστήματος μεταξύ ψηφίων – Έλεγχος DTMF.3	116
4.9.8.3.4	Έλεγχος επιπέδου – Test DTMF.4	117
4.9.8.3.5	Έλεγχος παράγοντα διαφοροποίησης ισχύος συνιστωσών (Twist) – Έλεγχος DTMF.5	117
4.9.8.3.6	Έλεγχος Talk-off – Έλεγχος DTMF.6	118
4.9.8.3.7	Έλεγχος Σηματοθορυβικού Λόγου (SNR) – Έλεγχος DTMF.7	118
4.9.8.3.8	Αποτελέσματα ελέγχου ορθής λειτουργίας του ανιχνευτή DTMF	119
4.9.8.4	Έλεγχος ορθής λειτουργίας της ηχητικής γέφυρας	120
4.10	Ο ΟΔΗΓΟΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ VEF	121
4.10.1	Η υλοποίηση της διεπαφής ανταλλαγής δεδομένων φωνής	122
4.10.1.1	Η βασική υποδομή για τον χειρισμό δεδομένων φωνής	123
4.10.1.2	Η απόρριψη πακέτων	123
4.10.2	Τα στατιστικά του οδηγού της μονάδας VEF	123
4.11	Η ΟΝΤΟΤΗΤΑ MEDIA GATEWAY	124
4.11.1	Ο διαχειριστής συσκευών	126
4.11.2	Ο διαχειριστής πόρων	127
4.11.3	Ο διαχειριστής γεγονότων	127
4.11.4	Ο διαχειριστής τερματισμών	128
4.11.5	Ο διαχειριστής συνεδριών	128
4.11.6	Ο διαχειριστής παραμετροποίησης	128
4.11.7	Ο διαχειριστής κατάστασης	129
4.11.8	Το πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG	129
4.11.9	Η συσκευή RTP	130
4.11.9.1	Η μονάδα πρωτοκόλλου RTP	130
4.11.9.2	Η μονάδα ενταμιευτή διακύμανσης καθυστέρησης (Jitter Buffer)	131
4.11.9.2.1	Ο jitter buffer συγκεκριμένου μεγέθους	131
4.11.9.2.2	Η στρατηγική προσαρμογής	132
4.11.9.2.3	Ο αλγόριθμος μέτρησης της διακύμανσης καθυστέρησης	132
4.11.9.2.4	Ο αλγόριθμος προσαρμογής	132
4.11.9.2.5	Στατιστικά του jitter buffer	133
4.11.9.2.6	Περιγραφή της λειτουργίας του προσαρμοστικού jitter buffer με τη χρήση ψευδοκώδικα 133	133
4.11.9.3	Η λειτουργία της συσκευής RTP	134
4.11.10	Η συσκευή ασυρμάτου/τηλεφώνου	135

4.11.10.1	Εκκίνηση και τερματισμός της συσκευής	135
4.11.10.2	Ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων.....	135
4.11.10.3	Άλλες λειτουργίες	139
4.12	Η ΟΝΤΟΤΗΤΑ CALL SERVER	140
4.12.1	Η αρχιτεκτονική της οντότητας CS.....	141
4.12.2	Ο διαχειριστής MG	142
4.12.3	Ο διαχειριστής CS.....	142
4.12.4	Ο πυρήνας της οντότητας CS	145
4.12.4.1	Οι τύποι καναλιών.....	145
4.12.4.1.1	Κανάλι τύπου «τηλέφωνο»	146
4.12.4.1.2	Κανάλι τύπου «ασύρματος».....	147
4.12.4.1.3	Κανάλι τύπου «VoIP».....	148
4.12.4.2	Η κλήση	150
4.12.5	Η καταγραφή των στατιστικών των κλήσεων	151
4.13	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΚΛΗΣΗΣ.....	152
4.14	ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ SATWAYS.....	153
4.15	ΤΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	155
4.15.1	Οι πιθανές τοπολογίες του δορυφορικού δικτύου	155
4.15.2	Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης στα δορυφορικά δίκτυα.....	156
4.15.3	Οι οντότητες που εμπλέκονται στην παροχή υπηρεσιών δορυφορικής δικτύωσης	159
4.15.4	Επιλογή του παρόχου δορυφορικού εξοπλισμού VSAT.....	160
4.15.5	Σχεδιασμός του δορυφορικού δικτύου.....	162
4.16	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΛΗΣΗΣ ...	164
5	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	165
5.1	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ MASTER	165
5.1.1	Λίστα υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην εγκατάσταση του δορυφορικού σταθμού master 166	
5.1.2	Μηχανολογικές λεπτομέρειες.....	167
5.1.3	Καλωδίωση	169
5.1.4	Συναρμολόγηση εξοπλισμού εξωτερικού χώρου	169
5.1.5	Μέτρηση απώλειας καλωδίων.....	170
5.1.6	Έλεγχος ρυθμού λαθών διφυών σε συνδεσμολογία εκπομπής/λήψης ενδιάμεσης συχνότητας (L-band)	170
5.1.7	Μέτρηση σημείου συμπίεσης 1 dB και βελτιστοποίηση της απόσβεσης του διαύλου εκπομπής	171
5.1.8	Ευθυγράμμιση της κεραίας	172
5.1.9	Ευθυγράμμιση πόλωσης	172
5.1.10	Έλεγχος ρυθμού λαθών διφυών σε συνδεσμολογία εκπομπής/λήψης μέσω δορυφόρου και περαιτέρω βελτιστοποίηση της απόσβεσης εκπομπής.....	172
5.2	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΙΠΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΘΗΝΩΝ 173	
5.3	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ SLAVE.....	174
5.3.1	Λίστα υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην εγκατάσταση του δορυφορικού σταθμού slave 175	
5.3.2	Μηχανολογικές λεπτομέρειες.....	175
5.3.3	Καλωδίωση	178
5.3.4	Συναρμολόγηση εξοπλισμού εξωτερικού χώρου	178
5.3.5	Μέτρηση απώλειας καλωδίων.....	179
5.3.6	Έλεγχος ρυθμού λαθών διφυών σε συνδεσμολογία εκπομπής/λήψης ενδιάμεσης συχνότητας (L-band)	179
5.3.7	Μέτρηση σημείου συμπίεσης 1 dB και βελτιστοποίηση της απόσβεσης του διαύλου εκπομπής	180
5.3.8	Ευθυγράμμιση της κεραίας	180
5.3.9	Ευθυγράμμιση πόλωσης	180
5.3.10	Έλεγχος ρυθμού λαθών διφυών σε συνδεσμολογία εκπομπής/λήψης μέσω δορυφόρου και βελτιστοποίηση της απόσβεσης εκπομπής.....	180
5.4	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΙΠΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΕΛΙΚΟΔΡΟΜΙΟ ΤΗΣ ΠΑΤΜΟΥ.....	181
6	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΘΥΡΑΣ ΗΧΟΥ ΤΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	183
6.1	ΑΡΧΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΘΥΡΑΣ ΗΧΟΥ ΤΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	183

6.2	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	184
6.2.1	Μέτρηση του πλήρους διαύλου (εκπομπής/λήψης) – AP.1	184
6.2.2	Μέτρηση της λήψης – AP.2	185
6.2.3	Μέτρηση της εκπομπής – AP.3	185
6.3	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΘΟΡΥΒΟΥ (THD+N).....	185
6.3.1	Μέτρηση του πλήρους διαύλου (εκπομπής/λήψης) – AP.4	186
6.3.2	Μέτρηση της λήψης – AP.5	186
6.3.3	Μέτρηση της εκπομπής – AP.6	186
6.4	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ (ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ)	187
6.4.1	Μέτρηση του πλήρους διαύλου (εκπομπής/λήψης) – AP.7	187
6.4.2	Μέτρηση της λήψης – AP.8	187
6.4.3	Μέτρηση της εκπομπής – AP.9	187
6.5	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΙΑΦΩΝΙΑΣ	187
6.5.1	Μέτρηση διαφωνίας μεταξύ εισόδου και εισόδου – AP.10	187
6.5.2	Μέτρηση διαφωνίας μεταξύ εισόδου και εξόδου – AP.11	188
6.5.3	Μέτρηση διαφωνίας μεταξύ εξόδου και εξόδου – AP.12	188
6.5.4	Μέτρηση διαφωνίας μεταξύ εξόδου και εισόδου – AP.12.....	188
6.6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΘΥΡΑΣ ΗΧΟΥ ΤΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ.....	189
6.6.1	Αποτελέσματα μετρήσεων απόκρισης συχνότητας (AP.1)	189
6.6.2	Αποτελέσματα μετρήσεων THD + N (AP.4)	192
6.6.3	Αποτελέσματα μετρήσεων θορύβου υποβάθρου/δυναμικού εύρους (AP.7)	195
6.6.4	Αποτελέσματα μετρήσεων διαφωνίας (AP.10-13).....	195
7	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΦΩΝΗΣ.....	196
7.1	ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	196
7.2	ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	197
7.3	ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΚΛΗΣΗΣ (ΕΛΕΓΧΟΙ LAN.FT1 & SAT.FT1).....	198
7.4	ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΚΑΤΑΡΓΗΣΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΚΛΗΣΗΣ, ΑΣΧΕΤΩΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ (ΕΛΕΓΧΟΙ LAN.FT2 & SAT.FT2)	199
7.5	ΑΠΟΤΥΧΗΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΚΛΗΣΗΣ (ΤΗΛΕΦΩΝΟ ΚΑΤΕΙΛΗΜΜΕΝΟ, Έλεγχοι LAN.FT3 & SAT.FT3)	200
7.6	ΑΠΟΤΥΧΗΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΚΛΗΣΗΣ (ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ, Έλεγχοι LAN.FT4 & SAT.FT4).....	201
7.7	ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ (ΕΛΕΓΧΟΙ LAN.FT5 & SAT.FT5).....	202
7.8	ΑΠΟΤΥΧΗΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ (ΕΛΕΓΧΟΙ LAN.FT6 & SAT.FT6).....	203
7.9	ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΚΑΤΑΡΓΗΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ (ΕΛΕΓΧΟΙ LAN.FT7 & SAT.FT7).....	204
7.10	ΑΠΟΤΥΧΗΜΕΝΗ ΚΑΤΑΡΓΗΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ (ΕΛΕΓΧΟΙ LAN.FT8 & SAT.FT8).....	205
7.11	ΑΠΟΤΥΧΗΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ (ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ, Έλεγχοι LAN.FT9 & SAT.FT9).....	206
7.12	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΦΩΝΗΣ	206
8	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΛΗΣΗΣ.....	207
8.1	ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	207
8.2	ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ ΕΧΘΡΙΚΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	208
8.3	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	209
8.3.1	Στρατηγική μέτρησης.....	209
8.3.2	Καθορισμός των μετρήσεων.....	209
8.3.2.1	Μέτρηση LAN_JIT.1	209
8.3.2.2	Μέτρηση LAN_JIT.2	209
8.3.2.3	Μέτρηση LAN_JIT.3	210
8.3.2.4	Μέτρηση LAN_JIT.4	210
8.3.2.5	Μέτρηση SAT_JIT.1	210
8.3.2.6	Μέτρηση SAT_JIT.2	210
8.3.2.7	Μέτρηση SAT_JIT.3	211
8.3.2.8	Μέτρηση SAT_JIT.4	211
8.3.2.9	Μέτρηση SAT_JIT.5	211
8.3.2.10	Μέτρηση SAT_JIT.6	212
8.4	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΠΑΚΕΤΩΝ.....	213
8.4.1	Στρατηγική μετρήσεων	213
8.4.2	Καθορισμός των μετρήσεων.....	213
8.4.2.1	Μέτρηση ISPL.1	213

8.4.2.2	Μέτρηση ISPL.2	214
8.4.2.3	Μέτρηση ISPL.3	214
8.4.2.4	Μέτρηση ISPL.4	214
8.4.2.5	Μέτρηση E2EPL.1	214
8.4.2.6	Μέτρηση E2EPL.2	215
8.4.2.7	Μέτρηση E2EPL.3	215
8.4.2.8	Μέτρηση E2EPL.4	215
8.4.2.9	Μέτρηση E2EPL.5	215
8.4.2.10	Μέτρηση E2EPL.6	216
8.5	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ	217
8.5.1	Στρατηγική μέτρησης	217
8.5.2	Καθορισμός μετρήσεων	217
8.5.2.1	Μέτρηση LAN_CSD.1	217
8.5.2.2	Μέτρηση LAN_CSD.2	217
8.5.2.3	Μέτρηση LAN_CSD.3	218
8.5.2.4	Μέτρηση LAN_CSD.4	218
8.5.2.5	Μέτρηση SAT_CSD.1	218
8.5.2.6	Μέτρηση SAT_CSD.2	219
8.5.2.7	Μέτρηση SAT_CSD.3	219
8.5.2.8	Μέτρηση SAT_CSD.4	219
8.5.2.9	Μέτρηση SAT_CSD.5	220
8.5.2.10	Μέτρηση SAT_CSD.6	220
8.6	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	221
8.6.1	Στρατηγική μέτρησης	221
8.6.2	Καθορισμός μετρήσεων	221
8.6.2.1	Μέτρηση LAN_E2ED.1	221
8.6.2.2	Μέτρηση LAN_E2ED.2	221
8.6.2.3	Μέτρηση LAN_E2ED.3	222
8.6.2.4	Μέτρηση LAN_E2ED.4	222
8.6.2.5	Μέτρηση SAT_E2ED.1	222
8.6.2.6	Μέτρηση SAT_E2ED.2	222
8.6.2.7	Μέτρηση SAT_E2ED.3	223
8.6.2.8	Μέτρηση SAT_E2ED.4	223
8.6.2.9	Μέτρηση SAT_E2ED.5	223
8.6.2.10	Μέτρηση SAT_E2ED.6	223
8.7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΛΗΣΗΣ	225
8.7.1	Αποτελέσματα μετρήσεων διακύμανσης καθυστέρησης	225
8.7.2	Αποτελέσματα μετρήσεων απώλειας πακέτων	227
8.7.3	Αποτελέσματα μετρήσεων καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης	229
8.7.4	Αποτελέσματα μετρήσεων από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης	230
8.7.5	Συσχέτιση των αποτελεσμάτων με τη λειτουργία του jitter buffer	230
9	ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΛΗΣΗΣ	231
9.1	ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ	231
9.2	ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	232
9.3	Η ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	232
9.4	Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	232
9.5	Η ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ 235	
9.6	Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	235
9.7	ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	235
9.7.1	Αποτελέσματα προ-επεξεργασίας των μετρήσεων	236
9.7.2	Σύνοψη των αναφορών/στατιστικών	247
10	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	253
11	ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ	255
12	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	257
12.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_JIT.1	257
12.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_JIT.2	257
12.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_JIT.3	258
12.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_JIT.4	259

12.5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_JIT.1.....	260
12.6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_JIT.2.....	260
12.7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_JIT.3.....	261
12.8	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_JIT.4.....	262
12.9	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_JIT.5.....	263
12.10	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_JIT.6.....	263
13	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΡΥΘΜΟΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΠΑΚΕΤΩΝ	265
13.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ISPL.1.....	265
13.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ISPL.2.....	266
13.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ISPL.3.....	268
13.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ISPL.4.....	269
13.5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ E2EPL.1.....	271
13.6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ E2EPL.2.....	272
13.7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ E2EPL.3.....	274
13.8	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ E2EPL.4.....	275
13.9	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ E2EPL.5.....	277
13.10	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ E2EPL.6.....	278
14	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ.....	280
14.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_CSD.1.....	280
14.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_CSD.2.....	280
14.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_CSD.3.....	281
14.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_CSD.4.....	281
14.5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_CSD.1.....	282
14.6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_CSD.2.....	282
14.7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_CSD.3.....	283
14.8	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_CSD.4.....	283
14.9	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_CSD.5.....	284
14.10	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_CSD.6.....	284
15	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	285
15.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_E2ED.1.....	285
15.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_E2ED.2.....	285
15.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_E2ED.3.....	286
15.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ LAN_E2ED.4.....	286
15.5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.1.....	287
15.6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.2.....	287
15.7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.3.....	288
15.8	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.4.....	288
15.9	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.5.....	289
15.10	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.6.....	289
16	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V – ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΛΕΓΚΤΩΝ	290
16.1	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 1.....	290
16.2	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 2.....	291
16.3	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 3.....	292
16.4	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 4.....	293
16.5	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 5.....	294
16.6	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 6.....	295
16.7	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 7.....	296
16.8	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 8.....	297
16.9	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 9.....	298
16.10	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 10.....	299
16.11	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 11.....	300
16.12	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 12.....	301
16.13	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 13.....	302

16.14	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 14.....	303
16.15	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 15.....	304
16.16	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 16.....	305
16.17	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 17.....	306
16.18	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 18.....	307
16.19	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 19.....	308
16.20	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 20.....	309
16.21	ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 21.....	310
17	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ	
	311	
18	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII – ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ	
	ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ.....	314
19	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	316
20	ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΔΑΚΤΟΡΑ.....	319

Πίνακας σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 1. Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΤΗΣΗΣ	29
ΣΧΗΜΑ 2. ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ – ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ (ΠΗΓΗ: EUROCONTROL)	30
ΣΧΗΜΑ 3. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΑΕΡΟΔΙΑΔΡΟΜΟΣ ΚΑΙ ΤΟΜΕΙΣ (ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΧΡΩΜΑ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ).....	31
ΣΧΗΜΑ 4. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΦΩΝΗΣ ΕΕΚ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	32
ΣΧΗΜΑ 5. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΦΩΝΗΣ ΕΕΚ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ.....	33
ΣΧΗΜΑ 6. ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΦΩΝΗΣ ΑΠΟ ΑΚΡΗ-ΣΕ-ΑΚΡΗ ΓΙΑ ΜΙΑ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ G.107 ΚΑΙ ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ R. 38	
ΣΧΗΜΑ 7. ΜΙΑ ΚΛΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΙΣΘΩΜΕΝΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ	44
ΣΧΗΜΑ 8. ΜΙΑ ΚΛΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP.....	44
ΣΧΗΜΑ 9. ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΦΩΝΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ G.107 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΓΙΑ ΚΛΗΣΕΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ (ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΦΩΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΕΝΑΕΡΙΟ ΜΕΣΟ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΕΛΕΓΚΤΗ).....	46
ΣΧΗΜΑ 10. ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΦΩΝΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ G.107 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΓΙΑ ΚΛΗΣΕΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ (ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΦΩΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΕΓΚΤΗ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΝΑΕΡΙΟ ΜΕΣΟ).....	47
ΣΧΗΜΑ 11. Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΜΙΑΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	58
ΣΧΗΜΑ 12. ΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ.....	60
ΣΧΗΜΑ 13. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΠΑΚΕΤΩΝ ΦΩΝΗΣ.....	61
ΣΧΗΜΑ 14. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ JITTER BUFFER ΣΤΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΤΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ ΦΩΝΗΣ .	61
ΣΧΗΜΑ 15. ΜΙΑ ΚΛΗΣΗ ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP.....	65
ΣΧΗΜΑ 16. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ NGNS	74
ΣΧΗΜΑ 17. ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΑ PSTN/ISDN ΣΕ NGN	75
ΣΧΗΜΑ 18. Η ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ NGN	76
ΣΧΗΜΑ 19. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΗΣΗΣ	77
ΣΧΗΜΑ 20. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ NGN ΠΟΥ ΕΠΙΛΕΧΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ	79
ΣΧΗΜΑ 21. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ VEF	82
ΣΧΗΜΑ 22. Η ΔΙΕΠΑΦΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	83
ΣΧΗΜΑ 23. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΘΥΡΑΣ ΗΧΟΥ	83
ΣΧΗΜΑ 24. ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ E & M TYPE I.....	86
ΣΧΗΜΑ 25. ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ E & M TYPE II	87
ΣΧΗΜΑ 26. ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ E & M TYPE III.....	88
ΣΧΗΜΑ 27. ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ E & M TYPE V	88
ΣΧΗΜΑ 28. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΗΣ ΘΥΡΑΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ	89
ΣΧΗΜΑ 29. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ.....	90
ΣΧΗΜΑ 30. ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ VEF	92
ΣΧΗΜΑ 31. ΡΟΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΦΩΝΗΣ – ΚΛΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	94
ΣΧΗΜΑ 32. ΡΟΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΦΩΝΗΣ – ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗ ΚΛΗΣΗ.....	95
ΣΧΗΜΑ 33. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ RoIP/VoIP	96
ΣΧΗΜΑ 34. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΤΩΝ 2 ΑΚΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΛΗΣΗ	97
ΣΧΗΜΑ 35. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ G.729 ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ	99
ΣΧΗΜΑ 36. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ G.729 ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ	100
ΣΧΗΜΑ 37. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ VAD ΚΑΙ CNG ΣΤΟΥΣ CODECS G.729/G.729A ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ	100
ΣΧΗΜΑ 38. Η ΟΝΤΟΤΗΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ ΦΩΝΗΣ G.729.....	101
ΣΧΗΜΑ 39. Η ΟΝΤΟΤΗΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ ΦΩΝΗΣ G.729.....	102
ΣΧΗΜΑ 40. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΤΟΝΩΝ	103
ΣΧΗΜΑ 41. Η ΟΝΤΟΤΗΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΤΟΝΩΝ	105
ΣΧΗΜΑ 42. Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ GOERTZEL	107
ΣΧΗΜΑ 43. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ DTMF	108
ΣΧΗΜΑ 44. Η ΟΝΤΟΤΗΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ DTMF	108
ΣΧΗΜΑ 45. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	110
ΣΧΗΜΑ 46. Η ΟΝΤΟΤΗΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	111
ΣΧΗΜΑ 47. Η ΔΙΕΠΑΦΗ ΜΕ ΤΟΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ ΓΕΝΙΚΟΥ ΣΚΟΠΟΥ.....	112

ΣΧΗΜΑ 48. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΔΙΕΠΑΦΩΝ ΜΕΣΩ ΜΝΗΜΗΣ	113
ΣΧΗΜΑ 49. ΣΕΙΡΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΥΛΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ DSP TASK SCHEDULER.....	114
ΣΧΗΜΑ 50. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΟΔΗΓΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ VEF	122
ΣΧΗΜΑ 51. ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΤΗΣ ΟΝΤΟΤΗΤΑΣ MG.....	125
ΣΧΗΜΑ 52. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΟΝΤΟΤΗΤΑΣ MG	126
ΣΧΗΜΑ 53. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ RTP	130
ΣΧΗΜΑ 54. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ/ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ	135
ΣΧΗΜΑ 55. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΦΩΝΗΣ – ΤΜΗΜΑ Α	137
ΣΧΗΜΑ 56. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΦΩΝΗΣ – ΤΜΗΜΑ Β	138
ΣΧΗΜΑ 57. Η ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΟΝΤΟΤΗΤΑΣ CS	141
ΣΧΗΜΑ 58. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΚΛΗΣΗ	143
ΣΧΗΜΑ 59. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΗ ΚΛΗΣΗ	144
ΣΧΗΜΑ 60. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΤΥΠΟΥ «ΤΗΛΕΦΩΝΟ».....	146
ΣΧΗΜΑ 61. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΤΥΠΟΥ «ΑΣΥΡΜΑΤΟΣ»	147
ΣΧΗΜΑ 62. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΤΥΠΟΥ VoIP (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΚΛΗΣΗ).....	148
ΣΧΗΜΑ 63. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΤΥΠΟΥ VoIP (ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΗ ΚΛΗΣΗ).....	149
ΣΧΗΜΑ 64. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΣΕΩΝ ΜΙΑΣ ΚΛΗΣΗΣ.....	150
ΣΧΗΜΑ 65. Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	157
ΣΧΗΜΑ 66. ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....	158
ΣΧΗΜΑ 67. ΟΙ ΟΝΤΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΕΜΠΛΕΚΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ.....	159
ΣΧΗΜΑ 68. ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΛΗΣΗΣ ΚΑΙ Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	164
ΣΧΗΜΑ 69. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ MASTER	169
ΣΧΗΜΑ 70. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ SLAVE.....	178
ΣΧΗΜΑ 71. ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΘΥΡΑΣ ΗΧΟΥ ΤΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	183
ΣΧΗΜΑ 72. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΦΩΝΗΣ ΑΠΟ ΑΚΡΗ ΣΕ ΑΚΡΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΞΟΜΟΙΩΤΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	196
ΣΧΗΜΑ 73. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΦΩΝΗΣ ΑΠΟ ΑΚΡΗ ΣΕ ΑΚΡΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	196
ΣΧΗΜΑ 74. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ 2 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ MODEMS ΠΟΥ ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΣΗΜΕΙΟ	197
ΣΧΗΜΑ 75. ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΚΛΗΣΗΣ	198
ΣΧΗΜΑ 76. ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΚΑΤΑΡΓΗΣΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΚΛΗΣΗΣ	199
ΣΧΗΜΑ 77. ΑΠΟΤΥΧΗΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΚΛΗΣΗΣ (ΤΗΛΕΦΩΝΟ ΚΑΤΕΙΛΗΜΜΕΝΟ)	200
ΣΧΗΜΑ 78. ΑΠΟΤΥΧΗΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΚΛΗΣΗΣ (ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ).....	201
ΣΧΗΜΑ 79. ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	202
ΣΧΗΜΑ 80. ΑΠΟΤΥΧΗΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	203
ΣΧΗΜΑ 81. ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΚΑΤΑΡΓΗΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	204
ΣΧΗΜΑ 82. ΑΠΟΤΥΧΗΜΕΝΗ ΚΑΤΑΡΓΗΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ.....	205
ΣΧΗΜΑ 83. ΑΠΟΤΥΧΗΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ (ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ).....	206
ΣΧΗΜΑ 84. ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΦΩΝΗΣ ΑΠΟ ΑΚΡΗ ΣΕ ΑΚΡΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΞΟΜΟΙΩΤΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	207
ΣΧΗΜΑ 85. ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΦΩΝΗΣ ΑΠΟ ΑΚΡΗ ΣΕ ΑΚΡΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....	208
ΣΧΗΜΑ 86. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΥΨΟΣ 500 ΠΟΔΙΩΝ.....	237
ΣΧΗΜΑ 87. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΥΨΟΣ 2000 ΠΟΔΙΩΝ.....	238
ΣΧΗΜΑ 88. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΥΨΟΣ 20000 ΠΟΔΙΩΝ	238
ΣΧΗΜΑ 89. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΥΨΟΣ 30000 ΠΟΔΙΩΝ	239
ΣΧΗΜΑ 90. ΘΕΣΗ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ (ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ) ΟΠΩΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΚΕ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ 17.....	240

Πίνακας γραφημάτων

ΓΡΑΦΗΜΑ 1. Η ΤΙΜΗ ΤΟΥ I_{ST} ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΟΥ $STMR$	51
ΓΡΑΦΗΜΑ 2. Η ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ I_Q ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ R_o ΚΑΙ ΤΟ QDU.....	55
ΓΡΑΦΗΜΑ 3. Η ΤΙΜΗ ΤΟΥ I_D ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΟΥ T_A	56
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΦΩΝΗΣ ΜΙΑΣ ΚΛΗΣΗΣ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΩΝ	69
ΓΡΑΦΗΜΑ 5. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ 1 dB.....	171
ΓΡΑΦΗΜΑ 6. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΘΥΡΩΝ ΗΧΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ #1.....	190
ΓΡΑΦΗΜΑ 7. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΘΥΡΩΝ ΗΧΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ #2.....	190
ΓΡΑΦΗΜΑ 8. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΘΥΡΩΝ ΗΧΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ #3.....	191
ΓΡΑΦΗΜΑ 9. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΘΥΡΩΝ ΗΧΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ #4.....	191
ΓΡΑΦΗΜΑ 10. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΘΥΡΩΝ ΗΧΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ #5.....	192
ΓΡΑΦΗΜΑ 11. THD + N ΤΩΝ ΘΥΡΩΝ ΗΧΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ #1.....	193
ΓΡΑΦΗΜΑ 12. THD + N ΤΩΝ ΘΥΡΩΝ ΗΧΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ #2.....	193
ΓΡΑΦΗΜΑ 13. THD + N ΤΩΝ ΘΥΡΩΝ ΗΧΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ #3.....	194
ΓΡΑΦΗΜΑ 14. THD + N ΤΩΝ ΘΥΡΩΝ ΗΧΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ #4.....	194
ΓΡΑΦΗΜΑ 15. THD + N ΤΩΝ ΘΥΡΩΝ ΗΧΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ #5.....	195
ΓΡΑΦΗΜΑ 16. ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΩΝ ΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 1	247
ΓΡΑΦΗΜΑ 17. ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΩΝ ΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 2	247
ΓΡΑΦΗΜΑ 18. ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΩΝ ΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 3	248
ΓΡΑΦΗΜΑ 19. ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΩΝ ΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 4	248
ΓΡΑΦΗΜΑ 20. ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΩΝ ΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 5	249
ΓΡΑΦΗΜΑ 21. ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΩΝ ΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 6.....	249
ΓΡΑΦΗΜΑ 22. ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ LAN_JIT.1.....	257
ΓΡΑΦΗΜΑ 23. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ LAN_JIT.2 – ΠΡΩΤΗ ΚΛΗΣΗ	257
ΓΡΑΦΗΜΑ 24. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ LAN_JIT.2 – ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΛΗΣΗ	258
ΓΡΑΦΗΜΑ 25. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ LAN_JIT.3.....	258
ΓΡΑΦΗΜΑ 26. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ LAN_JIT.4 – ΠΡΩΤΗ ΚΛΗΣΗ	259
ΓΡΑΦΗΜΑ 27. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ LAN_JIT.4 – ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΛΗΣΗ	259
ΓΡΑΦΗΜΑ 28. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_JIT.1	260
ΓΡΑΦΗΜΑ 29. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_JIT.2 – ΠΡΩΤΗ ΚΛΗΣΗ.....	260
ΓΡΑΦΗΜΑ 30. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_JIT.2 – ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΛΗΣΗ	261
ΓΡΑΦΗΜΑ 31. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_JIT.3	261
ΓΡΑΦΗΜΑ 32. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_JIT.4 – ΠΡΩΤΗ ΚΛΗΣΗ.....	262
ΓΡΑΦΗΜΑ 33. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_JIT.4 – ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΛΗΣΗ	262
ΓΡΑΦΗΜΑ 34. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_JIT.5	263
ΓΡΑΦΗΜΑ 35. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_JIT.6 – ΠΡΩΤΗ ΚΛΗΣΗ.....	263
ΓΡΑΦΗΜΑ 36. ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_JIT.6 – ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΛΗΣΗ	264
ΓΡΑΦΗΜΑ 37. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ LAN_CSD.1	280
ΓΡΑΦΗΜΑ 38. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ LAN_CSD.2.....	280
ΓΡΑΦΗΜΑ 39. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ LAN_CSD.3.....	281
ΓΡΑΦΗΜΑ 40. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ LAN_CSD.4.....	281
ΓΡΑΦΗΜΑ 41. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ SAT_CSD.1	282
ΓΡΑΦΗΜΑ 42. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ SAT_CSD.2.....	282
ΓΡΑΦΗΜΑ 43. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ SAT_CSD.3.....	283
ΓΡΑΦΗΜΑ 44. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ SAT_CSD.4.....	283
ΓΡΑΦΗΜΑ 45. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ SAT_CSD.5.....	284
ΓΡΑΦΗΜΑ 46. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ SAT_CSD.6.....	284
ΓΡΑΦΗΜΑ 47. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ LAN_E2ED.1	285
ΓΡΑΦΗΜΑ 48. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ LAN_E2ED.2.....	285
ΓΡΑΦΗΜΑ 49. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ LAN_E2ED.3.....	286
ΓΡΑΦΗΜΑ 50. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ LAN_E2ED.4.....	286
ΓΡΑΦΗΜΑ 51. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.1	287
ΓΡΑΦΗΜΑ 52. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.2	287
ΓΡΑΦΗΜΑ 53. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.3	288
ΓΡΑΦΗΜΑ 54. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.4	288
ΓΡΑΦΗΜΑ 55. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.5	289
ΓΡΑΦΗΜΑ 56. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ-ΑΚΡΟ-ΣΕ-ΑΚΡΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ SAT_E2ED.6	289

Πίνακας εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΜΙΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΖΩΝΗ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	26
ΕΙΚΟΝΑ 2. ΜΙΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	27
ΕΙΚΟΝΑ 3. ΈΝΑΣ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΑΕΡΟΔΙΑΔΡΟΜΟΣ	27
ΕΙΚΟΝΑ 4. ΜΙΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΤΕΡΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ.....	28
ΕΙΚΟΝΑ 5. Ο ΕΛΕΓΚΤΗΣ RSC-10.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 6. Η ΜΟΝΑΔΑ VEF.....	93
ΕΙΚΟΝΑ 7. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ MASTER.....	165
ΕΙΚΟΝΑ 8. ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ MASTER	166
ΕΙΚΟΝΑ 9. ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΣΤΟΝ ΤΟΙΧΟ	167
ΕΙΚΟΝΑ 10. ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΞΩΣΤΗ	168
ΕΙΚΟΝΑ 11. ΟΠΙΣΘΙΑ ΟΨΗ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ	168
ΕΙΚΟΝΑ 12. Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟΣ ΣΤΗΝ ΚΕΡΑΙΑ	170
ΕΙΚΟΝΑ 13. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ SLAVE	174
ΕΙΚΟΝΑ 14. ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ SLAVE	175
ΕΙΚΟΝΑ 15. ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΟΥ ΣΤΥΛΟΥ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΣΤΗΝ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΑ ΒΑΣΗ	176
ΕΙΚΟΝΑ 16. ΤΟ ΤΡΙΓΩΝΟ ΓΕΙΩΣΕΩΣ.....	176
ΕΙΚΟΝΑ 17. ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ.....	177
ΕΙΚΟΝΑ 18. Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟΣ ΣΤΗΝ ΚΕΡΑΙΑ	179
ΕΙΚΟΝΑ 19. Η ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ VHF ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΜΕΡΑΣ IP.....	181
ΕΙΚΟΝΑ 20. ΤΟ RACK ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΕΛΙΚΟΔΡΟΜΙΟΥ – ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ Ο ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ, Ο ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΛΙΑΣ, Ο ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ RoIP/VoIP ΚΑΙ ΤΟ UPS.....	182
ΕΙΚΟΝΑ 21. Ο ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ AWS520 ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VAISALA	182
ΕΙΚΟΝΑ 22. ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ, ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ 2 ΣΤΑΘΜΟΥΣ.....	242
ΕΙΚΟΝΑ 23. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΤΗ ΜΝΗΜΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (ΜΠΛΕ ΧΡΩΜΑ)	242
ΕΙΚΟΝΑ 24. ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ MASTER	243
ΕΙΚΟΝΑ 25. ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ MASTER – ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΑΛΛΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΟ ΦΕΡΟΝ ..	243
ΕΙΚΟΝΑ 26. ΣΤΑΘΜΟΣ MASTER ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ – ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΠΑΡΟΥΣΑ	244
ΕΙΚΟΝΑ 27. ΕΠΑΝΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΩΝ 2 ΣΤΑΘΜΩΝ.....	244
ΕΙΚΟΝΑ 28. ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ – 1 ^Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ.....	245
ΕΙΚΟΝΑ 29. ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ – 2 ^Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ.....	245
ΕΙΚΟΝΑ 30. ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ – 3 ^Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ.....	246

Πίνακας πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ QDUS ΜΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΦΩΝΗΣ ΛΟΓΩ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΡΥΘΜΟΥ	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΟΣ	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ N_o (ΕΝΑΕΡΙΟ ΜΕΣΟ ΠΡΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗ).....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ N_o (ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΠΡΟΣ ΕΝΑΕΡΙΟ ΜΕΣΟ).....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Η ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΩΝ CODECS	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. ΕΠΙΠΕΔΑ RCP ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ ΦΩΝΗΣ, ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΘΥΛΑΚΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. ΠΡΟΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ G.107 ⁽¹⁾	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 10. ΠΡΟΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ G.107 ⁽²⁾	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 11. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΑΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΜΙΑΣ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ Η ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 12. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΑΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΜΙΑΣ ΚΛΗΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ Η ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ ΜΕ ΣΥΝΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ RTCP	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 13. ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ.....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 14. ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ SIP ΚΑΙ H.323	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 15. ΤΥΠΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 16. ΔΟΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΝΩΝ.....	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 17. ΔΟΜΗ ΓΙΑ ΤΟ ΚΑΘΕ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΝΩΝ	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 18. ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΨΗΦΙΩΝ DTMF	108
ΠΙΝΑΚΑΣ 19. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΡΘΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ DTMF.....	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 20. ΣΥΝΟΨΗ ΤΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΟ ΡΥΘΜΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ...	156
ΠΙΝΑΚΑΣ 21. ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ VSAT.....	163
ΠΙΝΑΚΑΣ 22. ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΑΝΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ	165
ΠΙΝΑΚΑΣ 23. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΩΝ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ	252
ΠΙΝΑΚΑΣ 24. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ	253

Εκτεταμένη Περίληψη (Extended Abstract)

Οι επικοινωνίες φωνής αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της λειτουργίας του Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας (EEK). Σε χώρες με περίπλοκο ανάγλυφο και/ή εκτεταμένα νησιωτικά συμπλέγματα, όπως η Ελλάδα, η παροχή επαρκούς ραδιοκάλυψης, ιδιαίτερα σε χαμηλά ύψη, είναι εξαιρετικά δύσκολη και κοστοβόρα αν βασίζεται σε επίγεια τηλεπικοινωνιακή υποδομή μισθωμένων γραμμών, όπως είναι η συνήθης πρακτική. Οι δορυφορικές επικοινωνίες αποτελούν μία πιθανή λύση στο πρόβλημα αυτό, καθώς είναι διαθέσιμες παντού. Ταυτόχρονα, οι ρυθμιστικές αρχές σε παγκόσμιο επίπεδο προωθούν την υιοθέτηση τεχνολογιών δικτύωσης βασισμένων σε μεταγωγή πακέτων για την αεροναυτιλία, αναγνωρίζοντας τα προφανή πλεονεκτήματά τους. Το ερώτημα που η διατριβή επιχειρεί να απαντήσει είναι αν θα ήταν εφικτός ο συνδυασμός τηλεπικοινωνιών βασισμένων σε μεταγωγή πακέτων και δορυφορικών κυκλωμάτων (Radio over IP over satellite) για την υλοποίηση των επικοινωνιών μεταξύ πιλότων και ελεγκτών στην αεροναυτιλία. Η βιβλιογραφική μελέτη απέδειξε πως το συγκεκριμένο θέμα έχει ελκύσει ελάχιστη ερευνητική προσοχή, παρά το μεγάλο πρακτικό του ενδιαφέρον.

Η πρώτη συνεισφορά της διατριβής είναι η τροποποίηση του E-model, δηλαδή του μοντέλου ποσοτικοποίησης της ποιότητας φωνής που χρησιμοποιείται σε τηλεφωνικά δίκτυα, στο περιβάλλον των ραδιοεπικοινωνιών, ούτως ώστε να καταστεί δυνατή η πρόβλεψη της ποιότητας φωνής βάσει των χαρακτηριστικών του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Με τη χρήση του τροποποιημένου E-model μπορούν κατόπιν να υπολογιστούν συγκεκριμένες παράμετροι επίδοσης (όπως η καθυστέρηση και η διακύμανσή της, η απώλεια πακέτων, ο θόρυβος κυκλώματος κ.α.) που ο εξοπλισμός Radio over IP over satellite θα πρέπει να πληροί εγκαθιδρύοντας έτσι ένα πλαίσιο σχεδίασης και αξιολόγησης του αποτελέσματος.

Η δεύτερη συνεισφορά της διατριβής είναι ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η εγκατάσταση ενός πρωτοτύπου συστήματος ραδιοεπικοινωνιών με χρήση τεχνολογίας Radio over IP over satellite. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν καινοτόμες αρχιτεκτονικές υλικού και λογισμικού ικανές για επεξεργασία του σήματος φωνής σε πραγματικό χρόνο με ταυτόχρονη διασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας μέσω του καταμερισμού των εργασιών εντός ενός λειτουργικού συστήματος γενικού σκοπού όπως το Linux. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθήθηκε η αρχιτεκτονική NGN και υλοποιήθηκαν λειτουργίες τόσο Media Gateway όσο και Call Server βασισμένου στον καταναμεμημένο έλεγχο κλήσης με χρήση τροποποιημένου πρωτοκόλλου SIP. Επιπλέον, υλοποιήθηκε η λειτουργία User Access Module σε υλικό και ενσωματωμένο DSP λογισμικό που ανέλαβε λειτουργίες όπως η κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση φωνής, η ακύρωση ηχούς, η γέννεση και ανίχνευση τόνων κ.α. Τέλος, σχεδιάστηκε, υλοποιήθηκε και εγκαταστάθηκε δορυφορικό δίκτυο τεχνολογίας Dynamic Access Multiple Access.

Η τρίτη συνεισφορά της διατριβής είναι ο σχεδιασμός και η εκτέλεση συγκεκριμένου πλάνου ελέγχων. Η αξιολόγηση της υπηρεσίας που αναπτύχθηκε παρουσίασε σοβαρές προκλήσεις καθώς έπρεπε να εκτελεστεί σε επιχειρησιακές συνθήκες και δεν υπήρχε χώρος για λάθη με δεδομένο πως δεν υπάρχει προηγούμενο αντίστοιχης προσέγγισης σε παγκόσμιο επίπεδο. Για τον λόγο αυτό, εκτελέστηκαν μία σειρά από λεπτομερείς μετρήσεις που διασφάλισαν την ποιότητα της επικοινωνίας προτού το σύστημα παραδοθεί στους χρήστες του, βελτιστοποιώντας με τον τρόπο αυτό τις πιθανότητες αποδοχής του. Κατόπιν, ελεγκτές και πιλότοι αξιολόγησαν το σύστημα εκτελώντας Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας τόσο σε πτήσεις εξ' όψεως (Visual Flight Rules – VFR flights), δηλαδή πτήσεις αργών μέσων στις οποίες οι αντοχές στην καθυστέρηση είναι αυξημένες, όσο και σε πτήσεις με χρήση οργάνων (Instrument Flight Rules – IFR flights), δηλαδή πτήσεις μεγάλων αεροσκαφών όπου μεγάλες καθυστερήσεις στη φωνή μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα. Για τον έλεγχο σε επιχειρησιακές συνθήκες, που εκτελέστηκε στη διάρκεια του καλοκαιριού του 2010 πάνω από το ιδιαίτερα συμφορημένο Αιγαίο Πέλαγος, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία CARS που έχει αναπτυχθεί από την Αμερικάνικη Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας.

Προκειμένου να διασφαλιστεί η εγκυρότητα τόσο της προσέγγισης όσο και των αποτελεσμάτων, η διατριβή εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη τόσο της Ελληνικής Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ), όσο και της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (European Space Agency – ESA). Τα αποτελέσματα της τελικής αξιολόγησης από ελεγκτές και πιλότους κρίνονται ως εξαιρετικά και αποδεικνύουν την ορθότητα των θεωρήσεων και της υλοποίησης που ακολουθήθηκε, καθώς επιβεβαιώθηκε πως η επίδραση της καθυστέρησης και της κωδικοποίησης φωνής που εισάγονται εξ' αιτίας της τεχνολογίας μετάδοσης Radio over IP over satellite δεν επηρεάζει την εκτέλεση του ΕΕΚ, ακόμη και στις πιο απαιτητικές συνθήκες.

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής παρήχθησαν σειρά δημοσιεύσεων σε έγκριτα διεθνή περιοδικά:

- Το σκεπτικό της διατριβής καθώς και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems τον Ιανουάριο του 2015 με τίτλο “Adaptation of the E-model for satellite internet protocol radio calls in air traffic control”.
- Μέρος της εργασίας (αρχιτεκτονική λογισμικού/υλικού καθώς και πρώιμα αποτελέσματα) δημοσιεύτηκε στο περιοδικό IEEE Communications Magazine, Design and Implementation series τον Αύγουστο του 2008 με τίτλο “Design and Implementation of a Solution for the Provisioning of Converged Remote Tower and Facility Management Services over Satellite IP for Greek Heliports”.
- Οι βασικές δημοσιεύσεις σε συνέδρια περιλαμβάνουν:
 - Το 2^ο Διεθνές Συμπόσιο Διαστημικών Εφαρμογών (SpaceAppli08) που διοργανώθηκε από το Γαλλικό Εθνικό Κέντρο Διαστημικών Ερευνών (CNES) στην Τουλούζη τον Απρίλιο του 2008
 - Τη διεθνή διημερίδα SatForum08 που διοργανώθηκε από το υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών τον Ιανουάριο του 2008 στην Αθήνα σε συνεργασία με την Γαλλική Πρεσβεία. Το θέμα του συνεδρίου ήταν οι δορυφορικές επικοινωνίες και η πλοήγηση στην υπηρεσία του πολίτη
- Η εργασία έχει επίσης παρουσιαστεί κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής της:
 - Στην τακτική συνάντηση του Communications Team (COMT) Ευρωπαϊκού Οργανισμού Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας (EUROCONTROL) τον Ιούνιο του 2007
 - Στο workshop που διοργάνωσε η ESA για τα επιτυχή έργα τα οποία έχει χρηματοδοτήσει τον Οκτώβριο του 2008
 - Στο workshop για την εφαρμογή του Voice over IP στην αεροναυτιλία που διοργάνωσε ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας (EUROCONTROL) τον Φεβρουάριο του 2009
 - Στην τακτική συνάντηση του έργου SESAR στην Αθήνα τον Μάιο του 2009
 - Σε πολλές τακτικές συναντήσεις του έργου IRIS της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (European Space Agency – ESA)
- Αποτελέσματα από την ενασχόληση του διδάκτορα με θέματα ποιότητας φωνής και υλοποίηση αλγορίθμων στην τηλεφωνία IP που αποτέλεσε βασικό υπόβαθρο για την εκπόνηση της διατριβής δημοσιεύτηκαν:
 - Στο περιοδικό IEEE Internet Computing, July/August 2005, με τίτλο “A voice quality monitoring and control framework for IP telephony systems”

- Στο περιοδικό IEEE Communications Magazine, April 2012, με τίτλο “Speech Codecs for High Quality Voice-over ZigBee Applications: Evaluation and Implementation Challenges”
- Στο περιοδικό International Journal of Parallel Programming του εκδοτικού οίκου Springer, June 2010, με τίτλο “Design, Implementation and Validation of an Open Source IP-PBX/VoIP Gateway Multi-Core SoC”
- Οι δημοσιεύσεις σε συνέδρια θεμάτων σχετικών με την τεχνολογία VoIP και την ποιότητα της φωνής περιλαμβάνουν:
 - Apostolakis, S., Lykakis, G., Meliones, A., Vlagoulis, V., Touloupis, M., Konstantoulakis, G., “Design, Implementation and Validation of an Open Source IP-PBX/VoIP Gateway SoC” (candidate for best paper award), In Proceedings of the 22nd International Conference on VLSI Design held jointly with the 7th International Conference on Embedded Systems, January 5-9, 2009, New Delhi, India, pp. 261-266
 - E. Touloupis, A. Meliones, S. Apostolakis, "Implementation and Evaluation of a Voice Codec for Zigbee", 16th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'2011), June 28-July 1, 2011, Corfu, Greece

Πρόλογος

Ο Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας (EEK) είναι μία υπηρεσία που παρέχεται από εξειδικευμένο προσωπικό στο έδαφος το οποίο κατευθύνει τα εναέρια μέσα που βρίσκονται είτε στο έδαφος, είτε στον αέρα, με βασικό στόχο την αποφυγή συγκρούσεων, την οργάνωση και πρόβλεψη της ροής της κίνησης καθώς και την παροχή πληροφοριών και οποιασδήποτε άλλης μορφής υποστήριξης στους πιλότους.

Η αποφυγή συγκρούσεων συχνά αναφέρεται ως διατήρηση διαχωρισμού (separation), δηλαδή διατήρηση ελαχίστων αποστάσεων στον χώρο ούτως ώστε να αποτραπούν τα εναέρια μέσα από το να έρθουν πολύ κοντά. Σε πολλές χώρες, οι υπηρεσίες EEK παρέχονται στο μεγαλύτερο μέρος του εναέριου χώρου (airspace) και σε όλους τους χρήστες του από τις αντίστοιχες Υπηρεσίες Πολιτικής Αεροπορίας. Οι περιοχές στις οποίες οι ελεγκτές είναι υπεύθυνοι για τη διατήρηση του διαχωρισμού απαρτίζουν τον λεγόμενο ελεγχόμενο εναέριο χώρο, ενώ όλος ο υπόλοιπος εναέριος χώρος χαρακτηρίζεται ως μη ελεγχόμενος.

Οι βασικές υπηρεσίες που παρέχει ο EEK και χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα δεν έχουν αλλάξει πολύ. Παρ'όλη την τρομακτική ανάπτυξη των υπολογιστικών και τηλεπικοινωνιακών συστημάτων για την υποστήριξη της υποδομής εδάφους και της συνεργασίας μεταξύ των υπεύθυνων υπηρεσιών, ο EEK στηρίζεται στο τρίπτυχο CNS:

- Ραδιοεπικοινωνίες (Communication) μεταξύ πιλότου και ελεγκτή
- Καθοδήγηση (Navigation) με χρήση ραδιοβοηθημάτων
- Επίβλεψη (Surveillance) με χρήση ραντάρ και πομπών στα αεροσκάφη

Το πιο σημαντικό εργαλείο στην εκτέλεση των διαδικασιών ελέγχου είναι η αδιάλειπτη επικοινωνία φωνής του πιλότου με τον ελεγκτή μέσω του ασυρμάτου, χωρίς την οποία είναι πρακτικά αδύνατο να πετάξει εναέριο μέσο.

Η υποδομή που απαιτείται για την υποστήριξη μίας τόσο βασικής λειτουργίας είναι ένα δίκτυο ραδιοπομποδεκτών που παρέχει πλήρη γεωγραφική κάλυψη καθ'όλη τη διάρκεια της πτήσης, ανεξαρτήτως του ύψους. Με βάση την κίνηση του κάθε τομέα της Περιοχής Ελέγχου και με δεδομένη τη φύση των ασυρματικών επικοινωνιών (όταν κάποιος εκπέμπει σε κάποια συχνότητα, όλοι οι δέκτες που είναι συντονισμένοι σε αυτή τον λαμβάνουν), απαιτείται ένας ελάχιστος αριθμός ανεξάρτητων συχνοτήτων. Επίσης, λόγω της κρισιμότητας της εφαρμογής εγκαθίστανται εφεδρικοί πομποδέκτες για την περίπτωση βλάβης των κυρίων συστημάτων.

Οι ραδιοπομποδέκτες αυτοί θα πρέπει κατόπιν να διασυνδεθούν με τις θέσεις των ελεγκτών (έδρες). Τη λειτουργία αυτή αναλαμβάνει το σύστημα επικοινωνιών φωνής (Voice Communications System – VCS), το οποίο δημιουργεί δυναμικά συνδέσεις μεταξύ ραδιοπομποδεκτών και εδρών με μεταγωγή κυκλώματος, ούτως ώστε να μπορούν οι ελεγκτές να επικοινωνήσουν με τα ελεγχόμενα εναέρια μέσα μέσω της συχνότητας της επιλογής τους ανάλογα με τον τομέα στον οποίο έχουν ευθύνη. Οι τομείς και οι συχνότητες αλλάζουν ανάλογα με την εποχή, την ώρα της ημέρας και την πυκνότητα της εναέριας κυκλοφορίας. Οι πιλότοι, κατά τη διάρκεια της πτήσης, διέρχονται από διάφορους τομείς και χρησιμοποιούν μία σειρά από συχνότητες για να επικοινωνήσουν με τους αντίστοιχους ελεγκτές.

Η διασύνδεση ανάμεσα στους ραδιοπομποδέκτες (κυρίους ή εφεδρικούς) και το σύστημα μεταγωγής υλοποιείται με χρήση επίγειων αναλογικών ή ψηφιακών κυκλωμάτων του παραδοσιακού τηλεφωνικού δικτύου (Public Switched Telephone Network – PSTN) που ενοικιάζονται από την υπηρεσία στην οποία υπάγεται ο EEK μέσω κάποιου τηλεπικοινωνιακού παρόχου. Με τον ίδιο τρόπο υλοποιούνται οι επικοινωνίες μεταξύ εδρών, δηλαδή ελεγκτών καθώς και οι τηλεφωνικές επικοινωνίες μεταξύ υπηρεσιών, αεροδρομίων κ.α.

Με την πάροδο του χρόνου, τα μισθωμένα κυκλώματα έγιναν ασύμφορα συγκρινόμενα με άλλες τεχνολογίες μεταφοράς της φωνής, όπως αυτή του Voice over IP (VoIP) που χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτων αντί κυκλώματος. Για τον λόγο αυτό, τη δεκαετία του 2000 άρχισε να συζητιέται από τους αρμόδιους φορείς η εισαγωγή της τεχνολογίας αυτής στην αεροναυτιλία για την υλοποίηση της διασύνδεσης μεταξύ αναμεταβιβαστικών σταθμών και εδρών καθώς και μεταξύ εδρών.

Η καταλληλότητα της τεχνολογίας του VoIP στην αεροναυτιλία αποδείχθηκε στα πλαίσια του έργου SESAR όσο και από την FAA και αυτό έδωσε το πράσινο φως για την προτυποποίηση της χρήσης της σε επιχειρησιακό περιβάλλον υπό την επίβλεψη μίας ποικιλίας φορέων, όπως ο ICAO (International Civil Aviation Organization), το Eurocontrol (ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας), το EuroCAE (η Ένωση Κατασκευαστών Εξοπλισμού Αεροναυτιλίας).

Η αντίστοιχη αρχιτεκτονική καθορίστηκε με τη συμφωνία της Βιέννης. Καθώς είναι αδύνατο για λόγους κόστους και επιχειρησιακής ετοιμότητας οι Υπηρεσίες Πολιτικής Αεροπορίας να παροπλίσουν τον υφιστάμενο εξοπλισμό τους, η συμφωνία της Βιέννης προβλέπει την ύπαρξη ειδικών μονάδων (των μετατροπέων IP – RoIP gateways), ώστε να επιτευχθεί διαλειτουργικότητα μεταξύ παλαιότερου εξοπλισμού και του δικτύου IP της αεροναυτιλίας στο μέλλον. Οι μετατροπείς IP αποτελούν βασικό στοιχείο της εργασίας και θα αναλυθούν σε λεπτομέρεια στα κεφάλαια που ακολουθούν.

Παρόλο που η εισαγωγή της τεχνολογίας RoIP σε εφαρμογές EEK παρουσιάζει ποικίλα και σημαντικά πλεονεκτήματα, δεν επιλύει προβλήματα σχετιζόμενα με την ραδιοκάλυψη. Για χώρες όπως η Ελλάδα, που παρουσιάζουν ιδιαίτερα δύσκολο ανάγλυφο και έχουν εκτεταμένο νησιωτικό χώρο, είναι εξαιρετικά δύσκολο να παρασχεθεί επαρκής ραδιοκάλυψη, ιδιαίτερα σε χαμηλά ύψη πτήσης καθώς η απαιτούμενη υποδομή θα ήταν πρακτικά αδύνατο να αναπτυχθεί λόγω κόστους. Σαν αποτέλεσμα, πολλά ατυχήματα, ιδιαίτερα με ελικόπτερα συμβαίνουν κάθε χρόνο στη χώρα μας με αποτέλεσμα νεκρούς και τραυματίες. Η πιο προβληματική φάση μίας πτήσης ελικοπτερου είναι αυτή της προσέγγισης στο απομακρυσμένο ελικοδρόμιο, καθώς λόγω έλλειψης ραδιοκάλυψης, το σχέδιο πτήσης συχνά «κλείνει» με χρήση κινητών τηλεφώνων, εφόσον είναι διαθέσιμα.

Μία αξιόπιστη διέξοδος που παρέχει την απαραίτητη γεωγραφική κάλυψη είναι οι δορυφορικές επικοινωνίες, η χρήση των οποίων στην επικοινωνία φωνής του EEK, τόσο για πτήσεις εξ' όψεως, όσο και με όργανα αποτέλεσε το βασικό κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

Επικοινωνίες αέρος-εδάφους μέσω δορυφόρου χρησιμοποιούνται για πολλά χρόνια, ειδικά σε χώρους όπου η επίγεια ραδιοκάλυψη είναι αδύνατη. Τα περισσότερα εναέρια μέσα που πετούν πάνω από τους ωκεανούς είναι εξοπλισμένα με δορυφορικά τερματικά, τα οποία, μαζί με ασυρμάτους HF (στρατοσφαιρικές ραδιοεπικοινωνίες) είναι οι μοναδικοί τρόποι διασύνδεσης μεταξύ πιλότου και ελεγκτή στις συγκεκριμένες περιοχές. Επίσης, οι δορυφορικές τεχνολογίες έχουν σημαίνουσα θέση στο μελλοντικό σύστημα EEK, όπως προδιαγράφεται από το έργο SESAR, υλοποιώντας μία πληθώρα νέων υπηρεσιών, όπως επικοινωνίες φωνής και δεδομένων και παροχή διασύνδεσης μεγάλων ταχυτήτων στο Internet για τους επιβάτες. Αξίζει να σημειωθεί πως η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (European Space Agency – ESA), έχει εκπονήσει το έργο IRIS, το οποίο, σε άμεση συνέργεια με το SESAR, μελετά τη χρήση δορυφορικών επικοινωνιών στον EEK νέας γενιάς.

Σε κάθε περίπτωση, η προσέγγιση που ακολουθείται από τους διεθνείς οργανισμούς δεν προβλέπεται να δώσει λύση στο πρόβλημα που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο για μία σειρά λόγων:

- Απαιτείται η εγκατάσταση στα εναέρια μέσα νέων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων (avionics) που να επιτρέπουν την πρόσβαση σε δορυφορικά κυκλώματα. Το κόστος για μία τέτοια μετάβαση είναι τεράστιο και οι αεροπορικές εταιρίες δεν είναι πρόθυμες να το επωμιστούν, τουλάχιστον σύντομα, αν δεν συνδυαστεί με μείωση του κόστους πτήσης. Για τον λόγο αυτό, η εισαγωγή τέτοιων τεχνολογιών συνδυάζεται με το concept της ελεύθερης πτήσης (free flight), που θα επιτρέπει στους πιλότους να κινούνται κατά μήκος της κοντινότερης διαδρομής προς τον προορισμό τους και όχι σε προκαθορισμένους αεροδιαδρόμους, μειώνοντας δραματικά τον χρόνο πτήσης και την κατανάλωση καύσιμου, μία εξέλιξη που αναμένεται να καθυστερήσει σημαντικά. Επίσης, απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία του εγχειρήματος της εισαγωγής δορυφορικών επικοινωνιών στην αεροναυτιλία είναι η δημιουργία ενός δικτύου δορυφόρων (υφιστάμενων και νέων) για να υπάρξει πραγματικά παγκόσμια κάλυψη. Είναι κατανοητό λοιπόν πως η δυσκολία του εγχειρήματος είναι τεράστια και για τον λόγο αυτό ο χρόνος υλοποίησης του σχεδίου αυτού οριοθετείται στο 2025.

- Ακόμη και αν οι αεροπορικές εταιρίες πειστούν για λόγους οικονομίας ή αναγκαστούν για λόγους ασφάλειας να ακολουθήσουν τις προταγές των διεθνών φορέων, δεν πρόκειται να συμβεί το ίδιο με τα μικρά αεροπλάνα και ελικόπτερα που στη συντριπτική τους πλειοψηφία ανήκουν σε ιδιώτες.

Αντίθετα:

- Η εισαγωγή της προσέγγισης του VoIP είναι μη παρεμβατική στο αεροσκάφος, καθώς αφορά μόνο την επίγεια υποδομή. Επιπλέον, είναι πολύ ώριμη ως τεχνολογία. Για τους λόγους αυτούς, η υιοθέτησή της αναμένεται σημαντικά γρηγορότερη, οπότε είναι λογική η αναζήτηση μίας λύσης σε αυτή την κατεύθυνση.
- Τα παραδοσιακά δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών δεν πρόκειται να εγκαταλειφθούν λόγω των μεγάλων επενδύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί από τις Υπηρεσίες Πολιτικής Αεροπορίας ανά τον κόσμο και της ανάγκης ύπαρξης όσο το δυνατό περισσότερων επιπέδων εφεδρείας. Απλώς, θα πρέπει να γίνουν διαλειτουργικά με τα δίκτυα IP

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν, προκύπτει αβίαστα το ακόλουθο ερώτημα:

Θα ήταν εφικτός ο συνδυασμός τηλεπικοινωνιών VoIP και δορυφορικών κυκλωμάτων για τη μεταφορά των πακέτων φωνής για επικοινωνίες αέρος-εδάφους, ή αλλιώς, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί δορυφορικό δίκτυο IP για την υλοποίηση τμημάτων του δικτύου μεταγωγής φωνής του ΕΕΚ, όταν δεν υπάρχει άλλη διαθέσιμη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία;

Η απάντηση, η οποία θα στοιχειοθετηθεί στη συνέχεια της εργασίας, είναι ιδιαίτερα σημαντική για τους αρμόδιους φορείς χωρών όπως η Ελλάδα που έχουν μεγάλη δυσκολία να αναπτύξουν επίγεια τηλεπικοινωνιακή υποδομή και στους οποίους θα μπορούσε να δοθεί η δυνατότητα να εντάξουν στο δίκτυό τους αυτόνομους αναμεταβιβαστικούς σταθμούς με μόνη απαίτηση την παροχή ρεύματος, με ελάχιστο κόστος και πλήρη συμβατότητα με τις τεχνολογίες του μέλλοντος.

Εκ πρώτης όψεως, το πρόβλημα φαίνεται απλό. Η τηλεφωνία VoIP πάνω από δορυφορικά δίκτυα είναι τεχνολογικά ώριμη για τα τελευταία 10 χρόνια, οπότε η χρήση της για μεταφορά ραδιοεπικοινωνιών φάνταζε προφανής, τουλάχιστον μέχρι την πρώτη βιβλιογραφική έρευνα, η οποία απέδειξε μία πλήρη ανυπαρξία δημοσιεύσεων στο θέμα. Το ερώτημα είναι γιατί.

Ας θυμηθούμε τη βασική λειτουργία του ΕΕΚ: πρέπει να διατηρούνται τις αποστάσεις ασφαλείας μεταξύ των αεροσκαφών ώστε να αποφεύγονται οι συγκρούσεις. Όσο αυξάνει η πυκνότητα της κυκλοφορίας, τόσο μικρότερες είναι οι αποστάσεις, τόσο συντομότερες πρέπει να γίνουν οι συνομιλίες μεταξύ πιλότων-ελεγκτών που απαιτούνται για την εκτέλεση των διαφόρων διαδικασιών του ΕΕΚ και τόσο μικρότερο είναι το περιθώριο λάθους. Η φρασεολογία που χρησιμοποιείται, ο ρυθμός ομιλίας, η γρήγορη απόκριση του πιλότου και του ελεγκτή καθώς και η τηλεπικοινωνιακή υποδομή διαμορφώνουν τη διάρκεια των συνομιλιών και συνεπακόλουθα τη μέγιστη πυκνότητα κίνησης που μπορεί να επιτευχθεί.

Με δεδομένη την κρισιμότητα του χρόνου στον ΕΕΚ, η χρήση δορυφορικών επικοινωνιών και μάλιστα σε συνδυασμό με τη μετάδοση της φωνής πάνω από δίκτυο πακέτων μόνο λογική δεν φαντάζει, καθώς η καθυστέρηση που αθροιστικά εισάγεται μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα ασφαλείας πτήσεων και να αναγκάσει τους ελεγκτές να διατηρούν μεγαλύτερους διαχωρισμούς με αποτέλεσμα η πυκνότητα κυκλοφορίας να μειώνεται αντίστοιχα.

Επιπλέον, το κόστος του δορυφορικού εύρους ζώνης επιβάλλει την συμπίεση της φωνής ώστε να απαιτεί μικρότερο ρυθμό μετάδοσης, κάτι που μπορεί να μειώσει την ποιότητα της επικοινωνίας, οδηγώντας σε μεγαλύτερο αριθμό συνομιλιών για να ολοκληρωθεί μία διαδικασία, ή, ακόμη χειρότερα, σε λάθη και ατυχήματα.

Στα προβλήματα αυτά έρχεται να προστεθεί ο ανθρώπινος παράγοντας. Η αξιολόγηση μίας πιθανής λύσης θα πρέπει να γίνει σε επιχειρησιακές συνθήκες με πραγματικούς χρήστες, καθώς είναι προφανές πως η επίδοση τους επηρεάζει το αποτέλεσμα. Άρα, θα πρέπει αρχικά να υλοποιηθεί ένα σύστημα μεταφοράς ραδιοεπικοινωνιών πάνω από δορυφορικό δίκτυο IP και κατόπιν να χρησιμοποιηθεί σε συνθήκες πεδίου. Μία εναλλακτική προσέγγιση θα ήταν η εξομοίωση επιχειρησιακών συνθηκών σε συνθήκες εργαστηρίου, με αμφίβολη οικονομία

χρόνου και προσπάθειας. Για την κατασκευή ενός συστήματος είναι αναγκαία η ύπαρξη απαιτήσεων, άρα συσχετισμού συγκεκριμένων παραμέτρων της υλοποίησης με την προσδοκώμενη επίπτωση στην αντίληψη του χρήστη βάσει κάποιου μοντέλου, η βιβλιογραφική έρευνα για την ύπαρξη του οποίου απέβη επίσης άκαρπη. Η πολυπλοκότητα του ερευνητικού χώρου δικαιολογεί λοιπόν την απουσία δημοσιεύσεων, παρά την προφανή επιχειρησιακή απαίτηση.

Η παρούσα διατριβή σκοπεύει να αποδείξει όχι μόνον πως είναι εφικτός ο συνδυασμός της τεχνολογίας VoIP και της δορυφορικής μετάδοσης, αλλά η λύση που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνθήκες πυκνής κυκλοφορίας ακόμη και για πτήσεις με όργανα χωρίς να επηρεάζεται η ασφάλεια:

- Στα **κεφάλαια 1 και 2** παρουσιάζονται με λεπτομέρεια οι αρχές του ΕΕΚ καθώς και οι βασικές ερευνητικές κατευθύνσεις
- Στο **κεφάλαιο 3** στοιχειοθετείται ένα μοντέλο εκτίμησης της ποιότητας φωνής ραδιοεπικοινωνιών χρησιμοποιώντας ως βάση αντίστοιχα εργαλεία που αναπτύχθηκαν για την παραδοσιακή τηλεφωνία και κατόπιν καταγράφονται συγκεκριμένες απαιτήσεις από την πιθανή υλοποίηση ενός συστήματος
- Το **κεφάλαιο 4** παρουσιάζει με λεπτομέρεια τα στοιχεία της υλοποίησης του υπό μελέτη συστήματος
- Στο **κεφάλαιο 5** παρέχονται οι πληροφορίες εγκατάστασης του συστήματος που υλοποιήθηκε
- Τα **κεφάλαια 6 έως 8** παρουσιάζουν τη μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της αντικειμενικής επαλήθευσης της εκπλήρωσης των απαιτήσεων που τέθηκαν στο κεφάλαιο 3
- Τέλος, στο **κεφάλαιο 9** παρουσιάζεται τόσο η μεθοδολογία όσο και τα αποτελέσματα της υποκειμενικής εκτίμησης επίδοσης του υπό μελέτη συστήματος από πραγματικούς χρήστες σε επιχειρησιακό περιβάλλον

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Γιώργο Στασινόπουλο για την αμέριστη υποστήριξή του στη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής μου. Οι συμβουλές και παρεμβάσεις του υπήρξαν καίριες και με βοήθησαν σε δύσκολες καμπές του ερευνητικού έργου που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή.

Ειδική μνεία θα ήθελα να κάνω σε 2 οργανισμούς χωρίς τη συνεισφορά των οποίων, τίποτε απ'όσα παρουσιάζονται σε αυτό το κείμενο δεν θα ήταν εφικτό: την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος και τον officer του έργου SATWAYS κύριο Stefano Badessi καθώς και την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, και ειδικά 2 σπάνιους οραματιστές που πάντα επικεντρώνονται στην ουσία παρακάμπτοντας τους τύπους, τον κύριο Κώστα Σημιαϊκή και τον κύριο Μαρίνο Κάρδαρη. Η γνώση και η επιμονή τους αποτέλεσαν και θα συνεχίσουν να αποτελούν έμπνευση για μένα. Ευχαριστίες οφείλω και στο προσωπικό της ΥΠΑ, ηλεκτρονικούς και ελεγκτές, καθώς και στο Δήμο Πάτμου, την Hellas Sat που βοήθησε όσο κανείς στην εγκατάσταση του δορυφορικού link και την εταιρεία ND Satcom.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Michael Rice, editor του IEEE IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems (TAES), τον Sean Moore, editor του IEEE Communications Magazine, Design & Implementation Series, καθώς και τον Henning Schulzrinne, τον εφευρέτη του VoIP, για τις πολύτιμες συμβουλές τους κατά τη δημοσίευση των πιο σημαντικών άρθρων που περιγράφουν το ερευνητικό έργο που παρουσιάζεται.

Η υλοποίηση του πρωτότυπου συστήματος δορυφορικών ραδιο-επικοινωνιών που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική επιβεβαίωση της καταλληλότητας της επικοινωνίας RoIP πάνω από δορυφόρο θα ήταν αδύνατη χωρίς τη συμμετοχή μιας dream team μηχανικών και συναδέλφων μου στην εταιρεία inAccess που απαρτίζεται από τον Χρήστο Μελέτη, τον Νεκτάριο Παπαδόπουλο, τον Άγγελο Μανουσαρίδη, τον Μιχάλη Μανούσο, τον Δημήτρη Καβαδδά, τον Γιώργο Λυκάκη, τον Χρήστο Λόλα, τον Δημήτρη Καρτέρη, τον Γιάννη Γραμματικάκη, τον Δημήτρη Μέξη, και φυσικά τον Απόστολο Μηλιώνη. Οι άνθρωποι αυτοί συνεργάστηκαν δημιουργικά για να παράξουν κάτι πραγματικά καινοτόμο, το οποίο αγάπησαν και στήριξαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Λένα για την αγάπη, βοήθεια και υπομονή της που τόσο απλόχερα μου δίνει εδώ και 15 χρόνια, καθώς και την οικογένειά μου και ειδικά τη μητέρα μου που έφυγε νωρίς.

Σπύρος Αποστολάκος
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Οκτώβριος 2015

1 Εισαγωγή

Ο Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας (Air traffic control – ATC) είναι μία υπηρεσία που παρέχεται από εξειδικευμένο προσωπικό στο έδαφος το οποίο κατευθύνει τα εναέρια μέσα που βρίσκονται είτε στο έδαφος, είτε στον αέρα, με βασικό στόχο την αποφυγή συγκρούσεων, την οργάνωση και πρόβλεψη της ροής της κίνησης καθώς και την παροχή πληροφοριών και οποιασδήποτε άλλης μορφής υποστήριξης στους πιλότους (Αναφορά 1).

Η αποφυγή συγκρούσεων συχνά αναφέρεται ως διατήρηση διαχωρισμού (separation), δηλαδή διατήρηση ελαχίστων αποστάσεων στον χώρο ούτως ώστε να αποτραπούν τα εναέρια μέσα από το να έρθουν πολύ κοντά. Η λειτουργία υποβοηθείται από εξελιγμένο εξοπλισμό που εγκαθίσταται στο έδαφος και στα ίδια τα μέσα. Οι υποστηρικτικές πληροφορίες που παρέχονται στους πιλότους περιλαμβάνουν μετεωρολογικά δεδομένα, δεδομένα πλοήγησης και οδηγίες NOTAM (NOtices To AirMen).

Σε πολλές χώρες, οι υπηρεσίες ATC παρέχονται στο μεγαλύτερο μέρος του εναέριου χώρου (airspace) και σε όλους τους χρήστες του (ιδιωτικές, επιβατικές και στρατιωτικές πτήσεις) από τις αντίστοιχες Υπηρεσίες Πολιτικής Αεροπορίας. Οι περιοχές στις οποίες οι ελεγκτές είναι υπεύθυνοι για τη διατήρηση του διαχωρισμού απαρτίζουν τον λεγόμενο ελεγχόμενο εναέριο χώρο, ενώ όλος ο υπόλοιπος εναέριος χώρος χαρακτηρίζεται ως μη ελεγχόμενος. Ανάλογα με τον τύπο της πτήσης και το είδος του εναέριου χώρου, οι ελεγκτές μπορεί να δίνουν εντολές τις οποίες οι πιλότοι είναι υποχρεωμένοι να ακολουθήσουν, ή απλώς πληροφορίες που αφορούν την πτήση προς βοήθεια του πιλότου. Σε κάθε περίπτωση όμως, ο πιλότος είναι αυτός που έχει τον τελευταίο λόγο για την ασφάλεια της πτήσης και διατηρεί το δικαίωμα της παρέκκλισης από τις εντολές του ελεγκτή κατά την κρίση του, όταν προκύπτει ανάγκη.

Η ιστορία του ATC ξεκίνησε το 1919, όταν δημιουργήθηκε η Διεθνής Επιτροπή για την Αεροναυτιλία για τη δημιουργία γενικών κανόνων πτήσεων, οι οποίοι θα εφαρμόζονταν στην πλειοψηφία των κρατών, εκτός των ΗΠΑ, οι οποίες ακολούθησαν τον δικό τους δρόμο. Οι πρώτοι κανόνες ήταν απλοί και αφορούσαν κυρίως τον εναέριο χώρο γύρω από τα αεροδρόμια, όπου οι πιλότοι αδειοδοτούνταν για απογείωση και προσγείωση εφόσον δεν υπήρχε κίνδυνος σύγκρουσης με άλλα μέσα που είτε απογειώνονταν, είτε προσγειώνονταν. Η επικοινωνία του πιλότου με τον ελεγκτή γινόταν με χρήση οπτικών σημάτων, δηλαδή κουνώντας σημαίες όσο το εναέριο μέσο ήταν στο έδαφος ή κοντά σε αυτό.

Καθώς η εναέρια κυκλοφορία πύκνωνε και η τεχνολογία των ραδιοεπικοινωνιών εξελισσόταν, τόσο τα αεροσκάφη όσο και οι ελεγκτές εξοπλίστηκαν με ασυρμάτους και δημιουργήθηκαν οι πρώτοι πύργοι ελέγχου τη δεκαετία του 1930. Σύντομα έγινε επιτακτική η ανάγκη για την επέκταση του ελέγχου και σε περιοχές εκτός των αεροδρομίων και συνεπακόλουθα τη δημιουργία αεροδιαδρόμων δηλαδή προκαθορισμένων διαδρομών τις οποίες οι πιλότοι ήταν υποχρεωμένοι να ακολουθούν. Οι πρώτοι ελεγκτές των αεροδιαδρόμων αυτών χρησιμοποιούσαν ρολόγια, χάρτες, μαυροπίνακες και μικρά ομοιώματα αεροσκαφών για να παρακολουθούν τη θέση του κάθε στόχου, με τον οποίο δεν είχαν απευθείας ασυρματική επικοινωνία. Οι απαραίτητες πληροφορίες συλλέγονταν τηλεφωνώντας στους πύργους ελέγχου των αεροδρομίων και τις αεροπορικές εταιρίες.

Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, οι τεχνολογικές εξελίξεις ήταν ραγδαίες λόγω της εισαγωγής του ραντάρ στην αεροναυτιλία. Αν και αρχικά αναπτύχθηκε από τη Μεγάλη Βρετανία ως αμυντικός μηχανισμός, το ραντάρ, που χρησιμοποιεί μικροκύματα για την ανίχνευση ιπτάμενων αντικειμένων από απόσταση, επέτρεψε στους ελεγκτές να γνωρίζουν με ακρίβεια τη θέση των αεροσκαφών ανά πάσα χρονική στιγμή σε κατάλληλες οθόνες. Το 1946, η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας της Μεγάλης Βρετανίας ήταν η πρώτη που χρησιμοποίησε ένα πειραματικό ραντάρ εγκατεστημένο σε πύργο ελέγχου για τον έλεγχο πολιτικών πτήσεων. Το 1952, άρχισε η επιχειρησιακή του εκμετάλλευση για τον έλεγχο της προσέγγισης και αναχώρησης αεροσκαφών από τα αεροδρόμια και 4 χρόνια αργότερα η χρήση του επεκτάθηκε στον έλεγχο κατά μήκος των αεροδιαδρόμων. Την ίδια περίοδο άρχισε η επέκταση της ραδιοκάλυψης ώστε να είναι εφικτή η επικοινωνία με τους πιλότους καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης.

Το 1960, η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας των ΗΠΑ (Federal Aviation Administration – FAA) ολοκλήρωσε με επιτυχία την αξιολόγηση ενός πομπού (transponder) ο οποίος εξόπλισε τα αεροπλάνα βελτιώνοντας σημαντικά την επίδοση των ραντάρ. Επίσης, οι πιλότοι υποχρεώθηκαν να πετούν αποκλειστικά βασιζόμενοι στις ενδείξεις των οργάνων τους άσχετα με τις καιρικές συνθήκες και να παραμένουν σε συνεχή επαφή με τους ελεγκτές. Οι εξελίξεις αυτές επέτρεψαν τη μείωση των ελάχιστων επιτρεπτών αποστάσεων στο μισό με αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση στην πυκνότητα της κίνησης.

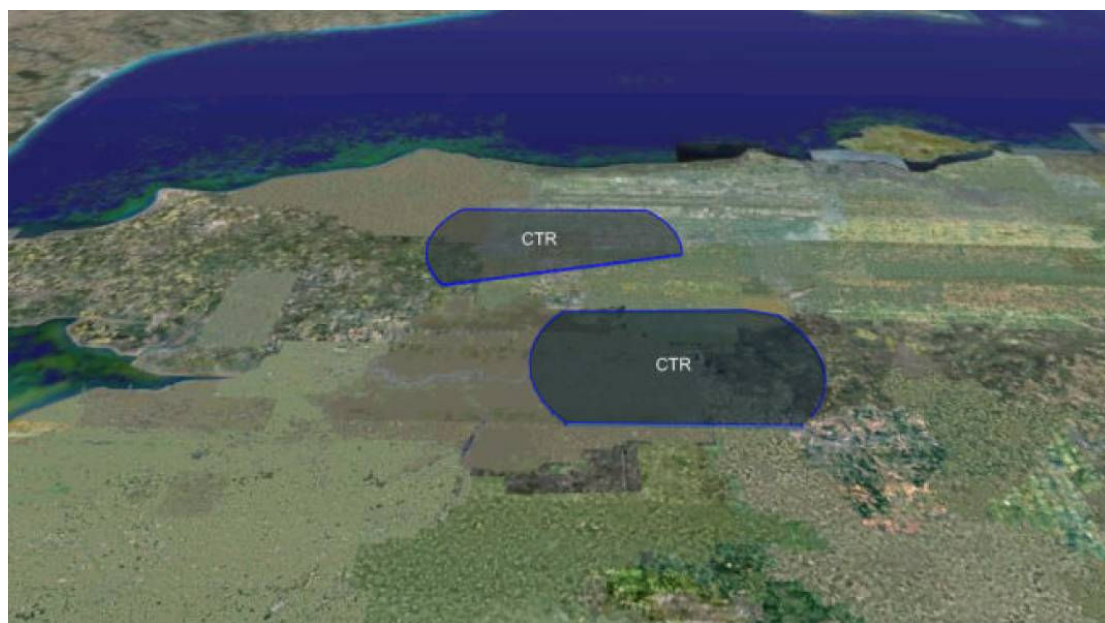
Συνεπακόλουθα, συνέχισε να αυξάνεται, ανάλογα με την κίνηση, ο αριθμός των αεροδιαδρόμων, προκαλώντας σύγχυση των πιλότων. Έτσι, ο εναέριος χώρος χωρίστηκε από την FAA τον Σεπτέμβριο του 1964 σε 2 τμήματα καθ' ύψος και άρχισαν να χρησιμοποιούνται ραδιοβοηθήματα, δηλαδή συστήματα που εγκαθίστανται στο έδαφος σε συγκεκριμένες γεωγραφικές θέσεις και εκπέμπουν σήματα που οι πιλότοι χρησιμοποιούν για να προσανατολιστούν.

Οι βασικές υπηρεσίες που παρέχει ο Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας (EEK) και χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα δεν έχουν αλλάξει πολύ. Παρ' όλη την τρομακτική ανάπτυξη των υπολογιστικών και τηλεπικοινωνιακών συστημάτων για την υποστήριξη της υποδομής εδάφους και της συνεργασίας μεταξύ των υπεύθυνων υπηρεσιών, ο EEK στηρίζεται στο τρίπτυχο CNS:

- Ραδιοεπικοινωνίες (Communication) μεταξύ πιλότου και ελεγκτή
- Καθοδήγηση (Navigation) με χρήση ραδιοβοηθημάτων
- Επίβλεψη (Surveillance) με χρήση ραντάρ και πομπών στα αεροσκάφη

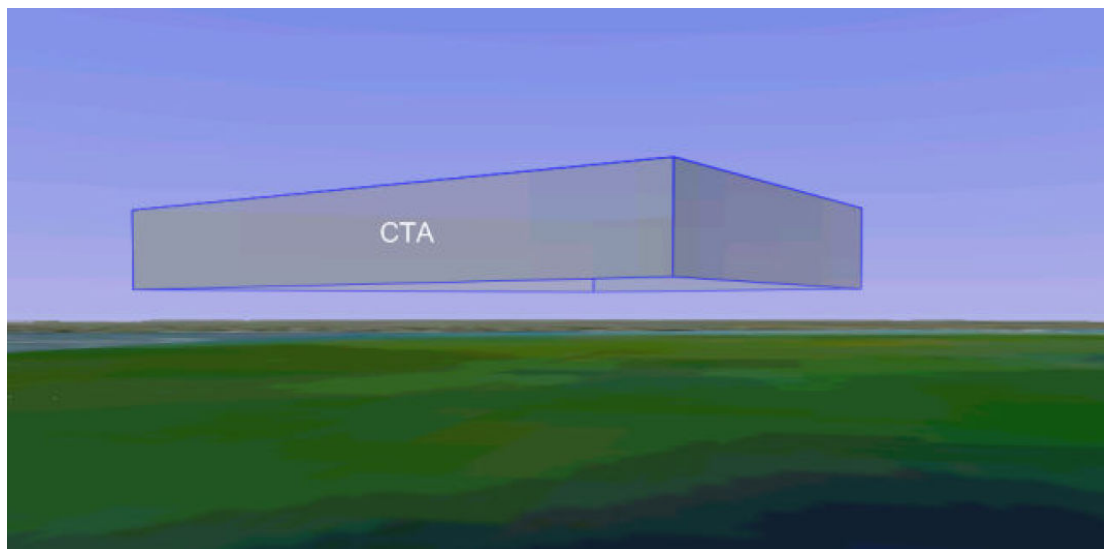
1.1 Η δομή του εναέριου χώρου

Ο ελεγχόμενος εναέριος χώρος διαχωρίζεται σε τμήματα για την πιο αποδοτική και ασφαλή διαχείριση της κίνησης. Το πρώτο τμήμα ονομάζεται Ζώνη Ελέγχου (Control Zone – CTR) και ξεκινά από το έδαφος, εκτεινόμενο μέχρις ένα συγκεκριμένο ύψος, σχετίζεται δε με ένα αεροδρόμιο.



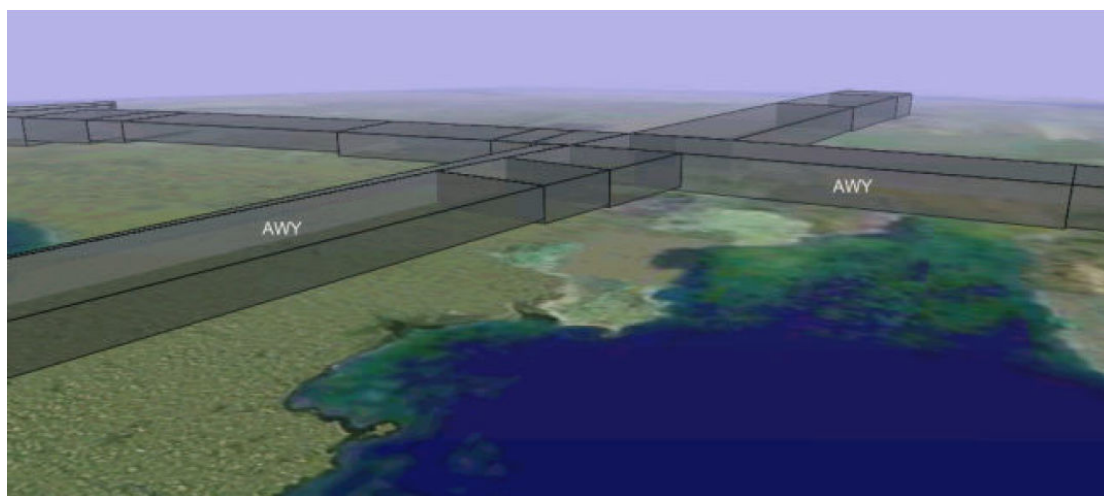
Εικόνα 1. Μία ενδεικτική Ζώνη Ελέγχου

Το δεύτερο τμήμα ονομάζεται Περιοχή Ελέγχου (Control Area – CTA), και είναι στην ουσία ένας όγκος που δεν ακουμπά στη γη, εκτεινόμενος μέχρις ενός συγκεκριμένου ύψους. Μία Περιοχή Ελέγχου μπορεί να διαμοιράζεται σε πολλούς τομείς ανάλογα με το μέγεθός της.



Εικόνα 2. Μία ενδεικτική Περιοχή Ελέγχου

Το τρίτο τμήμα είναι ο αεροδιάδρομος (Airway – AWY) που είναι είτε μία Περιοχή Ελέγχου είτε ένα τμήμα αυτής σε σχήμα ενός διαδρόμου με καθορισμένα όρια και πλάτος ίσο συνήθως 10 ναυτικά μίλια. Ο αεροδιάδρομος είναι εξοπλισμένος με ραδιοβοηθήματα τοποθετημένα σε συγκεκριμένα σημεία καθ' όλο το μήκος του για καθοδήγηση των εναερίων μέσων.



Εικόνα 3. Ένας ενδεικτικός αεροδιάδρομος

Το τέταρτο και τελευταίο τμήμα είναι η Τερματική Περιοχή, μία Περιοχή Ελέγχου στην οποία διασταυρώνονται ένας ή περισσότεροι αεροδιάδρομοι με τις πορείες εναερίων μέσων που απογειώνονται από ή προσγειώνονται σε αεροδρόμια.



Εικόνα 4. Μία ενδεικτική Τερματική Περιοχή

Οι περιοχές που προαναφέρθηκαν επιβλέπονται από διαφορετικές ομάδες ελεγκτών. Για τις Ζώνες Ελέγχου είναι υπεύθυνοι οι ελεγκτές του Πύργου Ελέγχου ενός αεροδρομίου (Tower – TWR), για τις Τερματικές Περιοχές οι αντίστοιχοι της Προσέγγισης (Approach – APP), ενώ για τις Περιοχές Ελέγχου, υπεύθυνοι είναι οι ελεγκτές του Κέντρου Ελέγχου Περιοχής (Area Control Center – ACC).

1.2 Οι τύποι των πτήσεων

Οι πτήσεις χωρίζονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες, τις πτήσεις εξ' όψεως (Visual Flight Rule Flights – VFR flights) και τις πτήσεις με τη βοήθεια οργάνων (Instrument Flight Rule Flights – IFR flights).

Οι κανόνες VFR επιτρέπουν στον πιλότο να λειτουργεί ένα εναέριο μέσο όταν επικρατούν καιρικές συνθήκες που του επιτρέπουν να βλέπει που πηγαίνει. Εάν ο καιρός είναι χειρότερος από κάποια ελάχιστα όρια ορατότητας, ο πιλότος είναι υποχρεωμένος να λειτουργήσει με κανόνες IFR, εφόσον αυτό είναι δυνατό, ειδικά απαγορεύεται να πετάξει. Στις πτήσεις VFR, ο πιλότος είναι καθ' όλα αρμόδιος να διατηρεί τον διαχωρισμό του από άλλα εναέρια μέσα και γενικά δεν κινείται κατά μήκος συγκεκριμένων διαδρομών. Με κανόνες VFR λειτουργούν γενικά πιο αργά εναέρια μέσα, όπως μικρά αεροπλάνα και ελικόπτερα και οι πτήσεις VFR απαγορεύονται σε διάφορα τμήματα του ελεγχόμενου εναέριου χώρου, ανάλογα με τη χώρα. Κατά την αναχώρηση και άφιξη σε πολυσύχναστα αεροδρόμια, οι πτήσεις VFR υπόκεινται σε έλεγχο από τον Πύργο Ελέγχου και την Προσέγγιση.

Οι κανόνες IFR αναγκάζουν τον πιλότο να κατευθύνει το εναέριο μέσο μόνον με χρήση οργάνων, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η πλοήγηση ακόμη και όταν τίποτα δεν είναι ορατό έξω από το παράθυρο του θαλάμου διακυβέρνησης. Για τον λόγο αυτό, οι πτήσεις που ακολουθούν κανόνες IFR επιτρέπεται να πετούν μέσα από σύννεφα, ενώ οι αντίστοιχες VFR όχι. Οι πτήσεις IFR εκτελούνται υπό τις οδηγίες ελεγκτών για να διατηρείται ο διαχωρισμός με άλλα εναέρια μέσα, αν και ο πιλότος πάντα διατηρεί το δικαίωμα άρνησης κάποιας εντολής.

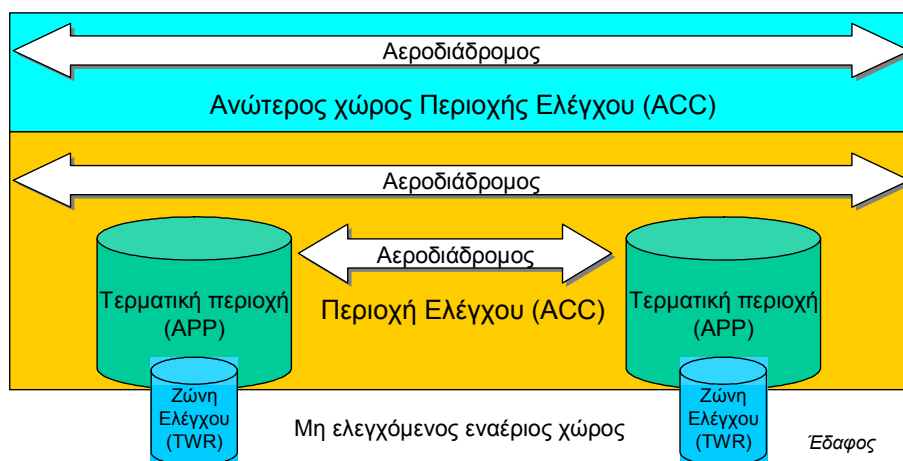
1.3 Οι διαδικασίες της πτήσης

Το κάθε αεροσκάφος που λειτουργεί με κανόνες IFR, υποβάλλει, προτού απογειωθεί, το σχέδιο πτήσης και παίρνει έγκριση από τον ελεγκτή του Πύργου Ελέγχου ως προς την

διαδρομή ATS (Air Traffic Services) που θα πρέπει να ακολουθηθεί, η οποία απαρτίζεται από τη διαδρομή αναχώρησης και άφιξης καθώς και τον αεροδιάδρομο που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Η κάθε διαδρομή έχει συγκεκριμένο όνομα, συγκεκριμένα σημεία πλοήγησης (waypoints) και άλλα στοιχεία.

Κατόπιν εκδίδεται η έγκριση απογείωσης και το αεροσκάφος τροχοδορεί και αφήνει το έδαφος. Σε μικρή απόσταση από το αεροδρόμιο, ο Πύργος Ελέγχου το παραδίδει στον ελεγκτή της Προσέγγισης, ο οποίος το παρακολουθεί στο ραντάρ και επικοινωνεί με τον πιλότο με τη χρήση συγκεκριμένων ραδιοσυχνοτήτων ξεχωριστών από αυτές του Πύργου Ελέγχου. Κατόπιν παρέχει συγκεκριμένες οδηγίες ώστε να αποφευχθεί η διασταύρωση με άλλη κίνηση και το ανεβάζει σε συγκεκριμένο ύψος ούτως ώστε να το παραδώσει στον Έλεγχο Περιοχής.

Το αεροσκάφος είναι πλέον σε φάση “en route” και συνήθως βρίσκεται σε ύψος μεγαλύτερο από 3000 πόδια. Από τη φάση αυτή της πτήσης θα βγει όταν προσεγγίσει τον προορισμό του. Οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται για επικοινωνία φωνής μεταξύ πιλότου και ελεγκτή αλλάζουν μία ακόμη φορά και ο ελεγκτής οδηγεί το αεροσκάφος διατηρώντας τον διαχωρισμό από άλλα ιπτάμενα μέσα. Είναι προφανές πως, ανάλογα με τον τελικό προορισμό, το αεροσκάφος μπορεί να περάσει από διαφορετικούς τομείς εντός μίας Περιοχής Ελέγχου ή τους εναέριους χώρους πολλών κρατών. Στην περίπτωση αυτή παραδίδεται από κάθε ελεγκτή στον επόμενο κατά μήκος της διαδρομής ATS, αλλάζοντας συχνότητες κατά περίπτωση (λειτουργία handover). Κατά την άφιξη στον προορισμό ακολουθείται η αντίστροφη σειρά και το αεροσκάφος προσγειώνεται. Η όλη διαδικασία φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 1. Η διαδικασία της πτήσης

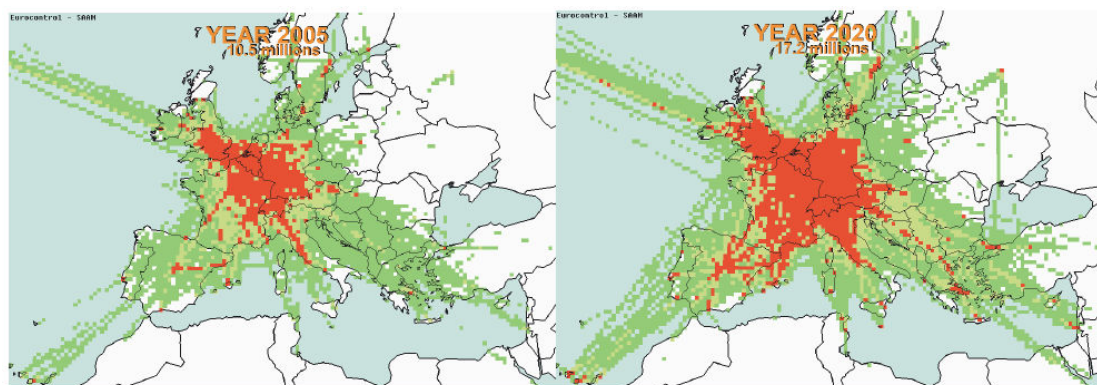
Σε κάθε σημείο της διαδρομής απαιτείται η έγκριση του ΕΕΚ (ATC clearance). Η κάθε έγκριση καθορίζει το επόμενο χωρικό όριο που είναι το τμήμα της διαδρομής που το αεροσκάφος μπορεί να εκτελέσει χωρίς νέα έγκριση. Με κάθε έγκριση παρέχονται τυπικά:

- Η κατεύθυνση που πρέπει να ακολουθήσει ο πιλότος
- Το υψόμετρο
- Η ταχύτητα
- Παράμετροι επικοινωνίας, όπως οι συχνότητες ασυρμάτου και οι κωδικοί του transponder του αεροσκάφους

Οι πιλότοι που πετούν με κανόνες VFR υποβάλλουν επίσης σχέδιο πτήσης, έχουν την υποχρέωση, όταν βρίσκονται “en route” να ενημερώνουν τον έλεγχο για τη θέση τους και να λειτουργούν υπό τις εντολές του όταν βρίσκονται κοντά σε πολυσύχναστα αεροδρόμια.

1.4 Το μέλλον του EEK

Με δεδομένη την εκρηκτική αύξηση της αεροπορικής κίνησης παγκοσμίως και το επικείμενο έμφραγμα στους αιθέρες σε συνδυασμό με την ανάγκη μείωσης του κόστους των αερομεταφορών και του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος, οι αρμόδιοι φορείς και τα κράτη άρχισαν την δεκαετία του 2000 τη μελέτη για τον εκμοντερνισμό του υφιστάμενου συστήματος EEK με την εισαγωγή τεχνολογικών καινοτομιών.



Σχήμα 2. Αεροπορική κίνηση στην Ευρώπη – Παρόν και μέλλον (πηγή: EUROCONTROL)

Οι 2 ακτές του Ατλαντικού (ΗΠΑ και Ευρώπη) ακολούθησαν αρχικά ξεχωριστό δρόμο προς αυτή την κατεύθυνση. Οι Ευρωπαίοι δημιούργησαν το έργο SESAR (Single European Sky Air Traffic Management Research – βλέπε Αναφορά 2) το οποίο σκοπεύει στον καθορισμό και υλοποίηση των στρατηγικών και συστημάτων διαχείρισης εναέριας κυκλοφορίας της επόμενης γενεάς. Η βασική καινοτομία του έργου είναι πως σχεδιάστηκε με συγκεκριμένους στόχους αύξησης της κίνησης αλλά και μείωσης του χρόνου πτήσης, μειώνοντας συνεπακόλουθα την κατανάλωση καυσίμων και τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις.

Οι ΗΠΑ από την άλλη ξεκίνησαν τη δική τους έρευνα με βασικό πυλώνα τη NASA, την Federal Aviation Administration (FAA) αλλά και άλλους φορείς και με όχημα το έργο NextGen (βλέπε Αναφορά 3).

Και τα δύο έργα ακολουθούν μία τμηματική προσέγγιση στη μεταμόρφωση του τοπίου στον EEK. Η φάση ορισμού στο SESAR ξεκίνησε το 2005 και ολοκληρώθηκε το 2008, θέτοντας 6 προθεσμίες που οδηγούν στον πλήρη καθορισμό του Master Plan για τον EEK στην Ευρώπη (βλέπε Αναφορά 4). Η φάση της υλοποίησης ξεκίνησε το 2008 και αναμένεται να διαρκέσει ως το 2016 υπό την αιγίδα του SESAR Joint Undertaking (JU), μία σύμπραξη ιδιωτικών και δημοσίων φορέων που περιλαμβάνουν το EUROCONTROL, την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, διάφορες χώρες, Ευρωπαϊκές βιομηχανίες και αεροδρόμια. Η φάση επιχειρησιακής αξιολόγησης και ανάπτυξης αναμένεται να ξεκινήσει το 2015 και να ολοκληρωθεί ως το 2025, πετυχαίνοντας όμως τους στόχους επίδοσης έως το 2020.

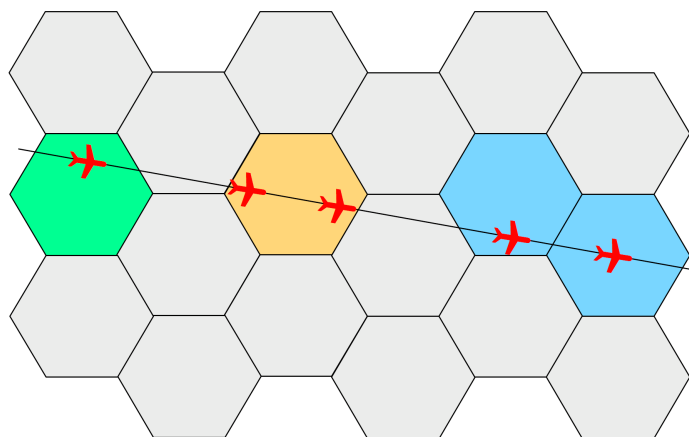
Σε ότι αφορά το NextGen, αναπτύσσεται επίσης σε 3 φάσεις, την έρευνα και ανάπτυξη (2007-2011), τον εξοπλισμό των αεροσκαφών και την μεσοπρόθεσμη ανάπτυξη του συστήματος (2012-2018) και το πλήρες σύστημα διαχείρισης για όλους τους τομείς των αερομεταφορών (2019-2025). Η Αναφορά 5 παρουσιάζει μία σύγκριση σημείο προς σημείο των 2 προσεγγίσεων.

1.5 Η επικοινωνία φωνής στον ΕΕΚ – Παρόν και μέλλον

Όπως έγινε εμφανές στην παράγραφο 1.3, το πιο σημαντικό εργαλείο στην εκτέλεση των διαδικασιών ελέγχου είναι η αδιάλειπτη επικοινωνία φωνής του πιλότου με τον ελεγκτή μέσω του ασυρμάτου, χωρίς την οποία είναι πρακτικά αδύνατο να πετάξει εναέριο μέσο.

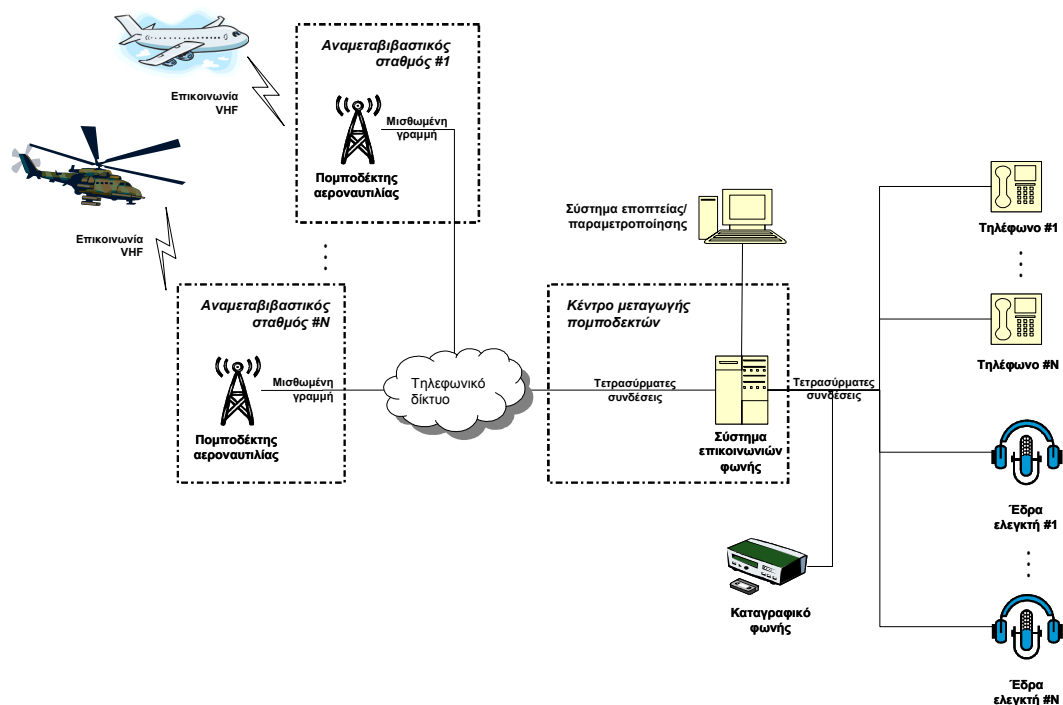
Η υποδομή που απαιτείται για την υποστήριξη μίας τόσο βασικής λειτουργίας είναι ένα δίκτυο ραδιοπομποδεκτών που παρέχει πλήρη γεωγραφική κάλυψη καθ'όλη τη διάρκεια της πτήσης, ανεξαρτήτως του ύψους. Οι θέσεις που τοποθετούνται οι πομποδέκτες (αναμεταβιβαστικοί σταθμοί) και η ισχύς εκπομπής τους καθορίζονται με κριτήριο τη βέλτιστη ραδιοκάλυψη και για τον λόγο αυτό προτιμώνται ψηλά σημεία. Με βάση την κίνηση του κάθε τομέα της Περιοχής Ελέγχου και με δεδομένη τη φύση των ασυρματικών επικοινωνιών (όταν κάποιος εκπέμπει σε κάποια συχνότητα, όλοι οι δέκτες που είναι συντονισμένοι σε αυτή τον λαμβάνουν), απαιτείται ένας ελάχιστος αριθμός ανεξάρτητων συχνοτήτων. Επίσης, λόγω της κρισιμότητας της εφαρμογής εγκαθίστανται εφεδρικοί πομποδέκτες για την περίπτωση βλάβης των κυρίων συστημάτων.

Οι ραδιοπομποδέκτες αυτοί θα πρέπει κατόπιν να διασυνδεθούν με τις θέσεις των ελεγκτών (έδρες). Τη λειτουργία αυτή αναλαμβάνει το σύστημα επικοινωνιών φωνής (Voice Communications System – VCS), το οποίο δημιουργεί δυναμικά συνδέσεις μεταξύ ραδιοπομποδεκτών και εδρών με μεταγωγή κυκλώματος, ούτως ώστε να μπορούν οι ελεγκτές να επικοινωνήσουν με τα ελεγχόμενα εναέρια μέσα μέσω της συχνότητας της επιλογής τους ανάλογα με τον τομέα στον οποίο έχουν ευθύνη. Οι τομείς και οι συχνότητες αλλάζουν ανάλογα με την εποχή, την ώρα της ημέρας και την πυκνότητα της εναέριας κυκλοφορίας. Είναι προφανές πως κατά τη διάρκεια της πτήσης, οι πιλότοι διέρχονται από διάφορους τομείς και χρησιμοποιούν μία σειρά από συχνότητες για να επικοινωνήσουν με τους αντίστοιχους ελεγκτές, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 3. Ενδεικτικός αεροδιάδρομος και τομείς (με διαφορετικό χρώμα φαίνονται οι χρησιμοποιούμενες συχνότητες)

Η διασύνδεση ανάμεσα στους ραδιοπομποδέκτες (κυρίους ή εφεδρικούς) και το σύστημα μεταγωγής υλοποιείται με χρήση επίγειων αναλογικών ή ψηφιακών κυκλωμάτων του παραδοσιακού τηλεφωνικού δικτύου (Public Switched Telephone Network – PSTN) που ενοικιάζονται από την υπηρεσία στην οποία υπάγεται ο ΕΕΚ μέσω κάποιου τηλεπικοινωνιακού παρόχου. Με τον ίδιο τρόπο υλοποιούνται οι επικοινωνίες μεταξύ εδρών, δηλαδή ελεγκτών καθώς και οι τηλεφωνικές επικοινωνίες μεταξύ υπηρεσιών, αεροδρομίων κ.α. Η αρχιτεκτονική φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



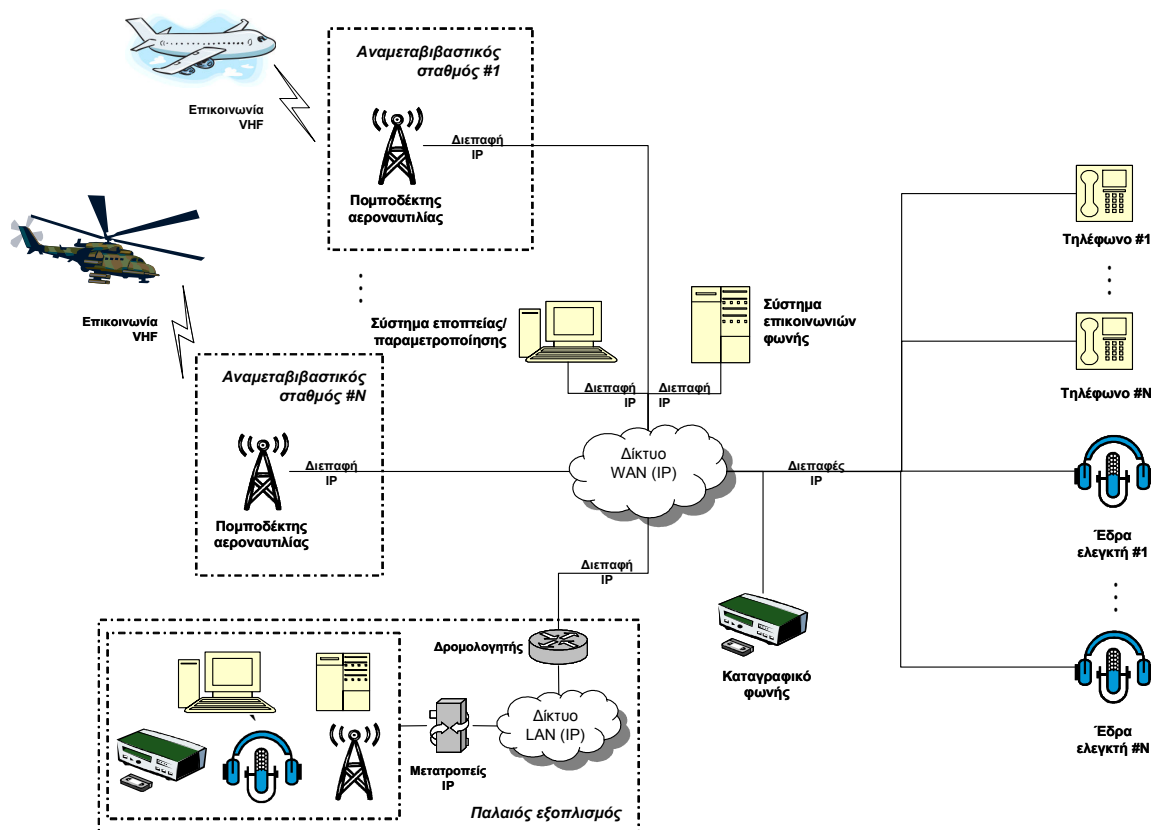
Σχήμα 4. Υλοποίηση δικτύου επικοινωνιών φωνής ΕΕΚ με χρήση τεχνολογίας μεταγωγής κυκλώματος

Με την πάροδο του χρόνου, τα μισθωμένα κυκλώματα έγιναν ασύμφορα συγκρινόμενα με άλλες τεχνολογίες μεταφοράς της φωνής, όπως αυτή του Voice over IP (VoIP) που χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτων αντί κυκλώματος. Για τον λόγο αυτό, τη δεκαετία του 2000 άρχισε να συζητιέται από τους αρμόδιους φορείς η εισαγωγή της τεχνολογίας αυτής στην αεροναυτιλία για την υλοποίηση της διασύνδεσης μεταξύ αναμεταβιβαστικών σταθμών και εδρών καθώς και μεταξύ εδρών. Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά:

- Μειωμένο κόστος, λόγω της ενοποίησης των δικτύων φωνής και δεδομένων: Εκτός από την απαραίτητη υποδομή για τη μεταφορά των ραδιοεπικοινωνιών, οι Υπηρεσίες Πολιτικής Αεροπορίας ανά τον κόσμο υλοποιούν και υποστηρίζουν εκτεταμένα δίκτυα μεταφοράς δεδομένων (π.χ. δεδομένα ραντάρ, σχεδίων πτήσης και παραμετροποίησης/ελέγχου εξοπλισμού). Για τον λόγο αυτό είναι λογικό να μεταφέρονται δεδομένα και φωνή μέσω του ιδίου δικτύου, ιδιαίτερα σε ότι αφορά κίνηση από/προς απομακρυσμένους σταθμούς όπου η ανάπτυξη πολλαπλών δικτύων είναι ιδιαίτερα ακριβή.
- Αυξημένη αξιοπιστία: Η ύπαρξη πολλαπλών εναλλακτικών διαδρομών για τα πακέτα φωνής και δεδομένων και η ανυπαρξία ενός κεντρικού σημείου μεταγωγής αυξάνει την αξιοπιστία και διευκολύνει την υλοποίηση πολλαπλών εφεδρειών, τουλάχιστον σε σχέση με ένα ιδίου κόστους δίκτυο βασισμένο σε τεχνολογίες μεταγωγής κυκλώματος, κάτι ιδιαίτερα σημαντικό με βάση τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Είναι εμφανές πως η επίτευξη εφεδρείας στο σύστημα που φαίνεται στο Σχήμα 4 απαιτεί τεράστιο κόστος καθώς το σύστημα επικοινωνιών αποτελεί μοναδικό σημείο αστοχίας (single point of failure).
- Ανεξαρτησία από τους προμηθευτές: Η εφαρμογή τεχνολογιών που βασίζονται σε ανοικτές και προτυποποιημένες διεπαφές επιτρέπει την είσοδο νέων εταιριών οδηγώντας σε μείωση τιμών και την υλοποίηση νέων υπηρεσιών για τη διαφοροποίηση των προϊόντων, αν και επιβάλλεται η απόδειξη της διαλειτουργικότητας (interoperability)
- Δυνατότητα εισαγωγής τεχνολογιών mobile IP: Μία τέτοια προσέγγιση θα επέτρεπε την αυτοματοποιημένη μετάβαση από έναν τομέα στο επόμενο (handover) χωρίς τον

κίνδυνο ανθρώπινου λάθους και θα έφερνε πιο κοντά μία βασική επιδίωξη όσων ασκούν ΕΕΚ, δηλαδή «ένα αεροπλάνο, ένας ελεγκτής».

Η καταλληλότητα της τεχνολογίας του VoIP στην αεροναυτιλία αποδείχθηκε στα πλαίσια του έργου SESAR (βλέπε Αναφορά 6), όσο και από την FAA (βλέπε Αναφορά 7) και αυτό έδωσε το πράσινο φως για την προτυποποίηση της χρήσης της σε επιχειρησιακό περιβάλλον (βλέπε Αναφορά 8, Αναφορά 9 και Αναφορά 10) υπό την επίβλεψη μίας ποικιλίας φορέων, όπως ο ICAO (International Civil Aviation Organization), το Eurocontrol (ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας), το EuroCAE (η Ένωση Κατασκευαστών Εξοπλισμού Αεροναυτιλίας). Η αντίστοιχη αρχιτεκτονική φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα, όπως καθορίστηκε με τη συμφωνία της Βιέννης (βλέπε Αναφορά 8). Καθώς είναι αδύνατο για λόγους κόστους και επιχειρησιακής ετοιμότητας οι Υπηρεσίες Πολιτικής Αεροπορίας να παροπλίσουν τον υφιστάμενο εξοπλισμό τους, η συμφωνία της Βιέννης προβλέπει την ύπαρξη ειδικών μονάδων (των μετατροπέων IP – gateways – που φαίνονται στο Σχήμα 5), ώστε να επιτευχθεί διαλειτουργικότητα μεταξύ παλαιότερου εξοπλισμού και του δικτύου IP της αεροναυτιλίας στο μέλλον. Οι μετατροπείς IP αποτελούν βασικό στοιχείο της εργασίας και θα αναλυθούν σε λεπτομέρεια στη συνέχεια.



Σχήμα 5. Υλοποίηση δικτύου επικοινωνιών φωνής ΕΕΚ με χρήση τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων

2 Τα προβλήματα ραδιοκάλυψης της Ελλάδας και το κίνητρο εκπόνησης της διατριβής

Το ανάγλυφο του εδάφους της χώρας μας είναι, ως γνωστόν, από τα πιο περίπλοκα παγκοσμίως, λόγω της ύπαρξης μεγάλων ορεινών όγκων και τεράστιου νησιωτικού χώρου. Ως εκ τούτου είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί ικανοποιητική χωροκάλυψη για τις ραδιοεπικοινωνίες αεροναυτιλίας, ειδικά σε χαμηλά ύψη, δηλαδή σε πτήσεις VFR (ελικοπτέρων και μικρών αεροπλάνων) και λαμβάνοντας υπ' όψιν το μεγάλο κόστος της εγκατάστασης και συντήρησης μισθωμένων γραμμών για τον αντίστοιχα μεγάλο αριθμό αναμεταβιβαστικών σταθμών που απαιτούνται. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχουν πολλά ατυχήματα σε πτήσεις ελικοπτέρων (τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για αεροδιακομιδές ασθενών από τα νησιά μας) και να θρηνούμε συχνά νεκρούς. Μία ιδιαίτερα προβληματική φάση της πτήσης είναι η προσέγγιση στα και η αναχώρηση από τα 46 απομακρυσμένα ελικοδρόμια που υπάρχουν στη χώρα μας (κυρίως σε νησιά), όπου η ραδιοκάλυψη, λόγω του χαμηλού ύψους, είναι πρακτικά ανύπαρκτη. Το αποτέλεσμα είναι ότι ακόμα και αν στη διάρκεια της πτήσης υπήρχε περιστασιακή επαφή μέσω ασυρμάτου με τον πιλότο, αυτή διακόπτεται όταν το ελικόπτερο πλησιάσει τον προορισμό του. Συνεπακόλουθα, παρόλο που ο ελεγκτής έχει την ευθύνη να «κλείσει» το σχέδιο πτήσης με το ελικόπτερο στο έδαφος, κάτι τέτοιο είναι αδύνατο. Το σχέδιο πτήσης παραμένει λοιπόν ανοικτό έως τη στιγμή που ο πιλότος επικοινωνήσει με τον ελεγκτή με άλλα μέσα, όπως κινητό τηλέφωνο. Στο ενδιάμεσο, δεν είναι γνωστό αν το ελικόπτερο προσγειώθηκε επιτυχώς ή συνέβη κάποιο ατύχημα και συνεπακόλουθα δεν κινητοποιούνται οι μηχανισμοί Έρευνας και Διάσωσης (Search and Rescue – SAR). Με δεδομένη την μεγάλη αύξηση των πτήσεων VFR στον Ελληνικό εναέριο χώρο τα τελευταία χρόνια, η επιβάρυνση του ελεγκτή είναι σημαντική και η γρήγορη ανταπόκριση σε καταστάσεις ανάγκης ιδιαίτερα δύσκολη.

Είναι προφανές πως η εισαγωγή τεχνολογιών VoIP δεν πρόκειται να λύσει προβλήματα που προκαλούνται από την αδυναμία ή το τεράστιο κόστος εγκατάστασης του δικτύου πρόσβασης που απαιτείται σε απομακρυσμένες περιοχές. Μία αξιόπιστη διέξοδος που παρέχει την απαραίτητη γεωγραφική κάλυψη είναι οι δορυφορικές επικοινωνίες, η χρήση των οποίων στην επικοινωνία φωνής του EEK, τόσο για πτήσεις VFR, όσο και IFR αποτέλεσε το βασικό κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

2.1 Οι δορυφορικές επικοινωνίες στον EEK

Επικοινωνίες αέρος-εδάφους μέσω δορυφόρου χρησιμοποιούνται για πολλά χρόνια, ειδικά σε χώρους όπου η επίγεια ραδιοκάλυψη είναι αδύνατη (βλέπε Αναφορά 11). Τα περισσότερα εναέρια μέσα που πετούν πάνω από τους ωκεανούς είναι εξοπλισμένα με δορυφορικά τερματικά, τα οποία, μαζί με ασυρμάτους HF (στρατοσφαιρικές ραδιοεπικοινωνίες) είναι οι μοναδικοί τρόποι διασύνδεσης μεταξύ πιλότου και ελεγκτή στις συγκεκριμένες περιοχές. Επίσης, οι δορυφορικές τεχνολογίες έχουν σημαίνουσα θέση στο μελλοντικό σύστημα EEK, όπως προδιαγράφεται από το έργο SESAR (βλέπε Αναφορά 4), υλοποιώντας μία πληθώρα νέων υπηρεσιών, όπως επικοινωνίες φωνής και δεδομένων και παροχή διασύνδεσης μεγάλων ταχυτήτων στο Internet για τους επιβάτες. Αξίζει να σημειωθεί πως η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (European Space Agency – ESA), έχει εκπονήσει το έργο IRIS (βλέπε Αναφορά 12), το οποίο, σε άμεση συνέργεια με το SESAR, μελετά τη χρήση δορυφορικών επικοινωνιών στον EEK νέας γενιάς.

Σε κάθε περίπτωση, η προσέγγιση που ακολουθείται από τους διεθνείς οργανισμούς δεν προβλέπεται να δώσει λύση στο πρόβλημα που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο για μία σειρά λόγων:

- Απαιτείται η εγκατάσταση στα εναέρια μέσα νέων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων (avionics) που να επιτρέπουν την πρόσβαση σε δορυφορικά κυκλώματα (βλέπε Αναφορά 13). Το κόστος για μία τέτοια μετάβαση είναι τεράστιο και οι αεροπορικές εταιρίες δεν είναι πρόθυμες να το επωμιστούν, τουλάχιστον σύντομα, αν δεν

συνδυαστεί με μείωση του κόστους πτήσης. Για τον λόγο αυτό, η εισαγωγή τέτοιων τεχνολογιών συνδυάζεται με το concept της ελεύθερης πτήσης (free flight, βλέπε την Αναφορά 14 για μία βιβλιογραφική παρουσίαση του θέματος), που θα επιτρέπει στους πιλότους να κινούνται κατά μήκος της κοντινότερης διαδρομής προς τον προορισμό τους και όχι σε προκαθορισμένους αεροδιαδρόμους, μειώνοντας δραματικά τον χρόνο πτήσης και την κατανάλωση καύσιμου. Για να γίνει κάτι τέτοιο εφικτό, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν νέες τεχνικές αποτροπής συγκρούσεων, καθώς δεν είναι δυνατό να ελέγχεται η εναέρια κυκλοφορία υπό τέτοιες συνθήκες από ανθρώπινα όντα. Ο βασικός ερευνητικός πυρήνας, τόσο του SESAR όσο και του NextGen είναι η δημιουργία αλγορίθμων 4D (4-dimensional) που επιτυγχάνουν επίλυση τροχιών τόσο στον χώρο όσο και στο χρόνο για να διατηρείται ο διαχωρισμός και να αποφεύγονται τα ατυχήματα. Επίσης, απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία του εγχειρήματος της εισαγωγής δορυφορικών επικοινωνιών στην αεροναυτιλία είναι η δημιουργία ενός δικτύου δορυφόρων (υφιστάμενων και νέων) για να υπάρξει πραγματικά παγκόσμια κάλυψη. Είναι κατανοητό λοιπόν πως η δυσκολία του εγχειρήματος είναι τεράστια και για τον λόγο αυτό ο χρόνος υλοποίησης του σχεδίου αυτού, σύμφωνα με την Αναφορά 2 οριοθετείται στο 2025.

- Ακόμη και αν οι αεροπορικές εταιρίες πειστούν για λόγους οικονομίας ή αναγκαστούν για λόγους ασφάλειας να ακολουθήσουν τις προταγές των διεθνών φορέων, δεν πρόκειται να συμβεί το ίδιο με τα μικρά αεροπλάνα και ελικόπτερα που στη συντριπτική τους πλειοψηφία ανήκουν σε ιδιώτες.

Αντίθετα:

- Η εισαγωγή της προσέγγισης του VoIP είναι μη παρεμβατική στο αεροσκάφος, καθώς αφορά μόνο την επίγεια υποδομή. Επιπλέον, είναι πολύ ώριμη ως τεχνολογία. Για τους λόγους αυτούς, η υιοθέτησή της τοποθετείται στο έτος 2013 σύμφωνα με την Αναφορά 2, οπότε είναι λογική η αναζήτηση μίας λύσης σε αυτή την κατεύθυνση.
- Τα παραδοσιακά δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών δεν πρόκειται να εγκαταλειφθούν λόγω των μεγάλων επενδύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί από τις Υπηρεσίες Πολιτικής Αεροπορίας ανά τον κόσμο και της ανάγκης ύπαρξης όσο το δυνατό περισσότερων επιπέδων εφεδρείας.

2.2 Η καινοτομία

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, προκύπτει αβίαστα το ακόλουθο ερώτημα:

Θα ήταν εφικτός ο συνδυασμός τηλεπικοινωνιών VoIP, όπως παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 1.5 και δορυφορικών κυκλωμάτων για τη μεταφορά των πακέτων φωνής για επικοινωνίες αέρος-εδάφους, ή αλλιώς, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί δορυφορικό δίκτυο IP για την υλοποίηση τμημάτων του δικτύου δεδομένων EEK που φαίνεται στο Σχήμα 5, όταν δεν υπάρχει άλλη διαθέσιμη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία;

Η απάντηση, η οποία θα στοιχειοθετηθεί στη συνέχεια της εργασίας, είναι ιδιαίτερα σημαντική για τους αρμόδιους φορείς χωρών όπως η Ελλάδα που έχουν μεγάλη δυσκολία να αναπτύξουν επίγεια τηλεπικοινωνιακή υποδομή και στους οποίους θα μπορούσε να δοθεί η δυνατότητα να εντάξουν στο δίκτυό τους αυτόνομους αναμεταβιβαστικούς σταθμούς με μόνη απαίτηση την παροχή ρεύματος, με ελάχιστο κόστος και πλήρη συμβατότητα με τις τεχνολογίες του μέλλοντος.

Εκ πρώτης όψεως, το πρόβλημα φαίνεται απλό. Η τηλεφωνία VoIP πάνω από δορυφορικά δίκτυα είναι τεχνολογικά ώριμη για τα τελευταία 10 χρόνια, οπότε η χρήση της για μεταφορά ραδιοεπικοινωνιών φάνταζε προφανής, τουλάχιστον μέχρι την πρώτη βιβλιογραφική έρευνα, η οποία απέδειξε μία πλήρη ανυπαρξία δημοσιεύσεων στο θέμα. Το ερώτημα είναι γιατί.

Ας θυμηθούμε τη βασική λειτουργία του ΕΕΚ, όπως καταγράφηκε στην παράγραφο 1: πρέπει να διατηρούνται τις αποστάσεις ασφαλείας μεταξύ των αεροσκαφών ώστε να αποφεύγονται οι συγκρούσεις. Όσο αυξάνει η πυκνότητα της κυκλοφορίας, τόσο μικρότερες είναι οι αποστάσεις, τόσο συντομότερες πρέπει να γίνουν οι συνομιλίες μεταξύ πιλότων-ελεγκτών που απαιτούνται για την εκτέλεση των διαφόρων διαδικασιών του ΕΕΚ και τόσο μικρότερο είναι το περιθώριο λάθους. Η φρασεολογία που χρησιμοποιείται, ο ρυθμός ομιλίας, η γρήγορη απόκριση του πιλότου και του ελεγκτή καθώς και η τηλεπικοινωνιακή υποδομή διαμορφώνουν τη διάρκεια των συνομιλιών και συνεπακόλουθα τη μέγιστη πυκνότητα κίνησης που μπορεί να επιτευχθεί.

Με δεδομένη την κρισιμότητα του χρόνου στον ΕΕΚ, η χρήση δορυφορικών επικοινωνιών και μάλιστα σε συνδυασμό με τη μετάδοση της φωνής πάνω από δίκτυο πακέτων μόνο λογική δεν φαντάζει, καθώς η καθυστέρηση που αθροιστικά εισάγεται μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα ασφαλείας πτήσεων και να αναγκάσει τους ελεγκτές να διατηρούν μεγαλύτερους διαχωρισμούς με αποτέλεσμα η πυκνότητα κυκλοφορίας να μειώνεται αντίστοιχα.

Επιπλέον, το κόστος του δορυφορικού εύρους ζώνης επιβάλλει την συμπίεση της φωνής ώστε να απαιτεί μικρότερο ρυθμό μετάδοσης, κάτι που μπορεί να μειώσει την ποιότητα της φωνής, οδηγώντας σε μεγαλύτερο αριθμό συνομιλιών για να ολοκληρωθεί μία διαδικασία, ή, ακόμη χειρότερα, σε λάθη και ατυχήματα.

Στα προβλήματα αυτά έρχεται να προστεθεί ο ανθρώπινος παράγοντας. Η αξιολόγηση μίας πιθανής λύσης θα πρέπει να γίνει σε επιχειρησιακές συνθήκες με πραγματικούς χρήστες, καθώς είναι προφανές πως η επίδοση τους επηρεάζει το αποτέλεσμα. Άρα, θα πρέπει αρχικά να υλοποιηθεί ένα σύστημα μεταφοράς ραδιοεπικοινωνιών πάνω από δορυφορικό δίκτυο IP και κατόπιν να χρησιμοποιηθεί. Μία εναλλακτική προσέγγιση θα ήταν η εξομοίωση επιχειρησιακών συνθηκών σε συνθήκες εργαστηρίου, με αμφίβολη οικονομία χρόνου και προσπάθειας. Για την κατασκευή ενός συστήματος είναι αναγκαία η ύπαρξη απαιτήσεων, άρα συσχετισμού συγκεκριμένων παραμέτρων της υλοποίησης με την προσδοκώμενη επίπτωση στην αντίληψη του χρήστη βάσει κάποιου μοντέλου, η βιβλιογραφική έρευνα για την ύπαρξη του οποίου απέβη επίσης άκαρπη. Η πολυπλοκότητα του ερευνητικού χώρου δικαιολογεί λοιπόν την απουσία δημοσιεύσεων, παρά την προφανή επιχειρησιακή απαίτηση όπως καταγράφηκε στην παράγραφο 2.

2.3 Η δομή της διατριβής

Η παρούσα διατριβή σκοπεύει να αποδείξει όχι μόνον πως είναι εφικτός ο συνδυασμός της τεχνολογίας VoIP και της δορυφορικής μετάδοσης, αλλά η λύση που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνθήκες πυκνής κυκλοφορίας χωρίς να επηρεάζεται η ασφάλεια των πτήσεων:

- Στο κεφάλαιο 3 στοιχειοθετείται ένα μοντέλο εκτίμησης της ποιότητας φωνής ραδιοεπικοινωνιών χρησιμοποιώντας ως βάση αντίστοιχα εργαλεία που αναπτύχθηκαν για την παραδοσιακή τηλεφωνία και κατόπιν καταγράφονται συγκεκριμένες απαιτήσεις από την πιθανή υλοποίηση ενός συστήματος
- Το κεφάλαιο 4 παρουσιάζει με λεπτομέρεια τα στοιχεία της υλοποίησης του υπό μελέτη συστήματος
- Στο κεφάλαιο 5 παρέχονται οι πληροφορίες εγκατάστασης του συστήματος που υλοποιήθηκε
- Τα κεφάλαια 6 έως 8 παρουσιάζουν τη μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της αντικειμενικής επαλήθευσης της εκπλήρωσης των απαιτήσεων που τέθηκαν στο κεφάλαιο 3
- Τέλος, στο κεφάλαιο 9 παρουσιάζεται τόσο η μεθοδολογία όσο και τα αποτελέσματα της υποκειμενικής εκτίμησης επίδοσης του υπό μελέτη συστήματος από πραγματικούς χρήστες σε επιχειρησιακό περιβάλλον

3 Η ποιότητα υπηρεσίας φωνής

Η αφετηρία της μελέτης για τον καθορισμό συγκεκριμένων λειτουργικών απαιτήσεων και απαιτήσεων επίδοσης ούτως ώστε να γίνει εφικτή η απόδειξη της καταλληλότητας της τεχνολογίας Voice over IP πάνω από δορυφορικό δίκτυο για εφαρμογές αεροναυτιλίας στη συνέχεια της παρούσας εργασίας, είναι μία κατηγοριοποίηση των πεδίων στα οποία μπορεί να ποσοτικοποιηθεί η ποιότητα της υπηρεσίας φωνής για αεροναυτικές εφαρμογές:

- Η ποιότητα κλήσης, που χαρακτηρίζεται από την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια μίας εγκατεστημένης κλήσης και επηρεάζεται κυρίως από:
 - Την από-άκρη-σε-άκρη καθυστέρηση, που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη διαδραστικότητα της επικοινωνίας
 - Την από-άκρη-σε-άκρη ποιότητα της φωνής, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή σε μη διαδραστικές καταστάσεις από τον ακροατή
- Η ποιότητα εγκατάστασης κλήσης, που καθορίζει την εντύπωση του χρήστη της υπηρεσίας σε ότι αφορά την ανταπόκρισή της και επηρεάζεται κυρίως από:
 - Την καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης
 - Την πιθανότητα απόρριψης κλήσης, η οποία εξαρτάται από μία πλειάδα εξωτερικών παραγόντων που δεν καλύπτονται από την παρούσα μελέτη (διαθεσιμότητα ελεγκτή, φόρτος της συχνότητας του ασυρμάτου κ.α.), οπότε δεν θα αναλυθεί περαιτέρω.

Σε ότι αφορά την ποιότητα μίας τηλεφωνικής κλήσης, υπάρχει διαθέσιμο στην βιβλιογραφία ένα ευρύ οπλοστάσιο μοντελοποίησης της, όπως θα φανεί στη συνέχεια της παρούσας παραγράφου. Αντίθετα, το πεδίο του συσχετισμού της ποιότητας κλήσεων ασυρμάτου με συγκεκριμένες παραμέτρους του δικτύου και του εξοπλισμού που υλοποιούν την υπηρεσία είναι πλήρως αχαρτογράφητο. Οι παράγραφοι που ακολουθούν σκοπεύουν στον ορισμό ενός πλαισίου ποσοτικοποίησης, εφαρμόζοντας τις υπάρχουσες αρχές σε ένα τελείως διαφορετικό περιβάλλον λειτουργίας και στην εξαγωγή συγκεκριμένων απαιτήσεων που θα πρέπει να πληρούνται ώστε η ποιότητα της υπηρεσίας να την καθιστά αποδεκτή από τον χρήστη. Η ορθότητα της προσέγγισης θα επιβεβαιωθεί στις παραγράφους 6 έως 9, ολοκληρώνοντας το σκεπτικό της εργασίας.

3.1 Η ποιότητα κλήσης και το E-model

Σε ότι αφορά την ποσοτικοποίηση της ποιότητας μίας κλήσης, είτε τηλεφώνου, είτε ασυρμάτου, θα χρησιμοποιηθεί το E-model, με χρήση του οποίου θα εξαχθούν οι απαιτήσεις που επάγονται στην υπηρεσία και συνεπακόλουθα στο σύστημα που την υλοποιεί. Το E-model, όπως παρουσιάζεται στη σύσταση G.107 της ITU-T (Αναφορά 15), είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εργαλείο για τη σχεδίαση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων μεταφοράς φωνής. Μία λεπτομερής περιγραφή του παρουσιάζεται στην Αναφορά 16.

Το βασικό χαρακτηριστικό του E-Model είναι η υπόθεση πως η ψυχοακουστική επίδραση ασυσχέτιστων παραγόντων μείωσης της ποιότητας είναι προσθετική. Η υπόθεση αυτή στηρίζεται στα εμπειρικά αποτελέσματα στο πεδίο της ψυχοακουστικής έρευνας, η οποία συσχετίζει εντάσεις φυσικών ερεθισμάτων με αντιληπτές εντάσεις σύμφωνα με την Αναφορά 17.

3.1.1 Η λειτουργία του E-model

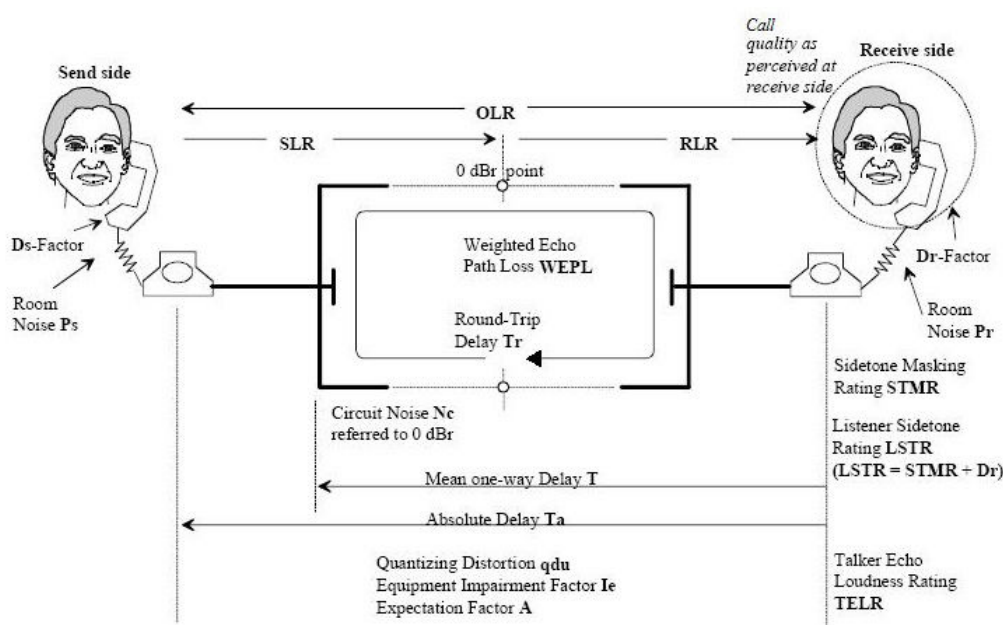
Το E-Model μοντελοποιεί τους παράγοντες μείωσης της ποιότητας κατά τη διάρκεια μετάδοσης της φωνής με εύρος ζώνης 300 Hz – 3.4 KHz ορίζοντας τον λεγόμενο παράγοντα ποιότητας R . Μεγαλύτερη τιμή του R αντιστοιχεί σε καλύτερη ποιότητα κλήσης, με χαμηλότερη τιμή το 0, ελάχιστη τιμή για ποιότητα αντίστοιχη του επίγειου τηλεφωνικού δικτύου ίση με 80 και μέγιστη τιμή το 100. Ο παράγοντας R υπολογίζεται μέσω της

πρόσθεσης 5 όρων που αντιστοιχούν σε παράγοντες μείωσης της ποιότητας της φωνής, όπως φαίνονται κάτωθι:

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A$$

Ο όρος R_o αναπαριστά τον βασικό σηματοθορυβικό λόγο που περιλαμβάνει πηγές θορύβου όπως ο θόρυβος κυκλώματος και δωματίου. Ο όρος I_s μοντελοποιεί τον συνδυασμό όλων των παραγόντων μείωσης της ποιότητας που συνυπάρχουν με την φωνή. Ο όρος I_d αναπαριστά τους παράγοντες μείωσης της ποιότητας που σχετίζονται με την καθυστέρηση ενώ ο όρος I_e ποσοτικοποιεί την επίδραση των κωδικοποιητών φωνής χαμηλού ρυθμού. Ο παράγοντας A ονομάζεται παράγοντας πλεονεκτήματος που χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση της επίδρασης των παραγόντων μείωσης όταν υπάρχει πλεονέκτημα για τη χρήση μίας συγκεκριμένης τεχνολογίας πρόσβασης στην υπηρεσία φωνής (όταν π.χ. δεν υπάρχει άλλη διαθέσιμη).

Οι όροι R_o , I_s και I_d διαιρούνται περαιτέρω σε υπο-όρους, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (πηγή: Αναφορά 15) που παρουσιάζει το βασικό μοντέλο μετάδοσης φωνής από άκρη-σε-άκρη για μία τηλεφωνική σύνδεση.



Σχήμα 6. Το βασικό μοντέλο μετάδοσης φωνής από άκρη-σε-άκρη για μία τηλεφωνική σύνδεση σύμφωνα με το G.107 και οι παράμετροι που σχετίζονται με τον παράγοντα R

Το E-model εφαρμόζεται σε κάθε κατεύθυνση μετάδοσης ξεχωριστά. Για παράδειγμα, στο παραπάνω σχήμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η ποιότητα της φωνής που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος στα δεξιά. Σε ασύμμετρα σενάρια, το E-model θα πρέπει να εφαρμοστεί σε 2 κατευθύνσεις μετάδοσης, άρα θα πρέπει να υπολογιστούν 2 παράγοντες R.

3.1.2 Ο βασικός σηματοθορυβικός λόγος, R_o

Ο βασικός σηματοθορυβικός λόγος R_o ορίζεται ως:

$$R_o = 15 - 1.5 \cdot (SLR + N_o)$$

όπου SLR είναι το Sender Loudness Rating, που ποσοτικοποιεί την αντιληπτή ένταση φωνής στη μεριά της αποστολής της.

Ο όρος N_o (σε dBm0p) είναι η πρόσθεση των ισχύων διάφορων πηγών θορύβου:

$$N_o = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{N_c}{10}} + 10^{\frac{N_{os}}{10}} + 10^{\frac{N_{or}}{10}} + 10^{\frac{N_{fo}}{10}} \right)$$

Ο όρος N_c (σε dBm0p) είναι το άθροισμα όλων των ισχύων θορύβων κυκλώματος που αναφέρονται στο σημείο 0 dBr, το οποίο σύμφωνα με την Αναφορά 15, ορίζεται ως οποιοδήποτε σημείο του τετρασύρματου κυκλώματος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6. Ο όρος N_{os} (επίσης σε dBm0p) είναι ο ισοδύναμος θόρυβος κυκλώματος στο σημείο 0 dBr, που προκαλείται από τον θόρυβο του δωματίου P_s στη μεριά της αποστολής της φωνής:

$$N_{os} = P_s - SLR - D_s - 100 + 0.004 \cdot (P_s - OLR - D_s - 14)^2$$

όπου OLR είναι το Overall Loudness Rating. Γενικά, $OLR = RLR + SLR$ (RLR είναι το Receiver Loudness Rating, δηλαδή η αντιληπτή ένταση φωνής στη πλευρά της λήψης). Ο παράγοντας D_s αφορά στον τηλεφωνικό εξοπλισμό και καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Με το ίδιο σκεπτικό, ο θόρυβος περιβάλλοντος P_r στη μεριά της λήψης μετατρέπεται στον ισοδύναμο κυκλωματικό θόρυβο N_{or} [σε dBm0p] στο σημείο 0 dBr:

$$N_{or} = RLR - 121 + P_{re} + 0.008 \cdot (P_{re} - 35)^2$$

Ο όρος P_{re} (επίσης σε dBm0p) είναι ο ενεργός θόρυβος περιβάλλοντος που προκαλείται από την ενίσχυση του θορύβου P_r από την διαρροή ήχου στο ακουστικό του ομιλητή (sidetone) που χρησιμοποιείται από τις τηλεφωνικές συσκευές για να αισθάνονται οι συνομιλητές ότι η τηλεφωνική σύνδεση λειτουργεί:

$$P_{re} = P_r + 10 \cdot \log_{10} \left(1 + 10^{\frac{(10-LSTR)}{10}} \right)$$

Τέλος, ο όρος N_{fo} (σε dBm0p) αναπαριστά τον θόρυβο υποβάθρου (noise floor) στη λήψη. Γενικά, $N_{fo} = N_{for} + RLR$, όπου N_{for} είναι ο θόρυβος υποβάθρου του κυκλώματος.

3.1.3 Ο παράγοντας μείωσης της ποιότητας της φωνής λόγω ταυτόχρονων φαινομένων I_s

Ο όρος I_s είναι η συνισταμένη των παραγόντων μείωσης της ποιότητας που συνυπάρχουν με την μετάδοση της φωνής και διαιρείται περαιτέρω σε 3 συνιστώσες:

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q$$

Ο όρος I_{olr} αναπαριστά την μείωση της ποιότητας που προκαλείται από χαμηλές τιμές του OLR και ισούται με:

$$I_{olr} = 20 \cdot \left\{ \left[1 + \left(\frac{X}{8} \right)^8 \right]^{\frac{1}{8}} - \frac{X}{8} \right\}, \text{ όπου } X = OLR + 0.2 \cdot (64 + N_o - RLR)$$

Ο όρος I_{st} αναπαριστά την μείωση της ποιότητας που προκαλείται από μη βέλτιστο sidetone:

$$I_{st} = 12 \cdot \left[1 + \left(\frac{STMR_0 - 13}{6} \right)^8 \right]^{\frac{1}{8}} - 28 \cdot \left[1 + \left(\frac{STMR_0 + 1}{19.4} \right)^{35} \right]^{\frac{1}{35}} - 13 \cdot \left[1 + \left(\frac{STMR_0 - 3}{33} \right)^{13} \right]^{\frac{1}{13}} + 29$$

όπου

$$STMR_0 = -10 \cdot \log_{10} \left(10^{-\frac{STMR}{10}} + e^{\frac{T}{4}} \cdot 10^{-\frac{TELR}{10}} \right)$$

Η παράμετρος STMR (Side-Tone masking ratio), ποσοτικοποιεί την αλληλεπίδραση της διαρροής φωνής από το μικρόφωνο στα ακουστικά με τους υπόλοιπους παράγοντες μείωσης της ποιότητας φωνής. Ο παράγοντας I_q αναπαριστά τη μείωση της ποιότητας της φωνής που προκαλείται από παραμόρφωση κβαντισμού:

$$I_q = 15 \cdot \log_{10} (1 + 10^Y + 10^Z), \text{ όπου } Y = \frac{R_0 - 100}{15} + \frac{46}{8.4} - \frac{G}{9}, Z = \frac{46}{30} - \frac{G}{40},$$

$$G = 1.07 + 0.258 \cdot Q + 0.0602 \cdot Q^2 \text{ και}$$

$$Q = 37 - 15 \cdot \log_{10}(qdu)$$

Στη συγκεκριμένη εξίσωση, ο όρος qdu αναπαριστά τον αριθμό των μονάδων παραμόρφωσης κβαντισμού (quantization distortion units) για την από-άκρο-σε-άκρο σύνδεση. Οι μονάδες qdu σχετίζονται με συγκεκριμένους τύπους τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού που παρεμβάλλονται μεταξύ των 2 συνομιλητών, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (πηγή: Αναφορά 18).

Ψηφιακή λειτουργία	Μονάδες παραμόρφωσης κβαντισμού (qdu)
<i>Διαδικασίες που περιέχουν αναλογικοψηφιακή μετατροπή</i>	
Ζεύγος παλμοκωδικών PCM μετατροπέων 8-bit (σύμφωνα με το πρότυπο G.711, A- ή m-law)	1
Ζεύγος παλμοκωδικών PCM μετατροπέων 7-bit (A- ή m-law)	3
Ζεύγος πολυπλεκτών (transmultiplexer pair) βασισμένων σε διαμόρφωση 8-bit PCM, A- ή m-law (σύμφωνα με το πρότυπο G.792)	1
Διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση ADPCM 32 kbit/s (συνδυασμός ενός ζεύγους παλμοκωδικών PCM μετατροπέων 8-bit και μίας μετατροπής PCM-ADPCM-PCM σύμφωνα με τα πρότυπα G.721/G.726/G.727)	3.5
<i>Αμιγώς ψηφιακές λειτουργίες</i>	
Ψηφιακή απόσβεση (8-bit PCM, A- ή m-law)	0.7
Μετατροπέας A/m-law ή m/A-law (σύμφωνα με το πρότυπο G.711)	0.5
Μετατροπή A/m/A-law σε σειρά	0.5
Μετατροπή m/A/m-law σε σειρά	0.25
Μετατροπή PCM-ADPCM-PCM σε σειρά (σύμφωνα με τα πρότυπα G.721/G.726/G.727)	2.5
Μετατροπή κωδικοποίησης 8-7-8 bit (A- ή m-law)	3

Πίνακας 1. Σχέση των qdus με συγκεκριμένους τύπους τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού

3.1.4 Ο παράγοντας μείωσης της ποιότητας φωνής λόγω κωδικοποίησης, I_e

Ο συγκεκριμένος όρος περιγράφει την επίδραση των κωδικοποιητών χαμηλού ρυθμού στην ποιότητα της φωνής και οι τιμές του, που έχουν καθοριστεί στη βιβλιογραφία από υποκειμενικούς ελέγχους ποιότητας, δεν εξαρτώνται από άλλες παραμέτρους. Οι τιμές αυτές που παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα, καταγράφονται στην Αναφορά 15.

Τύπος κωδικοποιητή	Ρυθμός λειτουργίας (kbit/s)	Τιμή I_e	Αναφορά
<i>ADPCM</i>	40	2	G.726, G.727
	32	7	G.721 (1988), G.726, G.727
	24	25	G.726, G.727
	16	50	G.726, G.727
<i>LD-CELP</i>	16	7	G.728
	12.8	20	G.728
<i>CS-ACELP</i>	8	12	G.729
	8	13	G.729-A + VAD
<i>VSELP</i>	8	20	IS-54-B, TIA
<i>RPE-LTP</i>	13	20	GSM 06.10, Full-rate
<i>VSELP</i>	5.6	23	GSM 06.20, Half-rate
<i>ACELP</i>	12.2	3	GSM 06.60, Enhanced full-rate
<i>ACELP</i>	5.3	19	G.723.1
<i>MP-MLQ</i>	6.3	15	G.723.1
<i>CELP+</i>	6.8	25	

Πίνακας 2. Οι τιμές του παράγοντα μείωσης της ποιότητας φωνής λόγω κωδικοποίησης για διάφορους κωδικοποιητές χαμηλού ρυθμού

Οι προαναφερθείσες τιμές ισχύουν για ένα μόνο ζεύγος κωδικοποιητή/αποκωδικοποιητή καθώς αν χρησιμοποιούνται περισσότεροι, η επίδραση στην ποιότητα φωνής είναι μακράν πιο πολύπλοκο να ποσοτικοποιηθεί.

3.1.5 Ο παράγοντας μείωσης της ποιότητας φωνής λόγω καθυστέρησης, I_d

Ο όρος I_d συνοψίζει την μείωση της ποιότητας της φωνής λόγω της επίδρασης της καθυστέρησης και μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω σε 3 παράγοντες:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}$$

Ο παράγοντας I_{dte} παρέχει μία εκτίμηση για την επίδραση της ηχούς του ομιλητή (Talker Echo).

$$I_{dte} = \left[\frac{R_{oe} - R_e}{2} + \sqrt{\frac{(R_{oe} - R_e)^2}{4} + 100} - 1 \right] \cdot (1 - e^{-T}), \text{ όπου } R_{oe} = -1.5 \cdot (N_0 - RLR),$$

$$R_e = 80 + 2.5 \cdot (TERV - 14) \text{ και } TERV = TELR - 40 \cdot \log_{10} \left(\frac{1 + \frac{T}{10}}{1 + \frac{T}{150}} \right) + 6 \cdot e^{-0.3 \cdot T^2}$$

Για τιμές του $T < 1 \text{ ms}$, η ηχώ του ομιλητή εκλαμβάνεται ως sidetone, άρα $I_{dte} = 0$. Ο αλγόριθμος υπολογισμού συνδυάζει περαιτέρω την επίδραση του λόγου απόκρυψης του sidetone (sidetone masking ratio – $STMR$) με την ηχώ του ομιλητή. Λαμβάνοντας υπ’όψιν ότι χαμηλές τιμές του $STMR$ αποκρύπτουν από τον ομιλητή την ηχώ της φωνής του και ότι υψηλές τιμές του $STMR$ η ηχώ του ομιλητή γίνεται πολύ πιο αντιληπτή, οι όροι $TERV$ και I_{dte} πρέπει να τροποποιηθούν ως εξής:

Για $STMR < 9 \text{ dB}$, ο όρος $TERV$ αντικαθίσταται από τον όρο $TERV_s$, όπου:

$$TERV_s = TERV + \frac{I_{st}}{2}$$

Αν $9 \text{ dB} \leq STMR \leq 15 \text{ dB}$, δεν απαιτούνται προσαρμογές. Για $STMR > 15 \text{ dB}$, ο όρος I_{dte} αντικαθίσταται από τον όρο I_{dtes} , όπου:

$$I_{dtes} = \sqrt{I_{dte}^2 + I_{st}^2}$$

Ο όρος I_{dle} αναπαριστά τη μείωση της ποιότητας της φωνής λόγω ηχούς του ακροατή (Listener Echo) και μοντελοποιείται ως εξής:

$$I_{dle} = \left[\frac{R_o - R_{le}}{2} + \sqrt{\frac{(R_o - R_{le})^2}{4} + 169} \right], \text{ όπου } R_{le} = 10.5 \cdot (WEPL + 7) \cdot (T_r + 1)^{-0.25}.$$

Ο παράγοντας I_{dd} αναπαριστά την μείωση της ποιότητας της φωνής λόγω μεγάλης απόλυτης καθυστέρησης T_a , η οποία προκύπτει ακόμη και αν δεν υπάρχει ηχώ. Πιο συγκεκριμένα, για $T_a < 100 \text{ ms}$, $I_{dd} = 0$, ενώ για $T_a > 100 \text{ ms}$ ισχύει η παρακάτω εξίσωση:

$$I_{dd} = 25 \cdot \left\{ \left(1 + X^6 \right)^{\frac{1}{6}} - 3 \cdot \left[1 + \left(\frac{X}{3} \right)^6 \right]^{\frac{1}{6}} + 2 \right\}$$

όπου

$$X = \frac{\log_{10} \left(\frac{T_a}{100} \right)}{\log_{10}(2)}$$

Αξίζει να σημειωθεί πως η απόλυτη καθυστέρηση μετριέται από το στόμα του ομιλητή έως το αυτί του ακροατή.

3.1.6 Ο παράγοντας πλεονεκτήματος, A

Ο παράγοντας πλεονεκτήματος A αναπαριστά την επίδραση στην ποιότητα της φωνής του πλεονεκτήματος πρόσβασης που παρουσιάζουν διάφορα τηλεπικοινωνιακά συστήματα σε σχέση με την παραδοσιακή τηλεφωνία, όταν η πρόσβαση σε αυτή δεν είναι εφικτή ή είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Παραδείγματος χάρη, τα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα (όπως η κινητή τηλεφωνία) παρέχουν ευελιξία και κινητικότητα στον χρήστη, οπότε κρίνονται λιγότερο αυστηρά σε ότι αφορά την ποιότητα επικοινωνίας που παρέχουν. Τα

δορυφορικά συστήματα παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε περιοχές που δεν υπάρχουν τηλεπικοινωνιακές υποδομές, καθώς αποτελούν την μοναδική επιλογή.

Αξίζει να σημειωθεί πως η επίδραση του παράγοντα πλεονεκτήματος μπορεί να είναι ασύμμετρη. Για παράδειγμα, σε μία κλήση μεταξύ ενός χρήστη σταθερής τηλεφωνίας και ενός χρήστη κινητού, ο πρώτος μπορεί να αντιλαμβάνεται μειωμένη ποιότητα σε σχέση με τις προσδοκίες του ενώ ο δεύτερος όχι. Ο παράγοντας πλεονεκτήματος, λόγω του ορισμού του, δεν έχει σχέση με άλλες παραμέτρους μετάδοσης και μερικές ενδεικτικές τιμές του παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα (πηγή: Αναφορά 15).

Τηλεπικοινωνιακό σύστημα	Μέγιστη τιμή του A
Παραδοσιακή τηλεφωνία	0
Κινητή τηλεφωνία εντός κτιρίου	5
Κινητή τηλεφωνία σε εξωτερικό χώρο ή σε κίνηση εντός οχήματος	10
Δορυφορικές επικοινωνίες σε μέρη που δεν υπάρχει άλλη διαθέσιμη τηλεπικοινωνιακή υποδομή	20

Πίνακας 3. Ενδεικτικές τιμές του παράγοντα πλεονεκτήματος

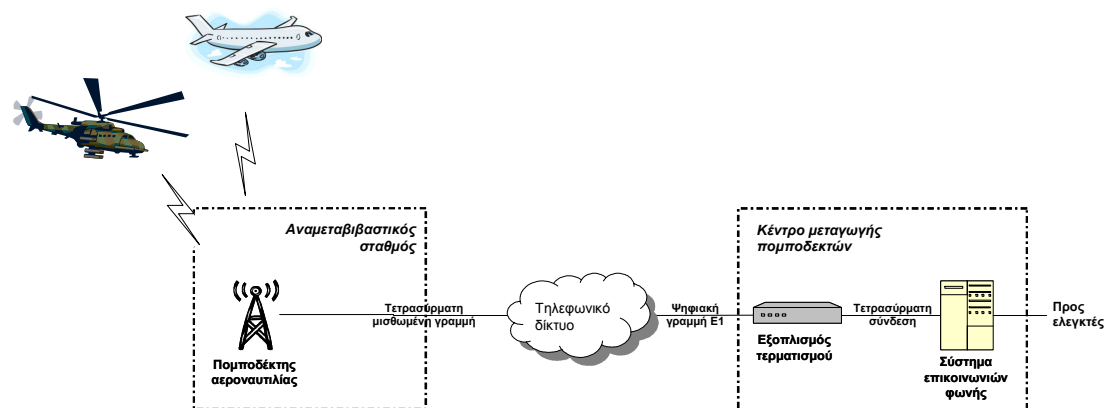
3.2 Η ποιότητα κλήσης για κλήσεις ασυρμάτου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το E-model αναπτύχθηκε σαν ένα εργαλείο μοντελοποίησης της ποιότητας της κλήσης σε δίκτυα τηλεφωνίας. Δεν βρέθηκαν βιβλιογραφικά στοιχεία που να αναφέρονται στην εφαρμογή του E-model σε ασυρματικά δίκτυα ραδιοφωνικών συχνοτήτων όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στην αεροναυτιλία.

Οι ακόλουθες παράγραφοι παρουσιάζουν μία προσέγγιση στο ερευνητικό αυτό θέμα, ακολουθώντας τη βασική θεώρηση που διέπει το E-model: τον διαχωρισμό του από άκρο-σε-άκρο τηλεπικοινωνιακού διαύλου σε δύο ανεξάρτητα τμήματα (ένα ανά κατεύθυνση μετάδοσης) και την μελέτη της ποιότητας κλήσης του καθενός ξεχωριστά. Καθώς οι κλήσεις ασυρμάτου καταλαμβάνουν την ίδια φασματική περιοχή με τις τηλεφωνικές κλήσεις (300 Hz – 3.4 KHz), το E-model είναι άμεσα εφαρμόσιμο.

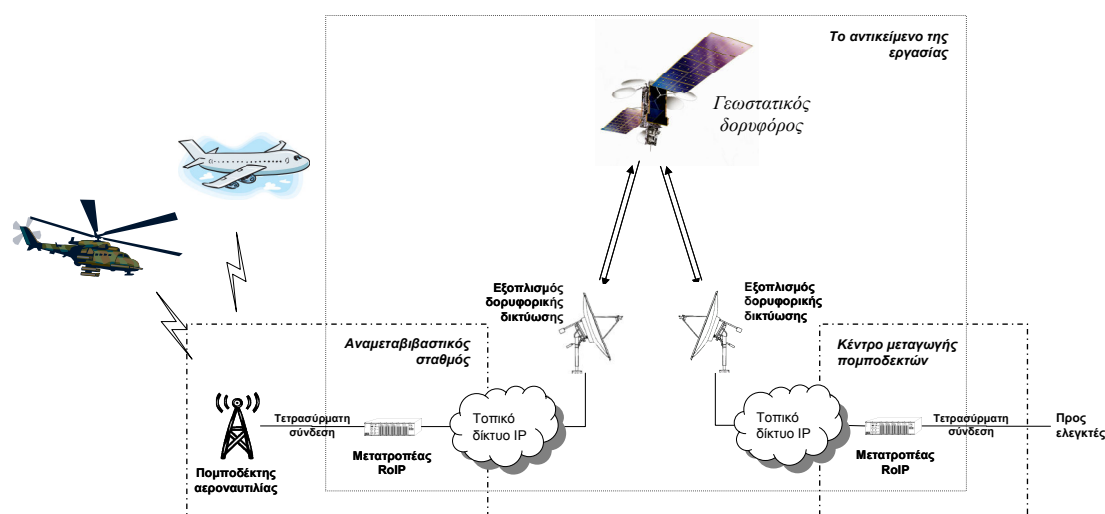
3.2.1 Ο από άκρο-σε-άκρο τηλεπικοινωνιακός δίαυλος για κλήσεις ασυρμάτου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 1.5, οι Υπηρεσίες Πολιτικής Αεροπορίας ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν ένα δίκτυο πομποδεκτών αεροναυτιλίας (αναμεταβιβαστικούς σταθμούς) ούτως ώστε να καλύψουν τον εναέριο χώρο της ευθύνης τους. Οι εκπομπές και λήψεις συγκεντρώνονται σε ένα ή περισσότερα σημεία όπου βρίσκονται οι ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας οι οποίοι συντονίζουν την κίνηση. Λόγω της κρισιμότητας της εφαρμογής, τα σημεία που βρίσκονται οι πομποδέκτες και οι ελεγκτές συνδέονται με χρήση μισθωμένων επίγειων γραμμών μέχρι το κοντινότερο ψηφιακό κέντρο απ'όπου και εισέρχονται στο δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας και παραδίδονται ψηφιακά στην Υπηρεσία, η οποία και δρομολογεί τις κλήσεις ασυρμάτου στον υπεύθυνο ελεγκτή μέσω ενός ειδικού κέντρου μεταγωγής πομποδεκτών και του VCS. Στην Ελλάδα, στο σύστημα VCS είναι συνδεδεμένες 85 θέσεις εργασίας ελεγκτών (έδρες), 56 ραδιοφωνικά κανάλια και 108 εξωτερικές τηλεφωνικές γραμμές. Από κάθε θέση εργασίας μπορεί να εκτελεσθεί ραδιοφωνική επικοινωνία μέσω των ραδιοφωνικών καναλιών και κάθε τηλεφωνική επικοινωνία μεταξύ εδρών ή προς τις εξωτερικές τηλεφωνικές γραμμές και αντιστρόφως. Η αρχιτεκτονική αυτή παρουσιάζεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 7. Μία κλήση ασυρμάτου με χρήση μισθωμένων γραμμών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 2, ο Ελλαδικός χώρος θεωρείται από τους πλέον δύσκολους σε ότι αφορά την επίτευξη της επιθυμητής ραδιοκάλυψης λόγω του τεράστιου αριθμού νησιών ταυτόχρονα με την ύπαρξη μεγάλων ορεινών όγκων. Για τους λόγους αυτούς είναι εξαιρετικά πολυδάπανη και πολλές φορές αδύνατη η εγκατάσταση επίγειων κυκλωμάτων τηλεφωνίας σε βουνοκορφές και νησιά. Ο σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να καθοριστούν με τη χρήση του E-model οι απαιτήσεις που θα πρέπει να πληροί ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα βασισμένο στην τεχνολογία μετάδοσης επικοινωνιών ασυρμάτων πάνω από δίκτυα δορυφορικού IP ούτως ώστε να η ποιότητα φωνής να είναι κατάλληλη για την εφαρμογή. Στην περίπτωση αυτή η αρχιτεκτονική είναι αυτή που παρουσιάζεται στο κάτωθι σχήμα.



Σχήμα 8. Μία κλήση ασυρμάτου με χρήση της τεχνολογίας μετάδοσης ασυρματικών επικοινωνιών πάνω από δορυφορικό δίκτυο IP

Το πιο πάνω σχήμα παρουσιάζει τα υποσυστήματα που βρίσκονται κατά μήκος του επικοινωνιακού διαύλου και επηρεάζουν την ποιότητα της κλήσης. Αυτά είναι:

- Οι πομποδέκτες αεροναυτιλίας του εναέριου μέσου και του αναμεταβιβαστικού σταθμού
- Ο εξοπλισμός μετατροπής της αναλογικής φωνής από τους πομποδέκτες σε κίνηση IP (ο οποίος θα αποκαλείται στο εξής μετατροπέας Radio over IP – RoIP – ώστε να διαχωρίζονται οι κλήσεις ασυρμάτου από τις τηλεφωνικές, για τις οποίες θα

χρησιμοποιηθεί ο όρος VoIP) και ο εξοπλισμός δικτύωσης IP που εγκαθίστανται τόσο στον αναμεταβιβαστικό σταθμό όσο και στο κέντρο μεταγωγής πομποδεκτών

- Ο εξοπλισμός του ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας
- Τα τετρασύρματα κυκλώματα που διασυνδέουν τα υποσυστήματα στα δύο άκρα
- Ο τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός που υλοποιεί το επίγειο τμήμα του δορυφορικού κυκλώματος IP
- Ο τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος

Το αντικείμενο της μελέτης της παρούσας διατριβής είναι το σύστημα που καλείται να υποκαταστήσει την τηλεπικοινωνιακή υποδομή των μισθωμένων γραμμών που παρουσιάζεται στο Σχήμα 7 και περικλείεται από τη διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 8.

3.2.2 Οι βασικές αρχές προσαρμογής του E-model στις κλήσεις ασυρμάτου

Η επικοινωνία μέσω ασυρμάτου στο πλαίσιο που παρουσιάζεται τόσο στο Σχήμα 7 όσο και στο Σχήμα 8 επιτυγχάνεται ως εξής:

- Όταν ο πιλότος επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον ελεγκτή, χρησιμοποιεί το πλήκτρο Push-to-talk (PTT) του ασυρμάτου του και ενεργοποιεί τον πομπό του. Κατά τη διάρκεια της εκπομπής του ακούει την φωνή του στα ακουστικά του μέσω του sidetone την ένταση του οποίου μπορεί να ρυθμίσει μέσω του πομποδέκτη του. Ο πιλότος μπορεί επίσης να ρυθμίσει την ένταση της εκπομπής και λήψης
- Ο δέκτης του αναμεταβιβαστικού σταθμού στο έδαφος, όντας συντονισμένος στην ίδια συχνότητα λαμβάνει το σήμα που εκπέμπεται από τον πομπό του εναέριου μέσου και ενεργοποιεί το σήμα Squelch που στην ουσία σηματοδοτεί την ύπαρξη εξερχόμενης κλήσης ασυρμάτου
- Τόσο η φωνή του πιλότου, όσο και το σήμα Squelch μεταφέρονται στην έδρα του ελεγκτή που είναι υπεύθυνος για το συγκεκριμένο εναέριο μέσο. Όταν ο ελεγκτής επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον πιλότο ακολουθεί τις αντίστροφες διαδικασίες, χρησιμοποιώντας τον πομπό του αναμεταβιβαστικού σταθμού για να ενεργοποιήσει τον δέκτη του εναέριου μέσου

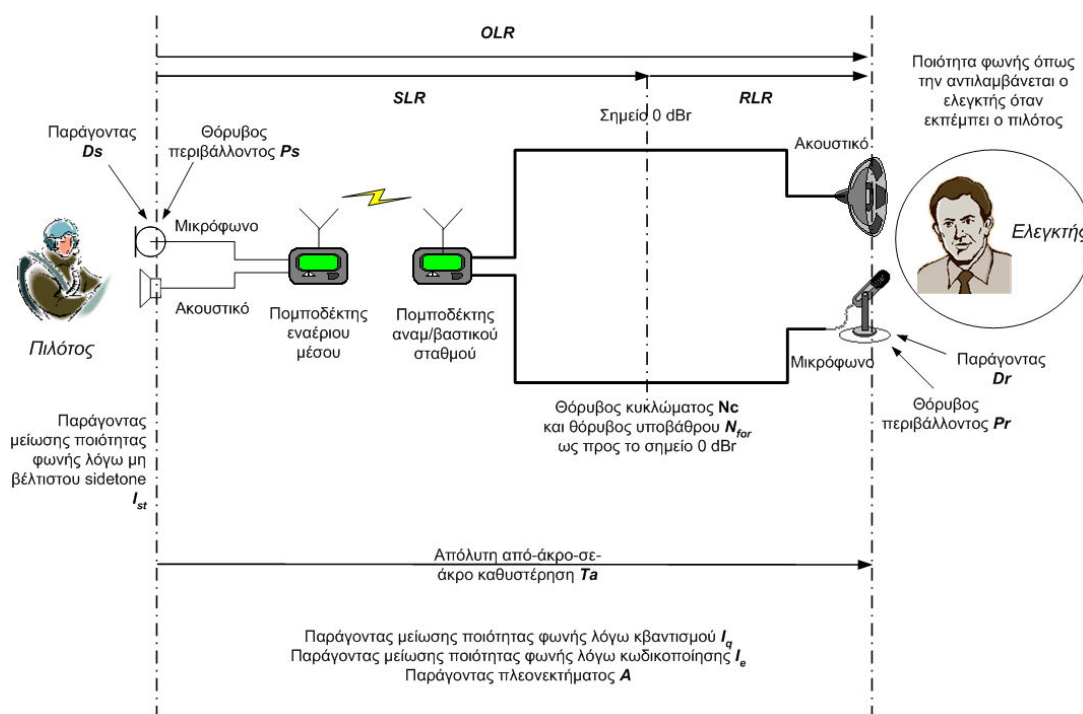
Λαμβάνοντας υπ' όψιν την περιγραφή των διαδικασιών που ακολουθούνται στις ασυρματικές επικοινωνίες, το από άκρο-σε-άκρο μοντέλο μίας τηλεφωνικής σύνδεσης που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6 θα πρέπει να τροποποιηθεί ώστε να αναπαριστά αυτό που παρουσιάζεται στο Σχήμα 7 και Σχήμα 8 και οι παράμετροι του E-model που δεν έχουν εφαρμογή σε κλήσεις ασυρμάτου θα πρέπει να αφαιρεθούν ή/και τροποποιηθούν.

Είναι κατανοητό από την παραπάνω περιγραφή πως οι επικοινωνίες μέσω ασυρμάτου είναι half-duplex (εναλλάξ διπλής κατεύθυνσης) και όχι full-duplex (εξ' ολοκλήρου διπλής κατεύθυνσης), όπως οι τηλεφωνικές επικοινωνίες. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη χρήση ξεχωριστών κυκλωμάτων ανά κατεύθυνση μετάδοσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7 όσο και στο Σχήμα 8 χωρίς τα δισύρματα τμήματα που απαντώνται στο τηλεφωνικό δίκτυο (βλέπε Σχήμα 6), κάνει δυνατή την πλήρη αποφυγή οποιουδήποτε φαινομένου ηχούς. Αυτό σημαίνει πως τα μεγέθη *TELR* και *WEPL* της παραγράφου 3.1.5 μπορούν να θεωρηθούν ίσα με άπειρο. Στην πραγματικότητα τα μοντέλα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 7 και στο Σχήμα 8 περιέχουν μία κρυφή πηγή ηχούς. Όταν ο πομπός του αναμεταβιβαστικού σταθμού εκπέμπει προς τον δέκτη του εναέριου μέσου, ο δέκτης στο έδαφος, καθώς είναι συντονισμένος στην ίδια συχνότητα, λαμβάνει το εκπεμπόμενο σήμα το οποίο και επιστρέφει στα ακουστικά του ελεγκτή. Το φαινόμενο αυτό στα πλαίσια του μοντέλου του τηλεπικοινωνιακού διαύλου που παρουσιάζεται στο Σχήμα 7 χρησιμοποιείται για να γνωρίζει ο ελεγκτής ότι λειτουργεί ο δέκτης του αναμεταβιβαστικού σταθμού. Η ηχώ αυτή δεν προκαλεί ενόχληση όταν χρησιμοποιούνται μισθωμένες γραμμές, καθώς η καθυστέρηση δεν υπερβαίνει τα 20 ms. Αν όμως ληφθούν υπ' όψιν οι καθυστερήσεις της δορυφορικής μετάδοσης που φαίνεται στο Σχήμα 8, η ποιότητα της επικοινωνίας αναμένεται να παρουσιαστεί δραματικά μειωμένη αν δεν αντιμετωπιστεί το πρόβλημα. Στην αντίστροφη κατεύθυνση δεν υπάρχει παρόμοιο πρόβλημα καθώς η μοναδική περίπτωση ανατροφοδότησης της φωνής του πιλότου θα

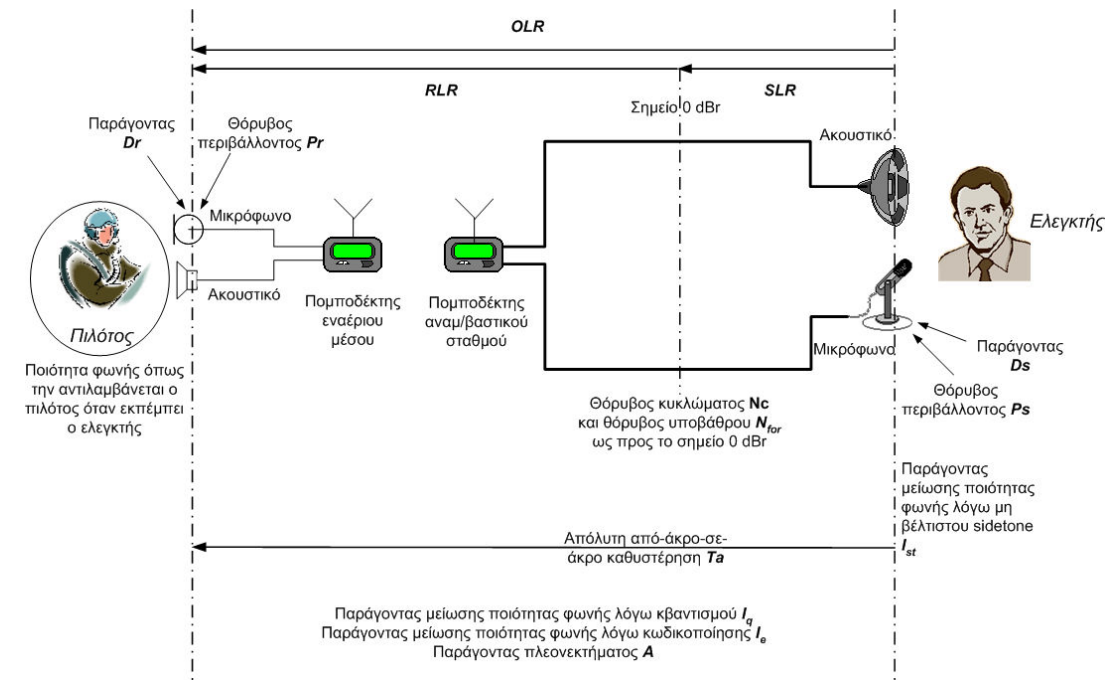
μπορούσε να προέλθει από διαρροή ήχου από τα ακουστικά του ελεγκτή στο μικρόφωνο του. Κάτι τέτοιο όμως δεν μπορεί να συμβεί, καθώς ο ελεγκτής δεν πατά το πλήκτρο PTT κατά την περίοδο που ακούει τον πιλότο, οπότε διακόπτεται ο δίαυλος της ανατροφοδότησης.

Η λύση είναι πολύ απλή λόγω της half-duplex φύσης των κλήσεων ασυρμάτου και συνίσταται στην αποκοπή του διαύλου επιστροφής του ήχου προς τον ελεγκτή από το υπό μελέτη σύστημα στην πλευρά του αναμεταβιβαστικού σταθμού όταν ο ελεγκτής μιλάει. Πάραυτα και λόγω της συνήθειας των χρηστών, η διαρροή του ήχου θα πρέπει να διατηρηθεί, οπότε θα πρέπει να υλοποιείται από τον μετατροπέα RoIP στο κέντρο μεταγωγής πομποδεκτών.

Τα ακόλουθα σχήματα συνοψίζουν το μοντέλο μετάδοσης φωνής κατά το πρότυπο G.107 τροποποιημένο για κλήσεις ασυρμάτου καθώς και τις παραμέτρους που σχετίζονται με τον παράγοντα ποιότητας φωνής R για την κατεύθυνση μετάδοσης φωνής από το εναέριο μέσο προς τον ελεγκτή (όταν εκπέμπει ο πιλότος) καθώς και για την αντίστροφη κατεύθυνση (εκπομπή από τον ελεγκτή). Τα σχήματα είναι ίδια, είτε χρησιμοποιούνται μισθωμένες γραμμές (βλέπε Σχήμα 7), είτε το υπό μελέτη σύστημα (βλέπε Σχήμα 8) ως τηλεπικοινωνιακή υποδομή.



Σχήμα 9. Μοντέλο μετάδοσης φωνής κατά το πρότυπο G.107 τροποποιημένο για κλήσεις ασυρμάτου (κατεύθυνση μετάδοσης φωνής από το εναέριο μέσο προς τον ελεγκτή)



Σχήμα 10. Μοντέλο μετάδοσης φωνής κατά το πρότυπο G.107 τροποποιημένο για κλήσεις ασυρμάτου (κατεύθυνση μετάδοσης φωνής από τον ελεγκτή προς το εναέριο μέσο)

3.2.2.1 Απλοποιήσεις του E-model σε σχέση με τον παράγοντα R_o και υπολογισμοί

Σύμφωνα με την παράγραφο 3.1.2, ο βασικός σηματοθορυβικός λόγος εκφράζεται ως:

$$R_o = 15 - 1.5 \cdot (SLR + N_o)$$

όπου ο όρος N_o (σε dBm0p) είναι η πρόσθεση των ισχύων των διάφορων πηγών θορύβου.

$$N_o = 10 \log \left[10^{\frac{N_c}{10}} + 10^{\frac{N_{as}}{10}} + 10^{\frac{N_{or}}{10}} + 10^{\frac{N_{fo}}{10}} \right]$$

Με δεδομένο πως μελετάται η κατεύθυνση μετάδοσης από τον πιλότο του εναέριου μέσου προς τον ελεγκτή και λαμβάνοντας υπ' όψιν πως κατά τη λήψη το μικρόφωνο του ελεγκτή είναι κλειστό, ο παράγοντας N_{or} της παραγράφου 3.1.2 μπορεί να απλοποιηθεί σημαντικά όπως φαίνεται κάτωθι, καθώς ο θόρυβος περιβάλλοντος στην πλευρά της λήψης δεν επηρεάζει τον ακροατή μέσω του sidetone, λόγω του ότι δεν υπάρχει sidetone κατά τη διάρκεια της λήψης:

$$N_{or} = RLR - 121 + P_{re} + 0.008 \cdot (P_{re} - 35)^2, \text{ όπου } P_{re} = P_r + 10 \cdot \log_{10} \left[1 + 10^{\frac{(10-LSTR)}{10}} \right] \cong P_r$$

Ως P_r ορίζεται το επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος στην πλευρά της λήψης, μετρημένο στη θέση του αυτιού του ακροατή. Η τιμή της παραμέτρου αυτής είναι ίση με το επίπεδο θορύβου στον χώρο από τον οποίο ασκείται ο έλεγχος (το Κέντρο Ελέγχου Περιοχής, τη Προσέγγιση ή τον Πύργο Ελέγχου) μειωμένη κατά την απόσβεση που επιτυγχάνεται από τα ακουστικά που

χρησιμοποιούνται από τον ελεγκτή. Σύμφωνα με την Αναφορά 19, το επίπεδο θορύβου του χώρου παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις και είναι κατά μέσο όρο ίσο με 80 dB(A), ενώ τα ακουστικά, σύμφωνα με την ίδια αναφορά, παρέχουν 15 – 30 dB απόσβεσης. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς μία μέση απόσβεση της τάξης των 22 dB, τιμή που επιβεβαιώθηκε μετά από μελέτη των προδιαγραφών πολλών ακουστικών της αγοράς. Προφανώς, η συγκεκριμένη παράμετρος δεν εξαρτάται από το τηλεπικοινωνιακό σύστημα που χρησιμοποιείται, παρά μόνον από τον τερματικό εξοπλισμό.

Ο παράγοντας N_{os} , σύμφωνα με την παράγραφο 3.1.2, υπολογίζεται από την πιο κάτω εξίσωση:

$$N_{os} = P_s - SLR - D_s - 100 + 0.004 \cdot (P_s - OLR - D_s - 14)^2$$

Η παράμετρος P_s ορίζει το επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος στην πλευρά της εκπομπής, μετρημένο στη θέση του μικροφώνου. Στην Αναφορά 20 παρατίθεται μία βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με το επίπεδο θορύβου στο θάλαμο διακυβέρνησης μίας ποικιλίας ιπτάμενων μέσων (ελικοφόρων αεροπλάνων, jets και ελικοπτέρων). Οι συγγραφείς καταλήγουν σε ένα ιδιαίτερα υψηλό επίπεδο θορύβου ίσο με 90 dB(A).

Η παράμετρος D_s ορίζει το επίπεδο απόρριψης του θορύβου περιβάλλοντος από το μικρόφωνο που χρησιμοποιείται και η τιμή της εξαρτάται από τον τύπο του μικροφώνου, τη θέση του σε σχέση με το στόμα του ομιλητή και τον τύπο του θορύβου. Μεγαλύτερες τιμές σημαίνουν υψηλότερη απόρριψη θορύβου και πιο αποτελεσματική λειτουργία, ενώ μικρότερες τιμές σημαίνουν μικρότερη αποτελεσματικότητα, άρα και περισσότερο θόρυβο.

Τα μικρόφωνα που χρησιμοποιούνται στην αεροναυτιλία απορρίπτουν, είτε παθητικά είτε ενεργητικά τον θόρυβο βάσει σχεδιασμού καθώς καλούνται να λειτουργήσουν σε ένα πολύ θορυβώδες περιβάλλον. Η Αναφορά 19 υποδεικνύει έναν λόγο απόρριψης θορύβου ίσο με 20 dB κατ' ελάχιστο, ο οποίος θα πρέπει να αφαιρεθεί από το επίπεδο θορύβου που προαναφέρθηκε ώστε να προκύψει το επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος, μετρημένο στη θέση του μικροφώνου του πιλότου. Η τιμή που προκύπτει (70 dB(A)) θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια στους υπολογισμούς.

Θα πρέπει επιπρόσθετα να ληφθεί υπ' όψιν πως το επίπεδο του σήματος φωνής στην πλευρά του πιλότου είναι τουλάχιστον 7 dB μεγαλύτερο απ' ότι έχει μετρηθεί από μελέτες εντός του τηλεφωνικού δικτύου (βλέπε Αναφορά 19), κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση του σηματοθορυβικού λόγου κατά το ίδιο μέγεθος. Το φαινόμενο θα ποσοτικοποιηθεί στη συνέχεια μέσω της αύξησης του βασικού σηματοθορυβικού λόγου (R_o) κατά 7 dB στην συγκεκριμένη κατεύθυνση μετάδοσης.

Επιπλέον, ο εξοπλισμός του ελεγκτή και του πιλότου παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης του επιπέδου του λαμβανόμενου και εκπεμπόμενου σήματος, άρα η παράμετρος RLR μπορεί να τεθεί στην ονομαστική και βέλτιστη τιμή των +2 dB και η παράμετρος SLR στην αντίστοιχη τιμή των +8 dB, όπως ορίζεται στην Αναφορά 15. Συνεπακόλουθα, μπορεί να θεωρηθεί πως το OLR θα έχει την τιμή +10 dB, καθώς $OLR = SLR + RLR$.

Σε ότι αφορά τις τιμές των παραμέτρων N_c και N_{for} ($N_{fo} = N_{for} + RLR$) και λόγω της έλλειψης περαιτέρω στοιχείων θα τεθούν ίσες με τις προτεινόμενες τιμές τους σύμφωνα με την Αναφορά 15, δηλαδή -70dBm0p και -64 dBm0p αντίστοιχα. Όπως θα φανεί στη συνέχεια, η συμμετοχή των 2 αυτών παραγόντων (θορύβου κυκλώματος και υποβάθρου) στη διαμόρφωση του βασικού σηματοθορυβικού λόγου είναι αμελητέα, οπότε η ακριβής τιμή τους δεν έχει ιδιαίτερη σημασία.

Είναι προφανές πως για την εφαρμογή που μελετάται, ο παράγοντας R_o δεν εξαρτάται από το τηλεπικοινωνιακό σύστημα που χρησιμοποιείται αλλά μόνο από παραμέτρους εξοπλισμού και περιβάλλοντος λειτουργίας που είναι ίδιες στον από-άκρη-σε-άκρη δίαυλο που φαίνεται στο Σχήμα 7 και στον αντίστοιχο στο Σχήμα 8. Χρησιμοποιώντας τις τιμές που καθορίστηκαν άνωθεν, ο πιο κάτω πίνακας παρουσιάζει τη συνεισφορά του κάθε παράγοντα ξεχωριστά στην τιμή της παραμέτρου N_o .

Παράμετρος	Τιμή (dBm0p)
N_{os}	-29.536
N_{or}	-56.768
N_c	-70
N_{fo}	-62.0
N_o	-29.525

Πίνακας 4. Συνεισφορά των διαφόρων παραμέτρων στη διαμόρφωση της τιμής του N_o (εναέριο μέσο προς ελεγκτή)

Οι διαφορές μεταξύ των συνιστωσών της παραμέτρου N_o είναι τεράστιες λόγω της λογαριθμικής κλίμακας και, όπως ήταν λογικό και αναμενόμενο, η τιμή της παραμέτρου N_o καθορίζεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από τον θόρυβο περιβάλλοντος της πλευράς αποστολής, δηλαδή του πιλοτηρίου του εναέριου μέσου.

Στην αντίθετη κατεύθυνση μετάδοσης (ελεγκτής προς πιλότο), ο θόρυβος του χώρου από τον οποίο ασκείται ο έλεγχος αποσβένεται κατά 20 dB από το μικρόφωνο και ο θόρυβος στη μεριά της λήψης (θάλαμος διακυβέρνησης) υπόκειται στην απόσβεση των ακουστικών κλειστού τύπου που χρησιμοποιούνται από τον πιλότο για να προστατευτεί από τα υψηλά επίπεδα θορύβου (22 dB όπως έχει ήδη προαναφερθεί). Με βάση τις θεωρήσεις που παρουσιάστηκαν, οι τιμές των συνιστωσών της παραμέτρου N_o για την κατεύθυνση αυτή φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Παράμετρος	Τιμή (dBm0p)
N_{os}	-45.376
N_{or}	-39.2
N_c	-70
N_{fo}	-62.0
N_o	-38.24

Πίνακας 5. Συνεισφορά των διαφόρων παραμέτρων στη διαμόρφωση της τιμής του N_o (ελεγκτής προς εναέριο μέσο)

Στην κατεύθυνση αυτή είναι προφανές πως η τιμή της παραμέτρου N_o (ισχύς θορύβου αναφερόμενη στο σημείο 0-dBr σε dBm0p κάτω από την ισχύ της φωνής στο ίδιο σημείο) καθορίζεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από τον θόρυβο περιβάλλοντος της πλευράς λήψης, δηλαδή ξανά του πιλοτηρίου του εναέριου μέσου.

3.2.2.2 Απλοποιήσεις του E-model σε σχέση με τον παράγοντα I_s

Ο παράγοντας I_s είναι η συνισταμένη των παραγόντων μείωσης της ποιότητας που συνυπάρχουν με την μετάδοση της φωνής και διαιρείται περαιτέρω σε 3 συνιστώσες:

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q$$

Σύμφωνα με την παράγραφο 3.1.3, το I_{olr} αναπαριστά την μείωση της ποιότητας που προκαλείται από χαμηλές τιμές του OLR και μπορεί να υπολογιστεί από τον πιο κάτω τύπο:

$$I_{olr} = 20 \left[\left\{ 1 + \left(\frac{X_{olr}}{8} \right)^8 \right\}^{\frac{1}{8}} - \frac{X_{olr}}{8} \right], \text{ όπου } X_{olr} = OLR + 0.2 \cdot (64 + N_o - RLR)$$

Με δεδομένο πως ο εξοπλισμός του ελεγκτή και του πιλότου παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης του επιπέδου του λαμβανόμενου και εκπεμπόμενου σήματος από τους χρήστες, μπορεί να επιτευχθούν οι βέλτιστες τιμές του OLR (+10 dB) και του RLR (+2 dB). Στην περίπτωση αυτή, η τιμή του I_{olr} στην κατεύθυνση μετάδοσης από το εναέριο μέσο προς τον ελεγκτή είναι ίση με **0.0157** και στην αντίθετη κατεύθυνση ίση με **0.0343**. Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις τιμές της παραμέτρου N_o της προηγούμενης παραγράφου και δεν εξαρτώνται από το τηλεπικοινωνιακό σύστημα που χρησιμοποιείται αλλά μόνο από παραμέτρους εξοπλισμού και περιβάλλοντος λειτουργίας που συναντώνται τόσο στον από-άκρη-σε-άκρη διάυλο που φαίνεται στο Σχήμα 7 όσο και τον αντίστοιχο στο Σχήμα 8. Πρακτικά λοιπόν, η συγκεκριμένη παράμετρος μπορεί να παραλειφθεί από περαιτέρω υπολογισμούς καθώς η τιμή της σε κάθε περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί ίση με το 0.

Συνεχίζοντας το σκεπτικό και σύμφωνα με την παράγραφο 3.1.3, ο παράγοντας I_{st} αναπαριστά την μείωση της ποιότητας που προκαλείται από μη βέλτιστο sidetone, που είναι η διαρροή της φωνής του ομιλητή στο ακουστικό του ώστε να καθησυχαστεί πως η γραμμή είναι «ζωντανή». Οι αντίστοιχες εξισώσεις παρέχονται κάτωθι:

$$I_{st} = 12 \left[1 + \left(\frac{STMR_o - 13}{6} \right)^8 \right]^{\frac{1}{8}} - 28 \left[1 + \left(\frac{STMR_o + 1}{19.4} \right)^{35} \right]^{\frac{1}{35}} - 13 \left[1 + \left(\frac{STMR_o - 3}{33} \right)^{13} \right]^{\frac{1}{13}} + 29$$

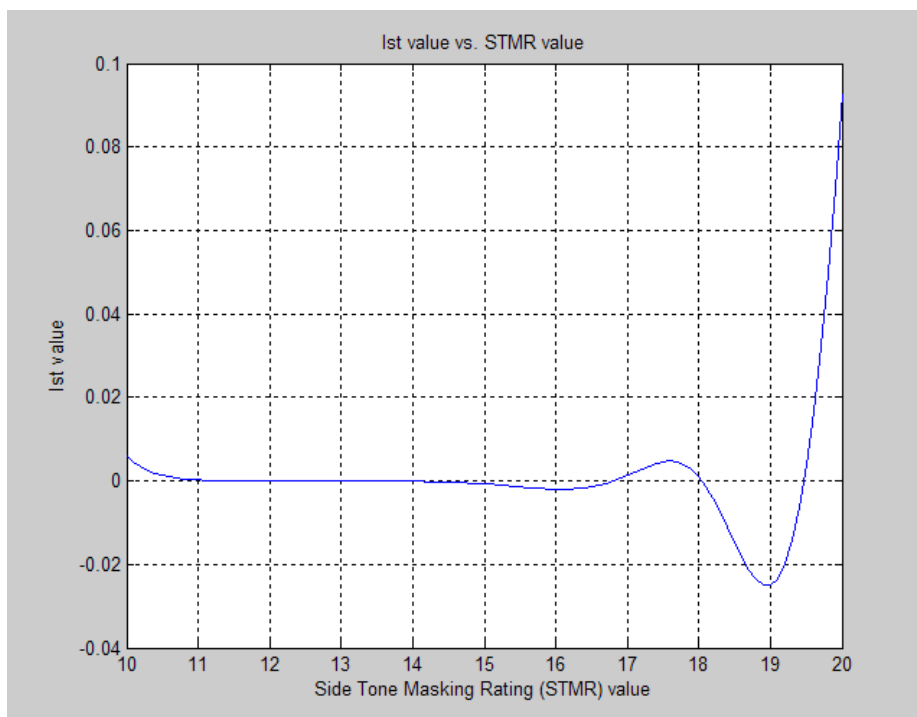
$$\text{όπου } STMR_o = -10 \log \left[10^{-\frac{STMR}{10}} + e^{\frac{T}{4}} 10^{-\frac{TELR}{10}} \right]$$

Το sidetone στην τηλεφωνία υλοποιείται από την τηλεφωνική συσκευή και συνεπακόλουθα η έντασή του δεν μπορεί να τροποποιηθεί από τον χρήστη. Το sidetone χρησιμοποιείται εξ'ίσου στις ραδιοφωνικές επικοινωνίες, φυσικά μόνον όταν κάποιος εκπέμπει. Το επίπεδο του sidetone είναι παραμετροποιήσιμο από τον εξοπλισμό τόσο του ελεγκτή, όσο και του πιλότου. Αντίστοιχη λειτουργικότητα θα πρέπει να παρέχεται από τον μετατροπέα RoIP στην πλευρά του κέντρου μεταγωγής πομποδεκτών. Συνεπακόλουθα η παράμετρος $STMR$ (Sidetone Masking Rating) μπορεί να ρυθμιστεί στη βέλτιστη τιμή της, εφόσον ο μετατροπέας RoIP σχεδιαστεί κατάλληλα.

Οι εξισώσεις που ποσοτικοποιούν τον παράγοντα I_{st} μπορούν επίσης να απλοποιηθούν σημαντικά λαμβάνοντας υπ'όψιν την απουσία ηχούς στις κλήσεις ασυρμάτου που πηγάζει από το γεγονός ότι πρόκειται για επικοινωνία φωνής που είναι εγγενώς half-duplex. Ο παράγοντας $TELR$ (Talker Echo Loudness Rating) μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί ίσος με μία πολύ μεγάλη τιμή (ιδεατά άπειρη), ούτως ώστε ο δεύτερος όρος της εξίσωσης για τον υπολογισμό του $STMR_o$ να είναι ίσος με μηδέν. Το σκεπτικό αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως ο παράγοντας $STMR_o$ είναι στην πραγματικότητα ίσος με τον παράγοντα $STMR$ και η εξίσωση για το I_{st} μπορεί να μετατραπεί ως εξής:

$$I_{st} = 12 \cdot \left[1 + \left(\frac{STMR - 13}{6} \right)^8 \right]^{\frac{1}{8}} - 28 \cdot \left[1 + \left(\frac{STMR + 1}{19.4} \right)^{35} \right]^{\frac{1}{35}} - 13 \cdot \left[1 + \left(\frac{STMR - 3}{33} \right)^{13} \right]^{\frac{1}{13}} + 29$$

Το Γράφημα 1 παρουσιάζει τις τιμές για τον παράγοντα I_{st} σε σχέση με τις τιμές του $STMR$ που παρουσιάζονται στην Αναφορά 15. Ο αναγνώστης μπορεί εύκολα να καταλήξει στο συμπέρασμα πως υπάρχει μία βέλτιστη τιμή για το $STMR$, η οποία δεν εξαρτάται από κανέναν άλλο παράγοντα και για την οποία ο παράγοντας I_{st} είναι ίσος με μηδέν. Μέχρι και αρνητικές τιμές για το I_{st} μπορούν να επιτευχθούν, αν και η βελτίωση στον παράγοντα R είναι ελάχιστη. Η δυνατότητα τροποποίησης του επιπέδου sidetone οδηγεί λοιπόν στον μηδενισμό του παράγοντα I_{st} για τον χρήστη που εκπέμπει (πιλότος ή ελεγκτής).



Γράφημα 1. Η τιμή του I_{st} σε σχέση με την τιμή του $STMR$

3.2.2.3 Απλοποιήσεις του E-model σε σχέση με τον παράγοντα I_d

Ο παράγοντας I_d είναι ο πλέον σημαντικός στη μελέτη. Συνοψίζει την μείωση της ποιότητας της φωνής λόγω της επίδρασης της καθυστέρησης και μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω σε 3 παράγοντες:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}$$

Σύμφωνα με την παράγραφο 3.1.5, ο παράγοντας I_{dte} παρέχει μία εκτίμηση για τη μείωση της ποιότητας φωνής λόγω της ηχούς του ομιλητή ενώ ο παράγοντας I_{dle} αναπαριστά τη μείωση της ποιότητας φωνής λόγω της ηχούς του ακροατή. Και οι δύο παράγοντες λειτουργούν με αντίστοιχο τρόπο και απλοποιούνται με βάση το ίδιο σκεπτικό, ότι δηλαδή οι κλήσεις ασυρμάτου δεν παρουσιάζουν ηχώ λόγω της half-duplex φύσεως της ραδιοφωνικής επικοινωνίας.

Το φαινόμενο αυτό οδηγεί σε θεωρητικά άπειρο $TELR$ και $WEPL$ και σύμφωνα με τις εξισώσεις της παραγράφου 3.1.5, σε άπειρο R_e και R_{le} αντίστοιχα, άσχετως των τιμών όλων των άλλων παραμέτρων που συμμετέχουν στον υπολογισμό.

$$\text{Άρα, εάν } R_e \gg R_{oe}, \frac{R_{oe} - R_e}{2} \approx \frac{-R_e}{2}, \quad \frac{(R_{oe} - R_e)^2}{4} \approx \frac{R_e^2}{4}$$

$$\text{και εφόσον } R_{le} \gg R_o, \frac{R_o - R_{le}}{2} \approx \frac{-R_{le}}{2}, \quad \frac{(R_o - R_{le})^2}{4} \approx \frac{R_{le}^2}{4}$$

$$\text{Επίσης, } \frac{R_e^2}{4} \gg 100 \quad \text{και} \quad \frac{R_{le}^2}{4} \gg 169, \quad \text{άρα} \quad \sqrt{\frac{(R_{oe} - R_e)^2}{4} + 100} \approx \frac{R_e}{2} \quad \text{και} \\ \sqrt{\frac{(R_o - R_{le})^2}{4} + 169} \approx \frac{R_{le}}{2}.$$

Με βάση τα πιο πάνω, οι παράγοντες I_{dte} και I_{dle} τροποποιούνται ως κάτωθι:

$$I_{dte} = -(1 - e^{-T}) \quad \text{και} \quad I_{dle} = 0$$

Άρα και οι δύο παράγοντες μπορούν να τεθούν ίσοι με το μηδέν σε όλες τις εξισώσεις που ακολουθούν με αποτέλεσμα να ισχύει ότι $I_d = I_{dd}$. Πιο συγκεκριμένα, θέτοντας τον παράγοντα I_{dle} ίσο με μηδέν αποτελεί μία απαισιόδοξη προσέγγιση με την ελάχιστη τιμή του να είναι -1 για $T \rightarrow \infty$.

Ο παράγοντας I_{dd} , ο οποίος, σύμφωνα με τις απλοποιήσεις του E-model που προτάθηκαν άνωθι προσδιορίζει πλήρως τον παράγοντα I_d , αναπαριστά την μείωση της ποιότητας της φωνής λόγω μεγάλης απόλυτης καθυστέρησης T_a , η οποία προκύπτει ακόμη και αν δεν υπάρχει ηχώ και υπολογίζεται από τις πιο κάτω εξισώσεις:

$$I_{dd} = 25 \left\{ \left(1 + X^6 \right)^{\frac{1}{6}} - 3 \left(1 + \left[\frac{X}{3} \right]^6 \right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\}, \quad \text{όπου} \quad X = \frac{\log \left(\frac{T_a}{100} \right)}{\log 2} \quad \text{για } T_a > 100 \text{ ms. Για } T_a \leq 100 \text{ ms, } I_{dd} = 0.$$

Η επίδραση του συγκεκριμένου παράγοντα στην ποιότητα της φωνής είναι ιδιαίτερα καθοριστική στην περίπτωση δορυφορικής μετάδοσης λόγω της μεγάλης καθυστέρησης που αναμένεται και θα αναλυθεί με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στη συνέχεια.

3.2.2.4 Η τιμή του παράγοντα R για κλήσεις ασυρμάτου με χρήση μισθωμένων γραμμών

Οι απλοποιήσεις του E-model που προτάθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της τιμής του παράγοντα R για κλήσεις ασυρμάτου με χρήση μισθωμένων γραμμών που παρουσιάζεται στο Σχήμα 7 και για τις 2 κατευθύνσεις μετάδοσης (εναέριο μέσο προς ελεγκτή και αντίστροφα). Πιο συγκεκριμένα, οι μόνες παράμετροι που λείπουν είναι η απόλυτη από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση (T_a), ο παράγοντας μείωσης ποιότητας της φωνής που προκαλείται από παραμόρφωση κβαντισμού (I_q) και ο παράγοντας πλεονεκτήματος (A).

Σε ότι αφορά την πρώτη παράμετρο, μετρήσεις της Ελληνικής Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας υποδεικνύουν μία τιμή ίση με 20 ms από το μικρόφωνο του πομπού του εναέριου μέσου μέχρι την έξοδο του ακουστικού του ελεγκτή. Η ίδια τιμή ισχύει και στην αντίστροφη κατεύθυνση. Για τον υπολογισμό της τιμής της παραμέτρου I_q απαιτείται ο προσδιορισμός του αριθμού των quantization distortion units. Ο διάυλος που φαίνεται στο Σχήμα 7 περιέχει 2 αναλογικοψηφιακές μετατροπές μεταξύ αναλογικού σήματος και 8-bit A-law/μ-law PCM κωδικοποίησης κατ'ελάχιστο, μία για να εισαχθεί το αναλογικό σήμα του πομποδέκτη του αναμεταβιβαστικού σταθμού στο ψηφιακό τηλεφωνικό δίκτυο και μία ακόμη εντός του VCS. Ο Πίνακας 1 υποδεικνύει πως ο αριθμός των qdus σε αυτή την περίπτωση είναι ίσος με 2. Αξίζει να σημειωθεί πως αν υπάρχουν επιπλέον αναλογικά τμήματα εντός του τηλεφωνικού δικτύου, ο αριθμός των qdus μπορεί να είναι μεγαλύτερος.

Με τα δεδομένα αυτά, η τιμή του R , θεωρώντας τον παράγοντα πλεονεκτήματος ίσο με 0, είναι ίση με **51.596** στην κατεύθυνση από το εναέριο μέσο προς τον ελεγκτή και **57.668** στην

αντίθετη κατεύθυνση. Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν την τυπική επίδοση ενός συστήματος ραδιοεπικοινωνιών αεροναυτιλίας βασισμένου σε μισθωμένες γραμμές ως προς την ποιότητα φωνής και θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια σαν αναφορά, θα θεωρηθεί δηλαδή πως ο παράγοντας πλεονεκτήματος που αφορά τον δίαυλο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 7 είναι ίσος με το 0 και για τις 2 κατευθύνσεις μετάδοσης.

Οι τιμές του παράγοντα R που προκύπτουν είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές που ορίζουν μία αποδεκτή υπηρεσία τηλεφωνίας που απευθύνεται στο ευρύ κοινό (το όριο αυτό είναι $R = 80$ σύμφωνα με την Αναφορά 21). Η διαφορά αυτή αποδεικνύει την εκπαίδευση και εμπειρία των ελεγκτών και των πιλότων σε αξιόπιστες επικοινωνίες υπό αντίξοες συνθήκες και σε πολύ θορυβώδη περιβάλλοντα. Τέλος, είναι αξιοπρόσεκτη η συμμετρία των τιμών που παρουσιάζει η ποιότητα της φωνής για τις 2 κατευθύνσεις μετάδοσης, κάτι που δείχνει την πως η προσαρμογή του E-model σε κλήσεις ασυρμάτου βρίσκεται στη σωστή κατεύθυνση.

3.2.2.5 Ο παράγοντας R για κλήσεις ασυρμάτου με χρήση του προτεινόμενου συστήματος

Συνεχίζοντας με τον υπολογισμό του παράγοντα R για τον από-άκρο-σε-άκρο τηλεπικοινωνιακό δίαυλο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 8, η παράμετρος N_o έχει τις ίδιες τιμές με αυτές που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.2.2.1 και για τις 2 κατευθύνσεις μετάδοσης. Επιπλέον, ισχύουν οι απλοποιήσεις των παραγράφων 3.2.2.2 (σε ότι αφορά τον παράγοντα I_s) και 3.2.2.3 (σε ότι αφορά τον παράγοντα I_d). Οι διαφοροποιήσεις σε σχέση με την ανάλυση των προηγούμενων παραγράφων έγκεινται:

- Στην τιμή του παράγοντα I_e , καθώς λόγω του μεγάλου κόστους του δορυφορικού φάσματος απαιτείται η κωδικοποίηση χαμηλού ρυθμού της φωνής
- Στην τιμή του παράγοντα I_q , καθώς ο από-άκρο-σε-άκρο δίαυλος μπορεί να σχεδιαστεί ούτως ώστε να υπάρχει μόνον 1 αναλογικοψηφιακή μετατροπή με ακρίβεια που μπορεί να επιλεγεί από τον σχεδιαστή, σε αντίθεση με τη χρήση μισθωμένων γραμμών για τη μετάδοση της φωνής, όπου κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό
- Στην τιμή του παράγοντα I_{dd} , καθώς προφανώς η δορυφορική μετάδοση εισάγει πολύ μεγαλύτερη καθυστέρηση από την επίγεια υποδομή

Οι πιο κάτω παράγραφοι αναλύουν περαιτέρω τη συνεισφορά των άνωθι παραγόντων στη διαμόρφωση του παράγοντα R και για τις 2 κατευθύνσεις μετάδοσης.

3.2.2.5.1 Ο παράγοντας I_e

Η έρευνα για την εφαρμογή κωδικοποίησης χαμηλού ρυθμού (low bit-rate voice coding) στην αεροναυτιλία ξεκίνησε την δεκαετία του 1990 στα πλαίσια της ανάπτυξης της τεχνολογίας ραδιοεπικοινωνιών VDL (VHF Data Link), δηλαδή τη μεταφορά φωνής και δεδομένων μεταξύ ιπτάμενου μέσου και εδάφους με χρήση ψηφιακής μετάδοσης πάνω από τις υφιστάμενες συχνότητες VHF. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται σε χρήση, ιδιαίτερα στην Αμερική, αλλά δεν έχει γνωρίσει μεγάλη απήχηση λόγω του ότι απαιτεί αλλαγή του εξοπλισμού του αεροσκάφους.

Αρχικά προτάθηκε η χρήση νέων κωδικοποιητών που δεν ακολουθούσαν διεθνή πρότυπα, όπως φαίνεται στην Αναφορά 20 και την Αναφορά 21. Η αλματώδης εξέλιξη της τεχνολογίας VoIP όμως, έκανε επιτακτική την ανάγκη της χρησιμοποίησης γνωστών και δοκιμασμένων λύσεων που υποστηρίζονταν από τους κατασκευαστές υλικού. Επιπλέον, άρχισε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μελέτη για την εισαγωγή του VoIP στο επίγειο τμήμα του διαύλου μεταξύ ελεγκτή και πιλότου. Στην Αναφορά 23 παρουσιάζεται η υποκειμενική εκτίμηση της επίδοσης αρκετών από τους κωδικοποιητές φωνής που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.1.4 (G.711 @ 64 kbps, G.726 @ 32 kbps, G.729 @ 8 kbps, G.723.1 @ 5.3 kbps και G.726 @ 16 kbps) και η βαθμολόγηση των χρηστών ακολουθεί τις τιμές του παράγοντα I_e που παρουσιάζει ο Πίνακας 2. Οι τιμές αυτές ισχύουν με την προϋπόθεση πως επιτελείται μόνο μία κωδικοποίηση και μία αποκωδικοποίηση, όπως συμβαίνει και με το υπό μελέτη σύστημα.

Ως κριτήριο για την επιλογή codec στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο λόγος της τιμής του παράγοντα I_e ως προς τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης για ένα κανάλι φωνής, ο οποίος ονομάστηκε «φασματική απόδοση». Οι τιμές του λόγου αυτού παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα για τους προαναφερθέντες κωδικοποιητές/αποκωδικοποιητές φωνής.

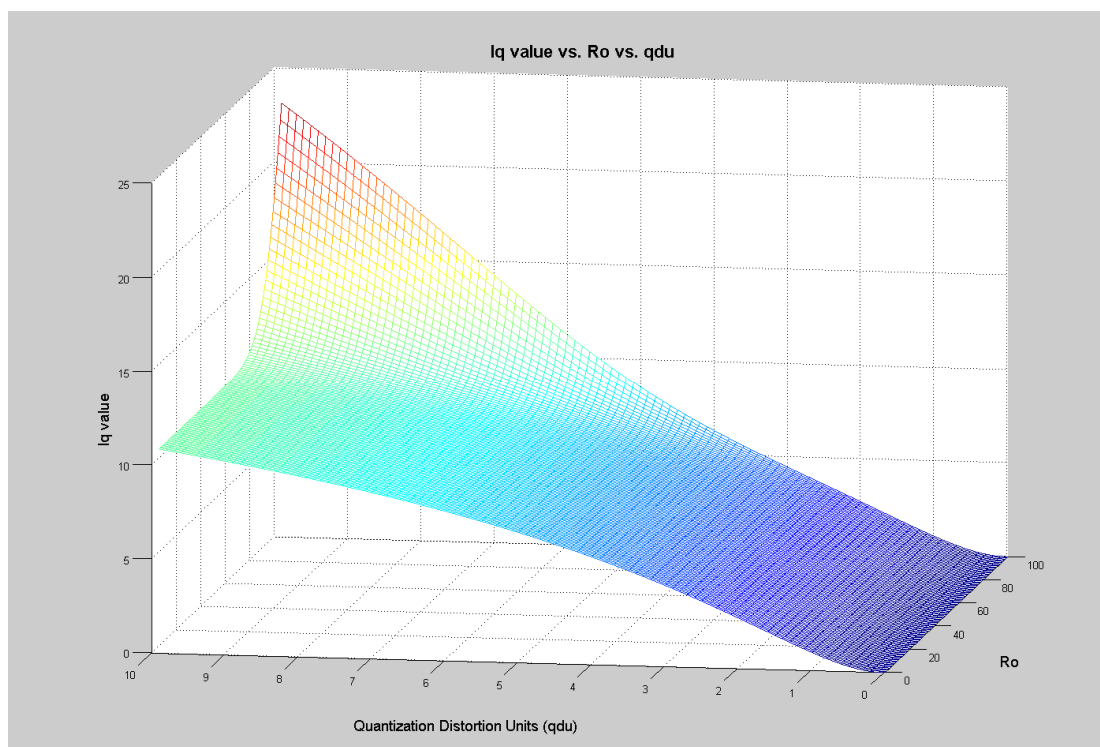
Τύπος κωδικοποιητή	Ρυθμός μετάδοσης (kbps)	Τιμή του παράγοντα I_e	Φασματική απόδοση
G.711	64	0	Κωδικοποιητής αναφοράς
G.726	32	7	4.57
G.729	8	12	0.67
G.723.1	5.3	19	0.28
G.726	16	50	0.32

Πίνακας 6. Η φασματική απόδοση των πιθανών codecs

Οι πιο μεγάλες τιμές υποδηλώνουν πως ο κωδικοποιητής χρησιμοποιεί περισσότερο φάσμα για την ποιότητα φωνής που προσφέρει από κάποιον άλλο με μικρότερη τιμή. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην Αναφορά 23 με τον παραπάνω πίνακα και με δεδομένη την ανάγκη για περιορισμό του ρυθμού μετάδοσης λόγω της χρησιμοποίησης δορυφορικής μετάδοσης και του υψηλού κόστους της, είναι προφανές πως οι κωδικοποιητές υπό διερεύνηση περιορίζονται στον G.729 και τον G.723.1. Αξίζει να σημειωθεί πως οι άνωτι τιμές ισχύουν για απώλεια πακέτων φωνής που δεν υπερβαίνουν το 0.5% (βλέπε Αναφορά 18), κάτι που θα πρέπει να αποδειχθεί με μετρήσεις. Είναι προφανές πως η τιμή του παράγοντα I_e είναι ίδια ανεξάρτητα από την κατεύθυνση μετάδοσης.

3.2.2.5.2 Ο παράγοντας I_q

Συνεχίζοντας την ανάλυση και σύμφωνα με την παράγραφο 3.1.3, ο παράγοντας I_q αναπαριστά τη μείωση της ποιότητας της φωνής που προκαλείται από παραμόρφωση κβαντισμού. Στην περίπτωση που στον τηλεπικοινωνιακό δίαυλο παρεμβάλλεται το τηλεφωνικό δίκτυο (βλέπε Σχήμα 7), θα υπάρχουν τουλάχιστον δύο μετατροπές μεταξύ αναλογικού και 8-bit PCM ψηφιακού σήματος, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Ο δίαυλος που χρησιμοποιεί δορυφορική μετάδοση RoIP, από την άλλη, μπορεί να σχεδιαστεί ώστε οι μετατροπές από και προς την 8-bit PCM κωδικοποίηση να αποφευχθούν. Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι επιλέγεται ως μέθοδος αναλογικοψηφιακής μετατροπής η 16-bit γραμμική PCM με τιμή qdu ίση με 0. Η εξάρτηση του παράγοντα I_q από τον αριθμό των μονάδων παραμόρφωσης κβαντισμού, για όλο το εύρος των επιτρεπόμενων τιμών του παράγοντα R_o φαίνεται στο πιο κάτω γράφημα. Η τιμή του I_q προσεγγίζει το μηδέν για όλες τις τιμές του R_o όταν η τιμή των qdu πλησιάζει το μηδέν, κάτι που σημαίνει πως ο παράγοντας I_q μπορεί να παραλειφθεί από τους υπολογισμούς εφόσον χρησιμοποιηθεί 16-bit γραμμική PCM κωδικοποίηση και στα δύο άκρα του τηλεπικοινωνιακού διαύλου που παρουσιάζεται στο Σχήμα 8. Είναι προφανές πως η τιμή του παράγοντα I_q είναι ίδια ανεξάρτητα από την κατεύθυνση μετάδοσης.



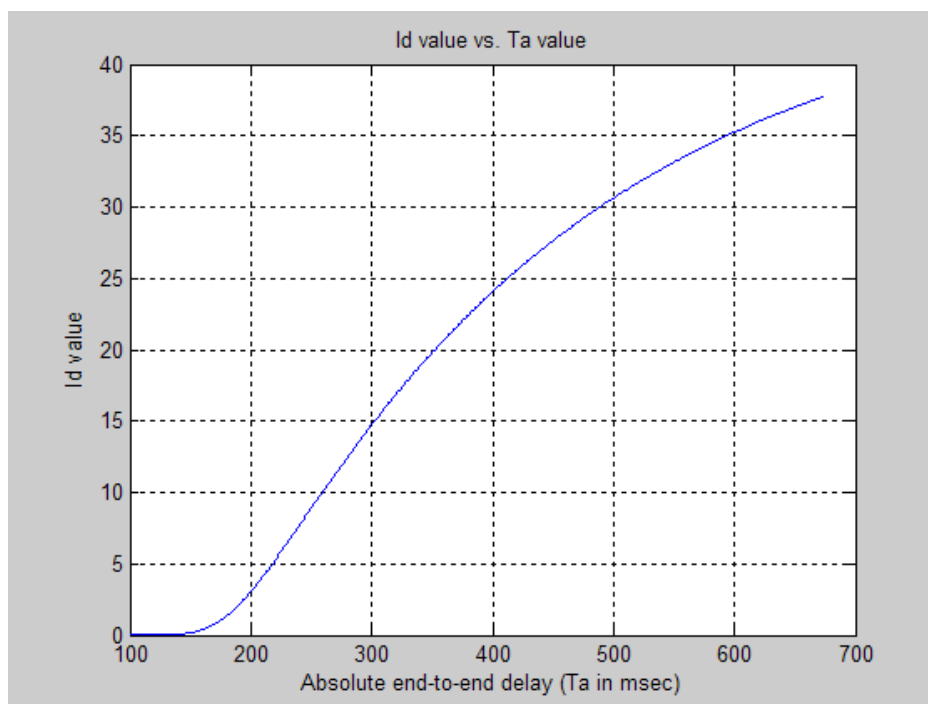
Γράφημα 2. Η τιμή του παράγοντα I_q σε σχέση με το R_o και το qdu

3.2.2.5.3 Ο παράγοντας I_d

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.2.2.3, ο παράγοντας I_d εξαρτάται αποκλειστικά από την απόλυτη από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση T_a , λόγω της απουσίας οποιασδήποτε μορφής ηχούς. Στην περίπτωση δορυφορικής μετάδοσης, η τιμή της παραμέτρου T_a αναμένεται να υπερβαίνει τα 100 ms, οπότε ισχύει η εξής σχέση:

$$I_{dd} = 25 \left\{ \left(1 + X^6 \right)^{\frac{1}{6}} - 3 \left(1 + \left[\frac{X}{3} \right]^6 \right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\}, \text{ όπου } X = \frac{\log \left(\frac{T_a}{100} \right)}{\log 2}$$

Το πιο κάτω γράφημα παρουσιάζει την μεταβολή της τιμής του παράγοντα I_{dd} (άρα και του παράγοντα I_d , καθώς οι υπόλοιπες συνιστώσες του έχουν απλοποιηθεί) με την μεταβολή της τιμής της παραμέτρου T_a για ένα εύρος τιμών της τελευταίας που θεωρείται αντιπροσωπευτικό της εφαρμογής.



Γράφημα 3. Η τιμή του I_d σε σχέση με την τιμή του T_a

Όπως είναι εμφανές, η συνάρτηση της τιμής του παράγοντα I_d προς την τιμή της παραμέτρου T_a είναι γνησίως αύξουσα. Θα πρέπει λοιπόν να τεθεί ένα άνω όριο για την απόλυτη από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση, το οποίο είναι το ίδιο, άσχετα με την κατεύθυνση μετάδοσης.

3.2.2.5.4 Καθορισμός του ορίου της καθυστέρησης

Η επιλογή του ορίου αυτού αποτελεί κομβικό σημείο, καθότι η παράμετρος της καθυστέρησης αναμένεται να είναι αυτή που θα ορίσει αν η προσέγγιση της παρούσας εργασίας θα γίνει αποδεκτή από τους χρήστες ή όχι.

Ο ICAO ποσοτικοποιεί την επίδραση των παραμέτρων της επικοινωνίας φωνής στον ελάχιστο επιτεύξιμο διαχωρισμό μεταξύ αεροσκαφών χρησιμοποιώντας την έννοια της «Απαιτούμενης Απόδοσης Επικοινωνιών» (Required Communication Performance – RCP, βλέπε Αναφορά 25), που έχει επιχειρησιακή και όχι τεχνολογική ερμηνεία. Η RCP εκτιμά τις επιχειρησιακές επικοινωνίες στο πλαίσιο των διαδικασιών του ΕΕΚ, λαμβάνοντας υπ’ όψιν τον ανθρώπινο παράγοντα και στα 2 άκρα (πιλότος και ελεγκτής), τις ίδιες τις διαδικασίες και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος λειτουργίας.

Η επιχειρησιακή επικοινωνία χρησιμοποιείται για να διαβιβαστεί, είτε από τον πιλότο, είτε από τον ελεγκτή, μία εντολή, έγκριση, πληροφορία ή απαίτηση και θεωρείται πως ολοκληρώνεται επιτυχώς όταν οι συμμετέχοντες είναι σίγουροι ότι το μήνυμα έγινε αντιληπτό. Είναι λοιπόν κατανοητό πως ο ανθρώπινος παράγοντας συμμετέχει σε μεγάλο βαθμό στη διαμόρφωση του RCP.

Η «Απαιτούμενη Απόδοση Επικοινωνιών» χρησιμοποιεί ένα σύνολο δεικτών επίδοσης που έχουν σημασία στο επιχειρησιακό πεδίο ούτως ώστε να στοιχειοθετηθεί η βεβαιότητα πως οι επικοινωνίες θα επιτρέψουν την εκτέλεση των διαδικασιών του ΕΕΚ με αποδεκτό (και γνωστό) περιθώριο ασφάλειας. Θα πρέπει δε να σημειωθεί πως το RCP δεν εξαρτάται από την υποκείμενη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση. Οι δείκτες αυτοί είναι:

- Διάρκεια: Ο μέγιστος χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της επιχειρησιακής επικοινωνίας. Η μέτρηση ξεκινάει όταν ο καλών πιάσει το πλήκτρο PTT του εξοπλισμού του και τερματίζεται όταν ολοκληρωθεί η ακρόαση της απάντησης του καλούμενου.

- Συνέχεια: Η πιθανότητα με την οποία μία επιχειρησιακή επικοινωνία μπορεί να συμπληρωθεί μέσα στη προκαθορισμένη διάρκεια (βλέπε άνωθι)
- Διαθεσιμότητα: Η πιθανότητα με την οποία μία επιχειρησιακή επικοινωνία μπορεί να ξεκινήσει όταν αυτό χρειαστεί
- Ακεραιότητα: Η πιθανότητα με την οποία μία επιχειρησιακή επικοινωνία ολοκληρώνεται εντός της προκαθορισμένης διάρκειας χωρίς ανιχνεύσιμο λάθος

Κάθε τμήμα του ελεγχόμενου εναέριου χώρου (βλέπε παράγραφο 1.1) χαρακτηρίζεται από ένα επίπεδο RCP από αυτά που παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

Επίπεδο RCP	Διάρκεια επικοινωνίας (sec)	Συνέχεια (πιθανότητα/ώρα πτήσης)	Διαθεσιμότητα (πιθανότητα/ώρα πτήσης)	Ακεραιότητα (επιτρεπτός ρυθμός σφαλμάτων/ώρα πτήσης)
RCP 10	10	0.995	0.99998	10^{-5}
RCP 60	60	0.99	0.9995	10^{-5}
RCP 120	120	0.99	0.9995	10^{-5}
RCP 240	240	0.99	0.9995	10^{-5}
RCP 400	400	0.99	0.999	10^{-5}

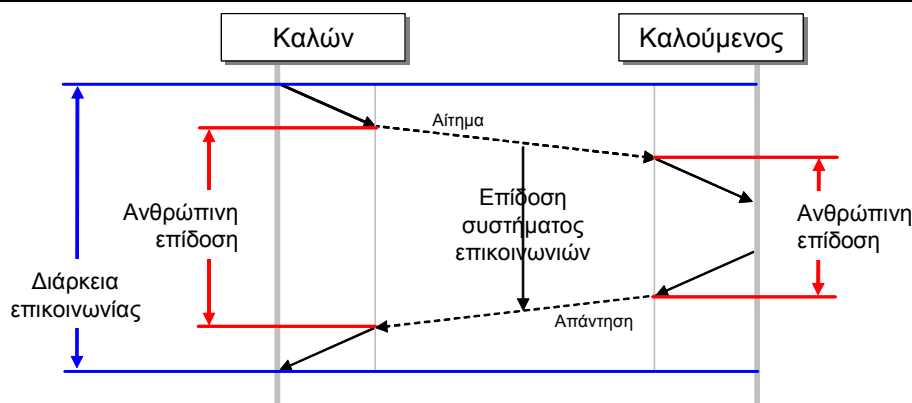
Πίνακας 7. Επίπεδα RCP και οι αντίστοιχες τιμές των δεικτών επίδοσης

Όταν ένα τμήμα του εναέριου χώρου έχει χαρακτηριστεί ως επιπέδου RCP 10, μπορεί να χρησιμοποιείται για υποστήριξη διαχωρισμών έως 5 ναυτικά μίλια. Αντίστοιχα, το επίπεδο RCP 60 μπορεί να χρησιμοποιείται για επικοινωνίες ρουτίνας μέσω ανταλλαγής δεδομένων και όχι φωνής προς υποστήριξη ελεγκτών και πιλότων σε διαχωρισμούς έως 5 ναυτικά μίλια. Τμήματα με χαρακτηρισμό επιπέδου RCP ίσου με 120 μπορούν να χρησιμοποιούνται με διαχωρισμό αεροσκαφών έως 15 ναυτικά μίλια και το επίπεδο 240 αντιστοιχεί σε διαχωρισμό μέχρι 30 ναυτικά μίλια. Τέλος, όταν ένα τμήμα χαρακτηριστεί ως RCP 400, ο διαχωρισμός αεροσκαφών θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 30 ναυτικά μίλια. Τέτοια τμήματα συνήθως δεν καλύπτονται από επίγεια μέσα επικοινωνιών και ο έλεγχος βασίζεται σε δορυφορικές ή HF επικοινωνίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ωκεάνιες περιοχές.

Η χρήση των RCP αποδεδειγμένα βελτιώνει την χρήση του εναέριου χώρου και του διαθέσιμου φάσματος των ραδιοεπικοινωνιών, οδηγώντας σε μεγαλύτερη πυκνότητα κίνησης άρα και μεταφορικής ικανότητας με μεγαλύτερα περιθώρια ασφάλειας. Το υπόλοιπο της παραγράφου και της εργασίας επικεντρώνεται στο φλέγον ζήτημα της διάρκειας επικοινωνίας που είναι αυτό που επηρεάζεται περισσότερο από την χρήση της δορυφορικής μετάδοσης και της τεχνολογίας VoIP.

3.2.2.5.4.1 Καθορισμός του ορίου με χρήση της έννοιας του RCP

Το ερώτημα είναι πως μπορεί να απομονωθεί η επίδραση της τεχνολογίας μετάδοσης της φωνής από τον ανθρώπινο παράγοντα στη διαμόρφωση της διάρκειας της επικοινωνίας. Στην Αναφορά 26 επιχειρείται μία τέτοια προσέγγιση με βάση το πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 11. Ο ανθρώπινος παράγοντας και το σύστημα επικοινωνιών στη διαμόρφωση της διάρκειας μίας επιχειρησιακής επικοινωνίας

Η ανθρώπινη επίδοση που παρουσιάζεται συνοψίζει τον απαιτούμενο χρόνο που τα ανθρώπινα όντα που συμμετέχουν στη διαδικασία χρειάζονται για να αλληλεπιδράσουν, να αρθρώσουν λόγο, να αντιληφθούν τι τους ζητάται και να αντιδράσουν. Η επίδοση του συστήματος επικοινωνιών συνοψίζει τον απαιτούμενο χρόνο που χρειάζεται η μεταφορά της φωνής από το στόμα του ελεγκτή έως το αυτί του πιλότου και αντίστροφα.

Η Αναφορά 27 χρησιμοποιεί δημοσιευμένα και αδημοσίευτα στοιχεία από πραγματικές επιχειρησιακές επικοινωνίες εντός του Αμερικάνικου εναέριου χώρου ώστε να θέσει άνω όρια στην ανθρώπινη επίδοση που παρουσιάζεται στο πιο πάνω σχήμα. Κατόπιν, εξάγονται συγκεκριμένα όρια για την επίδοση του συστήματος επικοινωνιών, αφαιρώντας την διάρκεια των δράσεων των ανθρώπων από τη διάρκεια της επιχειρησιακής επικοινωνίας για κάθε επίπεδο RCP (Πίνακας 7). Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται, στη χειρότερη περίπτωση (επικοινωνία σε κατάσταση ανάγκης), το διπλάσιο της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης, όπως αυτή ορίζεται στο Σχήμα 9 να είναι μικρότερο από 0.77 sec, ούτως ώστε να συμπεριληφθεί η επίδοση του συστήματος επικοινωνιών, τόσο για το αίτημα, όσο και για την απάντηση. Υποθέτοντας συμμετρική συμπεριφορά, η απαίτηση για την από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση διαμορφώνεται στα 385 ms. Το όριο αυτό αποτελεί τη χειρότερη περίπτωση, δηλαδή καλύπτει τις απαιτήσεις της πιο απαιτητικής μορφής επιχειρησιακής επικοινωνίας (ανάγκη – emergency).

3.2.2.5.4.2 Άλλες δημοσιεύσεις στο θέμα της μέγιστης ανεκτής καθυστέρησης στον ΕΕΚ

Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκε μία αναλυτική προσέγγιση στο πρόβλημα του καθορισμού του ανεκτού ορίου για την καθυστέρηση που εισάγει το σύστημα επικοινωνιών, μία υλοποίηση του οποίου μελετάται στην παρούσα εργασία. Ένας άλλος τρόπος ποσοτικοποίησης είναι η χρήση πιλότων και ελεγκτών σε ένα περιβάλλον εξομοίωσης στο οποίο εκτιμάται η επίδραση της καθυστέρησης με υποκειμενικό τρόπο.

Στην Αναφορά 28, περιγράφεται η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα μίας τέτοιας μελέτης που διεξήχθη από την FAA στις εγκαταστάσεις William J. Hughes Technical Center χρησιμοποιώντας 10 ελεγκτές και 3 διαφορετικά σενάρια στην καθυστέρηση:

- 290, 390 και 790 ms για την κατεύθυνση από τον ελεγκτή προς τον πιλότο
- 260, 360 και 760 ms στην αντίθετη κατεύθυνση

Οι διαφορές στα όρια ανά κατεύθυνση μετάδοσης οφείλονται στο γεγονός πως η αξιολόγηση έγινε στα πλαίσια μελέτης για την απαιτούμενη επίδοση του συστήματος επικοινωνιών VDL3 (VHF Data Link 3), το οποίο μεταφέρει επικοινωνίες δεδομένων μέσω των υφιστάμενων συχνοτήτων VHF που χρησιμοποιούνται στην αεροναυτιλία και λόγω διαφορών στην διαδικασία εγκατάστασης της κλήσης ασυρμάτου ανάλογα με το ποιο άκρο εκκινεί την κλήση.

Κατόπιν, υλοποιήθηκαν σενάρια ελέγχου σε εναέριο χώρο με πυκνή κίνηση και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα με χρήση της μεθοδολογίας CARS (Controller Acceptance Rating Scale, η οποία χρησιμοποιείται επίσης στη συνέχεια της εργασίας) και NASA TLX. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως δεν υπήρξαν διαφορές ανάμεσα στα σενάρια 290/260 και 390/360, ενώ στο 3^ο σενάριο, η αίσθηση των υποκειμένων του πειράματος ήταν κατά πολύ υποδεέστερη. Συγκρίνοντας το άθροισμα των 2 μέγιστων τιμών καθυστέρησης που ήταν ανεκτές ($390 + 360 = 750$ ms, 375 ms ανά κατεύθυνση κατά μέσο όρο) με την τιμή των 770 ms της προηγούμενης παραγράφου, οι 2 μελέτες βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία, καθώς οι διαφορές είναι ανεπαίσθητες.

Η Αναφορά 29 είναι η κοντινότερη δημοσίευση στο αντικείμενο της διατριβής, καθώς μελετά την επίδραση της καθυστέρησης στην περίπτωση που το σύστημα επικοινωνιών περιλαμβάνει δορυφορική μετάδοση, αν και δεν αξιολογείται η τεχνολογία VoIP, η οποία στον χρόνο της δημοσίευσης (Σεπτέμβριος 1990) ήταν ακόμα αντικείμενο έρευνας. Η μέγιστη καθυστέρηση που εξομοιώθηκε ήταν κατά μέσο όρο 380 ms ανά κατεύθυνση, πολύ κοντά στις 2 προσεγγίσεις που ήδη παρουσιάστηκαν. Αξίζει να σημειωθεί πως και στη μελέτη αυτή υπήρχαν διαφορές στον χρόνο εγκατάστασης της κλήσης ανά κατεύθυνση, λόγω της διαφορετικής τεχνολογίας του VCS που χρησιμοποιήθηκε. Το αποτέλεσμα ήταν πως τα υποκείμενα του πειράματος δεν ανέφεραν προβλήματα ακόμα και στο δυσμενέστερο σενάριο.

Λαμβάνοντας υπ'όψιν τα στοιχεία που παρατέθηκαν στις 2 τελευταίες παραγράφους, θα χρησιμοποιηθεί ως απαίτηση στην από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση για το υπό μελέτη σύστημα η τιμή των **375 ms** που είναι η πιο αυστηρή που βρέθηκε στη βιβλιογραφία. Χρησιμοποιώντας την τιμή αυτή προκύπτει πως $I_d = I_{dd} = \mathbf{22.033}$.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογία διαχείρισης της απαίτησης αυτής ούτως ώστε να προκύψουν οι αντίστοιχες απαιτήσεις στα τμήματα του συστήματος που μελετάται.

3.2.2.6 Διαχείριση των παραγόντων που εισάγουν καθυστέρηση

Όπως αποδείχθηκε στις πιο πάνω παραγράφους, ο καθοριστικός παράγοντας σε ότι αφορά την ποιότητα της φωνής είναι η απόλυτη από άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση, κάτι αναμενόμενο στην περίπτωση χρήσης δορυφορικών επικοινωνιακών μέσων. Στην δημιουργία της καθυστέρησης αυτής συνεισφέρει μία πλειάδα πηγών, η συμπεριφορά των οποίων θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί ούτως ώστε να εκπληρωθεί η απαίτηση η καθυστέρηση να παραμείνει κάτω από 375 ms, με δεδομένη την προσθετική της φύση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πηγές αυτές και τίθενται όρια στην καθεμία ξεχωριστά.

3.2.2.6.1 Καθυστέρηση διάδοσης

Η καθυστέρηση διάδοσης είναι ο χρόνος που απαιτείται για ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα να ταξιδέψει από την επιφάνεια της Γης στον δορυφόρο και πίσω. Η τιμή της (περίπου 250 ms για εκπομπή από την Ελλάδα σε γεωστατικό δορυφόρο και πίσω) είναι προφανώς ανάλογη της απόστασης και αποτελεί σταθερά.

3.2.2.6.2 Καθυστέρηση που προκαλείται από τον εξοπλισμό

Η καθυστέρηση αυτού του τύπου αυτού προκαλείται από εξοπλισμό που αποτελεί μέρος του τηλεπικοινωνιακού διαύλου που χρησιμοποιείται για την μετάδοση της φωνής.

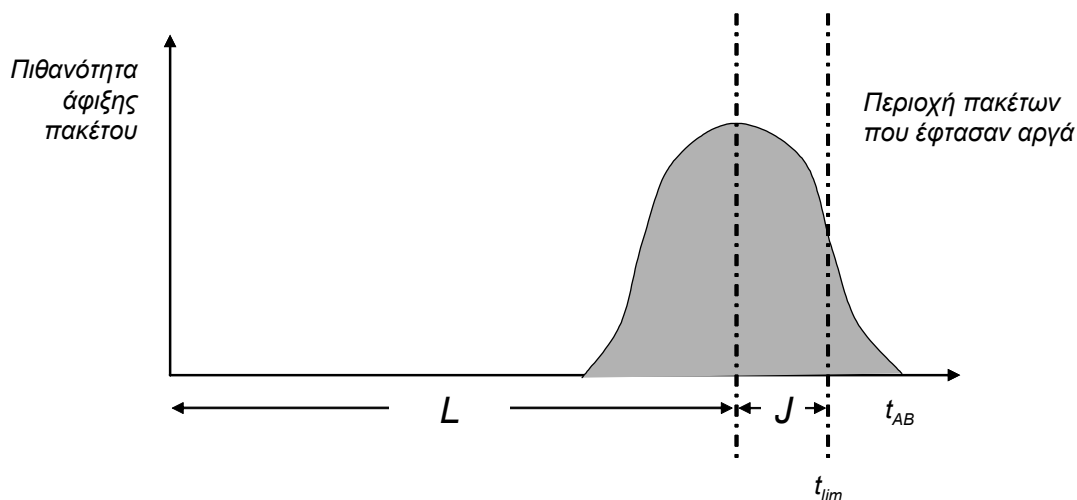
3.2.2.6.2.1 Η διακύμανση καθυστέρησης και ο ενταμιευτής

Τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα που βασίζονται στη μετάδοση πακέτων, όπως το υπό μελέτη σύστημα παρουσιάζουν διακυμάνσεις στην καθυστέρηση που αυτά υφίστανται ($t_{AB} = t_{arrival} - t_{departure}$), καθώς αυτά δύνανται να φτάσουν στον προορισμό τους μέσω διαφορετικών

δρόμων και να παραμείνουν για διαφορετικούς χρόνους σε διάφορες ουρές αναμονής που παρεμβάλλονται. Μια κοινή προσέγγιση, υπό τη θεώρηση ότι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της καθυστέρησης δεν ποικίλλει με το χρόνο, είναι ότι μπορεί να διαχωριστεί σε 2 διακριτά μέρη στην πλευρά του δέκτη:

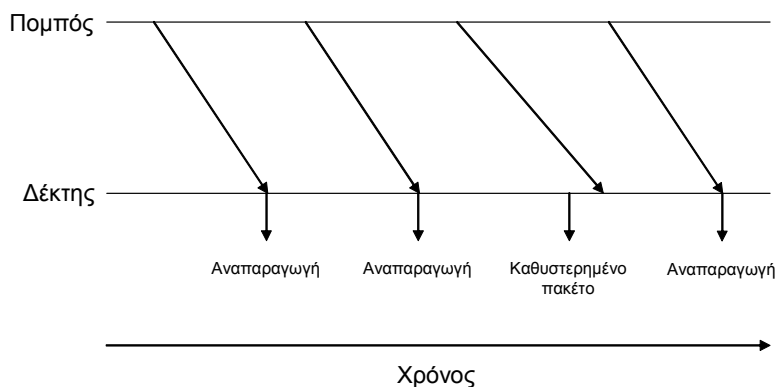
- Έναν ντετερμινιστικό όρο, που αναφέρεται ως η σταθερού μεγέθους καθυστέρηση (L), η οποία είναι ένα μακροπρόθεσμος μέσος όρος όλων των καθυστερήσεων ουρών και μετάδοσης εντός του δικτύου που χρησιμοποιείται για την μεταφορά των πακέτων φωνής
- Έναν στοχαστικό όρο, που αναφέρεται ως διακύμανση καθυστέρησης (jitter - J), ο οποίος χαρακτηρίζει το μεταβλητό μέρος της καθυστέρησης γύρω από την μέση τιμή

Ο προσδιορισμός της ποσότητας της διακύμανσης καθυστέρησης είναι στοχαστικός και σχετίζεται με τη διακύμανση της στοχαστικής διαδικασίας της καθυστέρησης. Επομένως χρειάζεται να οριστεί μία συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ΚΑΙ μια ουρά αναμονής (ο ορισμός του ορίου στο t_{AB} , που αναφέρεται ως t_{lim} , πέραν του οποίου ένα πακέτο θεωρείται ότι έχει φτάσει “πολύ αργά”), προκειμένου να αποδοθεί μία τιμή στη διακύμανση καθυστέρησης.



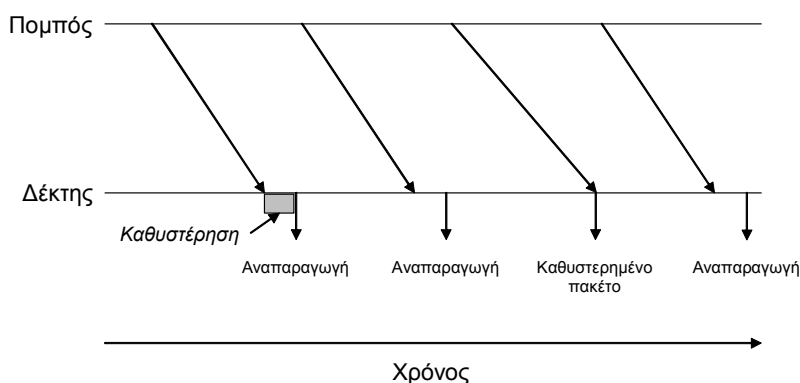
Σχήμα 12. Ορισμοί της καθυστέρησης και της διακύμανσης καθυστέρησης

Για το υπόλοιπο αυτής της παραγράφου, η πηγή πακέτων (πομπός) θεωρείται ότι αποστέλλει πακέτα σε σταθερό ρυθμό και σε ίσα χρονικά διαστήματα. Αντίστοιχα, ο προορισμός του πακέτου (δέκτης) καταναλώνει πακέτα (και αναπαραγάγει την φωνή) με τον ίδιο ρυθμό, στον ίδιο και σταθερό χρονικό διάστημα. Το πρόβλημα είναι το δίκτυο μεταφοράς, το οποίο εισάγει μια μεταβλητή καθυστέρηση μεταξύ τους. Η επίδραση της διακύμανσης καθυστέρησης σε αυτή τη περίπτωση απεικονίζεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13. Η επίδραση της διακύμανσης καθυστέρησης στην ακολουθία πακέτων φωνής

Είναι προφανές ότι όταν ο δέκτης θελήσει να αναπαράξει το 3ο πακέτο, αυτό δεν θα βρίσκεται εκεί λόγω της διακύμανσης καθυστέρησης. Η λύση στο πρόβλημα είναι ένας ενταμιευτής διακύμανσης καθυστέρησης (jitter buffer) στον δέκτη, ο οποίος καθυστερεί τη ροή φωνής για ένα χρονικό διάστημα σχετιζόμενο με το J ούτως ώστε να περιμένει στοχαστικά καθυστερημένα πακέτα, τα οποία ειδάλλως θα είχαν χαθεί. Ταυτόχρονα, ο jitter buffer μεταφράζει την διακύμανση καθυστέρησης σε καθυστέρηση και απώλεια πακέτων, που συμβαίνει όταν το t_{AB} ανήκει στην περιοχή “καθυστερημένο πακέτο”. Η επίδραση της εφαρμογής του jitter buffer στην ακολουθία πακέτων φωνής (Σχήμα 13) απεικονίζεται στο Σχήμα 14.



Σχήμα 14. Η επίδραση της εφαρμογής του jitter buffer στη ακολουθία των πακέτων φωνής

3.2.2.6.2.1.1 Πιθανές υλοποιήσεις ενταμιευτή διακύμανσης καθυστέρησης

Οι ενταμιευτές διακύμανσης καθυστέρησης είναι ευρέως μελετημένοι στην βιβλιογραφία. Η παρούσα παράγραφος καλύπτει το θέμα με σκοπό την εξαγωγή απαιτήσεων στην καθυστέρηση. Μία λεπτομερέστερη ανάλυση και στοιχεία υλοποίησης παρέχονται στην παράγραφο 4.11.9.2.

Το μέγεθος του ενταμιευτή είναι μία σημαντική παράμετρος σχεδιασμού. Αν είναι πολύ μεγάλη η απώλεια πακέτων θα είναι πολύ μικρή αλλά η καθυστέρηση ανεπιτρέπτη ενώ στην αντίθετη περίπτωση, η καθυστέρηση θα κρατηθεί χαμηλά αλλά θα απορρίπτονται ως καθυστερημένα πολλά πακέτα φωνής. Οι πιθανές υλοποιήσεις χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:

1. Στατικός ενταμιευτής: Το μέγεθός του είναι σταθερό στη διάρκεια της λειτουργίας του
2. Δυναμικός ενταμιευτής: Το μέγεθός του προσαρμόζεται συνεχώς κατά τη διάρκεια μίας κλήσης βάσει μιας εκτίμησης της διακύμανσης της καθυστέρησης σε πραγματικό χρόνο

3.2.2.6.2.1.2 Στατικός ενταμιευτής

Ο μηχανισμός αυτός καθυστερεί τα πακέτα στην αρχή της κλήσης κατά έναν χρόνο ίσο με την προκαθορισμένη καθυστέρηση και κατόπιν τα πακέτα εξάγονται για αποκωδικοποίηση με έναν σταθερό ρυθμό που ορίζεται από τον αποκωδικοποιητή φωνής. Τα πακέτα που φτάνουν στον δέκτη προ της στιγμής αποκωδικοποίησης αποθηκεύονται στον ενταμιευτή ενώ πακέτα που φτάνουν αργά απορρίπτονται. Μπορεί να αποδειχθεί ότι το μέγεθος του ενταμιευτή θα πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον το διπλάσιο της διακύμανσης της καθυστέρησης (η οποία θα πρέπει να είναι γνωστή a priori) ούτως ώστε να λειτουργεί αποτελεσματικά, δηλαδή να ελαχιστοποιείται ταυτόχρονα η απώλεια πακέτων και η καθυστέρηση.

3.2.2.6.2.1.3 Δυναμικός ενταμιευτής

Το μέγεθος του ενταμιευτή σε αυτή την περίπτωση καθορίζεται δυναμικά εκτιμώντας διαρκώς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας πληροφορία χρόνου που περιέχεται στα πακέτα που λαμβάνονται. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατόν να επιτευχθεί η βέλτιστη ισορροπία ανάμεσα στην καθυστέρηση και την απώλεια πακέτων. Πάραυτα, ενώ στην περίπτωση του στατικού ενταμιευτή, η επίδραση της καθυστέρησης στην ποιότητα της κλήσης είναι σταθερή στη διάρκειά της, ο δυναμικός ενταμιευτής προκαλεί μία μεταβλητότητα η οποία μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα φωνής με τρόπο διαφορετικό απ' ότι μία σταθερή αλλά μεγαλύτερη καθυστέρηση.

Είναι προφανές πως η επίδραση της απόρριψης πακέτων κατά τη διάρκεια παύσεων και όχι ομιλίας έχει μηδενική επίδραση στην ποιότητα της φωνής. Ειδικά στην περίπτωση ραδιοφωνικών κλήσεων, ο διαχωρισμός μεταξύ παύσης και ομιλίας είναι πολύ απλός λόγω της half-duplex φύσης της επικοινωνίας και της ύπαρξης σηματοδοσίας PTT, κάτι που διευκολύνει σημαντικά την υλοποίηση ενός δυναμικού ενταμιευτή, όπως θα φανεί στη συνέχεια.

3.2.2.6.2.1.4 Απαιτήσεις επί της καθυστέρησης που εισάγεται από τον ενταμιευτή

Είτε χρησιμοποιηθεί μία στατική είτε μία δυναμική υλοποίηση, η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της φωνής θα αυξηθεί σε σχέση με έναν από-άκρη-σε-άκρη δίαυλο που δεν περιλαμβάνει ενταμιευτή καθυστέρησης, ούτως ώστε να αποφευχθεί η απώλεια πακέτων φωνής. Με δεδομένη την ανάγκη ύπαρξης ενός τέτοιου μηχανισμού και τα άγνωστα χαρακτηριστικά του δικτύου, τίθεται η απαίτηση η καθυστέρηση που εισάγεται από τον ενταμιευτή καθυστέρησης να μην ξεπερνά τα 35 ms ανά κατεύθυνση μετάδοσης, άσχετα με την υλοποίησή του.

3.2.2.6.2.2 Άλλες καθυστερήσεις που εισάγονται από το υπό μελέτη σύστημα και άλλο δικτυακό εξοπλισμό

Το υπό μελέτη σύστημα και οποιοσδήποτε άλλος δικτυακός εξοπλισμός παρεμβάλλεται στον τηλεπικοινωνιακό δίαυλο, δεν θα εισάγει περισσότερο από 25 ms καθυστέρησης σε κάθε άκρο (άρα 50 ms από άκρο σε άκρο) και ανά κατεύθυνση μετάδοσης εξαιρουμένης της καθυστέρησης που εισάγεται από τον ενταμιευτή διακύμανση καθυστέρησης.

3.2.2.7 Βελτιστοποίηση των απαιτήσεων καθυστέρησης και επιλογή κωδικοποιητή φωνής

Με βάση την ανάλυση των προηγούμενων παραγράφων και την απαίτηση η μέγιστη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο να μην ξεπερνά τα 375 ms προκύπτει ότι το περιθώριο που απομένει είναι το πολύ 40 ms. Το υπόλοιπο αυτό θα διατεθεί για 2 πολύ βασικές λειτουργίες

που το υπό μελέτη σύστημα θα πρέπει να υλοποιεί: την κωδικοποίηση φωνής και την ενθυλάκωση πολλαπλών πακέτων κωδικοποιημένης φωνής σε πακέτα IP.

Αρχικά, θα πρέπει να σημειωθεί πως οι κωδικοποιητές φωνής χαμηλού ρυθμού που απαιτείται να υποστηριχθούν σύμφωνα με την παράγραφο 3.2.2.5.1 εισάγουν καθυστέρηση στη φωνή. Πιο συγκεκριμένα, ο G.729 έχει καθυστέρηση κωδικοποίησης 15 ms (βλέπε Αναφορά 30, Αναφορά 31 και Αναφορά 32) και ο G.723.1 37.5 ms (βλέπε Αναφορά 33).

Επιπλέον, και για λόγους ελαχιστοποίησης της απώλειας ρυθμού μετάδοσης λόγω των επικεφαλίδων (headers) που χρησιμοποιούνται στα πακέτα IP, είναι συνήθης πρακτική να ενθυλακώνονται πολλαπλά πακέτα φωνής σε ένα πακέτο δεδομένων. Η καθυστέρηση που εισάγεται με τον τρόπο αυτό είναι ίση με το γινόμενο του αριθμού των πακέτων φωνής ανά πακέτο IP και του χρόνου που το κάθε πακέτο φωνής αναπαριστά (10 ms για τον κωδικοποιητή G.729 και 30 ms για τον G.723.1). Με βάση τα στοιχεία αυτά καταρτίστηκε ο πιο κάτω πίνακας που συνοψίζει την καθυστέρηση που εισάγεται λόγω των 2 συγκεκριμένων παραγόντων για τους δύο κωδικοποιητές που έχουν προεπιλεγεί και διάφορα διαστήματα ενθυλάκωσης. Οι γραμμές που σημειώνονται με πράσινο χρώμα είναι αυτές που αντιπροσωπεύουν συνδυασμούς που καλύπτουν την απαίτηση των 40 ms, ενώ οι συνδυασμοί που έχουν χρωματιστεί με κόκκινο, δεν πετυχαίνουν τον στόχο αυτό, πάντα λαμβάνοντας υπ' όψιν το συνολικό και τα επιμέρους όρια όπως τέθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

Κωδικοποιητής φωνής και διάστημα ενθυλάκωσης	Καθυστέρηση (ms)
G.729 @ 1 πακέτο φωνής ανά πακέτο IP	15 + 1 * 10 = 25
G.729 @ 2 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	15 + 2 * 10 = 35
G.729 @ 3 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	15 + 3 * 10 = 45
G.729 @ 4 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	15 + 4 * 10 = 55
G.729 @ 5 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	15 + 5 * 10 = 65
G.723.1 @ 1 πακέτο φωνής ανά πακέτο IP	37.5 + 1 * 30 = 67.5
G. 723.1 @ 2 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	37.5 + 2 * 30 = 97.5
G. 723.1 @ 3 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	37.5 + 3 * 30 = 127.5
G. 723.1 @ 4 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	37.5 + 4 * 30 = 157.5
G. 723.1 @ 5 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	37.5 + 5 * 30 = 187.5

Πίνακας 8. Συσχέτιση μεταξύ κωδικοποιητή φωνής, διαστήματος ενθυλάκωσης και καθυστέρησης

Είναι προφανές πως ο κωδικοποιητής G.723.1 θα πρέπει να εξαιρεθεί από υπονήφιος για το υπό μελέτη σύστημα καθώς, ακόμη και με ένα πακέτο φωνής ανά πακέτο IP, η απαίτηση παραβιάζεται, ενώ ο G.729 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και με 2 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP χωρίς πρόβλημα.

3.2.2.8 Η τιμή του παράγοντα R για κλήσεις ασυρμάτου με χρήση του υπό μελέτη συστήματος

Στο σημείο αυτό έχουν καταγραφεί όλες οι θεωρήσεις που επιτρέπουν τον υπολογισμό του παράγοντα R αν χρησιμοποιηθεί ο τηλεπικοινωνιακός δίαυλος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 8 για τη μεταφορά φωνής από τον αναμεταβιβαστικό σταθμό στο κέντρο μεταγωγής πομποδεκτών και αντίστροφα. Η εξίσωση που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί, άσχετα με την κατεύθυνση μετάδοσης, φαίνεται κάτωθι:

$$R = R_o - I_e - I_{dd}$$

όπου ο παράγοντας R_o θα έχει τις τιμές που υπολογίστηκαν στην παράγραφο 3.2.2.1, ο παράγοντας I_e θα έχει την τιμή 12 και για τις 2 κατευθύνσεις μετάδοσης, υποθέτοντας χρησιμοποίηση του κωδικοποιητή φωνής χαμηλού ρυθμού G.729 σύμφωνα με την παράγραφο 3.2.2.5.1 και ο παράγοντας I_{dd} θα έχει την τιμή που υπολογίστηκε στην παράγραφο 3.2.2.5.4.2 και για τις 2 κατευθύνσεις μετάδοσης.

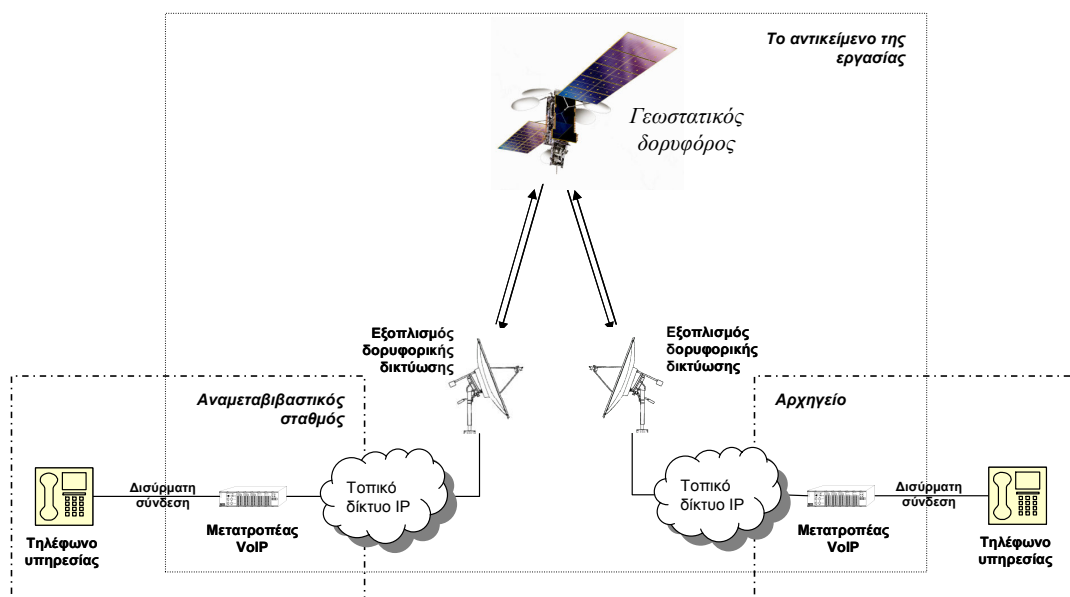
Οι τιμές που προκύπτουν για τον παράγοντα R είναι **20.254** για την κατεύθυνση μετάδοσης από το εναέριο μέσο προς τον ελεγκτή και **26.327** για την αντίθετη κατεύθυνση. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές με τις αντίστοιχες που προκύπτουν από τη χρήση μισθωμένων γραμμών (παράγραφος 3.2.2.4), προκύπτει ότι οι αντίστοιχοι παράγοντες πλεονεκτήματος A θα έπρεπε να είναι ίσοι με **31.342** και για τις 2 κατευθύνσεις μετάδοσης για να είναι ισοδύναμοι οι 2 από-άκρο-σε-άκρο δίαυλοι. Αυτό που μένει να αποδειχθεί είναι αν δικαιολογείται από τους χρήστες η διαφορά προς το χειρότερο της ποιότητας φωνής από τα πλεονεκτήματα της εισαγωγής της υπηρεσίας που παρέχει το υπό μελέτη σύστημα. Ο μόνος τρόπος να επιβεβαιωθεί κάτι τέτοιο είναι μέσω υποκειμενικού ελέγχου της ποιότητας της κλήσης, η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα του οποίου θα παρουσιαστούν στην παράγραφο 9, ολοκληρώνοντας το σκεπτικό της παρούσας εργασίας.

3.3 Η ποιότητα κλήσης για τηλεφωνικές κλήσεις

Εκτός από κλήσεις ασυρμάτου, το υπό μελέτη σύστημα καλείται να υποστηρίξει τηλεφωνικές κλήσεις μεταξύ των αναμεταβιβαστικών σταθμών της περιφέρειας και του αρχηγείου της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας. Η ποιότητα φωνής στην περίπτωση αυτή μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με άμεση εφαρμογή του E-model, όπως αυτό παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.1.

3.3.1 Ο από άκρο-σε-άκρο τηλεπικοινωνιακός δίαυλος για τηλεφωνικές κλήσεις

Ο τηλεπικοινωνιακός δίαυλος για μία τηλεφωνική κλήση ανάμεσα στον αναμεταβιβαστικό σταθμό και το αρχηγείο της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 15. Μία κλήση τηλεφώνου πάνω από δορυφορικό δίκτυο IP

Το πιο πάνω σχήμα παρουσιάζει τα υποσυστήματα που βρίσκονται κατά μήκος του επικοινωνιακού διαύλου και επηρεάζουν την ποιότητα της κλήσης:

- Οι τηλεφωνικές συσκευές του αναμεταβιβαστικού σταθμού και του αρχηγείου
- Ο εξοπλισμός μετατροπής της αναλογικής φωνής από τα αναλογικά τηλέφωνα σε κίνηση IP (μετατροπέας VoIP) και ο εξοπλισμός δικτύωσης IP που εγκαθίστανται τόσο στον αναμεταβιβαστικό σταθμό όσο και στο αρχηγείο
- Τα δισύρματα κυκλώματα που διασυνδέουν τα υποσυστήματα στα δύο άκρα
- Ο τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός που υλοποιεί το επίγειο τμήμα του δορυφορικού κυκλώματος
- Ο τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος

3.3.2 Υπολογισμός του παράγοντα ποιότητας φωνής R για τηλεφωνικές κλήσεις

Για τον υπολογισμό του παράγοντα ποιότητας φωνής R θα χρησιμοποιηθεί το βασικό μοντέλο μετάδοσης φωνής από άκρη-σε-άκρη που έχει ήδη παρουσιαστεί στο Σχήμα 6, οι προκαθορισμένες τιμές που προτείνονται από την ITU-T στην Αναφορά 15 καθώς και τα συμπεράσματα της παραγράφου 3.2. Οι τηλεφωνικές κλήσεις θεωρούνται πλήρως συμμετρικές σε ότι αφορά τις παραμέτρους του E-model, άρα ο παράγοντας R θα είναι ίδιος ανεξαρτήτως της κατεύθυνσης μετάδοσης.

3.3.2.1 Προκαθορισμένες τιμές παραμέτρων σχετικών με τις τηλεφωνικές συσκευές και τον εξοπλισμό τερματισμού

Η Αναφορά 15 παρέχει ένα σύνολο προκαθορισμένων τιμών παραμέτρων σχετικών με τις τηλεφωνικές συσκευές και τον εξοπλισμό τερματισμού (Πίνακας 9) οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν ως έχουν.

Μία σημαντική απλοποίηση που μπορεί να εφαρμοστεί σχετίζεται με τον θόρυβο υποβάθρου. Πιο συγκεκριμένα, ο θόρυβος αυτός σε τηλεφωνικά κυκλώματα επάγεται από το περιβάλλον λόγω μεγάλου μήκους καλωδίου κάτι που στο υπό μελέτη σύστημα δεν αναμένεται να συμβεί. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται στην Αναφορά 18 να μην ληφθούν υπ' όψιν παράμετροι του θορύβου υποβάθρου, όπως οι N_c και N_{for} σύμφωνα με την παράγραφο 3.1, εάν το δισύρματο τμήμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 15 είναι μικρό. Για τον λόγο αυτό, οι παράγοντες N_c και N_{for} θα τεθούν ίσοι με -100 dB και θα εξαιρεθούν από τους υπολογισμούς του παράγοντα R .

Παράμετρος	Σύντομο όνομα	Μονάδα	Προκαθορισμένη τιμή	Επιτρεπόμενο εύρος τιμών	Παρατηρήσεις
Sending Loudness Rating	SLR	dB	+8	0 ... +18	Note 1
Receiving Loudness Rating	RLR	dB	+2	-5 ... +14	Note 1
Sidetone Masking Rating	$STMR$	dB	15	10 ... 20	Note 2
Listener Sidetone Rating	$LSTR$	dB	18	13 ... 23	Note 2
D-Value του τηλεφώνου, πλευρά αποστολής	D_s	–	3	-3 ... +3	Note 2
D-Value του τηλεφώνου, πλευρά λήψης	D_r	–	3	-3 ... +3	Note 2
Θόρυβος δωματίου στην πλευρά αποστολής	P_s	dB(A)	35	35 ... 85	
Θόρυβος δωματίου στην πλευρά λήψης	P_r	dB(A)	35	35 ... 85	
NOTE 1 –Συνολική τιμή ανάμεσα στο μικρόφωνο ή δέκτη και το σημείο 0 dBr					
NOTE 2 – Ισχύει η σχέση $LSTR = STMR + D$					

Πίνακας 9. Προκαθορισμένες τιμές παραμέτρων σύμφωνα με το πρότυπο G.107⁽¹⁾

3.3.2.2 Προκαθορισμένες τιμές παραμέτρων σχετιζόμενων με τον έλεγχο ηχούς

Η Αναφορά 15 προκαθορίζει επίσης τις τιμές μίας σειράς παραμέτρων που σχετίζονται με τον έλεγχο ηχούς και χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του παράγοντα ποιότητας φωνής R . Αυτές παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

Παράμετρος	Σύντομο όνομα	Μονάδα	Προκαθορισμένη τιμή	Επιτρεπόμενο εύρος τιμών
Talker Echo Loudness Rating	<i>TELR</i>	dB	65	5 ... 65
Weighted Echo Path Loss	<i>WEPL</i>	dB	110	5 ... 110

Πίνακας 10. Προκαθορισμένες τιμές παραμέτρων σύμφωνα με το πρότυπο G.107 ⁽²⁾

Για την επίτευξη τέτοιας επίδοσης, το υπό μελέτη σύστημα θα πρέπει να υλοποιεί προσαρμοστική ακύρωση ηχούς σύμφωνα με το πρότυπο ITU-T G.168 (βλέπε Αναφορά 34)

3.3.2.3 Τιμές παραμέτρων που έχουν ήδη υπολογιστεί για κλήσεις ασυρμάτου

Πολλές από τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται στο E-model έχουν ήδη υπολογιστεί σε προηγούμενες παραγράφους για κλήσεις ασυρμάτου και θεωρούνται πως ισχύουν αυτούσιες και για τηλεφωνικές κλήσεις. Αυτές είναι:

- Η καθυστέρηση:
Η απόλυτη καθυστέρηση από-άκρο-σε-άκρο T_a θα τεθεί ίση με **375 ms** (βλέπε παράγραφο 3.2.2.5.4.2). Η καθυστέρηση από-άκρο-σε-άκρο και πίσω (round-trip delay) T_r θα είναι λοιπόν ίση με **750 ms**.
- Ο αριθμός των μονάδων παραμόρφωσης κβαντισμού (qdus):
Σύμφωνα με το σκεπτικό που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.2.2.5.2, η χρήση 16-bit γραμμικής PCM ως μέθοδο αναλογικοψηφιακής μετατροπής επιτρέπει τον μηδενισμό του παράγοντα I_s .
- Ο παράγοντας πλεονεκτήματος:
Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει πιθανές τιμές του παράγοντα πλεονεκτήματος για τηλεφωνικές κλήσεις. Με δεδομένη τη φύση του συστήματος και την εκπαίδευση των χρηστών, η τιμή του παράγοντα αυτού θα τεθεί ίση με 20
- Ο παράγοντας μείωσης της ποιότητας φωνής λόγω κωδικοποίησης:
Θεωρώντας πως θα χρησιμοποιηθεί ο κωδικοποιητής φωνής που έχει προκύψει από την ανάλυση των παραγράφων 3.2.2.5.1 & 3.2.2.7 (G.729), ο αντίστοιχος παράγοντας I_e θα είναι ίσος με **12**.

3.3.2.4 Τιμές για τον παράγοντα R

Εφαρμόζοντας τις εξισώσεις της παραγράφου 3.1, με τις απλοποιήσεις που προτάθηκαν στην παράγραφο 3.3.2.1, ο παράγοντας R για τηλεφωνικές κλήσεις προκύπτει ίσος με **80.69**, ανεξαρτήτως της κατεύθυνσης μετάδοσης. Η τιμή αυτή υπερβαίνει την απαίτηση για R μεγαλύτερο ή ίσο του **80**. Συνεπακόλουθα, η πλειοψηφία των χρηστών αναμένεται να μείνουν ευχαριστημένοι από την ποιότητα της υπηρεσίας για τηλεφωνικές κλήσεις, εφόσον φυσικά λειτουργεί σωστά ο ακυρωτής ηχούς, δηλαδή το *TELR* διατηρείται σε τιμές κάτω από 65 dB.

3.4 Ανάλυση απαιτήσεων ρυθμού μετάδοσης

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε στις προηγούμενες παραγράφους κατέληξε σε συγκεκριμένες απαιτήσεις σχετικά με τον κωδικοποιητή φωνής και τα διαστήματα ενθυλάκωσης ούτως ώστε η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση να παραμείνει σε επίπεδα που δεν απομειώνουν την ποιότητα φωνής πέραν των ανεκτών ορίων, τόσο για κλήσεις ασυρμάτου όσο και για τηλεφωνικές κλήσεις. Βάσει των δεδομένων αυτών, μπορεί να υπολογιστεί ο ρυθμός μετάδοσης που θα πρέπει να παρέχεται από το δορυφορικό δίκτυο για κάθε κατεύθυνση μετάδοσης.

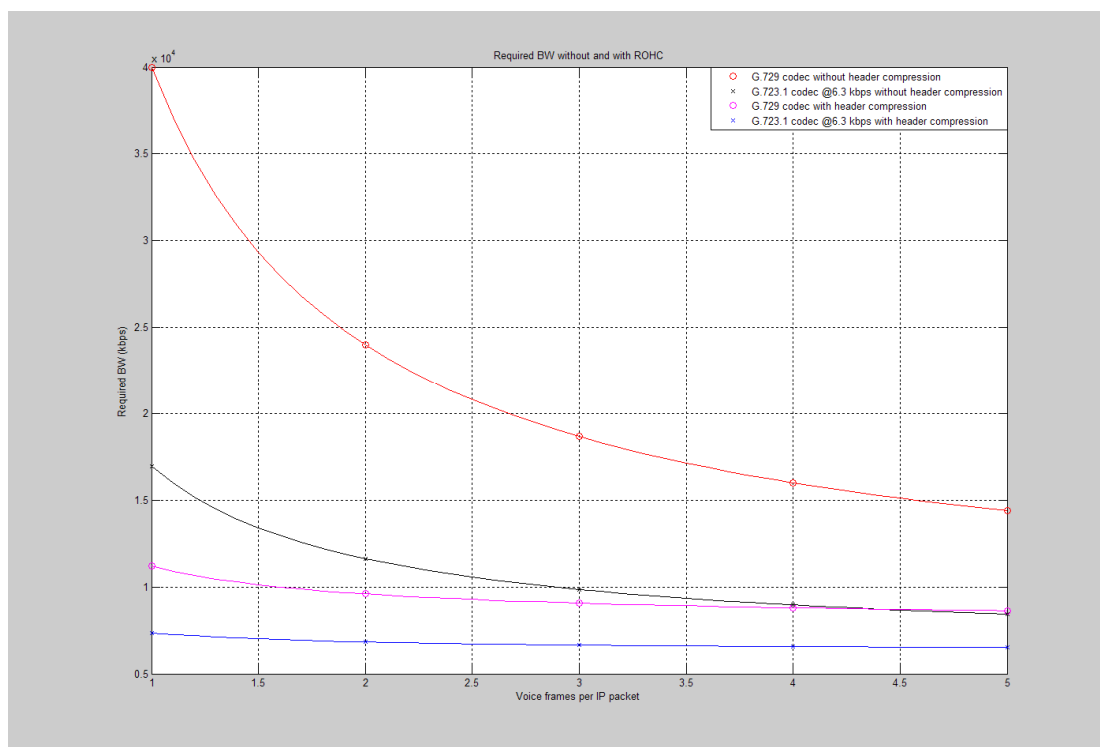
Με δεδομένο πως έχει επιλεγεί ως μηχανισμός μετάδοσης φωνής η τεχνολογία Radio & Voice over IP, το πρωτόκολλο που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την μετάδοση πακέτων κωδικοποιημένης φωνής είναι το Πρωτόκολλο Μετάδοσης Πραγματικού Χρόνου (Real-time Transport Protocol – RTP), το οποίο περιγράφεται στα πρότυπα RFC 3550 & 3551 του φορέα προτυποποίησης IETF (βλέπε Αναφορά 35 & Αναφορά 36). Κάθε πακέτο RTP χρησιμοποιεί έναν αριθμό από επικεφαλίδες που αυξάνουν τις απαιτήσεις στον ρυθμό μετάδοσης:

- Η επικεφαλίδα RTP (12 bytes ανά πακέτο φωνής)
- Η επικεφαλίδα UDP (8 bytes ανά πακέτο φωνής)
- Η επικεφαλίδα IP (20 bytes ανά πακέτο φωνής)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.2.2.7, αποτελεί κοινή πρακτική η ενθυλάκωση πολλαπλών πακέτων φωνής σε ένα πακέτο RTP ούτως ώστε να μειωθεί η απώλεια ρυθμού μετάδοσης λόγω των επικεφαλίδων. Δυστυχώς με τον τρόπο αυτό αυξάνει η καθυστέρηση που όπως έχει ήδη αποδειχθεί είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας μείωσης της ποιότητας φωνής.

Μία άλλη τεχνική για να επιτευχθεί ο ίδιος στόχος, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά, είναι η συμπίεση των επικεφαλίδων, μία τεχνολογία που γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη στο πλαίσιο των δορυφορικών IP επικοινωνιών λόγω του πολύ μεγάλου κόστους του εύρους ζώνης που κανείς δεν είναι διαθέσιμος να πληρώσει για να μεταδίδει πληροφορία που σπανίως αλλάζει. Το πρότυπο που έχει επικρατήσει είναι το IETF RFC 3095 (βλέπε Αναφορά 37).

Η χρήση του RObust Header Compression (ROHC) οδηγεί σε συμπίεση των επικεφαλίδων του πρωτοκόλλου RTP από 40 σε 4 bytes ανά πακέτο κατά μέγιστο. Η βέλτιστη συμπίεση μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 2 bytes ανά πακέτο, αν και η προσέγγιση αυτή δεν θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια λόγω της στοχαστικής συμπεριφοράς της. Το κέρδος σε ότι αφορά το εύρος ζώνης του δορυφορικού τηλεπικοινωνιακού διαύλου φαίνεται στο πιο κάτω γράφημα όπου παρουσιάζεται ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης για τους δύο υποψήφιους κωδικοποιητές φωνής (G.729 και G.723.1 για λόγους πληρότητας) και τα διαστήματα ενθυλάκωσης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.



Γράφημα 4. Απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης για την μεταφορά των δεδομένων φωνής μίας κλήσης με και χωρίς τη χρήση συμπίεσης επικεφαλίδων

Στο πιο πάνω γράφημα, φαίνεται πως ο κωδικοποιητής G.723.1 οδηγεί σε αρκετά χαμηλότερες απαιτήσεις στον ρυθμό μετάδοσης σε σχέση με τον G.729, πάραυτα ο συγκεκριμένος αλγόριθμος κωδικοποίησης φωνής χαμηλού ρυθμού έχει ήδη απορριφθεί στην παράγραφο 3.2.2.7 γιατί εισάγει μη ανεκτή καθυστέρηση.

Η χρήση συμπίεσης επικεφαλίδων σε συνδυασμό με τον κωδικοποιητή G.729 οδηγεί στις ακόλουθες απαιτήσεις στον ρυθμό μετάδοσης ανά κατεύθυνση για την υποστήριξη μίας κλήσης ασυρμάτου ή τηλεφώνου:

Διάστημα ενθλάκωσης	Απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης (kbps)
1 πακέτο φωνής ανά πακέτο IP	11.2
2 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	9.6
3 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	9.1

Πίνακας 11. Απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης ανά κατεύθυνση για την υποστήριξη μίας κλήσης ασυρμάτου ή τηλεφώνου

Εκτός από τα πακέτα φωνής, στη διάρκεια μίας κλήσης στην οποία χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο RTP για μετάδοση φωνής, τα δύο άκρα ανταλλάζουν πακέτα ελέγχου σύμφωνα με το πρωτόκολλο RTCP (Real Time Control Protocol) που επίσης καθορίζεται στο πρότυπο RFC 3550. Η βασική λειτουργία του RTCP είναι να παρέχει στα δύο άκρα πληροφορία σχετική με την ποιότητα υπηρεσίας που παρέχει το RTP, συλλέγοντας και μεταδίδοντας περιοδικά στατιστικά όπως τα bytes και πακέτα που εστάλησαν, ελήφθησαν και χάθηκαν, την διακύμανση καθυστέρησης και την από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση.

Όπως αναφέρεται στην Αναφορά 35, το πρωτόκολλο RTCP εισάγει απώλεια ρυθμού (overhead) ίσο με περίπου 5% του ρυθμού μετάδοσης που απαιτείται από το RTP, οπότε ο Πίνακας 11 τροποποιείται όπως φαίνεται κάτωθι.

Διάστημα ενθυλάκωσης	Απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης (kbps)
1 πακέτο φωνής ανά πακέτο IP	11.8
2 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	10.1
3 πακέτα φωνής ανά πακέτο IP	9.5

Πίνακας 12. Απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης ανά κατεύθυνση για την υποστήριξη μίας κλήσης ασυρμάτου ή τηλεφώνου με συνυπολογισμό του πρωτοκόλλου RTCP

Ένας ακόμη παράγοντας που συνεισφέρει στις απαιτήσεις στον ρυθμό μετάδοσης είναι το πρωτόκολλο που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την ανταλλαγή σηματοδοσίας μεταξύ των δύο άκρων. Καθώς όμως τέτοιου είδους πληροφορία έχει πολύ μικρές απαιτήσεις σε ρυθμό μετάδοσης και μεταδίδεται σπάνια, δεν αναμένεται να επανξήσει τις απαιτήσεις όπως αυτές παρουσιάστηκαν στον πιο πάνω πίνακα.

3.5 Η μεταφορά του σήματος PTT

Ένα ακόμη βασικό ζήτημα που αφορά την ποιότητα μίας κλήσης ασυρμάτου είναι η μεταφορά του σήματος PTT μεταξύ των 2 συμμετεχόντων, καθώς υπάρχει σαφής ανάγκη συγχρονισμού του σήματος αυτού και της φωνής. Ο λόγος είναι πως το σήμα PTT ερμηνεύεται από τους ασυρμάτους και τα κέντρα μεταγωγής ως έλεγχος διέλευσης για τη φωνή, με αποτέλεσμα, εάν υπάρχει ολίσθησή του στον χρόνο να αποκόπτονται ολόκληρες συλλαβές ή φράσεις, είτε στην αρχή της εκπομπής (αν το σήμα PTT έπεται), είτε στο τέλος (αν το σήμα PTT προηγείται). Οι επιπτώσεις του φαινομένου μπορούν να είναι δραματικές στην αεροναυτιλία, καθώς μπορούν να οδηγήσουν σε παρερμηνείες εντολών των ελεγκτών ή αιτήσεων των πιλότων με αποτέλεσμα η ασφάλεια της πτήσης να μειώνεται επικίνδυνα.

Προκειμένου να εξαιρεθεί η πιθανότητα ολίσθησης του σήματος PTT σε σχέση με τη φωνή στην οποία αντιστοιχεί, θα πρέπει να αποφευχθεί η μεταφορά του από ξεχωριστό κανάλι σηματοδοσίας. Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε να ενσωματωθεί στο πακέτο RTP ως ένα ακόμη bit, ούτως ώστε κάθε πακέτο φωνής να είναι αυθύπαρκτο, με αμελητέα επιβάρυνση σε επίπεδο απαιτήσεων ρυθμού μετάδοσης.

3.6 Ποιότητα εγκατάστασης κλήσης

Η ποιότητα της εγκατάστασης κλήσης καθορίζεται από 2 παράγοντες:

- Την καθυστέρηση στην εγκατάσταση της κλήσης, που ο χρήστης αντιλαμβάνεται ως χρόνο ανταπόκρισης της υπηρεσίας, κάτι εξαιρετικά κρίσιμο στις εφαρμογές αεροναυτιλίας
- Το ποσοστό αποτυχίας εγκατάστασης κλήσης. Ο παράγοντας αυτός, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3, δεν θα μελετηθεί περαιτέρω στην παρούσα εργασία καθώς εξαρτάται από μία πλειάδα επιχειρησιακών παραγόντων

Η διαδικασία εγκατάστασης μίας τηλεφωνικής κλήσης είναι γνωστή σε όλους. Ο χρήστης σηκώνει το ακουστικό (κατάσταση “off-hook”), περιμένοντας να ακούσει τον ήχο κλήσης (dial tone), που υποδηλώνει πως η υπηρεσία είναι διαθέσιμη. Κατόπιν πληκτρολογεί τον αριθμό του συνδρομητή που επιθυμεί να καλέσει. Ο φορέας που λειτουργεί την υπηρεσία φροντίζει να ταυτοποιήσει τον αριθμό με τον συνδρομητή βάσει κάποιου σχεδίου αριθμοδότησης και εφόσον προκύψει ταυτοποίηση, ο καλών λαμβάνει στο ακουστικό του

είτε ήχο καλούντος (ring-back) είτε ήχο κατειλημμένου (busy). Εάν ο αριθμός δεν υπάρχει ή η υπηρεσία δεν λειτουργεί, ο καλών λαμβάνει στο ακουστικό του τις κατάλληλες ηχητικές ενδείξεις, όπως «δίκτυο μη διαθέσιμο» (network unavailable) και άλλες. Όταν ο καλούμενος σηκώσει το ακουστικό του, η κλήση εγκαθίσταται.

Όπως είναι κατανοητό, στην περίπτωση τηλεφωνικής κλήσης υπάρχει πλήρης σηματοδότηση μέσω τόνων και ο χρήστης παραμένει ενήμερος για την πρόοδο καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Για τον λόγο αυτό, η ανεκτικότητα του σε καθυστερήσεις που σχετίζονται με την εγκατάσταση της κλήσης είναι μεγάλη. Επίσης, υπάρχει σαφής ορισμός της έναρξης μίας συνομιλίας.

Αντίθετα, η εγκατάσταση μίας κλήσης ασυρμάτου είναι πλήρως πρωτόγονη. Ο πιλότος ή ο ελεγκτής, ανάλογα με το ποιος εκκινεί τη διαδικασία, πιέζει το πλήκτρο PTT για να εκπέμψει (ο μοναδικός τρόπος να σηματοδοτηθεί η εγκατάσταση μίας κλήσης) και περιμένει κάτι τέτοιο να συμβεί. Επιπλέον, ο χρήστης είναι αδύνατο να ενημερωθεί για την πρόοδο της διαδικασίας. Αν τα στοιχεία αυτά συνδυαστούν με τις σημαντικές καθυστερήσεις λόγω του δορυφορικού δικτύου, τα προβλήματα που μπορούν να προκληθούν είναι μεγάλα.

Κατ' αρχήν δεν μπορεί να απαγορευτεί στους χρήστες να μιλήσουν προ της ολοκλήρωσης της εγκατάστασης της κλήσης για το πέρας της οποίας δεν έχουν ιδέα και ούτε μπορούν να ενημερωθούν. Από την άλλη πλευρά, δεν είναι δυνατόν να χαθεί η φωνή επειδή η εγκατάσταση της κλήσης δεν είχε ολοκληρωθεί πριν μιλήσει ο χρήστης. Φανταστείτε μία εκπομπή "Mayday" που δεν φτάνει ποτέ στα αυτιά του ελεγκτή.

Ο μοναδικός τρόπος να μεταδοθεί η φωνή που εκπέμφθηκε προ της εγκατάστασης της κλήσης είναι να αποθηκευτεί προσωρινά σε έναν ενταμιευτή εκπομπής (transmit buffer) και να αρχίσει να εκπέμπεται με καθυστέρηση όταν η εγκατάσταση της κλήσης ολοκληρωθεί. Είναι κατανοητό πως αν ακολουθηθεί η προσέγγιση αυτή, εισάγεται μία σταθερή καθυστέρηση καθ' όλη τη διάρκεια της κλήσης, οπότε η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση μέχρι η κλήση να καταργηθεί θα είναι ίση με την καθυστέρηση της εγκατάστασης της κλήσης, άρα κατά πάσα πιθανότητα πολύ μεγαλύτερη από τα 375 ms που τέθηκαν ως στόχος στην παράγραφο 3.2.2.5.4, κάτι καταστροφικό για την αποδοχή της υπηρεσίας. Μία λύση στο πρόβλημα είναι το να αφαιρείται ο ενταμιευτής εκπομπής από τον δίαυλο μετάδοσης όταν η κλήση εγκατασταθεί και εφόσον είναι άδειος. Η half-duplex φύση των κλήσεων ασυρμάτου επιτρέπει εύκολα την υλοποίηση μίας τέτοιας στρατηγικής, καθώς το σήμα PTT ορίζει πλήρως ποιος και πότε μιλά. Από το σημείο της αφαίρεσης του ενταμιευτή και μετά, η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση θα παραμείνει μειωμένη μέχρι την κατάργηση της κλήσης.

Ένα παράπλευρο ζήτημα είναι πως δεν μπορεί να επιτρέπεται η εγκατάσταση κλήσης σε κάθε PTT και η κατάργησή της όταν το πλήκτρο αφεθεί γιατί με τον τρόπο αυτό ο ενταμιευτής δεν θα μπορούσε ποτέ να αδειάσει και συνεπακόλουθα να αφαιρεθεί από τον δίαυλο. Για τον λόγο αυτό μία κλήση θα πρέπει να εγκαθίσταται όταν υπάρχει σήμα PTT χωρίς να υπάρχει εγκατεστημένη κλήση ασυρμάτου. Το πρόβλημα κατόπιν μετατοπίζεται στο πότε μία κλήση ασυρμάτου θα καταργείται. Ο μόνος τρόπος να σηματοδοτηθεί η εκκίνηση της κατάργησης μίας κλήσης ασυρμάτου είναι να μην υπάρχει σήμα PTT από κανένα από τα 2 άκρα που συμμετέχουν για ένα προκαθορισμένο διάστημα χρόνου, μετά την άροδο του οποίου, η εκ νέου χρήση του PTT θα σηματοδοτεί την εγκατάσταση μίας νέας κλήσης.

Ακόμη και στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί η τεχνική που περιγράφηκε άνωθεν, είναι προφανές πως η πρώτη εκπομπή φωνής, ανεξάρτητα με το από ποιο άκρο προήλθε, θα επιβαρυνθεί με την καθυστέρηση ολοκλήρωσης της διαδικασίας της εγκατάστασης κλήσης ασυρμάτου. Θα πρέπει λοιπόν να τεθεί ένα άνω όριο στο χρόνο αυτό.

Στην Αναφορά 38, που έχει εκδοθεί από τον Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας, καταγράφεται συγκεκριμένη απαίτηση στην καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης ($\leq 2 \text{ sec}$) για ένα σύστημα επικοινωνιών φωνής εδάφους-εδάφους πάνω από δορυφορικά κυκλώματα. Παρόλο που η παρούσα εργασία στοχεύει στην απόδειξη πως ένα δορυφορικό σύστημα επικοινωνιών αέρος-εδάφους βασισμένο σε τεχνολογία RoIP είναι πραγματοποιήσιμο και αποδεκτό από πλευράς ποιότητας υπηρεσίας, οι απαιτήσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν σημείο εκκίνησης, με δεδομένο πως οι επικοινωνίες εδάφους-εδάφους έχουν αντίστοιχη σημασία στον χώρο της αεροναυτιλίας με τις επικοινωνίες αέρος-εδάφους.

Επιπλέον, καταγράφονται στην ίδια αναφορά απαιτήσεις για την διαθεσιμότητα της δορυφορικής υπηρεσίας ($\geq 99.8\%$) και το bit error rate του φυσικού επιπέδου (κατά μέγιστο 1 σε 10^7). Αυτές αφορούν αποκλειστικά τη σχεδίαση του δορυφορικού κυκλώματος και θα χρησιμοποιηθούν περαιτέρω στην παράγραφο 4.15.5.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως για κλήσεις ασυρμάτου, η καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης ορίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί από την πίεση του πλήκτρου PTT του ενός άκρου (καλών) μέχρις ότου το άλλο άκρο (καλούμενος) λάβει τα πρώτα δείγματα φωνής, άρα περιλαμβάνει τα 375 ms της από άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης.

3.7 Σύνοψη των απαιτήσεων

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις απαιτήσεις στο υπό μελέτη τηλεπικοινωνιακό σύστημα που προέκυψαν από την ανάλυση του προβλήματος από την οπτική γωνία της ποιότητας υπηρεσίας, όπως αυτή παρουσιάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους. Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για τον σχεδιασμό του υπό μελέτη συστήματος και κατόπιν θα επιβεβαιωθεί η εκπλήρωσή τους με εκτενείς μετρήσεις.

A/A	Τίτλος Απαίτησης	Απαίτηση	Αναφορά
<i>Δορυφορικό δίκτυο</i>			
1	Διαθεσιμότητα	Κατ'ελάχιστο 99.8%	Παράγραφος 3.6
2	Ρυθμός λάθους διφύων (bit error rate)	Κατά μέγιστο 1 σε 10 ⁷ στο φυσικό επίπεδο	Παράγραφος 3.6
3	Υποστήριξη συμπίεσης επικεφαλίδων	Ναι	Παράγραφος 3.4
4	Ρυθμός μετάδοσης ανά κλήση	Τουλάχιστον 11.8 kbps ανά κατεύθυνση	Παράγραφος 3.4
<i>Κλήσεις ασυρμάτου</i>			
5	Καθυστερήση από-άκρο-σε-άκρο	Κατά μέγιστο 375 ms	Παράγραφος 3.2.2.5.4.2
6	Καθυστερήση εγκατάστασης κλήσης	Κατά μέγιστο 2 s	Παράγραφος 3.6
7	Διαρροή του ήχου από το μικρόφωνο στο ακουστικό του ελεγκτή και αποκοπή της λήψης κατά τη διάρκεια της εκπομπής	Ναι	Παράγραφος 3.2.2
8	Υποστήριξη προγραμματιζόμενης ενίσχυσης/απόσβεσης	Ναι	Παράγραφος 3.2.2.2
9	Υποστήριξη 16-bit γραμμικής PCM αναλογικοψηφιακής μετατροπής	Ναι	Παράγραφος 3.2.2.5.2
10	Μέγιστος ρυθμός απώλειας πακέτων	0.5%	Παράγραφος 3.2.2.5.1
11	Παράγοντας πλεονεκτήματος	Τουλάχιστον 31.342 ανεξάρτητα της κατεύθυνσης μετάδοσης	Παράγραφος 3.2.2.8
12	Υποστήριξη ενταμιευτή διακύμανσης καθυστέρησης	Ναι	Παράγραφος 3.2.2.6.2.1
13	Υποστήριξη πολλαπλών διαστημάτων ενθυλάκωσης	Ναι	Παράγραφος 3.2.2.7
14	Υποστήριξη κωδικοποιητή/αποκωδικοποιητή φωνής	Οικογένεια G.729	Παράγραφος 3.2.2.7
15	Υποστήριξη μεταφοράς σήματος PTT	Ναι, εντός του πακέτου RTP	Παράγραφος 3.5
16	Υποστήριξη ενταμιευτή εκπομπής	Ναι	Παράγραφος 3.6
<i>Τηλεφωνικές κλήσεις</i>			
17	Καθυστερήση από-άκρο-σε-άκρο	Κατά μέγιστο 375 ms	Παράγραφος 3.3.2.3
18	Υποστήριξη 16-bit γραμμικής PCM αναλογικοψηφιακής μετατροπής	Ναι	Παράγραφος 3.3.2.3
19	Μέγιστος ρυθμός απώλειας πακέτων	0.5%	Παράγραφος 3.3.2.3
20	Παράγοντας πλεονεκτήματος	Τουλάχιστον 20	Παράγραφος 3.3.2.3
21	Υποστήριξη ενταμιευτή διακύμανσης καθυστέρησης	Ναι	Παράγραφος 3.2.2.6.2.1
22	Υποστήριξη πολλαπλών διαστημάτων ενθυλάκωσης	Ναι	Παράγραφος 3.2.2.7
23	Υποστήριξη κωδικοποιητή/αποκωδικοποιητή φωνής	Οικογένεια G.729	Παράγραφος 3.3.2.3
24	Μήκος βρόγχου συνδρομητή	Μικρό (<= 2 km)	Παράγραφος 3.3.2.1
25	Υποστήριξη προσαρμοστικής ακύρωσης ηχούς	Ναι, σύμφωνα με το πρότυπο G.168	Παράγραφος 3.3.2.2
26	Παράγοντας TELR	Τουλάχιστον 65 dB	Παράγραφος 3.3.2.4

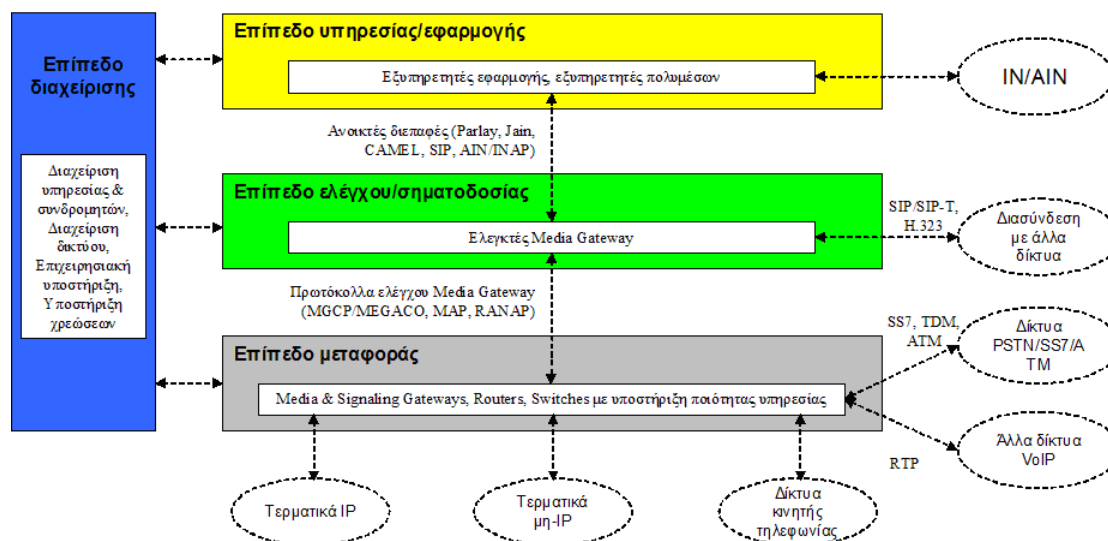
Πίνακας 13. Σύνοψη απαιτήσεων επί του συστήματος που μελετάται

4 Υλοποίηση του υπό μελέτη συστήματος

Είναι προφανές από την προσέγγιση που ακολουθείται στην παρούσα εργασία πως είναι απαραίτητη η υποκειμενική εκτίμηση της ποιότητας της υπηρεσίας φωνής ούτως ώστε να αποδειχθεί η ορθότητα της προσαρμογής του E-model σε κλήσεις ασυρμάτου και η καταλληλότητα της τεχνολογίας Radio over satellite IP σε εφαρμογές αεροναυτιλίας. Συνεπακόλουθα, είναι επίσης αναγκαία η πειραματική υλοποίηση, εγκατάσταση και επιχειρησιακή αξιολόγηση ενός αντίστοιχου συστήματος.

Το πρώτο βήμα προς αυτή την κατεύθυνση είναι ο λεπτομερής καθορισμός της απαιτούμενης λειτουργικότητας καθώς και ο ορθόλογος και αποδοτικός καταμερισμός της. Ως σημείο εκκίνησης, μελετήθηκε η αρχιτεκτονική των Δικτύων Επόμενης Γενεάς (Next Generation Networks – NGNs) που έχει καταγραφεί από ένα μεγάλο πλήθος φορέων προτύπων, όπως οι IETF, ITU & ETSI.

Σύμφωνα με το ITU-T Study Group 13 (βλέπε Αναφορά 39), τα Δίκτυα Επόμενης Γενεάς βασίζονται στη μεταγωγή πακέτων ούτως ώστε να παρέχουν μία ποικιλία υπηρεσιών (τηλεπικοινωνιακών και μη) πάνω από ένα σύνολο ευρυζωνικών τεχνολογιών μεταφοράς χωρίς κάποιας μορφής εξάρτησης από αυτές, με υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας και πλήρη ανεξαρτησία από τον πάροχο. Το πιο κάτω σχήμα παρουσιάζει μία εποπτεία των λειτουργικών επιπέδων ενός δικτύου NGN, των διαφόρων υποσυστημάτων καθώς και των υποψήφιων πρωτοκόλλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίησή των διεπαφών μεταξύ τους. Το επίπεδο μεταφοράς πακέτων βασίζεται σε κάθε περίπτωση στην τεχνολογία IP.



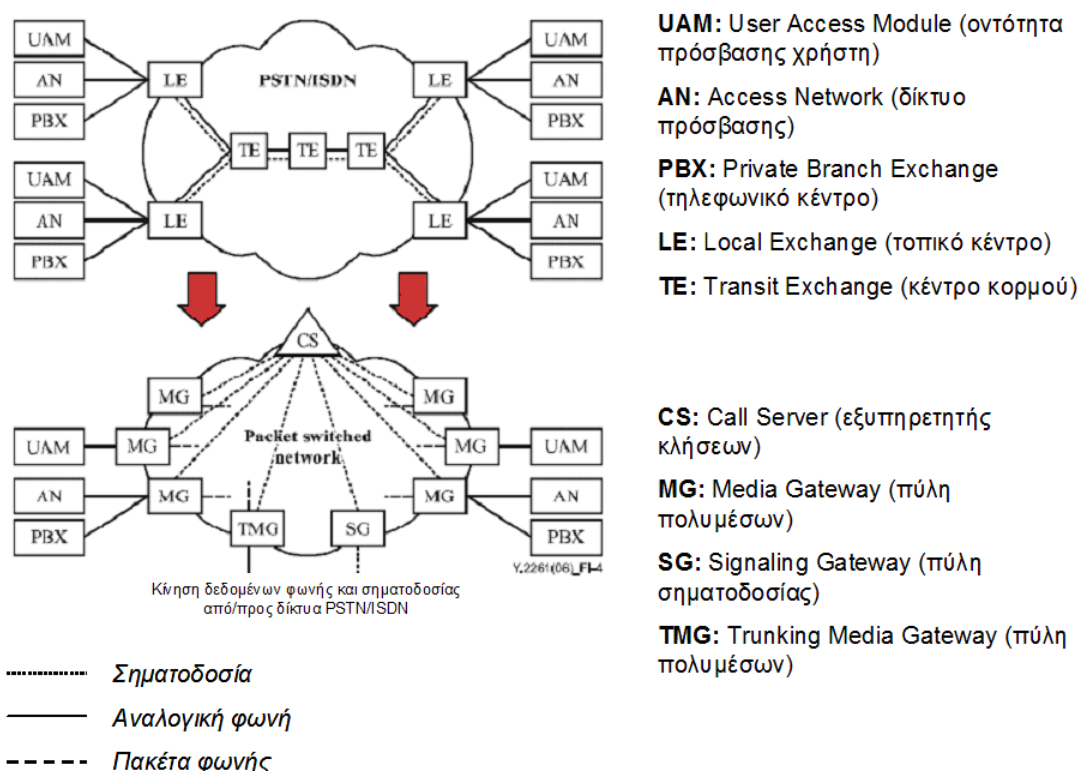
Σχήμα 16. Η αρχιτεκτονική των NGNs

Παρόλο που ο σκοπός της παρούσας διατριβής δεν είναι η ανάπτυξη μίας αρχιτεκτονικής NGN που να είναι πλήρως συμβατή με το πιο πάνω σχήμα, υπάρχουν σημαντικά στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σχεδιαστεί ένα αρθρωτό και επεκτάσιμο σύστημα που να μπορεί να διασφαλίσει την ποιότητα της υπηρεσίας, κάτι ιδιαίτερα σημαντικό στον χώρο της αεροναυτιλίας. Οι βασικοί άξονες σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- Ο διαμοιρασμός της λειτουργικότητας στα επίπεδα που φαίνονται στο πιο πάνω σχήμα (μεταφορά πακέτων, έλεγχος κλήσης, εφαρμογή και υπηρεσία και διαχείριση) με σαφείς και προτυποποιημένες διεπαφές ανάμεσά τους
- Η χρήση ενός δικτύου μεταγωγής πακέτων βασισμένου στην τεχνολογία IP (δορυφορικό δίκτυο IP)

4.1 Η αρχιτεκτονική NGN και οι απλοποιήσεις της

Με δεδομένο πως επί του παρόντος οι υπηρεσίες φωνής (ασυρμάτου και τηλεφωνίας) στα δίκτυα αεροναυτιλίας υλοποιούνται χρησιμοποιώντας το παραδοσιακό τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN) με μεταγωγή κυκλώματος, το υπό μελέτη σύστημα μπορεί να θεωρηθεί πως υλοποιεί την μετάβαση στο αντίστοιχο δίκτυο NGN. Υπό το πρίσμα αυτό, μπορούν να εφαρμοστούν οι αρχιτεκτονικές αναφοράς του προτύπου Y.2261 της ITU-T (βλέπε Αναφορά 40) που παρουσιάζονται στο πιο κάτω σχήμα. Αξίζει να σημειωθεί πως δεν υπάρχουν τερματικά IP συνδεδεμένα με το υπό μελέτη σύστημα, καθώς οι ασύρματοι και τα τηλέφωνα αποτελούν πηγές και καταναλωτές αναλογικού σήματος. Η οντότητα Call Server (CS) που απεικονίζεται περιλαμβάνει τα λειτουργικά επίπεδα σηματοδότησης, εφαρμογής και διαχείρισης που παρουσιάζονται στο Σχήμα 16.

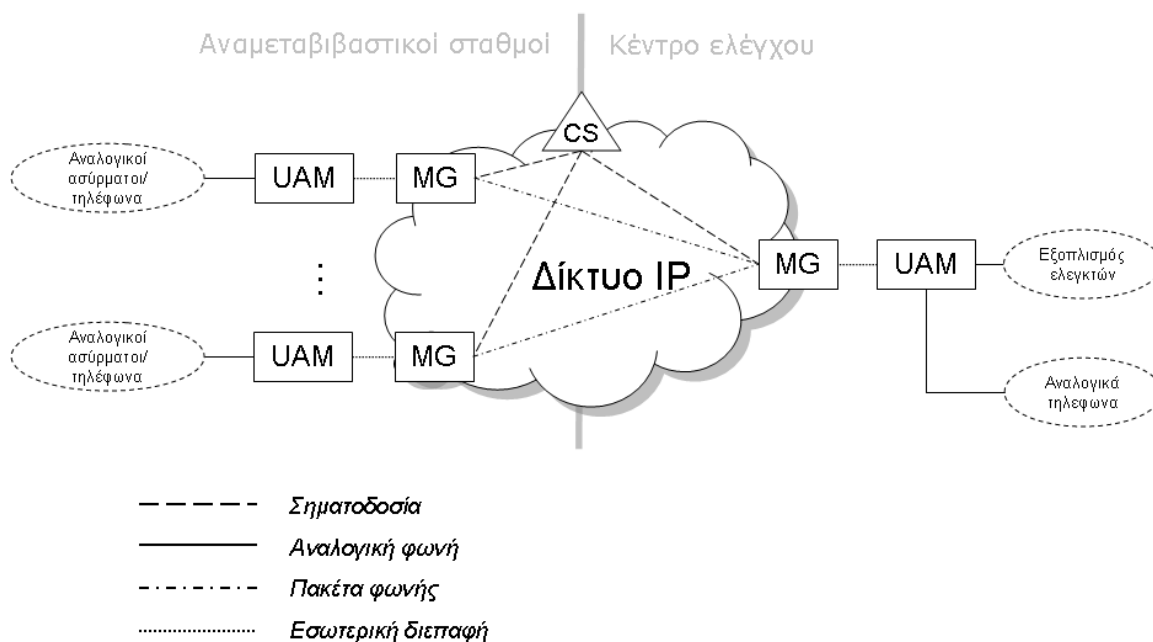


Σχήμα 17. Μετάβαση από δίκτυο PSTN/ISDN σε NGN

Το παραπάνω σχήμα μπορεί να απλοποιηθεί σημαντικά στα πλαίσια του περιβάλλοντος της αεροναυτιλίας καθώς:

1. Στην πλευρά του αναμεταβιβαστικού σταθμού, η λειτουργικότητα που απαιτείται μπορεί να θεωρηθεί πως περιορίζεται σε:
 - i. Μία οντότητα πρόσβασης χρήστη (UAM), που επιτρέπει την υλοποίηση των απαραίτητων διεπαφών με ασυρμάτους και τηλέφωνα
 - ii. Μία οντότητα πύλης πολυμέσων (MG) που μετατρέπει την αναλογική φωνή από τους ασυρμάτους και τα τηλέφωνα σε πακέτα IP
2. Στην πλευρά του κέντρου ελέγχου ισχύει ακριβώς η ίδια προσέγγιση
3. Δεν υπάρχει απαίτηση για διεπαφή του υπό μελέτη συστήματος με εξωτερικά δίκτυα PSTN/ISDN, οπότε οι οντότητες Trunking Media Gateway και Signaling Gateway δεν είναι απαραίτητες
4. Λόγω της φύσεως της εφαρμογής, το επίπεδο εφαρμογής/υπηρεσίας μπορεί να υποστηριχθεί αμιγώς εντός των επιπέδων μεταφοράς φωνής και ελέγχου/σηματοδότησης

5. Η λειτουργικότητα του επιπέδου διαχείρισης μπορεί να καταμεριστεί ανάμεσα στα επίπεδα μεταφοράς και σηματοδοσίας λόγω της απλότητάς του
Η απλοποιημένη αρχιτεκτονική που θα χρησιμοποιηθεί στο υπόλοιπο του κειμένου φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα, όπου έχουν θεωρηθεί πολλαπλοί αναμεταβιβαστικοί σταθμοί.



Σχήμα 18. Η απλοποιημένη αρχιτεκτονική NGN

4.2 Η απλοποιημένη αρχιτεκτονική NGN σε περιβάλλον δορυφορικού IP

Η προσέγγιση που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο μπορεί να φαίνεται λογική και κατάλληλη για υλοποίηση εκτός από ένα σοβαρό πρόβλημα: την καθυστέρηση που επάγει η δορυφορική επικοινωνία που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από το υπό μελέτη σύστημα εάν χρησιμοποιηθεί κεντροποιημένος έλεγχος κλήσης μέσω μίας και μόνης οντότητας CS (Call server). Παρόλο που είναι κατανοητό πως δεν είναι δυνατόν η καθυστέρηση αυτή να αποφευχθεί για την μετάδοση της φωνής (κάτι που έχει ήδη ληφθεί υπ' όψιν στην εξαγωγή των απαιτήσεων – βλέπε παράγραφο 3.1), θα πρέπει να εκτιμηθεί η επίδρασή της στα μηνύματα σηματοδοσίας που ανταλλάσσονται μεταξύ των οντοτήτων MG και CS σε σχέση με την απαίτηση για την καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης που καταγράφηκε στην παράγραφο 3.6. Προς την κατεύθυνση αυτή θα παρουσιαστεί μία ποιοτική ανάλυση των πρωτοκόλλων που προτείνονται για την υλοποίηση της διεπαφής αυτής.

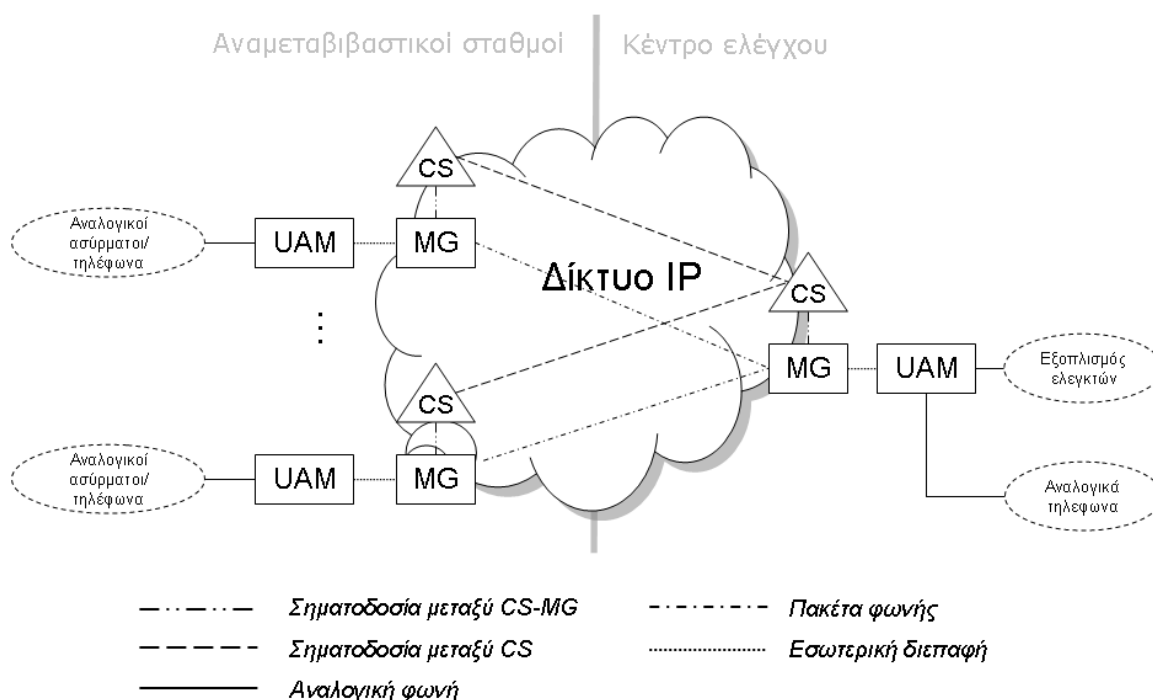
Τα υπονήφια πρωτόκολλα είναι τα MGCP/MEGACO, MAP και RANAP. Τα 2 τελευταία χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα δικτύων κινητής τηλεφωνίας και δεν αφορούν την παρούσα μελέτη, άρα η οικογένεια πρωτοκόλλων MGCP/MEGACO (Media Gateway Control Protocols) είναι η προφανής επιλογή.

Αρχικά, τα MGCP και MEGACO αποτελούσαν 2 ξεχωριστές προσεγγίσεις με την πρώτη να ακολουθείται από τον φορέα IETF και τη δεύτερη από την ITU. Πρόσφατα, σχηματίστηκε μία κοινή ομάδα και τα 2 πρωτόκολλα συνενώθηκαν σε ένα με το όνομα H.248/MEGACO που περιγράφεται στο σχετικό πρότυπο (βλέπε Αναφορά 41).

Τα παραδείγματα της διαδικασίας που ακολουθείται για την εγκατάσταση μίας κλήσης που παρέχονται στο Appendix I του εν λόγω προτύπου καταδεικνύουν το αδιέξοδο της προσέγγισης του κεντροποιημένου ελέγχου κλήσεων για εφαρμογές αεροναυτιλίας και όταν χρησιμοποιούνται δορυφορικά δίκτυα καθώς η καθυστέρηση των 250 ms σε συνδυασμό με τις δεκάδες των μηνυμάτων που απαιτούνται για να σηματοδοτηθεί μία κλήση καθιστούν την

επίτευξη του ορίου των 2 sec για την εγκατάσταση μίας κλήσης σύμφωνα με την παράγραφο 3.6 απλά αδύνατη.

Η διέξοδος που ακολουθήθηκε ήταν να υποστηριχθεί η λειτουργικότητα του Call Server και στα 2 άκρα και να υλοποιηθεί ένα πιο αποτελεσματικό πρωτόκολλο με μικρότερο αριθμό μηνυμάτων μεταξύ των 2 Call Servers διατηρώντας το πρωτόκολλο MEGACO για την επικοινωνία μεταξύ των αντίστοιχων οντοτήτων MG και CS. Οι επικρατούσες επιλογές σύμφωνα με το Σχήμα 16 ήταν το πρωτόκολλο SIP (Session Initiation Protocol, βλέπε Αναφορά 42) και το H.323 (βλέπε Αναφορά 43). Η προσέγγιση του αποκεντρωμένου ελέγχου κλήσης φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 19. Η προσέγγιση του αποκεντρωμένου ελέγχου κλήσης

4.3 Επιλογή του πρωτοκόλλου σηματοδοσίας μεταξύ των οντοτήτων CS

Οι παράμετροι που θα μπορούσαν να ληφθούν υπ'όψιν για την επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου για την υλοποίηση της διεπαφής μεταξύ των οντοτήτων CS που συμμετέχουν στην εγκατάσταση μίας κλήσης ασυρμάτου ή τηλεφώνου με χρήση του υπό μελέτη συστήματος είναι πολλές. Η Αναφορά 44 παρουσιάζει μία πλήρη σύγκριση μεταξύ των 2 επιλογών (SIP και H.323) και το υπόλοιπο της παραγράφου βασίζεται στο κείμενο αυτό. Το σύνολο παραμέτρων που θεωρήθηκε ότι σχετίζονται με την εφαρμογή και χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή ήταν:

- Η πολυπλοκότητα της ανάπτυξης και εκσφαλμάτωσης του πρωτοκόλλου
- Η επεκτασιμότητα του πρωτοκόλλου ώστε να μπορούν μελλοντικά να προστεθούν λειτουργίες
- Η δυνατότητα του πρωτοκόλλου να υποστηρίζει μεγάλο αριθμό ταυτόχρονων κλήσεων
- Η καθυστέρηση της εγκατάστασης της κλήσης που μπορεί να επιτευχθεί

Σε ότι αφορά την πρώτη παράμετρο, το πρωτόκολλο H.323 είναι εξαιρετικά πιο πολύπλοκο από το SIP στην υλοποίηση και υποστήριξη και για τον λόγο αυτό έχει περιοριστεί σημαντικά η χρήση του από τη βιομηχανία. Ο λόγος είναι ότι χρησιμοποιεί μία δυαδική αναπαράσταση

των μηνυμάτων, βασισμένη στη σύνταξη Abstract Syntax Notation One (ASN.1) και στους κανόνες Packed Encoding Rules (PER), με αποτέλεσμα να απαιτούνται ειδικές οντότητες λογισμικού για να συναρμολογήσουν και ερμηνεύσουν τα μηνύματα. Αντιθέτως, το SIP κωδικοποιεί τα μηνύματα που χρησιμοποιεί ως κείμενο, με έναν τρόπο πολύ όμοιο με το HTTP. Συνεπακόλουθα, η ανάπτυξη και εκσφαλμάτωση είναι ιδιαίτερα εύκολες και δεν απαιτούν ειδικά εργαλεία. Επιπλέον, λόγω της ευρείας αποδοχής του, υπάρχει συνεχής υποστήριξη καθώς το πρωτόκολλο αναπτύσσεται, κάτι που δεν συμβαίνει με το H.323. Άρα, σε ότι αφορά στην πολυπλοκότητα της ανάπτυξης και εκσφαλμάτωσης, το πρωτόκολλο SIP είναι ο αδιαμφισβήτητος νικητής.

Η επεκτασιμότητα κρίθηκε ως εξίσου σημαντική, ειδικά σε ένα καινοτόμο πεδίο όπως είναι η μεταφορά αεροναυτικών επικοινωνιών πάνω από δίκτυα IP. Στο πρωτόκολλο SIP χρησιμοποιούνται αριθμητικά πεδία για τις κλάσεις των μηνυμάτων και οι βασικές λειτουργίες ορίζονται από την εκατοντάδα που ανήκουν οι κλάσεις αυτές, με τρόπο αντίστοιχο με αυτόν που χρησιμοποιείται στο HTTP, άρα τα τερματικά που συμμετέχουν σε μία κλήση έχουν ανάγκη υποστήριξης μόνον των κωδικών μηνυμάτων που τους αφορούν. Αν λοιπόν παραστεί ανάγκη να επεκταθεί το πρωτόκολλο με νέες λειτουργίες, το μόνο που πρέπει να γίνει είναι να προστεθούν νέες κλάσεις μηνυμάτων χωρίς να επηρεαστεί η διαλειτουργικότητα με παλαιότερα τερματικά.

Το H.323 προσφέρει την ίδια δυνατότητα μέσω της προσθήκης πεδίων στη δυαδική αναπαράσταση των μηνυμάτων ASN.1 με κωδικοποίηση του κατασκευαστή στον οποίο ανήκει η υλοποίηση των επιπλέον λειτουργιών. Προφανώς, αν απαιτείται η ανάπτυξη μίας νέας λειτουργίας και δεν υπάρχει η δυνατότητα κωδικοποίησής της, δεν μπορεί να υποστηριχθεί. Επιπροσθέτως, δημιουργείται ένα εχθρικό περιβάλλον για τη διαλειτουργικότητα μεταξύ τερματικών διαφορετικών κατασκευαστών. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε αποδεικνύει καταφανώς πως το H.323 αποτέλεσε πρότυπο που επιβλήθηκε από τη βιομηχανία ενώ το SIP, προερχόμενο από τον κόσμο του Internet και της IETF, σχεδιάστηκε ώστε να είναι ανοικτό και προσαρμόσιμο. Για τους λόγους αυτούς γνωρίζει μεγάλη αποδοχή μέσω της συμμετοχής στην ανάπτυξή του και είναι το προτιμητέο πρωτόκολλο σε ότι αφορά την επεκτασιμότητα.

Η δυνατότητα υποστήριξης μεγάλου αριθμού ταυτόχρονων κλήσεων περιορίζεται προφανώς από την απαιτούμενη επεξεργαστική ισχύ για την επεξεργασία των μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της κλήσης. Υπάρχουν βιβλιογραφικά στοιχεία που καταδεικνύουν ως λιγότερο απαιτητικά τα πρωτόκολλα που βασίζονται σε μηνύματα κειμένου και άλλα που παρουσιάζουν αποδείξεις πως το ίδιο ισχύει για πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν δυαδικά μηνύματα. Είναι λογικό λοιπόν κανείς να υποθέσει πως οι αποδοτικές υλοποιήσεις και των 2 πρωτοκόλλων αναμένονται να είναι ισοδύναμες και σε κάθε περίπτωση, η πολυπλοκότητα της εκτέλεσής τους δεν αποτελεί αποφασιστικό παράγοντα.

Η τελευταία παράμετρος που αξιολογήθηκε για την επιλογή ήταν η καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης. Οι πρώτες εκδόσεις του πρωτοκόλλου H.323 (v1) παρουσίαζαν 2 βασικά προβλήματα, τον μεγάλο αριθμό μηνυμάτων που θα έπρεπε να ανταλλαχθούν μεταξύ των άκρων στη διάρκεια της εγκατάστασης και την υποχρέωση χρήσης του πρωτοκόλλου TCP για την μεταφορά τους. Το αποτέλεσμα ήταν πως απαιτούνται περίπου 6-7 round-trips για να εγκατασταθεί μία κλήση, κάτι που θα οδηγούσε σε χρόνους μεγαλύτερους από 4 δευτερόλεπτα λόγω της χρήσης δορυφορικού IP. Δανειζόμενος ιδέες από το τότε νέο SIP, ο φορέας ανάπτυξης του προτύπου όρισε στην έκδοση v2 και στις μεταγενέστερες εκδόσεις μία λειτουργία “Fast Connect” και επιπλέον στην έκδοση v3 την χρήση UDP για την μεταφορά με αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου εγκατάστασης σε επίπεδα αντίστοιχα με αυτά που επιτυγχάνονται στο SIP, δηλαδή 1.5 round trips, δηλαδή 750 msec. Συνεπακόλουθα, και τα 2 πρωτόκολλα θεωρούνται ισοδύναμα σε ότι αφορά την συγκεκριμένη παράμετρο. Η σύνοψη της ανωτέρω ανάλυσης παρατίθεται στον πιο κάτω πίνακα ανά παράμετρο σύγκρισης.

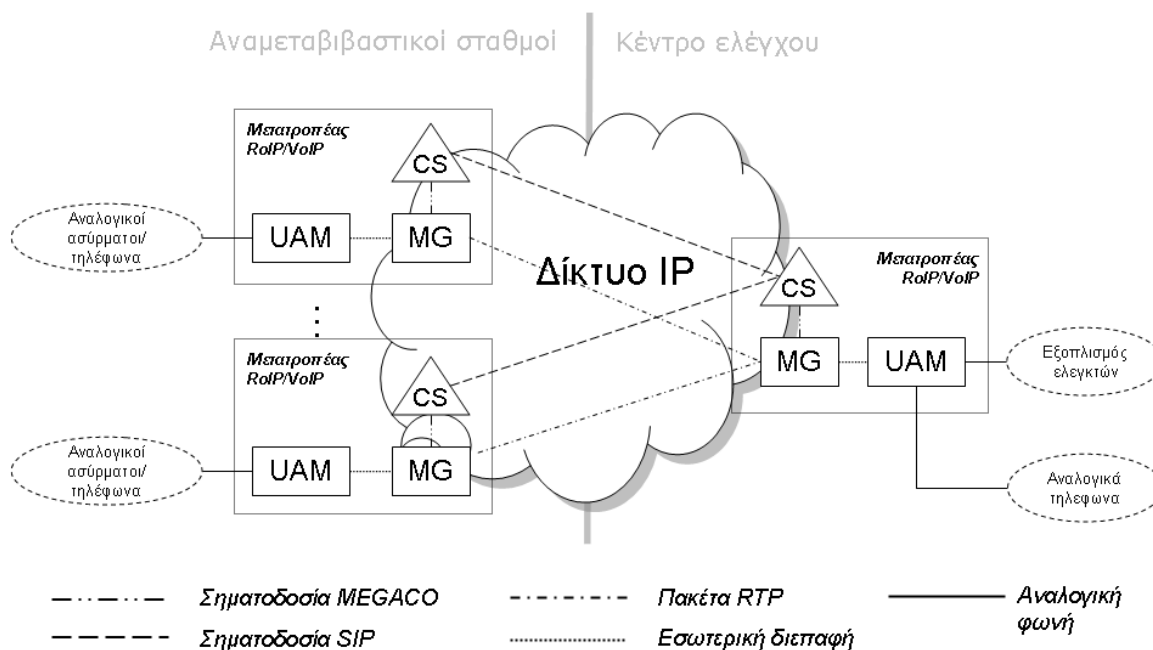
Παράμετρος σύγκρισης	SIP	H.323
Πολυπλοκότητα ανάπτυξης και εκσφαλμάτωσης	✓	✗
Επεκτασιμότητα	✓	✗
Δυνατότητα υποστήριξης μεγάλου αριθμού ταυτόχρονων κλήσεων	Ισοδύναμα	
Καθυστέρηση της εγκατάστασης της κλήσης	Ισοδύναμα	

Πίνακας 14. Σύνοψη της σύγκρισης SIP και H.323

Η επιλογή του SIP ήταν λοιπόν αναμενόμενη. Αξίζει άλλωστε να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο πρωτόκολλο έχει επιλεγεί για την σηματοδότηση από τους φορείς που ασχολούνται με την προτυποποίηση της χρήσης πρωτοκόλλων VoIP στην αεροναυτιλία (βλέπε Αναφορά 8, Αναφορά 9 και Αναφορά 10).

4.4 Σύνοψη της προς υλοποίηση αρχιτεκτονικής NGN

Συνοψίζοντας την ανάλυση των προηγούμενων παραγράφων και τα όσα παρουσιάζονται στο Σχήμα 16, αποφασίστηκε η λειτουργικότητα των οντοτήτων MG, CS και UAM να υλοποιηθεί εντός ενός συστήματος (τον μετατροπέα Radio over IP/Voice over IP - RoIP/VoIP). Θεωρήθηκε επίσης πως το δορυφορικό IP δίκτυο θα παρέχεται από εξωτερικό εξοπλισμό. Οι οντότητες MG εντός των μετατροπέων RoIP/VoIP των 2 άκρων θα πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο RTP και με τους αντίστοιχους CS με χρήση του πρωτοκόλλου H.248/MEGACO. Οι CS εντός των μετατροπέων RoIP/VoIP των 2 άκρων θα επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο SIP. Η τελική μορφή της αρχιτεκτονικής που επιλέχθηκε φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα μαζί με τα πρωτόκολλα που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση των διεπαφών.



Σχήμα 20. Η αρχιτεκτονική NGN που επιλέχθηκε για το υπό μελέτη σύστημα και τα αντίστοιχα πρωτόκολλα

4.5 Υλοποίηση της αρχιτεκτονικής NGN

Οι αποφάσεις που έπρεπε πλέον να ληφθούν σχετίζονταν με τον τρόπο που θα έπρεπε να καταμεριστεί η λειτουργικότητα που παρουσιάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους ώστε να επιτευχθεί μία οικονομική υλοποίηση που να εκπληρώνει τις απαιτήσεις στην ποιότητα της υπηρεσίας που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.7.

Η πρώτη απόφαση ήταν πως ο μετατροπέας RoIP/VoIP, λόγω του περιβάλλοντος στο οποίο καλείται να λειτουργήσει, θα έπρεπε να υλοποιηθεί ως ένα ενσωματωμένο σύστημα. Επιπλέον, λόγω των υψηλών απαιτήσεων για ψηφιακή επεξεργασία σημάτων (υλοποίηση πολλαπλών κωδικοποιητών/αποκωδικοποιητών φωνής) και των ασυνήθων διεπαφών με ασυρμάτους, ήταν αναμενόμενο πως θα απαιτούνταν η ανάπτυξη ειδικού υλικού για την υλοποίηση της οντότητας UAM. Επιπροσθέτως και σε ότι αφορά την υλοποίηση των οντοτήτων MG και CS σε λογισμικό, ήταν προφανές πως παρουσιάζουν διαφορετικές ανάγκες εκτέλεσης:

- Η οντότητα MG, καθώς αναλαμβάνει τον χειρισμό ροών φωνής, εκτελεί εργασίες πραγματικού χρόνου (real-time)
- Η οντότητα CS, καθώς λειτουργεί μόνο κατά την εγκατάσταση και κατάργηση κλήσεων και σπάνια στη διάρκεια αυτών, έχει αρκετά πιο χαλαρές ανάγκες στον χρόνο εκτέλεσης

Η διαφοροποίηση αυτή καταδεικνύει την ανάγκη για υποστήριξη διαφορετικών προτεραιοτήτων εκτέλεσης λογισμικού από το λειτουργικό του ενσωματωμένου συστήματος. Τέλος, η υλοποίηση του δορυφορικού δικτύου αποφασίστηκε να βασιστεί σε εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα και τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Οι ενέργειες που έπρεπε λοιπόν να γίνουν προς την κατεύθυνση της υλοποίησης και πειραματικής αξιολόγησης του υπό μελέτη συστήματος ήταν:

- Η ανάπτυξη σε επίπεδο υλικού και λογισμικού ενός μετατροπέα RoIP/VoIP
- Η αγορά δορυφορικού εξοπλισμού και η ενοικίαση δορυφορικού φάσματος για την υλοποίηση του απαραίτητου τηλεπικοινωνιακού διαύλου
- Η εγκατάσταση του συστήματος σε επιχειρησιακό περιβάλλον
- Η στενή και μακρόχρονη συνεργασία με τους χρήστες του συστήματος, δηλαδή τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας, για την αξιολόγησή του, κάτι το οποίο δεν μπορεί να συμβεί χωρίς την έγκριση της διοίκησης μίας Υπηρεσίας Εναέριας Κυκλοφορίας, καθώς οι κανονισμοί είναι σαφείς και αυστηροί

Είναι σαφές πως στα στενά πλαίσια μίας διδακτορικής διατριβής, τα προαναφερθέντα θα ήταν αδύνατα, τόσο για λόγους κόστους όσο και γιατί δεν είναι δυνατή η διενέργεια τέτοιου είδους μετρήσεων σε περιβάλλον εργαστηρίου. Για τον λόγο αυτό προτάθηκε στην Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (European Space Agency – ESA) να χρηματοδοτήσει ένα έργο με ακριβώς αυτό το περιεχόμενο. Η πρόταση αυτή υποβλήθηκε από κοινού με τη Γενική Διεύθυνση Αεροναυτιλίας της Ελληνικής Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ), η οποία έδειξε εξαιρετικό ενδιαφέρον για τα αποτελέσματα.

Η προσπάθεια στέφθηκε με επιτυχία και το έργο με τίτλο SATWAYS (βλέπε Αναφορά 45 και Αναφορά 46) ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 2006. Καθώς προτάθηκε από την ΥΠΑ η εγκατάσταση να γίνει στο ελικοδρόμιο της Πάτμου, το σύστημα εμπλουτίστηκε με 3 ακόμη υπηρεσίες με σκοπό την χρησιμοποίηση του δορυφορικού φάσματος για:

- Την τηλε-επίβλεψη και τηλε-έλεγχο της εγκατάστασης του ελικοδρομίου
- Την μεταφορά δεδομένων καιρού με την εγκατάσταση μετεωρολογικού σταθμού στο ελικοδρόμιο
- Την μεταφορά δεδομένων video από κλειστό κύκλωμα παρακολούθησης

Οι επεκτάσεις αυτές έδωσαν στην ΥΠΑ την δυνατότητα να αυξήσει την ασφάλεια των προσγειώσεων/απογειώσεων ελικοπτέρων που χρησιμοποιούνται κυρίως για αεροδιακομιδή ασθενών. Συνοπτικά στοιχεία για την υλοποίηση των επιπλέον υπηρεσιών παρέχονται στην παράγραφο 4.14 για λόγους πληρότητας, παρόλο που δεν αποτελούν τμήμα της παρούσας εργασίας. Οι παράγραφοι που ακολουθούν παρουσιάζουν με λεπτομέρεια την υλοποίηση τόσο του υλικού όσο και του λογισμικού του μετατροπέα RoIP/VoIP καθώς και του δορυφορικού δικτύου, ούτως ώστε να αποδειχθεί η εκπλήρωση των απαιτήσεων της παραγράφου 3.7 με πειραματικές μετρήσεις, οι οποίες παρατείνονται στη συνέχεια.

4.6 Το υλικό του μετατροπέα RoIP/VoIP

Ο μετατροπέας RoIP/VoIP σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας ως βάση τον ελεγκτή RSC-10 της εταιρίας inAccess. Ο RSC-10 είναι ένας έξυπνος ελεγκτής που εγκαθίσταται στο πεδίο και ενδείκνυται για μία πληθώρα εφαρμογών όπως:

- Διαχείριση ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων
- Διαχείριση κτιρίων
- Βιομηχανικό αυτοματισμό
- Εφαρμογές ασφάλειας και ελέγχου πρόσβασης
- Τηλεμετρία
- Διαχείριση ενέργειας

Ο ελεγκτής RSC-10 είναι αρθρωτός και επεκτάσιμος, καθώς βασίζεται σε μία αρχιτεκτονική εσωτερικού διαύλου (backplane) πάνω στην οποία συνδέονται διάφορες μονάδες με την μορφή κάρτας υλικού που περιλαμβάνουν:

- Τροφοδοτικό
- Μονάδα επεξεργαστή γενικού σκοπού (general-purpose CPU)
- Μονάδα ψηφιακών εισόδων και εισόδων μέτρησης παλμών
- Μονάδα ψηφιακών εξόδων
- Μονάδα αναλογικών εισόδων (ρεύματος – 0-20 ή 4-20 mA, τάσης ή αντίστασης)
- Μονάδα αναλογικών εξόδων
- Μονάδα σειριακών διεπαφών RS-232/RS-485

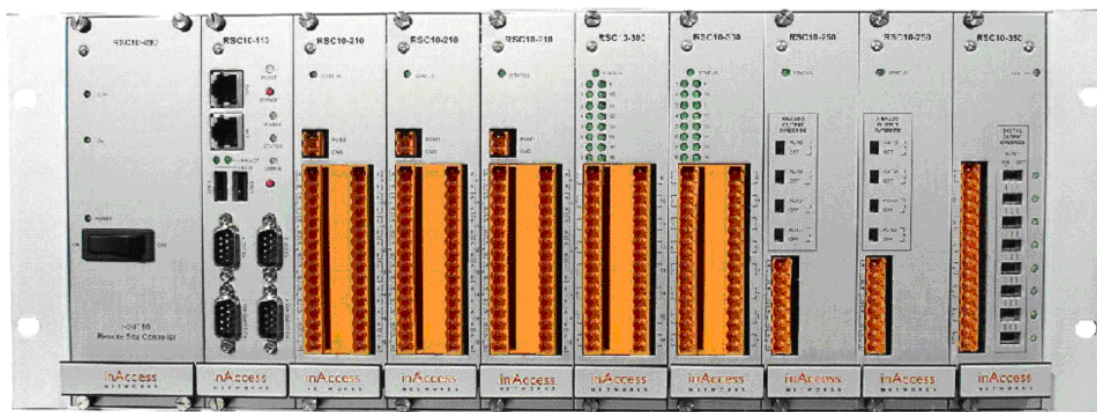
Οι μονάδες αυτές υλοποιούν μία ποικιλία φυσικών διασυνδέσεων με τον εξοπλισμό πεδίου είτε απ'ευθείας, είτε μέσω διαύλων που χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία (Modbus, LON, EIB, BACNET κ.α.). Η επικοινωνία των μονάδων εισόδων/εξόδων με τη μονάδα επεξεργαστή επιτυγχάνεται μέσω του backplane χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο υψηλών επιδόσεων που ονομάζεται POPBUS. Ένας πλήρως εξοπλισμένος ελεγκτής (16 συνδεδεμένες μονάδες εκτός της τροφοδοσίας και της μονάδας επεξεργαστή) μπορεί να επικοινωνήσει με έως 512 σήματα πεδίου, ενώ εάν χρησιμοποιηθούν και εξωτερικοί δίαυλοι, ο αριθμός αυτός ανεβαίνει στα 8192 σήματα.

Η μονάδα επεξεργαστή είναι βασισμένη στον επεξεργαστή XScale PXA255 της εταιρίας Intel που λειτουργεί σε συχνότητα 400MHz. Ενσωματώνει έως 128 MB μνήμης SDRAM και 64 MB μνήμης flash. Επιπλέον, υποστηρίζει τα ακόλουθα περιφερειακά:

- 1x 10/100Mbps διεπαφή Ethernet
- 2x διεπαφές USB host
- 2x ασύγχρονες σειριακές διεπαφές RS232
- 2x ασύγχρονες σειριακές διεπαφές RS232 / RS485
- Ρολόι πραγματικού χρόνου με μπαταρία
- Επεξεργαστή διαχείρισης κατανάλωσης
- 4 χρονιστές με ακρίβεια μικροδευτερολέπτου

Ο ελεγκτής RSC-10 υποστηρίζεται από μία εκτενή σουίτα λογισμικού που επιτρέπει την υλοποίηση πολύπλοκων εφαρμογών και η οποία βασίζεται στα ακόλουθα:

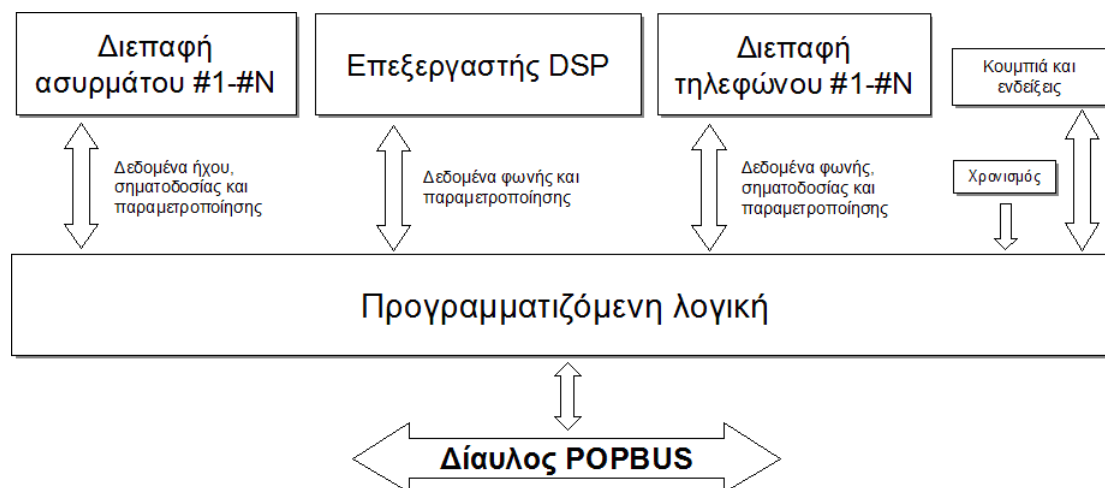
- Λειτουργικό σύστημα Linux βασισμένο στον πυρήνα 2.6 με υποστήριξη λειτουργιών πραγματικού χρόνου
- Μία πρωτοποριακή και ανοικτή πλατφόρμα προγραμματισμού, εκτέλεσης και ελέγχου εφαρμογών (το λειτουργικό σύστημα εφαρμογών ελέγχου TEL3)



Εικόνα 5. Ο ελεγκτής RSC-10

4.7 Η μονάδα επέκτασης φωνής

Είναι προφανές πως παρόλο που ο ελεγκτής RSC-10 ήταν εξαιρετικά σημαντικός ως εργαλείο ανάπτυξης των καινοτόμων εφαρμογών που απαιτούνται στην παρούσα εργασία, δεν παρείχε υποστήριξη για τις διεπαφές εκείνες που ήταν απαραίτητες για την εφαρμογή. Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μία καινούργια μονάδα υλικού, η μονάδα επέκτασης φωνής (Voice Extension Function – VEF) ούτως ώστε να προστεθεί η δυνατότητα διεπαφής του ελεγκτή με ασυρμάτους και τηλεφωνικές συσκευές καθώς και να υποστηριχθούν οι εκτεταμένες απαιτήσεις ψηφιακής επεξεργασίας σημάτων που επάγονται από την εφαρμογή. Η αρχιτεκτονική της μονάδας VEF φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



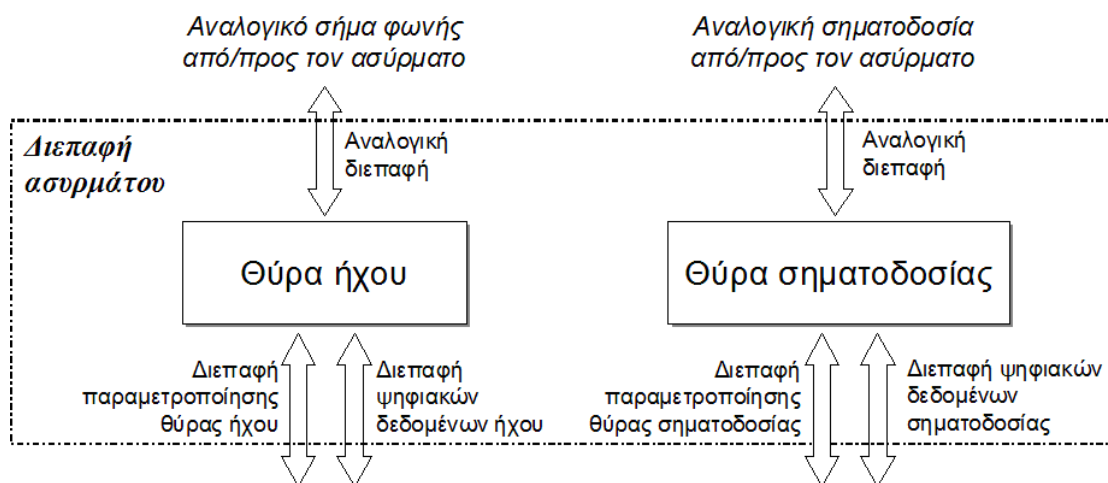
Σχήμα 21. Η αρχιτεκτονική της μονάδας VEF

Οι ακόλουθες παράγραφοι περιγράφουν τα βασικά στοιχεία σχεδίασης και υλοποίησης της μονάδας αυτής.

4.7.1 Η διεπαφή ασυρμάτου

Η διεπαφή ασυρμάτου σχεδιάστηκε ώστε να υλοποιεί το φυσικό επίπεδο της επικοινωνίας του μετατροπέα RoIP/VoIP με ραδιοπομποδέκτες, συστήματα μεταγωγής ραδιοκλήσεων καθώς και συστήματα ηχογράφησης. Το υλικό που αναπτύχθηκε υποστηρίζει 4 διεπαφές ασυρμάτου που μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα.

Κάθε διεπαφή ασυρμάτου αποτελείται από δύο τμήματα, τη θύρα ήχου (audio port) και την θύρα σηματοδότησης (signaling port), που παρέχουν τόσο την απαιτούμενη ηλεκτρική διασύνδεση με τον εξωτερικό εξοπλισμό όσο και τις απαιτούμενες μετατροπές από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα και αντίστροφα. Η προσέγγιση φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 22. Η διεπαφή ασυρμάτου

4.7.1.1 Η θύρα ήχου

Το αρχιτεκτονικό διάγραμμα της θύρας ήχου που υλοποιήθηκε φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 23. Αρχιτεκτονικό διάγραμμα της θύρας ήχου

Η σχεδίαση βασίστηκε σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα αναλογικοψηφιακού μετατροπέα φωνής (voice codec) που εκτελεί όλες τις βασικές λειτουργίες μετατροπής της φωνής από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα και αντίστροφα καθώς και την παροχή όλων των απαραίτητων διεπαφών με άλλες λειτουργικές μονάδες. Ακόμη περιλαμβάνει πλήρως προγραμματιζόμενα ψηφιακά και αναλογικά κέρδη και αποσβέσεις. Το εξωτερικό αναλογικό κύκλωμα υλοποιεί τα διάφορα απαραίτητα στάδια ενίσχυσης και στις δύο κατευθύνσεις μετάδοσης καθώς και συμπίεση πλάτους στην λήψη. Τέλος, υλοποιήθηκε το απαραίτητο κύκλωμα προστασίας και απομόνωσης.

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα voice codec που επιλέχθηκε είναι το Texas Instruments TLC320AIC22C. Τα βασικά του χαρακτηριστικά είναι:

- 2 αναλογικοψηφιακοί μετατροπείς (Analog-to-Digital Converters - ADCs) 16-Bit (εκπλήρωση της απαίτησης 9, παράγραφος 3.7)
- 2 ψηφιακοαναλογικοί μετατροπείς (Digital-to-Analog Converters - DACs) 16-Bit (εκπλήρωση της απαίτησης 9, παράγραφος 3.7)
- Ανεξάρτητα προγραμματιζόμενο κέρδος/απόσβεση εκπομπής/λήψης (εκπλήρωση της απαίτησης 8, παράγραφος 3.7)
- Σειριακή διεπαφή πολύπλεξης χρόνου για τον ψηφιοποιημένο ήχο
- Διεπαφή Inter-Integrated Circuit (I2C) για την παραμετροποίηση
- Φίλτρα εκπομπής/λήψης που είναι σύμφωνα με τα πρότυπα ITU-T G.712 και G.722
- Ανεξάρτητα προγραμματιζόμενος ρυθμός δειγματοληψίας για την αναλογικοψηφιακή και ψηφιακοαναλογική μετατροπή
- Τυπικός λόγος Signal-to-Noise + Distortion ίσος με 77-dB για τον ADC
- Τυπικός λόγος Signal-to-Noise + Distortion ίσος με 78-dB για τον DAC
- Υποστήριξη για δειγματοληψία 8 και 16 kHz
- Προενισχυτές για μικρόφωνο, ακουστικό και μεγάφωνο επιλεγόμενοι μέσω της διεπαφής παραμετροποίησης
- Δυνατότητα σύνδεσης σε σειρά έως 4 ολοκληρωμένων για υποστήριξη έως 8 καναλιών
- Διαφορικές έξοδοι
- Χαμηλή διαφωνία (Crosstalk) < -85 dB
- Τυπική κατανάλωση ίση με 120 mW με δυνατότητα απενεργοποίησης μέσω λογισμικού

Χρησιμοποιήθηκαν 2 ολοκληρωμένα για την υποστήριξη 4 θυρών ήχου.

Το εξωτερικό αναλογικό κύκλωμα υλοποιήθηκε με χρήση του ολοκληρωμένου NE570 της εταιρίας ON Semiconductors, το οποίο υποστηρίζει 2 διαφορετικές ρυθμίσεις κέρδους και συμπίεση/αποσυμπίεση πλάτους. Οι ενισχυτές μεταβλητού κέρδους είναι σταθμισμένοι σε σχέση με τη θερμοκρασία. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 4 τέτοια ολοκληρωμένα.

Η θύρα ήχου προστατεύεται από αιχμές και μόνιμες υπερεντάσεις σύμφωνα με το πρότυπο EN60950, χρησιμοποιώντας μία ασφάλεια τύπου Littelfuse 461 1.25 και ένα sidactor.

Επιπροσθέτως, υλοποιήθηκε ένα βαθυπερατό φίλτρο σε κάθε θύρα ήχου έτσι ώστε να εξαλείφονται οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σύμφωνα με το πρότυπο EN 55024:1998. Η επιθυμητή απομόνωση επιτυγχάνεται με την χρήση τεσσάρων μετασχηματιστών (Tamura 5029 telecommunications transformer) με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Λόγος τυλιγμάτων 1:1 (ακρίβεια $\pm 2\%$)
- Εμπέδηση πρωτεύοντος: 600 Ohms
- Εμπέδηση δευτερεύοντος: 600 Ohms
- Απόκριση συχνότητας: ± 0.2 dB @ 200 Hz έως 4 KHz
- Συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD): -80 dB maximum
- Διηλεκτρική αντοχή: 1875 Vrms για 1 sec τόσο στο πρωτεύον, όσο και στο δευτερεύον

4.7.1.2 Η θύρα σηματοδοσίας

Ο ασύρματος, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι ένα μονόδρομο (half-duplex) τηλεπικοινωνιακό σύστημα και χρησιμοποιεί συγκεκριμένη σηματοδοσία κατά τη διάρκεια μίας εκπομπής ώστε να αποφεύγεται η αλληλοκάλυψη της ομιλίας των εμπλεκόμενων μερών. Η σηματοδοσία αυτή αποτελείται από δύο σήματα:

- Το σήμα Push-to-Talk (PTT), που χρησιμοποιείται για να ενεργοποιηθεί ο πομπός
- Το σήμα Squelch (ή αλλιώς Carrier Operated Relay – COR), το οποίο δημιουργεί ο δέκτης όταν λαμβάνει στη συχνότητα που είναι συντονισμένος

Εάν υπάρχει, όπως στην περίπτωση του μετατροπέα RoIP/VoIP, εξωτερικός εξοπλισμός συνδεδεμένος με τον πομποδέκτη, η σηματοδοσία αυτή λαμβάνεται μέσω ενός συνόλου σημάτων που συνολικά χαρακτηρίζεται ως E & M (Ear & Mouth) κατά αναλογία με την παλαιότερη αντίστοιχη σηματοδοσία τηλεφωνικών κέντρων. Το σύνολο των σημάτων αυτών μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο του πομποδέκτη και περιλαμβάνει:

- **Το σήμα E (το γράμμα αντιπροσωπεύει τον όρο Ear ή Earth):**
Το σήμα αυτό τίθεται σε λογική στάθμη 1 από τον εξωτερικό εξοπλισμό όταν απαιτείται εκπομπή και τυπικά αντιστοιχίζεται με το πλήκτρο PTT του ασυρμάτου
- **Το σήμα M (το γράμμα αντιπροσωπεύει τον όρο Mouth ή Magnet):**
Το σήμα αυτό τίθεται σε λογική στάθμη 1 από τον δέκτη όταν αυτός λαμβάνει και τυπικά αντιστοιχίζεται με το σήμα Squelch ή COR του ασυρμάτου
- **Τα σήματα SG (Signal Ground) και SB (Signal Battery):**
Χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση κάποιων τύπων σηματοδοσίας

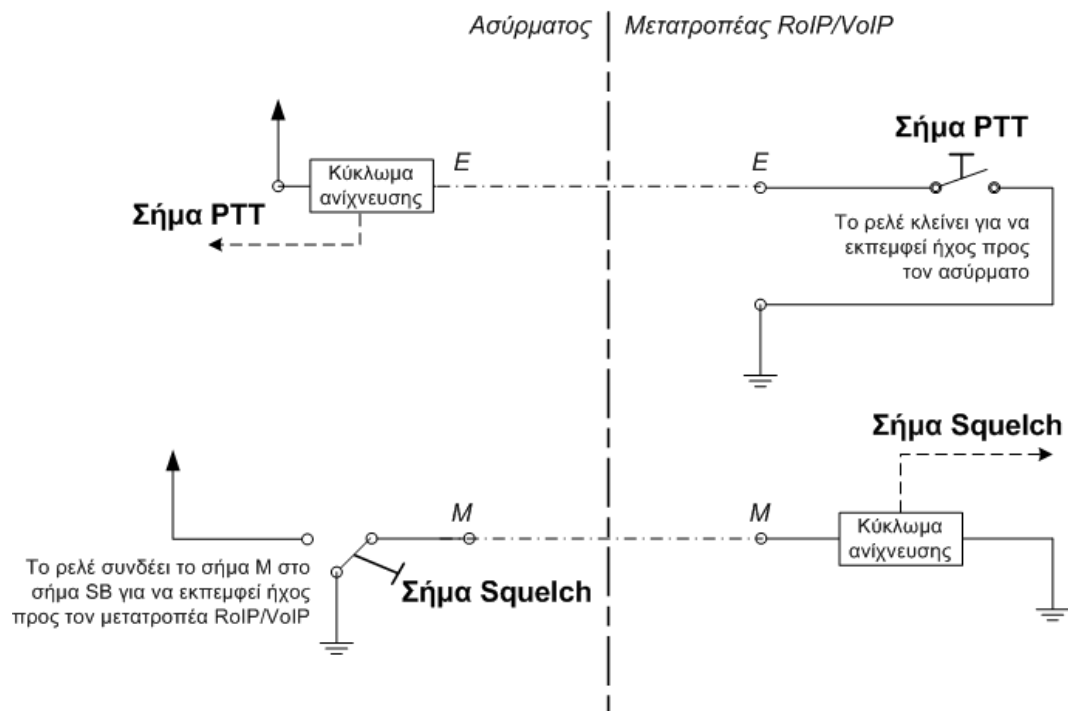
4.7.1.2.1 Οι τύποι σηματοδοσίας ασυρμάτου

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι τύποι σηματοδοσίας ασυρμάτου παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα:

Τύπος σηματοδοσίας E&M	Περιγραφή
I	Χρησιμοποιείται περισσότερο στην Βόρεια Αμερική
II	Χρησιμοποιείται περισσότερο στην Ευρώπη και τον Καναδά
III	Χρησιμοποιείται σπανίως
V	Χρησιμοποιείται συχνότερα από τους άλλους στην Ευρώπη

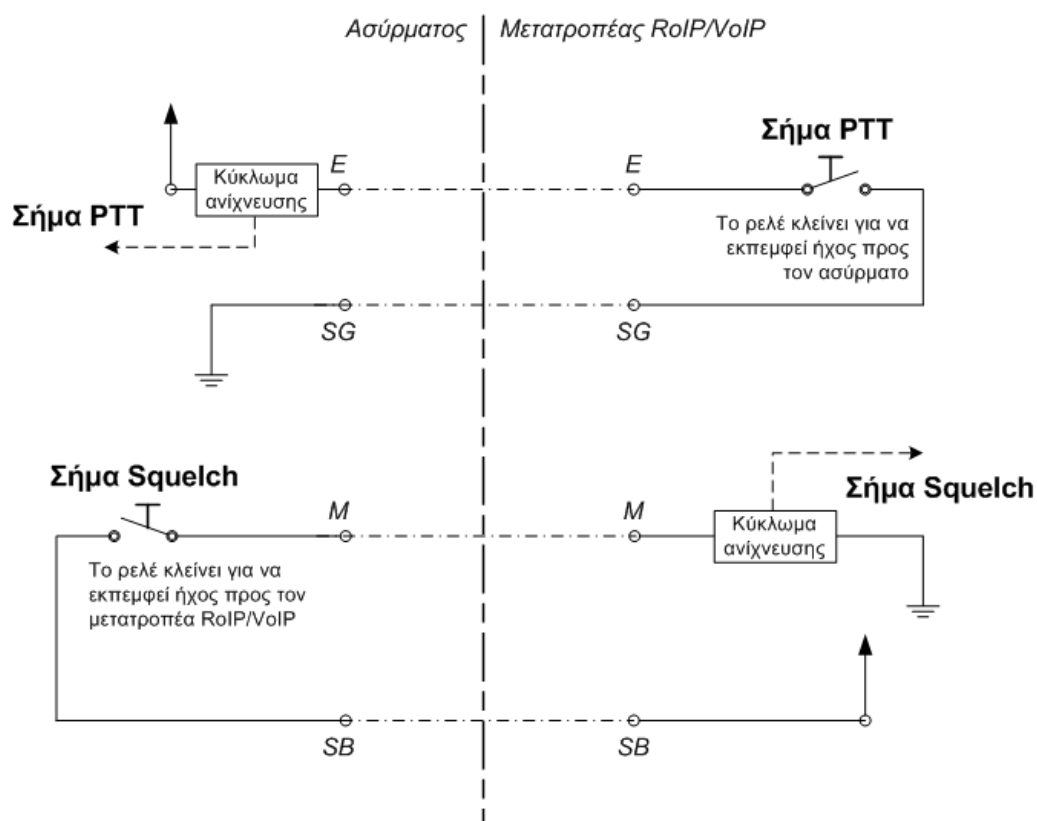
Πίνακας 15. Τύποι σηματοδοσίας ασυρμάτου

Στον τύπο I, ο ασύρματος παρέχει την τάση και στα δύο σήματα E και M. Εάν δεν υπάρχει εκπομπή ή λήψη, το σήμα M γειώνεται και στα 2 άκρα, ενώ το σήμα E παραμένει ανοιχτοκυκλωμένο, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



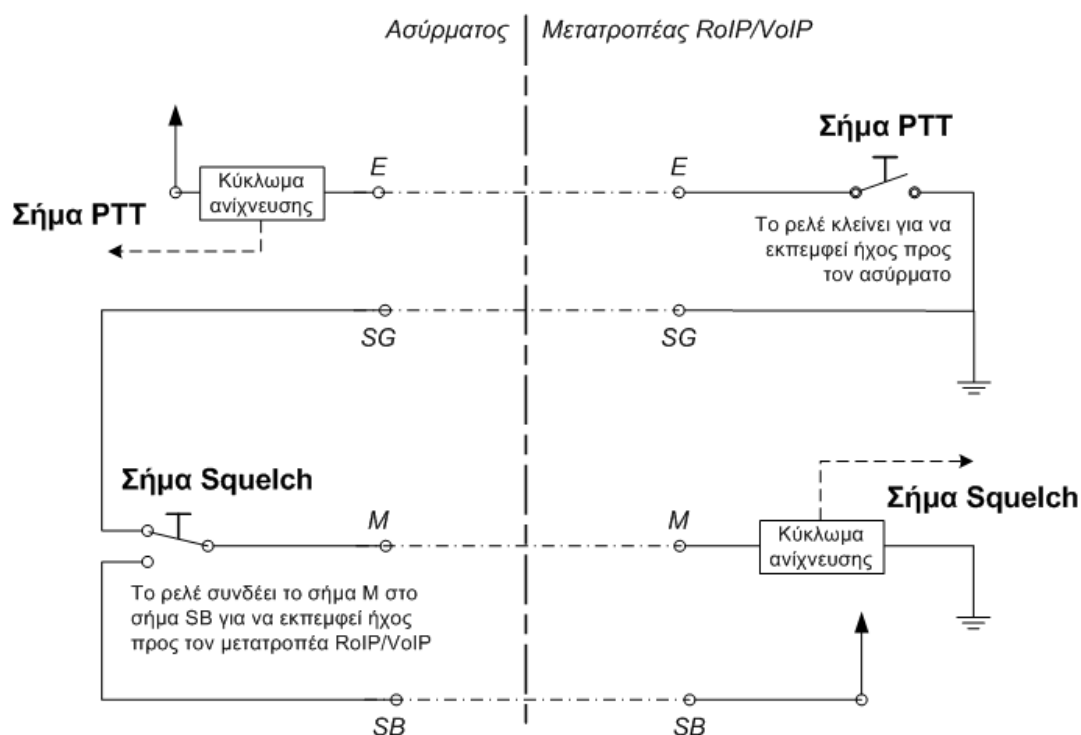
Σχήμα 24. Σηματοδοσία E & M type I

Το πρόβλημα με τον συγκεκριμένο τρόπο σηματοδοσίας είναι ότι απαιτείται η διασύνδεση της τροφοδοσίας και γείωσης του ασυρμάτου και του εξωτερικού εξοπλισμού. Εάν υπάρχει διαφορά δυναμικού, η σηματοδοσία μπορεί να λειτουργεί ή όχι με τυχαίο τρόπο. Ο τύπος II αντιμετωπίζει το πρόβλημα αυτό με την προσθήκη 2 ακόμη σημάτων, των SB και SG. Το σήμα E λειτουργεί ταυτόχρονα με το σήμα SG, ενώ το σήμα M σχετίζεται με το σήμα SB. Ενώ στον τύπο I κάθε κύκλωμα γειώνεται και στις 2 άκρες ενώ στον τύπο II το κάθε κύκλωμα γειώνεται μόνο σε μία άκρη, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



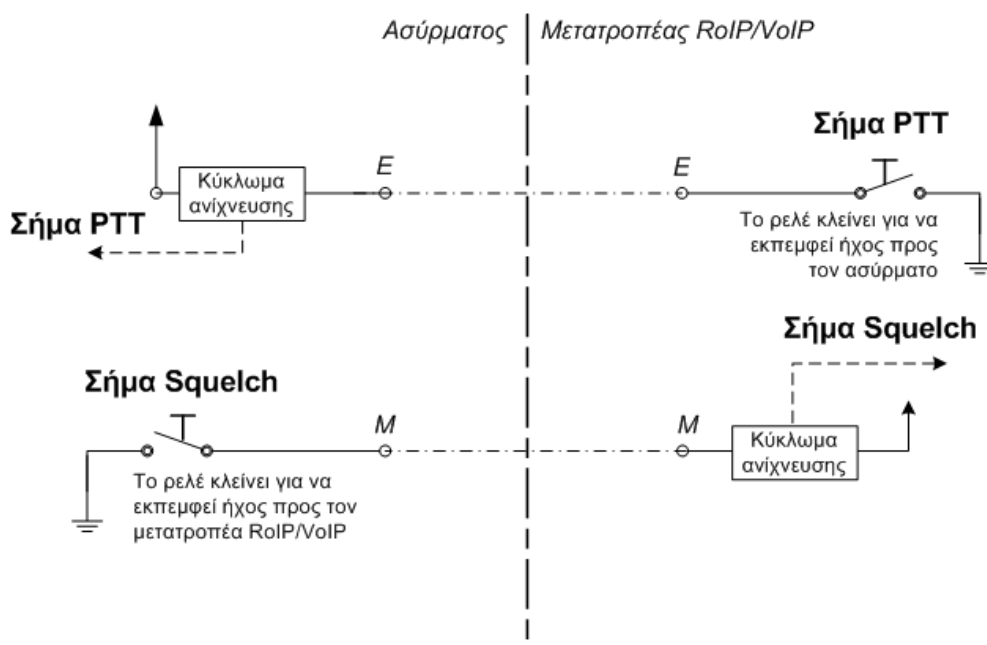
Σχήμα 25. Σηματοδοσία E & M type II

Ο τύπος III χρησιμοποιείται σπάνια. Το σήμα E λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με τον τύπο I, ενώ το σήμα M λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με τον τύπο II. Απουσία σηματοδοσίας, το σήμα M συνδέεται με το SG. Η ενεργοποίηση του επιτυγχάνεται συνδέοντας το σήμα M με το σήμα SB. Το σήμα E ενεργοποιείται με τη σύνδεση του στην γη, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 26. Σηματοδοσία E & M type III

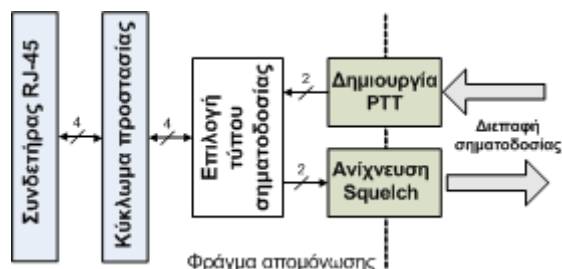
Ο τύπος V είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιήσιμος εκτός Βορείου Αμερικής και διαφέρει από τον τύπο I στην παροχή του σήματος SB στο σήμα M που παρέχεται εξωτερικά στον πομποδέκτη, ενώ στην περίπτωση του σήματος E, το σήμα SB παρέχεται από τον πομποδέκτη, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 27. Σηματοδοσία E & M type V

4.7.1.2.2 Σχεδίαση της θύρας σηματοδοσίας

Η θύρα σηματοδοσίας που υλοποιήθηκε αποτελείται από ένα κύκλωμα παραγωγής σηματοδοσίας PTT και ένα αντίστοιχο κύκλωμα ανίχνευσης Squelch που υποστηρίζουν όλες τις προαναφερθείσες σηματοδοσίες εκτός του τύπου III, ο οποίος έχει εγκαταλειφθεί στην πράξη. Η επιλογή της σηματοδοσίας γίνεται με χρήση βραχυκυκλωτήρων. Η προσέγγιση φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



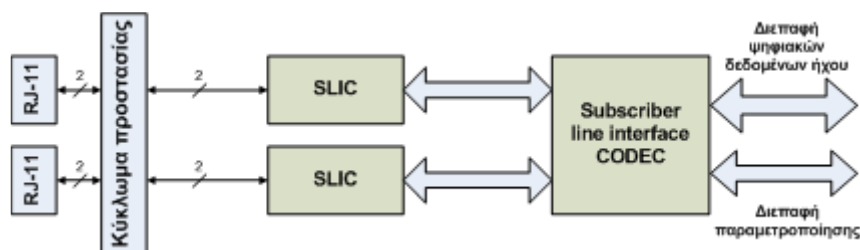
Σχήμα 28. Σχεδίαση της θύρας σηματοδοσίας

Το σήμα PTT παράγεται με τη χρήση ενός ρελέ, το οποίο παρέχει και την απαραίτητη απομόνωση ανάμεσα στον ασύρματο και τα ψηφιακά κυκλώματα του μετατροπέα RoIP/VoIP. Επίσης χρησιμοποιείται ένα varistor για την προστασία της θύρας, σύμφωνα με τα πρότυπα EN61000-4-2 και EN61000-4-5.

Η ανίχνευση της ύπαρξης σήματος squelch επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός οπτοσυζεύκτη (optocoupler), ο οποίος παρέχει και την απαραίτητη απομόνωση ανάμεσα στον ασύρματο και τα ψηφιακά κυκλώματα του μετατροπέα RoIP/VoIP. Ο optocoupler τροφοδοτείται από απομονωμένο μετατροπέα DC/DC και ένας καταστολέας τάσεων (transient voltage suppressor - TVS) χρησιμοποιείται για την προστασία της θύρας, σύμφωνα με τα πρότυπα EN61000-4-2 και EN61000-4-5.

4.7.2 Η διεπαφή τηλεφώνου

Η διεπαφή τηλεφώνου (Foreign Exchange Station – FXS) χρησιμοποιείται για την υλοποίηση του φυσικού επιπέδου της επικοινωνίας του μετατροπέα RoIP/VoIP με αναλογικά τηλέφωνα. Το υλικό που αναπτύχθηκε υποστηρίζει 2 διεπαφές τηλεφώνου που μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη σχεδίαση φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 29. Προσέγγιση για τη σχεδίαση της διεπαφής τηλεφώνου

Η διεπαφή σχεδιάστηκε ώστε να είναι σύμφωνη με το πρότυπο ETSI ES 201 970 (EuroPOTS – πρώην EG 201 188, βλέπε Αναφορά 47 και Αναφορά 48) και υλοποιήθηκε με χρήση ενός ολοκληρωμένου κωδικοποιητή/αποκωδικοποιητή φωνής γραμμής συνδρομητή (subscriber line interface codec). Ο codec που χρησιμοποιήθηκε είναι το ολοκληρωμένο PEB 3265 της εταιρίας Infineon, το οποίο υποστηρίζει 2 τηλεφωνικές συσκευές. Τα βασικά του χαρακτηριστικά είναι:

- Μετατροπή από δισύρματη σε τετρασύρματη γραμμή (2-to-4 wire conversion)
- Προσαρμοστική εξισορρόπηση υβριδικού κυκλώματος (adaptive transhybrid balancing)
- Προσαρμογή εμπέδησης γραμμής (impedance matching)
- Δημιουργία σήματος κωδωνισμού (ringing)
- Εφαρμογή προγραμματιζόμενου κέρδους/απόσβεσης
- Πλήρης προγραμματισιμότητα μέσω διεπαφής παραμετροποίησης
- Δυνατότητα οδήγησης μακριών γραμμών μέσω εξωτερικής τροφοδοσίας
- Δυνατότητα δημιουργίας σήματος κωδωνισμού με τάση έως 85 Vrms (balanced) ή 50 Vrms (unbalanced)
- Υποστήριξη σηματοδοσίας ground/loop start
- Υποστήριξη αναστροφής πολικότητας (polarity reversal)
- Ενσωματωμένος ακυρωτής ηχούς μήκους έως 8 msec συμβατός με το πρότυπο G.168
- Υποστήριξη δειγματοληψίας 8 και 16 kHz και κώδικα εξόδου 8 και 16 bit PCM (εκπλήρωση της απαίτησης 18, παράγραφος 3.7)
- Ενσωματωμένη λειτουργικότητα ελέγχου και διάγνωσης (Integrated test and diagnosis functions – ITDF)
- Σύμφωνο με τα πρότυπα ITU-T Q.552 για τη διεπαφή Z και ITU-T G.712

Τα ολοκληρωμένα Subscriber Line Interface Circuits (SLICs) αναλαμβάνουν την ηλεκτρική προσαρμογή στη γραμμή. Χρησιμοποιήθηκαν 2 ολοκληρωμένα κυκλώματα τύπου PEF 4268 της εταιρίας Infineon με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ενσωματωμένος μετατροπέας DC/DC
- Υποστήριξη μίας τροφοδοσίας (+9 έως +40 V)
- Έξοδος μετατροπέα DC/DC έως - 105 V
- Σήμα κωδωνισμού με τάση έως 92 V peak σε φορτίο 5 REN
- Πλήρως προγραμματιζόμενα χαρακτηριστικά τροφοδοσίας DC
- Προστασία υπερθέρμανσης
- Υποστήριξη λειτουργικότητας ελέγχου και διάγνωσης (ITDF)

Σε ότι αφορά στην προστασία της γραμμής για κορυφές τάσης και μόνιμες υπερεντάσεις, σχεδιάστηκε σύμφωνα με τα πρότυπα ITU K.20/K.21 χρησιμοποιώντας 2 ασφάλειες Bourns MF-SM013/250-2 και ένα κύκλωμα προστασίας από υπέρταση (Bourns TISP6NTP2BD).

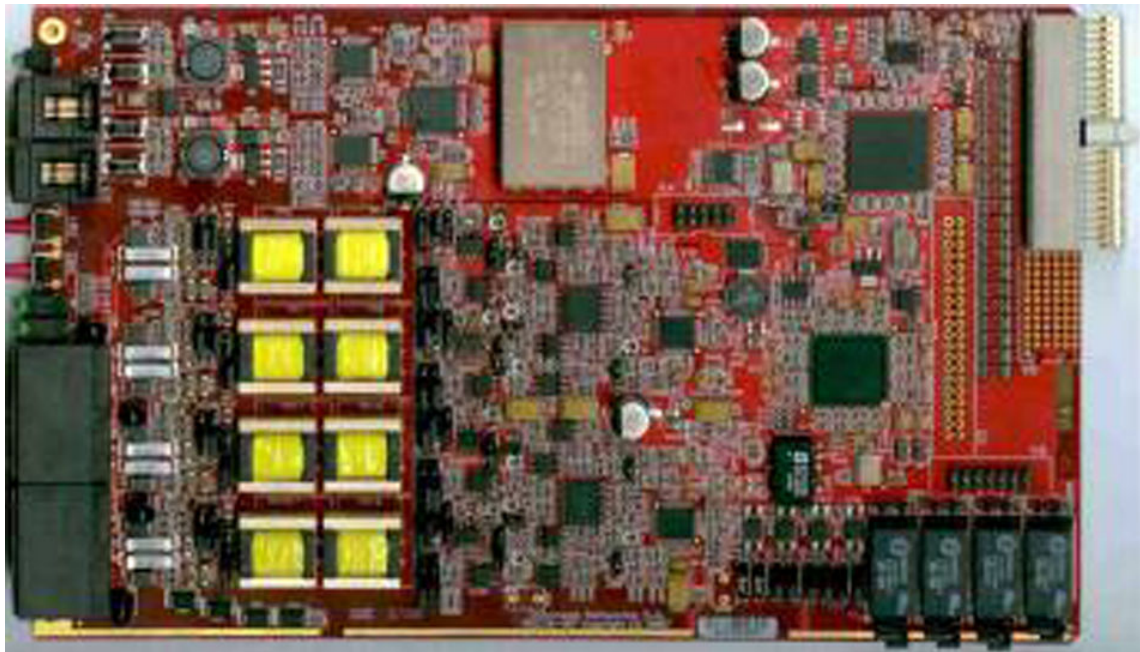
Η ύπαρξη του ακυρωτή ηχούς εκπληρώνει την απαίτηση 25 της παραγράφου 3.7. Δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί όμως η εκπλήρωση της απαίτησης 26, κάτι που θα γίνει στην παράγραφο 9, μέσω του υποκειμενικού ελέγχου της ποιότητας φωνής.

4.7.3 Ο επεξεργαστής DSP

Η απαιτούμενη επεξεργασία της φωνής των ασυρματικών και τηλεφωνικών κλήσεων προϋποθέτει την ύπαρξη ειδικών επεξεργαστών ψηφιακού σήματος (Digital Signal Processors) καθώς η αλγοριθμική της φύση καθιστά ασύμφορο αν όχι αδύνατο να εκτελεστεί σε έναν επεξεργαστή γενικού σκοπού. Για τον λόγο αυτό, στη σχεδίαση της μονάδας VEF περιλήφθηκε ένας επεξεργαστής DSP16410B της εταιρίας Agere (πρώην Lucent Technologies), με τα εξής χαρακτηριστικά:

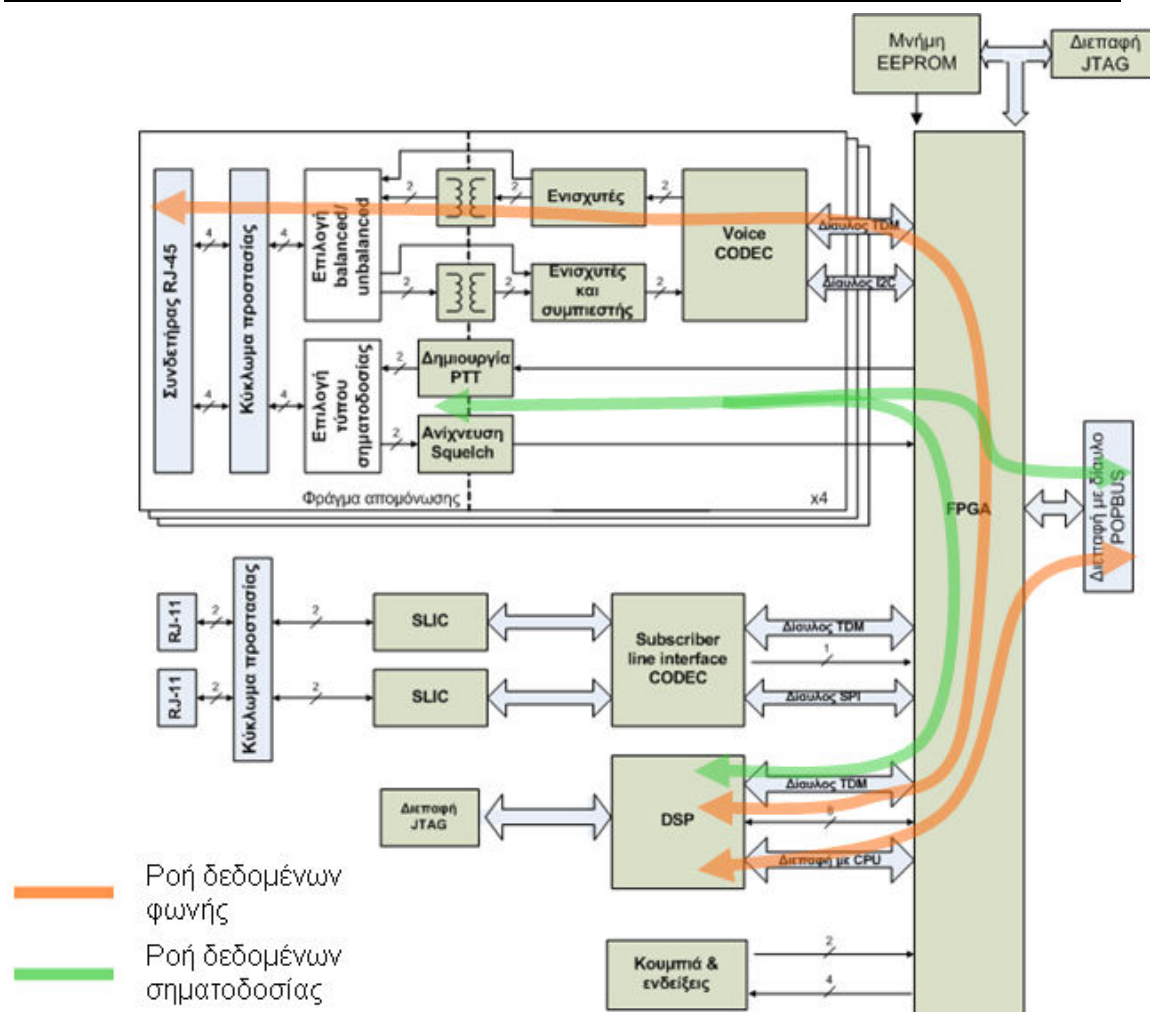
- 2 πυρήνες DSP16000, ο καθένας με διπλές μονάδες πολλαπλασιασμού και συσσώρευσης (Multiply/Accumulate – MAC) για υποστήριξη έως 740 εκατομμύρια MACs ανά δευτερόλεπτο σε συχνότητα λειτουργίας 185 MHz
- Σχεδίαση χαμηλής κατανάλωσης:
 - 1.8 V εσωτερική τροφοδοσία
 - 3.3 V τροφοδοσία διεπαφών
- 194K x 16 bits μνήμη RAM εντός του επεξεργαστή
- Κεντρική μονάδα άμεσης πρόσβασης μνήμης (Direct Memory Access) που επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων από/προς τα περιφερειακά και τους πυρήνες χωρίς την παρέμβαση των τελευταίων ώστε:
 - Να χρησιμοποιείται με καλύτερο τρόπο η επεξεργαστική ισχύς
 - Να απλοποιείται δραματικά ο χειρισμός της συνεχούς ροής των δεδομένων
- Παράλληλη διεπαφή 16 bits με τον επεξεργαστή γενικού σκοπού του συστήματος
- 2 σειριακές διεπαφές για ανταλλαγή δεδομένων εκπομπής/λήψης με τις διεπαφές ασυρμάτου και τηλεφώνου που παρουσιάστηκαν ήδη
- Επικοινωνία των δύο πυρήνων μέσω ειδικής μονάδας
- Προγραμματιζόμενη μονάδα δημιουργίας ρολογιού
- Υποστήριξη πολλαπλών αιτήσεων διακοπής, τόσο από το υλικό, όσο και από το λογισμικό
- 2 μονάδες εισόδου/εξόδου ψηφιακών σημάτων γενικού σκοπού (General Purpose IO – GPIO)

Η μονάδα VEF, όπως τελικά κατασκευάστηκε, παρουσιάζεται στην πιο κάτω εικόνα.

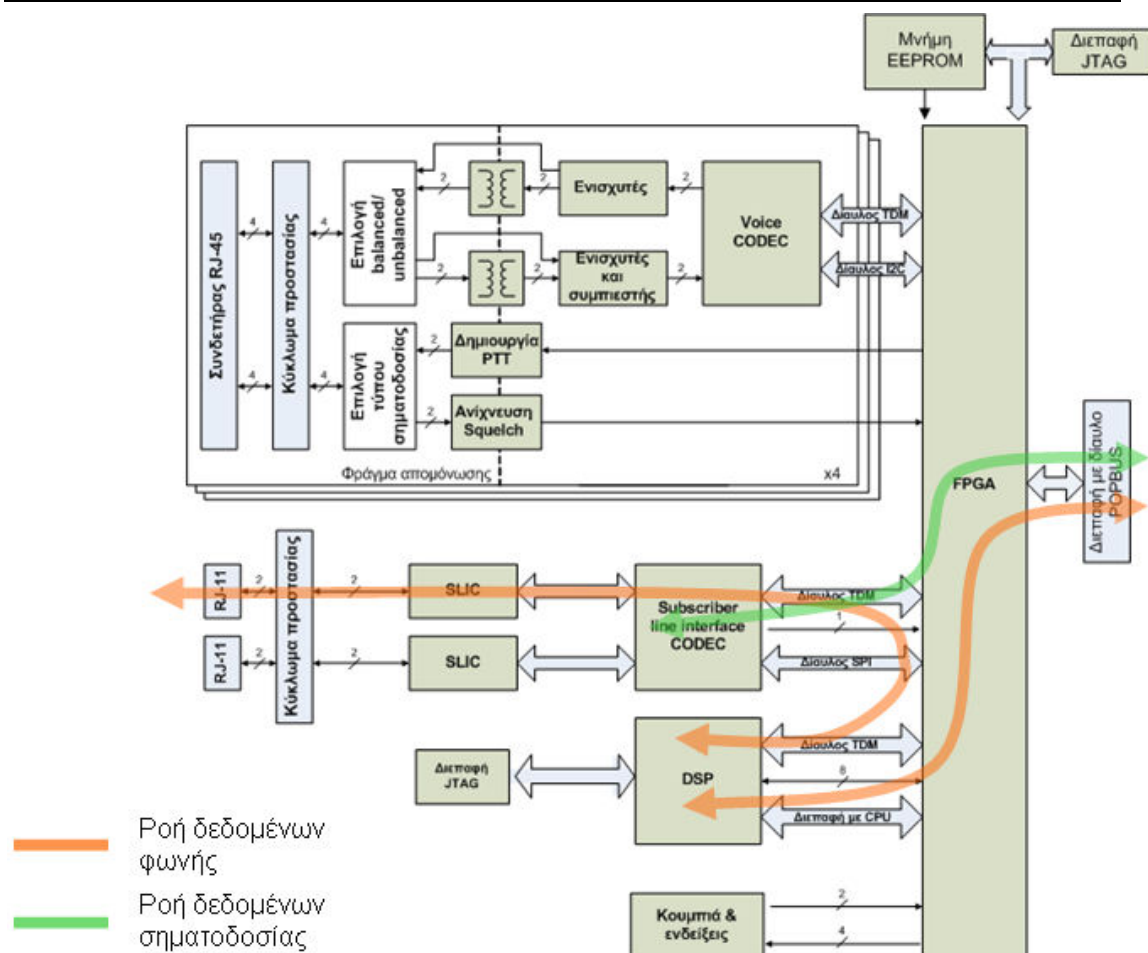


Εικόνα 6. Η μονάδα VEF

Με δεδομένη την αρχιτεκτονική του υλικού, είναι εξαιρετικά χρήσιμη η κατανόηση της ροής των δεδομένων φωνής διάμεσο αυτής, ούτως ώστε να γίνει κατανοητή στη συνέχεια της μελέτης η συνεισφορά των διάφορων υποσυστημάτων στην από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική στην ποιότητα φωνής. Η ροή δεδομένων στην περίπτωση μίας κλήσης ασυρμάτου και μίας τηλεφωνικής κλήσης φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα. Αξίζει να σημειωθεί πως υποστηρίζονται έως 4 ταυτόχρονες κλήσεις ασυρμάτου και έως 2 ταυτόχρονες τηλεφωνικές κλήσεις.



Σχήμα 31. Ροή δεδομένων φωνής – Κλήση ασυρμάτου



Σχήμα 32. Ροή δεδομένων φωνής – Τηλεφωνική κλήση

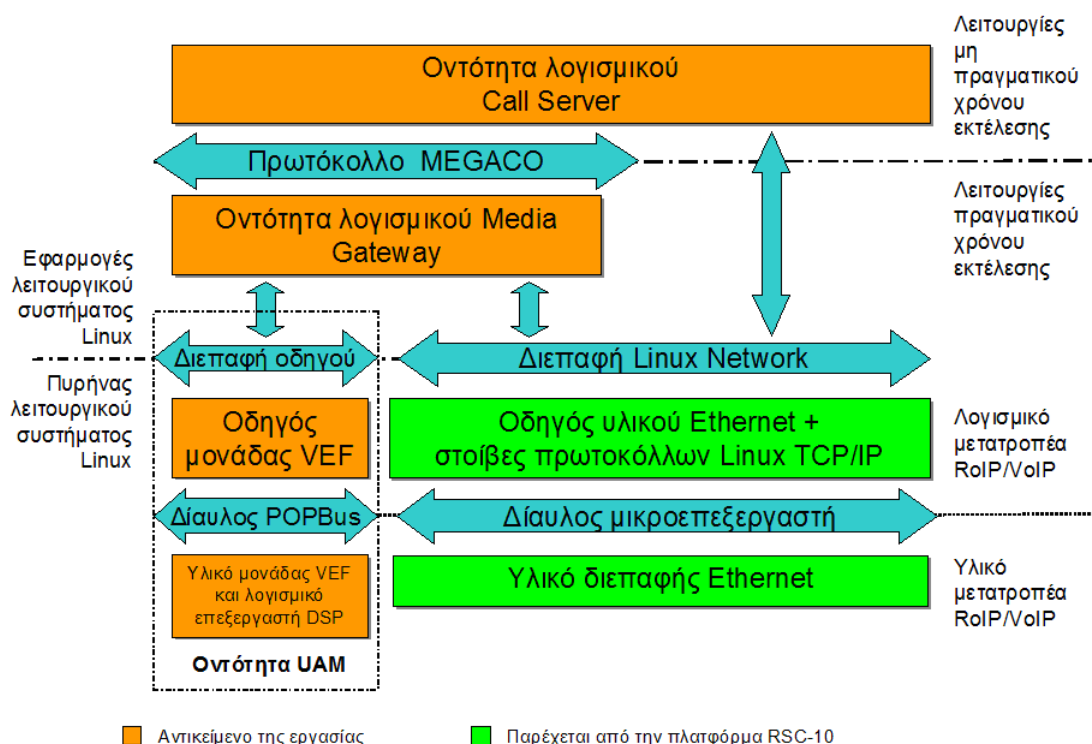
4.8 Η αρχιτεκτονική του λογισμικού του μετατροπέα RoIP/VoIP

Εκτός της μονάδας VEF που υλοποιεί την οντότητα UAM, ο μετατροπέας RoIP/VoIP πλαισιώθηκε με μία ποικιλία οντοτήτων λογισμικού απαραίτητων για την υλοποίηση της απαιτούμενης λειτουργικότητας των οντοτήτων MG και CS. Με δεδομένες τις διαφορές των απαιτήσεων της κάθε λειτουργίας επιλέχθηκε το περιβάλλον εκτέλεσης της κάθε οντότητας. Πιο συγκεκριμένα:

- Η οντότητα MG, καθώς αναλαμβάνει τον χειρισμό ροών φωνής, θα πρέπει να μπορεί να εκτελεί εργασίες με ανάγκες πραγματικού χρόνου (real-time). Ένα τμήμα των εργασιών αυτών αποφασίστηκε να υλοποιηθεί εντός του επεξεργαστή DSP (κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση φωνής, σηματοδότηση τηλεφωνίας), ενώ το υπόλοιπο υλοποιήθηκε ώστε να εκτελείται στον επεξεργαστή γενικού σκοπού του ελεγκτή RSC-10
- Η οντότητα CS, καθώς λειτουργεί μόνο κατά την εγκατάσταση και κατάργηση κλήσεων και σπάνια στη διάρκεια αυτών, έχει λιγότερο αυστηρές ανάγκες στον χρόνο εκτέλεσης. Για τον λόγο αυτό, αποφασίστηκε να υλοποιηθεί εξ'ολοκλήρου εντός του επεξεργαστή γενικού σκοπού με την μονάδα VEF να παρέχει και να δέχεται την κατάλληλη σηματοδότηση από/προς τους ασυρμάτους και τα αναλογικά τηλέφωνα

Η διαφοροποίηση αυτή στη φύση της επεξεργασίας καταδεικνύει, όπως έχει ήδη αναφερθεί, την ανάγκη για υποστήριξη διαφορετικών προτεραιοτήτων εκτέλεσης λογισμικού από το λειτουργικό του ενσωματωμένου συστήματος, μία λειτουργικότητα που παρέχεται από τον πυρήνα του Linux που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

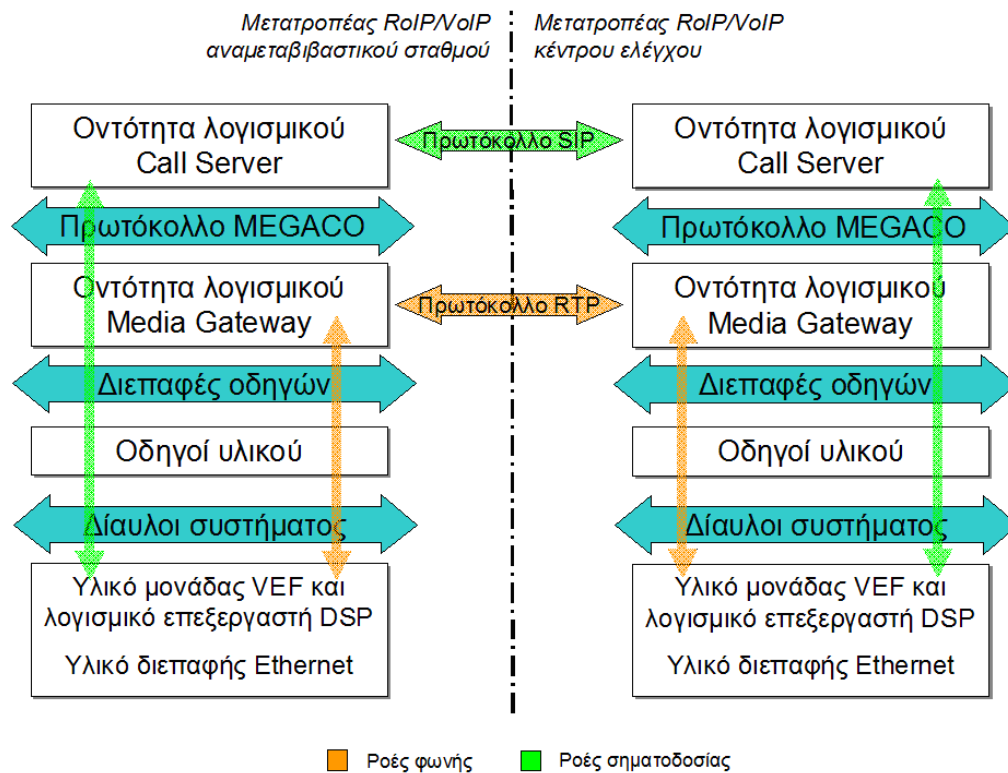
Η αρχιτεκτονική του λογισμικού του μετατροπέα RoIP/VoIP παρουσιάζεται στο πιο κάτω σχήμα, σε πλήρη αντιστοίχιση με την αρχιτεκτονική NGN που φαίνεται στο Σχήμα 20.



Σχήμα 33. Η αρχιτεκτονική του λογισμικού του μετατροπέα RoIP/VoIP

Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η συσχέτιση μεταξύ της αρχιτεκτονικής του λογισμικού και της αρχιτεκτονικής ενός Δικτύου Επόμενης Γενιάς, το επόμενο σχήμα παρουσιάζει τις

αλληλεπιδράσεις 2 άκρων που συμμετέχουν σε μία κλήση τηλεφώνου ή ασυρμάτου μεταξύ ενός αναμεταβιβαστικού σταθμού και του κέντρου ελέγχου.



Σχήμα 34. Αλληλεπίδραση μεταξύ των οντοτήτων λογισμικού των 2 άκρων κατά την κλήση

Η ροή δεδομένων σηματοδότησης είναι παρούσα κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης και της κατάργησης μίας κλήσης, ενώ η ροή δεδομένων φωνής είναι συνεχής κατά τη διάρκεια της κλήσης. Οι 2 ροές μεταφέρονται από το ένα άκρο στο άλλο χρησιμοποιώντας το δορυφορικό IP δίκτυο.

4.9 Το λογισμικό του επεξεργαστή DSP

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα σημαντικό τμήμα της λειτουργικότητας της οντότητας Media Gateway υλοποιήθηκε εντός του επεξεργαστή DSP της μονάδας VEF, λόγω των ιδιαίτερων απαιτήσεων της εν λόγω επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, στην παράγραφο 3.2.2.5.1 έχει ήδη στοιχειοθετηθεί η ανάγκη για υποστήριξη κωδικοποιητή/αποκωδικοποιητή φωνής χαμηλού ρυθμού. Επίσης, είναι απαραίτητη η υλοποίηση αλγορίθμων για τη σηματοδότηση τηλεφωνίας, όπως γεννήτρια τόνων και ανιχνευτής τόνων DTMF. Καθώς οι εν λόγω λειτουργίες εφαρμόζονται σε ψηφιακό σήμα φωνής σε πραγματικό χρόνο, η ύπαρξη επεξεργαστή DSP κρίθηκε απαραίτητη, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 4.7.3. Οι παράγραφοι που ακολουθούν παρουσιάζουν με λεπτομέρεια:

- Τα στοιχεία της υλοποίησης των εν λόγω αλγορίθμων
- Το πλαίσιο εκτέλεσης των οντοτήτων λογισμικού που τους υλοποιούν
- Την διεπαφή του επεξεργαστή DSP με τα άλλα υποσυστήματα της μονάδας VEF και τον επεξεργαστή γενικού σκοπού (CPU) του ελεγκτή RSC-10 με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων φωνής και σηματοδότησης
- Τη μεθοδολογία και τα αποτελέσματα του ελέγχου ορθής λειτουργίας των εν λόγω αλγορίθμων

4.9.1 Ο κωδικοποιητής/αποκωδικοποιητής φωνής

Οι κωδικοποιητές/αποκωδικοποιητές φωνής (voice codecs) μετατρέπουν την ψηφιοποιημένη φωνή σε μία αναπαράσταση που καταλαμβάνει μικρότερο εύρος ζώνης ούτως ώστε να απαιτούνται λιγότεροι δικτυακοί πόροι για την μετάδοσή της. Η λειτουργικότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στη περίπτωση δικτύων όπου το εύρος ζώνης είναι κοστοβόρο, όπως τα δορυφορικά δίκτυα. Οι codecs χρησιμοποιούνται επί σειρά ετών και χωρίζονται στις πιο κάτω κατηγορίες:

- Codecs που λειτουργούν ανά δείγμα:

Οι codecs αυτής της οικογένειας λειτουργούν ανά δείγμα της φωνής εισόδου και το κωδικοποιούν έχοντας υπόψη τους κάποια χαρακτηριστικά που επιτρέπουν τη μείωση του αριθμού των bits που το δείγμα απαιτεί. Τυπικά παραδείγματα είναι οι codec G.711 (κωδικοποιητής παλμοκωδικής διαμόρφωσης – Pulse Code Modulation - PCM) και G.726 (κωδικοποιητής προσαρμοστικής διαφορικής PCM – Adaptive Differential Pulse Code Modulation – ADPCM)

- Codecs που λειτουργούν ανά πλαίσιο φωνής:

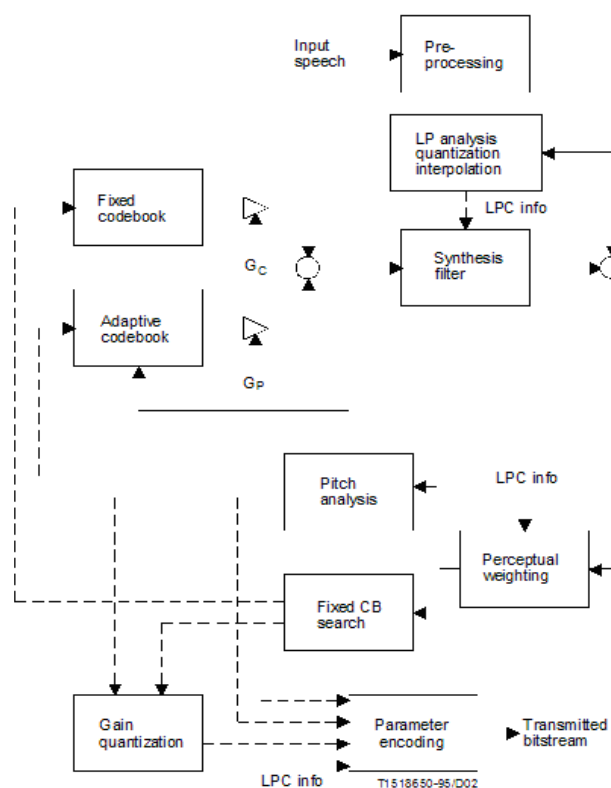
Οι codecs αυτής της οικογένειας λειτουργούν ανά ομάδα δειγμάτων της φωνής εισόδου και την κωδικοποιούν έχοντας υπόψη τους ένα μοντέλο του μηχανισμού παραγωγής φωνής από τον λάρυγγα και τη στοματική κοιλότητα του ομιλητή. Η επιτευχίμη συμπίεση είναι μεγαλύτερη από αυτή που επιτυγχάνεται από τους codecs που λειτουργούν ανά δείγμα, αλλά απαιτείται σημαντικά μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύς και λόγω της πλαισιοποίησης της φωνής, εισάγεται μεγαλύτερη καθυστέρηση. Τυπικά παραδείγματα είναι οι codec G.729, G.723.1 που έχουν ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.2.2.5.1 και άλλοι.

Όπως υποδεικνύεται στην παράγραφο 3.7, ο μετατροπέας RoIP/VoIP θα πρέπει να υλοποιεί τον G.729 και τον G.729A + VAD (G.729 Annex A και Annex B) codec (κωδικο-αποκωδικοποιητή) φωνής. Και οι δύο είναι codecs που λειτουργούν σε πλαίσιο δειγμάτων φωνής και έχουν προτυποποιηθεί εντός των αντίστοιχων προτύπων (βλέπε Αναφορά 30, Αναφορά 31 και Αναφορά 32).

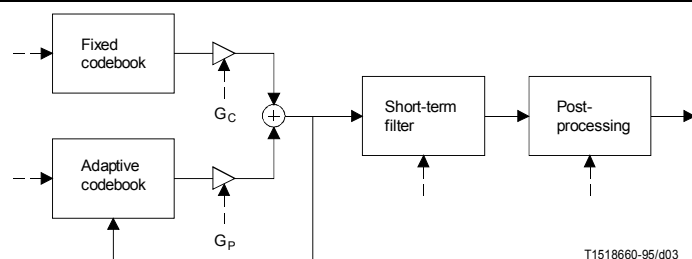
Και οι δύο codecs ανήκουν στην ομάδα CS-ACELP (Conjugate-Structure Algebraic-Code Excited Linear Prediction - Γραμμική Πρόβλεψη Διεγείρομενη από Αλγεβρικό Κώδικα) και είναι βασισμένοι στο μοντέλο CELP (Code-Excited Linear Prediction – Γραμμική Πρόβλεψη Διεγείρομενη από Κώδικα). Ο κωδικοποιητής λειτουργεί σε πλαίσια ομιλίας των 10 ms που αντιστοιχούν σε 80 δείγματα με ρυθμό δειγματοληψίας 8000 δείγματα ανά δευτερόλεπτο. Για κάθε πλαίσιο των 10 ms, το φωνητικό σήμα αναλύεται για την εξαγωγή των παραμέτρων

του μοντέλου CELP (συντελεστές φίλτρου γραμμικής πρόβλεψης, δείκτες στο σταθερό και προσαρμοστικό πίνακα λέξεων – codebook και τα κέρδη). Αυτές οι παράμετροι κωδικοποιούνται και διαβιβάζονται στον αποκωδικοποιητή, ο οποίος τις χρησιμοποιεί για την ανάκτηση των παραμέτρων διέγερσης και φίλτρου σύνθεσης. Η ομιλία αναδημιουργείται με φιλτράρισμα της διέγερσης μέσω βραχυπρόθεσμου φίλτρου σύνθεσης. Το βραχυπρόθεσμο φίλτρο σύνθεσης είναι βασισμένο σε ένα 10^{th} τάξεως φίλτρο γραμμικής πρόβλεψης (10th order Line Prediction Filter). Κατόπιν τη φωνή επεξεργάζεται ένα μακροπρόθεσμο φίλτρο ή φίλτρο σύνθεσης τονικότητας, το οποίο είναι υλοποιημένο χρησιμοποιώντας την αποκαλούμενη προσέγγιση adaptive-codebook. Μετά τον υπολογισμό της αναδημιουργημένης ομιλίας, η ποιότητα της φωνής ενισχύεται περαιτέρω από ένα μεταφίλτρο (postfilter). Με τον τρόπο αυτό, ο ρυθμός ροής δεδομένων που απαιτείται για την μετάδοση μιας ροής φωνής μειώνεται από 64 ή 128 kbits/sec (G.711 κωδικοποιημένη φωνή με 8 ή 16 bits αντίστοιχα) σε 8 kbits/sec.

Τα αρχιτεκτονικά διαγράμματα του κωδικοποιητή και αποκωδικοποιητή G.729 απεικονίζονται στο Σχήμα 35 και Σχήμα 36.

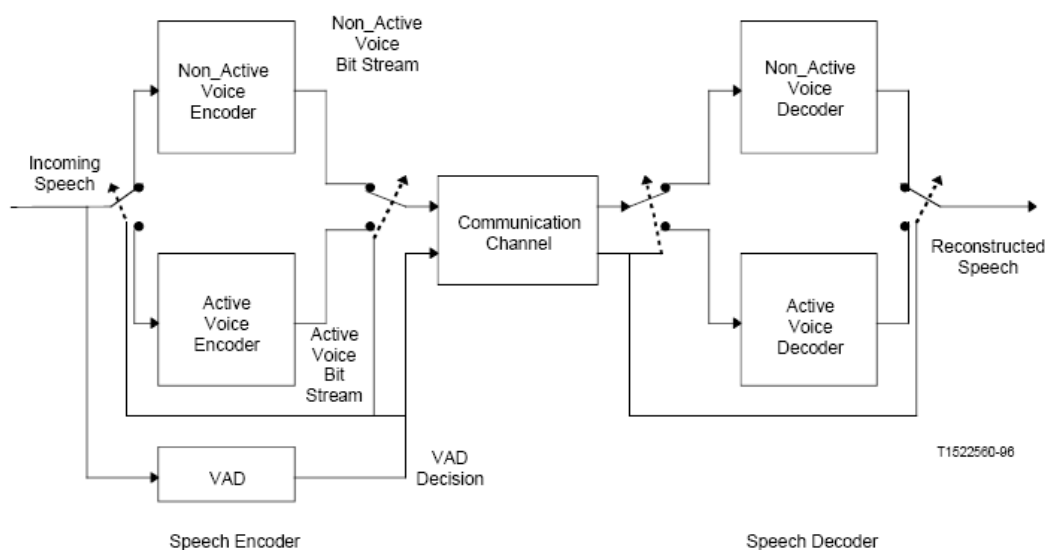


Σχήμα 35. Αρχιτεκτονικό διάγραμμα του κωδικοποιητή G.729 σύμφωνα με το πρότυπο



Σχήμα 36. Αρχιτεκτονικό διάγραμμα του αποκωδικοποιητή G.729 σύμφωνα με το πρότυπο

Το G.729 Annex A codec υλοποιεί ουσιαστικά την ίδια αρχιτεκτονική με κάποιες διαφορές στα codebooks και στην διαδικασία αναζήτησης codebook. Η σύσταση G.729 Annex B συμπληρώνει τους κωδικοποιητές G.729 και G.729 A με έναν ανιχνευτή δραστηριότητας φωνής (Voice Activity Detector – VAD) και τους αντίστοιχους αποκωδικοποιητές με μια γεννήτρια θορύβου υποβάθρου (Comfort Noise Generator – CNG), έτσι ώστε να ενισχυθεί η λειτουργικότητά τους με δυνατότητες μη συνεχούς μετάδοσης (discontinuous transmission–DTX), επιτυγχάνοντας περαιτέρω μείωση του απαιτούμενου εύρους ζώνης για την μετάδοση της ροής φωνής. Το σχετικό αρχιτεκτονικό διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 37. Οι μηχανισμοί VAD και CNG είναι εξωτερικοί στους codec.



Σχήμα 37. Ενσωμάτωση της λειτουργικότητας VAD και CNG στους codecs G.729/G.729A σύμφωνα με το πρότυπο

Ο codec G.729 παρέχει επίσης απόκρυψη απώλειας πακέτων (Packet Loss Concealment – PLC) δηλαδή την επαναδημιουργία φωνής που έχει απωλέσθι λόγω απώλειας πακέτων στο δίκτυο IP, χρησιμοποιώντας προηγούμενα πακέτα φωνής. Η λειτουργικότητα αυτή που ορίζεται στο πρότυπο είναι εξαιρετικά χρήσιμη μιας και η απώλεια φωνής είναι ένας παράγοντας μείωσης της ποιότητας υπηρεσίας που έχει εξαιρετική σημασία.

Η ITU-T παρέχει ακριβείς υλοποιήσεις αναφοράς όλων των ανωτέρω αναφερόμενων codec φωνής σε ANSI-C καθώς επίσης και ένα εκτεταμένο σετ από διανύσματα δοκιμής για την απόδειξη της συμβατότητας της υλοποίησης με το πρότυπο G.729 σε περιβάλλοντα πεπερασμένης αριθμητικής ακρίβειας. Έτσι, η διαδικασία υλοποίησης θεωρείται ότι έχει

συγκεκριμένα προκαθορισμένα σημεία ελέγχου, με δεδομένο πως ο κώδικας που παρέχεται από την ITU-T εκτελείται παράλληλα με την υλοποίηση και κάθε βήμα της διαδικασίας υλοποίησης ελέγχεται χρησιμοποιώντας τον ως αναφορά.

Καθώς θα πρέπει να υποστηρίζονται πολλαπλά κανάλια κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης της φωνής, οι δύο οντότητες λογισμικού (κωδικοποιητής και αποκωδικοποιητής φωνής) πρέπει να αποθηκεύουν την τρέχουσα κατάστασή τους σε χωριστά μπλοκ μνήμης (στατικές μεταβλητές) και κάθε υλοποιημένο κανάλι πρέπει να έχει τον δικό του χώρο αποθήκευσης στατικών μεταβλητών. Έτσι, ο κώδικας που υλοποιεί τους codecs μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε όλα τα κανάλια με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση μνήμης. Ο αποκωδικοποιητής φωνής για οποιοδήποτε δεδομένο κανάλι παράγει μηδενική έξοδο αν δεν λειτουργεί.

Το αλγοριθμικό μπλοκ του κωδικοποιητή φωνής υλοποιείται ως μια οντότητα λογισμικού που δέχεται την παρακάτω είσοδο και να παρέχει την παρακάτω έξοδο:

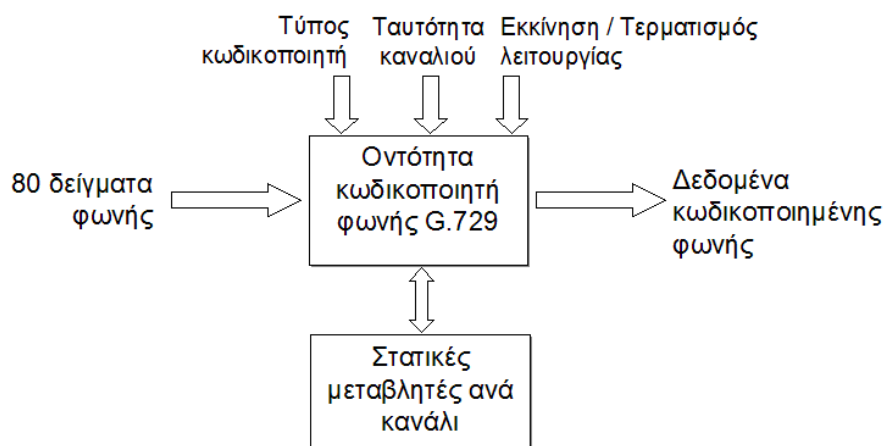
- Είσοδος:
 - Τύπος κωδικοποίησης (G.729 ή G.729A + VAD)
 - 10 ms δεδομένων φωνής κωδικοποιημένων κατά 16-bit γραμμική PCM (80 δείγματα, καθώς ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 8 kHz)
 - Ταυτότητα καναλιού
 - Εκκίνηση/Τερματισμός λειτουργίας κωδικοποιητή

- Έξοδος:
 - Ένα G.729 ή G.729A + VAD πλαίσιο κωδικοποιημένης φωνής, εξαρτώμενο από τον τύπο του codec

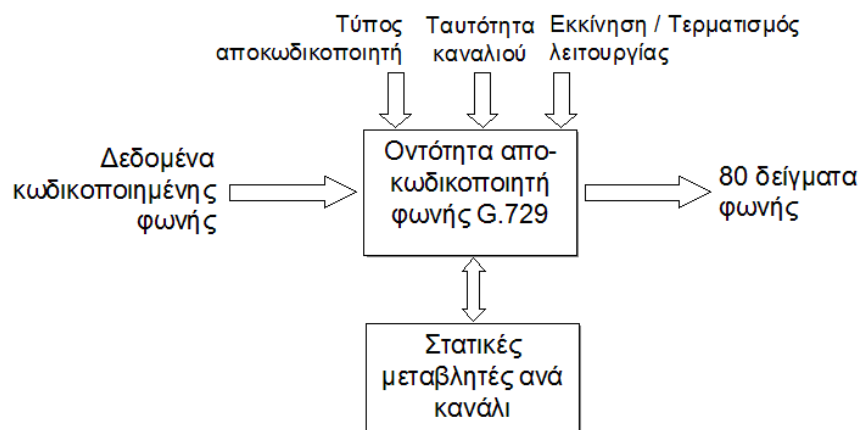
Το αλγοριθμικό μπλοκ του αποκωδικοποιητή φωνής υλοποιείται ως μια οντότητα λογισμικού που δέχεται την παρακάτω είσοδο και παρέχει την παρακάτω έξοδο:

- Είσοδος:
 - Τύπος αποκωδικοποίησης (G.729 or G.729A + VAD)
 - Ένα G.729 ή G.729A + VAD πλαίσιο κωδικοποιημένης φωνής, εξαρτώμενο από τον τύπο του codec
 - Ταυτότητα καναλιού
 - Εκκίνηση/Τερματισμός λειτουργίας του αποκωδικοποιητή
- Έξοδος:
 - 10 ms δεδομένων φωνής κωδικοποιημένων κατά 16-bit γραμμική PCM (80 δείγματα, καθώς ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 8 kHz)

Η αρχιτεκτονική των οντοτήτων λογισμικού του κωδικοποιητή και του αποκωδικοποιητή φωνής G.729 απεικονίζεται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 38. Η οντότητα λογισμικού κωδικοποιητή φωνής G.729



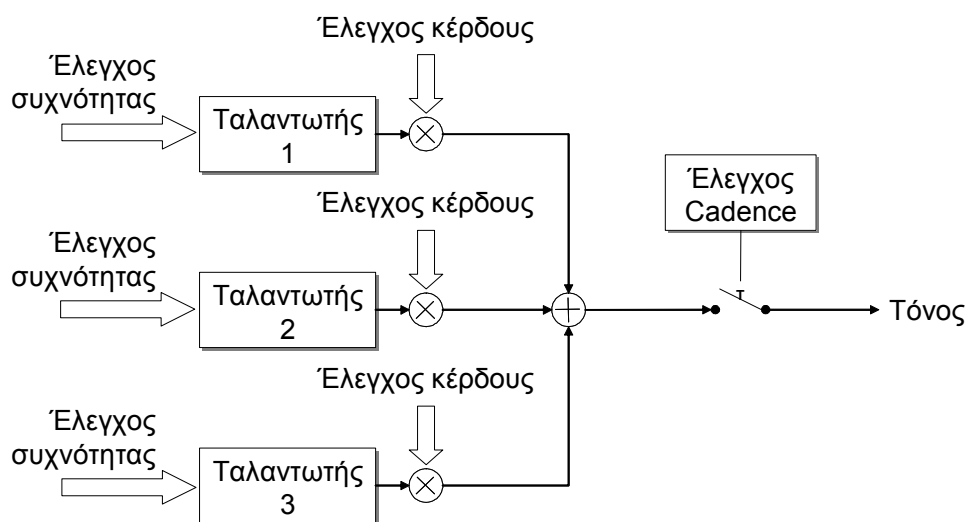
Σχήμα 39. Η οντότητα λογισμικού αποκωδικοποιητή φωνής G.729

4.9.2 Η γεννήτρια τόνων

Η γεννήτρια τόνων είναι απαραίτητη για την υλοποίηση της σηματοδότησης της τηλεφωνίας από τον μετατροπέα RoIP/VoIP. Μετά από εκτενή μελέτη των προτύπων της ITU για τις γεννήτριες τόνων που χρησιμοποιούνται σε τηλεφωνικά δίκτυα (βλέπε Αναφορά 49 και Αναφορά 50), εξάχθηκαν οι κάτωθι απαιτήσεις:

- Η γεννήτρια τόνων πρέπει να υποστηρίζει την δημιουργία τόνων που αποτελούνται από (μέχρι και) 3 αθροισμένες ημιτονοειδείς συναρτήσεις.
- Κάθε ημιτονοειδής συνάρτηση πρέπει να έχει παραμετροποιήσιμη συχνότητα
- Κάθε ημιτονοειδής συνάρτηση πρέπει να έχει παραμετροποιήσιμο επίπεδο ισχύος
- Η γεννήτρια τόνων πρέπει να υποστηρίζει την δημιουργία τόνων με μέχρι και 3 cadences (περιόδους on-off)

Το βασικό δομικό στοιχείο της γεννήτριας τόνων είναι ένας ταλαντωτής, ο οποίος είναι ένα φίλτρο άπειρης κρουστικής απόκρισης (IIR filter) με τον πόλο του τοποθετημένο πάνω στον μοναδιαίο κύκλο έτσι ώστε η έξοδος να είναι μια ημιτονοειδής συνάρτηση ανεξάρτητα από την είσοδό του (διέγερση). Τοποθετώντας τον πόλο σε διάφορες γωνίες, μπορούν να επιτευχθούν διάφορες συχνότητες του σήματος εξόδου. Άλλες επιλογές για την υλοποίηση της γεννήτριας τόνων περιλαμβάνουν την μέθοδο πίνακα (table lookup method), την πολυωνυμική προσέγγιση και τον αλγόριθμο CORDIC αλλά είτε είναι πιο δαπανηροί (σε όρους υπολογιστικής πολυπλοκότητας) είτε παράγουν λιγότερο ακριβή ημιτονοειδή σήματα. Καθώς κάθε τόνος μπορεί να αποτελείται το πολύ από 3 μεμονωμένες ημιτονοειδείς συναρτήσεις, είναι απαραίτητο να υποστηρίζεται η παράλληλη λειτουργία 3 ταλαντωτών, καθένας εκ των οποίων πρέπει να έχει δικό του έλεγχο κέρδους και συχνότητας, ούτως ώστε να ικανοποιηθούν οι πιο πάνω απαιτήσεις. Οι εξοδοί τους αθροίζονται για την δημιουργία της τελικής εξόδου. Ο έλεγχος του cadence υλοποιείται μέσω ενός μετρητή των δειγμάτων εξόδου και μια πύλη για τον μηδενισμό της εξόδου κατά τη διάρκεια των διαστημάτων σιωπής. Η γεννήτρια τόνων παράγει 5 ms (40 δείγματα) δεδομένων φωνής με αναπαράσταση 16-bit γραμμικού PCM. Η προσέγγιση απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 40. Αρχιτεκτονικό διάγραμμα της γεννήτριας τόνων

Καθώς οι παράμετροι τόνων (συχνότητες, κέρδη και cadence) διαφέρουν ανά χώρα και εφαρμογή, θα πρέπει να είναι παραμετροποιήσιμοι, συνεπώς είναι λογική η δημιουργία ενός πίνακα με τις παραμέτρους. Η δομή αυτού του πίνακα απεικονίζεται κάτωθι.

Αύξων αριθμός	Στοιχείο πίνακα
1	Παράμετροι για τον τόνο 1
...	...
N	Παράμετροι για τον τόνο N

Πίνακας 16. Δομή πίνακα παραμέτρων τόνων

Συχνότητα ταλαντωτή 1
Συχνότητα ταλαντωτή 2
Συχνότητα ταλαντωτή 3
Κέρδος ταλαντωτή 1
Κέρδος ταλαντωτή 2
Κέρδος ταλαντωτή 3
1 ^ο Cadence – Διάρκεια On
1 ^ο Cadence – Διάρκεια Off
2 ^ο Cadence – Διάρκεια On
2 ^ο Cadence – Διάρκεια Off
3 ^ο Cadence – Διάρκεια On
3 ^ο Cadence – Διάρκεια Off

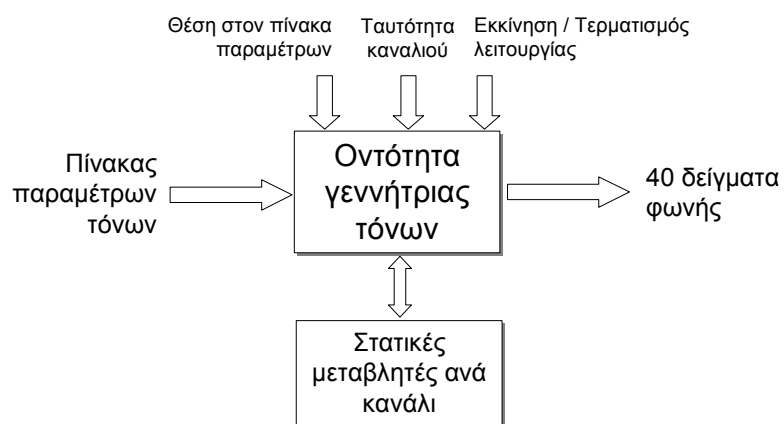
Πίνακας 17. Δομή για το κάθε στοιχείο του πίνακα παραμέτρων τόνων

Λόγω ότι πρέπει να υποστηρίζονται πολλαπλά κανάλια γεννητριών τόνων, η οντότητα λογισμικού της γεννήτριας τόνων πρέπει να αποθηκεύει την κατάσταση της σε ξεχωριστά μπλοκ μνήμης (στατικές μεταβλητές) και κάθε υλοποιημένο κανάλι πρέπει να έχει το δικό του χώρο αποθήκευσης στατικών μεταβλητών. Έτσι, ο κώδικας που υλοποιεί τη γεννήτρια τόνων μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε όλα τα κανάλια με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση μνήμης. Η γεννήτρια τόνων για οποιοδήποτε δεδομένο κανάλι πρέπει να παράγει μηδενικές τιμές αν δεν είναι λειτουργική.

Το αλγοριθμικό μπλοκ γεννήτριας τόνου υλοποιεί μια οντότητα λογισμικού που δέχεται την παρακάτω είσοδο και παρέχει την παρακάτω έξοδο:

- Είσοδος:
 - Η ταυτότητα του τόνου (αύξων αριθμός στον πίνακα παραμέτρων τόνων)
 - Δείκτης για την διεύθυνση του πίνακα παραμέτρων τόνων στη μνήμη
 - Εκκίνηση/Τερματισμός γεννήτριας τόνων
 - Ταυτότητα καναλιού
- Έξοδος:
 - 5 ms δεδομένων φωνής κωδικοποιημένης κατά 16-bit γραμμικό PCM (40 δείγματα, καθώς ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 8 kHz)

Η αρχιτεκτονική της οντότητας λογισμικού της γεννήτριας τόνων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 41. Η οντότητα λογισμικού γεννήτριας τόνων

4.9.3 Ο ανιχνευτής ψηφίων DTMF

Η σηματοδότηση Διπλού Τόνου Πολλαπλών Συχνοτήτων (Dual Tone Multi Frequency – DTMF) είναι ένα τηλεπικοινωνιακό πρότυπο που χρησιμοποιείται για την μετάφραση της πληκτρολόγησης από το αριθμητικό πληκτρολόγιο του τηλεφώνου σε σήματα διπλού τόνου στην τηλεφωνική γραμμή. Κάθε πλήκτρο είναι μοναδικά κωδικοποιημένο και το αντίστοιχο σήμα προκύπτει από το άθροισμα 2 ημιτόνων των οποίων οι συχνότητες αντιστοιχούν στη γραμμή και στη στήλη που αυτό ανήκει, όπως δείχνει ο Πίνακας 3.

	Columns 1-4			
Rows 1-4	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	Key 1	Key 2	Key 3	Key A
770 Hz	Key 4	Key 5	Key 6	Key B
852 Hz	Key 7	Key 8	Key 9	Key C
941 Hz	Key *	Key 0	Key #	Key D

Πίνακας 18. Πίνακας συχνοτήτων ψηφίων DTMF

Η σηματοδότηση DTMF που παράγεται από τις τηλεφωνικές συσκευές θα πρέπει να αποκωδικοποιείται από τον μετατροπέα RoIP/VoIP, ούτως ώστε να είναι εφικτή η εγκατάσταση τηλεφωνικής κλήσης. Οι τόνοι DTMF, γνωστοί και ως Τόνοι-Αφής (Touch-Tone), αναπτύχθηκαν από την Bell Labs και χρησιμοποιήθηκαν από την AT&T ως ένα σύστημα ενδοζωνικής σηματοδότησης (inband signalling). Το πρότυπο Bellcore καθορίστηκε αργότερα από τον Διεθνή Οργανισμό Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union – ITU) μέσα στα πλαίσια των συστάσεων ITU-T Q.23 και Q.24 (Αναφορά 51 και Αναφορά 52). Ο ανιχνευτής DTMF πρέπει να στοχεύει στην αξιόπιστη ανιχνευτική ψηφίων DTMF εντός του τηλεφωνικού σήματος με εύρος ζώνης 4 kHz.

Η πρώτη παρατήρηση είναι ότι παρόλο που η συχνότητα δειγματοληψίας είναι 8 kHz, συνεπώς το αναπαριστάμενο εύρος ζώνης φτάνει μέχρι και τα 4 kHz, η υψηλότερη συχνότητα του πίνακα είναι 1633 Hz. Αυτό με την σειρά υπονοεί ότι μισή από την ζώνη συχνοτήτων του εισερχόμενου σήματος και συνεπώς τα μισά από τα δείγματα που υποβάλλονται σε επεξεργασία μπορούν να απορριφθούν, δεδομένου ότι δεν συνεισφέρουν τίποτα στην διαδικασία ανίχνευσης. Η διαδικασία αποδεδκατισμού δειγμάτων του σήματος εισόδου (downsampling) επιτεύχθηκε μέσω της χρησιμοποίησης φίλτρου ημίσειας ζώνης (half-band filter) στο σήμα εισόδου και αποδεδκατισμού της εξόδου του.

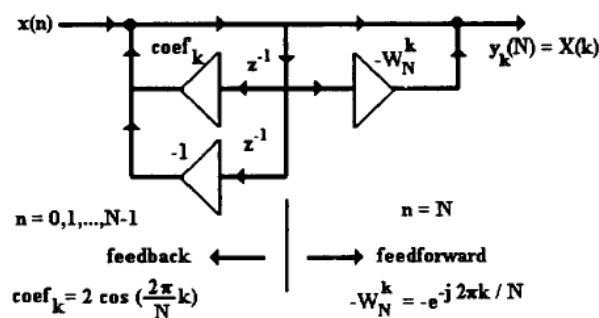
Κατόπιν, υιοθετήθηκε μια απλή αλλά ακριβής μέθοδος υπολογισμού του ενεργειακού περιεχομένου στις συγκεκριμένες συχνότητες για την ορθή ανίχνευση της παρουσίας ή μη ενός ψηφίου DTMF. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να γίνει κάτι τέτοιο, όπως μια τράπεζα συχνοτήτων (filter bank), τεχνικές συσχέτισης (correlation), τεχνικές μετασχηματισμού Fourier (Fourier transform), κ.ά. Λόγω του μικρού αριθμού των σημείων συχνοτήτων όπου το ενεργειακό περιεχόμενο πρέπει να εκτιμηθεί, ένας τροποποιημένος διακριτός μετασχηματισμός Fourier (Discrete Fourier Transform – DFT), ο αλγόριθμος Goertzel, είναι η ταχύτερη μέθοδος, καθώς για τον απευθείας υπολογισμό ενός πλήρους διακριτού μετασχηματισμού Fourier απαιτούνται πολλοί μιγαδικοί συντελεστές.

Ο αλγόριθμος Goertzel υπολογίζει ένα μιγαδικό αποτέλεσμα στο πεδίο της συχνότητας όπως κάνει ένας διακριτός μετασχηματισμός Fourier, ωστόσο το υπολογίζει με τέτοιο τρόπο ώστε το αποτέλεσμα είναι το τετράγωνο του πλάτους μίας συγκεκριμένης συχνοτικής συνιστώσας, το οποίο είναι πραγματική τιμή. Αυτή η τροποποίηση αφαιρεί την πληροφορία φάσης, η οποία δεν έχει σχέση με την ανίχνευση των DTMF. Με αυτή την τροποποίηση πρέπει να αποθηκεύονται στην μνήμη μόνο ένας πραγματικός συντελεστής και δύο μεταβλητές και μειώνεται σημαντικά η πολυπλοκότητα.

Όπως δείχνει και το Σχήμα 42, ο αλγόριθμος Goertzel είναι στην πραγματικότητα ένα δευτέρας τάξης φίλτρο άπειρης κρουστικής απόκρισης (second-order IIR filter), αλλά η έξοδος $y_k(n)$ είναι ίση με το αποτέλεσμα του διακριτού μετασχηματισμού Fourier στην

συγκεκριμένη συχνότητα, $X(k)$, όταν $n = N$. Αυτό συνεπάγεται ότι η απαιτούμενη έξοδος έχει τιμή ίση με την τιμή του αποτελέσματος του διακριτού μετασχηματισμού Fourier στη συγκεκριμένη συχνότητα μόνο μετά από την επεξεργασία N δειγμάτων εισόδου.

Χρησιμοποιήθηκαν οκτώ (8) Goertzels, με τις κεντρικές τους συχνότητες τοποθετημένες στις συχνότητες που αναφέρει ο Πίνακας 18. Πρέπει να σημειωθεί ότι για την ανίχνευση ενός τόνου DTMF, θα πρέπει το ενεργειακό περιεχόμενο των δύο συχνοτήτων, μιας συχνότητας που ανήκει στην ομάδα υψηλών συχνοτήτων και μιας που ανήκει στην ομάδα χαμηλών συχνοτήτων, να είναι αρκετά μεγαλύτερο από το ενεργειακό περιεχόμενο όλων των υπολοίπων.



Σχήμα 42. Ο αλγόριθμος Goertzel

Ένα ακόμη πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπίσει ο ανιχνευτής DTMF είναι η προσομοίωση ψηφίων από σήματα φωνής. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου σήματα φωνής παρουσιάζουν ενεργειακό περιεχόμενο το οποίο μπορεί να παραπλανήσει τον ανιχνευτή DTMF. Αυτό συμβαίνει επειδή συγκεκριμένα φωνήματα έχουν ένα περιοδικό φάσμα κρουστικών συναρτήσεων στο πεδίο της συχνότητας.

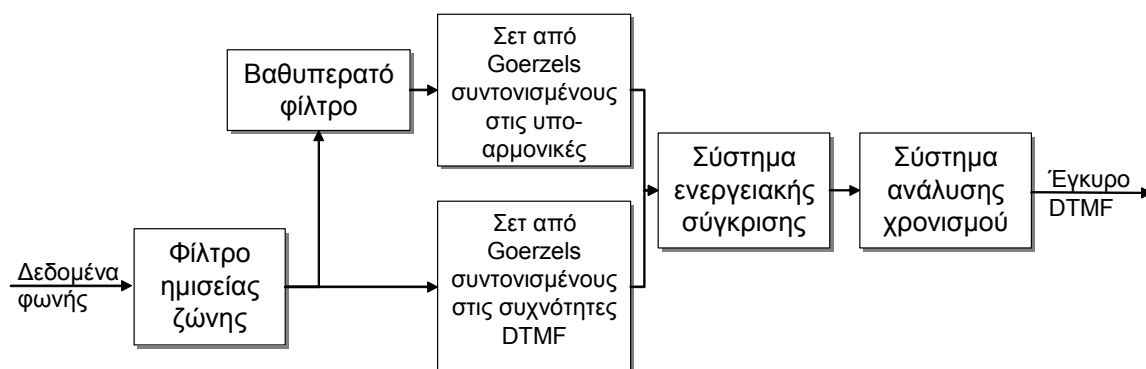
Οι συχνότητες των DTMF έχουν επιλεγεί ως πρώτοι αριθμοί ο ένας για τον άλλον σκοπίμως, καθότι οι αρμονικές φωνής είναι πολλαπλάσια ακέραιων αριθμών μιας θεμελιώδους συχνότητας και η προσομοίωση ψηφίων είναι θεωρητικά αδύνατη. Ωστόσο, διαρροές από γειτονικές αρμονικές φωνής συχνά έχουν μια καταστρεπτική επίδραση στην απόδοση ανίχνευσης με αποτέλεσμα να ανιχνεύονται ψηφία όταν δεν πρέπει.

Για την επίλυση του προβλήματος, υλοποιήθηκαν ανιχνευτές ενέργειας Goertzel στα τέσσερα υπο-πολλαπλάσια (υπο-αρμονικές) του χαμηλού φάσματος συχνοτήτων του πίνακα συχνοτήτων DTMF και όταν παράγουν μια μη-αμελητέα ποσότητα ενέργειας σε σύγκριση με τους οκτώ (8) Goertzels που είναι κεντροθετημένοι στις συχνότητες γραμμής και στήλης (ομάδες χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων) των ψηφίων DTMF, το συγκεκριμένο κομμάτι θεωρείται ομιλία και όχι DTMF.

Για την περαιτέρω ενίσχυση της επίδοσης του αλγορίθμου Goertzel σε υπο-αρμονικές, έχει επίσης υιοθετηθεί ένα βαθυπερατό φίλτρο, έτσι ώστε η ζώνη συχνοτήτων κάτω από 697 Hz (χαμηλότερη σειρά συχνοτήτων) να διαχωρίζεται από την ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από τους τόνους DTMF και η διαρροή από την μια ζώνη στην άλλη να ελαχιστοποιηθεί.

Όταν υπολογιστούν όλοι οι Goertzels, ακολουθεί η ενεργειακή σύγκριση μεταξύ των παραγόμενων τιμών. Το τμήμα ενεργειακής σύγκρισης αποφασίζει αν το συγκεκριμένο τμήμα δεδομένων φωνής είναι κατηγοριοποιημένο ως ένα τμήμα ενός έγκυρου ψηφίου DTMF ή όχι, βασιζόμενο στα όρια ενέργειας (energy thresholds). Εντούτοις, αυτό δεν είναι αρκετό για να αποφασιστεί αν υφίσταται ψηφίο DTMF συνολικά στη ροή φωνής, δεδομένου ότι τα ψηφία DTMF διαρκούν τουλάχιστον 45 msec. Γι' αυτό το σκοπό, ένα τμήμα χρονικής ανάλυσης λειτουργεί στα δεδομένα που εξέρχονται από το τμήμα ενεργειακής σύγκρισης και ανιχνεύει την ύπαρξη ψηφίου DTMF σε μια σειρά τμημάτων φωνής. Όταν η σωστή αλληλουχία τμημάτων βρεθεί (ο αριθμός των συνεχόμενων τμημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το χρόνο που αναπαριστά κάθε τμήμα είναι μεγαλύτερος από την ελάχιστη διάρκεια ενός ψηφίου DTMF), το ψηφίο θεωρείται έγκυρο.

Προκειμένου να επιτευχθεί η ανάλυση χρόνου που απαιτείται για την λειτουργία του ανιχνευτή ψηφίων DTMF, αποφασίστηκε πως ο αλγόριθμος θα πρέπει να λειτουργεί σε τμήματα φωνής διάρκειας 5 ms (40 δείγματα στα 8 kHz). Η προσέγγιση που περιγράφεται παραπάνω παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



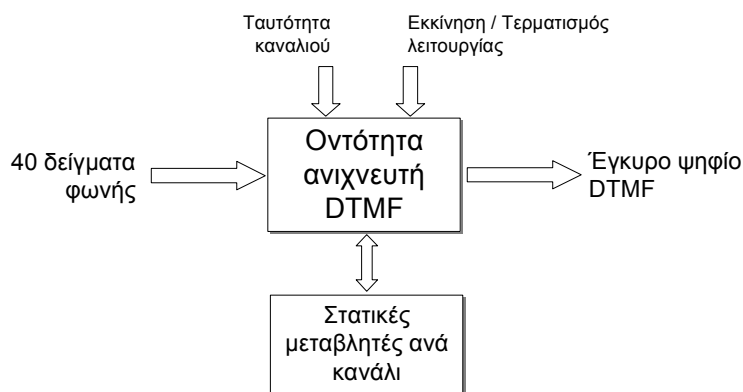
Σχήμα 43. Αρχιτεκτονικό διάγραμμα του ανιχνευτή DTMF

Δεδομένου ότι θα πρέπει να υποστηρίζονται πολλαπλά κανάλια ανίχνευσης DTMF, το λογισμικό ανίχνευσης DTMF αποθηκεύει την τρέχουσα κατάστασή του σε ξεχωριστά τμήματα μνήμης (στατικές μεταβλητές) και κάθε υλοποιημένο κανάλι έχει το δικό του αποθηκευτικό χώρο στατικών μεταβλητών. Συνεπώς, ο κώδικας που υλοποιεί τον ανιχνευτή DTMF μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε όλα τα κανάλια με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση μνήμης.

Το αλγοριθμικό τμήμα ανίχνευσης DTMF υλοποιήθηκε ως μια οντότητα λογισμικού, η οποία δέχεται την παρακάτω είσοδο και παρέχει την παρακάτω έξοδο:

- Είσοδος:
 - 5 ms δεδομένων φωνής κωδικοποιημένης κατά 16-bit γραμμική PCM (40 δείγματα, καθότι ο ρυθμός δειγμάτων είναι 8 kHz)
 - Εκκίνηση/Τερματισμός ανιχνευτή DTMF
 - Ταυτότητα καναλιού
- Έξοδος:
 - Το έγκυρο ψηφίο DTMF εφόσον βρεθεί, τίποτα αν δεν βρεθεί

Η αρχιτεκτονική της οντότητας λογισμικού ανίχνευσης DTMF απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 44. Η οντότητα λογισμικού ανίχνευσης DTMF

4.9.4 Η ηχητική γέφυρα

Η ηχητική γέφυρα είναι ένας δρομολογητής/μίκτης σήματος που δέχεται ένα πλήθος (έστω N) ανεξάρτητων καναλιών φωνής, εκτελώντας μίξη ενός αυθαίρετου αριθμού αυθαίρετων υποσυνόλων τους και δρομολόγηση των μίξεων σε έναν αυθαίρετο αριθμό αυθαίρετων υποσυνόλων των εξόδων (έστω M). Επίσης υλοποιεί κέρδη στις εισόδους, ελέγχοντας το πλάτος των σημάτων εισόδου, πριν από την μίξη τους, και κέρδη στις εξόδους, ελέγχοντας το πλάτος των σημάτων που έχουν υποστεί μίξη. Οι εισοδοί μπορούν να είναι οποιεσδήποτε από τις ακόλουθες:

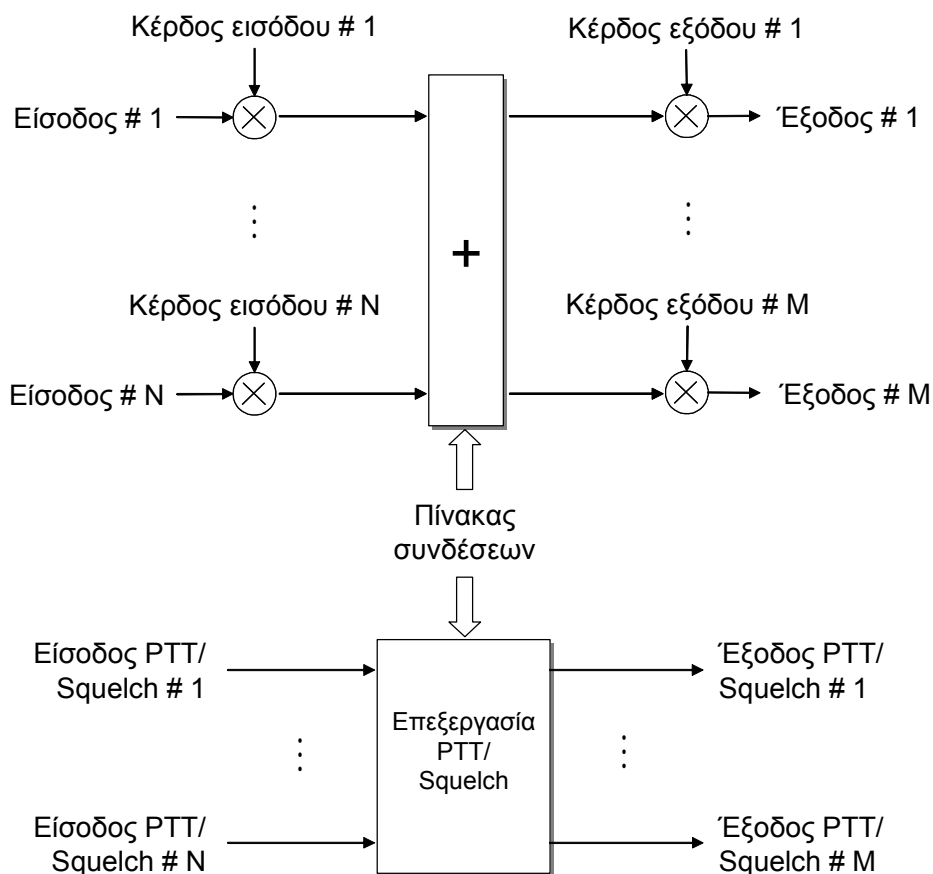
- Κανάλια φωνής που προέρχονται από διεπαφές ασυρμάτου
- Κανάλια φωνής που προέρχονται από διεπαφές τηλεφώνου
- Η γεννήτρια τόνων
- Κανάλια φωνής που προέρχονται από την αποκωδικοποίηση πακέτων που λαμβάνονται από άλλους μετατροπείς RoIP/VoIP

Οι εξοδοί μπορούν να είναι οποιεσδήποτε από τις ακόλουθες:

- Κανάλια φωνής που κατευθύνονται σε διεπαφές ασυρμάτου
- Κανάλια φωνής που κατευθύνονται σε διεπαφές τηλεφώνου
- Κανάλια φωνής που κατευθύνονται προς κωδικοποίηση και δημιουργία πακέτων προς άλλους μετατροπείς RoIP/VoIP

Η λειτουργία της ηχητικής γέφυρας όσον αφορά τα δεδομένα φωνής μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση $y_k = g_{out,k} \cdot (G_{in} \cdot x)$, όπου y_k είναι η έξοδος που δίδεται, $g_{out,k}$ είναι το αντίστοιχο κέρδος της εξόδου και G_{in} είναι το N -διάστατο διάνυσμα των κερδών των εισόδων πολλαπλασιασμένο στοιχείο προς στοιχείο με ένα άλλο N -διάστατο διάνυσμα (το διάνυσμα συνδέσεων) που έχει το στοιχείο 1 στις θέσεις των εισόδων που πρέπει να συνδεθούν σε μια συγκεκριμένη έξοδο και το στοιχείο μηδέν οπουδήποτε αλλού. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις εξόδους M , για παράδειγμα $k = 1$ μέχρι M , έτσι υπάρχουν M διανύσματα σύνδεσης.

Τα σήματα PTT/Squelch που υπάρχουν σε ασυρματικές κλήσεις απαιτούν διαφορετικό χειρισμό. Πρώτον, δεν έχει νόημα η εφαρμογή κέρδους ή απόσβεσης, καθώς τα συγκεκριμένα σήματα μπορούν να έχουν τιμή είτε 0, είτε 1. Επιπλέον, όταν κάποια έξοδος αποτελείται από τη μίξη ενός αριθμού εισόδων, το αντίστοιχο σήμα PTT ή Squelch προκύπτει από έναν τελεστή OR που εφαρμόζεται σε όλες τις εισόδους που συμμετέχουν στη δημιουργία της δεδομένης εξόδου, ούτως ώστε όταν κάποια είσοδος έχει PTT ή Squelch, το ίδιο να συμβεί και στην έξοδο. Επιπλέον, και για λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.2.2, η ηχητική γέφυρα, όταν το PTT κάποιας εξόδου προς κάποια διεπαφή ασυρμάτου ενεργοποιηθεί, θέτει το κέρδος της αντίστοιχης εισόδου στην τιμή 0 για να αποφευχθεί η ανάδραση λόγω λήψης του εκπεμπόμενου σήματος από τον δέκτη. Η προσέγγιση απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα.

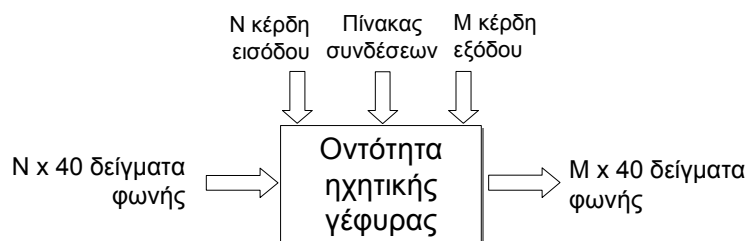


Σχήμα 45. Αρχιτεκτονικό διάγραμμα της ηχητικής γέφυρας

Θα πρέπει να σημειωθεί πως για εισόδους που προέρχονται από διεπαφές τηλεφώνου ή τη γεννήτρια τόνων, η τιμή για τα αντίστοιχα σήματα PTT/Squelch είναι πάντοτε 1. Καθώς υπάρχει μόνο μία ηχητική γέφυρα, δεν υπάρχει ανάγκη για χρήση στατικών μεταβλητών. Το αλγοριθμικό μπλοκ της ηχητικής γέφυρας έχει υλοποιηθεί σαν μία οντότητα λογισμικού που δέχεται τις παρακάτω εισόδους και παράγει τις παρακάτω εξόδους:

- Είσοδος:
 - $N \times 5$ ms δεδομένων φωνής κωδικοποιημένης κατά 16-bit γραμμική PCM ($N \times 40$ δείγματα, καθώς ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 8 kHz)
 - N κέρδη εισόδου
 - M κέρδη εξόδου
 - Ο πίνακας συνδέσεων
- Έξοδος:
 - $M \times 5$ ms δεδομένων φωνής κωδικοποιημένης κατά 16-bit γραμμική PCM ($M \times 40$ δείγματα, καθώς ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 8 kHz)

Η αρχιτεκτονική της οντότητας λογισμικού της ηχητικής γέφυρας απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 46. Η οντότητα λογισμικού της ηχητικής γέφυρας

4.9.5 Η διεπαφή ψηφιακών δεδομένων ήχου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί (βλέπε παράγραφο 4.7.4), το υλικό της μονάδας VEF υλοποιεί έναν δίαυλο πολυπλεξίας χρονοθυρίδων (Time Division Multiplexing – TDM) για να υποστηριχθεί η αμφίδρομη επικοινωνία των ολοκληρωμένων που υλοποιούν τις διεπαφές ασυρμάτου και τηλεφώνου με τον επεξεργαστή DSP. Ο δίαυλος αυτός μεταφέρει ψηφιακά δεδομένα φωνής με συχνότητα δειγματοληψίας ίση με 8 kHz και κάθε δείγμα είναι 16 bits.

Ο επεξεργαστής DSP τερματίζει τον δίαυλο αυτό χρησιμοποιώντας συνολικά 10 κανάλια:

- 2 κανάλια φωνής από/προς τις διεπαφές ασυρμάτου
- 4 κανάλια φωνής από/προς τις διεπαφές τηλεφώνου
- 4 κανάλια σηματοδότησης που μεταφέρουν τα σήματα PTT και Squelch από/προς τις διεπαφές ασυρμάτου

Το λογισμικό του επεξεργαστή DSP προγραμματίζει την μονάδα DMA ούτως ώστε οι μεταφορές δεδομένων μεταξύ του διαύλου και της μνήμης να εκτελούνται χωρίς την παρέμβαση της μονάδας επεξεργασίας. Η δομή των δεδομένων στη μνήμη του επεξεργαστή ακολουθεί την τεχνική του double buffering όπου χρησιμοποιούνται 2 περιοχές μνήμης:

- Όσο η μονάδα DMA γράφει/διαβάζει σε/από μία από αυτές, ο επεξεργαστής DSP χρησιμοποιεί την άλλη
- Όταν η περιοχή αυτή γεμίσει/αδειάσει από δεδομένα, η μονάδα DMA τις εναλλάσσει, ειδοποιώντας ταυτόχρονα τον επεξεργαστή μέσω αίτησης διακοπής (interrupt)

Με δεδομένο ότι πρόκειται για δεδομένα πραγματικού χρόνου, η εναλλαγή των περιοχών μνήμης συμβαίνει σε τακτά χρονικά διαστήματα. Στην προκειμένη υλοποίηση χρησιμοποιήθηκαν περιοχές μνήμης που χωρούν 40 δείγματα φωνής, PTT ή Squelch και, με δεδομένη τη συχνότητα δειγματοληψίας, τα δείγματα αυτά αναπαριστούν χρόνο ίσο με 5 ms. Η λειτουργία του λογισμικού του επεξεργαστή DSP είναι σύγχρονη με το διάστημα αυτό.

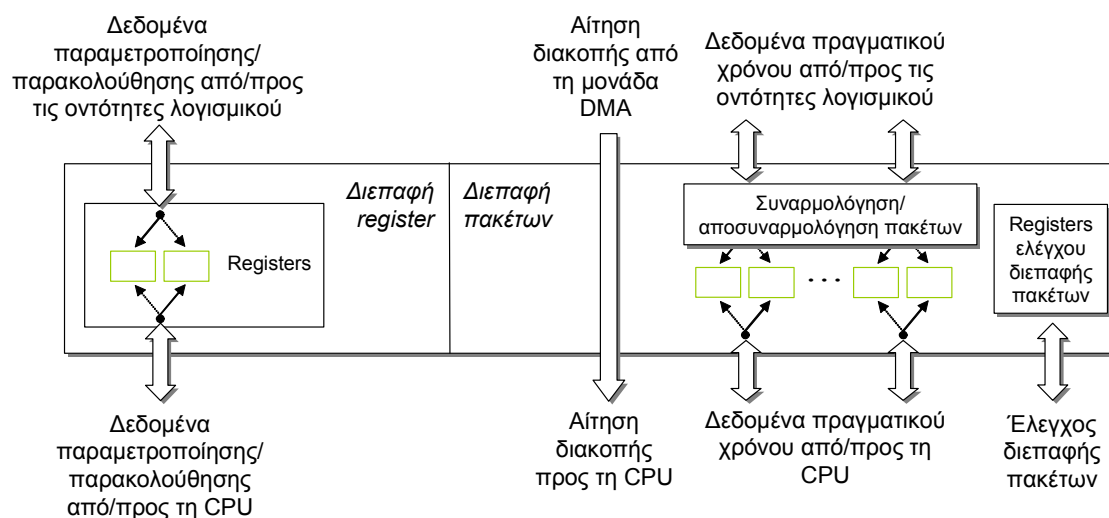
4.9.6 Η διεπαφή με τον επεξεργαστή γενικού σκοπού

Η διεπαφή αυτή επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του επεξεργαστή DSP και του επεξεργαστή γενικού σκοπού (CPU). Αποτελείται από 2 ξεχωριστά τμήματα:

- Την διεπαφή register
- Την διεπαφή πακέτων

Το πρώτο τμήμα αναλαμβάνει τη μεταφορά των απαραίτητων ρυθμίσεων λειτουργίας από τη CPU στο DSP και των δεδομένων παρακολούθησης στην αντίθετη κατεύθυνση με την μορφή registers. Λειτουργεί με την αρχή του double buffering, όπου οι περιοχές μνήμης εναλλάσσονται κάθε 5 ms, οπότε κάθε εντολή παρουσιάζει καθυστέρηση το πολύ ίση με 10 ms.

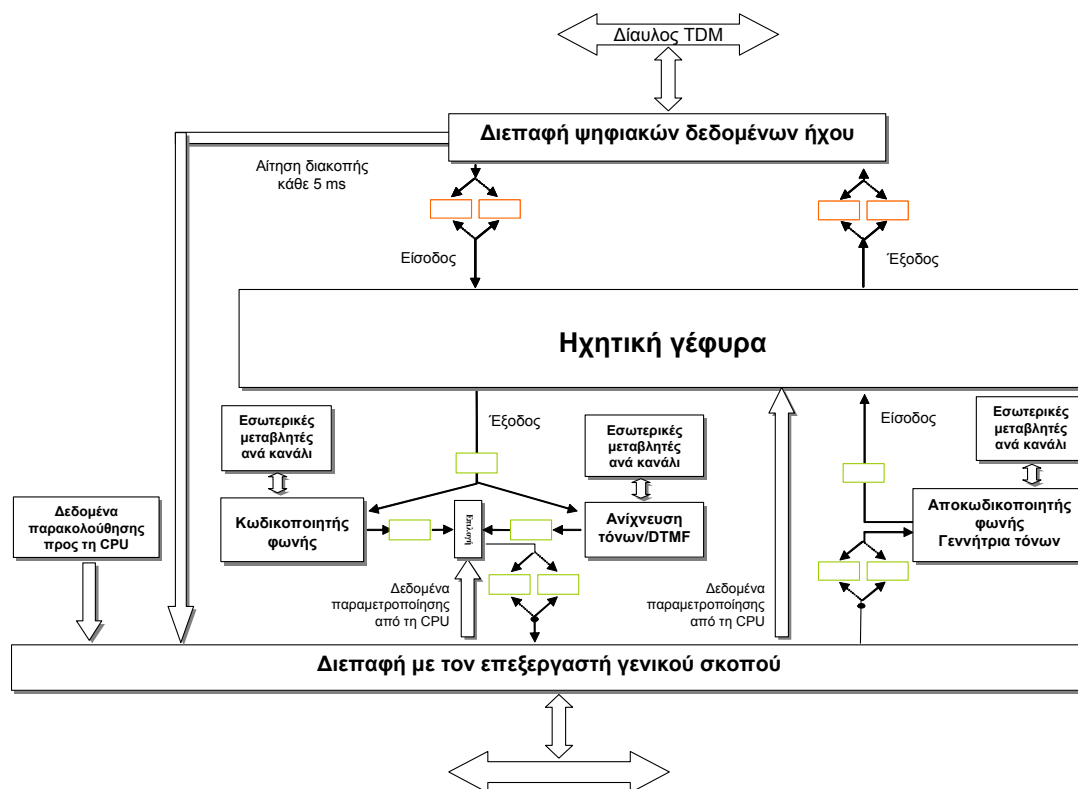
Το δεύτερο υλοποιεί την αμφίδρομη μεταφορά δεδομένων πραγματικού χρόνου όπως φωνή, τόνοι και σήματα PTT και Squelch ανάμεσα στους 2 επεξεργαστές με τη μορφή πακέτων. Οι μεταφορές αυτές είναι ευθυγραμμισμένες σε διαστήματα των 5 ms με χρήση διπλών περιοχών μνήμης. Εάν τα δεδομένα από τον επεξεργαστή DSP δεν μεταφερθούν στη CPU εντός 5 ms χάνονται, καθώς καινούργια δεδομένα γράφονται στη θέση τους ενώ στην αντίθετη κατεύθυνση, εάν δεν υπάρξουν νέα δεδομένα κάθε 5 ms, ο επεξεργαστής DSP θεωρεί πως το πακέτο φωνής χάθηκε, ενεργοποιώντας τη διαδικασία PLC, εφόσον αυτή υποστηρίζεται από τον κωδικοποιητή/αποκωδικοποιητή φωνής (βλέπε παράγραφο 4.9.1). Χρησιμοποιούνται διαφορετικές περιοχές μνήμης για κάθε κανάλι φωνής μεταξύ των 2 επεξεργαστών. Η βάση χρόνου των 5 ms παρέχεται από τον επεξεργαστή DSP στον επεξεργαστή γενικού σκοπού χρησιμοποιώντας την αίτηση διακοπής της μονάδας DMA σαν αναφορά.



Σχήμα 47. Η διεπαφή με τον επεξεργαστή γενικού σκοπού

4.9.7 Το πλαίσιο εκτέλεσης του λογισμικού DSP

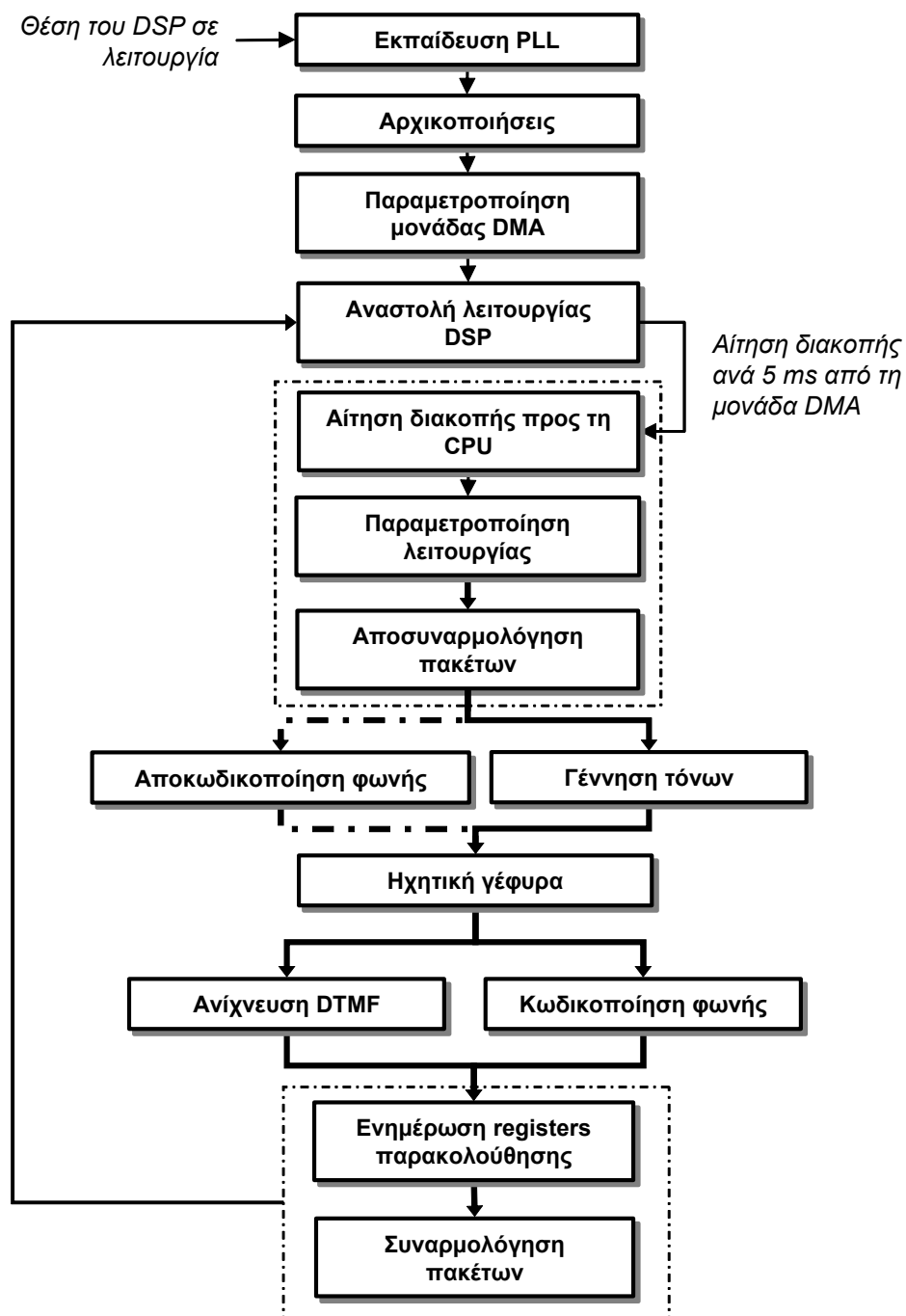
Το πλαίσιο αυτό αποτελείται από ένα σύνολο θέσεων μνήμης που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση των απαραίτητων διεπαφών μεταξύ των οντοτήτων λογισμικού καθώς και έναν προγραμματιστή εργασιών (task scheduler) που συντονίζει την εκτέλεσή τους. Η αρχιτεκτονική των διεπαφών μέσω μνήμης (memory-mapped interfaces) μεταξύ των οντοτήτων παρουσιάζεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 48. Η αρχιτεκτονική των διεπαφών μέσω μνήμης

Ο προγραμματιστής εργασιών είναι μία οντότητα λογισμικού με ελάχιστες απαιτήσεις σε πόρους (μνήμη και επεξεργαστική ισχύ) που συντονίζει την εκτέλεση των υπολοίπων οντοτήτων λογισμικού (κωδικοποιητής φωνής, γεννήτρια τόνων κ.α.) και βεβαιώνει πως κάθε κανάλι φωνής εξυπηρετείται με βάση τις απαιτήσεις που έχει για τον χρόνο εκτέλεσης των εργασιών που το αφορούν. Λόγω των απαιτήσεων πραγματικού χρόνου, ο προγραμματιστής εργασιών λειτουργεί με συγκεκριμένο, επαναληπτικό τρόπο και όχι στοχαστικά, όπως θα έκανε ένα λειτουργικό σύστημα υψηλού επιπέδου, καθώς μία τέτοια προσέγγιση θα οδηγούσε πιθανότατα σε αστάθεια. Η λειτουργία του προγραμματιστή εργασιών συντονίζεται με τη βάση χρόνου των 5 ms.

Ο προγραμματιστής εργασιών μπορεί να επεκταθεί στον αριθμό καναλιών φωνής που μπορούν να υποστηριχθούν από τους πόρους του επεξεργαστή DSP και κάνει πολύ εύκολη την εισαγωγή νέων οντοτήτων στη σειρά εκτέλεσης, εφόσον αυτό χρειαστεί. Η σειρά εκτέλεσης των οντοτήτων λογισμικού DSP που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της διατριβής φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 49. Σειρά εκτέλεσης εργασιών που υλοποιείται από τον DSP task scheduler

Όπως είναι προφανές από το Σχήμα 48, η καθυστέρηση εντός του επεξεργαστή DSP είναι 2 διαστήματα των 5 ms για κάθε μεταφορά δεδομένων φωνής.

4.9.8 Έλεγχος ορθής λειτουργίας λογισμικού επεξεργαστή DSP

Η παρούσα παράγραφος παρουσιάζει τις μετρήσεις επίδοσης του λογισμικού επεξεργαστή DSP ως προς την συμβατότητα με τα αντίστοιχα πρότυπα διεθνών οργανισμών. Τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για να επιβεβαιωθεί πως το λογισμικό που σχεδιάστηκε θα λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις όταν ο μετατροπέας RoIP/VoIP χρησιμοποιηθεί για να υλοποιηθούν οι από-άκρο-σε-άκρο δίαυλοι που παρουσιάζονται στο Σχήμα 8 και στο Σχήμα 15.

4.9.8.1 Έλεγχος ορθής λειτουργίας του κωδικοποιητή / αποκωδικοποιητή φωνής G.729

Οι φορείς προτύπων καθορίζουν τους codec φωνής χρησιμοποιώντας το έγγραφο του προτύπου, μια ακριβή υλοποίηση αναφοράς του codec σε γλώσσα C ούτως ώστε να λειτουργεί σε περιβάλλοντα πεπερασμένης ακρίβειας καθώς και μια ομάδα διανυσμάτων δοκιμής. Η συμβατότητα με το πρότυπο μπορεί να αποδειχθεί μόνο εάν η υλοποίηση περάσει επιτυχώς ΟΛΑ τα διανύσματα δοκιμής που παρέχονται. Υπάρχουν ξεχωριστά διανύσματα δοκιμής για τον κωδικοποιητή και τον αποκωδικοποιητή.

Η διαδικασία ελέγχου συνίστατο λοιπόν στην εισαγωγή των διανυσμάτων δοκιμής στον κωδικοποιητή και αποκωδικοποιητή φωνής που παρέχονται από την ITU και την καταγραφή των αποτελεσμάτων, τα οποία συγκρίθηκαν με τις αναμενόμενες τιμές. Το κριτήριο “επιτυχίας” είναι η πλήρης συμμόρφωση με τα διανύσματα δοκιμής. Εάν ένα τουλάχιστον διάνυσμα δεν κωδικοποιηθεί/αποκωδικοποιηθεί ορθά, τότε θεωρείται “αποτυχία”.

Ο ακόλουθος πίνακας συνοψίζει τα αποτελέσματα από τον έλεγχο ορθής λειτουργίας των codec (κωδικο-αποκωδικοποιητών) φωνής σχετικά με τα διάφορα πρότυπα με τα οποία έχουν σχεδιαστεί να είναι συμβατά. Το αποτέλεσμα “επιτυχία” σημαίνει ότι όλα τα διανύσματα δοκιμής έχουν επεξεργαστεί επιτυχώς για τον κωδικοποιητή και τον αποκωδικοποιητή.

Σχετικό πρότυπο			
G.729	G.729A	G.729B	G.729AB
Επιτυχία	Επιτυχία	Επιτυχία	Επιτυχία

Το επιτυχές αποτέλεσμα των ελέγχων επαληθεύει την εκπλήρωση των απαιτήσεων 14 και 23 της παραγράφου 3.7.

4.9.8.2 Έλεγχος ορθής λειτουργίας της γεννήτριας τόνων

Η διαδικασία ελέγχου της γεννήτριας τόνων συνίστατο στην διαμόρφωση της γεννήτριας τόνων για την παραγωγή ενός συνεχούς τόνου (ενός ημιτόνου, χωρίς αλληλουχία τόνου – σιωπής). Η συχνότητα αυξανόταν κατά 1 Hz στην ακουστική περιοχή 300 Hz μέχρι 3400 Hz. Η απόκλιση των αντιπροσωπευόμενων συχνοτήτων δεν έπρεπε να υπερβαίνει το 0.5% (κριτήριο “επιτυχίας/αποτυχίας”) σε οποιαδήποτε συχνότητα. Αυτή η απαίτηση καλύπτει όλα τα σχετικά κριτήρια εθνικών προτύπων, σύμφωνα με την Αναφορά 49. Ο ακόλουθος πίνακας συνοψίζει τα αποτελέσματα του ελέγχου ορθής λειτουργίας της γεννήτριας τόνων.

Αποτελέσματα ελέγχου	Παρατηρήσεις
Επιτυχία	Η διακύμανση της συχνότητας δεν ξεπέρασε το 0.1% σε καμία συχνότητα της δοκιμής.

4.9.8.3 Έλεγχος ορθής λειτουργίας του ανιχνευτή DTMF

Η ακόλουθη ομάδα δοκιμών στοχεύει στην επικύρωση της ορθής λειτουργίας του ανιχνευτή DTMF σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα (βλέπε Αναφορά 52, Αναφορά 53, Αναφορά 54 & Αναφορά 55).

4.9.8.3.1 Έλεγχος απόκλισης συχνότητας – Έλεγχος DMTF.1

Σύμφωνα με σχετικά πρότυπα, τα ψηφία DTMF μπορούν να γίνουν αποδεκτά ή να απορριφθούν με βάση την απόκλιση συχνότητας που παρουσιάζει κάθε ημιτονοειδής συνιστώσα από την ονομαστική της συχνότητα. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα κριτήρια “επιτυχίας/αποτυχίας” σύμφωνα με τους αντίστοιχους φορείς προτύπων.

Bellcore GR-181-CORE	EIA/TIA-464A	ITU-T Q.24	ETSI ES 201 235-3 V1.2.1
±1.5%: αποδοχή ±3.5%: απόρριψη	±1.5%: αποδοχή ±3.5%: απόρριψη	±1.5%: αποδοχή ±3.5%: απόρριψη	±(1.5% + 2 Hz): αποδοχή

Η διαδικασία ελέγχου συνίστατο στην κατασκευή ενός διανύσματος δοκιμής συμπεριλαμβανομένων όλων των ψηφίων DTMF με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των οριακών τιμών, που αναφέρονται ανωτέρω, για κάθε ημιτονοειδή συνιστώσα. Ακολούθως εισήχθη το διάνυσμα δοκιμής στον ανιχνευτή DTMF και τα ανιχνευμένα ψηφία καταγράφηκαν και συγκρίθηκαν με τα δεδομένα εισόδου. Η διαδικασία επαναλήφθηκε και για τα τέσσερα πρότυπα.

4.9.8.3.2 Έλεγχος ελάχιστης διάρκειας τόνου – Έλεγχος DMTF.2

Σύμφωνα με σχετικά πρότυπα, τα ψηφία DTMF μπορούν να γίνουν αποδεκτά ή να απορριφθούν με βάση την διάρκειά τους. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα κριτήρια “επιτυχίας/αποτυχίας” σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο.

Bellcore GR-181-CORE	EIA/TIA-464A	ITU-T Q.24	ETSI ES 201 235-3 V1.2.1
40 ms: αποδοχή 23 ms: απόρριψη	40 ms: αποδοχή	40 ms: αποδοχή 23 ms: απόρριψη	40 ms: αποδοχή 20 ms: απόρριψη

Η διαδικασία ελέγχου συνίστατο στην κατασκευή ενός διανύσματος δοκιμής συμπεριλαμβανομένων όλων των ψηφίων DTMF με διάρκεια εύρους από 10 έως 50 ms με αύξηση κατά 1 ms για το καθένα ξεχωριστά. Στη συνέχεια το διάνυσμα δοκιμής εισήχθη στον ανιχνευτή DTMF και τα ανιχνευμένα DTMF καταγράφηκαν και συγκρίθηκαν με την έξοδο. Πρέπει να σημειωθεί ότι αν ο ανιχνευτής DTMF λειτουργεί ορθά σύμφωνα με το πρότυπο ETSI, τότε συνάδει με τις απαιτήσεις όλων των άλλων προτύπων. Συνεπώς πραγματοποιήθηκε έλεγχος μόνο για την συμβατότητα με το πρότυπο ETSI.

4.9.8.3.3 Έλεγχος ελάχιστου χρονικού διαστήματος μεταξύ ψηφίων – Έλεγχος DMTF.3

Σύμφωνα με σχετικά πρότυπα, διαδοχικά ψηφία DTMF μπορούν να θεωρηθούν ως διαφορετικά ψηφία ή διαφορετικά μέρη του ίδιου ψηφίου DTMF με βάση το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών ψηφίων. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει το κριτήριο “επιτυχίας/αποτυχίας” σύμφωνα με τους σχετικούς φορείς προτύπων.

Bellcore GR-181-CORE	EIA/TIA-464A	ITU-T Q.24	ETSI ES 201 235-3 V1.2.1
40 ms	40 ms	≥ 40 ms ανίχνευση δύο ψηφίων < 10 ms γεφύρωση χάσματος (ενός ψηφίου)	≥ 40 ms ανίχνευση δύο ψηφίων < 20 ms γεφύρωση χάσματος (ενός ψηφίου)

Η διαδικασία ελέγχου συνίστατο στην κατασκευή ενός διανύσματος δοκιμής συμπεριλαμβανομένων όλων των ψηφίων DTMF με διακοπές εύρους από 1 έως 20 ms με αύξηση κατά 1 ms για το καθένα ξεχωριστά. Στη συνέχεια το διάνυσμα δοκιμής εισήχθη στον ανιχνευτή DTMF και τα ανιχνευμένα ψηφία καταγράφηκαν και συγκρίθηκαν με τα δεδομένα εισόδου. Πρέπει να σημειωθεί ότι αν ο ανιχνευτής DTMF λειτουργεί ορθά σύμφωνα με το πρότυπο ETSI, τότε συνάδει με τις απαιτήσεις όλων των άλλων προτύπων. Συνεπώς πραγματοποιήθηκε έλεγχος μόνο για την συμβατότητα με το πρότυπο ETSI.

4.9.8.3.4 Έλεγχος επιπέδου – Test DMTF.4

Σύμφωνα με σχετικά πρότυπα, ένα ψηφίο DTMF μπορεί να γίνει αποδεκτό ή να απορριφθεί με βάση το συνολικό επίπεδο ενέργειας. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει το κριτήριο σύμφωνα με τους σχετικούς φορείς προτύπων.

Bellcore GR-181-CORE	EIA/TIA-464A	ITU-T Q.24	ETSI ES 201 235-3 V1.2.1
0 έως -36 dBm: αποδοχή ≤ -55 dBm: απόρριψη	0 έως -25 dBm: αποδοχή	0 έως -25 dBm: αποδοχή ≤ -55 dBm: απόρριψη	-4 έως -28 dBm0: αποδοχή ≤ -36 dBm0: απόρριψη

Η διαδικασία ελέγχου συνίστατο στην κατασκευή ενός διανύσματος δοκιμής συμπεριλαμβανομένων όλων των ψηφίων DTMF με επίπεδα εύρους από -60 έως 0 dBm (σε ισοδύναμο ψηφιακό κώδικα) για το καθένα ξεχωριστά. Στη συνέχεια το διάνυσμα δοκιμής εισήχθη στον ανιχνευτή DTMF και τα ανιχνευόμενα ψηφία καταγράφηκαν και συγκρίθηκαν με τα δεδομένα εισόδου. Καθώς ο ανιχνευτής DTMF που σχεδιάστηκε διαθέτει προγραμματιζόμενα όρια ενέργειας για κάθε επίπεδο, η διαδικασία επαναλήφθηκε και για τα 4 πρότυπα με τις κατάλληλες ρυθμίσεις.

4.9.8.3.5 Έλεγχος παράγοντα διαφοροποίησης ισχύος συνιστωσών (Twist) – Έλεγχος DMTF.5

Σύμφωνα με σχετικά πρότυπα, ένα ψηφίο DTMF μπορεί να γίνει αποδεκτό ή να απορριφθεί με βάση το σχετικό επίπεδο ενέργειας των δύο ημιτονοειδών συνιστωσών που το απαρτίζουν. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα κριτήρια “επιτυχίας/αποτυχίας” σύμφωνα με τα αντίστοιχα πρότυπα.

Bellcore GR-181-CORE	EIA/TIA-464A	ITU-T Q.24	ETSI ES 201 235-3 V1.2.1
-8 έως +4 dB: αποδοχή	-8 έως +4 dB: αποδοχή	+4 έως -8 dB: αποδοχή	+6 έως -6 dB: αποδοχή

Η διαδικασία ελέγχου συνίστατο στην κατασκευή ενός διανύσματος δοκιμής συμπεριλαμβανομένων όλων των ψηφίων DTMF με παράγοντες διαφοροποίησης ισχύος συνιστωσών εύρους από -10 έως +10 dB με αύξηση κατά 1 dB για το καθένα ξεχωριστά. Κατόπιν το διάνυσμα δοκιμής εισήχθη στον ανιχνευτή DTMF και τα ανιχνευμένα ψηφία καταγράφηκαν και συγκρίθηκαν με τα δεδομένα εισόδου. Καθώς ο ανιχνευτής DTMF διαθέτει προγραμματιζόμενα όρια ενέργειας για τους παράγοντες διαφοροποίησης ισχύος συνιστωσών, η διαδικασία επαναλήφθηκε και για τα 4 πρότυπα με τις κατάλληλες ρυθμίσεις.

4.9.8.3.6 Έλεγχος Talk-off – Έλεγχος DMTF.6

Σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα, ένας ανιχνευτής DTMF πρέπει να παρουσιάζει ένα συγκεκριμένο άνω όριο στο πλήθος των εξομοιώσεων DTMF από φωνή. Τα διανύσματα δοκιμής για αυτή την περίπτωση παρέχονται με τη μορφή audio από σχετικούς φορείς προτύπων. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα κριτήρια “επιτυχίας/αποτυχίας” σύμφωνα με τα αντίστοιχα πρότυπα.

Bellcore GR-181-CORE	EIA/TIA- 464A	ITU-T Q.24	ETSI ES 201 235-3 V1.2.1
≤ 330 talkoffs των ψηφίων 0-9 ≤ 500 talkoffs των ψηφίων 0-9, *, # ≤ 666 talkoffs των ψηφίων 0-9, *, #, A, B, C, D (Bellcore talk-off Tape TR-TSY-00763)	-	-	Όχι παραπάνω από 5 talkoffs (CSELT σήμα δοκιμής)

Η διαδικασία ελέγχου συνίστατο στην εισαγωγή των διανυσμάτων δοκιμής που παρέχονται από τα πρότυπα στον ανιχνευτή DTMF και την καταγραφή των ανιχνευόμενων ψηφίων, το πλήθος των οποίων θα πρέπει να είναι μικρότερο από τους αριθμούς που υποδεικνύονται ανωτέρω.

4.9.8.3.7 Έλεγχος Σηματοθορυβικού Λόγου (SNR) – Έλεγχος DMTF.7

Σύμφωνα με σχετικά πρότυπα, ένας ανιχνευτής DTMF πρέπει να παρουσιάζει ένα συγκεκριμένο άνω όριο στο πλήθος των λανθασμένων DTMF που ανιχνεύονται παρουσία λευκού θορύβου. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα κριτήρια “επιτυχίας/αποτυχίας” σύμφωνα με τα αντίστοιχα πρότυπα.

Bellcore GR-181-CORE	EIA/TIA-464A	ITU-T Q.24	ETSI ES 201 235-3 V1.2.1
<10 ⁻⁴ ρυθμός σφάλματος στα 23 dB	<10 ⁻⁴ ρυθμός σφάλματος στα 15 dB	-	-

Η διαδικασία ελέγχου συνίστατο στην κατασκευή ενός διανύσματος δοκιμής που περιλάμβανε τυχαία ψηφία DTMF (ομοιόμορφη κατανομή) με τις αναλογίες Σήματος-προς-Θόρυβο (SNR) που αναφέρονται στον πιο πάνω πίνακα. Ακολούθως το διάνυσμα δοκιμής εισήχθη στον ανιχνευτή DTMF και τα ανιχνευμένα ψηφία καταγράφηκαν και συγκρίθηκαν με τα δεδομένα εισόδου. Ο απαραίτητος αριθμός των ψηφίων DTMF με θόρυβο υποβάθρου για την διασφάλιση συμβατότητας με τα απαιτούμενα που υποδεικνύονται ανωτέρω θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 100 φορές της αντίστροφης τιμής του απαιτούμενου ρυθμού σφαλμάτων, άρα το πείραμα επαναλήφθηκε για 1 εκατομμύριο ψηφία.

4.9.8.3.8 Αποτελέσματα ελέγχου ορθής λειτουργίας του ανιχνευτή DTMF

Ο ακόλουθος πίνακας συνοψίζει τα αποτελέσματα από τον έλεγχο ορθής λειτουργίας του ανιχνευτή DTMF για διάφορα πρότυπα με τα οποία σχεδιάστηκε να συμμορφώνεται (έλεγχοι DTMF.1 έως DTMF.7).

Έλεγχος	Σχετικό πρότυπο				Αποτελέσματα ελέγχου
	Bellcore GR-181-CORE	EIA/TIA-464A	ITU-T Q.24, Τιμές	ETSI ES 201 235-3 V1.2.1	
DTMF.1	±1.5%: αποδοχή ±3.5%: απόρριψη	±1.5%: αποδοχή ±3.5%: απόρριψη	±1.5%: αποδοχή ±3.5%: απόρριψη	±(1.5% + 2 Hz): αποδοχή	<u>Επιτυχία:</u> Ανιχνεύθηκαν όλα τα ψηφία στα ±(1.5% + 2 Hz) Απορρίφθηκαν όλα τα ψηφία στα ±3.5%
DTMF.2	40 ms: αποδοχή 23 ms: απόρριψη	40 ms: αποδοχή	40 ms: αποδοχή 23 ms: απόρριψη	40 ms: αποδοχή 20 ms: απόρριψη	<u>Επιτυχία:</u> Ανιχνεύθηκαν όλα τα ψηφία με διάρκεια 40 ms Απορρίφθηκαν όλα τα ψηφία με διάρκεια 20 ms
DTMF.3	40 ms	40 ms	≥ 40 ms ανίχνευση δύο ψηφίων < 10 ms γεφύρωση χάσματος (ενός ψηφίου)	≥ 40 ms ανίχνευση δύο ψηφίων < 20 ms γεφύρωση χάσματος (ενός ψηφίου)	<u>Επιτυχία</u> 40 ms: Ανιχνεύθηκαν διπλά ψηφία για όλα τα ψηφία <u>Επιτυχία</u> 20 ms: Ανιχνεύθηκαν μονά ψηφία για όλα τα ψηφία
DTMF.4	0 έως -36 dBm: αποδοχή ≤ -55 dBm: απόρριψη	0 έως -25 dBm: αποδοχή	0 έως -25 dBm: αποδοχή ≤ -55 dBm: απόρριψη	-4 έως -28 dBm0: αποδοχή ≤ -36 dBm0 : απόρριψη	<u>Επιτυχία:</u> Όλοι οι τόνοι ανιχνεύθηκαν για επίπεδα εντός της αποδεκτής περιοχής με χρήση προγραμματιζόμενων επιπέδων

DMTF.5	-8 έως +4 dB: αποδοχή	-8 έως +4 dB: αποδοχή	+4 έως -8 dB: αποδοχή	+6 έως -6 dB: αποδοχή	<u>Επιτυχία:</u> Όλοι οι τόνοι για τους παράγοντες διαφοροποίησης ανιχνεύθηκαν εντός της αποδεκτής περιοχής για όλα τα συνιστώμενα επίπεδα παραγόντων διαφοροποίησης με χρήση προγραμματιζόμενων επιπέδων διαφοροποίησης ισχύος συνιστωσών DTMF (Twist)
DMTF.6	≤ 330 talkoffs των ψηφίων 0-9 ≤ 500 talkoffs των ψηφίων 0-9, *, # ≤ 666 talkoffs των ψηφίων 0-9, *, #, A, B, C, D	-	-	Όχι παραπάνω από 5 talkoffs	<u>Επιτυχία:</u> 120 συνολικές ανιχνεύσεις για δοκιμή διάρκειας 3 ωρών του Bellcore <u>Επιτυχία:</u> 0 ανιχνεύσεις για δοκιμή διάρκειας 21.5 λεπτών του ETSI
DMTF.7	23 dB	15 dB	-	-	<u>Επιτυχία:</u> <10 ⁻⁴ ρυθμός σφαλμάτων για 15 και 23 dB SNR

Πίνακας 19. Αποτελέσματα ελέγχου ορθής λειτουργίας του ανιχνευτή DTMF

4.9.8.4 Έλεγχος ορθής λειτουργίας της ηχητικής γέφυρας

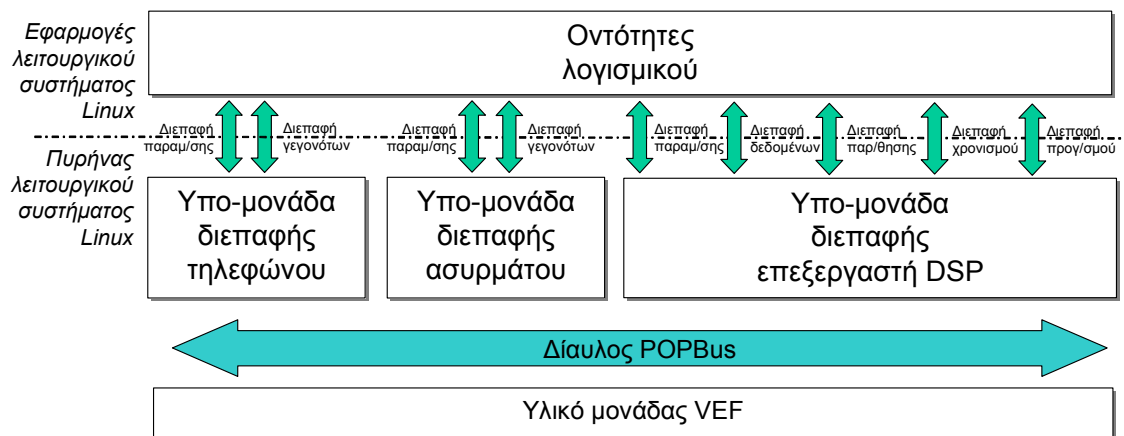
Η ηχητική γέφυρα δοκιμάστηκε με τη χρήση σεναρίων σύνδεσης. Δεδομένου ότι λειτουργεί μόνο με δεδομένα κωδικοποιημένα σε PCM, υλοποιήθηκαν όλα τα σενάρια συνδέσεων/μίξεων χρησιμοποιώντας ως δοκιμαστικό διάλυμα εισαγωγής ένα πλήθος καναλιών φωνής στα 16-bit, 8 kHz, γραμμικού PCM συμπεριλαμβανομένων ακραίων τιμών εύρους, διαμορφώνοντας την ηχητική γέφυρα με κάθε πιθανό τρόπο και παρακολουθώντας τα αποτελέσματα (δεδομένα εξόδου). Όλα τα σενάρια συνδέσεων/μίξεων έπρεπε να είναι λειτουργικά προκειμένου να θεωρηθεί επιτυχής ο έλεγχος. Το αποτέλεσμα ελέγχου ορθής λειτουργίας της ηχητικής γέφυρας ήταν επιτυχές, επαληθεύοντας την εκπλήρωση της απαίτησης 7 της παραγράφου 3.7. Πρέπει να σημειωθεί ότι η λειτουργία της ηχητικής γέφυρας δεν συνάδει με κάποιο πρότυπο τηλεφωνίας.

4.10 Ο οδηγός της μονάδας VEF

Ο οδηγός της μονάδας VEF αναλαμβάνει την υλοποίηση της διεπαφής οποιασδήποτε οντότητας λογισμικού εκτελείται στο επίπεδο εφαρμογής του λειτουργικού συστήματος με το υλικό της κάρτας (βλέπε παράγραφο 4.8) στο επίπεδο της ανταλλαγής δεδομένων φωνής, σηματοδότησης και παραμετροποίησης. Ο οδηγός περιλαμβάνει 3 διαφορετικές υπομονάδες:

- Την υπο-μονάδα διεπαφής ασυρμάτου που επίσης περιλαμβάνει 2 ξεχωριστές διεπαφές:
 - Τη διεπαφή γεγονότων, που αναλαμβάνει τη διαμεταγωγή γεγονότων που σχετίζονται με τους ασυρμάτους, όπως PTT, Squelch κ.α.
 - Τη διεπαφή παραμετροποίησης, που αναλαμβάνει την αρχικοποίηση και ρύθμιση των διεπαφών ασυρμάτου (βλέπε παράγραφο 4.7.1), ούτως ώστε αυτές να λειτουργούν με βάση τις απαιτήσεις
- Την υπο-μονάδα διεπαφής τηλεφώνου που περιλαμβάνει 2 ξεχωριστές διεπαφές:
 - Τη διεπαφή γεγονότων, που αναλαμβάνει τη διαμεταγωγή γεγονότων που σχετίζονται με τις τηλεφωνικές συσκευές, όπως άνοιγμα/κλείσιμο της συσκευής (on-hook/off-hook) κ.α.
 - Τη διεπαφή παραμετροποίησης, που αναλαμβάνει την αρχικοποίηση και ρύθμιση των διεπαφών τηλεφώνου (βλέπε παράγραφο 4.7.2), ούτως ώστε αυτές να λειτουργούν με βάση τις απαιτήσεις
- Την υπο-μονάδα διεπαφής με τον επεξεργαστή DSP που περιλαμβάνει 5 ξεχωριστές διεπαφές:
 - Τη διεπαφή προγραμματισμού του επεξεργαστή, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η αρχικοποίησή του με το πρόγραμμα που καλείται να εκτελέσει
 - Τη διεπαφή παραμετροποίησης του επεξεργαστή, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η ρύθμιση της λειτουργίας του με δυναμικό τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις σύμφωνα με τη φάση στην οποία βρίσκεται μία κλήση
 - Τη διεπαφή παρακολούθησης, μέσω της οποίας γίνεται η παρακολούθηση της λειτουργικής κατάστασης του επεξεργαστή DSP και του ίδιου του οδηγού
 - Τη διεπαφή χρονισμού, μέσω της οποίας οι οντότητες λογισμικού που χρησιμοποιούν τον οδηγό μπορούν να πληροφορηθούν για την έλευση του χρόνου, όπως αυτός μετράται από τον επεξεργαστή DSP, καθώς προφανώς το ρολόι που αυτός χρησιμοποιεί είναι διαφορετικό από το ρολόι του επεξεργαστή γενικού σκοπού στον οποίο η εφαρμογή εκτελείται
 - Τη διεπαφή ανταλλαγής δεδομένων φωνής, μέσω της οποίας οι οντότητες λογισμικού που χρησιμοποιούν τον οδηγό μπορούν να ανταλλάξουν με τον επεξεργαστή DSP δεδομένα φωνής που ανήκουν σε πολλαπλά, αμφίδρομα κανάλια

Το αρχιτεκτονικό διάγραμμα του οδηγού της μονάδας VEF παρουσιάζεται στο πιο κάτω διάγραμμα. Το υπόλοιπο της παραγράφου επικεντρώνεται στη διεπαφή ανταλλαγής δεδομένων φωνής, καθώς η υλοποίηση των υπολοίπων διεπαφών δεν παρουσιάζει κάποιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον αναγνώστη.



Σχήμα 50. Η αρχιτεκτονική του οδηγού της μονάδας VEF

Η διεπαφή του οδηγού με τις οντότητες λογισμικού που λειτουργούν στο επίπεδο εφαρμογής του λειτουργικού συστήματος βασίζεται στη διεπαφή αρχείων του Linux.

4.10.1 Η υλοποίηση της διεπαφής ανταλλαγής δεδομένων φωνής

Ο οδηγός της μονάδας VEF σχεδιάστηκε ώστε να συμμετέχει στην υλοποίηση μίας υπηρεσίας πραγματικού χρόνου στα πλαίσια ενός λειτουργικού συστήματος (Linux), το οποίο δυστυχώς δεν επιτρέπει τον ορισμό προτεραιοτήτων μεταξύ των αιτήσεων διακοπής άρα δεν επιτρέπει στον σχεδιαστή να σχεδιάσει οδηγούς των οποίων η σειρά εκτέλεσης να μπορεί να οριστεί με ακρίβεια. Η έλλειψη αυτή μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση καθυστέρησης στη μία κατεύθυνση μετάδοσης και απώλεια φωνής στην άλλη, καθώς:

- Ο επεξεργαστής DSP παράγει, όπως έχει ήδη περιγραφεί στην παράγραφο 4.9.6, μία αίτηση διακοπής κάθε 5 ms προς τον επεξεργαστή γενικού σκοπού, η οποία χρησιμοποιείται από τον τελευταίο για να εκκινήσει τη διαδικασία ανταλλαγής δεδομένων
- Ανάλογα με τον κωδικοποιητή/αποκωδικοποιητή φωνής που χρησιμοποιείται, μπορεί στο διάστημα αυτό είτε να υπάρχουν δεδομένα φωνής προς μεταφορά, είτε όχι. Για παράδειγμα, εάν χρησιμοποιείται κωδικοποιητής/αποκωδικοποιητής φωνής G.729, μεταφέρονται δεδομένα κάθε 2 αιτήσεις διακοπής
- Υπό συνθήκες φόρτου συστήματος (πολλές ταυτόχρονες αιτήσεις διακοπής από περιφερειακά σε μικρό χρονικό διάστημα) και λόγω της ανυπαρξίας προτεραιοποίησης, υπάρχει σοβαρή πιθανότητα ο επεξεργαστής γενικού σκοπού να μην ειδοποιηθεί ποτέ για την αίτηση διακοπής του επεξεργαστή DSP και η ανταλλαγή φωνής να μην γίνει. Για να μην απολεσθούν τα πακέτα με καταστροφικά αποτελέσματα στην ποιότητα της υπηρεσίας, υλοποιήθηκε εντός του οδηγού ένα σύστημα ουρών και προς τις 2 κατευθύνσεις μετάδοσης, όπως περιγράφεται στη συνέχεια
- Η εισαγωγή ουρών, παρόλο που φαίνεται να επιλύει το πρόβλημα, δημιουργεί στην πραγματικότητα ένα άλλο. Στην κατεύθυνση μετάδοσης από τον ασύρματο/τηλέφωνο προς το δίκτυο και υπό συνθήκες φόρτου συστήματος, το πακέτο δεν θα συλλεγεί από τον επεξεργαστή γενικού σκοπού όταν πρέπει παρά μόνο με κάποια από τις επόμενες αιτήσεις διακοπής, αυξάνοντας την από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση σωρευτικά και για όλη τη διάρκεια της κλήσης.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται η βασική στρατηγική της ανάπτυξης του οδηγού που ακολουθήθηκε ούτως ώστε να αντιμετωπιστούν τα 2 προαναφερθέντα προβλήματα.

4.10.1.1 Η βασική υποδομή για τον χειρισμό δεδομένων φωνής

Ο οδηγός της μονάδας VEF διαχειρίζεται δεδομένα φωνής σε 2 κατευθύνσεις, από τον επεξεργαστή DSP προς τον επεξεργαστή CPU και αντίστροφα. Για κάθε κατεύθυνση μετάδοσης και κάθε κανάλι (ροή) φωνής ξεχωριστά, υλοποιήθηκαν:

- Μία ουρά αναμονής που περιέχει άδειες θέσεις πακέτων φωνής (free FIFO)
- Μία ουρά αναμονής που περιέχει πακέτα φωνής που περιμένουν να μεταφερθούν (pending FIFO)
- Ένας δείκτης (pointer) που υποδεικνύει τη θέση του πακέτου που διαβάζεται/γράφεται

Αρχικά, ο οδηγός αναθέτει τις θέσεις στις ουρές, μέχρι ενός καθορισμένου μήκους και γεμίζει τις θέσεις της free FIFO. Η μεταφορά δεδομένων μεταξύ του οδηγού και της οντότητας λογισμικού που τον χρησιμοποιεί υλοποιείται μεταφέροντας τις θέσεις μεταξύ των ουρών και του δείκτη, με τη θέση του πακέτου να ορίζει και την εγκυρότητα του περιεχομένου του, δηλαδή αν το πακέτο βρίσκεται στην free FIFO δεν περιέχει έγκυρα δεδομένα φωνής ενώ το αντίθετο συμβαίνει αν είναι εντός της pending FIFO. Το πακέτο που δείχνεται από τον δείκτη είναι εκείνο που την δεδομένη χρονική στιγμή διαβάζεται/γράφεται από την οντότητα λογισμικού.

4.10.1.2 Η απόρριψη πακέτων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, λόγω της πιθανότητας μη ανίχνευσης κάποιας αίτησης διακοπής του επεξεργαστή DSP από τη CPU λόγω μεγάλου φόρτου και της συνεπακόλουθης αύξησης της καθυστέρησης διαμέσου του οδηγού, ο τελευταίος θα πρέπει να απορρίπτει επιλεκτικά πακέτα, ακόμη και αν αυτό οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού απώλειας.

Στην κατεύθυνση μετάδοσης από το DSP προς τη CPU, η προσέγγιση είναι απλή. Ο επεξεργαστής DSP αριθμεί τα πακέτα από την αρχή μίας κλήσης με αποτέλεσμα η οντότητα λογισμικού που διαβάσει από τον οδηγό να γνωρίζει αν πρέπει να κρατήσει ή να απορρίψει το πακέτο. Ο αλγόριθμος της απόρριψης θα παρουσιαστεί στην παράγραφο 4.11.10.2. Η αντίστοιχη ουρά μπορεί να διαβαστεί από την οντότητα λογισμικού αφότου έχει πληρωθεί μέχρι ένα επίπεδο, ούτως ώστε να αποφεύγεται το πρόωρο άδειασμά της.

Στην αντίθετη κατεύθυνση, ο αλγόριθμος απόρριψης υλοποιείται εξ'ολοκλήρου εντός του οδηγού. Αν ο επεξεργαστής DSP ζητήσει πακέτο φωνής και δεν υπάρχει κανένα στην ουρά προς μεταφορά, τότε θα πρέπει να απορριφθούν μελλοντικά πακέτα για να αποφευχθεί η αύξηση της καθυστέρησης. Επίσης, υλοποιείται και σε αυτή την κατεύθυνση ένα αρχικό επίπεδο πλήρωσης της ουράς πριν τα πακέτα φωνής αρχίσουν να γράφονται στον επεξεργαστή DSP.

4.10.2 Τα στατιστικά του οδηγού της μονάδας VEF

Ο οδηγός της μονάδας VEF παρέχει μία σειρά στατιστικών στοιχείων για τη λειτουργία του τα οποία είναι εξαιρετικά σημαντικά στην ποσοτικοποίηση της από-άκρο-σε-άκρο ποιότητας φωνής, όπως θα φανεί στη συνέχεια της εργασίας. Αυτά περιλαμβάνουν για κάθε κατεύθυνση μετάδοσης ξεχωριστά:

- Το τρέχον επίπεδο πλήρωσης των ουρών εκπεφρασμένο σε πακέτα φωνής
- Το συνολικό αριθμό των πακέτων φωνής
- Το συνολικό αριθμό των μη έγκυρων πακέτων φωνής, δηλαδή αυτών που δεν έχουν σωστή επικεφαλίδα ή μήκος
- Το συνολικό αριθμό των απορριφθέντων πακέτων φωνής

Επίσης, παρέχεται μία ένδειξη των γεγονότων πλήρους εκκένωσης της ουράς στην κατεύθυνση από τη CPU στο DSP (underflows), καθώς και ένα ιστόγραμμα της καθυστέρησης (σε ms) της ανίχνευσης από τη CPU της αίτησης διακοπής σε σχέση με το πότε αυτή εκδόθηκε από τον επεξεργαστή DSP. Η μεγάλη διακύμανση του χρόνου αυτού υποδεικνύει μεγάλο φόρτο συστήματος.

4.11 Η οντότητα Media Gateway

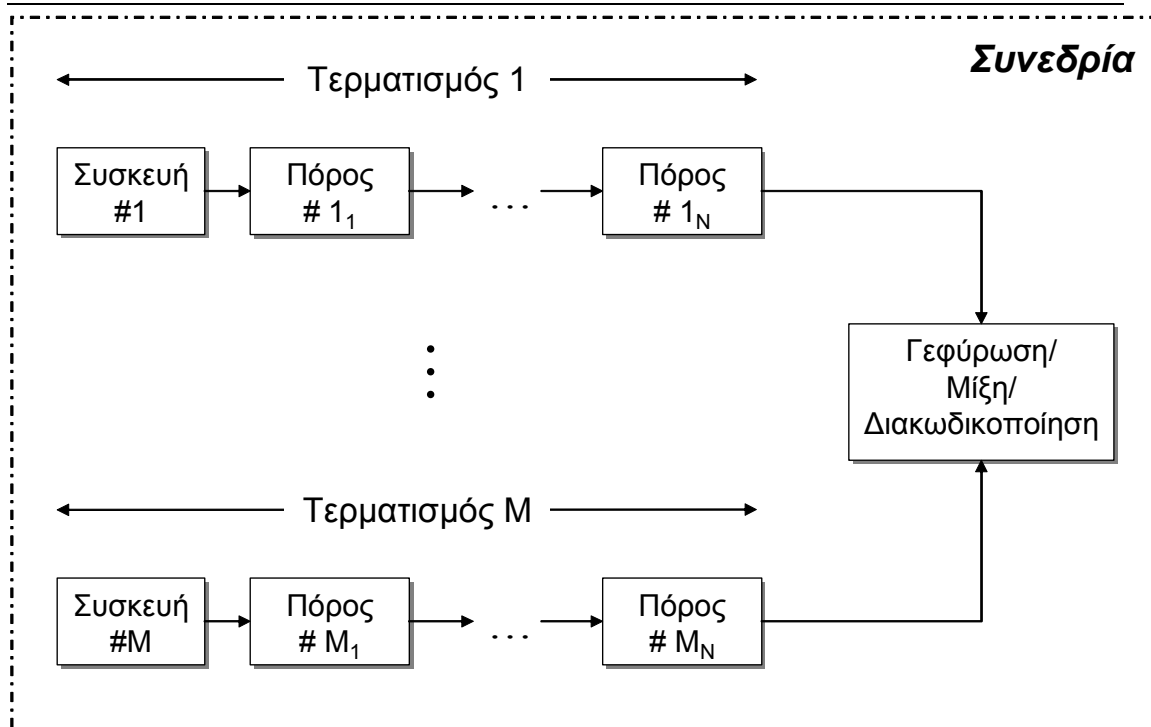
Η οντότητα Media Gateway (MG) σχεδιάστηκε ώστε να υλοποιεί τις εξής βασικές λειτουργίες:

- Τη δημιουργία πολλαπλών αμφίδρομων ή μονόδρομων ροών φωνής ανάμεσα σε ασυρμάτους και τηλέφωνα που είναι συνδεδεμένα στις αντίστοιχες διεπαφές της μονάδας VEF και/ή την διεπαφή Ethernet του μετατροπέα RoIP/VoIP μέσω:
 - Της παραμετροποίησης της μονάδας VEF και του λογισμικού του επεξεργαστή DSP ώστε να εφαρμοστεί η επεξεργασία που είναι απαραίτητη στις ροές φωνής που λαμβάνονται ή εκπέμπονται με χρήση του οδηγού της μονάδας VEF
 - Της υλοποίησης στον επεξεργαστή γενικού σκοπού όποιας άλλης επεξεργασίας χρειαστεί
- Την υποστήριξη της οντότητας CS (Call Server) στο επίπεδο της σηματοδοσίας μέσω:
 - Της μεταφοράς σηματοδοσίας από την μονάδα VEF στην οντότητα CS με χρήση του οδηγού της μονάδας VEF
 - Της λήψης και εκτέλεσης εντολών που σχετίζονται με την πρόοδο της κλήσης από την οντότητα CS
- Την εκτέλεση λειτουργιών διαχείρισης όπως:
 - Την αρχικοποίηση της μονάδας VEF με χρήση του οδηγού της
 - Την παρακολούθηση της κατάστασης της μονάδας VEF με χρήση του οδηγού της

Η οντότητα MG προσφέρει δυνατότητες διεπαφής με πολλαπλές μονάδες VEF και, με τη βοήθεια του λειτουργικού συστήματος του επεξεργαστή γενικού σκοπού του μετατροπέα RoIP/VoIP, έχει τη δυνατότητα να εκτελείται σε πραγματικό χρόνο δηλαδή με προτεραιότητα έναντι άλλων οντοτήτων λογισμικού που τυχόν εκτελούνται ταυτόχρονα. Για τον σκοπό αυτό και για να είναι δυνατή η χρήση της οντότητας τόσο σε εξυπηρετητές όσο και σε ενσωματωμένα συστήματα χρησιμοποιήθηκε μία ασύγχρονη, non-forking/non-threaded/non-blocking αρχιτεκτονική λογισμικού.

Οι βασικές έννοιες που χρησιμοποιήθηκαν για τη σχεδίαση της οντότητας MG περιγράφονται στο πρότυπο RFC2805 (Αναφορά 56) της IETF και είναι:

- **Η συσκευή (device):** Είναι μία μονάδα λογισμικού που αναλαμβάνει τη διεπαφή με μία φυσική συσκευή είτε μία άλλη μονάδα λογισμικού και παίζει το ρόλο μίας πηγής δεδομένων, μίας καταβόθρας ή και των 2, εφόσον υποστηρίζει αμφίδρομες ροές φωνής. Η συσκευή παρέχει και δέχεται δεδομένα σηματοδοσίας
- **Ο πόρος (resource):** Είναι μία μονάδα λογισμικού που υλοποιεί μία λειτουργία πάνω σε μία αμφίδρομη ροή φωνής και μπορεί να παράγει γεγονότα σχετικά με τη λειτουργία της
- **Ο τερματισμός (termination):** Αποτελείται από μία τουλάχιστον συσκευή και μία συλλογή από πόρους (ή και κανέναν)
- **Η συνεδρία (session):** Είναι μία συλλογή από τερματισμούς που συνδέονται με τρόπο τέτοιο ώστε η ροή της φωνής να είναι συνεχής από άκρη σε άκρη. Υπάρχουν 2 τρόποι σύνδεσης τερματισμών σε μία συνεδρία:
 - **Γεφύρωση**, αν η συνεδρία έχει μόνον 2 συμμετέχοντες τερματισμούς. Στην περίπτωση που τα 2 άκρα υποστηρίζουν διαφορετική κωδικοποίηση φωνής, υλοποιείται μετατροπή μεταξύ των 2 codecs (διακωδικοποίηση – transcoding)
 - **Μίξη**, αν η συνεδρία έχει πάνω από 2 συμμετέχοντες τερματισμούς. Στην περίπτωση που τα 2 άκρα υποστηρίζουν διαφορετική κωδικοποίηση φωνής, υλοποιείται διακωδικοποίηση



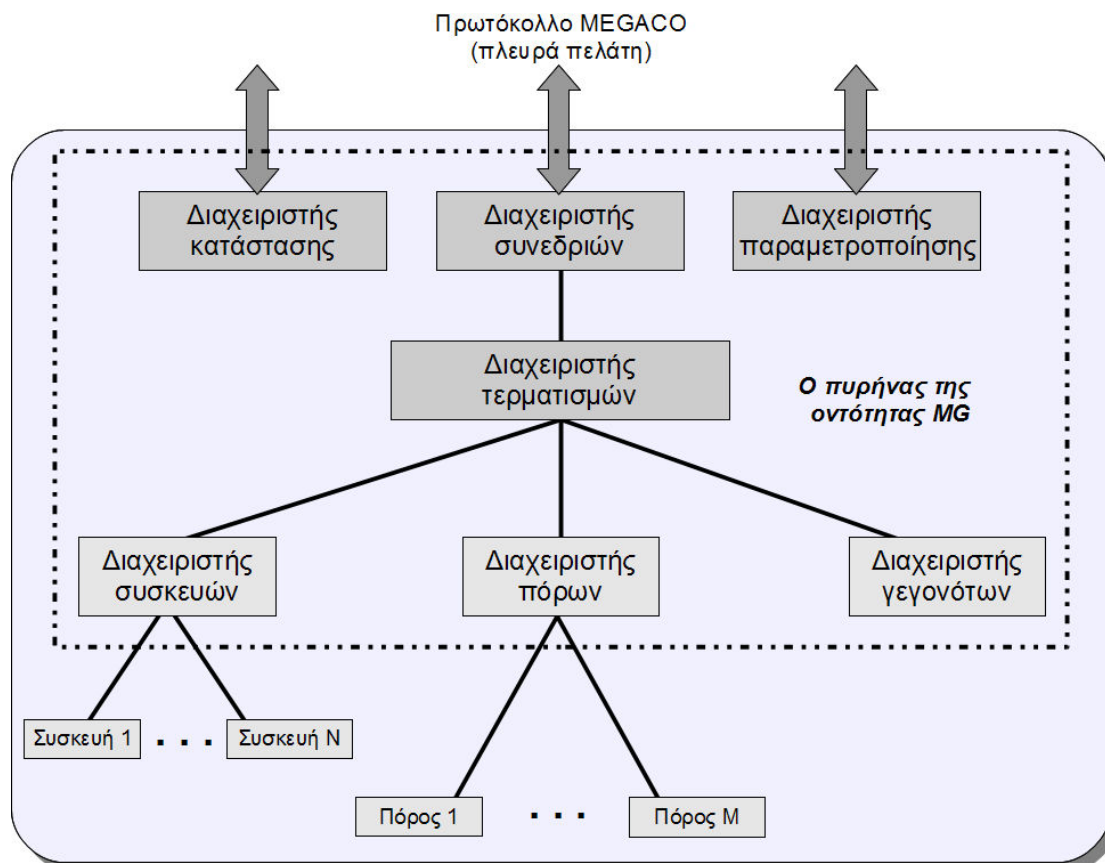
Σχήμα 51. Οι βασικές έννοιες της σχεδίασης της οντότητας MG

Η βασική δομή που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή δεδομένων φωνής (και πολυμέσων στη γενική περίπτωση) και γεγονότων εντός μίας συνεδρίας ανάμεσα στις μονάδες που συμμετέχουν είναι το πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG, το οποίο θα αναλυθεί σε λεπτομέρεια στη συνέχεια.

Για τη σχεδίαση της οντότητας MG ακολουθήθηκε μία αρθρωτή αρχιτεκτονική όπου κάθε λειτουργία εκτελείται από μία ανεξάρτητη μονάδα με συγκεκριμένες διεπαφές και ελάχιστη αλληλεπίδραση με άλλες μονάδες. Οι λειτουργίες που η οντότητα MG επιτελεί (πάντα υπό την εποπτεία μίας οντότητας CS) χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Διαχείριση συσκευών
- Διαχείριση πόρων
- Διαχείριση γεγονότων
- Διαχείριση τερματισμών
- Διαχείριση συνεδριών και υλοποίηση της πλευράς client του πρωτοκόλλου MEGACO (βλέπε Σχήμα 33)

Οι βασικές μονάδες λογισμικού που απαρτίζουν την οντότητα MG και η αρχιτεκτονική τους φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα και περιγράφονται με λεπτομέρεια στη συνέχεια. Ο κύριος στόχος που επιτεύχθηκε με αυτή την προσέγγιση είναι η δυνατότητα της επέκτασης των δυνατοτήτων της οντότητας MG μέσω της προσθήκης νέων συσκευών, πόρων ή μέσω επεκτάσεων του πρωτοκόλλου ελέγχου χωρίς να απαιτείται επανασχεδιασμός των βασικών μονάδων λογισμικού.



Σχήμα 52. Η αρχιτεκτονική της οντότητας MG

4.11.1 Ο διαχειριστής συσκευών

Ο διαχειριστής συσκευών παρέχει κοινές διαδικασίες (αρχικοποίηση, ανάθεση, εκπομπή/λήψη δεδομένων) ανεξάρτητα του είδους των συσκευών. Για τον σκοπό αυτό διατηρεί μία λίστα των υποστηριζόμενων τύπων συσκευών με τον κάθε τύπο να παρέχει πληροφορίες για την υλοποίησή του. Ακόμη, ο διαχειριστής συντηρεί μία λίστα με τις ταυτόχρονες εμφανίσεις του κάθε τύπου συσκευής (για παράδειγμα μπορεί να υπάρχουν παραπάνω από 2 τηλέφωνα) τις οποίες και χειρίζεται. Αναλαμβάνει επίσης τη διαχείριση των δεδομένων που διαβάζονται από και γράφονται προς στις συσκευές.

Κάθε συσκευή είναι υποχρεωμένη να παρέχει ένα σύνολο στοιχείων και να υποστηρίζει ένα σύνολο λειτουργιών ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον διαχειριστή:

- Το όνομα της συσκευής (συνήθως <τύπος συσκευής>/<ταυτότητα>)
- Την έκδοση της συσκευής
- Ένα σύνολο παραμέτρων, είτε μόνο για ανάγνωση, είτε και για εγγραφή
- Λειτουργία “open” (ανάθεση και αρχικοποίηση)
- Λειτουργία “close” (απελευθέρωση και εκκαθάριση)
- Λειτουργία “start” (έναρξη χρήσης της συσκευής)
- Λειτουργία “stop” (τερματισμός χρήσης της συσκευής)
- Λειτουργία “read” (ανάγνωση δεδομένων πολυμέσων από τη συσκευή όταν είναι διαθέσιμα)
- Λειτουργία “timeout” (διαχείριση της λήξης προθεσμιών)
- Λειτουργία “write” (εγγραφή δεδομένων πολυμέσων στη συσκευή)
- Λειτουργία “set” (εφαρμογή παραμέτρων σηματοδότησης και ελέγχου στη συσκευή)

- Λειτουργία “get” (ανάγνωση πληροφοριών από τη συσκευή)
- Λειτουργία “devfd[]” (πίνακας file descriptors εισόδου/εξόδου της συσκευής)
- Λειτουργία “devtm[]” (πίνακας χρονιστών της συσκευής για εκκίνηση ασύγχρονης εισόδου/εξόδου)

Συνήθως οι συσκευές της οντότητας MG λειτουργούν με την βοήθεια ενός οδηγού πυρήνα (kernel driver) που χειρίζεται τις φυσικές συσκευές (όπως ο οδηγός της μονάδας VEF που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.10). Παραδείγματα συσκευών είναι αναλογικά τηλέφωνα και ασύρματοι, γραμμές πόλης, αρχεία πολυμέσων, ροές πακέτων RTP και άλλα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι συσκευές που υλοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

4.11.2 Ο διαχειριστής πόρων

Ο διαχειριστής πόρων παρέχει κοινές διαδικασίες (αρχικοποίηση, ανάθεση, εκπομπή/λήψη δεδομένων) ανεξάρτητα του είδους των πόρων. Για τον σκοπό αυτό διατηρεί μία λίστα των υποστηριζόμενων τύπων πόρων. Ακόμη, ο διαχειριστής συντηρεί μία λίστα με τις ταυτόχρονες εμφανίσεις του κάθε πόρου τις οποίες και χειρίζεται. Αναλαμβάνει επίσης τη διαχείριση των δεδομένων που διαβάζονται από και γράφονται στους πόρους.

Κάθε πόρος είναι υποχρεωμένος να παρέχει ένα σύνολο στοιχείων και να υποστηρίζει ένα σύνολο λειτουργιών ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον διαχειριστή:

- Το όνομα του πόρου
- Την έκδοση του πόρου
- Ένα σύνολο παραμέτρων, είτε μόνο για ανάγνωση, είτε και για εγγραφή
- Λειτουργία “allocate” (ανάθεση και αρχικοποίηση)
- Λειτουργία “release” (απελευθέρωση και εκκαθάριση)
- Λειτουργία “attach” (προσαρμογή του πόρου σε μία συσκευή)
- Λειτουργία “detach” (αποσύνδεση του πόρου από μία συσκευή)
- Ένα σύνολο γεγονότων που μπορούν να γεννηθούν από τον πόρο
- Ένα σύνολο ενεργειών που μπορούν να εφαρμοστούν στον πόρο
- Ένα σύνολο στατιστικών που μπορούν να επιστραφούν από τον πόρο
- Λειτουργία “read” (ανάγνωση δεδομένων πολυμέσων από τον πόρο όταν είναι διαθέσιμα)
- Λειτουργία “timeout” (διαχείριση της λήξης προθεσμιών)
- Λειτουργία “write” (εγγραφή δεδομένων πολυμέσων στον πόρο)
- Λειτουργία “set” (εφαρμογή παραμέτρων ελέγχου στον πόρο)
- Λειτουργία “get” (ανάγνωση πληροφοριών και γεγονότων από τον πόρο)
- Λειτουργία “resfd[]” (πίνακας file descriptors εισόδου/εξόδου του πόρου)
- Λειτουργία “restm[]” (πίνακας χρονιστών του πόρου για εκκίνηση ασύγχρονης εισόδου/εξόδου)

Συνήθως οι πόροι της οντότητας MG λειτουργούν με την βοήθεια ενός οδηγού πυρήνα που παρέχει πρόσβαση σε κατάλληλο υλικό σε περίπτωση που ο πόρος δεν υλοποιείται σε λογισμικό. Παραδείγματα πόρων είναι ένας κωδικοποιητής/αποκωδικοποιητής φωνής, ένας ακυρωτής ηχούς, μία γεννήτρια και ένας ανιχνευτής τόνων, ένας ενταμιευτής διακύμανσης καθυστέρησης κ.α. Δεν υλοποιήθηκαν πόροι εντός της οντότητας MG καθώς η λειτουργικότητα που απαιτούνταν, είτε υλοποιήθηκε στον επεξεργαστή DSP (βλέπε παράγραφο 4.9), είτε εντός των αντίστοιχων συσκευών (βλέπε παράγραφο 4.11.9.2).

4.11.3 Ο διαχειριστής γεγονότων

Ο διαχειριστής γεγονότων παρέχει κοινές διαδικασίες (πρόκληση δράσεων, δρομολόγηση, καταχώρηση, καταστολή κ.α.). Τα γεγονότα παρέχονται από συσκευές και πόρους όταν συμβεί κάτι που χρειάζεται διαχείριση.

Παραδείγματα γεγονότων που χειρίζεται ο διαχειριστής είναι ψηφία DTMF ή τόνοι που ανιχνεύτηκαν, σήματα PTT/Squelch, γεγονότα on-hook/off-hook κ.α. Η αντίδραση του διαχειριστή στα γεγονότα αυτά είναι συνήθως η εφαρμογή ενεργειών στις συσκευές και τους πόρους και εξαρτάται από την εφαρμογή. Ακόμη, ο διαχειριστής παράγει γεγονότα βασισμένος σε χρονιστές, οι οποίοι λαμβάνουν χρόνο αναφοράς από την μονάδα VEF μέσω της αίτησης διακοπής που αυτή παρέχει στον επεξεργαστή γενικού σκοπού σύμφωνα με την παράγραφο 4.9.6.

Ο διαχειριστής γεγονότων διατηρεί μία λίστα των παρακολουθούμενων συσκευών και πόρων καθώς και οντοτήτων που λειτουργούν πάνω από το δίκτυο, όπως ο διαχειριστής συνεδριών. Κάθε παρακολουθούμενη μονάδα παρέχει στον διαχειριστή:

- Μία περιγραφή της
- Έναν πίνακα από file descriptors που ενεργοποιούν την ειδοποίηση για το γεγονός
- Έναν πίνακα από χρονιστές που δημιουργούν γεγονότα όταν εκπνεύσουν
- Έναν χειριστή του γεγονότος (event handler), με την κλήση του οποίου ενεργοποιείται ο κατάλληλος χειρισμός

4.11.4 Ο διαχειριστής τερματισμών

Η μονάδα αυτή διαχειρίζεται τερματισμούς, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως το μισό κομμάτι μίας κλήσης. Ο διαχειριστής τερματισμών λειτουργεί υπό την εποπτεία του διαχειριστή συνεδριών που παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένας τερματισμός είναι μία αλυσίδα από συσκευές που γεννούν και καταναλίσκουν τη ροή δεδομένων και πόρους που την τροποποιούν (παραδείγματος χάριν εφαρμόζοντας κωδικοποίηση φωνής) ή την αναλύουν (φερ'επείν ψάχνοντας για ψηφία DTMF). Ο τρόπος που διασυνδέονται οι μονάδες αυτές ορίζει την τοπολογία του τερματισμού. Ο διαχειριστής τερματισμών, λειτουργώντας είτε υπό τις εντολές του διαχειριστή συνεδριών είτε από γεγονότα που λαμβάνονται από τις μονάδες που απαρτίζουν έναν τερματισμό μέσω του διαχειριστή γεγονότων, υλοποιεί τις εξής λειτουργίες:

- Δημιουργία των τερματισμών αναθέτοντας και συσχετίζοντας συσκευές και πόρους εφαρμόζοντας τις εντολές του διαχειριστή συνεδριών
- Γεφύρωση ή μίξη των ροών φωνής εφαρμόζοντας διακωδικοποίηση όπου είναι απαραίτητο

4.11.5 Ο διαχειριστής συνεδριών

Η μονάδα αυτή διαχειρίζεται συνεδρίες (ουσιαστικά αντιστοιχίζονται σε κλήσεις) βασισμένη σε εντολές που λαμβάνει από την οντότητα CS. Αυτό σημαίνει πως υλοποιεί την πλευρά client του πρωτοκόλλου MEGACO με χρήση του οποίου υλοποιείται η συγκεκριμένη διεπαφή. Ο διαχειριστής συνεδριών υλοποιεί την ακόλουθη λειτουργικότητα:

- Παρέχει έναν TCP client που συνδέεται στην οντότητα CS και καταχωρείται
- Δημιουργεί, διαχειρίζεται και διαγράφει συνεδρίες ανάλογα με τις εντολές της οντότητας CS. Για τον σκοπό αυτό ο διαχειριστής διατηρεί μία λίστα ενεργών συνεδριών και την κατάστασή τους. Αξίζει να σημειωθεί πως δεν πρόκειται για την κατάσταση της κλήσης, η οποία είναι γνωστή μόνον στην οντότητα CS.
- Δημιουργεί, διαχειρίζεται και διαγράφει τους τερματισμούς που απαρτίζουν την κάθε συνεδρία

4.11.6 Ο διαχειριστής παραμετροποίησης

Η μονάδα αυτή παρέχει την δυνατότητα παραμετροποίησης στη διάρκεια της αρχικοποίησης και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας για την οντότητα MG, το λογισμικό του επεξεργαστή DSP (βλέπε παράγραφο 4.9) καθώς και τις διεπαφές ασυρμάτου και τηλεφώνου (βλέπε παραγράφους 4.7.1 και 4.7.2).

4.11.7 Ο διαχειριστής κατάστασης

Η μονάδα αυτή παρέχει λειτουργικότητα παρακολούθησης πραγματικού χρόνου τόσο της οντότητας MG όσο και της μονάδας VEF παρέχοντας μία πλειάδα στοιχείων και στατιστικών μέσω αρχείων ή μίας δικτυακής διεπαφής για απομακρυσμένη παρακολούθηση.

4.11.8 Το πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG

Η ανταλλαγή δεδομένων φωνής και γεγονότων μεταξύ των συσκευών και πόρων που απαρτίζουν έναν τερματισμό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός αυθύπαρκτου πλαισίου δεδομένων το οποίο διακινείται περιοδικά και περιλαμβάνει όλη την πληροφορία που μπορεί να απαιτείται για τη χρήση του από τον αποδέκτη. Το πλαίσιο αυτό περιέχει:

- Τον τύπο και υποτύπο των δεδομένων (ήχος, κινούμενη εικόνα, κ.α.). Οι υποστηριζόμενοι τύποι και υποτύποι δεδομένων που υλοποιήθηκαν είναι:
 - Ήχος:
 - Κωδικοποίηση G.729
 - Κωδικοποίηση PCM ulaw
 - Κωδικοποίηση PCM alaw
 - Κωδικοποίηση γραμμικής PCM
 - Τόνοι:
 - Ψηφίο DTMF
 - Άλλοι τόνοι
 - Γεγονός (δεν υπάρχουν υποτύποι)
 - Κενό πλαίσιο (διακινείται όταν δεν υπάρχουν δεδομένα για μεταφορά)
- Μία ένδειξη που σημειώνει μία ασυνέχεια στη ροή των δεδομένων που μεταφέρονται από το πλαίσιο
- Μία ένδειξη που σημειώνει μία ειδική συνθήκη που ισχύει ταυτόχρονα με τα μεταφερόμενα δεδομένα, όπως την ύπαρξη σήματος PTT
- Πληροφορία χρόνου του πλαισίου
- Διάρκεια του πλαισίου σε msec (0 αν είναι άγνωστη)
- Τον αύξοντα αριθμό του πλαισίου (αν απαιτείται)
- Τον ρυθμό δειγματοληψίας των δεδομένων εντός του πλαισίου (αν απαιτείται)
- Τα δεδομένα και διάφορες ειδικές πληροφορίες για τον χειρισμό τους

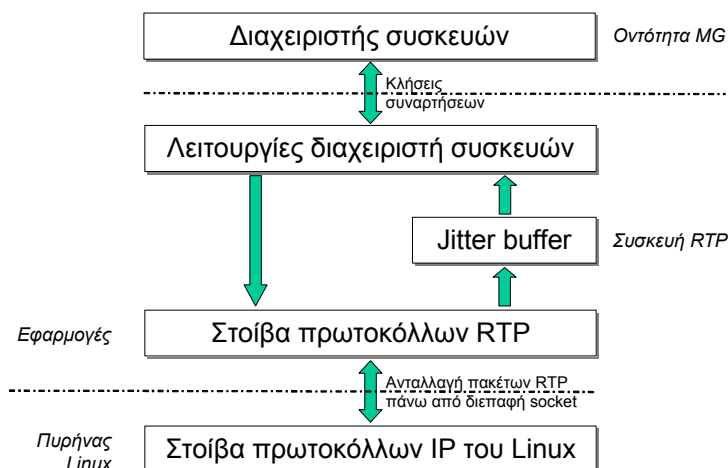
Η μορφή της δομής των δεδομένων είναι σχετική με τον τύπο και υποτύπο του πλαισίου. Η μορφή αυτή δεν είναι δεσμευτική καθώς αποτελεί μία σύμβαση μεταξύ των μονάδων που την παράγουν και καταναλίσκουν. Ενδεικτικά αναφέρεται πως για πλαίσια φωνής τα δεδομένα είναι κωδικοποιημένη φωνή, για τα πλαίσια γεγονότων, τα δεδομένα αυτά κωδικοποιούν το γεγονός σε μορφή κειμένου ενώ για πλαίσια τόνων χρησιμοποιείται η κωδικοποίησή τους σύμφωνα με το πρότυπο RFC4733 (βλέπε Αναφορά 57). Αξίζει να σημειωθεί πως ο αριθμός των πλαισίων κωδικοποιημένης φωνής που περιέχονται σε ένα πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG μπορεί να είναι διαφορετικός από τον αντίστοιχο αριθμό ενός πακέτου RTP, που εξαρτάται από το διάστημα ενθυλάκωσης και επίσης μπορεί να είναι μεγαλύτερος του 1. Για παράδειγμα αν μεταφέρεται φωνή κωδικοποιημένη κατά G.729, το κάθε πλαίσιο φωνής διαρκεί 10 ms (βλέπε παράγραφο 4.9.1). Ένα πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG μπορεί να περιέχει 2 εξ'αυτών που αντιπροσωπεύουν διάρκεια 20 ms ενώ το κάθε πακέτο RTP να ενθυλακώνει 4 πλαίσια φωνής (διάστημα ενθυλάκωσης ίσο με 40 ms) και συνεπακόλουθα 2 πλαίσια δεδομένων.

4.11.9 Η συσκευή RTP

Η συσκευή RTP περιλαμβάνει:

- ο Τη μονάδα πρωτοκόλλου RTP
- ο Τη μονάδα ενταμιευτή διακύμανσης καθυστέρησης (jitter buffer)
- ο Την υλοποίηση των λειτουργιών της συσκευής RTP σύμφωνα με τις απαιτήσεις του διαχειριστή συσκευών (βλέπε παράγραφο 4.11.1)

Η αρχιτεκτονική καθώς και οι εσωτερικές και εξωτερικές διεπαφές της συσκευής RTP φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 53. Η αρχιτεκτονική της συσκευής RTP

4.11.9.1 Η μονάδα πρωτοκόλλου RTP

Το πρωτόκολλο RTP (που περιγράφεται στο πρότυπο RFC3550, βλέπε Αναφορά 35) είναι το πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενο για την μεταφορά δεδομένων πραγματικού χρόνου, όπως φωνή και κινούμενη εικόνα πάνω από δίκτυα IP. Το συγκεκριμένο πρότυπο ορίζει επίσης το πρωτόκολλο Real-Time Control Protocol (RTCP), που παρέχει έναν μηχανισμό ανάδρασης για την μέτρηση σε πραγματικό χρόνο της ποιότητας του δικτύου μεταφοράς των πακέτων φωνής κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης.

Η μονάδα πρωτοκόλλου RTP που υλοποιήθηκε υποστηρίζει το μεγαλύτερο μέρος του προτύπου RFC3550 εκτός από τμήματά του που δεν αποτελούσαν απαιτήσεις, όπως φαίνεται κάτωθι:

- Ορισμός RTP Data Transfer Protocol (παράγραφος 5 του προτύπου RFC3550):
 - ο Το πεδίο marker χρησιμοποιείται για την μεταφορά του σήματος PTT προς εκπλήρωση της απαίτησης 15 της παραγράφου 3.7
 - ο Δεν υποστηρίζονται extended RTP headers
- Ορισμός RTP Control Protocol (παράγραφος 6 του προτύπου RFC3550):
 - ο Δεν υποστηρίζονται extended RTCP reports
- RTP Translators και Mixers (παράγραφος 7 του προτύπου RFC3550):
 - ο Ο μετατροπέας RoIP/VoIP δεν αποτελεί translator ή mixer, όπως αυτοί ορίζονται εντός του προτύπου, οπότε οι αντίστοιχες απαιτήσεις δεν έχουν εφαρμογή
- Ασφάλεια (παράγραφος 9 του προτύπου RFC3550):
 - ο Δεν υλοποιείται κρυπτογράφηση RTP λόγω της υποστήριξης της λειτουργικότητας αυτής από το δορυφορικό δίκτυο σε επίπεδο πακέτων IP
- RTP πάνω από πρωτόκολλα μεταφοράς και δικτύου (παράγραφος 11 του προτύπου RFC3550):

- Το πρωτόκολλο UDP/IP χρησιμοποιείται για τη μεταφορά πακέτων φωνής. Εκπληρώνονται όλες οι σχετικές απαιτήσεις για την παραμετροποίηση των πορτών εκπομπής/λήψης πακέτων.
- Ορισμός RTP Profiles και δομής Payload (παράγραφος 13 του προτύπου RFC3550):
 - Τα RTP Profiles και η δομή του payload περιγράφονται εντός του προτύπου RFC3551 (Αναφορά 36). Υποστηρίζονται μόνον profiles και στατικές/δυναμικές δομές payload για τις ακόλουθες κωδικοποιήσεις:
 - PCMU – παράγραφος 4.5.14 του προτύπου RFC3551
 - PCMA – παράγραφος 4.5.14 του προτύπου RFC3551
 - L16 – παράγραφος 4.5.11 του προτύπου RFC3551
 - G.729 – παράγραφος 4.5.6 του προτύπου RFC3551
 - Υποστηρίζονται διαστήματα ενθυλάκωσης που είναι ακέραια πολλαπλάσια των 10 ms (εκπλήρωση των απαιτήσεων 13 και 22 της παραγράφου 3.7)
 - Υποστηρίζεται μόνο η συχνότητα δειγματοληψίας των 8000 Hz

4.11.9.2 Η μονάδα ενταμιευτή διακύμανσης καθυστέρησης (Jitter Buffer)

Η υλοποίηση ενός jitter buffer, η ανάγκη για την ύπαρξη του οποίου παρουσιάστηκε ήδη στην παράγραφο 3.2.2.6.2.1, είναι αρκετά πολύπλοκη, λόγω του ότι γενικά η παράμετρος t_{lim} είναι μια στοχαστική διαδικασία, καθώς τα χαρακτηριστικά της διακύμανσης της καθυστέρησης αλλάζουν με το χρόνο λόγω των διαφορετικών συνθηκών δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση, το μέγεθος του jitter buffer (η καθυστέρηση του ενταμιευτή που απεικονίζεται στο Σχήμα 14) πρέπει να είναι μεταβλητό σε αναλογία με τις αποκλίσεις του t_{lim} . Η προσέγγιση αυτή οδηγεί στην υλοποίηση ενός προσαρμοστικού jitter buffer. Στο υπόλοιπο της παρούσας παραγράφου, πρώτα παρουσιάζεται ένας jitter buffer με συγκεκριμένο μέγεθος (fixed jitter buffer) και κατόπιν μία τεχνική για την προσαρμογή του μεγέθους του ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου IP.

4.11.9.2.1 Ο jitter buffer συγκεκριμένου μεγέθους

Ο fixed jitter buffer (ενταμιευτής διακύμανσης καθυστέρησης συγκεκριμένου μεγέθους) υλοποιήθηκε ως ένας πίνακας συγκεκριμένου μεγίστου μήκους, ο οποίος περιέχει πλαίσια δεδομένων της οντότητας MG σύμφωνα με την παράγραφο 4.11.8. Ο πίνακας παρέχει επίσης έναν δείκτη για τις ελεύθερες και κρατημένες θέσεις.

Κάθε φορά που ένα πλαίσιο δεδομένων εξάγεται από την μονάδα πρωτοκόλλου RTP, εισάγεται στον πίνακα στην πρώτη ελεύθερη θέση. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμη ελεύθερη θέση (υπερχείλιση του jitter buffer), τότε το πλαίσιο απορρίπτεται.

Η έξοδος, από την άλλη πλευρά, επιτρέπεται μόνο όταν ο πίνακας γεμίσει αρχικά σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο, εξαρτώμενο από τις συνθήκες της διακύμανσης της καθυστέρησης του δικτύου. Την ίδια στιγμή, μια εσωτερική μεταβλητή καλούμενη t_{playout} αρχικοποιείται με την τιμή μηδέν.

Κάθε φορά που χρειάζεται να εξαχθεί ένα πλαίσιο δεδομένων, εκτελείται αναζήτηση στον πίνακα και το πλαίσιο με ένδειξη χρόνου ίση με την τιμή t_{playout} εξάγεται από τον jitter buffer. Ταυτόχρονα, η θέση του στον πίνακα σημειώνεται ως κενή. Αν δεν βρεθεί κανένα πλαίσιο με κατάλληλη ένδειξη χρόνου, εξάγεται ένα κενό πλαίσιο από τον jitter buffer ούτως ώστε να σηματοδοτηθεί η απώλεια στον αποκωδικοποιητή φωνής. Ακολούθως, όλα τα πλαίσια με ένδειξη χρόνου μικρότερη ή ίση του t_{playout} απορρίπτονται (καθώς ανήκουν στο παρελθόν) και οι θέσεις που καταλάμβαναν στον πίνακα του jitter buffer σημειώνονται ως κενές. Αυτή η ενέργεια αναλαμβάνει επίσης την απόρριψη πιθανών διπλών πλαισίων. Τέλος, το t_{playout} αυξάνεται κατά τον χρόνο που αναπαριστά ένα πλαίσιο δεδομένων.

4.11.9.2.2 Η στρατηγική προσαρμογής

Η προσαρμογή του μεγέθους του jitter buffer εξαρτάται από την μεταβολή των συνθηκών jitter του δικτύου, καθώς:

- Όταν αυξάνεται η διακύμανση καθυστέρησης, πρέπει επίσης να αυξάνεται και το μέγεθος του jitter buffer, διαφορετικά θα χαθούν περισσότερα πλαίσια
- Αντιθέτως, η μείωση της διακύμανσης καθυστέρησης θα πρέπει να επιφέρει μια μείωση στο μέγεθος του jitter buffer, ειδάλλως η ροή πλαισίων δεδομένων θα υποβληθεί σε αχρείαστη καθυστέρηση

Ο μηχανισμός προσαρμογής αποτελείται από 2 μέρη:

- Έναν αλγόριθμο μέτρησης της διακύμανσης της καθυστέρησης
- Έναν αλγόριθμο προσαρμογής

Η μονάδα jitter buffer επιτρέπει στον χρήστη να παραμετροποιήσει εάν ο jitter buffer θα είναι προσαρμοστικός ή όχι.

4.11.9.2.3 Ο αλγόριθμος μέτρησης της διακύμανσης καθυστέρησης

Η διακύμανση καθυστέρησης μετράται χρησιμοποιώντας την μέθοδο που περιγράφεται στην Αναφορά 35. Εάν S_i είναι η χρονοσφραγίδα RTP (RTP timestamp) από το πακέτο i (χρονοσφραγίδα πομπού), και R_i είναι ο χρόνος άφιξης σε μονάδες χρονοσφραγίδας RTP για πακέτο i (χρονοσφραγίδα δέκτη), τότε για δύο πακέτα i και j , το D (διακύμανση καθυστέρησης) μπορεί να εκφραστεί ως:

$$D(i,j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i)$$

Η διακύμανση καθυστέρησης (η σειρά της απόκλισης των χρόνων άφιξης) υπολογίζεται συνεχώς για κάθε πακέτο δεδομένων που έχει αφαιρεθεί από τον jitter buffer και έχει αναπαράχθει, χρησιμοποιώντας την διαφορά D για το πακέτο και το αμέσως προηγούμενο πακέτο που αναπαράχθηκε $i - 1$, σύμφωνα με τον τύπο:

$$J(i) = J(i-1) + (|D(i-1,i)| - J(i-1)) / \text{παράγοντας\_λήθης}$$

Ο παράγοντας λήθης προσδιορίζει την ευαισθησία της μέτρησης της διαφοράς του χρόνου αφίξεως των πακέτων. Πρέπει να τεθεί σε μια τιμή μεγαλύτερη του 1 που είναι δύναμη του 2 για ευκολία των υπολογισμών. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός αυτός, τόσο λιγότερο ευαίσθητη γίνεται η μέτρηση στις διακυμάνσεις. Ο παράγοντας “λήθης” είναι μια διαμορφώσιμη παράμετρος για τον jitter buffer και η προκαθορισμένη τιμή του ισούται με 16 σύμφωνα με την Αναφορά 35.

4.11.9.2.4 Ο αλγόριθμος προσαρμογής

Κάθε φορά που ένα πλαίσιο δεδομένων εξάγεται από τον jitter buffer, αυξάνεται κατά ένα ένας μετρητής, αρχικοποιημένος στο μηδέν στην εγκατάσταση κλήσης. Όταν ο μετρητής φτάσει σε μια οριακή τιμή (καθορισμένη στα 30 πλαίσια), επιλέγεται η μετρούμενη τιμή της διακύμανσης της καθυστέρησης και χρησιμοποιείται για τον προσαρμογή του μεγέθους του jitter buffer. Ο μετρητής προσαρμογής κατόπιν επαναρχικοποιείται στο μηδέν. Κάθε φορά που μηδενίζεται ο μετρητής προσαρμογής, εκτελούνται οι ακόλουθες ενέργειες:

- Η διακύμανση καθυστέρησης από κορυφή-σε-κορυφή υπολογίζεται ως η διπλάσια της τιμής της μέτρησης του jitter buffer
- Η τιμή διακύμανσης καθυστέρησης από κορυφή-σε-κορυφή μετατρέπεται σε ακέραιο αριθμό πλαισίων ως ο επόμενος θετικός ακέραιος που προκύπτει ως το πηλίκο της διαίρεσης της από-κορυφή-σε-κορυφή διακύμανσης καθυστέρησης με το διάστημα που αντιπροσωπεύει ένα πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG

- Η τιμή της διακύμανσης καθυστέρησης σε αριθμό πλαισίων αφαιρείται από το τρέχον επίπεδο πλήρωσης του jitter buffer. Αν το αποτέλεσμα είναι λιγότερο από 1 πλαίσιο, το μέγεθος του jitter buffer αυξάνεται. Αν το αποτέλεσμα είναι περισσότερο από 3 πλαίσια, το μέγεθος του jitter buffer μειώνεται.
- Αύξηση του μεγέθους του jitter buffer σημαίνει καθυστέρηση της χρονοσφραγίδας της εξόδου κατά ένα πλαίσιο. Είναι προφανές ότι κάθε φορά που αυξάνεται το μέγεθος του jitter buffer παράγεται ένα κενό πλαίσιο δεδομένων. Επίσης, το επίπεδο πλήρωσης του jitter buffer μειώνεται κατά 1.
- Μείωση του μεγέθους του jitter buffer σημαίνει αύξηση του timestamp της εξόδου κατά 1 πλαίσιο. Είναι προφανές ότι κάθε φορά που μειώνεται το μέγεθος του jitter buffer, απορρίπτεται ένα πλαίσιο δεδομένων. Επίσης, το τρέχον επίπεδο πλήρωσης του jitter buffer αυξάνεται κατά 1.

Αν επιτραπεί η συχνή προσαρμογή του μεγέθους του jitter buffer, οι επιπτώσεις στην ποιότητα της ομιλίας θα είναι καταστρεπτικές, καθότι μια από τα 2 ακόλουθες καταστάσεις μπορούν να συμβούν και να διαρκέσουν αρκετά:

- Όταν ο jitter buffer αυξάνεται, ο αποκωδικοποιητής φωνής δεν έχει τίποτα να αναπαράγει, οπότε ενεργοποιείται η διαδικασία PLC (Packet Loss Concealment)
- Όταν ο jitter buffer αυξάνεται, απορρίπτονται πλαίσια δεδομένων

Προκειμένου να αποφευχθούν τέτοια φαινόμενα, το όριο του μετρητή προσαρμογής έχει τεθεί σε μια προκαθορισμένη τιμή των 30 πλαισίων (προσαρμογή κάθε 600 ms για κάθε διάστημα χρόνου πλαισίου των 20 ms).

4.11.9.2.5 Στατιστικά του jitter buffer

Ο jitter buffer επιστρέφει 3 στατιστικά στοιχεία:

- Την τρέχουσα τιμή διακύμανσης καθυστέρησης $J(i)$
- Τον ολικό αριθμό απολεσθέντων πλαισίων (αριθμός κενών πλαισίων) από τον χρόνο που πραγματοποιήθηκε η αρχικοποίηση του jitter buffer
- Το τρέχον επίπεδο πλήρωσης του jitter buffer σε αριθμό πλαισίων δεδομένων MG

4.11.9.2.6 Περιγραφή της λειτουργίας του προσαρμοστικού jitter buffer με τη χρήση ψευδοκώδικα

Όταν φτάσει ένα καινούργιο πακέτο RTP:

 Σημείωσε το χρόνο άφιξης (timestamp)

 Αναζήτησε στον πίνακα για κενή θέση

 Αν έχει βρεθεί κενή θέση:

 Εισήγαγε το (τα) πλαίσιο(α) δεδομένων MG στη κενή θέση

 Υπολόγισε το επίπεδο πλήρωσης του jitter buffer

 Αλλιώς:

 Απόρριψε το (τα) πλαίσιο(α) δεδομένων MG

 Αύξησε τον μετρητή των χαμένων πλαισίων δεδομένων MG κατά 1

Όταν πρέπει να εξαχθεί ένα πλαίσιο δεδομένων MG από τον jitter buffer:

 Προσδιόρισε πόσα πλαίσια δεδομένων MG είναι στο jitter buffer

 Αν το πλήθος των πλαισίων $\geq$ πλήθος πλαισίων αρχικής πλήρωσης:

 Θέσε την τιμή της μεταβλητής output_enable ίση με 1

 Θέσε την τιμή του επίπεδο πλήρωσης του jitter buffer ίση με το πλήθος πλαισίων δεδομένων MG αρχικής πλήρωσης

 Θέσε την τιμή της μεταβλητής t_playout ίση με 0

 Αν η τιμή της μεταβλητής output_enable == 0:

Μην εκτελέσεις τίποτα

Αλλιώς:

Αναζήτησε στον πίνακα και εντόπισε ποια πλαίσια δεδομένων MG πρέπει να εξαχθούν

Απόρριψε όλα τα πλαίσια δεδομένων MG που έχουν λήξει

Αν το πλαίσιο δεδομένων MG που θα εξαχθεί υπάρχει:

Εξαγωγή του πλαισίου δεδομένων MG

Ενημέρωση της εκτίμησης της διακύμανσης καθυστέρησης

Αύξησε τον μετρητή προσαρμογής κατά 1

Αλλιώς:

Εξαγωγή ενός κενού πλαισίου δεδομένων MG

Αύξησε τον μετρητή των χαμένων πλαισίων δεδομένων MG κατά 1

Αν η τιμή του μετρητή προσαρμογής ≥ 30 :

Υπολογισμός της μέγιστης διακύμανσης καθυστέρησης από κορυφή-σε-κορυφή σε πλαίσια δεδομένων MG ($\text{max\_jitter\_in\_packets}$)

Αν το επίπεδο πλήρωσης $\text{jb} - \text{max\_jitter\_in\_packets} + 1 \leq 1$:

$\text{t\_playout} = \text{t\_playout} - \text{χρόνος πλαισίου δεδομένων MG σε ms}$

Επίπεδο πλήρωσης $\text{jb} = \text{Επίπεδο πλήρωσης jb} + 1$

Αλλιώς αν το επίπεδο πλήρωσης $\text{jb} - \text{max\_jitter\_in\_packets} + 1 \geq 3$:

$\text{t\_playout} = \text{t\_playout} + \text{χρόνος πλαισίου δεδομένων MG σε ms}$

Επίπεδο πλήρωσης $\text{jb} = \text{Επίπεδο πλήρωσης jb} - 1$

Αύξησε τον μετρητή χαμένων πλαισίων δεδομένων MG κατά 1

Μηδένισε τον μετρητή προσαρμογής

$\text{t\_playout} = \text{t\_playout} + \text{χρόνος πλαισίου δεδομένων MG σε ms}$

4.11.9.3 Η λειτουργία της συσκευής RTP

Ένα μεγάλο μέρος της λειτουργικότητας της συσκευής RTP υλοποιείται εντός των λειτουργιών που προδιαγράφηκαν στην παράγραφο 4.11.1 και χρησιμοποιούνται από τον διαχειριστή συσκευών της οντότητας MG.

Πιο συγκεκριμένα, όταν καλείται η λειτουργία “read” (κατεύθυνση λήψης), η συσκευή RTP διαβάζει ένα πακέτο UDP από τη στοίβα πρωτοκόλλων IP του λειτουργικού συστήματος Linux (και συνεπακόλουθα από τη διεπαφή Ethernet του μετατροπέα RoIP/VoIP), αποκωδικοποιεί το πακέτο τερματίζοντας το πρωτόκολλο RTP, δημιουργεί τα αντίστοιχα πλαίσια δεδομένων σύμφωνα με την παράγραφο 4.11.8 (μπορεί προφανώς να υπάρχουν πολλαπλά πλαίσια ανά πακέτο RTP) και τα εισάγει εντός του ενταμιευτή διακύμανσης καθυστέρησης (βλέπε παράγραφο 4.11.9.2). Όταν ο ενταμιευτής γεμίσει μέχρις ενός προκαθορισμένου σημείου (το πλήθος πλαισίων αρχικής πλήρωσης), ξεκινά ένας χρονιστής που εκπνέει περιοδικά καλώντας τη λειτουργία “Timeout”. Όταν συμβεί αυτό, η συσκευή RTP διαβάζει ένα πλαίσιο δεδομένων από την έξοδο του ενταμιευτή και το προωθεί στην επόμενη συσκευή ή πόρο που συμμετέχει στον τερματισμό (βλέπε Σχήμα 51).

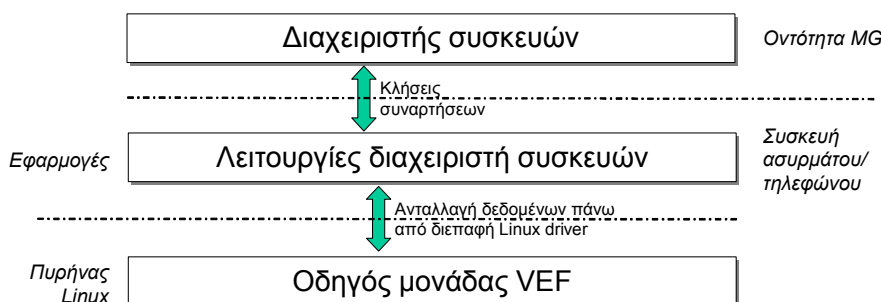
Στην κατεύθυνση της εκπομπής, όταν κληθεί η λειτουργία “Write”, η συσκευή RTP λαμβάνει έναν αριθμό από πλαίσια δεδομένων από την προηγούμενη συσκευή ή πόρο που συμμετέχει στον τερματισμό, δημιουργεί ένα πακέτο RTP και το προωθεί στη στοίβα πρωτοκόλλων IP του λειτουργικού συστήματος Linux για να εκπεμφθεί στη συνέχεια από τη διεπαφή Ethernet του μετατροπέα RoIP/VoIP.

Επιπλέον, η συσκευή RTP παρέχει ένα σύνολο από στατιστικά που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της για κάθε κλήση ξεχωριστά και είναι διαθέσιμα ανά πάσα χρονική στιγμή στον διαχειριστή συσκευών με χρήση της λειτουργίας “get”, ενώ αρχικοποιούνται όταν χρησιμοποιηθεί η λειτουργία “start” από τον διαχειριστή συσκευών. Αυτά περιλαμβάνουν:

1. Τον αριθμό των πακέτων RTP που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της κλήσης
2. Τον αριθμό των πακέτων RTP που χάθηκαν κατά τη διάρκεια της κλήσης
3. Την ελάχιστη και μέγιστη μέση διακύμανση καθυστέρησης κατά τη διάρκεια της κλήσης
4. Το ελάχιστο και μέγιστο μέσο μήκος του ενταμιευτή διακύμανσης καθυστέρησης κατά τη διάρκεια της κλήσης
5. Τον αριθμό των κενών πλαισίων δεδομένων της οντότητας MG που παράχθηκαν από τη συσκευή RTP κατά τη διάρκεια της κλήσης

4.11.10 Η συσκευή ασυρμάτου/τηλεφώνου

Το σύνολο της λειτουργικότητας της συσκευής ασυρμάτου/τηλεφώνου υλοποιείται εντός των λειτουργιών που υποστηρίζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του διαχειριστή συσκευών (βλέπε παράγραφο 4.11.1). Η αρχιτεκτονική καθώς και οι εσωτερικές και εξωτερικές διεπαφές της συσκευής ασυρμάτου/τηλεφώνου φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 54. Η αρχιτεκτονική της συσκευής ασυρμάτου/τηλεφώνου

4.11.10.1 Εκκίνηση και τερματισμός της συσκευής

Ο διαχειριστής συσκευών μπορεί να θέσει σε λειτουργία τον κωδικοποιητή φωνής στον επεξεργαστή DSP της μονάδας VEF (βλέπε παράγραφο 4.9.1) χρησιμοποιώντας την λειτουργία “set” με κατάλληλα ορίσματα. Κάτι τέτοιο συμβαίνει ταυτόχρονα με χρήση της λειτουργίας “start” που εκκινεί την συσκευή στο πλαίσιο ενός τερματισμού και συνεπακόλουθα μίας συνεδρίας (κλήσης). Για να τερματιστεί η λειτουργία του κωδικοποιητή, χρησιμοποιείται εκ νέου η “set” με κενό τον τύπο του κωδικοποιητή. Αυτό συμβαίνει στα πλαίσια της λειτουργίας “stop”. Ταυτόχρονα αρχικοποιείται ο ενταμιευτής εκπομπής. Ο αποκωδικοποιητής φωνής αντίθετα ξεκινά αυτόματα με τη λήψη του πρώτου πλαισίου δεδομένων προς επεξεργασία από την συσκευή ασυρμάτου/τηλεφώνου και σταματά όταν ληφθεί ένα αντίστοιχο πλαίσιο με τύπο αποκωδικοποιητή κενό. Από το σημείο αυτό και μετά, κάθε πακέτο που ληφθεί θεωρείται πως ανήκει στην επόμενη κλήση.

4.11.10.2 Ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 4.11.8, ένα πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG μπορεί να περιέχει περισσότερα από 1 πλαίσια φωνής το καθένα από τα οποία αναπαριστά ένα χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τον τύπο του κωδικοποιητή/αποκωδικοποιητή φωνής που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, στον codec G.729, το διάστημα είναι 10 ms ενώ για τον G.711, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα πλαίσιο με διάρκεια 5 ms.

Συνεπακόλουθα, ο αριθμός των πλαισίων φωνής που περιέχονται σε ένα πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG είναι συνάρτηση του κωδικοποιητή που χρησιμοποιείται και μίας σταθεράς της σχεδίασης που είναι ο χρόνος που αναπαριστά ένα πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG. Έστω K ο χρόνος αυτός και D το χρονικό διάστημα που αναπαριστά το πλαίσιο φωνής (σε ms). Ο αριθμός των πλαισίων φωνής εντός του πλαισίου δεδομένων MG είναι τότε $L = K / D$ ($L = 2$ για κωδικοποιητή φωνής G.729 και $L = 4$ για κωδικοποιητή φωνής G.711). Καθώς ο επεξεργαστής DSP παράγει και δέχεται πλαίσια φωνής σε τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. κάθε 10 ms για φωνή κωδικοποιημένη κατά G.729), η συσκευή ασυρμάτου/τηλεφώνου θα πρέπει να υλοποιεί την μετατροπή από και προς πλαίσια δεδομένων της οντότητας MG.

Εφόσον ο κωδικοποιητής φωνής έχει ξεκινήσει (βλέπε παράγραφο 4.11.10.1), η συσκευή είναι υποχρεωμένη να διαβάζει από και να γράφει προς τον επεξεργαστή DSP της μονάδας VEF, μέσω του αντίστοιχου οδηγού, πλαίσια φωνής σε τακτά χρονικά διαστήματα, ίσα με τον χρόνο που αναπαριστά ένα πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG.

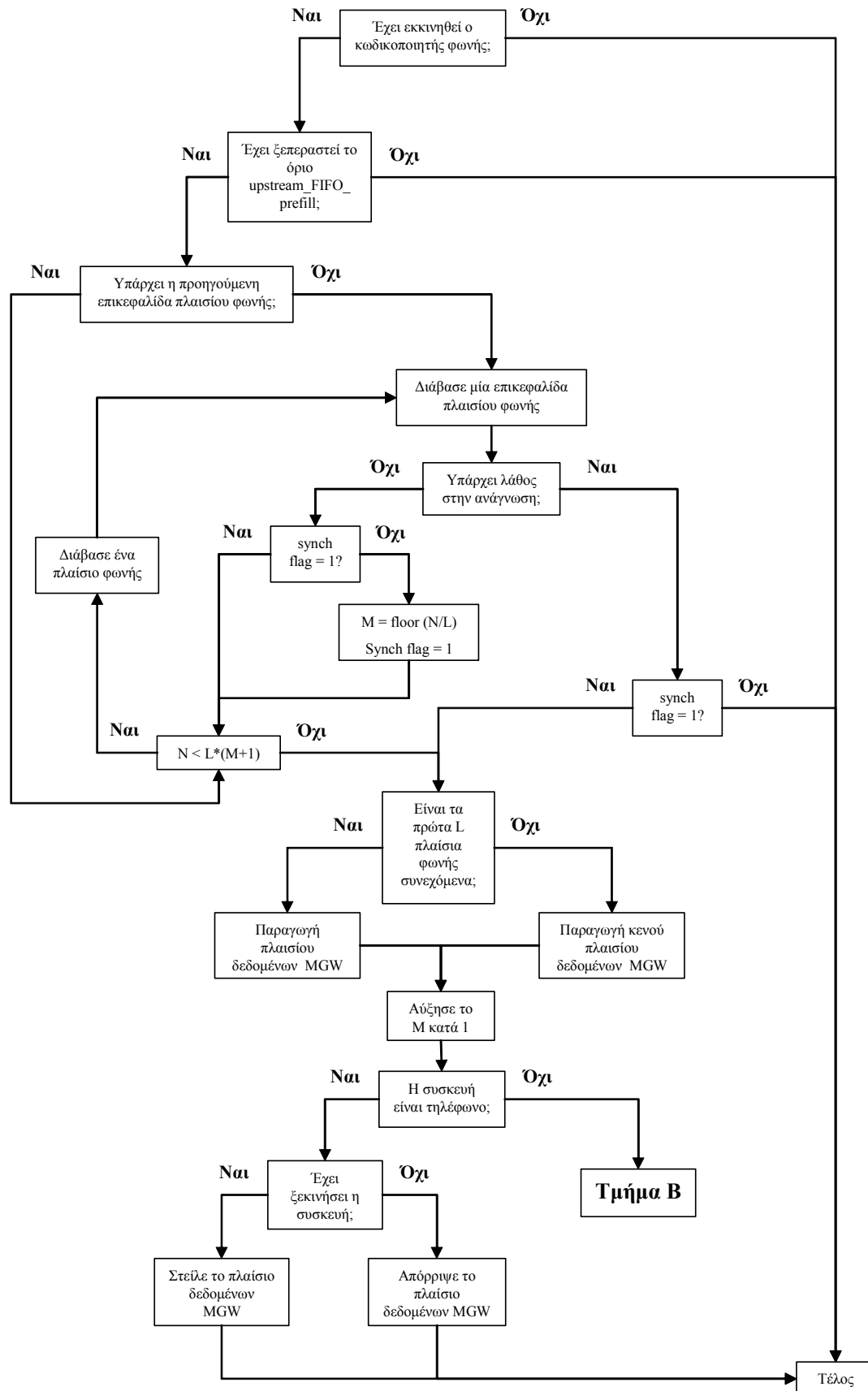
Η διαδικασία ανάγνωσης περιλαμβάνει 2 τμήματα:

- Το τμήμα A που είναι κοινό ανάμεσα σε τηλέφωνα και ασυρμάτους
- Το τμήμα B που κωδικοποιεί επιπλέον λειτουργικότητα απαραίτητη για την υλοποίηση της διεπαφής με ασυρμάτους

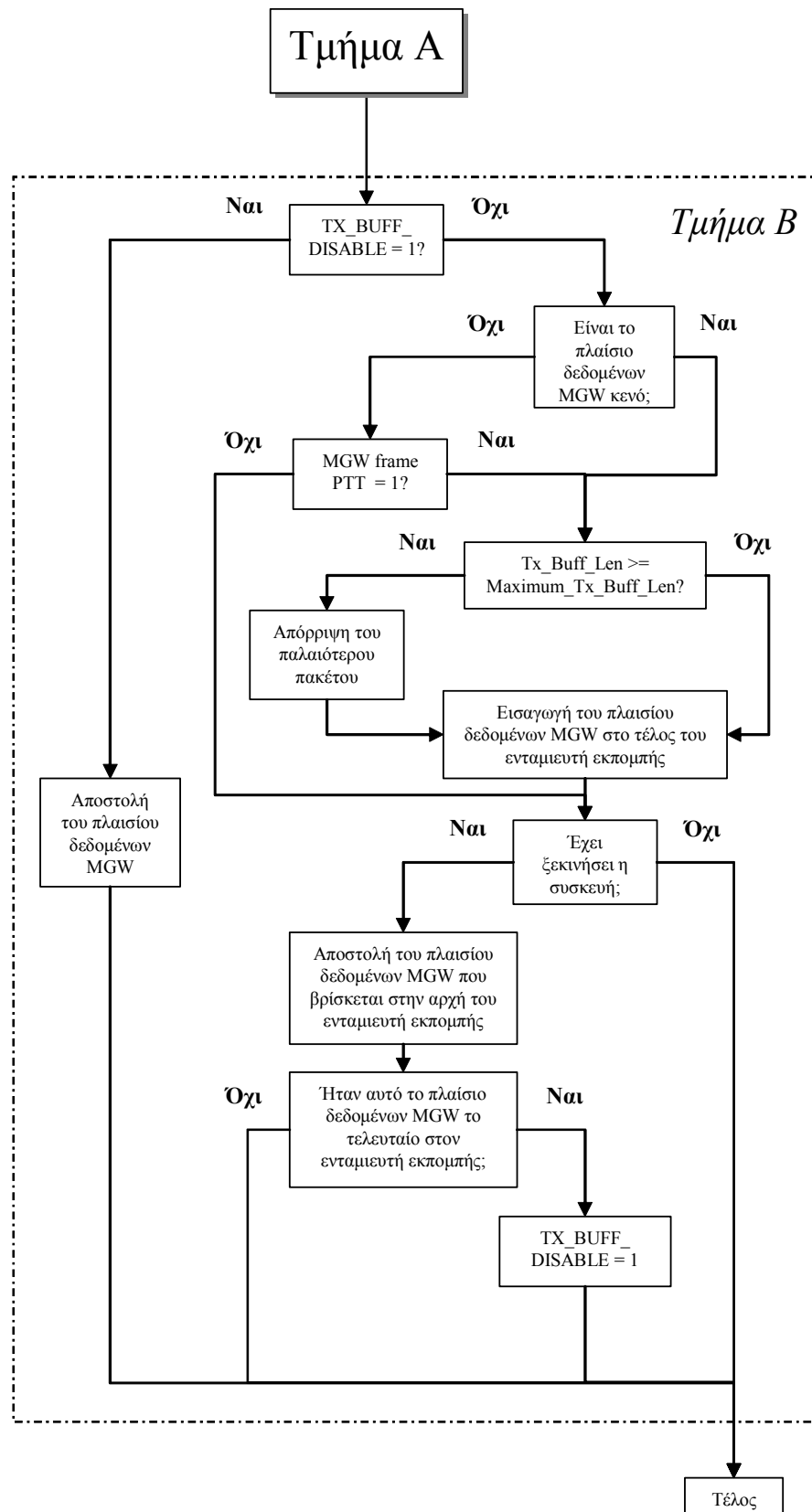
Η λειτουργικότητα που υλοποιήθηκε εντός του τμήματος A σκοπεύει στην ανάγνωση ενός πλήρους πλαισίου δεδομένων MG χρησιμοποιώντας πλαίσια φωνής από τον επεξεργαστή DSP, καθώς για να γίνει κάτι τέτοιο, απαιτείται η ύπαρξη L συνεχόμενων πλαισίων φωνής. Το διάγραμμα που παρουσιάζεται στο πιο κάτω σχήμα έχει αυτόν τον σκοπό. M είναι ο αύξων αριθμός του πλαισίου δεδομένων της οντότητας MG, ενώ N είναι ο αντίστοιχος αύξων αριθμός του πλαισίου φωνής όπως παράγεται από τον επεξεργαστή DSP. Η ένδειξη συγχρονισμού αρχικοποιείται στο 0. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί πως η συσκευή αναγκάζει τον οδηγό της μονάδας VEF να γεμίσει τις ουρές του μέχρι ενός σημείου (που ορίζεται από την παράμετρο `upstream_FIFO_prefill` πριν αρχίσει να διαβάζει πλαίσια φωνής. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο για να ολοκληρωθεί ένα πλήρες πλαίσιο δεδομένων της οντότητας MG με την αρχή της κλήσης.

Η επιπρόσθετη λειτουργικότητα που αφορά τους ασυρμάτους (τμήμα B, βλέπε Σχήμα 56) βασίζεται στην ενταμίευση της φωνής μέχρις ότου να τελειώσει η διαδικασία εγκατάστασης της κλήσης, εκπληρώνοντας την απαίτηση 16 της παραγράφου 3.7. Ο ενταμιευτής έχει μέγιστο μήκος που ορίζεται από την παράμετρο `Maximum_Tx_Buff_Len` και αποθηκεύει πλαίσια δεδομένων που εξάγονται από το τμήμα A για ασυρμάτους και έχουν σήμα PTT ίσο με 1 (PTT ενεργό).

Η λειτουργικότητα της εγγραφής είναι απλούστερη και συνίσταται στην δημιουργία πλαισίων φωνής από τα πλαίσια δεδομένων της οντότητας MG και την προώθησή τους στον επεξεργαστή DSP μέσω του σχετικού οδηγού για αποκωδικοποίηση. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται από την οντότητα MG η λειτουργία “write”. Εάν η συσκευή είναι σταματημένη, το πλαίσιο φωνής απορρίπτεται. Πριν από την αποστολή του πρώτου πλαισίου, η συσκευή αρχικοποιεί το μήκος της αντίστοιχης ουράς του οδηγού με χρήση της παραμέτρου `downstream_FIFO_prefill`.



Σχήμα 55. Λειτουργικότητα ανάγνωσης πλαισίων φωνής – Τμήμα Α



Σχήμα 56. Λειτουργικότητα ανάγνωσης πλαισίων φωνής – Τμήμα Β

4.11.10.3 Άλλες λειτουργίες

Εκτός των λειτουργιών που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, η συσκευή ασυρμάτου/τηλεφώνου παρακολουθεί επιπλέον την δραστηριότητα του σήματος PTT και αν απουσιάζει για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, ειδοποιεί την οντότητα MG μέσω ενός γεγονότος και κατόπιν αυτή ειδοποιεί την οντότητα CS για να ξεκινήσει η διαδικασία κατάργησης της κλήσης όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 3.6.

Επίσης, η δραστηριότητα on-hook/off-hook και η ύπαρξη ψηφίων DTMF από τα συνδεδεμένα τηλέφωνα προκαλεί την δημιουργία αντίστοιχων γεγονότων από τη συσκευή ασυρμάτου/τηλεφώνου τα οποία κοινοποιούνται στην οντότητα CS και χρησιμοποιούνται ανάλογα με την κατάσταση της κλήσης (βλέπε παράγραφο 4.12 για λεπτομέρειες). Σε κάποιες από τις καταστάσεις που μπορεί να βρεθεί μία κλήση, απαιτείται η δημιουργία σήματος κωδωνισμού/τόνων από τη συσκευή ασυρμάτου/τηλεφώνου προς τα συνδεδεμένα τηλέφωνα, κάτι που επιτυγχάνεται με χρήση της λειτουργίας “set” και αντίστοιχων ορισμάτων.

Τέλος, η συσκευή ασυρμάτου/τηλεφώνου παρέχει ένα σύνολο από στατιστικά που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της για κάθε κλήση ξεχωριστά και είναι διαθέσιμα ανά πάσα χρονική στιγμή στον διαχειριστή συσκευών με χρήση της λειτουργίας “get”, ενώ αρχικοποιούνται όταν χρησιμοποιηθεί η λειτουργία “start” από τον διαχειριστή συσκευών. Αυτά περιλαμβάνουν:

1. Τα στατιστικά του οδηγού της μονάδας VEF, σύμφωνα με την παράγραφο 4.10.2
2. Τον αριθμό των κενών πλαισίων δεδομένων της οντότητας MG που παράχθηκαν από τη συσκευή ασυρμάτου/τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της κλήσης
3. Τον μέγιστο αριθμό πακέτων που υπήρξαν εντός του ενταμιευτή εκπομπής κατά τη διάρκεια της κλήσης

4.12Η οντότητα Call Server

Ενώ η οντότητα Media Gateway (MG) έχει την ευθύνη της διακίνησης των πακέτων φωνής ώστε να δημιουργούνται οι κατάλληλες ροές μεταξύ των μετατροπέων RoIP/VoIP των 2 άκρων, το καθήκον της οντότητας Call Server (CS) είναι να εγκαθιστά, επιβλέπει και καταργεί κλήσεις ασυρμάτου ή τηλεφώνου παραμετροποιώντας κατάλληλα την οντότητα ή τις οντότητες MG που έχει υπό την εποπτεία της. Όπως έχει ήδη παρουσιαστεί στην παράγραφο 4.4, μία οντότητα CS θα πρέπει να υποστηρίζει τον έλεγχο μίας ή περισσότερων οντοτήτων MG, καθώς και την επικοινωνία με άλλες οντότητες CS που ελέγχουν τις δικές τους οντότητες MG. Με το σκεπτικό αυτό, τα 2 ή και περισσότερα μέρη που εμπλέκονται σε μία κλήση ασυρμάτου ή τηλεφώνου θα μπορούσαν να ανήκουν:

- Σε μία οντότητα MG που ελέγχεται από μία οντότητα CS (κλήσεις intra-MG & intra-CS)
- Διαφορετικές οντότητες MG που ελέγχονται από την ίδια οντότητα CS (κλήσεις inter-MG & intra-CS)
- Διαφορετικές οντότητες MG που ελέγχονται από διαφορετικές οντότητες CS (κλήσεις inter-MG & inter-CS)

Για παράδειγμα, ένας ασύρματος που είναι συνδεδεμένος στον μετατροπέα RoIP/VoIP του αναμεταβιβαστικού σταθμού θα πρέπει να μπορεί να επικοινωνήσει με έναν άλλο ασύρματο συνδεδεμένο με τον ίδιο μετατροπέα (κλήση intra-CS). Επιπλέον, ένα τηλέφωνο συνδεδεμένο στον μετατροπέα RoIP/VoIP του κέντρου ελέγχου θα πρέπει να μπορεί να επικοινωνήσει με ένα τηλέφωνο συνδεδεμένο στον μετατροπέα του αναμεταβιβαστικού σταθμού (κλήση inter-CS). Η οντότητα CS σχεδιάστηκε ούτως ώστε να επιτυγχάνεται:

- Χειρισμός κλήσεων τηλεφώνου και ασυρμάτου μέσω της:
 - Υλοποίησης των λειτουργιών εγκατάστασης και κατάργησης κλήσης για πολλαπλές ταυτόχρονες κλήσεις που μπορούν να ανήκουν στις 3 κατηγορίες που αναφέρθηκαν άνω
 - Παρακολούθησης της κατάστασης κάθε κλήσης ξεχωριστά
 - Υλοποίησης των λειτουργιών δρομολόγησης κλήσης (call routing) μέσω ενός πλάνου και κανόνων αριθμοδότησης (dialplan)
- Υποστήριξη της σύνδεσης πολλαπλών οντοτήτων MG σε μία οντότητα CS η οποία:
 - Λαμβάνει γεγονότα και ειδοποιήσεις από και δημιουργεί εντολές προς τις οντότητες MG
 - Παραμετροποιεί τις οντότητες MG που ελέγχει ώστε να υλοποιούνται πολλαπλές ταυτόχρονες κλήσεις οποιουδήποτε εκ των 3 τύπων που προαναφέρθηκαν με χρήση του πρωτοκόλλου MEGACO (Αναφορά 41)
- Καταγραφή σε βάση δεδομένων μίας ποικιλίας από στοιχεία που σχετίζονται με κάθε κλήση ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση της ποιότητας της εγκατάστασης της κλήσης και της ίδιας της κλήσης

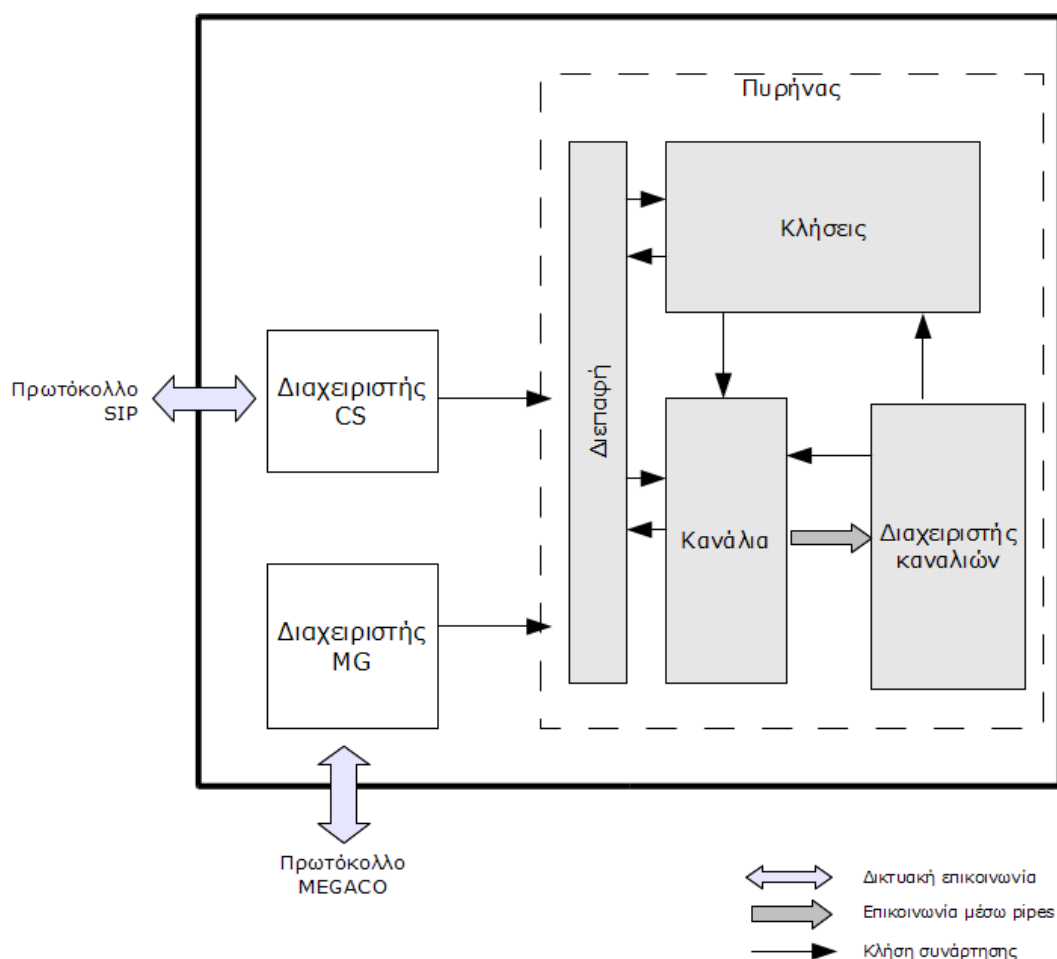
Επιπλέον, η οντότητα CS υποστηρίζει κλήσεις inter-CS με υλοποίηση του πρωτοκόλλου Session Initiation Protocol (SIP), σύμφωνα με το πρότυπο RFC 3261 (βλέπε Αναφορά 42).

4.12.1 Η αρχιτεκτονική της οντότητας CS

Αρχικά θα πρέπει να οριστούν οι βασικές έννοιες στις οποίες βασίστηκε ο σχεδιασμός της οντότητας CS οι οποίες είναι:

- Το κανάλι, που αποτελείται από ένα διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων (state transition diagram) και έναν αριθμό από πηγές, από τις οποίες η οντότητα CS λαμβάνει γεγονότα που προκαλούν μεταβάσεις, και καταβόθρες, προς τις οποίες εκδίδονται εντολές ανάλογα με τις μεταβάσεις αυτές. Κάθε κανάλι αντιστοιχίζεται με έναν τερματισμό της οντότητας MG που ελέγχεται από τον CS (βλέπε παράγραφο 4.8) και ανάλογα με τον τύπο του τερματισμού υλοποιείται και διαφορετικό διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων. Καθώς υποστηρίζονται πολλαπλοί τερματισμοί διαφορετικών τύπων εντός των οντοτήτων MG που ελέγχονται, η οντότητα CS υποστηρίζει ταυτόχρονα πολλαπλά κανάλια πολλαπλών τύπων
- Η κλήση, που με τη σειρά της αποτελείται από μία συλλογή από κανάλια, ένα ξεχωριστό διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων και όλες τις απαιτούμενες διεπαφές με τα κανάλια και/ή άλλες οντότητες για ανταλλαγή γεγονότων και εντολών

Η εσωτερική αρχιτεκτονική της οντότητας CS φαίνεται στο Σχήμα 57.



Σχήμα 57. Η εσωτερική αρχιτεκτονική της οντότητας CS

Η οντότητα CS επικοινωνεί με άλλες οντότητες CS μέσω του πρωτοκόλλου SIP και με οντότητες MG μέσω του πρωτοκόλλου MEGACO, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.8. Οι ακόλουθες παράγραφοι περιγράφουν με λεπτομέρεια τον εσωτερικό κόσμο της οντότητας CS και τις διεπαφές μεταξύ των διαφορετικών λειτουργικών μονάδων που την αποτελούν.

4.12.2 Ο διαχειριστής MG

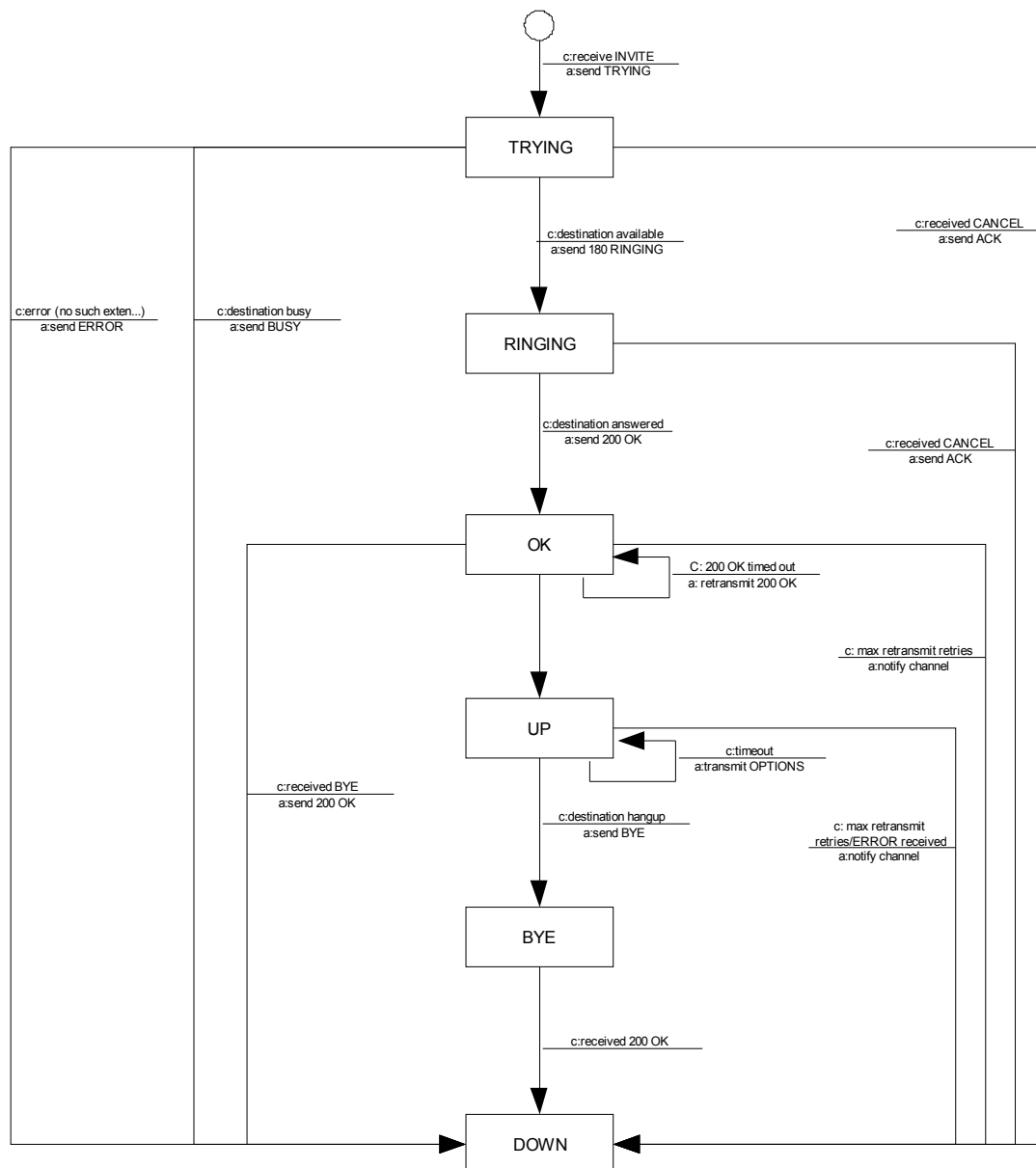
Μετά την αρχικοποίησή της, η οντότητα CS ανοίγει ένα socket ακρόασης σε μία προκαθορισμένη IP πόρτα περιμένοντας για τη σύνδεση οντοτήτων MG που έχουν προκαθοριστεί βάσει της διεύθυνσης IP που έχουν και για κάθε σύνδεση δημιουργείται μία εσωτερική καταγραφή. Ο διαχειριστής MG υλοποιεί την πλευρά εξυπηρετητή του πρωτοκόλλου MEGACO. Τα βασικά καθήκοντα του διαχειριστή MG είναι:

- Να δέχεται μηνύματα καταχώρησης από τις οντότητες MG που συνδέονται σε αυτόν και να δημιουργεί ένα κανάλι για κάθε τύπο συσκευής που υποστηρίζεται από τις καταχωρημένες οντότητες MG
- Να δέχεται ειδοποιήσεις από τις συσκευές των οντοτήτων των καταχωρημένων MG και να τις προωθεί στο αντίστοιχο κανάλι
- Να εκδίδει εντολές προς τις συσκευές των οντοτήτων των καταχωρημένων MG και να προωθεί τις απαντήσεις τους στο αντίστοιχο κανάλι
- Να κρατάει μία λίστα όλων των ενεργών ανταλλαγών μηνυμάτων με τις καταχωρημένες οντότητες MG
- Να χειρίζεται τις επανεκπομπές μηνυμάτων και τις λήξεις προθεσμιών (timeouts)
- Να υπολογίζει και να διακρατά στατιστικά που αφορούν στη λειτουργία των καταχωρημένων οντοτήτων MG

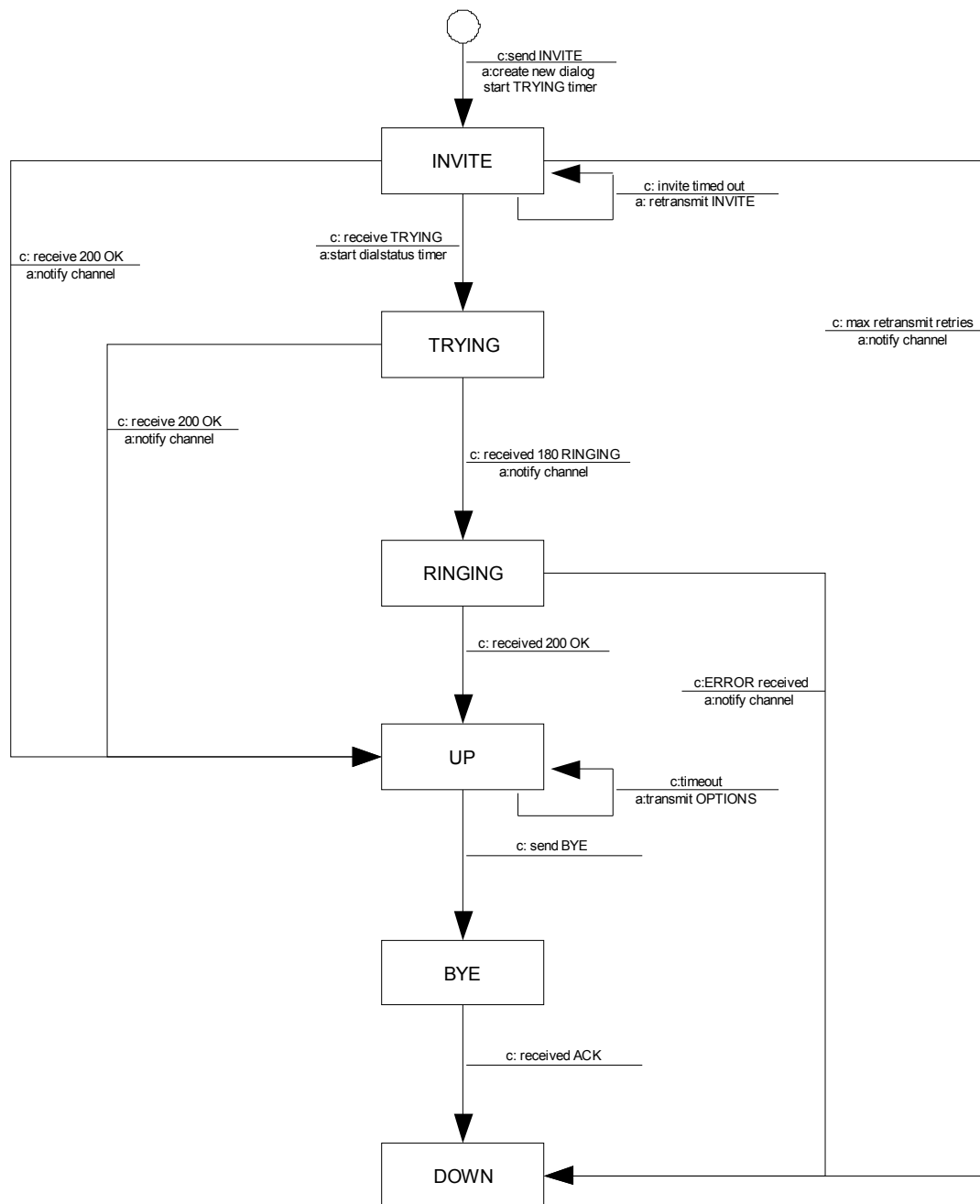
4.12.3 Ο διαχειριστής CS

Μετά την αρχικοποίησή της, η οντότητα CS ανοίγει ακόμη ένα socket ακρόασης σε μία προκαθορισμένη IP πόρτα περιμένοντας για τη σύνδεση οντοτήτων CS που έχουν προκαθοριστεί βάσει της διεύθυνσης IP που έχουν. Η επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών CS βασίζεται στο πρωτόκολλο SIP και επιτυγχάνεται με εφήμερες συνδέσεις που εγκαθίστανται για κάθε εισερχόμενη ή εξερχόμενη κλήση. Τα βασικά καθήκοντα του διαχειριστή CS είναι:

- Να διακρατά μία λίστα με ενεργές κλήσεις μεταξύ πολλαπλών CS. Η κάθε κλήση περιγράφεται με ένα διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 58 (εισερχόμενη κλήση) και στο Σχήμα 59 (εξερχόμενη κλήση) μαζί με τα μηνύματα SIP που προκαλούν τις μεταβάσεις αυτές
- Να δέχεται και να προωθεί μηνύματα από και προς τα αντίστοιχα κανάλια που συμμετέχουν στη κλήση ώστε να τους επιτρέπει την επικοινωνία με την απομακρυσμένη οντότητα CS και να επιτυγχάνεται η εγκατάσταση και κατάργηση της κλήσης
- Να χειρίζεται τις επανεκπομπές μηνυμάτων και τις λήξεις προθεσμιών (timeouts)
- Να στέλνει μηνύματα keep-alive στις απομακρυσμένες οντότητες CS



Σχήμα 58. Διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων για εισερχόμενη κλήση



Σχήμα 59. Διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων για εξερχόμενη κλήση

4.12.4 Ο πυρήνας της οντότητας CS

Με την αρχικοποίησή του, ο πυρήνας της οντότητας CS φορτώνει τους υποστηριζόμενους τύπους καναλιών. Κατόπιν, τα βασικά του καθήκοντα είναι τα εξής:

- Μόλις μία οντότητα MG καταχωρηθεί από τον διαχειριστή MG, δημιουργεί όλα τα κανάλια (αριθμό και τύπο) που υποστηρίζονται από αυτόν και τους αναθέτει ένα πλάνο αριθμοδότησης
- Μόλις ένας CS καταχωρηθεί στον διαχειριστή CS, δημιουργεί μία καταχώρηση με πληροφορίες για αυτόν (όπως το πλάνο αριθμοδότησης)
- Μόλις γίνει αίτηση για μία κλήση, τη καταχωρεί σε μία λίστα όπου και παραμένει μέχρι την κατάργησή της
- Κρατάει συνεχώς την τρέχουσα κατάσταση όλων των καναλιών και κλήσεων
- Ελέγχει περιοδικά τις κλήσεις και τα κανάλια για να καθορίσει αν έχουν παρέλθει οι προθεσμίες (timeouts) για το καθένα ξεχωριστά

Οι ακόλουθες παράγραφοι περιγράφουν την λειτουργικότητα που υλοποιείται για κάθε τύπο καναλιού που υποστηρίζεται από την οντότητα CS και την κλήση.

4.12.4.1 Οι τύποι καναλιών

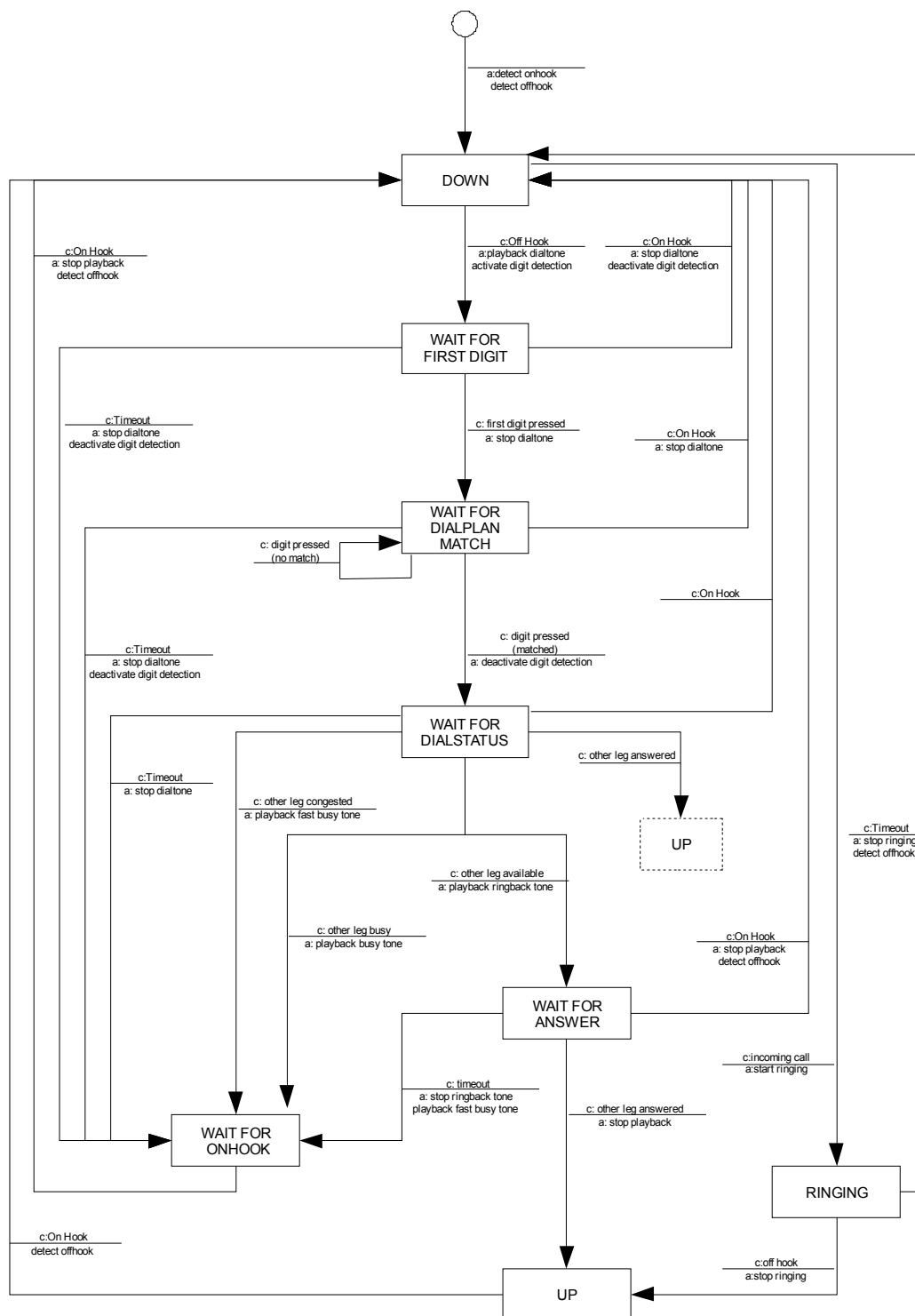
Η έννοια του καναλιού χρησιμοποιήθηκε για να υπάρχει κοινή μοντελοποίηση και αντιπροσώπευση των συσκευών που υλοποιούνται από την οντότητα MG εντός της οντότητας CS. Για κάθε τύπο συσκευής που υποστηρίζεται θα πρέπει να υλοποιείται και ο αντίστοιχος τύπος καναλιού. Υλοποιήθηκαν 3 τύποι καναλιών:

- Ο τύπος καναλιού «τηλέφωνο»
- Ο τύπος καναλιού «ασύρματος»
- Ο τύπος καναλιού «VoIP»

Οι ακόλουθες παράγραφοι περιγράφουν με λεπτομέρεια τη λειτουργικότητα του κάθε τύπου καναλιού, δηλαδή το διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων που αυτός υλοποιεί.

4.12.4.1.1 Κανάλι τύπου «τηλέφωνο»

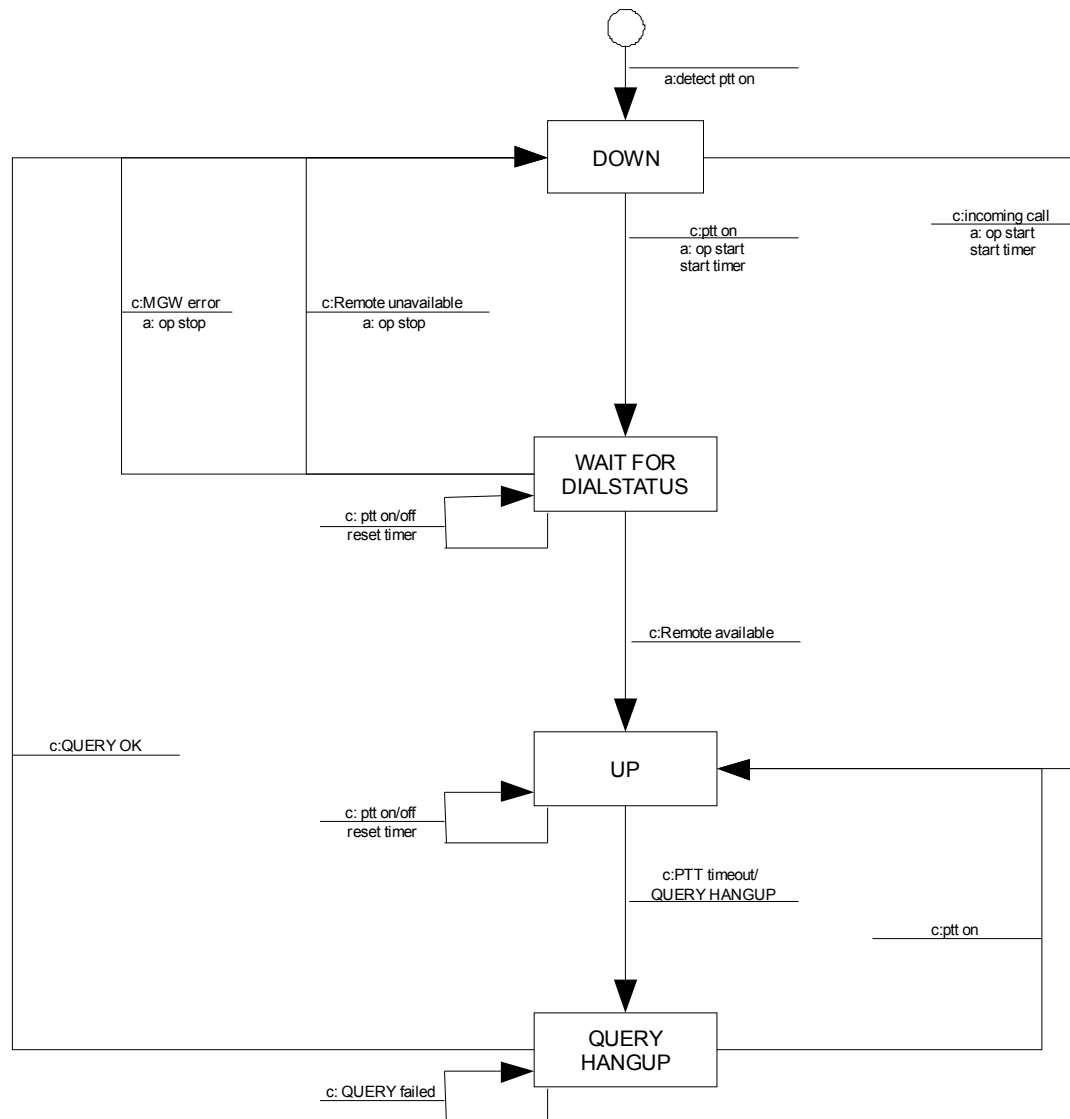
Αυτός ο τύπος υλοποιεί τον χειρισμό μίας συσκευής τηλεφώνου της οντότητας MG. Ο συγκεκριμένος τύπος καναλιού υλοποιεί την ακολουθία καταστάσεων που αφορά ένα αναλογικό τηλέφωνο. Το διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων που υποστηρίζεται από τον συγκεκριμένο τύπο φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα, μαζί με τα γεγονότα που σηματοδοτούν τις μεταβάσεις και τις ενέργειες που γίνονται σε κάθε περίπτωση.



Σχήμα 60. Διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων του καναλιού τύπου «τηλέφωνο»

4.12.4.1.2 Κανάλι τύπου «ασύρματος»

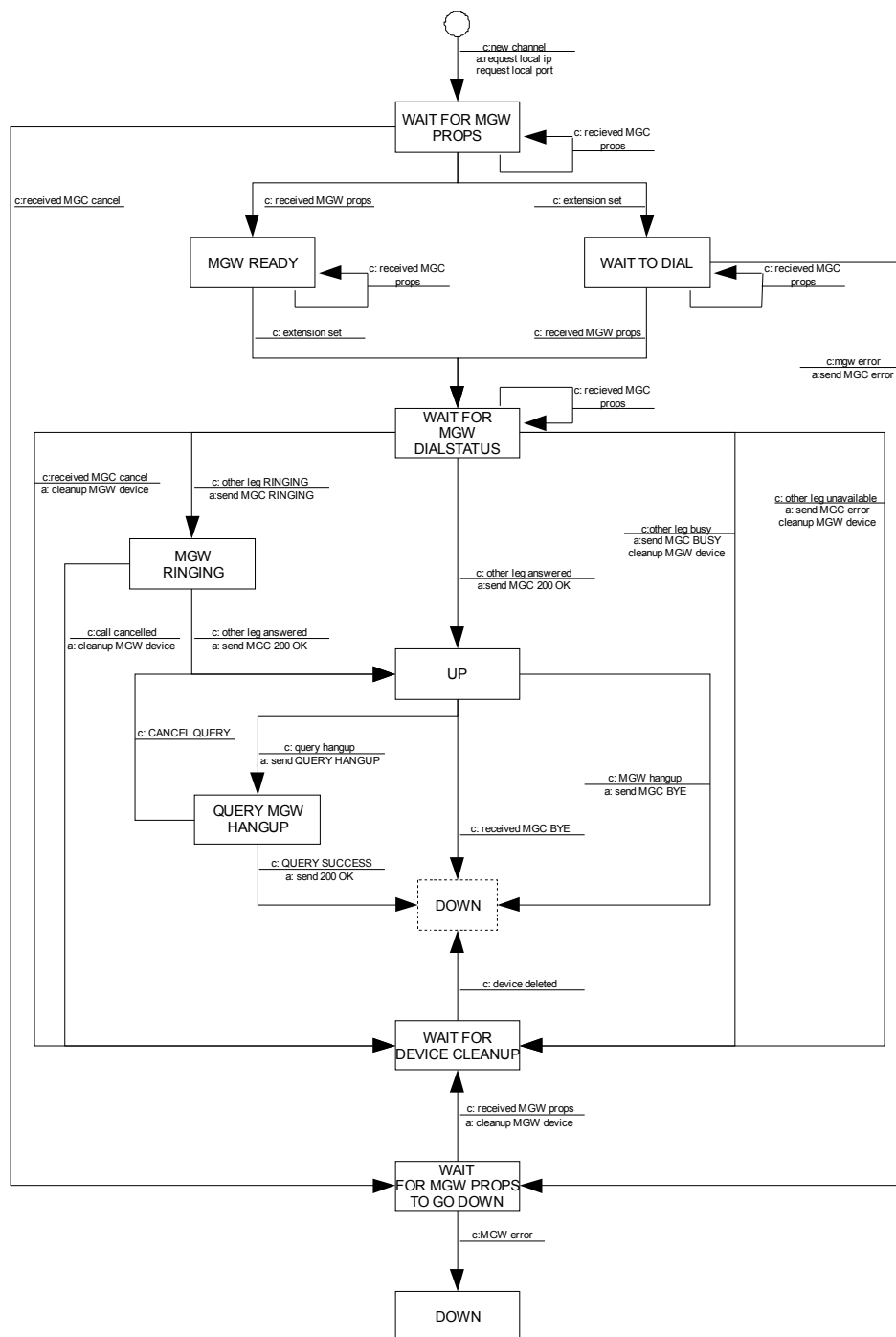
Αυτός ο τύπος υλοποιεί τον χειρισμό μίας συσκευής ασυρμάτου της οντότητας MG. Ο συγκεκριμένος τύπος καναλιού υλοποιεί την ακολουθία καταστάσεων που αφορά έναν ασύρματο. Το διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων που υποστηρίζεται από τον συγκεκριμένο τύπο φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα, μαζί με τα γεγονότα που σηματοδοτούν τις μεταβάσεις και τις ενέργειες που γίνονται σε κάθε περίπτωση.



Σχήμα 61. Διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων του καναλιού τύπου «ασύρματος»

4.12.4.1.3 Κανάλι τύπου «VoIP»

Αυτός ο τύπος υλοποιεί τον χειρισμό μίας συσκευής RTP της οντότητας MG. Ο συγκεκριμένος τύπος καναλιού υλοποιεί την ακολουθία καταστάσεων που αφορά μία δικτυακή σύνδεση φωνής, είτε για τηλέφωνα είτε για ασυρμάτους. Το διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων που υποστηρίζεται από τον συγκεκριμένο τύπο φαίνεται στα 2 ακόλουθα σχήματα (για εισερχόμενη και εξερχόμενη κλήση), μαζί με τα γεγονότα που σηματοδοτούν τις μεταβάσεις και τις ενέργειες που γίνονται σε κάθε περίπτωση.

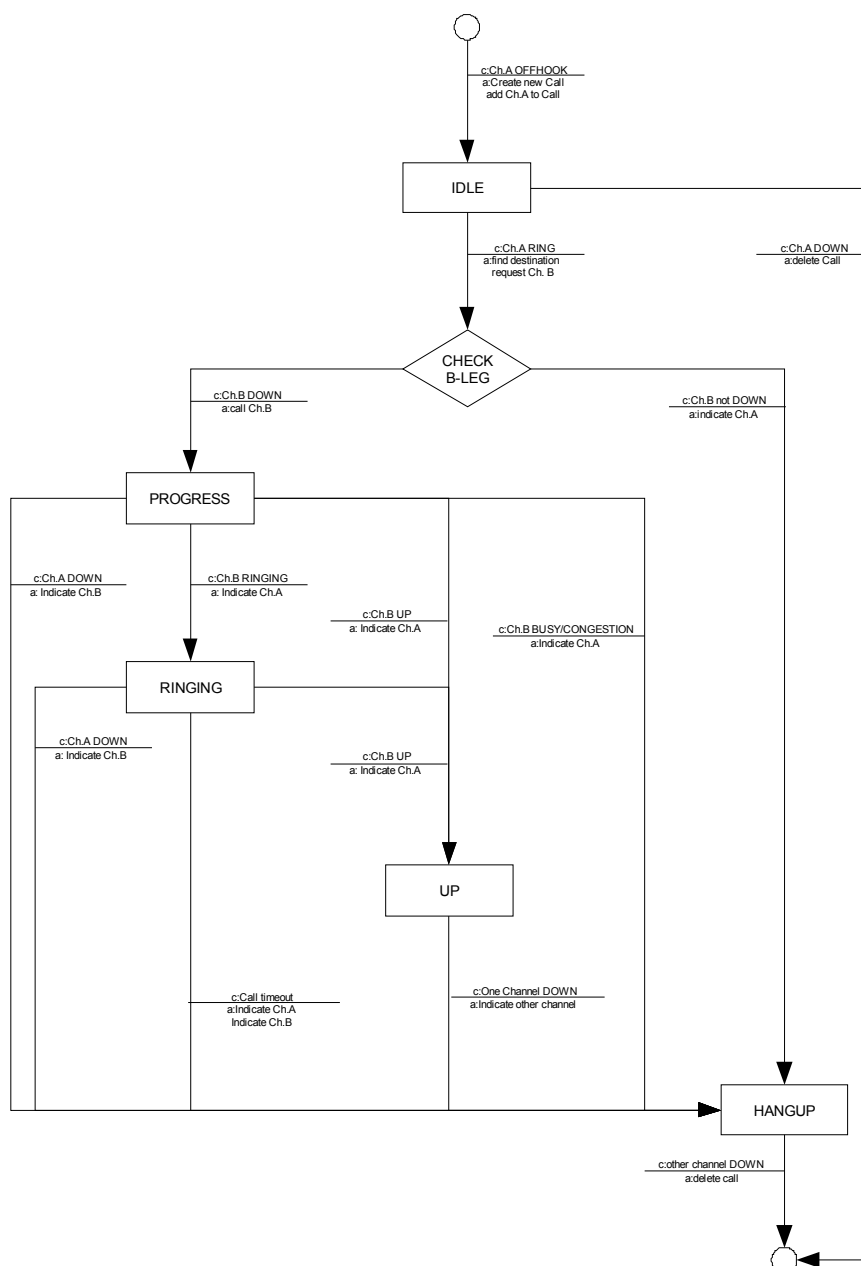


Σχήμα 62. Διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων του καναλιού τύπου VoIP (εισερχόμενη κλήση)

4.12.4.2 Η κλήση

Μία κλήση αντιπροσωπεύει την αίτηση ενός χρήστη για επικοινωνία με έναν άλλο. Κάθε κλήση αποτελείται από 2 κανάλια που μπορούν να είναι κάποιου εκ των τύπων που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.12.4.1. Το κανάλι που ξεκίνησε την κλήση ονομάζεται “A-leg”, ενώ εκείνο που δέχεται την κλήση ονομάζεται “B-leg”. Οι κλήσεις είναι εφήμερες, δημιουργούνται όταν ένα από τα δύο άκρα το ζητά και καταργούνται είτε όταν το άκρο που δέχεται την κλήση είναι κατειλημμένο, είτε όταν δεν υπάρχει δικτυακή σύνδεση, είτε όταν ένα από τα 2 άκρα τερματίσει την κλήση.

Η λειτουργία της κλήσης αναπαρίσταται με το διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων που φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα και είναι ίδιο ανεξαρτήτως του τύπου της κλήσης (κλήσεις intra-MG & intra-CS – τηλεφώνου ή ασυρμάτου, κλήσεις inter-MG & intra-CS – τηλεφώνου ή ασυρμάτου, κλήσεις inter-MG & inter-CS – τηλεφώνου ή ασυρμάτου).



Σχήμα 64. Διάγραμμα καταστάσεων και μεταβάσεων μίας κλήσης

4.12.5 Η καταγραφή των στατιστικών των κλήσεων

Κάθε οντότητα CS παράγει μία καταγραφή για κάθε κλήση (Call Detailed Record – CDR) η οποία περιέχει μία σειρά στοιχείων όπως:

- **Ταυτότητα κλήσης:** Μοναδικό αναγνωριστικό της κάθε κλήσης
- **Ταυτότητα οντότητας MG:** Η οντότητα MG στην οποία ανήκουν τα κανάλια της κλήσης
- **A-LEG:** Το κανάλι που ξεκίνησε την κλήση
- **Αριθμός κλήσης:** Ο αριθμός κλήσης ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για να ξεκινήσει η κλήση
- **B-LEG:** Το κανάλι που καλέστηκε
- **Χρόνος εκκίνησης:** Η ημερομηνία/ώρα εκκίνησης της κλήσης
- **Χρόνος τερματισμού:** Η ημερομηνία/ώρα τερματισμού της κλήσης
- **Χρόνος κλήσης:** Η συνολική διάρκεια της κλήσης που είναι η διαφορά των δύο ανωτέρω χρόνων
- **Χρόνος προόδου:** Ο χρόνος που μεσολάβησε μεταξύ της έναρξης της κλήσης από το A-LEG μέχρις ότου να υπάρξει πρόοδος στο B-LEG
- **Χρόνος κωδωνισμού:** Ο χρόνος που μεσολάβησε μεταξύ της έναρξης της κλήσης από το A-LEG μέχρις ότου το B-LEG να μπει σε κατάσταση κωδωνισμού
- **Χρόνος συνομιλίας:** Ο χρόνος που τα δύο μέρη ξόδεψαν μιλώντας
- **Αποτέλεσμα κλήσης:** Το αποτέλεσμα της κλήσης (απαντήθηκε, ακυρώθηκε, κατελημμένο, πρόβλημα δικτύου)
- **Λόγος:** Ο λόγος του τερματισμού της κλήσης. Μία κλήση μπορεί να τερματιστεί είτε από τα μέρη που συμμετέχουν είτε από την ίδια τη οντότητα CS
- **Άκρο κατάργησης:** Η μοναδική ταυτότητα του άκρου που κατάργησε την κλήση (A-LEG ή B-LEG)

Επιπλέον, καταγράφονται μαζί με τον χρόνο εμφάνισής τους:

- Οι μεταβάσεις μεταξύ των καταστάσεων των καναλιών και κλήσεων
- Τα γεγονότα που δημιουργούνται από τα κανάλια και τις ενέργειες που εφαρμόζονται σε αυτά
- Οι λήξεις των προθεσμιών που σχετίζονται τόσο με τα κανάλια όσο και με τις κλήσεις

Τέλος, η καταγραφή περιέχει τα στατιστικά που παρέχονται από τις συσκευές της οντότητας MG για την κλήση σύμφωνα με τις παραγράφους 4.11.9 και 4.11.10. Οι καταγραφές αυτές εισάγονται σε μία βάση δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία.

4.13 Παράδειγμα χειρισμού τηλεφωνικής κλήσης

Για να γίνει κατανοητή η συνεργασία των οντοτήτων λογισμικού και του υλικού της μονάδας VEF, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις πιο πάνω παραγράφους στον χειρισμό μίας τηλεφωνικής κλήσης, παρατίθεται το κάτωθι παράδειγμα. Υποτίθεται πως οι μετατροπείς RoIP/VoIP των 2 άκρων είναι αρχικοποιημένοι.

Έστω ότι κάποιος χρήστης που βρίσκεται είτε στον αναμεταβιβαστικό σταθμό, είτε στο κέντρο ελέγχου επιθυμεί να επικοινωνήσει χρησιμοποιώντας το τηλέφωνο με το απέναντι άκρο. Η πρώτη του κίνηση είναι να σηκώσει το ακουστικό (κατάσταση off-hook). Η μονάδα VEF ανιχνεύει την κατάσταση και ενημερώνει την οντότητα λογισμικού CS στην πλευρά του αναμεταβιβαστικού σταθμού/κέντρου ελέγχου μέσω της αντίστοιχης οντότητας MG για το γεγονός. Η οντότητα CS προστάζει την οντότητα MG να εκκινήσει την παραγωγή τόνου κλήσης προς το τηλέφωνο και να ξεκινήσει την αναζήτηση έγκυρης ακολουθίας ψηφίων DTMF, οπότε η δεύτερη εκκινεί τη γεννήτρια τόνων και τον ανιχνευτή ψηφίων DTMF του λογισμικού του επεξεργαστή DSP της μονάδας VEF. Με τη λήψη του πρώτου έγκυρου ψηφίου, η παραγωγή τόνου σταματά.

Μόλις συμπληρωθεί μία έγκυρη ακολουθία ψηφίων, η οντότητα CS του καλούντος ενημερώνει την μονάδα VEF μέσω της αντίστοιχης οντότητας MG να σταματήσει την αναζήτηση ψηφίων και ξεκινά μία διαδικασία εγκατάστασης κλήσης με το αντίστοιχο τηλέφωνο του κέντρου ελέγχου/αναμεταβιβαστικού σταθμού σύμφωνα με τον αριθμό που πληκτρολογήθηκε. Κατόπιν, η οντότητα CS του καλούμενου άκρου θέτει το κληθέν τηλέφωνο σε κατάσταση ring μέσω του οικείου MG και της αντίστοιχης μονάδας VEF.

Ταυτόχρονα, ο καλών χρήστης ακούει τόνο αναμονής (ringback tone) που του υποδεικνύει πως το τηλέφωνο της άλλης άκρης κτυπά. Ο τόνος παράγεται από το λογισμικό του επεξεργαστή DSP της μονάδας VEF στη μεριά του καλούντος υπό τις εντολές της οντότητας CS μέσω της αντίστοιχης οντότητας MG. Μόλις ο χρήστης στο κέντρο ελέγχου/αναμεταβιβαστικό σταθμό σηκώσει το ακουστικό (off-hook), η κλήση εγκαθίσταται, κάτι που σημαίνει πως:

- Η οντότητα CS του καλούντος προστάζει την αντίστοιχη οντότητα MG και μέσω αυτής τη μονάδα VEF να σταματήσει την παραγωγή ringback τόνου ενώ η αντίστοιχη του καλούμενου να σταματήσει την παραγωγή σήματος κωδωνισμού
- Με τον ίδιο τρόπο, προστάζονται οι μονάδες VEF και των 2 άκρων να ξεκινήσουν την κωδικοποίηση φωνής
- Αρχικοποιούνται οι jitter buffers των 2 άκρων
- Γεφυρώνονται οι αντίστοιχες συσκευές τηλεφώνου και RTP και στα 2 άκρα ώστε να ξεκινήσει η ροή φωνής από τα τηλέφωνα προς τις αντίστοιχες διεπαφές Ethernet δημιουργώντας τις αντίστοιχες συνεδρίες
- Ξεκινά η ανταλλαγή πακέτων RTP μεταξύ των δύο άκρων. Με την άφιξη του πρώτου έγκυρου πακέτου προς αποκωδικοποίηση σε οποιοδήποτε άκρο εκκινείται ο αντίστοιχος αποκωδικοποιητής φωνής

Με την ολοκλήρωση της συνομιλίας, ένας εκ των 2 συνομιλητών κλείνει το τηλέφωνό του, δηλαδή το βάζει σε κατάσταση on-hook. Η οικεία μονάδα VEF ανιχνεύει το γεγονός και ειδοποιεί την οντότητα MG η οποία με τη σειρά της μεταβιβάζει την πληροφορία στην αντίστοιχη οντότητα CS, η οποία και καταργεί τη συνεδρία και απενεργοποιεί τον κωδικοποιητή και τον αποκωδικοποιητή φωνής, ενημερώνοντας ταυτόχρονα το άλλο άκρο να κάνει το ίδιο. Η οντότητα CS του άλλου άκρου προστάζει μέσω της οντότητας MG την οικεία μονάδα VEF να παράξει τόνο fast busy ώστε να ειδοποιηθεί ο χρήστης πως ο συνομιλητής του έκλεισε το τηλέφωνο. Κατόπιν καταργείται η συνεδρία και σε αυτό το άκρο και τα 2 άκρα επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση.

4.14 Επιπρόσθετες υπηρεσίες που υλοποιήθηκαν στα πλαίσια του έργου SATWAYS

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 4.5, εκτός της υπηρεσίας φωνής, το έργο SATWAYS περιελάμβανε την ανάπτυξη μίας σειράς υπηρεσιών που λειτουργούν πάνω από το ίδιο δορυφορικό IP δίκτυο, οι οποίες είναι:

- Υπηρεσία τηλε-επίβλεψης και τηλε-ελέγχου του ελικοδρομίου
- Υπηρεσία μεταφοράς μετεωρολογικών δεδομένων
- Υπηρεσία τηλε-παρακολούθησης της εγκατάστασης

Με τον τρόπο αυτό, η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας έχει την δυνατότητα να διαχειρίζεται το απομακρυσμένο ελικοδρόμιο χωρίς την ανάγκη φυσικής παρουσίας με τα εξής πολύ ουσιαστικά οφέλη:

- Τη βελτίωση της ασφάλειας των πτήσεων ελικοπτέρων από και προς το νησί, καθώς είναι γνωστή σε πραγματικό χρόνο η κατάσταση της εγκατάστασης και οι τοπικές καιρικές συνθήκες. Αξίζει να σημειωθεί πως η συντριπτική πλειοψηφία των πτήσεων αυτών αφορά αεροδιακομιδές ασθενών
- Τον εκσυγχρονισμό των διαδικασιών προληπτικού ελέγχου, προληπτικής συντήρησης και ανίχνευσης/επίλυσης βλαβών με τις οποίες είναι επιφορτισμένη η Υπηρεσία, παρόλο που τα ελικοδρόμια ανήκουν στην τοπική αυτοδιοίκηση
- Την ελαχιστοποίηση του κόστους της τηλεπικοινωνιακής υποδομής, μίας και για ισοδύναμο αποτέλεσμα, θα απαιτούνταν μισθωμένες γραμμές πολλαπλάσιου κόστους εγκατάστασης και συντήρησης σε σχέση με το δορυφορικό δίκτυο

Η υπηρεσία τηλε-επίβλεψης και τηλε-ελέγχου του ελικοδρομίου δομήθηκε γύρω από την πλατφόρμα Integrated Facility Management System (IFMS) της εταιρίας inAccess, η οποία παρέχει δυνατότητες συλλογής δεδομένων παρακολούθησης και συναγερμών μίας εγκατάστασης σε πραγματικό χρόνο και παρουσιάσής τους στο Διαδίκτυο με δυνατότητες γραφημάτων, εξαγωγής δεδομένων και αυτόματης ειδοποίησης του χρήστη μέσω e-mail και SMS. Ως εξοπλισμός πεδίου χρησιμοποιείται ο ελεγκτής RSC-10 που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.6. Ο εξοπλισμός του ελικοδρομίου που παρακολουθείται περιλαμβάνει:

- Τον φωτισμό προσέγγισης και περιμέτρου
- Τον φωτισμό ανεμουρίου (ενδείκτη κατεύθυνσης/έντασης ανέμου)
- Το σύστημα πυρόσβεσης που αποτελείται από κύκλωμα νερού υπό πίεση και 3 αντλίες (2 ηλεκτρικές και 1 diesel)
- Την εξωτερική πόρτα και την πόρτα του οικίσκου
- Τα δωμάτια (παρουσία ατόμων)
- Την ηλεκτρολογική εγκατάσταση
- Τον πομποδέκτη αεροναυτιλίας

Σε ότι αφορά την υπηρεσία μεταφοράς μετεωρολογικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός MAWS201M της Φινλανδικής εταιρίας Vaisala, ο οποίος θεωρείται ως ο καλύτερος του είδους για εφαρμογές αεροναυτιλίας. Τα δεδομένα καιρού απεικονίζονται σε ένα τερματικό AniMet της ίδιας εταιρίας και περιλαμβάνουν τιμές πραγματικού χρόνου των εξής παραμέτρων:

- Κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου
- Θερμοκρασία και υγρασία αέρα
- Ατμοσφαιρική πίεση
- Ύψος βροχής
- Ύψος και κάλυψη νέφωσης
- Ορατότητα
- Ύπαρξη και πλήθος κεραυνών

Η υπηρεσία τηλε-παρακολούθησης (video surveillance) χρησιμοποιεί μία IP camera της εταιρίας Vivotek (τύπος IP3112) η οποία παρέχει ροή εικόνας κωδικοποιημένης κατά MPEG4 η οποία παρουσιάζεται στον χρήστη μέσω της διεπαφής του συστήματος IFMS στο Διαδίκτυο επιτρέποντας πρόσβαση από παντού στους χρήστες.

Η προσθήκη των πιο πάνω υπηρεσιών και η ανάγκη υποστήριξης των τηλεπικοινωνιακών τους αναγκών μέσω του ίδιου IP δικτύου, άλλαξε σημαντικά τις απαιτήσεις σε αυτό, καθώς επέβαλλε την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας στο επίπεδο IP (IP QoS) και μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης. Σε ότι αφορά την πρώτη απαίτηση, το δορυφορικό δίκτυο θα πρέπει να παρέχει τουλάχιστον 4 διαφορετικές κλάσεις QoS (φωνή, έλεγχος και επίβλεψη, καιρός, video). Σε ότι αφορά τη δεύτερη απαίτηση, ο πιο κάτω πίνακας συνοψίζει το αναγκαίο εύρος ζώνης για κάθε υπηρεσία, το οποίο θα πρέπει να προστεθεί σε αυτό που απαιτείται για την υποστήριξη της υπηρεσίας φωνής, όπως καταγράφηκε στην παράγραφο 3.4.

<i>Υπηρεσία</i>	<i>Απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης</i>	<i>Σχόλια</i>
Υπηρεσία τηλε-ελέγχου και τηλε-επίβλεψης	10 kbps ανά κατεύθυνση	Βάσει των καταγραφόμενων σημάτων και εντολών και της κατασκευάστριας εταιρίας
Απομακρυσμένη παρακολούθηση	96 kbps (1 κατεύθυνση)	Ροή δεδομένων MPEG-4 με ανάλυση 320 x 240, ασπρόμαυρη εικόνα με 4 fps
Παρακολούθηση καιρού	5 kbps ανά κατεύθυνση	Εκτίμηση της κατασκευάστριας εταιρίας

Πίνακας 20. Σύνοψη των απαιτήσεων των επιπρόσθετων υπηρεσιών στο ρυθμό μετάδοσης

Ένα ακόμη στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι πως ενώ η υπηρεσία φωνής εξυπηρετείται εξ' ολοκλήρου από ροές δεδομένων UDP/IP (βλέπε παράγραφο 4.4), δεν συμβαίνει το ίδιο με τις υπόλοιπες υπηρεσίες που απαιτούν τη μεταφορά πακέτων TCP/IP. Το πρόβλημα στην περίπτωση αυτή προκύπτει από την καθυστέρηση που αναπόφευκτα θα εισάγει το δορυφορικό δίκτυο. Με δεδομένο πως το πρωτόκολλο TCP/IP σχεδιάστηκε για να παρέχει εγγυημένη παράδοση πακέτων, χρησιμοποιεί αναγνώριση από τον δέκτη της λήψης του κάθε πακέτου προς τον εκπομπό του (TCP acknowledgement), οπότε κάθε τερματικό θα περιμένει τις αναγνωρίσεις αυτές προτού συνεχίσει τη μετάδοση. Το δορυφορικό δίκτυο που παρεμβάλλεται θα αναγκάσει την πηγή των πακέτων να καθυστερεί την εκπομπή τους, γιατί λόγω της καθυστέρησης θα πιστεύει πως έχει να κάνει με ένα δίκτυο σε συνθήκες συμφόρησης. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα, θα πρέπει ο δορυφορικός εξοπλισμός που θα επιλεγεί να υποστηρίζει επιτάχυνση της λειτουργίας του πρωτοκόλλου TCP/IP με χρήση της τεχνικής TCP acceleration (ή αλλιώς spoofing) στα 2 άκρα της επικοινωνίας, γιατί αλλιώς ένα μεγάλο κομμάτι του διαθέσιμου εύρους ζώνης θα παραμείνει αναξιοποίητο από τις υπηρεσίες που βασίζονται στο TCP/IP.

Οι υπηρεσίες που αναφέρθηκαν, παρόλο που δεν αποτελούν τμήμα της εργασίας, ελήφθησαν υπ' όψιν στον σχεδιασμό του δορυφορικού δικτύου που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια.

4.15 Το δορυφορικό δίκτυο

Όπως έχει ήδη καταγραφεί στις παραγράφους 3 και 4.14, το δορυφορικό δίκτυο IP θα χρησιμοποιηθεί για την μεταγωγή των πακέτων φωνής και σηματοδότησης μεταξύ των μετατροπέων RoIP/VoIP των 2 άκρων και των δεδομένων που είναι απαραίτητα στις επιπρόσθετες υπηρεσίες που προβλέπονται για το έργο SATWAYS. Η συμπεριφορά του δικτύου αυτού αναμένεται να συνεισφέρει όσο τίποτε άλλο στη διαμόρφωση της ποιότητας φωνής, λόγω της επιλογής δορυφορικής μετάδοσης και της συνεπακόλουθης καθυστέρησης, κάτι που κάνει το σωστό σχεδιασμό του εξαιρετικά σημαντικό.

Είναι προφανές πως το δορυφορικό IP δίκτυο θα πρέπει να βασίζεται σε εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες και υπηρεσίες, καθώς κάθε άλλη προσέγγιση είναι απλά αδύνατη. Η παρούσα παράγραφος παραθέτει τα βασικά βήματα που οδήγησαν στον σχεδιασμό του IP δικτύου που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του υπό μελέτη συστήματος και την αντικειμενική/υποκειμενική εκτίμηση ποιότητας φωνής που παρουσιάζεται στη συνέχεια της εργασίας. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι:

1. Ο καθορισμός της τοπολογίας του δικτύου
2. Η μελέτη των πιθανών τεχνικών πολλαπλής πρόσβασης στο κοινό μέσο, δηλαδή τον δορυφόρο και η επιλογή των βασικών απαιτήσεων που ο εξοπλισμός θα έπρεπε να εκπληρώνει
3. Η επιλογή του φορέα διαχείρισης του δορυφόρου και συνεπακόλουθα του παρόχου δορυφορικού φάσματος
4. Ο ορισμός του φορέα διαχείρισης του δορυφορικού δικτύου
5. Η επιλογή του παρόχου του εξοπλισμού
6. Ο σχεδιασμός του δορυφορικού δικτύου και η επιβεβαίωση εκπλήρωσης των σχετικών απαιτήσεων, αρχικά σε επίπεδο μελέτης και κατόπιν πειραματικά (παράγραφοι 8 και 9)

Αξίζει να σημειωθεί πως τα παραπάνω δεν θα ήταν δυνατά χωρίς την στενή συνεργασία και καθοδήγηση της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος καθώς το συγκεκριμένο θέμα, παρά την σημαντικότητά του, δεν αποτελούσε βασικό αντικείμενο της εργασίας.

4.15.1 Οι πιθανές τοπολογίες του δορυφορικού δικτύου

Υπάρχουν 5 διαφορετικές τοπολογίες για τα δίκτυα που βασίζονται σε δορυφορική μετάδοση:

- Δορυφορικό δίκτυο μονόδρομης εκπομπής (broadcast):
Χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση υπηρεσιών χωρίς απαιτήσεις αμφίδρομης επικοινωνίας, όπως την εκπομπή τηλεοπτικών ή ραδιοφωνικών εκπομπών. Ο τύπος αυτός δικτύωσης έχει χρησιμοποιηθεί επίσης για παροχή υπηρεσιών διαδικτύου, όπου όμως η κατεύθυνση μετάδοσης από τον συνδρομητή προς τον πάροχο υπηρεσίας (Internet Service Provider – ISP) υλοποιείται με άλλες τεχνολογίες, όπως οι γραμμές dialup. Η εμπορική υιοθέτηση τέτοιων λύσεων δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Ένα δίκτυο broadcast αποτελείται από έναν σταθμό εκπομπής και πολλαπλούς σταθμούς που λαμβάνουν μόνο
- Δορυφορικό δίκτυο από-σημείο-σε-σημείο (point-to-point):
Η από-σημείο-σε-σημείο τοπολογία αποτελεί την απλούστερη μορφή δορυφορικού δικτύου και αποτελείται από 2 τερματικά που επικοινωνούν μεταξύ τους πάνω από έναν αποκλειστικό φορέα. Τυπικές εφαρμογές αυτού του τρόπου διασύνδεσης είναι τα αμφίδρομα τηλεοπτικά προγράμματα, όπως οι ειδησεογραφικές εκπομπές, καθώς και τμήματα του δικτύου κορμού των παρόχων υπηρεσιών Internet, όπου η επίγεια διασύνδεση δεν είναι εφικτή
- Δορυφορικό δίκτυο τύπου αστέρα (star):
Η τοπολογία αυτή θυμίζει τον άξονα ενός τροχού (hub) με τις ακτίνες του να τον συνδέουν με τερματικούς σταθμούς που μπορούν να επικοινωνήσουν ο ένας με τον άλλο μόνο διαμέσου ενός κεντρικού σταθμού, ο οποίος ελέγχει τις επικοινωνίες. Αποτελεί την πλέον συνήθη τοπολογία, το μεγάλο πλεονέκτημα της οποίας είναι τα

σημαντικά μειωμένα κόστη των τερματικών σταθμών λόγω των χαμηλότερων απαιτήσεων, με την προϋπόθεση βέβαια πως ο κεντρικός σταθμός χρησιμοποιεί μία σημαντικά μεγαλύτερη κεραία και ισχύ εκπομπής. Ο καταμερισμός αυτός οδηγεί στο συμπέρασμα πως για να έχουν νόημα από πλευράς κόστους τα δίκτυα τοπολογίας star, θα πρέπει να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός τερματικών σταθμών ούτως ώστε να εξισορροπηθεί το μεγάλο αρχικό κόστος της αγοράς, εγκατάστασης και λειτουργίας του hub.

Ένα επιπλέον μειονέκτημα είναι η διπλάσια καθυστέρηση που εισάγεται για την επικοινωνία 2 τερματικών σταθμών μεταξύ τους, καθώς όλη η πληροφορία θα πρέπει να διέλθει από το hub, κάτι που έχει πολύ αρνητική επίδραση, ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, όπως η φωνή. Προφανώς, το πρόβλημα παύει να υφίσταται όταν το ένα άκρο της επικοινωνίας είναι ένας τερματικός σταθμός και το άλλο κάποιος χρήστης που είναι συνδεδεμένος στο hub με επίγεια σύνδεση

➤ Δορυφορικό δίκτυο τύπου γράφου (mesh):

Στη συγκεκριμένη τοπολογία, οι τερματικοί σταθμοί έχουν την δυνατότητα απ'ευθείας επικοινωνίας μεταξύ τους, χωρίς την παρέμβαση του hub. Συνεπακόλουθα απαιτούνται σημαντικά ακριβότεροι τερματικοί σταθμοί, πάραυτα η διαφορά του κόστους, όταν συγκριθεί με ένα δίκτυο τύπου αστέρα, γίνεται αισθητή μόνο πάνω από έναν αριθμό τους που ξεπερνάει τις κάποιες εκατοντάδες. Είναι προφανές πως το πρόβλημα της επιπλέον καθυστέρησης που καταγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο παύει να υπάρχει, καθιστώντας ιδεατή τη συγκεκριμένη τοπολογία για την υλοποίηση υπηρεσιών πραγματικού χρόνου

➤ Δορυφορικό δίκτυο υβριδικού τύπου (hybrid):

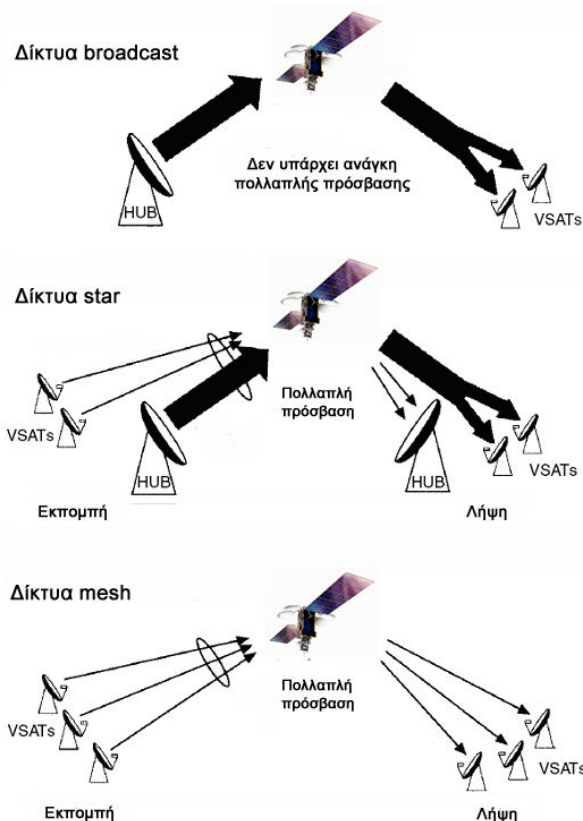
Όπως υπονοεί το όνομα, τα υβριδικά δίκτυα αποτελούν έναν συνδυασμό των δικτύων αστέρα και γράφου, όπου κάποιοι τερματικοί σταθμοί μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς την παρέμβαση του hub ενώ κάποιοι άλλοι όχι.

Είναι προφανές πως το υπό μελέτη σύστημα θα πρέπει να υλοποιεί τουλάχιστον την τοπολογία τύπου star. Πάραυτα, ένα δίκτυο με τοπολογία mesh θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια μίας εφαρμογής αεροναυτιλίας για την υλοποίηση κάποιων χρήσιμων υπηρεσιών. Ένα πιο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι η ζεύξη συχνοτήτων. Ας υποθέσουμε πως ένα τμήμα του εναερίου χώρου καλύπτεται από έναν αναμεταβιβαστικό σταθμό συντονισμένο στη συχνότητα A, ενώ ένα άλλο τμήμα καλύπτεται από τη συχνότητα B. Υπό συγκεκριμένες επιχειρησιακές συνθήκες μπορεί να είναι επιθυμητή η ζεύξη των 2 συχνοτήτων, ούτως ώστε ότι εκπέμπεται στη συχνότητα A να λαμβάνεται στη συχνότητα B και αντίστροφα. Αν μία τέτοια λειτουργία υλοποιηθεί με δίκτυο τοπολογίας star, δεν μπορεί να αποφευχθεί η διπλή μετάδοση από τη Γη στον δορυφόρο και πίσω, λόγω της αναγκαστικής παρεμβολής του hub. Αντίθετα, αν το δορυφορικό δίκτυο υποστηρίζει την τοπολογία mesh, η καθυστέρηση μετάδοσης θα είναι η μισή. Σε κάθε περίπτωση, και μετά από προτροπή της ΥΠΑ, αποφασίστηκε ο εξοπλισμός που θα επιλεγεί να μπορεί να υλοποιήσει κατ'επιλογήν δίκτυο mesh.

4.15.2 Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης στα δορυφορικά δίκτυα

Οι τερματικοί σταθμοί ενός δορυφορικού δικτύου, ονομαζόμενοι και Very Small Aperture Terminals (VSATs), ανεξάρτητα της τοπολογίας που χρησιμοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο 4.15.1, επικοινωνούν μεταξύ τους με χρήση διαμόρφωσης της ψηφιακής πληροφορίας σε φορείς χρησιμοποιώντας τον ίδιο δορυφορικό αναμεταδότη. Ανάλογα με την τοπολογία του δικτύου, οι φορείς είναι διαφορετικού τύπου και αριθμού αλλά η ανάγκη για διευθέτηση της πολλαπλής, ταυτόχρονης πρόσβασης παραμένει κοινή. Το πιο κάτω σχήμα παρουσιάζει τις 3 διαφορετικές περιπτώσεις:

- Σε δίκτυα τοπολογίας broadcast και από-σημείο-προς-σημείο είναι προφανές ότι δεν υπάρχει ανάγκη για την ύπαρξη πρωτοκόλλου πολλαπλής πρόσβασης, καθώς δεν υπάρχουν πολλαπλοί ανταγωνιστές για το δορυφορικό φάσμα (μόνο το hub εκπέμπει)
- Στην περίπτωση δικτύου τοπολογίας star, οι φορείς των τερματικών σταθμών ανταγωνίζονται με αυτούς του hub για το δορυφορικό φάσμα
- Στην περίπτωση δικτύου τοπολογίας mesh, οι φορείς των τερματικών σταθμών ανταγωνίζονται μεταξύ τους
- Σε ότι αφορά την τοπολογία δικτύου τύπου hybrid, που δεν περιλαμβάνεται στο σχήμα είναι προφανές πως ο ανταγωνισμός για δορυφορικό φάσμα αφορά τόσο τους τερματικούς όσο και τον κεντρικό σταθμό.



Σχήμα 65. Η ανάγκη για πολλαπλή πρόσβαση σε διάφορες τοπολογίες δορυφορικού δικτύου

Σύμφωνα με την Αναφορά 58, κεφάλαιο 6, το Σχήμα 66 παρουσιάζει τις διαθέσιμες τεχνικές για να διαμοιραστεί το διαθέσιμο δορυφορικό φάσμα ανάμεσα στους πολλαπλούς φορείς που διαγωνίζονται για αυτό:

- Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA), η οποία βασίζεται στην ανάθεση μίας δεδομένης υπο-ζώνης συχνοτήτων εκ της συνολικά διαθέσιμης (που συμβολίζεται με B) σε κάθε φορέα. Η ανατεθείσα υπο-ζώνη (που συμβολίζεται με b) για έναν συγκεκριμένο φορέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για τη μετάδοση πληροφορίας μίας σύνδεσης (τρόπος λειτουργίας Single Channel Per Carrier – SCPC) είτε πολλαπλών συνδέσεων ταυτοχρόνως (τρόπος λειτουργίας Multiple Channels Per Carrier – MCPC). Στην δεύτερη περίπτωση, οι ροές πληροφορίας των πολλαπλών συνδέσεων πολυπλέκονται στον χρόνο με χρήση της τεχνικής Time Division Multiplexing (TDM)
- Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA), η οποία βασίζεται στην ανάθεση του συνολικά διαθέσιμου δορυφορικού φάσματος σε κάθε φορέα για ένα δεδομένο χρόνο, που αποκαλείται χρονοθυρίδα. Η σειρά της

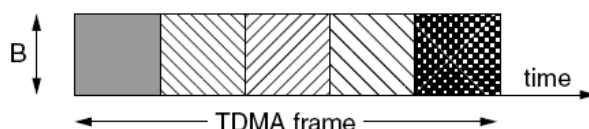
ανάθεσης μπορεί να είναι είτε τυχαία (η μέθοδος αυτή αποκαλείται random TDMA), είτε συγχρονισμένη. Στη δεύτερη περίπτωση, οι χρονοθυρίδες είναι οργανωμένες σε μία δομή πλαισίου που ονομάζεται πλαίσιο TDMA και απαρτίζεται από αριθμό χρονοθυρίδων ίσο με τον αριθμό των τερματικών σταθμών που είναι ενεργοί στο δίκτυο

- Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA), η οποία επιτρέπει στους τερματικούς σταθμούς να εκπέμπουν ταυτόχρονα στην ίδια συχνότητα χρησιμοποιώντας διαμόρφωση spread spectrum για να αποχωρίσουν τη λήψη που τους αφορά. Οι ακολουθίες chip που χρησιμοποιούν για τη διαμόρφωση οι διάφοροι τερματικοί σταθμοί είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους ώστε να περιορίζονται στο ελάχιστο οι παρεμβολές. Το βασικό πρόβλημα της τεχνικής CDMA είναι ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να επιτύχει (βλέπε Αναφορά 58, παράγραφος 6.6.5, σελ. 315). Για τον λόγο αυτό έχει γνωρίσει περιορισμένη εμπορική επιτυχία και δεν θα αποτελέσει επιλογή στο υπόλοιπο του κειμένου

FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (FDMA)



TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS (TDMA)



CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (CDMA)



Σχήμα 66. Βασικές τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης

Όλες οι προαναφερθείσες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είτε αναθέτοντας εκ των προτέρων και με στατικό τρόπο ένα προκαθορισμένο εύρος ζώνης σε κάθε τερματικό σταθμό VSAT (fixed bandwidth assignment), είτε εκχωρώντας εύρος ζώνης δυναμικά, όταν ένας σταθμός το χρειάζεται (demand-based bandwidth assignment). Είναι προφανές πως η πρώτη προσέγγιση είναι σημαντικά απλούστερη και παρουσιάζει μειωμένη καθυστέρηση εγκατάστασης μίας σύνδεσης.

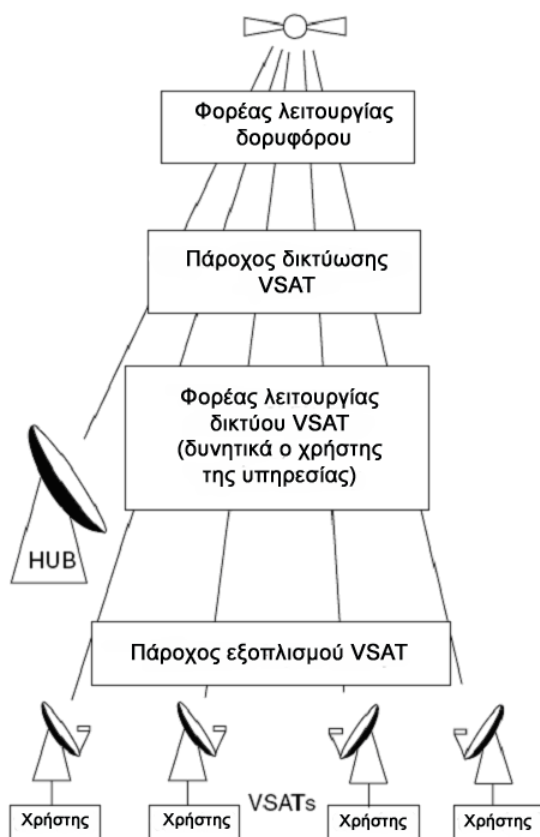
Πάραυτα, αν η ζήτηση για εύρος ζώνης παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα στον χρόνο ή η απαίτηση για επικοινωνία συμβαίνει σε αραιά χρονικά διαστήματα, τότε η δυναμική ανάθεση μπορεί να μειώσει δραστικά την απαίτηση για δορυφορικό φάσμα μειώνοντας εξίσου το κόστος για την ενοικίασή του. Αυτή ακριβώς είναι η περίπτωση του υπό μελέτη συστήματος, καθώς οι κλήσεις ασυρμάτου δεν έχουν απαιτήσεις μόνιμης συνδεσιμότητας. Για τον λόγο αυτό απαιτήθηκε από τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιούνταν για την υλοποίηση του δορυφορικού δικτύου να υποστηρίζει δυναμική ανάθεση εύρους ζώνης.

4.15.3 Οι οντότητες που εμπλέκονται στην παροχή υπηρεσιών δορυφορικής δικτύωσης

Λόγω της τεχνολογικής πολυπλοκότητας της δορυφορικής δικτύωσης, οι οντότητες που συμμετέχουν στην παροχή ανάλογων υπηρεσιών είναι πολλές και η ειδίκευσή τους συγκεκριμένη και απαραίτητη:

- Ο χρήστης της υπηρεσίας, που είναι ο τελικός καταναλωτής (στην περίπτωση του υπό μελέτη συστήματος η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας) και συχνά δεν έχει την δυνατότητα να εγκαταστήσει ή συντηρήσει μία υπηρεσία τέτοιου τύπου
- Η οντότητα που αναλαμβάνει την μελέτη του δικτύου, την εγκατάσταση των τερματικών σταθμών ή/και του κεντρικού σταθμού (hub) καθώς και τη διαχείριση και συντήρηση του όλου δικτύου είναι είτε αυτή που απασχολεί τους τελικούς χρήστες, είτε κάποιος εξειδικευμένος πάροχος, δημόσιος ή ιδιωτικός
- Ο πάροχος του εξοπλισμού VSAT, ο οποίος μπορεί να είναι είτε ο πάροχος της υπηρεσίας, είτε κάποια άλλη οντότητα
- Ο πάροχος του δορυφορικού φάσματος, ο οποίος είναι στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων η ιδιοκτήτρια αρχή κάποιου τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου, ιδιωτικού ή δημοσίου

Οι σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 67. Οι οντότητες που εμπλέκονται στην παροχή υπηρεσιών δορυφορικής δικτύωσης

Λόγω της κρισιμότητας της εφαρμογής και των τεχνικών δυνατοτήτων της ΥΠΑ, αποφασίστηκε από την διοίκησή της να αναλάβει η υπηρεσία την εγκατάσταση, διαχείριση και λειτουργία του απαραίτητου εξοπλισμού, οπότε, σύμφωνα με το πιο πάνω σχήμα, ανέλαβε τους ρόλους του παρόχου δικτύωσης VSAT καθώς και του φορέα λειτουργίας του δικτύου. Για τον λόγο αυτό απαιτήθηκε ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιούνταν για την υλοποίηση του δορυφορικού δικτύου να έχει τα πιο κάτω χαρακτηριστικά:

- Επεκτασιμότητα, τόσο με την προσθήκη περισσότερων τερματικών σταθμών όσο και δορυφορικού φάσματος
- Δυνατότητες παρακολούθησης της λειτουργίας του μέσω ενός Network Monitoring System (NMS)
- Δυνατότητα υποστήριξης εφεδρείας σε κάθε επίπεδο και για κάθε τερματικό σταθμό ξεχωριστά

Ως φορέας λειτουργίας δορυφόρου επιλέχθηκε η εταιρία Hellas Sat, μία εταιρία του ομίλου ΟΤΕ, διαχειριστή του δορυφόρου HellasSat II, ο οποίος ανήκει στο Ελληνικό Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών. Η τροχιακή θέση του συγκεκριμένου δορυφόρου είναι 39° ανατολικά και ελέγχεται με τρόπο τέτοιο ούτως ώστε να παραμένει σε θέση $\pm 0.09^\circ$ ανατολικά/δυτικά και $\pm 0.05^\circ$ βόρεια/νότια για τουλάχιστον 12 έτη από την τοποθέτησή του. Οι προδιαγραφές του δορυφόρου παρατίθενται κάτωθι:

- Πλατφόρμα:
 - ASTRIUM Eurostar 2000+ Platform
- Φορτίο:
 - 30x36 MHz λειτουργικοί αναμεταδότες, καθώς και 8x36 MHz σε εφεδρεία
 - 12 τη σταθερή δέσμη F1
 - 6 τη σταθερή δέσμη F2
 - έως 12 στη μετακινούμενη δέσμη S1
 - έως 6 στη μετακινούμενη δέσμη S2
- Κάλυψη:
 - Σταθερές δέσμες στον Ευρωπαϊκό χώρο
 - Μετακινούμενες δέσμες στις ακόλουθες γεωγραφικές περιοχές:
 - Νότια Αφρική
 - Μέση Ανατολή
 - Ινδίες
 - Νοτιοανατολική Ασία
- EIRP της καθοδικής ζεύξης:
 - 55dBW στο κέντρο της δέσμης για σταθερές δέσμες
- G/T της ανοδικής ζεύξης:
 - +11 dB/K στο κέντρο της δέσμης για τη σταθερή δέσμη F2
 - +8 dB/K στο κέντρο της δέσμης για τη σταθερή δέσμη F1
 - +5 dB/K στο κέντρο της δέσμης για τις μετακινούμενες δέσμες
- Συχνότητες:
 - Καθοδική ζεύξη (ζώνες συχνοτήτων Ku και extended Ku):
 - 10.95-11.20 GHz
 - 11.45-11.70 GHz
 - 12.50-12.75 GHz
 - Ανοδική ζεύξη (ζώνες συχνοτήτων Ku και extended Ku):
 - 13.75-14.50 GHz
- Διάρκεια ζωής:
 - 15 έτη

Αξίζει να σημειωθεί πως το Ελληνικό Δημόσιο κατέχει ένα σημαντικό τμήμα του διαθέσιμου φάσματος του Hellas Sat II για χρήση από τις Ένοπλες Δυνάμεις, τα Σώματα Ασφαλείας και άλλες δημόσιες υπηρεσίες, μεταξύ των οποίων και την ΥΠΑ.

4.15.4 Επιλογή του παρόχου δορυφορικού εξοπλισμού VSAT

Πριν από την παρουσίαση του εξοπλισμού VSAT που επιλέχθηκε για την υλοποίηση του δορυφορικού δικτύου IP του υπό μελέτη συστήματος, κρίνεται αναγκαία μία σύνοψη των σχετικών απαιτήσεων, όπως αυτές διαμορφώθηκαν στο παρόν κείμενο ως το σημείο αυτό. Η σύνοψη παρουσιάζεται στον πιο κάτω πίνακα.

A/A	Τίτλος Απαίτησης	Απαίτηση	Αναφορά
1	Υποστήριξη ROHC	Ναι	Παράγραφος 3.4
2	Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας (QoS)	Ναι	Παράγραφος 4.14
3	Υποστήριξη επιτάχυνσης TCP (TCP acceleration)	Ναι	Παράγραφος 4.14
4	Υποστήριξη τοπολογίας star και mesh	Ναι	Παράγραφος 4.15.1
5	Υποστήριξη ανάθεσης εύρους ζώνης μετά από αίτηση (demand-based assignment)	Ναι	Παράγραφος 4.15.2
6	Επεκτάσιμο σύστημα με προσθήκη τερματικών VSAT	Ναι	Παράγραφος 4.15.3
7	Επεκτάσιμο σύστημα με προσθήκη δορυφορικού φάσματος	Ναι	Παράγραφος 4.15.3
8	Υποστήριξη εφεδρείας	Ναι	Παράγραφος 4.15.3
9	Υποστήριξη παρακολούθησης δικτύου	Ναι	Παράγραφος 4.15.3
10	Υποστήριξη λειτουργίας σε ζώνη συχνοτήτων Ku ή extended Ku	Ναι	Παράγραφος 4.15.3

Πίνακας 21. Σύνοψη απαιτήσεων επί του εξοπλισμού VSAT

Ακολουθώντας τις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος επιλέχθηκε ως εξοπλισμός VSAT η σειρά προϊόντων SkyWAN της Γερμανικής εταιρίας ND Satcom. Πιο συγκεκριμένα, η μονάδα IDU 5000 χρησιμοποιήθηκε ως σταθμός hub, ενώ η μονάδα IDU 2500 χρησιμοποιήθηκε ως τερματικός σταθμός VSAT. Τα βασικά χαρακτηριστικά της οικογένειας προϊόντων SkyWAN περιλαμβάνουν:

- Υποστήριξη τοπολογιών δικτύου star, hybrid και mesh
- Χαρακτηριστικά διαμορφωτή/αποδιαμορφωτή:
 - Διαμόρφωση QPSK με ρυθμούς FEC $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ και $\frac{7}{8}$
 - Αποκωδικοποίηση Reed-Solomon
 - Υποστήριξη τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης MF-TDMA (Multiple Frequency – Time Division Multiple Access), με χρήση έως 8 διαφορετικών φορέων. Κάθε φορέας έχει δυνατότητα μετάδοσης έως 5 Mega Symbols ανά δευτερόλεπτο, υποστηρίζοντας μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 70 Mbit/s ανάλογα με τον κώδικα FEC που έχει επιλεγεί
 - Υποστήριξη DAMA (Dynamic Access Multiple Access) με δυνατότητα ανάθεσης εύρους ζώνης μετά από αίτηση από ένα κοινό εύρος μεταξύ όλων των σταθμών και εφαρμογών
- Χαρακτηριστικά δικτύωσης IP:
 - Διεπαφή Ethernet
 - Ενσωματωμένη δρομολόγηση IP: Στατική και δυναμική δρομολόγηση βασισμένη στο πρωτόκολλο OSPF
 - Επιτάχυνση TCP, η οποία βελτιστοποιεί την ταχύτητα όλων των εφαρμογών TCP. Υποστηρίζονται έως 30 ταυτόχρονες συνδέσεις TCP ανά τερματικό σταθμό.
 - Υποστήριξη Robust Header Compression (ROHC) κατά RFC 3095
 - Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας IP (QoS):
 - Ταξινόμηση ροών δεδομένων IP βάσει DSCPs, διεύθυνση πηγής IP, διεύθυνση προορισμού IP, πόρτα πηγής UDP/TCP, πόρτα προορισμού UDP/TCP κ.α.
 - Υποστήριξη DiffServ

- Έως 8 διαφορετικές κλάσεις QoS
- Κλάση IP QoS για κίνηση πραγματικού χρόνου
- Υποστήριξη μονάδας outdoors unit (ODU) για λειτουργία είτε στην Ku είτε στην Extended Ku ζώνη συχνοτήτων σε μία ποικιλία ισχύων εκπομπής
- Εφεδρεία ανά εγκατάσταση (διπλές μονάδες indoors unit – IDU – και/ή διπλές ODU και/ή διπλές κεραίες), συμπεριλαμβανομένου και του σταθμού hub
- Επεκτασιμότητα του μεγέθους του δικτύου και του δορυφορικού φάσματος χωρίς αλλαγή του υφιστάμενου εξοπλισμού
- Υποστήριξη παρακολούθησης δικτύου μέσω του λογισμικού SkyNMS (SkyWAN Network Management System - NMS), που παραμετροποιεί και παρακολουθεί όλους τους σταθμούς SkyWAN στο δίκτυο, διενεργώντας ανάλυση της κίνησης, διαχείριση σφαλμάτων, λογισμικού και παραμετροποίησης, καθώς και διαχείριση χρηστών και αδειών

Είναι προφανές πως ο εν λόγω εξοπλισμός κρίθηκε ως κατάλληλος για την υλοποίηση του δορυφορικού δικτύου καλύπτοντας τις απαιτήσεις που παρουσιάζει ο Πίνακας 21. Επίσης, εκπληρώνεται η απαίτηση 3 της παραγράφου 3.7.

4.15.5 Σχεδιασμός του δορυφορικού δικτύου

Με δεδομένο τον εξοπλισμό και τον δορυφόρο, σχεδιάστηκε η δορυφορική ζεύξη ούτως ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της εφαρμογής. Το πρώτο βήμα ήταν η κατοχύρωση ενός φορέα, ο οποίος εκχωρήθηκε από το Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών στον αναμεταδότη 6 με κεντρική συχνότητα ανοδικής ζεύξης στα 14.226,00 GHz (οριζόντια πόλωση) και κεντρική συχνότητα καθοδικής ζεύξης στα 11.176,00 GHz (κάθετη πόλωση). Το εύρος ζώνης του φορέα ήταν 550 kHz. Κατόπιν υπολογίστηκαν από την εταιρία Hellas Sat τα στοιχεία της ζεύξης ούτως ώστε να διαστασιολογηθεί η ισχύς εκπομπής για να είναι εφικτή η μετάδοση θεωρώντας διαθεσιμότητα δορυφορικής υπηρεσίας ίση με 99.8% και ρυθμό λάθους διφύων (bit error rate) για το φυσικό επίπεδο $\leq 1 \text{ in } 10^{-8}$, στόχοι που θεωρούνται αντιπροσωπευτικοί για την εφαρμογή, σύμφωνα με την παράγραφο 3.6.

Για την εκτέλεση της εν λόγω ανάλυσης απαιτήθηκαν ακόμη κάποια στοιχεία όπως:

- Η γεωγραφική θέση των τερματικών σταθμών: Η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 4.5 αποφάσισε να τοποθετήσει τον αναμεταβιβαστικό σταθμό στο ελικοδρόμιο της Πάτμου (συντεταγμένες 37.33 μοίρες βόρεια και 26.54 μοίρες ανατολικά) ενώ το άλλο άκρο της ζεύξης επιλέχθηκε να τοποθετηθεί στο Κέντρο Ελέγχου Περιοχής Αθηνών στο Ελληνικό (ΚΕΠΑΘ – συντεταγμένες 37.88 μοίρες βόρεια και 23.73 μοίρες ανατολικά).
- Το μέγεθος της κεραίας: Ακολουθώντας τις συμβουλές της ESA και της κατασκευάστριας εταιρίας, το μέγεθος της κεραίας επιλέχθηκε να είναι ίσο με 1.8m
- Ο τύπος της διαμόρφωσης (QPSK) και ο ρυθμός FEC ($\frac{3}{4}$), σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία

Τα δεδομένα της ανάλυσης της ζεύξης παρατίθενται στην παράγραφο 17, απ' όπου προκύπτει ισχύς εκπομπής ίση με 2.8 Watts. Τα στοιχεία αυτά διαβιβάστηκαν στην ND Satcom και χρησιμοποιήθηκαν για την παραμετροποίηση των σταθμών. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε μήκος πλαισίου TDMA ίσο με 109998 μs , το οποίο καθόρισε και την αποδοτικότητα της ζεύξης που ήταν ίση με 82.21%, με αποτέλεσμα ο καθαρός ρυθμός μετάδοσης να είναι ίσος με 470 kbits/sec. Επίσης καθορίστηκε η πολιτική IP QoS χρησιμοποιώντας 5 κλάσεις που παρουσιάζονται κάτωθι με φθίνουσα σειρά προτεραιότητας:

- Κλάση μετάδοσης ροών RTP πακέτων φωνής και RTCP πακέτων ελέγχου
- Κλάση μετάδοσης ροών πακέτων σηματοδοσίας SIP
- Κλάση μετάδοσης ροών πακέτων υπηρεσίας τηλε-ελέγχου και τηλε-επίβλεψης
- Κλάση μετάδοσης ροών πακέτων υπηρεσίας παρακολούθησης καιρού

- Κλάση μετάδοσης ροών πακέτων υπηρεσίας απομακρυσμένης παρακολούθησης και οποιασδήποτε άλλης υπηρεσίας

Ο διαχωρισμός των ροών βασίστηκε στις διευθύνσεις IP των πηγών και των προορισμών καθώς και στις αντίστοιχες πόρτες IP. Επιπλέον, παραμετροποιήθηκε η δρομολόγηση και ενεργοποιήθηκαν η συμπίεση επικεφαλίδων και η επιτάχυνση TCP όπου χρειαζόταν.

Τέλος, επιβεβαιώθηκε η δυνατότητα της ζεύξης να υποστηρίξει τις υπηρεσίες από πλευράς επιτεύξιμου ρυθμού μετάδοσης. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις απαιτήσεις των υπηρεσιών, όπως αυτές παρουσιάστηκαν σε προηγούμενες παραγράφους με τις αντίστοιχες αναφορές.

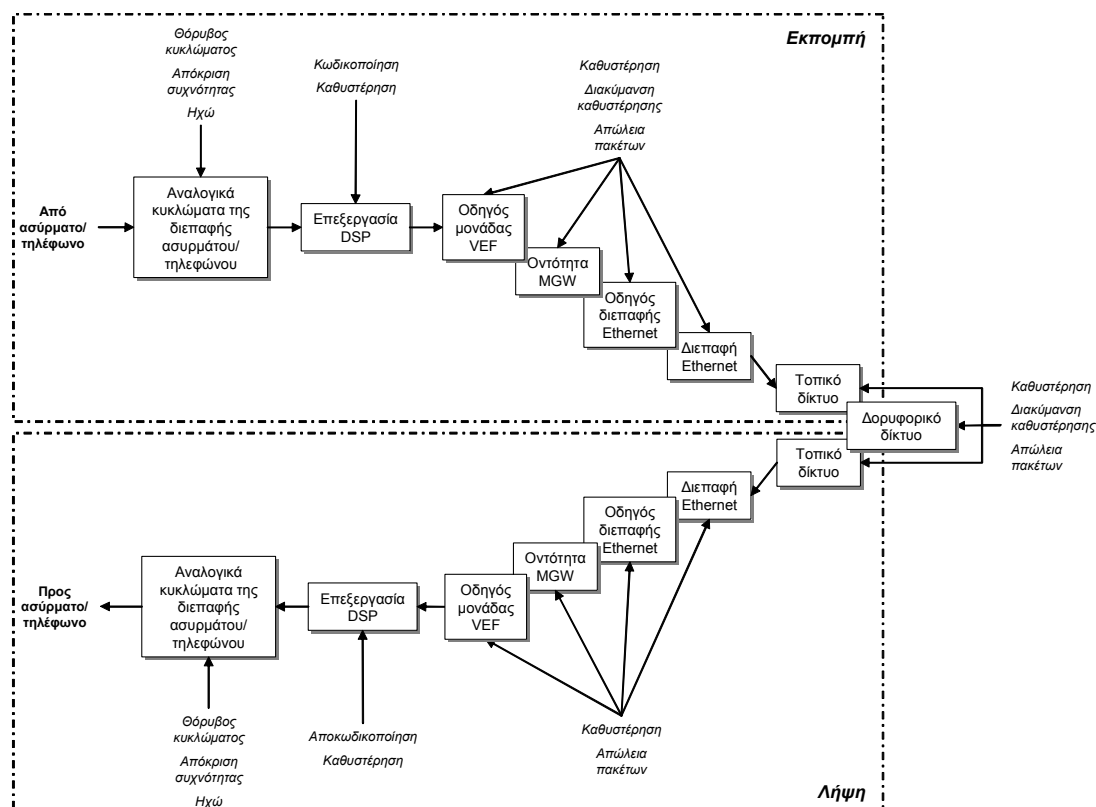
<i>Υπηρεσία</i>	<i>Απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης</i>	<i>Αναφορά</i>
Φωνή – Κλήση ασυρμάτου ή τηλεφώνου	11.8 kbps ανά κατεύθυνση και είδος κλήσης (1 πακέτο φωνής ανά πακέτο RTP, υποθέτοντας συμπίεση επικεφαλίδων)	Παράγραφος 3.4
Υπηρεσία τηλε-ελέγχου και τηλε-επίβλεψης	10 kbps ανά κατεύθυνση	Παράγραφος 4.14
Απομακρυσμένη παρακολούθηση	96 kbps (1 κατεύθυνση)	Παράγραφος 4.14
Παρακολούθηση καιρού	5 kbps ανά κατεύθυνση	Παράγραφος 4.14

Πίνακας 22. Σύνοψη απαιτήσεων ρυθμού μετάδοσης ανά υποστηριζόμενη υπηρεσία

Υποθέτοντας πως θα πρέπει να υποστηρίζονται μία τηλεφωνική και μία ραδιοφωνική κλήση ταυτόχρονα, ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης που απαιτείται ισούται με 174 kbps, οπότε το δορυφορικό δίκτυο όπως σχεδιάστηκε είναι επαρκές ακόμη και για την υποστήριξη 2-3 αναμεταβιβαστικών σταθμών. Αξίζει να σημειωθεί πως με τη συγκεκριμένη διαστασιολόγηση δικτύου, η πιθανότητα απόρριψης μίας κλήσης ασυρμάτου ή τηλεφώνου είναι 0. Τέλος, εκπληρώνονται οι απαιτήσεις 1, 2 και 4 της παραγράφου 3.7.

4.16 Συσχέτιση της υλοποίησης με τους παράγοντες μείωσης της ποιότητας κλήσης

Το πιο κάτω σχήμα συνοψίζει τους παράγοντες μείωσης της ποιότητας κλήσης, όπως αυτοί παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.1 σε σχέση με την υλοποίηση του υπό μελέτη συστήματος, όπως καταγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους. Το σχήμα περιγράφει τη μία κατεύθυνση μετάδοσης με την αντίθετη να είναι πλήρως συμμετρική.



Σχήμα 68. Οι παράγοντες μείωσης της ποιότητας κλήσης και η υλοποίηση του υπό μελέτη συστήματος

Οι παράγοντες μείωσης της ποιότητας κλήσης θα ποσοτικοποιηθούν στην παράγραφο 6 έως 8, όπου και θα επιβεβαιωθεί η εκπλήρωση των σχετικών απαιτήσεων που τέθηκαν στην παράγραφο 3.7 και κατόπιν, στην παράγραφο 9 θα συσχετιστούν με την υποκειμενική αντίληψη των χρηστών.

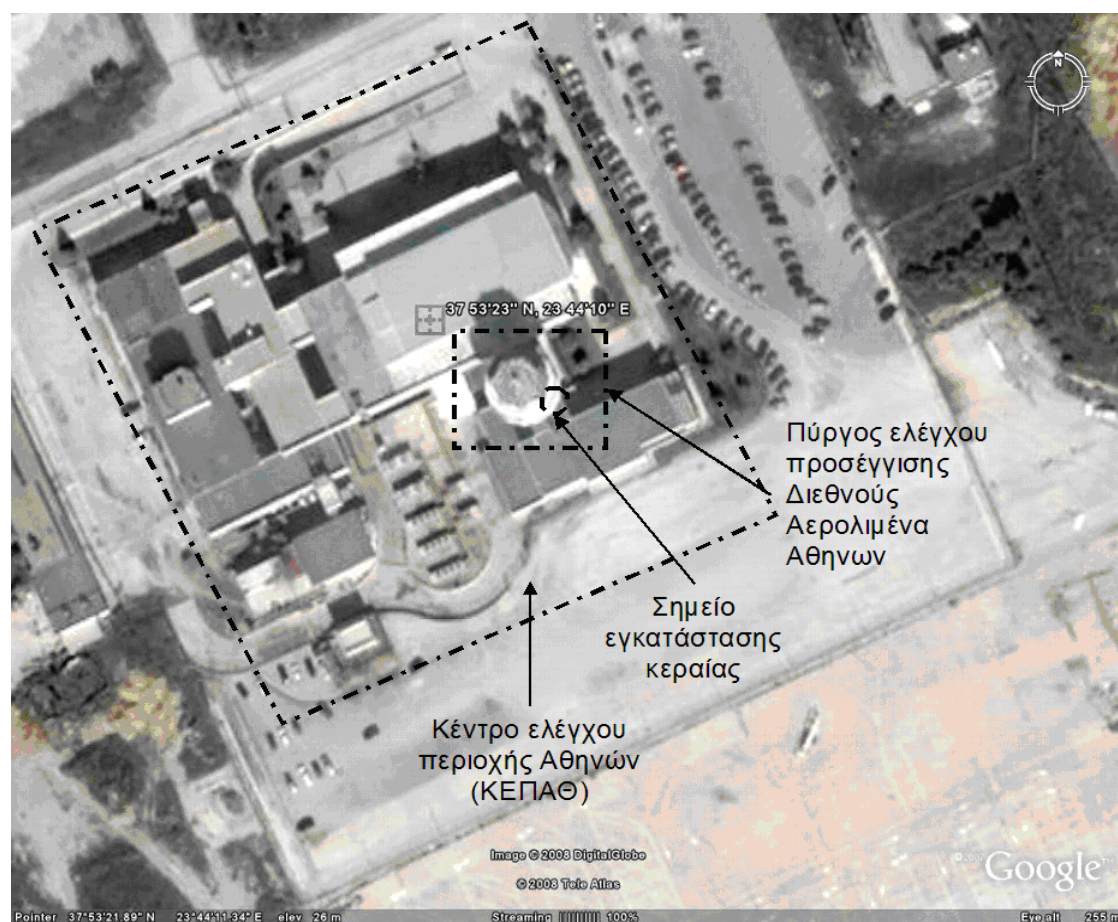
5 Εγκατάσταση του υπό μελέτη συστήματος

Μετά την ολοκλήρωση της υλοποίησης και εκσφαλμάτωσης του υλικού και λογισμικού του μετατροπέα RoIP/VoIP και του σχεδιασμού του δορυφορικού IP δικτύου και με δεδομένη την ανάγκη για μετρήσεις της ποιότητας φωνής σε επιχειρησιακό περιβάλλον λειτουργίας και όχι μόνο στο εργαστήριο, το υπό μελέτη σύστημα εγκαταστάθηκε στις θέσεις που υπέδειξε η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, δηλαδή στο Κέντρο Ελέγχου Περιοχής Αθηνών (ΚΕΠΑΘ) στο Ελληνικό Αττικής και στο ελικοδρόμιο της Πάτμου.

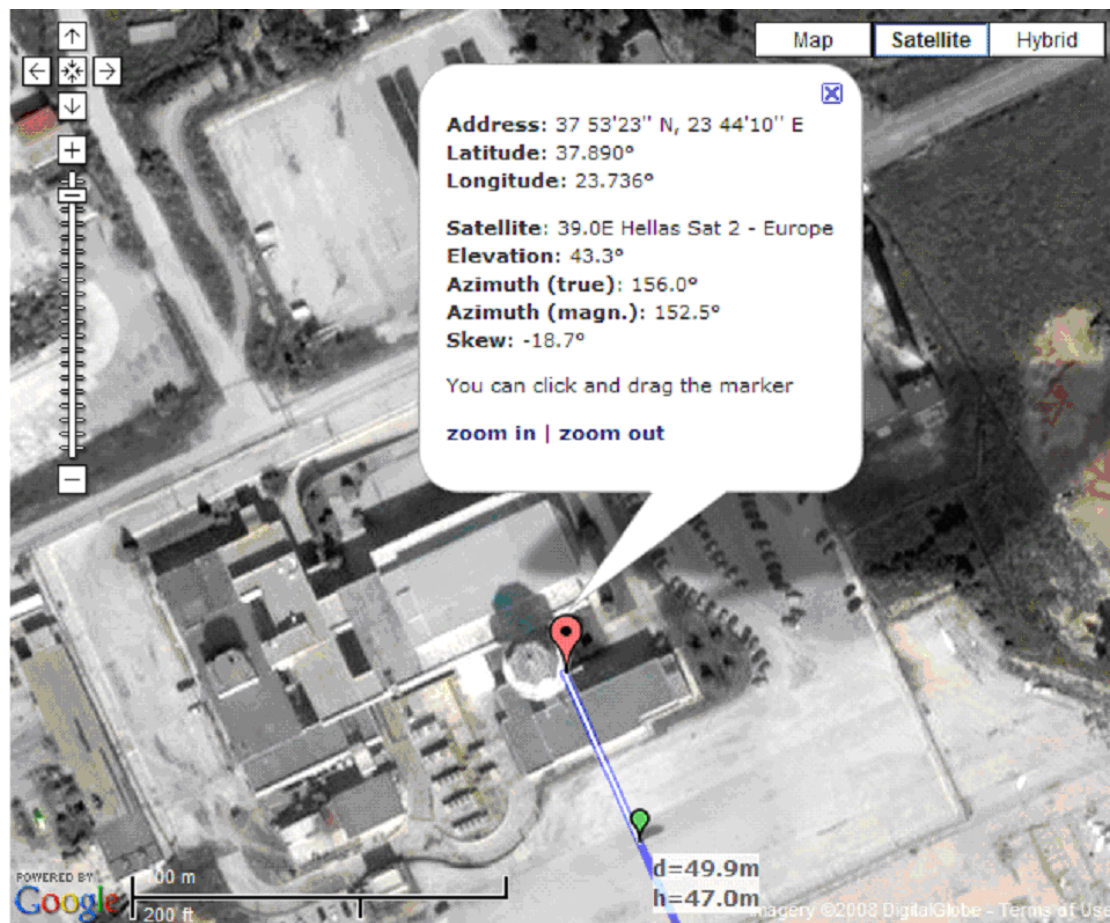
Οι εν λόγω εγκαταστάσεις χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση μίας σειράς μετρήσεων που παρατίθενται στις παραγράφους 7 έως 9. Στη συνέχεια της εργασίας παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία των εγκαταστάσεων αυτών καθώς και ένα σύνολο μετρήσεων που αποδεικνύουν τη σωστή εκτέλεση των σχετικών εργασιών, που εκτελέστηκαν σε συνεργασία τόσο με την ΥΠΑ και την ESA, όσο και με τον φορέα διαχείρισης του δορυφόρου, δηλαδή την εταιρία Hellas Sat και τις κατασκευάστριες εταιρίες ND Satcom (δορυφορικός εξοπλισμός) και Vaisala (μετεωρολογικός σταθμός).

5.1 Εγκατάσταση του δορυφορικού σταθμού master

Ο δορυφορικός σταθμός master (hub) εγκαταστάθηκε στην κορυφή του πύργου ελέγχου της προσέγγισης του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών στο παλιό Ανατολικό Αεροδρόμιο του Ελληνικού. Οι συντεταγμένες της εγκατάστασης είναι 37.88 μοίρες βόρεια και 23.73 μοίρες ανατολικά. Το ύψος της εγκατάστασης είναι περίπου 50 μέτρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Οι κάτωθι δορυφορικές φωτογραφίες δείχνουν τον τόπο της εγκατάστασης και την ευθυγράμμιση της κεραίας.



Εικόνα 7. Γεωγραφικά δεδομένα της εγκατάστασης του σταθμού master



Εικόνα 8. Ευθυγράμμιση της κεραίας του δορυφορικού σταθμού master

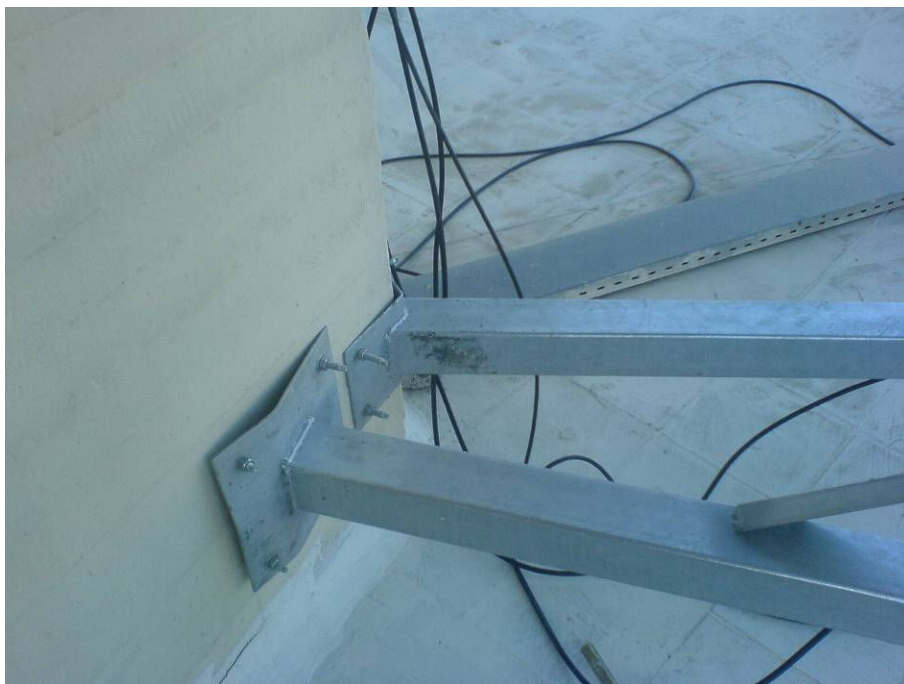
5.1.1 Λίστα υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην εγκατάσταση του δορυφορικού σταθμού master

Η λίστα υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην εγκατάσταση του δορυφορικού σταθμού master περιείχε:

- Modem ND Satcom SkyWAN IDU 5000
- Τροφοδοτικό ενισχυτή εκπομπής ND Satcom FPS5030
- Ενισχυτής εκπομπής Paradise Datacom LLC 3100 Series (SkyWAN TR3008KU) Ku-Band Block Up-Converter (έκδοση Extended Ku, μέγιστη ισχύς 8 Watt, συχνότητα τοπικού ταλαντωτή 13.05GHz)
- Ενισχυτής λήψης (LNB) New Japan Radio NJR2637E (συχνότητα τοπικού ταλαντωτή 11.3 GHz)
- Εύκαμπτος κυματοδηγός τύπου “The Waveguide Solution Limited”
- Κεραία Andrew 1.8 m Ku-Band RxTx Class III Antenna System (Type 183)
- Καλώδια σύνδεσης και άλλα υλικά

5.1.2 Μηχανολογικές λεπτομέρειες

Η κεραία δεν ήταν δυνατό να προσαρμοστεί στο πάτωμα του εξώστη του πύργου ελέγχου για να αποφευχθεί η διάτρηση της μόνωσης. Επιπλέον, λόγω του μεγέθους της κεραίας, ήταν αδύνατη η χρησιμοποίηση βαρυτικής βάσης καθώς θα απαιτούσε τη χρήση μη επιτρεπτού βάρους. Αντ'αυτού προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος η πάκτωση της βάσης της κεραίας στον τοίχο και την περίφραξη του εξώστη με χρήση εγκάρσιων διατομών ανοξείδωτου χάλυβα. Κατόπιν, ο στύλος στήριξης της κεραίας διαμέτρου 114 mm προσαρμόστηκε στις διατομές και η στήριξη της κεραίας βιδώθηκε επάνω του. Το σύστημα στήριξης φαίνεται στις πιο κάτω φωτογραφίες.



Εικόνα 9. Στήριξη της βάσης της κεραίας στον τοίχο



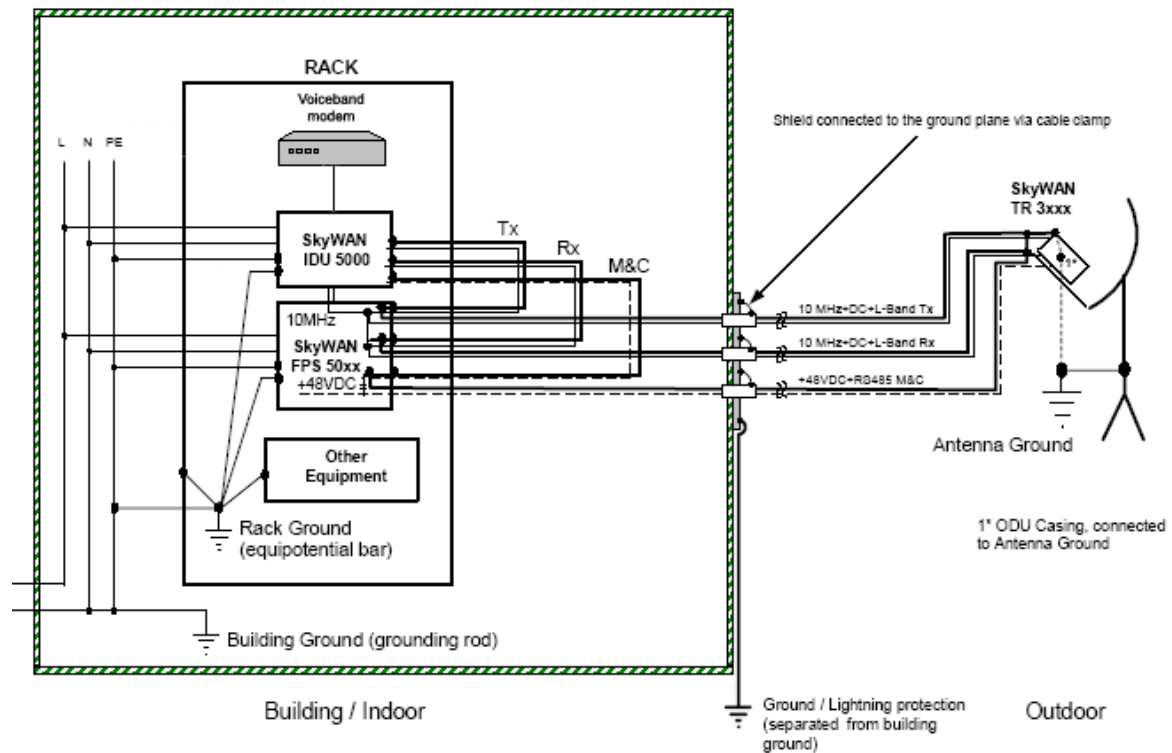
Εικόνα 10. Στήριξη της βάσης της κεραίας στην περίφραξη του εξώστη



Εικόνα 11. Οπίσθια όψη του συνόλου της βάσης

5.1.3 Καλωδίωση

Η καλωδίωση εγκαταστάθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή (ND Satcom). Το κάτωθι σχήμα παρουσιάζει το συνολικό διάγραμμα καλωδίωσης.

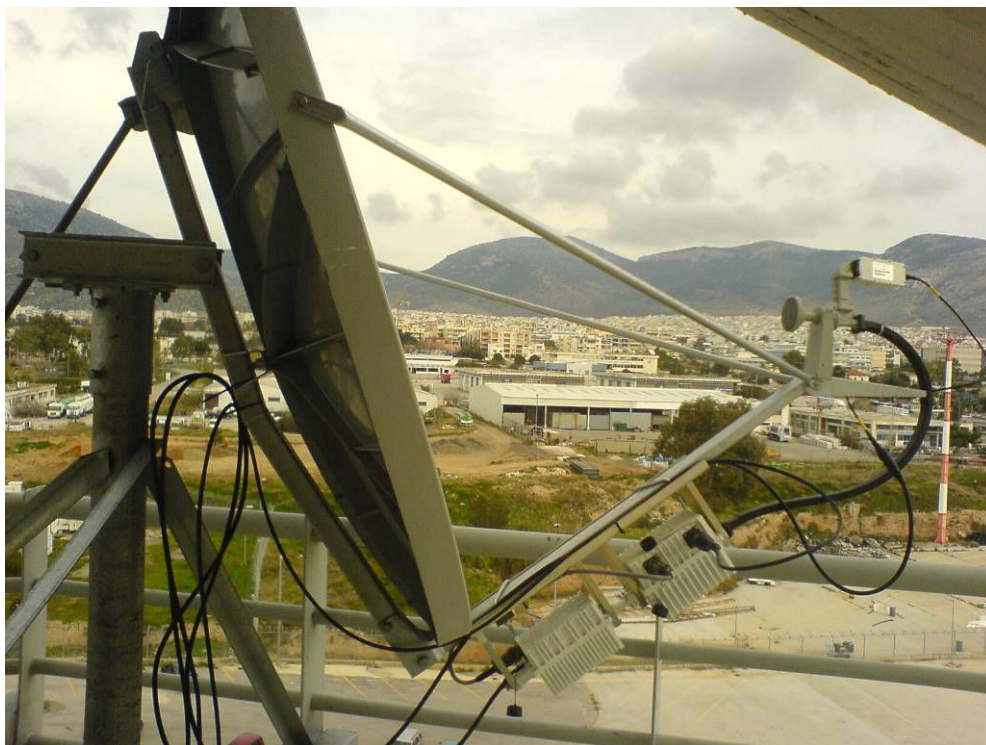


Σχήμα 69. Διάγραμμα καλωδίωσης του δορυφορικού σταθμού master

Όλα τα καλώδια μεταξύ εξοπλισμού εσωτερικού χώρου (IDU) και εξοπλισμού εξωτερικού χώρου (ODU και LNB) έχουν μήκος 12 μέτρα.

5.1.4 Συναρμολόγηση εξοπλισμού εξωτερικού χώρου

Ο εξοπλισμός εξωτερικού χώρου συναρμολογήθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του υλικού και παρουσιάζεται στην ακόλουθη φωτογραφία, τοποθετημένος στην κεραία.



Εικόνα 12. Ο εξοπλισμός εξωτερικού χώρου τοποθετημένος στην κεραία

5.1.5 Μέτρηση απώλειας καλωδίων

Με το πέρας της εγκατάστασης του δορυφορικού σταθμού master, μετρήθηκαν οι απώλειες των καλωδίων εκπομπής και λήψης ούτως ώστε να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα κακών συνδέσεων. Αρχικά, το modem προγραμματίστηκε ώστε να παράγει ένα καθαρό ημίτονο και η απόσβεση εκπομπής τέθηκε στα 20 dB. Η ισχύς της εκπομπής στην έξοδο της IDU μετρήθηκε με τη χρήση αναλυτή φάσματος και βρέθηκε ίση με **-21 dBm**. Κατόπιν, η ίδια μέτρηση επαναλήφθηκε στο άκρο του καλωδίου εκπομπής, δηλαδή στην είσοδο του ενισχυτή εκπομπής και η ισχύς βρέθηκε ίση με **-23.5 dBm**. Τέλος, το καλώδια εκπομπής συνδέθηκε με αυτό της λήψης και η μέτρηση επαναλήφθηκε στην άκρη του καλωδίου λήψης. Η ισχύς στο συγκεκριμένο σημείο ήταν **-25.17 dBm**. Με δεδομένο το μήκος των καλωδίων (12 μέτρα) καθώς και την απόσβεση ανα 10 μέτρα μήκους, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή (1.5 dB στη συγκεκριμένη συχνότητα), οι μετρηθείσες ισχύς δεν παρουσιάζουν αποκλίσεις από τις αναμενόμενες.

5.1.6 Έλεγχος ρυθμού λαθών διφυών σε συνδεσμολογία εκπομπής/λήψης ενδιάμεσης συχνότητας (L-band)

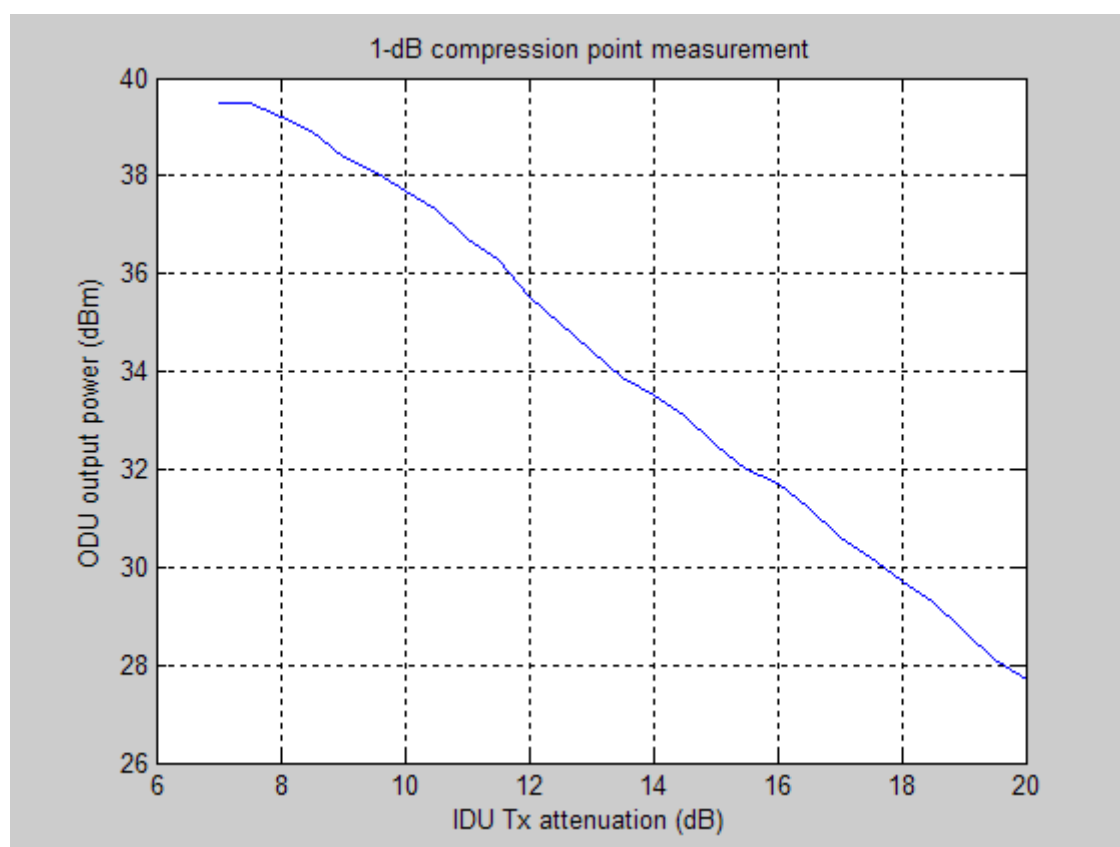
Διατηρώντας τη σύνδεση των καλωδίων εκπομπής και λήψης, το master modem παραμετροποιήθηκε ώστε να εκτελέσει έλεγχο ρυθμού λάθους διφυών, εκπέμποντας ψευδοτυχαία ακολουθία συμβόλων και αποκωδικοποιώντας τα λαμβανόμενα σύμβολα. Ο ρυθμός λαθών παρέμεινε 0 μετά την παρέλευση 24 ωρών.

5.1.7 Μέτρηση σημείου συμπίεσης 1 dB και βελτιστοποίηση της απόσβεσης του διαύλου εκπομπής

Κατόπιν, προσδιορίστηκε το σημείο συμπίεσης 1 dB του ενισχυτή εκπομπής. Καθώς η ισχύς του σήματος εισόδου του ενισχυτή εκπομπής αυξάνει, ομοίως θα πρέπει να αυξηθεί με γραμμικό τρόπο και η ισχύς της εξόδου του. Πάραυτα, μετά από ένα σημείο και λόγω κορεσμού, κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό. Το σημείο στο οποίο η έξοδος του ενισχυτή εκπομπής διαφέρει κατά 1 dB από την προβλεπόμενη, ονομάζεται σημείο συμπίεσης 1 dB.

Για να εκτελεστούν οι μετρήσεις, το master modem παραμετροποιήθηκε ώστε να εκπέμπει ένα μη διαμορφωμένο ημίτονο με ταυτόχρονη καταγραφή της ισχύος στην είσοδο του ενισχυτή εκπομπής και στην έξοδό του. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, η κεραία δεν ήταν ευθυγραμμισμένη με τον δορυφόρο για την αποφυγή ανεπιθύμητων παρεμβολών σε άλλους φορείς.

Οι αρχικές μετρήσεις έδειξαν πως το εύρος διακύμανσης της εισόδου του ενισχυτή εκπομπής ούτως ώστε να αποφευχθεί ο κορεσμός του ήταν εξαιρετικά μικρό. Μετά από μελέτη του φύλλου προδιαγραφών του ενισχυτή εκπομπής, αποκαλύφθηκε ο λόγος που κάτι τέτοιο συνέβαινε. Το επίπεδο εισόδου για την επίτευξη του σημείου συμπίεσης 1 dB ήταν -30 dBm. Το εύρος διακύμανσης της εκπομπής από το master modem είναι από -30.5 έως 0 dB και το modem εκπέμπει ημίτονο ισχύος 0 dBm, όταν η απόσβεση εκπομπής έχει την τιμή 0 dB. Λαμβάνοντας υπ' όψιν πως η απόσβεση του καλωδίου εκπομπής ήταν 2.5 dB (μήκος καλωδίου ίσο με 12 μέτρα), είναι προφανές πως το διαθέσιμο εύρος για την απόσβεση εκπομπής είναι μόλις 3 dB, κάτι που αναμενόταν να προκαλέσει προβλήματα και στην κανονική λειτουργία λόγω αδυναμίας σωστής ρύθμισης της ισχύος εκπομπής. Για τον λόγο αυτό τοποθετήθηκε σταθερή απόσβεση 20 dB κατά μήκος του διαύλου εκπομπής και οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο πιο κάτω γράφημα.



Γράφημα 5. Μέτρηση σημείου συμπίεσης 1 dB

Όπως είναι εμφανές, ο ενισχυτής εκπομπής είναι πλήρως γραμμικός μέχρι του σημείου συμπίεσης που προκύπτει όταν η απόσβεση εκπομπής τεθεί σε τιμή ίση με 8 dB. Η μέγιστη ισχύς εκπομπής είναι 39.5 dBm (8.91 Watts), ενώ η αντίστοιχη ονομαστική τιμή είναι ίση με 8 Watts. Το σημείο συμπίεσης 1 dB προκύπτει για ισχύ εκπομπής ίση με 6.92 Watts (38.4 dBm).

5.1.8 Ευθυγράμμιση της κεραίας

Η ευθυγράμμιση της κεραίας επιτελέστηκε με χρήση της μεθόδου zero-span. Αρχικά, η γωνία του τροφοδότη της κεραίας (feed horn) ρυθμίστηκε χοντρικά σύμφωνα με την αναμενόμενη γωνία πόλωσης. Κατόπιν, ένας αναλυτής φάσματος HP 8560 συνδέθηκε στην έξοδο probe του master modem και παραμετροποιήθηκε όπως φαίνεται πιο κάτω:

- **Εύρος ζώνης απεικόνισης:** 30 Hz
- **Διακριτότητα εύρους ζώνης:** 300 kHz
- **Χρόνος σάρωσης:** 120 s
- **Ρύθμιση απεικόνισης πλάτους:** 0.5 dB / division
- **Εύρος συχνοτήτων:** 100 kHz

Στη συνέχεια, η απεικόνιση του αναλυτή φάσματος τοποθετήθηκε ούτως ώστε η αναμενόμενη ενδιάμεση συχνότητα λήψης να βρίσκεται στο κέντρο. Μετά από την εξουσιοδότηση του Hellas Sat, εκπέμφθηκε αδιαμόρφωτο ημίτονο και η κεραία μετακινήθηκε ούτως ώστε να μεγιστοποιηθεί η ισχύς της λήψης. Η διαδικασία επαναλήφθηκε άλλη μία φορά μετά την τοποθέτηση εκ νέου της συχνότητας του φορέα στο κέντρο της οθόνης και τη μείωση του εύρους συχνοτήτων στην ελάχιστη τιμή των 30 Hz. Τελικά, η κεραία πακτώθηκε στην βέλτιστη θέση επιτυγχάνοντας σηματοθορυβικό λόγο ίσο με 14 dB.

5.1.9 Ευθυγράμμιση πόλωσης

Η ευθυγράμμιση της πόλωσης συνίσταται στη βελτιστοποίηση της γωνίας του feed horn ώστε να μεγιστοποιηθεί ο αποχωρισμός της εκπομπής από τη λήψη λόγω του ότι οι πολώσεις της ανοδικής και καθοδικής ζεύξης παρουσιάζουν γωνία 90°. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος zero-span.

Χρησιμοποιώντας τη διάταξη και τις ρυθμίσεις της προηγούμενης παραγράφου, η γωνία του feed horn μεταβλήθηκε μέχρι να μεγιστοποιηθεί η ισχύς της λήψης. Η σωστή γωνία επιβεβαιώθηκε από την Hellas Sat και ο τροφοδότης της κεραίας πακτώθηκε στη βέλτιστη θέση.

5.1.10 Έλεγχος ρυθμού λαθών διφυών σε συνδεσμολογία εκπομπής/λήψης μέσω δορυφόρου και περαιτέρω βελτιστοποίηση της απόσβεσης εκπομπής

Μετά το πέρας των ελέγχων που περιγράφηκαν στις πιο πάνω παραγράφους, το master modem ήταν έτοιμο για εκπομπή και λήψη μέσω του δορυφόρου Hellas Sat II. Το τελευταίο βήμα περιελάμβανε την παραμετροποίηση του σταθμού ώστε να εκτελεστεί μέτρηση ρυθμού λαθών διφυών σε συνδεσμολογία εκπομπής/λήψης μέσω δορυφόρου. Η ισχύς εκπομπής και ο σηματοθορυβικός λόγος της λήψης (E_s/N_o βασικής ζώνης) ήταν υπό συνεχή παρακολούθηση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

Η χρησιμοποιούμενη διαμόρφωση (βλέπε παράγραφο 4.15.5) περιλαμβάνει συνελκτικό κωδικοποιητή ρυθμού $\frac{3}{4}$ και λειτουργεί με ρυθμό εκπομπής συμβόλων ίσο με 392.5 kbauds. Για να επιτευχθεί ρυθμός λαθών διφυών μικρότερος από 10^{-8} απαιτείται, με δεδομένη την ως άνω διαμόρφωση, σηματοθορυβικός λόγος E_b/N_o ίσος με τουλάχιστον 9.1 dB, κάτι που

αντιστοιχεί σε λόγο E_s/N_o τουλάχιστον ίσο με 10.9 dB ή μεγαλύτερο, καθώς $E_s/N_o = E_b/N_o + 1.8$ για τη συγκεκριμένη διαμόρφωση. Η απόσβεση εκπομπής τέθηκε ίση με 17.5 dB, παράγοντας ισχύ εκπομπής ίση με 1.15 Watts (αδιαμόρφωτο ημίτονο) και 1.74 Watts (διαμορφωμένο σήμα). Χρησιμοποιώντας αυτή τη ρύθμιση, εκτελέστηκε μέτρηση ρυθμού λαθών διφυών διαμέσου του δορυφόρου για 24 ώρες η οποία έδωσε αποτέλεσμα ίσο με 0.8×10^{-8} .

5.2 Εγκατάσταση του υπόλοιπου εξοπλισμού στο Κέντρο Ελέγχου Περιοχής Αθηνών

Εκτός του δορυφορικού σταθμού master, στο ΚΕΠΑΘ εγκαταστάθηκαν επίσης:

- Ένας μετατροπέας RoIP/VoIP, ο οποίος συνδέθηκε με τον εξοπλισμό ραδιοεπικοινωνιών των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας. Ο μετατροπέας RoIP/VoIP συνδέεται επίσης με τηλεφωνική συσκευή. Το μήκος του καλωδίου δεν ήταν μεγαλύτερο από 100 m, εκπληρώνοντας την απαίτηση 24 της παραγράφου 3.7 για το κέντρο ελέγχου
- Ένας εξυπηρετητής Hewlett Packard DL360, ο οποίος αναλαμβάνει:
 - Τη συγκέντρωση δεδομένων τηλε-επίβλεψης από το ελικοδρόμιο και παροχή τους στο Διαδίκτυο
 - Την μεταγωγή εντολών από το Διαδίκτυο προς το ελικοδρόμιο
 - Τη συλλογή των στατιστικών των κλήσεων και από τους 2 μετατροπείς RoIP/VoIP της Πάτμου και του Ελληνικού και την αποθήκευσή τους σε βάση δεδομένων
- Ένα τερματικό AniMet της εταιρίας Vaisala που απεικονίζει δεδομένα καιρού

Η επικοινωνία με τον δορυφορικό σταθμό master υλοποιήθηκε με ξεχωριστό δίκτυο Ethernet οπτικών ινών. Η όλη εγκατάσταση υποστηρίζεται από UPS και γεννήτρια.

5.3 Εγκατάσταση του δορυφορικού σταθμού slave

Ο δορυφορικός σταθμός slave εγκαταστάθηκε στο ελικοδρόμιο της Πάτμου. Οι συντεταγμένες της εγκατάστασης είναι 37.33 μοίρες βόρεια και 26.54 μοίρες ανατολικά. Το ύψος της εγκατάστασης είναι περίπου 85 μέτρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Οι κάτωθι δορυφορικές φωτογραφίες δείχνουν τον τόπο της εγκατάστασης και την ευθυγράμμιση της κεραίας.



Εικόνα 13. Γεωγραφικά δεδομένα της εγκατάστασης του σταθμού slave



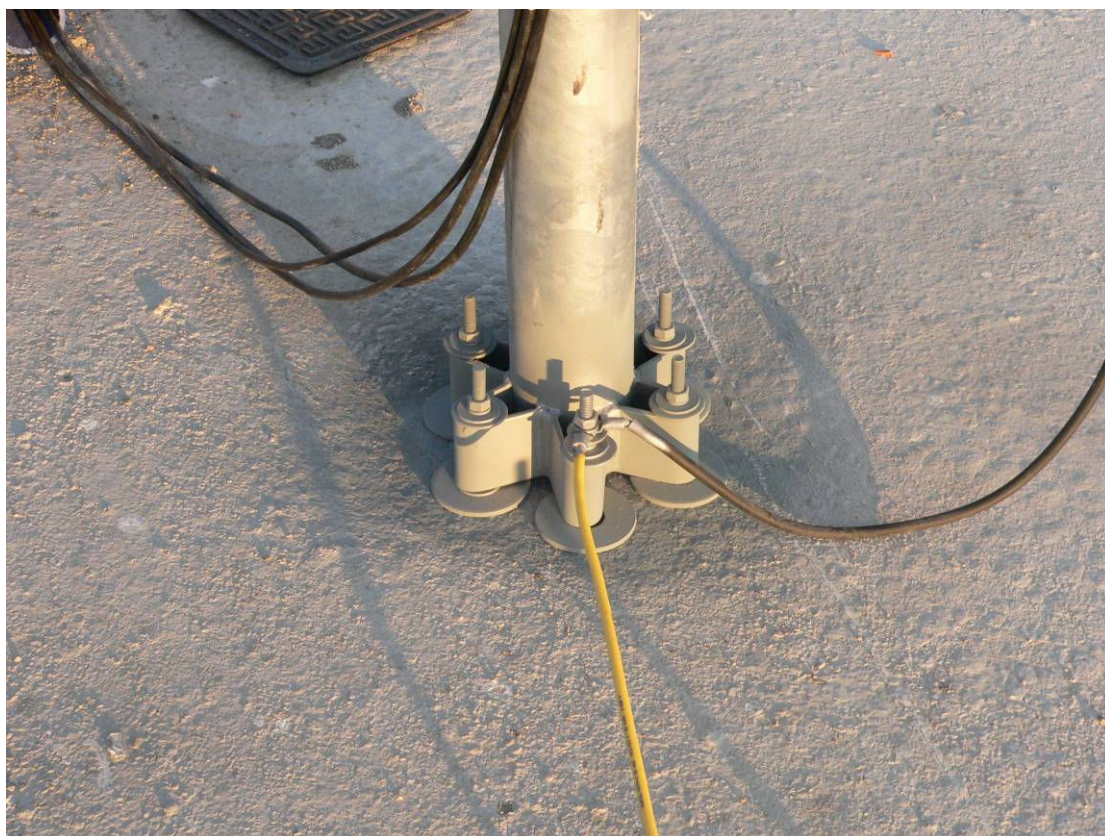
Εικόνα 14. Ευθυγράμμιση της κεραίας του δορυφορικού σταθμού slave

5.3.1 Λίστα υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην εγκατάσταση του δορυφορικού σταθμού slave

Η λίστα υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην εγκατάσταση του δορυφορικού σταθμού slave ήταν η ίδια της παραγράφου 5.1.1.

5.3.2 Μηχανολογικές λεπτομέρειες

Η κεραία εγκαταστάθηκε σε τσιμεντένια βάση διαστάσεων 2 x 2 μέτρων και ύψους 40 cm. Για την πάκτωση του στύλου της κεραίας χρησιμοποιήθηκαν ανοξείδωτες χαλύβδινες βίδες και εποξικά βύσματα. Η κεραία γειώθηκε με χρήση ξεχωριστού τριγώνου γειώσεως, οι δε συνδέσεις γαλβανίστηκαν με κατάλληλο σπρέι. Οι λεπτομέρειες του συστήματος στήριξης φαίνεται στις πιο κάτω φωτογραφίες.



Εικόνα 15. Στήριξη του στύλου της κεραίας στην τσιμεντένια βάση



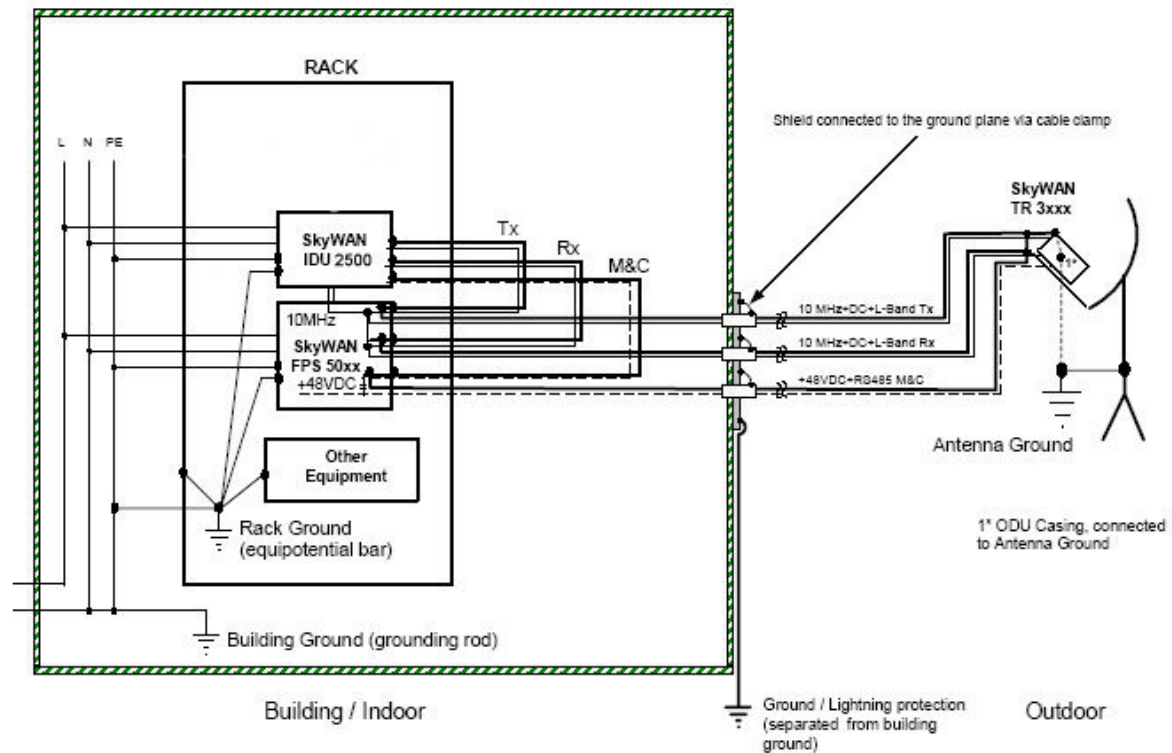
Εικόνα 16. Το τρίγωνο γειώσεως



Εικόνα 17. Το σύνολο της κεραίας

5.3.3 Καλωδίωση

Η καλωδίωση εγκαταστάθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή (ND Satcom). Το κάτωθι σχήμα παρουσιάζει το συνολικό διάγραμμα καλωδίωσης.



Σχήμα 70. Διάγραμμα καλωδίωσης του δορυφορικού σταθμού slave

Όλα τα καλώδια μεταξύ εξοπλισμού εσωτερικού χώρου (IDU) και εξοπλισμού εξωτερικού χώρου (ODU και LNB) έχουν μήκος 85 μέτρα.

5.3.4 Συναρμολόγηση εξοπλισμού εξωτερικού χώρου

Ο εξοπλισμός εξωτερικού χώρου συναρμολογήθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του υλικού και παρουσιάζεται στην ακόλουθη φωτογραφία, τοποθετημένος στην κεραία.



Εικόνα 18. Ο εξοπλισμός εξωτερικού χώρου τοποθετημένος στην κεραία

5.3.5 Μέτρηση απώλειας καλωδίων

Με το πέρας της εγκατάστασης του δορυφορικού σταθμού slave, μετρήθηκαν οι απώλειες των καλωδίων εκπομπής και λήψης ούτως ώστε να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα κακών συνδέσεων. Αρχικά, το modem προγραμματίστηκε ώστε να παράγει ένα καθαρό ημίτονο και η απόσβεση εκπομπής τέθηκε στα 20 dB. Η ισχύς της εκπομπής στην έξοδο της IDU μετρήθηκε με τη χρήση αναλυτή φάσματος και βρέθηκε ίση με **-21 dBm**. Κατόπιν, η ίδια μέτρηση επαναλήφθηκε στο άκρο του καλωδίου εκπομπής, δηλαδή στην είσοδο του ενισχυτή εκπομπής και η ισχύς βρέθηκε ίση με **-34.2 dBm**. Τέλος, το καλώδια εκπομπής συνδέθηκε με αυτό της λήψης και η μέτρηση επαναλήφθηκε στην άκρη του καλωδίου λήψης. Η ισχύς στο συγκεκριμένο σημείο ήταν **-47.6 dBm**. Με δεδομένο το μήκος των καλωδίων (85 μέτρα) καθώς και την απόσβεση ανα 10 μέτρα μήκους, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή (1.5 dB στη συγκεκριμένη συχνότητα), οι μετρηθείσες ισχύεις δεν παρουσιάζουν αποκλίσεις από τις αναμενόμενες.

5.3.6 Έλεγχος ρυθμού λαθών διφυών σε συνδεσμολογία εκπομπής/λήψης ενδιάμεσης συχνότητας (L-band)

Διατηρώντας τη σύνδεση των καλωδίων εκπομπής και λήψης, το slave modem παραμετροποιήθηκε ώστε να εκτελέσει έλεγχο ρυθμού λάθους διφυών, εκπέμποντας ψευδοτυχαία ακολουθία συμβόλων και αποκωδικοποιώντας τα λαμβανόμενα σύμβολα. Ο ρυθμός λαθών παρέμεινε 0 μετά την παρέλευση 24 ωρών.

5.3.7 Μέτρηση σημείου συμπίεσης 1 dB και βελτιστοποίηση της απόσβεσης του διαύλου εκπομπής

Το σημείο συμπίεσης 1 dB του ενισχυτή εκπομπής μετρήθηκε σύμφωνα με την παράγραφο 5.1.7 προτού ο σταθμός slave εγκατασταθεί στην Πάτμο. Τα αποτελέσματα ήταν πανομοιότυπα με αυτά του σταθμού master.

5.3.8 Ευθυγράμμιση της κεραίας

Η ευθυγράμμιση της κεραίας επιτελέστηκε σύμφωνα με την παράγραφο 5.1.8. Ο σηματοθορυβικός λόγος που επιτεύχθηκε ήταν ίσος με 13.1 dB.

5.3.9 Ευθυγράμμιση πόλωσης

Η ευθυγράμμιση της πόλωσης επιτελέστηκε σύμφωνα με την παράγραφο 5.1.9.

5.3.10 Έλεγχος ρυθμού λαθών διφυών σε συνδεσμολογία εκπομπής/λήψης μέσω δορυφόρου και βελτιστοποίηση της απόσβεσης εκπομπής

Μετά το πέρας των ελέγχων που περιγράφηκαν στις πιο πάνω παραγράφους, το slave modem ήταν έτοιμο για εκπομπή και λήψη μέσω του δορυφόρου Hellas Sat II. Το τελευταίο βήμα περιελάμβανε την παραμετροποίηση του σταθμού ώστε να εκτελεστεί μέτρηση ρυθμού λαθών διφυών σε συνδεσμολογία εκπομπής/λήψης μέσω δορυφόρου. Η ισχύς εκπομπής και ο σηματοθορυβικός λόγος της λήψης (E_s/N_0 βασικής ζώνης) ήταν υπό συνεχή παρακολούθηση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και το master modem παρέμεινε απενεργοποιημένο ούτως ώστε να μην προκληθούν παρεμβολές στη διαδικασία.

Ο απαιτούμενος σηματοθορυβικός λόγος ήταν ο ίδιος με αυτόν που καταγράφηκε στην παράγραφο 5.1.10, καθώς η χρησιμοποιούμενη διαμόρφωση ήταν επίσης ίδια. Η απόσβεση εκπομπής για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός τέθηκε ίση με 10.5 dB, παράγοντας ισχύ εκπομπής ίση με 1.62 Watts (αδιαμόρφωτο ημίτονο) και 1.94 Watts (διαμορφωμένο σήμα). Χρησιμοποιώντας αυτή τη ρύθμιση, εκτελέστηκε μέτρηση ρυθμού λαθών διφυών διαμέσου του δορυφόρου για 24 ώρες η οποία έδωσε αποτέλεσμα ίσο με 0.82×10^{-8} .

5.4 Εγκατάσταση του υπόλοιπου εξοπλισμού στο ελικοδρόμιο της Πάτμου

Εκτός του δορυφορικού σταθμού slave, στο ελικοδρόμιο της Πάτμου εγκαταστάθηκαν επίσης:

- Ένας πομποδέκτης αεροναυτιλίας της εταιρίας Jotron (κωδικός πομπού TA-7425 και κωδικός δέκτη RA-7202), ισχύος εκπομπής 25 Watt, συντονισμένος στη συχνότητα 121.625 MHz. Εγκαταστάθηκε επίσης κεραία τύπου μαστιγίου ύψους 2 m
- Ένας μετατροπέας RoIP/VoIP, συνδεδεμένος με τον πομποδέκτη και μία τηλεφωνική συσκευή. Το μήκος του καλωδίου δεν ήταν μεγαλύτερο από 2 m, εκπληρώνοντας την απαίτηση 24 της παραγράφου 3.7 για τον αναμεταβιβαστικό σταθμό
- Ένας μετεωρολογικός σταθμός της εταιρίας Vaisala (κωδικός AWS520)
- Μία κάμερα τεχνολογίας IP της εταιρίας Vivotek (κωδικός IP3112)
- Ποικιλία μετρητικών, αισθητηρίων και αυτοματισμών για την τηλε-επίβλεψη και τηλε-έλεγχο του ελικοδρομίου

Ο μετατροπέας RoIP/VoIP, η κάμερα και ο μετεωρολογικός σταθμός συνδέθηκαν μεταξύ τους και με τον δορυφορικό σταθμό slave μέσω ενσύρματου τοπικού δικτύου Ethernet. Το σύνολο του εξοπλισμού υποστηρίζεται από UPS 1500kVA (τύπος APC Back UPS RS1500).



Εικόνα 19. Η εγκατάσταση της κεραίας VHF και της κάμερας IP



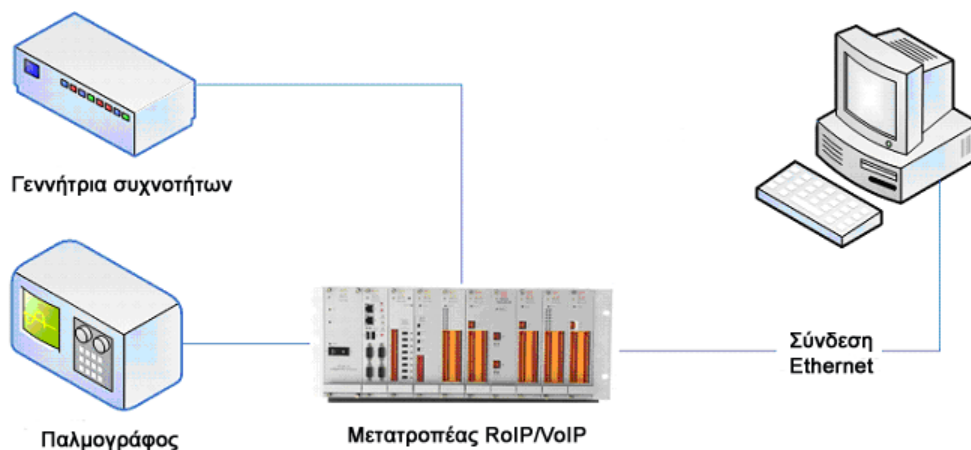
Εικόνα 20. Το rack του εξοπλισμού του ελικοδρομίου – Φαίνονται ο δορυφορικός σταθμός, ο πομποδέκτης αεροναντιλίας, ο μετατροπέας RoIP/VoIP και το UPS



Εικόνα 21. Ο μετεωρολογικός σταθμός AWS520 της εταιρίας Vaisala

6 Μετρήσεις επίδοσης της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού και υλοποίησης της μονάδας VEF, εκτελέστηκε μία σειρά μετρήσεων που σκοπό είχαν την ποσοτικοποίηση της επίδοσης της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου του υπό μελέτη συστήματος, καθώς αυτή επηρεάζει με ποικίλους τρόπους την από-άκρο-σε-άκρο ποιότητα φωνής. Η διάταξη ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό αυτό φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 71. Διάταξη ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε για την ποσοτικοποίηση της επίδοσης της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου

Η γεννήτρια κυματομορφών συνδέθηκε στους ακροδέκτες λήψης της μετρούμενης θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου, ενώ ο παλμογράφος στους ακροδέκτες εκπομπής. Ο υπολογιστής συνδέθηκε με το υπό μελέτη σύστημα ούτως ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος της διεξαγωγής των μετρήσεων.

6.1 Αρχική ρύθμιση της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου

Η θύρα ήχου της διεπαφής ασυρμάτου έχει σχεδιαστεί για διασύνδεση με εξωτερικό εξοπλισμό με ειδική αντίσταση 600 Ohms σε τετρασύρματη και ισοζυγισμένη (balanced) λειτουργία, τόσο για τον δίαυλο εκπομπής, όσο και για τον αντίστοιχο της λήψης. Καθώς όλοι οι τύποι εξοπλισμού που πρόκειται να συνδεθούν σε αυτή καλύπτουν τις απαιτήσεις αυτές, όλες οι ακόλουθες μετρήσεις αναφέρονται σε φορτίο 600 Ohms.

Η τάση εισόδου πλήρους κλίμακας (full-scale – FS – input voltage) ορίζεται ως η τάση εκείνη που οδηγεί την είσοδο του αναλογικοψηφιακού μετατροπέα (Analogue-to-Digital Converter – ADC) με τρόπο τέτοιο ώστε να μην προκύπτει ψαλιδισμός ούτε των θετικών, ούτε των αρνητικών κορυφών. Καθώς ο ADC χρησιμοποιεί κωδικοποίηση 16 bits, η πλήρης κλίμακα αντιστοιχεί σε δεκαδικές τιμές ίσες με ± 32767 . Ο εξωτερικός εξοπλισμός παράγει έξοδο πλάτους 4 dBm σε φορτίο 600 Ohms που αντιστοιχίζεται σε τάση από κορυφή σε κορυφή ίση με 3.5 Volts, κάτι που ήταν γνωστό εκ των προτέρων.

Η γεννήτρια κυματομορφών έπρεπε λοιπόν να προγραμματιστεί να παράγει ένα ημίτονο με πλάτος 3.5 Volts p-p, συχνότητας 997 Hz, ώστε να ελεγχθούν όλες οι στάθμες του ADC και η αναλογική απόσβεση/ενίσχυση της εισόδου της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου να ρυθμιστεί ώστε να παράγεται ένα ημίτονο με μέγιστη/ελάχιστη τιμή ίση με ± 32767 στην έξοδο του ADC. Όλες οι μετρήσεις λήψης στη συνέχεια αναφέρονται σε αυτή την τιμή πλήρους κλίμακας.

Η τάση εξόδου πλήρους κλίμακας (full-scale – FS – output voltage) ορίζεται αντίστοιχα, θεωρώντας πως το φορτίο που οδηγείται είναι ίσο με 600 Ohms. Η ρύθμιση της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου επιτεύχθηκε προγραμματίζοντάς την να παράγει ένα ημίτονο με μέγιστο πλάτος ψηφιακών τιμών ± 32767 και συχνότητας ίσης με 997 Hz για να ελεγχθούν όλες οι στάθμες του ψηφιακοαναλογικού μετατροπέα (Digital-to-Analog Converter – DAC). Κατόπιν, η αναλογική απόσβεση/ένισχυση της εξόδου της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου ρυθμίστηκε ώστε να παράγεται ένα ημίτονο με μέγιστη/ελάχιστη τιμή ίση με 3.5 Volts p-p στην έξοδο του DAC. Όλες οι μετρήσεις εκπομπής στη συνέχεια αναφέρονται σε αυτή την τιμή πλήρους κλίμακας.

Η διαδικασία επαναλήφθηκε και για τις 4 θύρες ήχου των διεπαφών ασυρμάτου που υποστηρίζονται. Κατόπιν ακολούθησαν οι μετρήσεις επίδοσης τόσο της λήψης όσο και της εκπομπής της κάθε θύρας ήχου ανεξάρτητα και για κάθε ένα από τα 5 πρωτότυπα ως προς την απόκριση συχνότητας (frequency response), την συνολική παραμόρφωση και θόρυβο (THD+N), τον θόρυβο υποβάθρου (floor noise) και την διαφωνία μεταξύ θυρών (crosstalk). Όλες οι μετρήσεις επίδοσης της λήψης διενεργήθηκαν προγραμματίζοντας την γεννήτρια συχνοτήτων να παράγει ημίτονα συγκεκριμένου πλάτους και συχνότητας και συλλέγοντας την έξοδο του ADC από τον υπολογιστή που φαίνεται στο Σχήμα 71. Αντίθετα, για τις μετρήσεις της εκπομπής χρησιμοποιήθηκε η γεννήτρια τόνων που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.9.2. Η έξοδος της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου συλλέχθηκε σε κάθε περίπτωση από τον παλμογράφο που φαίνεται στο Σχήμα 71.

6.2 Μετρήσεις απόκρισης συχνότητας

Η απόκριση συχνότητας είναι η συνάρτηση της εξόδου ενός γραμμικού και χρονικά σταθερού συστήματος σε σχέση με τη συχνότητα μίας ημιτονικής εισόδου για ένα σύνολο συχνοτήτων εισόδου. Για την ποσοτικοποίηση της απόκρισης συχνότητας χρησιμοποιήθηκε ένα πλέγμα συχνοτήτων με λογαριθμική απόσταση μεταξύ των 50 Hz και των 8 kHz, καθώς έπρεπε να μετρηθεί η απόκριση συχνότητας τόσο εντός της ζώνης συχνοτήτων ενδιαφέροντος (300 Hz – 3.4 kHz, σύμφωνα με την παράγραφο 3.1) όσο και εκτός αυτής. Το πλέγμα αυτό έπρεπε να περιλαμβάνει υποχρεωτικά τη συχνότητα του 1 kHz (για την ακρίβεια χρησιμοποιήθηκε η συχνότητα των 997 Hz για να ελεγχθούν όλα τα επίπεδα των ADC και DAC). Το πλάτος των ημιτονικών εισόδων ήταν ίσο με -20 dB FS (σχετικά με την είσοδο πλήρους κλίμακας όπως ορίστηκε στην παράγραφο 6.1).

Αξίζει να σημειωθεί πως ο πλήρης διάυλος (εκπομπή και λήψη) μπορούν να μετρηθούν ταυτόχρονα με ανατροφοδότηση της ψηφιακής εξόδου του ADC στην είσοδο του DAC. Με τον τρόπο αυτό μετράται η απόκριση συχνότητας που θα γίνει τελικά αντιληπτή στον χρήστη, ο οποίος δεν πρόκειται ποτέ να ακούσει ξεχωριστά ούτε την εκπομπή, ούτε τη λήψη. Εάν η απαίτηση στο εύρος ζώνης καλύπτεται για το σύνολο του διαύλου, η απόκριση συχνότητας δεν είναι ανάγκη να μετρηθεί ανεξάρτητα για την εκπομπή και λήψη.

6.2.1 Μέτρηση του πλήρους διαύλου (εκπομπής/λήψης) – AP.1

Τα απαραίτητα βήματα για την εκτέλεση της μέτρησης ήταν:

- Σύνδεση της γεννήτριας συχνοτήτων στους ακροδέκτες λήψης της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Σύνδεση του παλμογράφου στους ακροδέκτες εκπομπής της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Παραμετροποίηση της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου ώστε να υλοποιεί ανατροφοδότηση
- Δημιουργία των κατάλληλων σημάτων εισόδου με χρήση της γεννήτριας
- Καταγραφή της εξόδου της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου για κάθε συχνότητα εισόδου ξεχωριστά στον παλμογράφο
- Μεταφορά των δεδομένων στον υπολογιστή

- Υπολογισμό του πλάτους των ημιτόνων στην έξοδο της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Σύγκριση των πλατών αυτών με το πλάτος που μετρήθηκε για συχνότητα εισόδου ίση με 1 kHz (997 Hz)

6.2.2 Μέτρηση της λήψης – AP.2

Τα απαραίτητα βήματα για την εκτέλεση της μέτρησης ήταν:

- Σύνδεση της γεννήτριας συχνοτήτων στους ακροδέκτες λήψης της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Δημιουργία των κατάλληλων σημάτων εισόδου με χρήση της γεννήτριας
- Καταγραφή της εξόδου του ADC της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου για κάθε συχνότητα εισόδου ξεχωριστά στον υπολογιστή
- Υπολογισμό του πλάτους των ημιτόνων στην έξοδο του ADC
- Σύγκριση των πλατών αυτών με το πλάτος που μετρήθηκε για συχνότητα εισόδου ίση με 1 kHz (997 Hz)

6.2.3 Μέτρηση της εκπομπής – AP.3

Τα απαραίτητα βήματα για την εκτέλεση της μέτρησης ήταν:

- Σύνδεση του παλμογράφου στους ακροδέκτες εκπομπής της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Παραμετροποίηση της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου ώστε να δημιουργήσει τα κατάλληλα σήματα εισόδου με χρήση της ψηφιακής γεννήτριας τόνων
- Καταγραφή της εξόδου της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου για κάθε συχνότητα εισόδου ξεχωριστά στον παλμογράφο
- Μεταφορά των δεδομένων στον υπολογιστή
- Υπολογισμό του πλάτους των ημιτόνων στην έξοδο της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Σύγκριση των πλατών αυτών με το πλάτος που μετρήθηκε για συχνότητα εισόδου ίση με 1 kHz (997 Hz)

6.3 Μετρήσεις συνολικής παραμόρφωσης και θορύβου (THD+N)

Η συνολική αρμονική παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion – THD) είναι ο λόγος της ισχύος όλων των αρμονικών του σήματος εισόδου ως προς την ισχύ του σήματος ελέγχου. Η πιο συνηθισμένη μέτρηση συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης είναι η μέτρηση συνολικής παραμόρφωσης και θορύβου (Total Harmonic Distortion plus Noise – THD+N), με την οποία προσμετρώνται όλες οι συχνότητες του σήματος εξόδου εκτός αυτής του σήματος ελέγχου όσο και ο θόρυβος που συνυπάρχει στο σήμα εξόδου. Ο συνυπολογισμός όλων των συχνοτήτων εκτός της συχνότητας του σήματος ελέγχου είναι ιδιαίτερα σημαντικός για ψηφιακά σήματα καθώς οι αναλογικοψηφιακοί μετατροπείς συχνά δημιουργούν ημιτονικές συνιστώσες εντός του εύρους ζώνης λόγω φασματικής αναδίπλωσης (aliasing) και συνεπακόλουθα οι συχνότητες τους δεν είναι αναγκαστικά ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας του σήματος ελέγχου. Επιπλέον, η μέτρηση THD+N είναι ευκολότερο να πραγματοποιηθεί καθώς το μόνο που απαιτείται είναι η αφαίρεση του σήματος ελέγχου από την έξοδο και όχι ακριβής φασματική ανάλυση.

Η μέτρηση THD+N μπορεί να εκφραστεί είτε σε dB σχετικά με την πλήρη κλίμακα, είτε %. Η αριθμητική σχέση μεταξύ των 2 εκφράσεων δίνεται στην πιο κάτω εξίσωση:

$$xdB = 20 \cdot \log \frac{x\%}{100}$$

Η συνολική αρμονική παραμόρφωση και θόρυβος μετρήθηκε με ένα σήμα ελέγχου συχνότητας 997 Hz με πλάτος που μεταβαλλόταν μεταξύ -60 dB FS και -3 dB FS. Για τους λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 6.2, ο πλήρης διαύλος (εκπομπής/λήψης) μπορεί να ελεγχθεί με μιας και εφόσον το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό, οι ανεξάρτητες μετρήσεις για την εκπομπή και λήψη δεν είναι απαραίτητες.

6.3.1 Μέτρηση του πλήρους διαύλου (εκπομπής/λήψης) – AP.4

Τα απαραίτητα βήματα για την εκτέλεση της μέτρησης ήταν:

- Σύνδεση της γεννήτριας συχνοτήτων στους ακροδέκτες λήψης της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Σύνδεση του παλμογράφου στους ακροδέκτες εκπομπής της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Παραμετροποίηση της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου ώστε να υλοποιεί ανατροφοδότηση
- Δημιουργία των κατάλληλων σημάτων εισόδου με χρήση της γεννήτριας
- Καταγραφή της εξόδου της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου για κάθε πλάτος εισόδου ξεχωριστά στον παλμογράφο
- Μεταφορά των δεδομένων στον υπολογιστή
- Ζωνοκοπτικό φιλτράρισμα για την αφαίρεση του σήματος ελέγχου
- Υπολογισμό της ισχύος του σήματος εξόδου της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου που απομένει
- Σύγκριση της ισχύος αυτής με την ισχύ πλήρους κλίμακος

6.3.2 Μέτρηση της λήψης – AP.5

Τα απαραίτητα βήματα για την εκτέλεση της μέτρησης ήταν:

- Σύνδεση της γεννήτριας συχνοτήτων στους ακροδέκτες λήψης της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Δημιουργία των κατάλληλων σημάτων εισόδου με χρήση της γεννήτριας
- Καταγραφή της εξόδου του ADC της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου για κάθε πλάτος εισόδου ξεχωριστά στον υπολογιστή
- Ζωνοκοπτικό φιλτράρισμα για την αφαίρεση του σήματος ελέγχου από την έξοδο του ADC
- Υπολογισμό της ισχύος του σήματος εξόδου του ADC της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου που απομένει
- Σύγκριση της ισχύος αυτής με την ισχύ πλήρους κλίμακος

6.3.3 Μέτρηση της εκπομπής – AP.6

Τα απαραίτητα βήματα για την εκτέλεση της μέτρησης ήταν:

- Σύνδεση του παλμογράφου στους ακροδέκτες εκπομπής της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Παραμετροποίηση της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου ώστε να δημιουργήσει τα κατάλληλα σήματα εισόδου με χρήση της ψηφιακής γεννήτριας τόνων
- Καταγραφή της εξόδου της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου για κάθε πλάτος εισόδου ξεχωριστά στον παλμογράφο
- Μεταφορά των δεδομένων στον υπολογιστή
- Ζωνοκοπτικό φιλτράρισμα για την αφαίρεση του σήματος ελέγχου από την έξοδο της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου
- Υπολογισμό της ισχύος του σήματος εξόδου της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου που απομένει
- Σύγκριση της ισχύος αυτής με την ισχύ πλήρους κλίμακος

6.4 Μετρήσεις θορύβου υποβάθρου (δυναμικού εύρους)

Το δυναμικό εύρος ορίζεται ως ο λόγος του πλάτους του σήματος πλήρους κλίμακας ως προς το πλάτος RMS του θορύβου υποβάθρου, εκπεφρασμένο σε dB FS. Η συγκεκριμένη παράμετρος αναφέρεται συχνά ως σηματοθορυβικός λόγος (Signal-to-Noise Ratio – SNR) παρόντος σήματος εισόδου. Το δυναμικό εύρος μετρήθηκε με τον ίδιο τρόπο που μετριέται η παράμετρος THD+N αλλά χρησιμοποιώντας ένα ημιτονικό σήμα εισόδου πλάτους -60 dB FS. Το σήμα αυτό έχει αρκετά μικρό πλάτος ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα πιθανά μη γραμμικά φαινόμενα αλλά αρκετά μεγάλο ώστε να διεγερθεί το υπό μέτρηση σύστημα.

6.4.1 Μέτρηση του πλήρους διαύλου (εκπομπής/λήψης) – AP.7

Η μέτρηση αυτή εκτελέστηκε σύμφωνα με την παράγραφο 6.3.1, με χρήση σήματος ελέγχου πλάτους -60 dB FS.

6.4.2 Μέτρηση της λήψης – AP.8

Η μέτρηση αυτή εκτελέστηκε σύμφωνα με την παράγραφο 6.3.2, με χρήση σήματος ελέγχου πλάτους -60 dB FS.

6.4.3 Μέτρηση της εκπομπής – AP.9

Η μέτρηση αυτή εκτελέστηκε σύμφωνα με την παράγραφο 6.3.3, με χρήση σήματος ελέγχου πλάτους -60 dB FS.

6.5 Μετρήσεις διαφωνίας

Η διαφωνία είναι η διαρροή ενός σήματος φωνής από μία θύρα ήχου της διεπαφής σε μία άλλη. 4 διαφορετικές μορφές διαφωνίας μπορούν να εμφανιστούν ανάμεσα σε όλες τις διαθέσιμες εισόδους και εξόδους:

- Διαφωνία μεταξύ εισόδου και εξόδου
- Διαφωνία μεταξύ εισόδου και εισόδου
- Διαφωνία μεταξύ εξόδου και εισόδου
- Διαφωνία μεταξύ εξόδου και εξόδου

Η τεχνική μέτρησης της διαφωνίας είναι ίδια, ανεξάρτητα του είδους της. Για να μειωθεί ο αριθμός των μετρήσεων, μετρήθηκαν μόνον γεωμετρικά γειτονικές θύρες ήχου (θύρες ήχου των διεπαφών 1 και 2, 2 και 3, 3 και 4).

Η διαφωνία μετρήθηκε με ένα λογαριθμικό πλέγμα συχνοτήτων ανάμεσα στα 300 Hz και τα 3.4 kHz που περιείχε την συχνότητα του 1 kHz (997 Hz). Το πλάτος όλων των σημάτων ελέγχου ήταν ίσο με -20 dB FS και η διαφωνία εκφράστηκε ως ο λόγος του πλάτους της διαφωνίας ως προς το πλάτος σήματος πλήρους κλίμακας για κάθε συχνότητα.

6.5.1 Μέτρηση διαφωνίας μεταξύ εισόδου και εισόδου – AP.10

Τα απαραίτητα βήματα για την εκτέλεση της μέτρησης ήταν:

- Σύνδεση της γεννήτριας συχνοτήτων στους ακροδέκτες λήψης της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 1
- Τερματισμός των εισόδων όλων των υπολοίπων θυρών ήχου ως προς τη γη με μία αντίσταση 50 Ohms
- Τροφοδοσία της εισόδου των DAC όλων των υπολοίπων θυρών ήχου με μηδενικά ψηφιακά σήματα

- Δημιουργία των κατάλληλων σημάτων εισόδου με χρήση της γεννήτριας στη θύρα ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 1
- Καταγραφή της εξόδου του ADC της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 2 για κάθε πλάτος και συχνότητα εισόδου ξεχωριστά στον υπολογιστή
- Ανάλυση FFT της καταγραφής
- Μέτρηση της ισχύος στη συχνότητα του σήματος ελέγχου και υπολογισμός του λόγου αυτής ως προς την ισχύ σήματος πλήρους κλίμακας

6.5.2 Μέτρηση διαφωνίας μεταξύ εισόδου και εξόδου – AP.11

Τα απαραίτητα βήματα για την εκτέλεση της μέτρησης ήταν:

- Σύνδεση της γεννήτριας συχνοτήτων στους ακροδέκτες λήψης της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 1
- Σύνδεση του παλμογράφου στους ακροδέκτες εκπομπής της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 2
- Τερματισμός των εισόδων όλων των υπολοίπων θυρών ήχου ως προς τη γη με μία αντίσταση 50 Ohms
- Τροφοδοσία της εισόδου των DAC όλων των θυρών ήχου ασυρμάτου με μηδενικά ψηφιακά σήματα
- Δημιουργία των κατάλληλων σημάτων εισόδου με χρήση της γεννήτριας στη θύρα ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 1
- Καταγραφή της εξόδου της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 2 για κάθε πλάτος και συχνότητα εισόδου ξεχωριστά στον παλμογράφο
- Μεταφορά των δεδομένων στον υπολογιστή
- Ανάλυση FFT της καταγραφής
- Μέτρηση της ισχύος στη συχνότητα του σήματος ελέγχου και υπολογισμός του λόγου αυτής ως προς την ισχύ σήματος πλήρους κλίμακας

6.5.3 Μέτρηση διαφωνίας μεταξύ εξόδου και εξόδου – AP.12

Τα απαραίτητα βήματα για την εκτέλεση της μέτρησης ήταν:

- Παραμετροποίηση της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 1 ώστε να δημιουργήσει τα κατάλληλα σήματα εισόδου με χρήση της ψηφιακής γεννήτριας τόνων
- Σύνδεση του παλμογράφου στους ακροδέκτες εκπομπής της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 2
- Τερματισμός των εισόδων όλων των υπολοίπων θυρών ήχου ως προς τη γη με μία αντίσταση 50 Ohms
- Τροφοδοσία της εισόδου των DAC όλων των υπολοίπων θυρών ήχου με μηδενικά ψηφιακά σήματα
- Καταγραφή της εξόδου της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 2 για κάθε πλάτος και συχνότητα εισόδου ξεχωριστά στον παλμογράφο
- Μεταφορά των δεδομένων στον υπολογιστή
- Ανάλυση FFT της καταγραφής
- Μέτρηση της ισχύος στη συχνότητα του σήματος ελέγχου και υπολογισμός του λόγου αυτής ως προς την ισχύ σήματος πλήρους κλίμακας

6.5.4 Μέτρηση διαφωνίας μεταξύ εξόδου και εισόδου – AP.12

Τα απαραίτητα βήματα για την εκτέλεση της μέτρησης ήταν:

- Παραμετροποίηση της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 1 ώστε να δημιουργήσει τα κατάλληλα σήματα εισόδου με χρήση της ψηφιακής γεννήτριας τόνων
- Καταγραφή της εξόδου του ADC της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου 2 για κάθε πλάτος και συχνότητα εισόδου ξεχωριστά στον υπολογιστή

- Τερματισμός των εισόδων όλων των υπολοίπων θυρών ήχου ως προς τη γη με μία αντίσταση 50 Ohms
- Τροφοδοσία της εισόδου των DAC όλων των υπολοίπων θυρών ήχου με μηδενικά ψηφιακά σήματα
- Ανάλυση FFT της καταγραφής
- Μέτρηση της ισχύος στη συχνότητα του σήματος ελέγχου και υπολογισμός του λόγου αυτής ως προς την ισχύ σήματος πλήρους κλίμακας

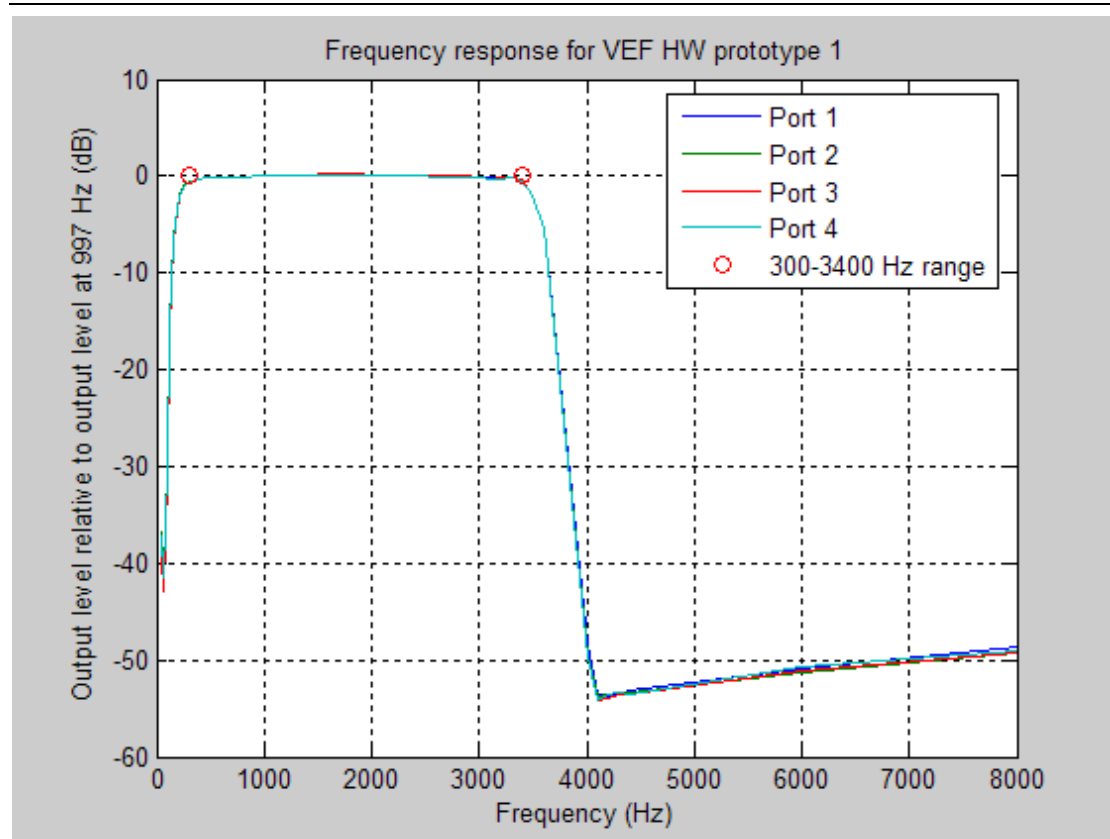
6.6 Αποτελέσματα μετρήσεων επίδοσης θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου

Στις προηγούμενες παραγράφους περιγράφηκαν με ακρίβεια οι μετρήσεις που απαιτήθηκαν για την ποσοτικοποίηση της επίδοσης της θύρας ήχου της διεπαφής ασυρμάτου. Οι πιο κάτω παράγραφοι συνοψίζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών σε σχέση με:

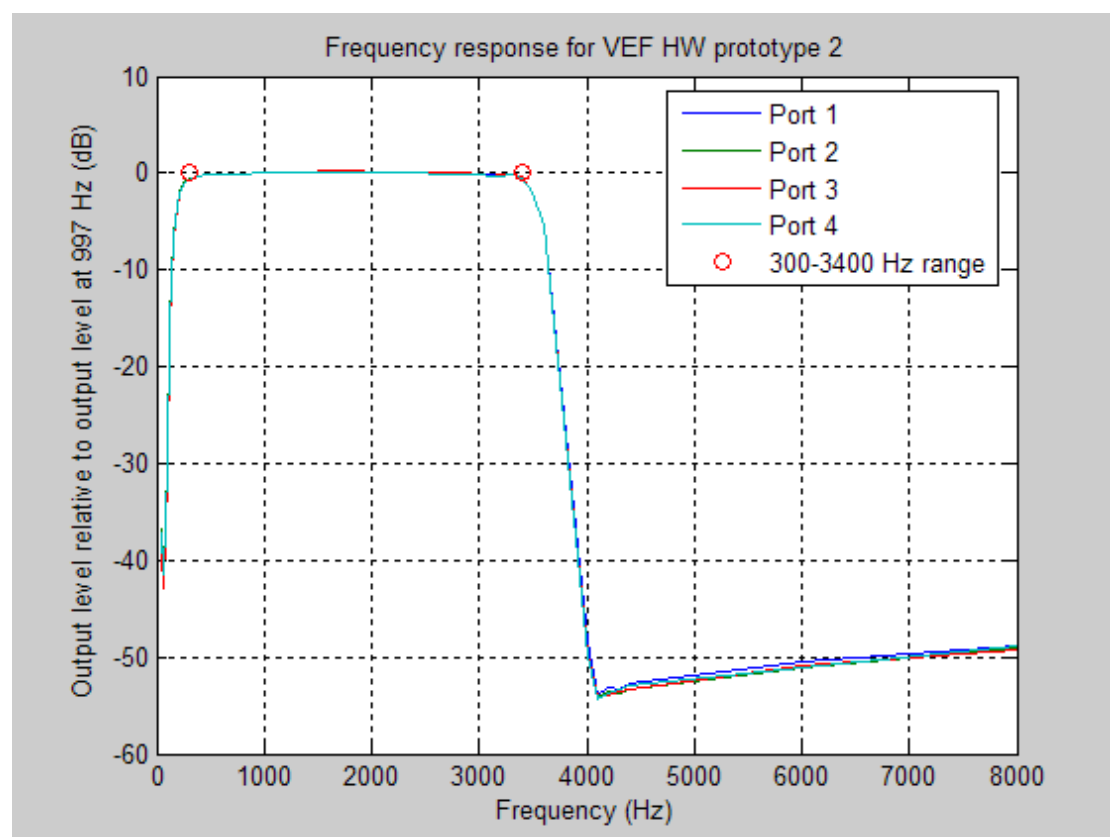
- Την απόκριση συχνότητας
- Την συνολική παραμόρφωση και θόρυβο
- Τον θόρυβο υποβάθρου
- Την διαφωνία μεταξύ θυρών

6.6.1 Αποτελέσματα μετρήσεων απόκρισης συχνότητας (AP.1)

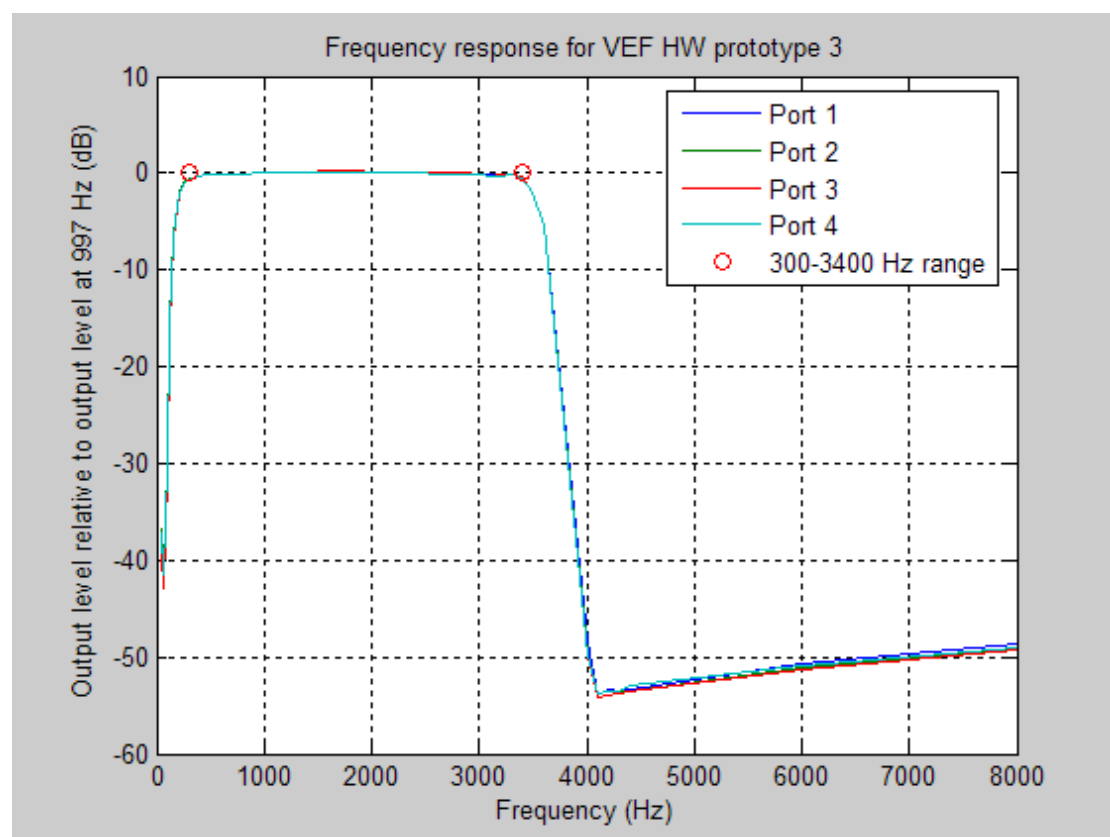
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων απόκρισης συχνότητας φαίνονται στα πιο κάτω γραφήματα. Κάθε γράφημα παρουσιάζει τις μετρήσεις όλων των θυρών ήχου για ένα πρωτότυπο. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται στην παράγραφο 6.2 και αφορά στη μέτρηση πλήρους διαύλου (εκπομπής/λήψης). Οι συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις ήταν 55, 72, 94, 122, 158, 206, 268, 349, 453, 589, 766, 997, 1296, 1684, 2190, 2847, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 6000 και 8000 Hz. Το πλάτος όλων των σημάτων εισόδου ήταν ίσο με -20 dB FS.



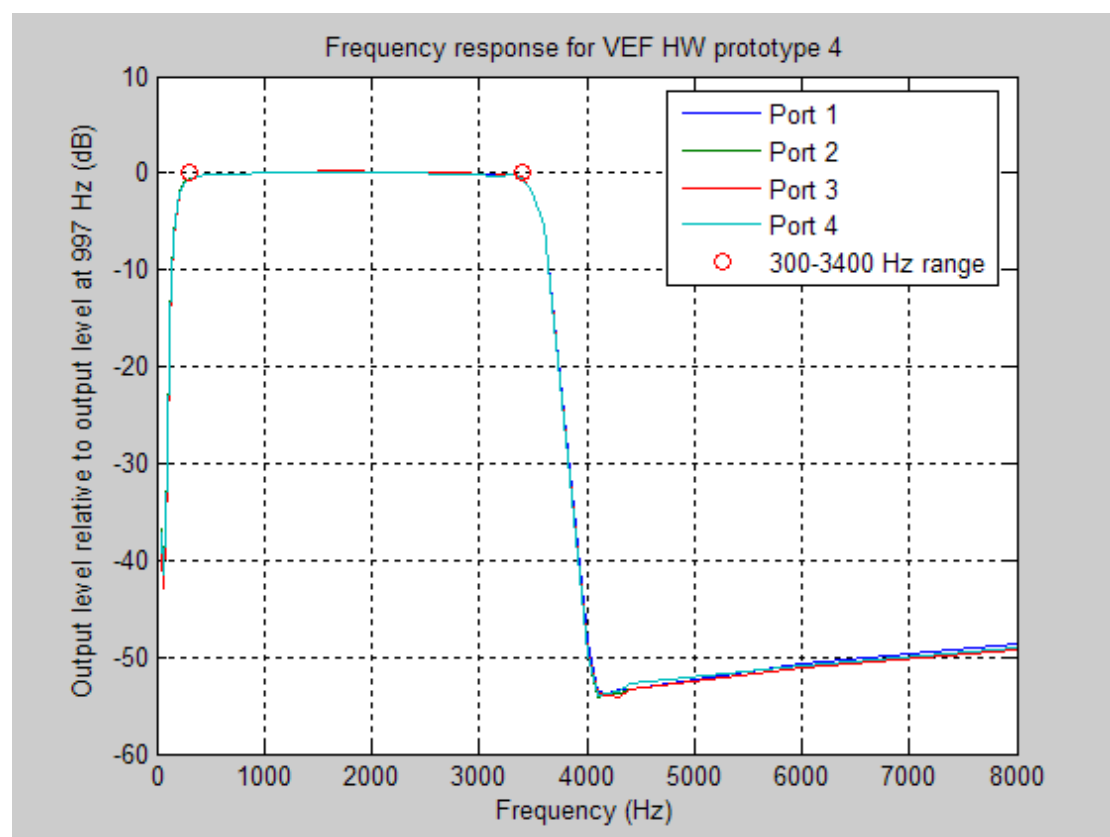
Γράφημα 6. Απόκριση συχνότητας των θυρών ήχου του πρωτότυπου #1



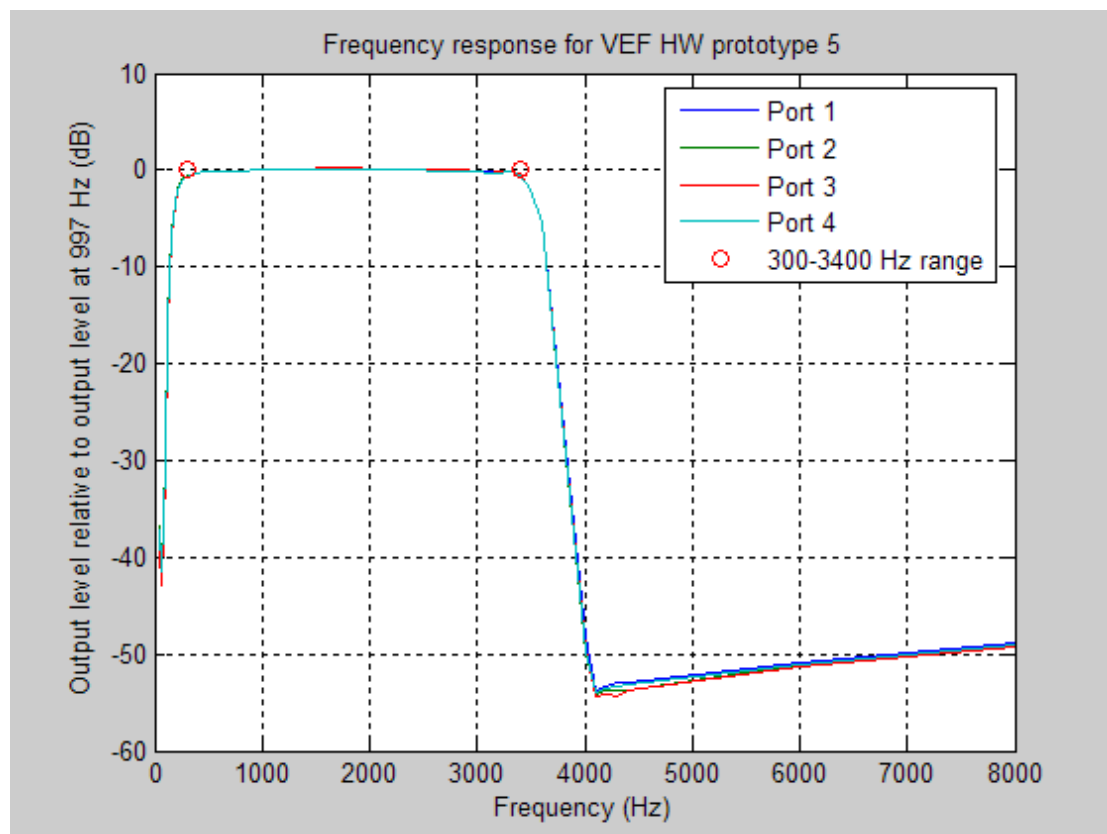
Γράφημα 7. Απόκριση συχνότητας των θυρών ήχου του πρωτότυπου #2



Γράφημα 8. Απόκριση συχνότητας των θυρών ήχου του πρωτότυπου #3



Γράφημα 9. Απόκριση συχνότητας των θυρών ήχου του πρωτότυπου #4

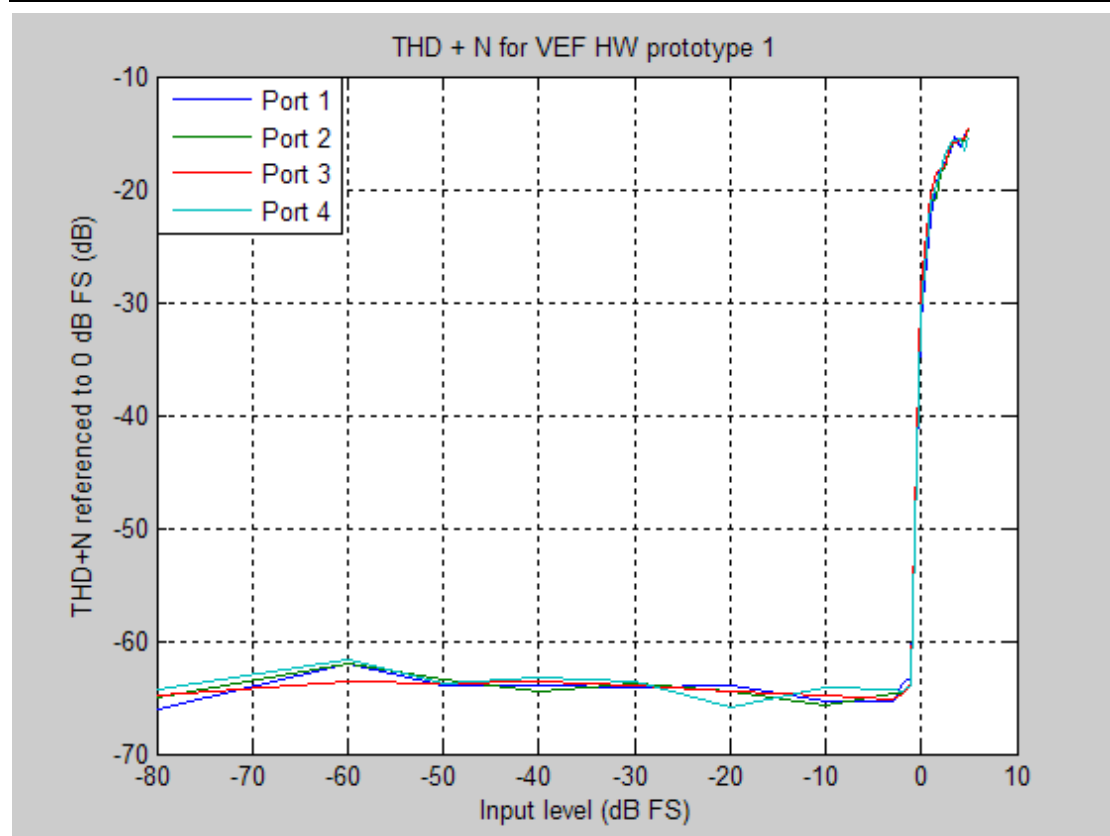


Γράφημα 10. Απόκριση συχνότητας των θυρών ήχου του πρωτότυπου #5

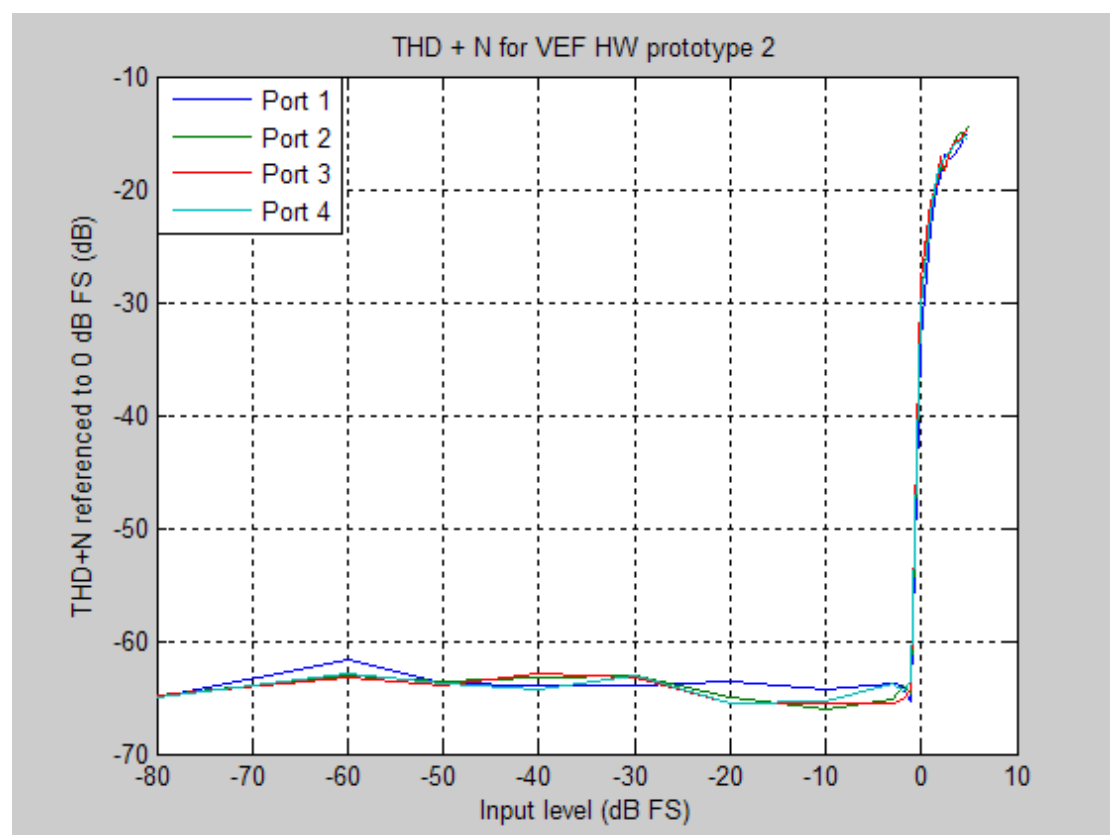
Είναι προφανές πως η απαίτηση για απόκριση συχνότητας 300-3400 Hz καλύπτεται με διακύμανση πλάτους (ripple) μικρότερη από 3 dB για όλες τις θύρες ήχου όλων των πρωτότυπων. Επιπλέον, η εκτός ζώνης απόκριση έχει κορυφή στα -48 dB, από την οποία θα πρέπει να αφαιρεθούν 20 dB, καθώς αναφέρονται σε σήμα εισόδου ίσο με -20 dB FS και όχι πλήρους κλίμακας, κάτι που οδηγεί σε εκτός ζώνης αποκοπή ίση με 68 dB. Καθώς οι απαιτήσεις στην απόκριση συχνότητας καλύπτονται για τον πλήρη διάυλο, δεν υπάρχει ανάγκη για ανεξάρτητες μετρήσεις εκπομπής και λήψης.

6.6.2 Αποτελέσματα μετρήσεων THD + N (AP.4)

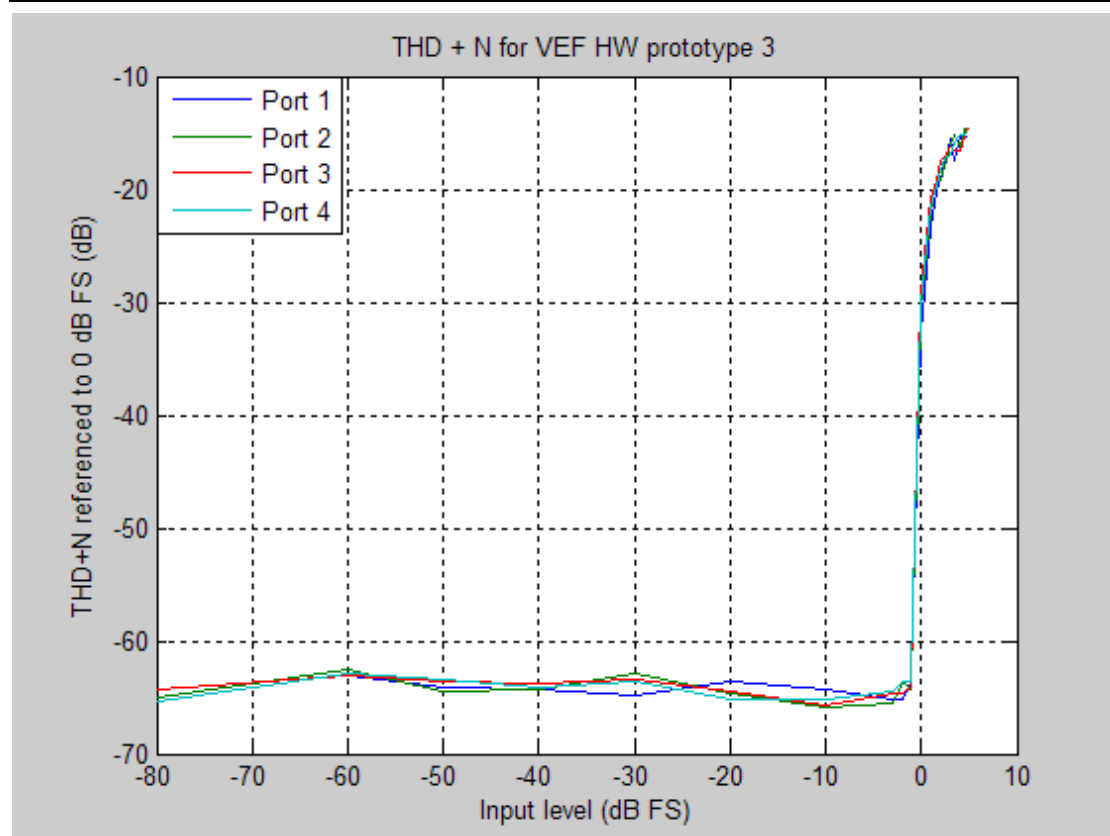
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων THD + N φαίνονται στα πιο κάτω γραφήματα. Κάθε γράφημα παρουσιάζει τις μετρήσεις όλων των θυρών ήχου για ένα πρωτότυπο. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται στην παράγραφο 6.3 και αφορά στη μέτρηση πλήρους διαύλου (εκπομπής/λήψης). Η συχνότητα όλων των σημάτων ελέγχου ήταν ίση με 997 Hz. Τα πλάτη των σημάτων εισόδου ήταν ίσα με -80, -60, -50, -40, -30, -20, -10, -3, -2, -1, 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 dB FS.



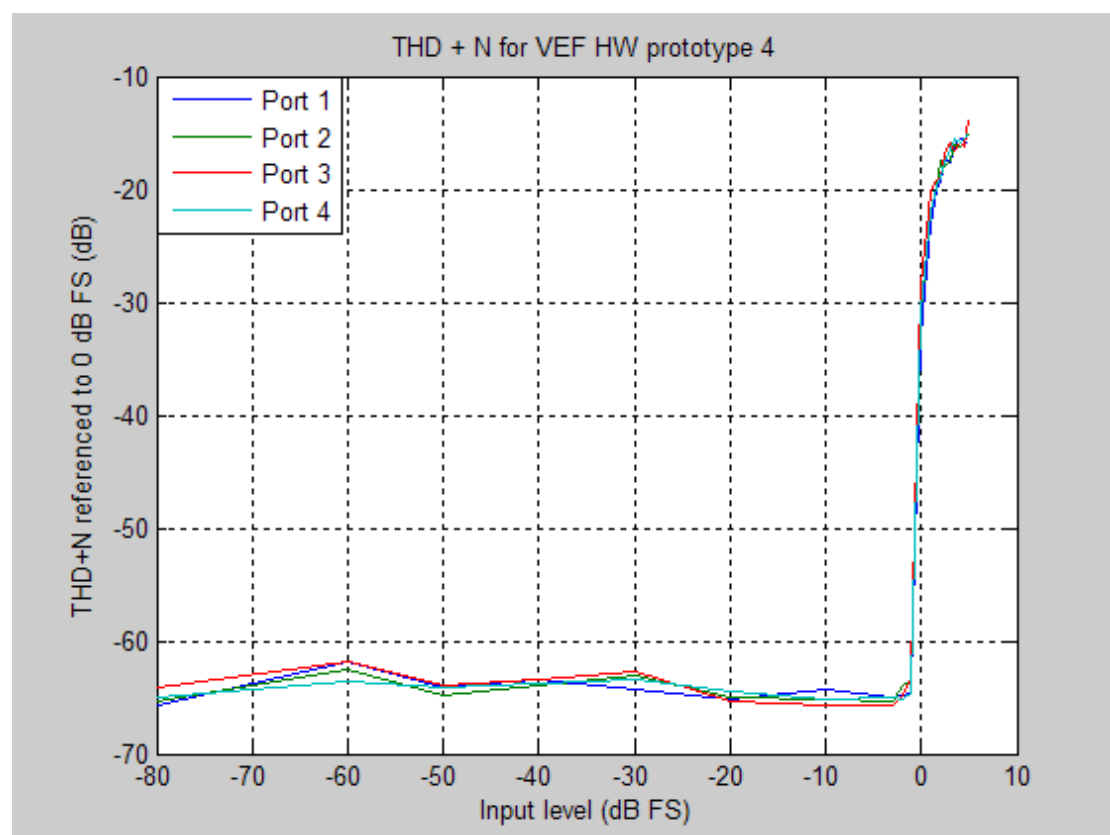
Γράφημα 11. THD + N των θυρών ήχου του πρωτότυπου #1



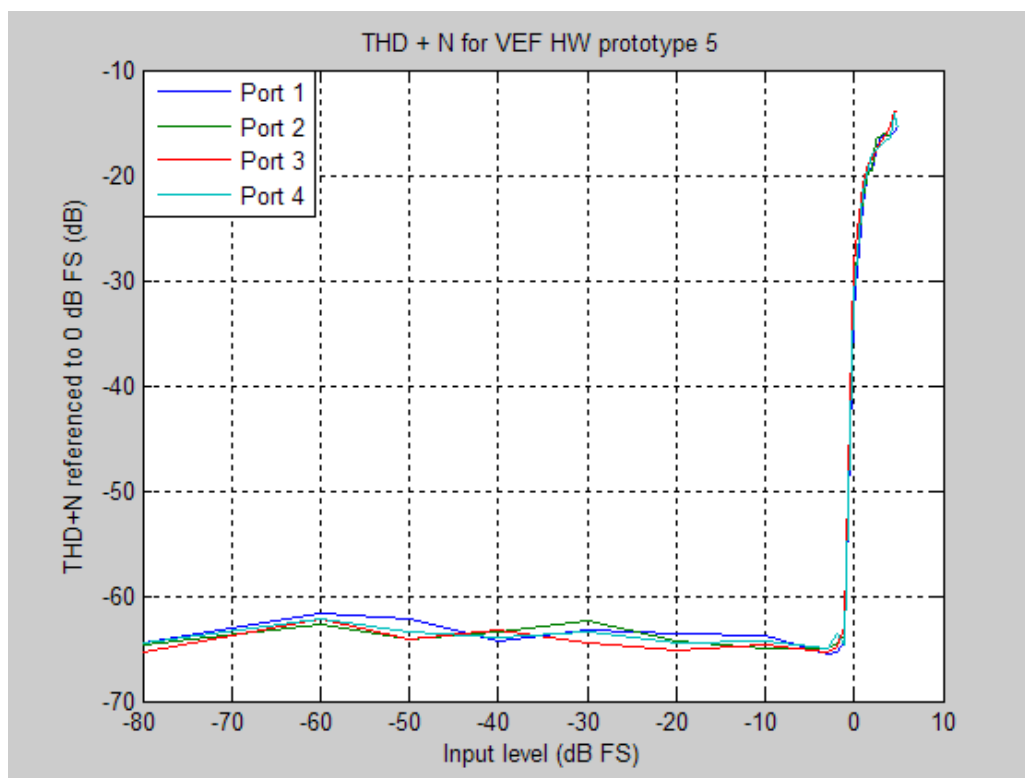
Γράφημα 12. THD + N των θυρών ήχου του πρωτότυπου #2



Γράφημα 13. THD + N των θυρών ήχου του πρωτότυπου #3



Γράφημα 14. THD + N των θυρών ήχου του πρωτότυπου #4



Γράφημα 15. THD + N των θυρών ήχου του πρωτότυπου #5

Είναι προφανές από τα πιο πάνω γραφήματα πως το μέγεθος THD + N παραμένει μικρότερο από -40 dB (τυπική τιμή για εξοπλισμό αεροναυτιλίας) για όλες τις θύρες ήχου όλων των πρωτότυπων για πλάτη εισόδου μέχρι και -3 dB FS, που έχουν πλάτος περίπου 7 dB μεγαλύτερο από τον τόνο πλάτους 0 dBm. Καθώς η επίδοση αυτή κρίνεται ικανοποιητική για τον πλήρη διάυλο, δεν υπήρξε ανάγκη για ανεξάρτητες μετρήσεις εκπομπής και λήψης.

6.6.3 Αποτελέσματα μετρήσεων θορύβου υποβάθρου/δυναμικού εύρους (AP.7)

Οι μετρήσεις θορύβου υποβάθρου είναι στην ουσία μετρήσεις THD + N με πλάτος σήματος εισόδου ίσο με -60 dB FS και συχνότητα ίση με 997 Hz σύμφωνα με την παράγραφο 6.4. Ο θόρυβος που καταγράφηκε σταθμίστηκε ψοφομετρικά κατά το πρότυπο O.41 της ITU-T (βλέπε Αναφορά 59). Ο μεγαλύτερος θόρυβος που καταγράφηκε για όλες τις θύρες ήχου όλων των πρωτότυπων ήταν ίσος με -57.12 dBm0p.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως η μέτρηση που έγινε συμπεριλαμβάνει τόσο την εκπομπή όσο και τη λήψη, οπότε, θεωρώντας διαμοιρασμό του θορύβου σε ίσα μέρη μεταξύ εκπομπής και λήψης, ο θόρυβος υποβάθρου κάθε πλευράς μπορεί να θεωρηθεί ίσος με -60 dBm0p με αφαίρεση 3 dB ισχύος από την αρχική τιμή.

6.6.4 Αποτελέσματα μετρήσεων διαφωνίας (AP.10-13)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων AP.10-16 αποκάλυψαν πως η διαφωνία εισόδου-εισόδου, εισόδου-εξόδου, εξόδου-εισόδου και εξόδου-εξόδου παρέμεινε κάτω από τη μετρούμενη τιμή THD + N της παραγράφου 6.6.2 με σήμα εισόδου πλάτους έως -80 dB FS και για τον λόγο αυτό ήταν αδύνατον να μετρηθεί. Με δεδομένο πως η χειρότερη τιμή THD + N που μετρήθηκε ήταν ίση με -62 dB, η διαφωνία μπορεί να θεωρηθεί χαμηλότερη από τον αριθμό αυτό.

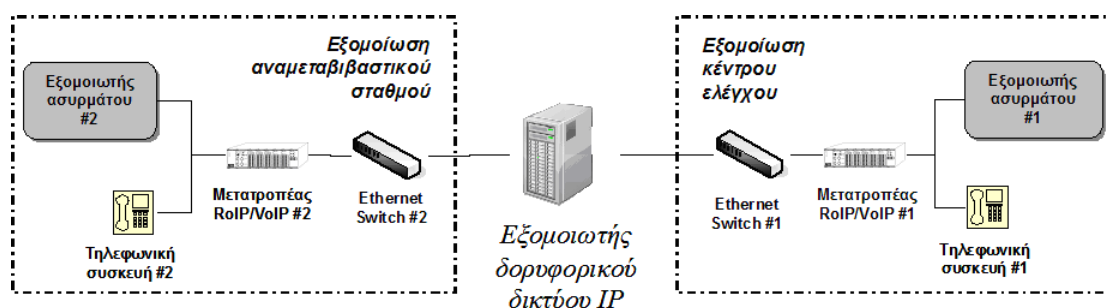
7 Λειτουργικός έλεγχος της υπηρεσίας φωνής

Αφού ολοκληρώθηκε ο έλεγχος του υλικού, καταρτίστηκε και εκτελέστηκε ένα πλάνο ελέγχου της σωστής λειτουργικότητας της υπηρεσίας φωνής από άκρο-σε-άκρο το οποίο περιγράφεται στις ακόλουθες παραγράφους. Το πλάνο αυτό αφορά τόσο τις κλήσεις ασυρμάτου όσο και τις τηλεφωνικές κλήσεις.

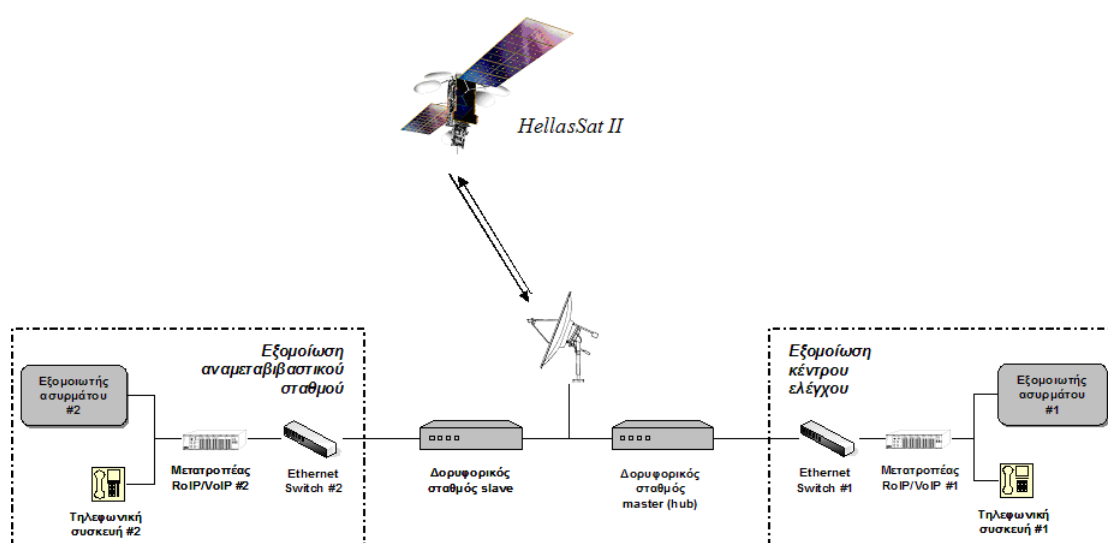
7.1 Διατάξεις ελέγχου

Οι έλεγχοι εκτελέστηκαν πρώτα σε περιβάλλον τοπικού δικτύου με έναν εξομοιωτή δικτυακών συνθηκών αντί του πραγματικού δορυφορικού κυκλώματος. Κατόπιν, οι ίδιοι έλεγχοι εκτελέστηκαν σε πραγματικό περιβάλλον.

Οι δύο διατάξεις ελέγχου παρουσιάζονται στα πιο κάτω σχήματα. Αξίζει να σημειωθεί πως ο εξομοιωτής δικτυακών συνθηκών παραμετροποιήθηκε ούτως ώστε να εξομοιώνει μία καθυστέρηση ίση με 250 ms και μία διακύμανση καθυστέρησης ίση με 30 ms από κορυφή σε κορυφή για κάθε κατεύθυνση μετάδοσης (συνθήκες αντιπροσωπευτικές της πραγματικότητας). Ακόμη, για να είναι εφικτές οι απαιτούμενες μετρήσεις σε πραγματικό περιβάλλον λειτουργίας, έπρεπε τα δύο άκρα του επικοινωνιακού διαύλου να βρίσκονται στο ίδιο γεωγραφικό σημείο.

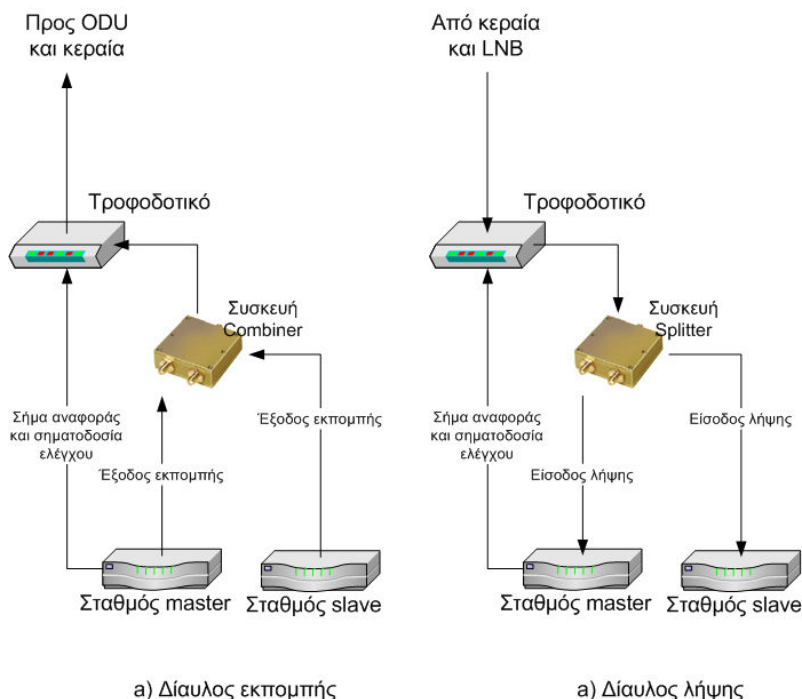


Σχήμα 72. Λειτουργικός έλεγχος της υπηρεσίας φωνής από άκρη σε άκρη με χρήση εξομοιωτή δικτύου



Σχήμα 73. Λειτουργικός έλεγχος της υπηρεσίας φωνής από άκρη σε άκρη με χρήση του πραγματικού δορυφορικού κυκλώματος

Για να επιτευχθεί η επιθυμητή συνεύρεση των 2 άκρων του τηλεπικοινωνιακού διαύλου στο ίδιο σημείο όταν το σύστημα ελέγχθηκε σε πραγματικές συνθήκες (βλέπε Σχήμα 73), χρησιμοποιήθηκε η διάταξη που φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 74. Διάγραμμα συνδεσμολογίας των 2 δορυφορικών modems που επιτρέπει τον έλεγχο στο ίδιο σημείο

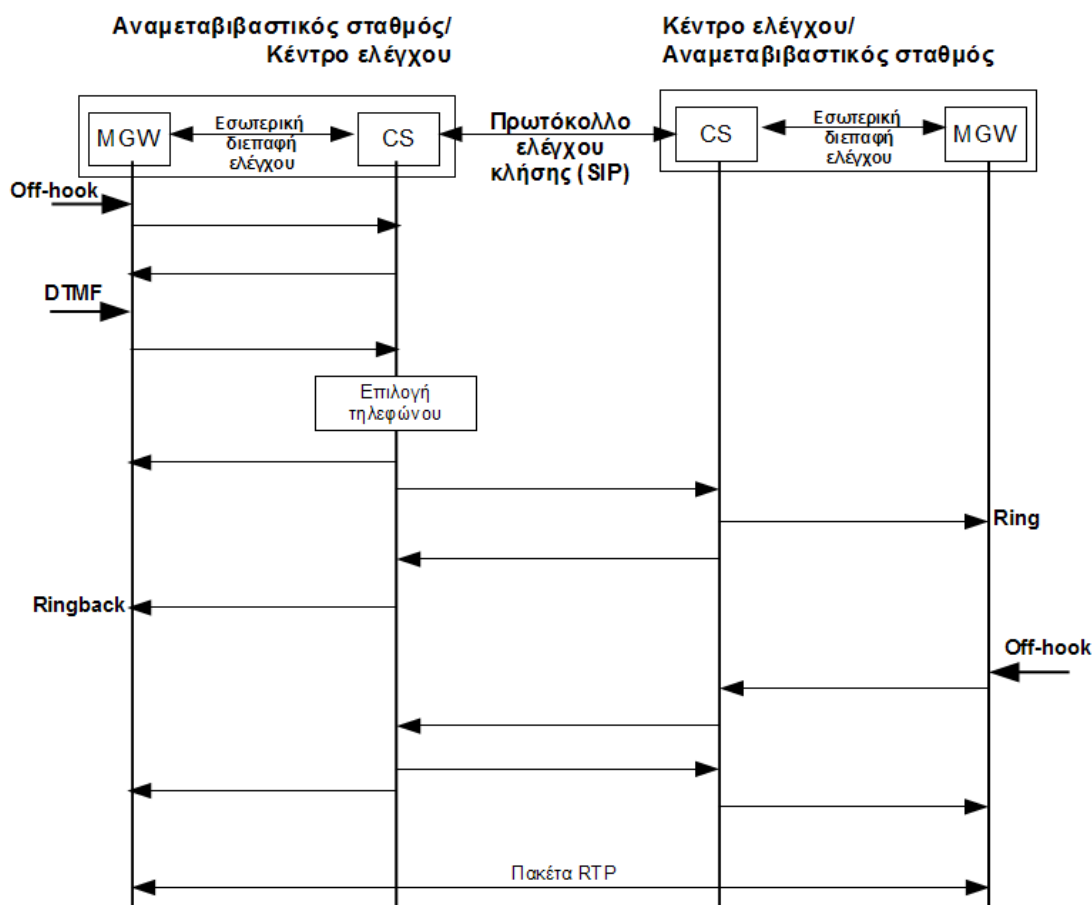
Οι δίαυλοι εκπομπής και λήψης των 2 modems (master – hub – και slave) συνδέθηκαν στην ίδια δορυφορική κεραία, ODU και LNB με χρήση διαμοιραστών/συνδυαστών (συσκευές splitter/combiner) στην ενδιάμεση συχνότητα. Όλοι οι αντίστοιχοι έλεγχοι που αναφέρονται στην παρούσα παράγραφο και στη συνέχεια της παρούσας εργασίας εκτελέστηκαν στο Κέντρο Ελέγχου Περιοχής Αθηνών (ΚΕΠΑΘ – βλέπε παράγραφο 5.1), προτού το σύστημα εγκατασταθεί στο ελικοδρόμιο της Πάτμου. Η προσέγγιση αυτή βοήθησε στην αύξηση της εμπιστοσύνης ότι το σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις παραμέτρους σχεδιασμού του προτού μπει σε επιχειρησιακή εκμετάλλευση.

7.2 Στρατηγική ελέγχου

Ο σκοπός του πλάνου ελέγχων είναι η επιβεβαίωση της σωστής συμπεριφοράς σε ότι αφορά την εγκατάσταση κλήσης για μία πλειάδα συνθηκών που μπορούν να υπάρξουν κατά την κανονική λειτουργία. Για να θεωρηθεί το αποτέλεσμα ενός ελέγχου ως σωστό, έπρεπε η ακολουθία των γεγονότων να είναι ακριβώς αυτή που παρουσιάζεται στην αντίστοιχη παράγραφο.

7.3 Επιτυχής εγκατάσταση τηλεφωνικής κλήσης (Έλεγχος LAN.FT1 & SAT.FT1)

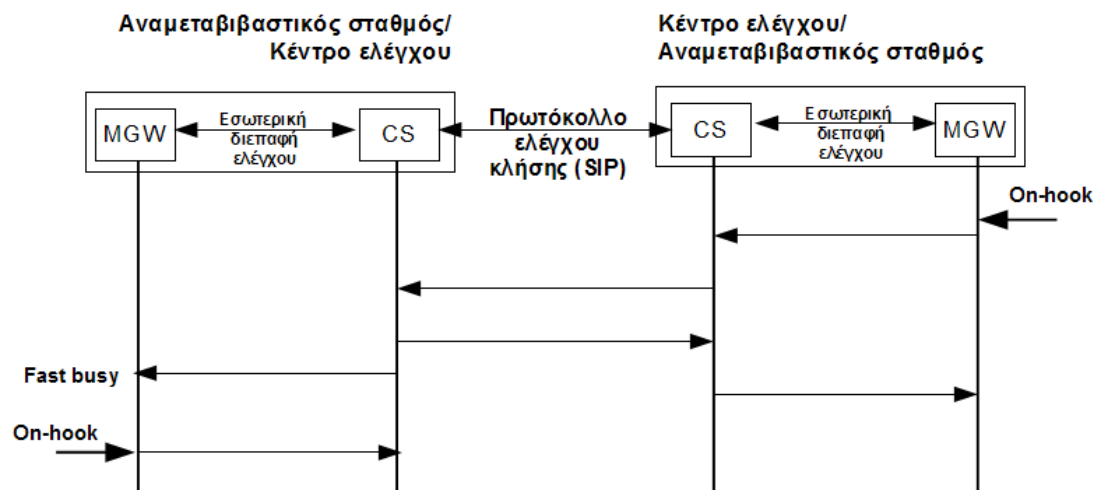
Ο χρήστης στον αναμεταβιβαστικό σταθμό/κέντρο ελέγχου σηκώνει το ακουστικό (κατάσταση off-hook). Η οντότητα λογισμικού CS στην πλευρά του αναμεταβιβαστικού σταθμού/κέντρου ελέγχου ειδοποιείται από την αντίστοιχη οντότητα MG για το γεγονός, οπότε προστάζει τον δεύτερο να αναζητήσει έγκυρη ακολουθία ψηφίων DTMF. Μόλις συμπληρωθεί αυτή, ξεκινά μία διαδικασία εγκατάστασης κλήσης με το αντίστοιχο τηλέφωνο του κέντρου ελέγχου/αναμεταβιβαστικού σταθμού σύμφωνα με τον αριθμό που πληκτρολογήθηκε. Κατόπιν, η οντότητα CS του καλούμενου κέντρου ελέγχου/αναμεταβιβαστικού σταθμού αρχίζει να χτυπάει το επιλεγθέν τηλέφωνο (το θέτει σε κατάσταση ring). Ταυτόχρονα, ο καλών χρήστης ακούει τόνο αναμονής (ringback tone) που του υποδεικνύει πως το τηλέφωνο της άλλης άκρης κτυπά. Μόλις ο χρήστης στο κέντρο ελέγχου/αναμεταβιβαστικό σταθμό σηκώσει το ακουστικό (off-hook), η κλήση εγκαθίσταται, κάτι που σημαίνει πως ξεκινά η ανταλλαγή πακέτων RTP μεταξύ των δύο άκρων. Η σειρά των γεγονότων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 75. Επιτυχής εγκατάσταση τηλεφωνικής κλήσης

7.4 Επιτυχής κατάργηση τηλεφωνικής κλήσης, ασχέτως προέλευσης (Έλεγχοι LAN.FT2 & SAT.FT2)

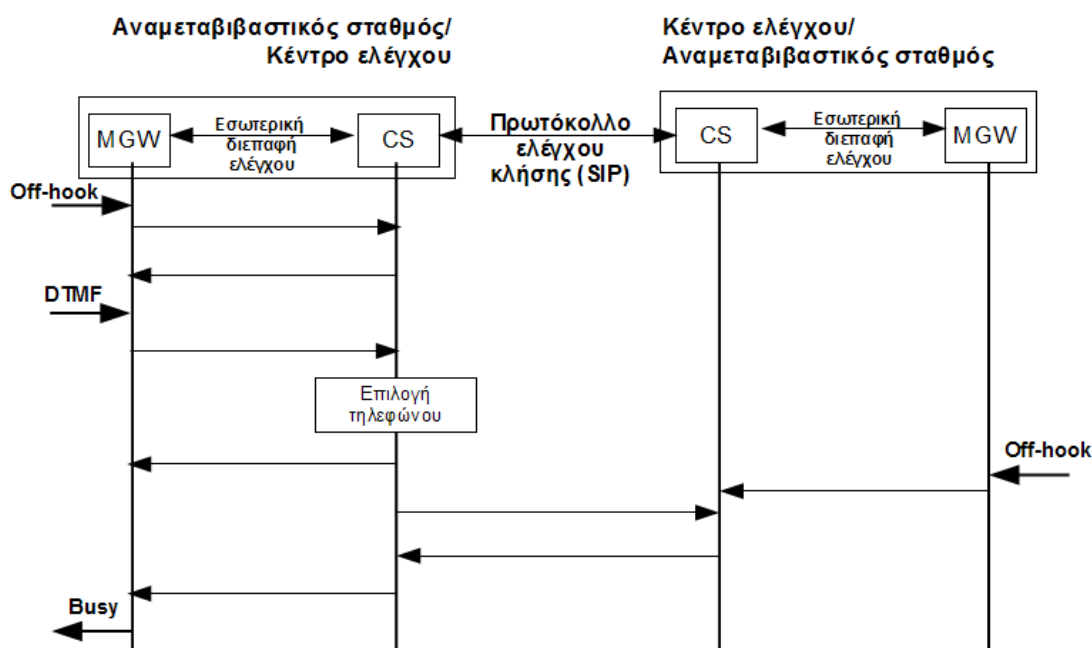
Κάποιο από τα δύο άκρα που συμμετέχουν σε μία τηλεφωνική κλήση (ο χρήστης στο κέντρο ελέγχου ή ο χρήστης στον αναμεταβιβαστικό σταθμό) τοποθετεί το ακουστικό στην συσκευή (θέτουν το τηλέφωνο σε κατάσταση on hook). Η αντίστοιχη οντότητα λογισμικού CS ειδοποιείται για το γεγονός από τον αντίστοιχο MG και εκκινεί μία διαδικασία κατάργησης της κλήσης. Ο χρήστης στο άλλο άκρο λαμβάνει τον αντίστοιχο τόνο (fast busy tone) που τον ειδοποιεί πως η γραμμή έχει κλείσει, ούτως ώστε να κλείσει και αυτός το τηλέφωνο. Η ροή πακέτων RTP διακόπτεται. Η σειρά των γεγονότων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 76. Επιτυχής κατάργηση τηλεφωνικής κλήσης

7.5 Αποτυχημένη εγκατάσταση τηλεφωνικής κλήσης (τηλέφωνο κατειλημμένο, Έλεγχοι LAN.FT3 & SAT.FT3)

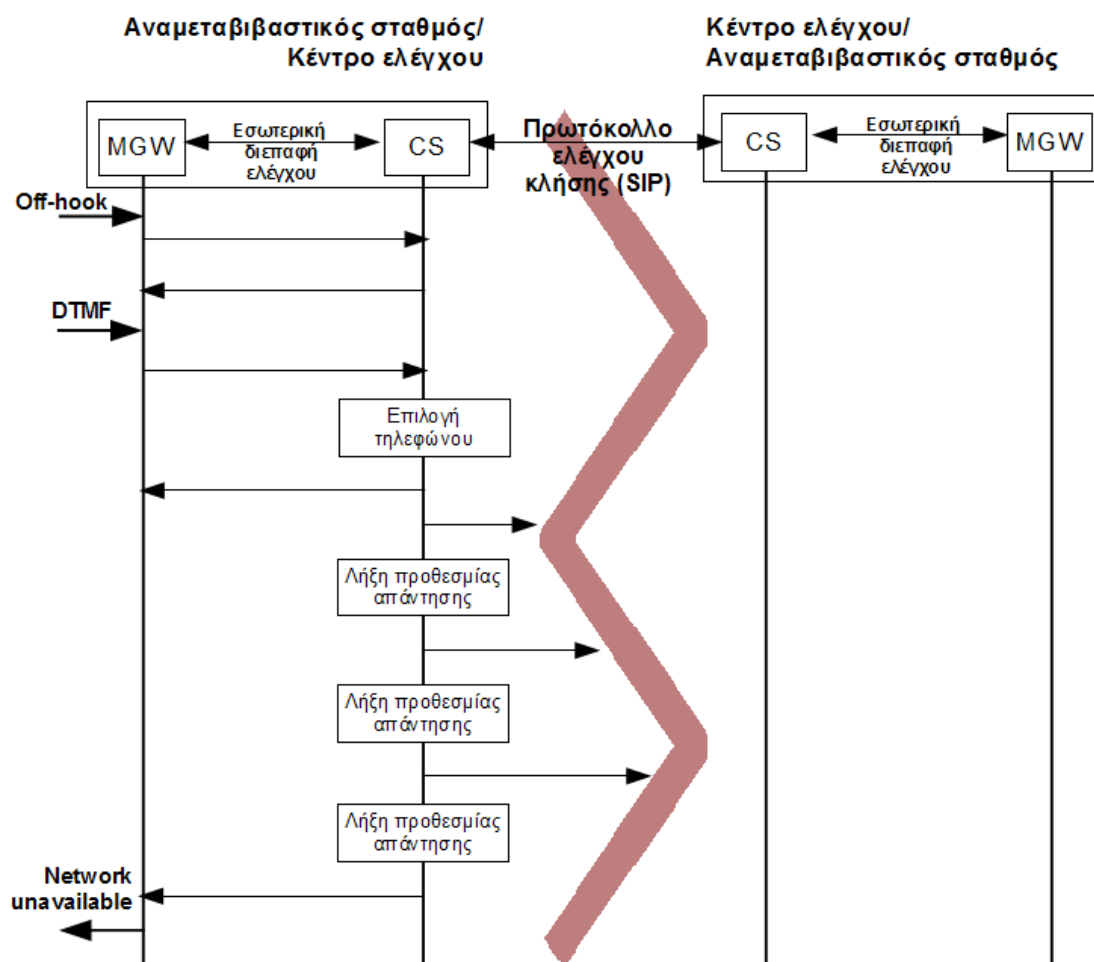
Ο χρήστης στον αναμεταβιβαστικό σταθμό/κέντρο ελέγχου σηκώνει το ακουστικό (κατάσταση off-hook). Η οντότητα λογισμικού CS στην πλευρά του αναμεταβιβαστικού σταθμού/κέντρου ελέγχου ειδοποιείται από την αντίστοιχη οντότητα MG για το γεγονός, οπότε προστάζει τον δεύτερο να αναζητήσει έγκυρη ακολουθία ψηφίων DTMF. Μόλις συμπληρωθεί αυτή, ξεκινά μία διαδικασία εγκατάστασης κλήσης με το αντίστοιχο τηλέφωνο του κέντρου ελέγχου/αναμεταβιβαστικού σταθμού σύμφωνα με τον αριθμό που πληκτρολογήθηκε. Το τηλέφωνο είναι κατειλημμένο (σε κατάσταση off-hook), οπότε ο καλών ακούει τόνο κατειλημμένου (busy tone). Η σειρά των γεγονότων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 77. Αποτυχημένη εγκατάσταση τηλεφωνικής κλήσης (τηλέφωνο κατειλημμένο)

7.6 Αποτυχημένη εγκατάσταση τηλεφωνικής κλήσης (απώλεια δικτύου, Έλεγχοι LAN.FT4 & SAT.FT4)

Ο χρήστης στον αναμεταβιβαστικό σταθμό/κέντρο ελέγχου σηκώνει το ακουστικό (κατάσταση off-hook). Η οντότητα λογισμικού CS στην πλευρά του αναμεταβιβαστικού σταθμού/κέντρου ελέγχου ειδοποιείται από την αντίστοιχη οντότητα MG για το γεγονός, οπότε προστάζει τον δεύτερο να αναζητήσει έγκυρη ακολουθία ψηφίων DTMF. Μόλις συμπληρωθεί αυτή, ξεκινά μία διαδικασία εγκατάστασης κλήσης με το αντίστοιχο τηλέφωνο του κέντρου ελέγχου/αναμεταβιβαστικού σταθμού σύμφωνα με τον αριθμό που πληκτρολογήθηκε. Καθώς δεν υπάρχει διαθέσιμο δίκτυο, η οντότητα λογισμικού CS του καλούντος θα προσπαθήσει να επικοινωνήσει με την καλούμενη οντότητα λογισμικού CS 3 φορές και εφόσον δεν καταστεί δυνατό, παρέχει στον χρήστη ακουστική ένδειξη ότι δεν υπάρχει διαθεσιμότητα δικτύου (network unavailable tone). Η σειρά των γεγονότων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.

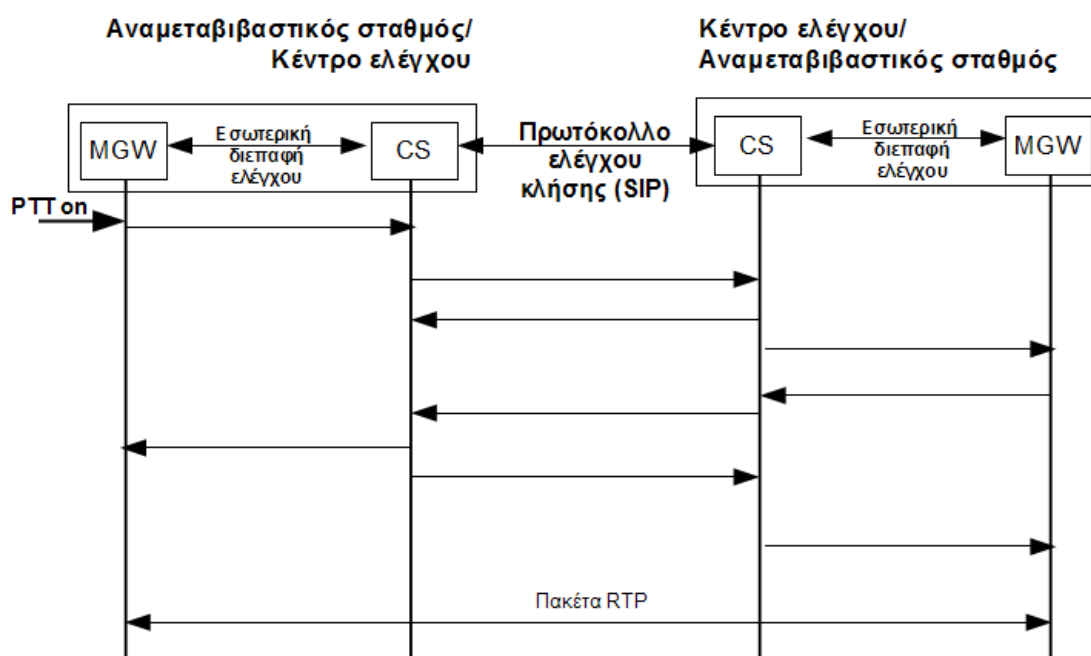


Σχήμα 78. Αποτυχημένη εγκατάσταση τηλεφωνικής κλήσης (απώλεια δικτύου)

7.7 Επιτυχής εγκατάσταση κλήσης ασυρμάτου (Έλεγχος LAN.FT5 & SAT.FT5)

Ο πιλότος του εναερίου μέσου πατάει το πλήκτρο PTT του ασυρμάτου του. Η φωνή του εκπέμπεται προς το έδαφος, όπου ο δέκτης του αναμεταβιβαστικού σταθμού, αντιλαμβανόμενος την εκπομπή, ενεργοποιεί την έξοδο Squelch. Η οντότητα λογισμικού CS στην πλευρά του αναμεταβιβαστικού σταθμού ειδοποιείται από τον αντίστοιχο MG για το γεγονός, και ξεκινά μία διαδικασία εγκατάστασης κλήσης με το Κέντρο Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας. Η οντότητα λογισμικού CS του Κέντρου Ελέγχου αποδέχεται την κλήση και αρχίζει η ροή πακέτων RTP.

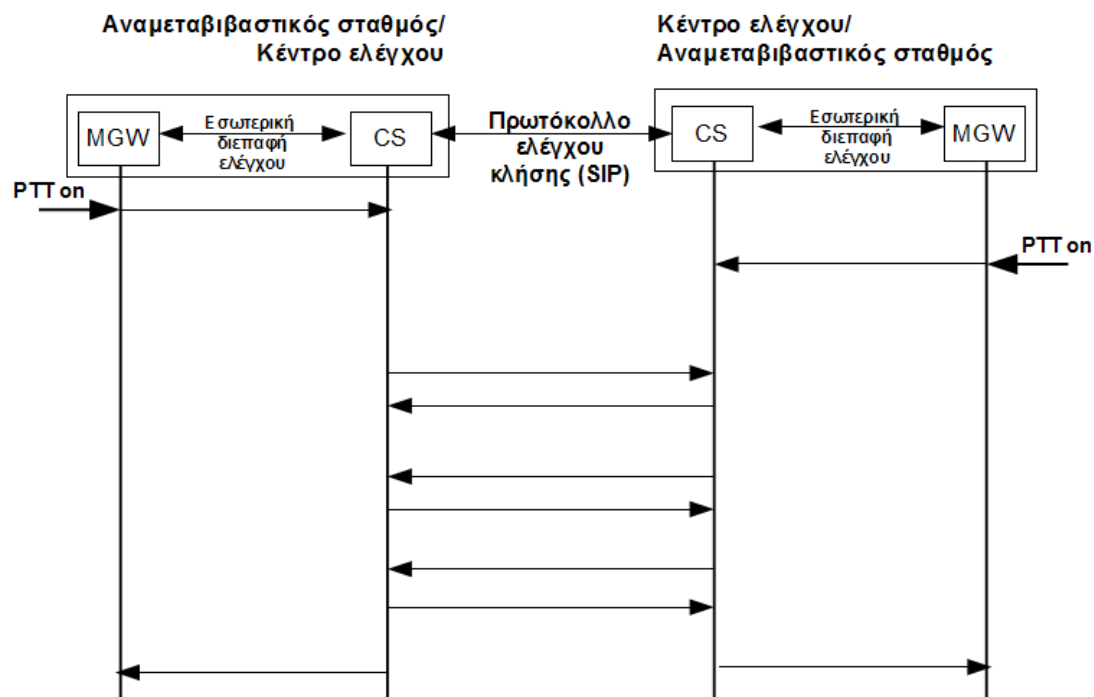
Στην αντίθετη κατεύθυνση, ο ελεγκτής πατάει το πλήκτρο PTT του τερματικού εξοπλισμού. Η οντότητα λογισμικού CS στην πλευρά του Κέντρου Ελέγχου ειδοποιείται από τον αντίστοιχο MG για το γεγονός, και ξεκινά μία διαδικασία εγκατάστασης κλήσης με τον αναμεταβιβαστικό σταθμό. Η οντότητα λογισμικού CS του αναμεταβιβαστικού σταθμού αποδέχεται την κλήση και αρχίζει η ροή πακέτων RTP. Η σειρά των γεγονότων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 79. Επιτυχής εγκατάσταση κλήσης ασυρμάτου

7.8 Αποτυχημένη εγκατάσταση κλήσης ασυρμάτου (Έλεγχοι LAN.FT6 & SAT.FT6)

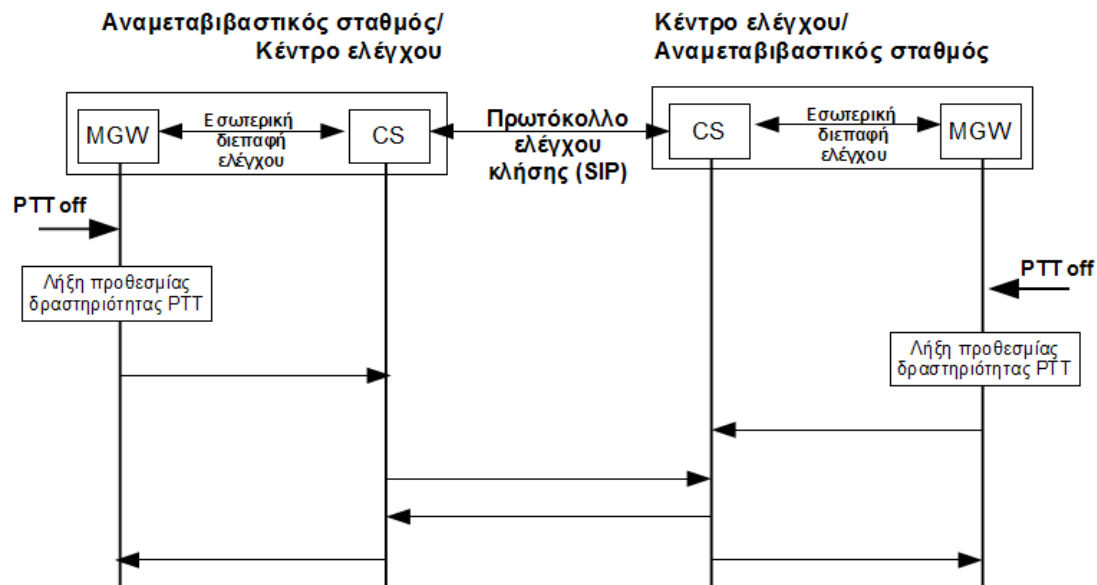
Η περίπτωση αυτή προκύπτει αν και τα δύο άκρα προσπαθήσουν ταυτόχρονα να εγκαταστήσουν μία κλήση ασυρμάτου πατώντας το πλήκτρο PTT, κάτι που καταλήγει στο να βρεθούν και τα δύο άκρα κατειλημμένα όταν επιχειρηθεί η εγκατάσταση. Η αδυναμία αυτή είναι εγγενής στα συστήματα ασυρμάτου και καταλήγει στην απώλεια φωνής και στα δύο άκρα. Η σειρά των γεγονότων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 80. Αποτυχημένη εγκατάσταση κλήσης ασυρμάτου

7.9 Επιτυχής κατάργηση κλήσης ασυρμάτου (Έλεγχοι LAN.FT7 & SAT.FT7)

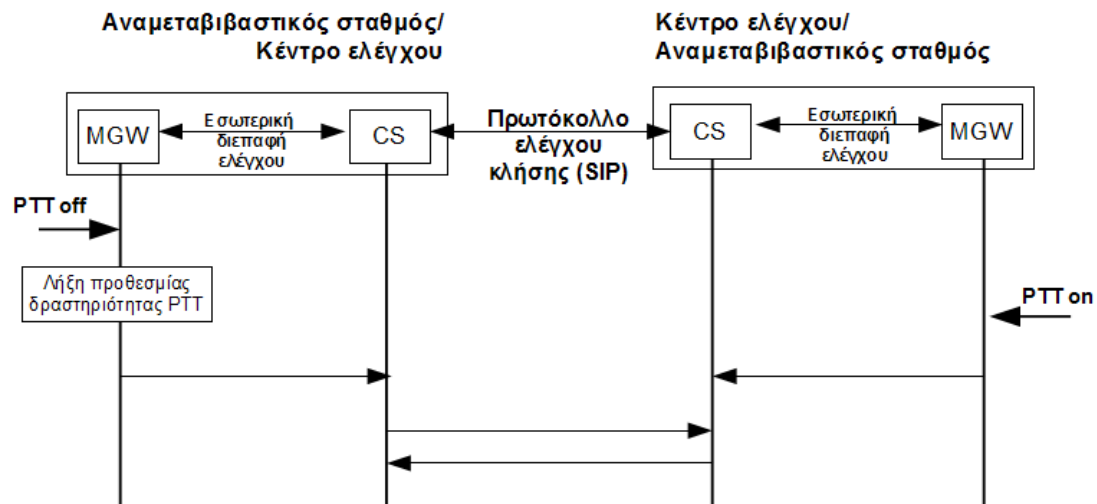
Ο χρήστης σε οποιοδήποτε από τα δύο άκρα δεν χρησιμοποιεί το πλήκτρο PTT για έναν συγκεκριμένο χρόνο, με την πάροδο του οποίου η αντίστοιχη οντότητα λογισμικού CS επικοινωνεί με την οντότητα λογισμικού CS του άλλου άκρου για να ξεκινήσει μία διαδικασία κατάργησης της κλήσης, η οποία θα επιτραπεί μόνον εάν ο χρήστης του άλλου άκρου δεν έχει χρησιμοποιήσει το PTT του για αντίστοιχο χρόνο. Η σειρά των γεγονότων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 81. Επιτυχής κατάργηση κλήσης ασυρμάτου

7.10 Αποτυχημένη κατάργηση κλήσης ασυρμάτου (Έλεγχοι LAN.FT8 & SAT.FT8)

Ο χρήστης σε οποιοδήποτε από τα δύο άκρα δεν χρησιμοποιεί το πλήκτρο PTT για έναν συγκεκριμένο χρόνο, με την πάροδο του οποίου η αντίστοιχη οντότητα λογισμικού CS επικοινωνεί με την οντότητα λογισμικού CS για να ξεκινήσει μία διαδικασία κατάργησης της κλήσης. Εφόσον ο χρήστης στο άλλο άκρο έχει χρησιμοποιήσει το πλήκτρο PTT και δεν έχει εκπνεύσει ο αντίστοιχος χρόνος, η κατάργηση κλήσης θα αποτύχει και η ανταλλαγή πακέτων RTP θα συνεχίσει κανονικά. Η σειρά των γεγονότων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.

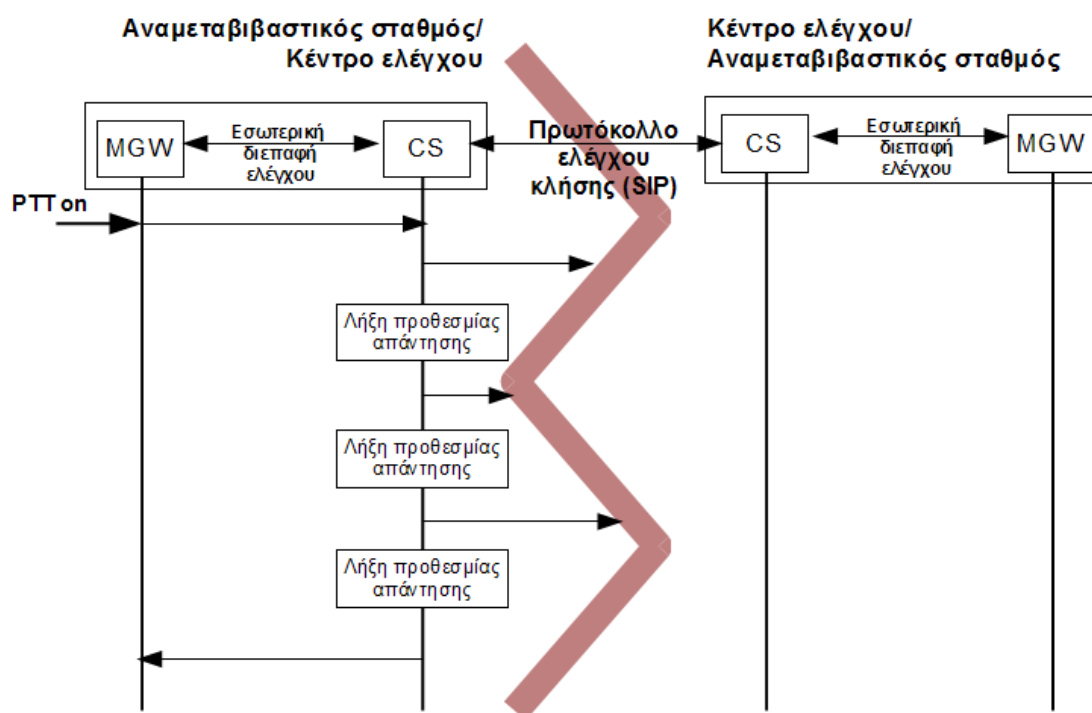


Σχήμα 82. Αποτυχημένη κατάργηση κλήσης ασυρμάτου

7.11 Αποτυχημένη εγκατάσταση κλήσης ασυρμάτου (Απώλεια δικτύου, Έλεγχοι LAN.FT9 & SAT.FT9)

Ο πιλότος του εναερίου μέσου πατάει το πλήκτρο PTT του ασυρμάτου του. Η φωνή του εκπέμπεται προς το έδαφος, όπου ο δέκτης του αναμεταβιβαστικού σταθμού, αντιλαμβανόμενος την εκπομπή, ενεργοποιεί την έξοδο Squelch. Η οντότητα λογισμικού CS στην πλευρά του αναμεταβιβαστικού σταθμού ειδοποιείται από τον αντίστοιχο MG για το γεγονός, και ξεκινά μία διαδικασία εγκατάστασης κλήσης με το Κέντρο Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας. Καθώς δεν υπάρχει διαθέσιμο δίκτυο, η οντότητα λογισμικού CS του αναμεταβιβαστικού σταθμού θα προσπαθήσει να επικοινωνήσει με το Κέντρο Ελέγχου 3 φορές και εφόσον δεν καταστεί δυνατό, η κλήση δεν θα εγκατασταθεί.

Στην αντίθετη κατεύθυνση, ο ελεγκτής πατάει το πλήκτρο PTT του τερματικού εξοπλισμού. Η οντότητα λογισμικού CS στην πλευρά του Κέντρου Ελέγχου ειδοποιείται από τον αντίστοιχο MG για το γεγονός, και ξεκινά μία διαδικασία εγκατάστασης κλήσης με τον αναμεταβιβαστικό σταθμό. Καθώς δεν υπάρχει διαθέσιμο δίκτυο, η οντότητα λογισμικού CS του Κέντρου ελέγχου θα προσπαθήσει να επικοινωνήσει με το αναμεταβιβαστικό σταθμό 3 φορές και εφόσον δεν καταστεί δυνατό, η κλήση δεν θα εγκατασταθεί. Η σειρά των γεγονότων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 83. Αποτυχημένη εγκατάσταση κλήσης ασυρμάτου (απώλεια δικτύου)

7.12 Αποτελέσματα λειτουργικού ελέγχου υπηρεσίας φωνής

Οι έλεγχοι που περιγράφηκαν στις πιο πάνω παραγράφους εκτελέστηκαν 100 φορές σε περιβάλλον τόσο τοπικού όσο και δορυφορικού δικτύου και η συμπεριφορά του υπό μελέτη συστήματος ήταν η προβλεπόμενη. Ως εκ τούτου, η υπηρεσία φωνής κρίθηκε λειτουργική στο σύνολό της.

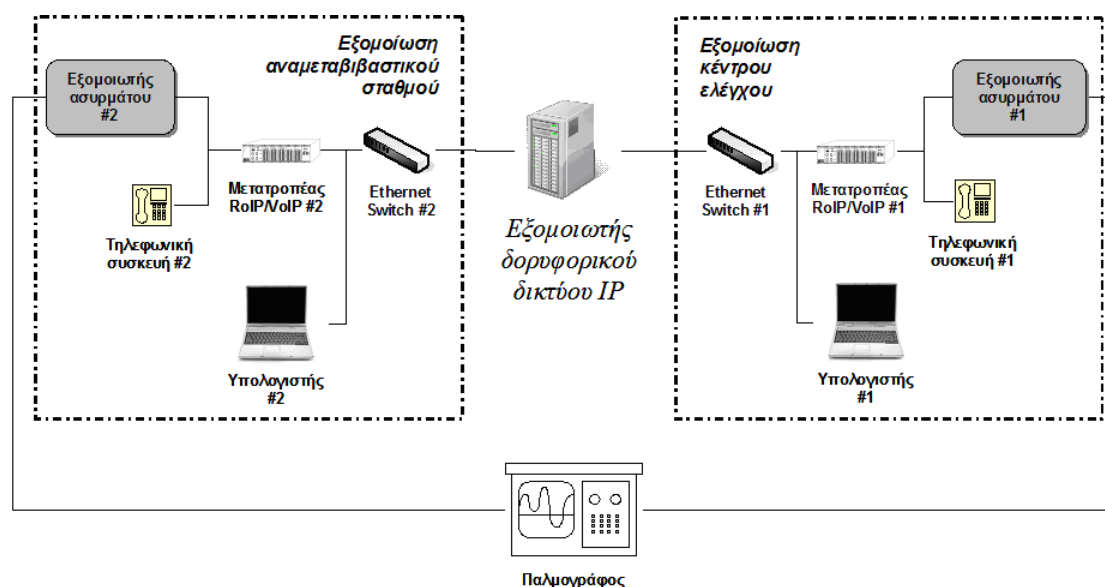
8 Αντικειμενικές μετρήσεις της ποιότητας κλήσης

Οι παράγραφοι που ακολουθούν παρουσιάζουν ένα σχέδιο ελέγχου για να ποσοτικοποιηθεί η ποιότητα της κλήσης σε σχέση με τις απαιτήσεις που καταγράφηκαν στην παράγραφο 3.7. Οι προς μέτρηση παράμετροι επίδοσης είναι:

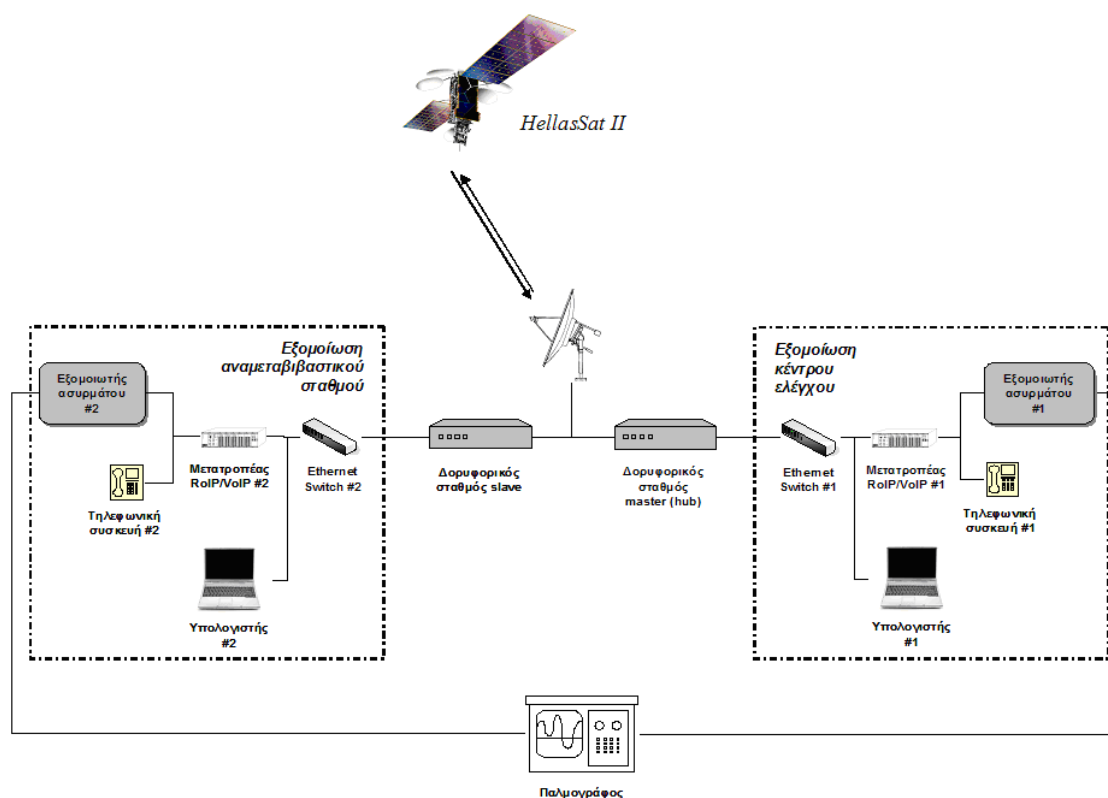
- Η διακύμανση καθυστέρησης
- Η απώλεια πακέτων
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης
- Η από άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση

8.1 Διατάξεις μετρήσεων

Για να είναι εφικτός ο αποχωρισμός της συνεισφοράς του υπό μελέτη συστήματος και του δορυφορικού κυκλώματος στη διαμόρφωση των παραμέτρων ποιότητας κλήσης, οι έλεγχοι εκτελέστηκαν πρώτα σε περιβάλλον τοπικού δικτύου με χρήση εξομοιωτή και κατόπιν με χρήση του πραγματικού δορυφορικού δικτύου. Οι δύο αντίστοιχες διατάξεις ελέγχου παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα. Ο εξομοιωτής δικτύου που παρουσιάζεται στο Σχήμα 84 παραμετροποιήθηκε για μία καθυστέρηση από άκρο-σε-άκρο ίση με 250 ms και διακύμανση καθυστέρησης από κορυφή σε κορυφή ίση με 30 ms για κάθε κατεύθυνση μετάδοσης.



Σχήμα 84. Μέτρηση επίδοσης της υπηρεσίας φωνής από άκρη σε άκρη με χρήση εξομοιωτή δικτύου



Σχήμα 85. Μέτρηση επίδοσης της υπηρεσίας φωνής από άκρη σε άκρη με χρήση του πραγματικού δορυφορικού κυκλώματος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 7.1, στη δεύτερη περίπτωση, τα δύο άκρα έπρεπε να συνυπάρχουν στην ίδια γεωγραφική θέση, οπότε χρησιμοποιήθηκε η συνδεσμολογία που φαίνεται στο Σχήμα 74.

Ο παλμογράφος που παρουσιάζεται στα 2 παραπάνω σχήματα χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης και της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης. Για τον σκοπό αυτό χρειαζόταν ένα ψηφιακό σήμα που μεταδίδεται σε πλήρη συγχρονισμό με τα πακέτα φωνής ούτως ώστε να είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση της καθυστέρησης με ακρίβεια. Η προφανής επιλογή ήταν το σήμα PTT που γεννάται από τον εξομοιωτή ασυρμάτου στο ένα άκρο, ενθυλακώνεται σε πακέτα RTP σύμφωνα με την παράγραφο 4.11.9.1 και αναγεννάται στη λήψη. Αξίζει να σημειωθεί πως τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με κλήσεις ασυρμάτου αναμένεται να είναι αντίστοιχα με αυτά των τηλεφωνικών κλήσεων καθώς η επεξεργασία στα 2 άκρα είναι ταυτόσημη.

8.2 Εξομοίωση ενός εχθρικού λειτουργικού περιβάλλοντος

Οι βασικοί λόγοι που αναμενόταν να επηρεάσουν την ποιότητα φωνής είναι ο αυξημένος φόρτος στο υπό μελέτη σύστημα και η αυξημένη δικτυακή κίνηση στο δορυφορικό κύκλωμα. Για τον λόγο αυτό, οι παράμετροι ποιότητας φωνής έπρεπε να μετρηθούν σε αντίστοιχες αντίξοες συνθήκες.

Ο αυξημένος φόρτος συστήματος (μεγαλύτερος του 70%) εξομοιώθηκε με μεγάλο ρυθμό αιτήσεων διακοπής από την διεπαφή Ethernet του υπό μελέτη συστήματος που δημιουργήθηκαν με χρήση του εργαλείου TTCP. Η κατάσταση αυτή είναι πολύ δύσκολο να υπάρξει σε κανονική λειτουργία, παρ'όλα αυτά είναι εξαιρετικά χρήσιμο να εξομοιωθεί καθώς παρέχει στοιχεία για την ευστάθεια και επίδοση του συστήματος υπό δύσκολες συνθήκες.

Η δικτυακή κίνηση (έως και 100% του διαθέσιμου ρυθμού μετάδοσης) εξομοιώθηκε χρησιμοποιώντας το εργαλείο TTCP σαν πηγή στο ένα άκρο του δορυφορικού κυκλώματος

και καταβόθρα στο άλλο άκρο, μεταξύ των 2 υπολογιστών που παρουσιάζονται στο Σχήμα 85. Η κίνηση αυτή είχε κλάση QoS χαμηλότερη από την κίνηση φωνής (βλέπε παράγραφο 4.15.5) καθώς σε άλλη περίπτωση, η επικοινωνία δεν θα ήταν εφικτή. Κατόπιν μετρήθηκε η επίδοση με μεταβλητό αριθμό ταυτόχρονων κλήσεων (τηλεφωνικών και ασυρμάτου) ώστε να αποκαλυφθούν τυχούσες συσχετίσεις.

8.3 Μετρήσεις διακύμανσης καθυστέρησης

Η διακύμανση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης για κάθε κατεύθυνση μετάδοσης απαρτίζεται από την διακύμανση καθυστέρησης στην έξοδο του υπό μελέτη συστήματος και αυτήν που εισάγεται από το δορυφορικό κύκλωμα.

Η μέτρηση της πρώτης συνιστώσας επιτεύχθηκε με την σύνδεση 2 συστημάτων σε περιβάλλον τοπικού δικτύου καθώς είναι σαφές πως η εισαγωγή του δορυφορικού κυκλώματος δεν επηρεάζει το μέγεθος αυτό με κάποιο τρόπο. Η διάταξη μέτρησης φαίνεται στο Σχήμα 84. Η διακύμανση καθυστέρησης που εισάγεται από το δορυφορικό κύκλωμα μετρήθηκε συνδέοντας 2 συστήματα στα 2 άκρα του. Η αντίστοιχη διάταξη μέτρησης φαίνεται στο Σχήμα 85. Όλες οι μετρήσεις έγιναν με χρήση του εργαλείου ανάλυσης συνηθικών δικτύου Wireshark (www.wireshark.org) που εκτελούνταν στο workstation #1 (βλέπε Σχήμα 85).

8.3.1 Στρατηγική μέτρησης

Καθώς ο βασικός στόχος της ομάδας αυτής των μετρήσεων ήταν να ποσοτικοποιηθεί η εξάρτηση της διακύμανσης καθυστέρησης στην δικτυακή υποδομή, τον φόρτο του συστήματος, τη δικτυακή κίνηση, την κατεύθυνση μετάδοσης και τον αριθμό των ταυτόχρονων κλήσεων, οι μετρήσεις εκτελέστηκαν πρώτα σε περιβάλλον τοπικού δικτύου και κατόπιν σε πραγματικό περιβάλλον με τις συνθήκες που περιγράφονται στην παράγραφο 8.2 και εγκαθιστώντας έως 2 ταυτόχρονες κλήσεις (τηλεφώνου ή ασυρμάτου).

8.3.2 Καθορισμός των μετρήσεων

8.3.2.1 Μέτρηση LAN_JIT.1

Η μέτρηση LAN_JIT.1 της διακύμανσης καθυστέρησης της εξόδου του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον τοπικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος με μία κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η κλήση καταγράφεται με το εργαλείο Wireshark για 5 λεπτά
- Τα πακέτα RTP της κλήσης αναλύονται ως προς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Wireshark

8.3.2.2 Μέτρηση LAN_JIT.2

Η μέτρηση LAN_JIT.2 της διακύμανσης καθυστέρησης της εξόδου του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον τοπικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος με δύο ταυτόχρονες κλήσεις αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία δεύτερη κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Οι 2 κλήσεις καταγράφονται με το εργαλείο Wireshark για 5 λεπτά

- Τα πακέτα RTP και των 2 κλήσεων αναλύονται ως προς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Wireshark

8.3.2.3 Μέτρηση LAN_JIT.3

Η μέτρηση LAN_JIT.3 της διακύμανσης καθυστέρησης της εξόδου του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον τοπικού δικτύου με φόρτο συστήματος με μια κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία σύνδεση TTCP εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η κλήση καταγράφεται με το εργαλείο Wireshark για 5 λεπτά
- Τα πακέτα RTP της κλήσης αναλύονται ως προς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Wireshark

8.3.2.4 Μέτρηση LAN_JIT.4

Η μέτρηση LAN_JIT.4 της διακύμανσης καθυστέρησης της εξόδου του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον τοπικού δικτύου με φόρτο συστήματος με 2 ταυτόχρονες κλήσεις αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία σύνδεση TTCP εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία δεύτερη κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Οι 2 κλήσεις καταγράφονται με το εργαλείο Wireshark για 5 λεπτά
- Τα πακέτα RTP και των 2 κλήσεων αναλύονται ως προς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Wireshark

8.3.2.5 Μέτρηση SAT_JIT.1

Η μέτρηση SAT_JIT.1 της διακύμανσης καθυστέρησης της εξόδου του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος και δικτύου με μία κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η κλήση καταγράφεται με το εργαλείο Wireshark για 5 λεπτά
- Τα πακέτα RTP της κλήσης αναλύονται ως προς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Wireshark

8.3.2.6 Μέτρηση SAT_JIT.2

Η μέτρηση SAT_JIT.2 της διακύμανσης καθυστέρησης της εξόδου του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος και δικτύου με 2 ταυτόχρονες κλήσεις αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία δεύτερη κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Οι 2 κλήσεις καταγράφονται με το εργαλείο Wireshark για 5 λεπτά

- Τα πακέτα RTP και των 2 κλήσεων αναλύονται ως προς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Wireshark

8.3.2.7 Μέτρηση SAT_JIT.3

Η μέτρηση SAT_JIT.3 της διακύμανσης καθυστέρησης της εξόδου του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και χωρίς φόρτο δικτύου με μία κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η κλήση καταγράφεται με το εργαλείο Wireshark για 5 λεπτά
- Τα πακέτα RTP της κλήσης αναλύονται ως προς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Wireshark

8.3.2.8 Μέτρηση SAT_JIT.4

Η μέτρηση SAT_JIT.4 της διακύμανσης καθυστέρησης της εξόδου του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και χωρίς φόρτο δικτύου με 2 ταυτόχρονες κλήσεις αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία δευτέρα κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Οι 2 κλήσεις καταγράφονται με το εργαλείο Wireshark για 5 λεπτά
- Τα πακέτα RTP και των 2 κλήσεων αναλύονται ως προς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Wireshark

8.3.2.9 Μέτρηση SAT_JIT.5

Η μέτρηση SAT_JIT.5 της διακύμανσης καθυστέρησης της εξόδου του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και δικτύου με μία κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Εγκαθίστανται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85 τόσες συνδέσεις TTCP όσες είναι αναγκαίες για να οδηγηθεί το δορυφορικό κύκλωμα σε συμφόρηση
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η κλήση καταγράφεται με το εργαλείο Wireshark για 5 λεπτά
- Τα πακέτα RTP της κλήσης αναλύονται ως προς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Wireshark

8.3.2.10 Μέτρηση SAT_JIT.6

Η μέτρηση SAT_JIT.6 της διακύμανσης καθυστέρησης της εξόδου του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και δικτύου με 2 ταυτόχρονες κλήσεις αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Εγκαθίστανται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85 τόσες συνδέσεις TTCP όσες είναι αναγκαίες για να οδηγηθεί το δορυφορικό κύκλωμα σε συμφόρηση
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία δεύτερη κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Οι 2 κλήσεις καταγράφονται με το εργαλείο Wireshark για 5 λεπτά
- Τα πακέτα RTP και των 2 κλήσεων αναλύονται ως προς την διακύμανση της καθυστέρησης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Wireshark

8.4 Μετρήσεις απώλειας πακέτων

Η από-άκρη-σε άκρη απώλεια πακέτων σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση μετάδοσης (εναέριο μέσο προς ελεγκτή ή αντίστροφα) απαρτίζεται από 2 συνιστώσες:

- Την απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος (in-system packet loss)
- Την απώλεια πακέτων λόγω της δορυφορικής μετάδοσης

Οι μετρήσεις που περιγράφονται στην παρούσα παράγραφο σκοπεύουν στην ποσοτικοποίηση των 2 αυτών συνιστωσών.

Η απώλεια πακέτων φωνής ορίζεται ως ο λόγος των πακέτων που απωλέσθησαν προς τον συνολικό αριθμό των πακέτων που ελήφθησαν. Αξίζει να σημειωθεί πως ο αριθμός των πακέτων φωνής δεν είναι απαραίτητα ίσος με τον αριθμό των πακέτων RTP, καθώς το διάστημα ενθυλάκωσης μπορεί να είναι διαφορετικό. Οι μετρήσεις που περιγράφονται στη συνέχεια ελήφθησαν με διάστημα ενθυλάκωσης ίσο με ένα πακέτο φωνής ανά πακέτο RTP.

Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος μετρήθηκε συνδέοντας δύο συστήματα σε περιβάλλον τοπικού δικτύου, καθώς είναι προφανές πως το δορυφορικό κύκλωμα δεν την επηρεάζει με κανένα τρόπο. Η διάταξη για τη μέτρηση παρουσιάζεται στο Σχήμα 84.

Η από-άκρο-σε-άκρο απώλεια πακέτων φωνής (άθροισμα των 2 συνιστωσών) μετρήθηκε χρησιμοποιώντας 2 συστήματα συνδεδεμένα όπως φαίνεται στο Σχήμα 85. Για τα 2 σύνολα μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν τα στατιστικά που υπολογίζονται από το υπό μελέτη σύστημα σύμφωνα με την παράγραφο 4.12.5.

8.4.1 Στρατηγική μετρήσεων

Καθώς ο βασικός στόχος της κλάσης αυτής των μετρήσεων είναι να ποσοτικοποιηθεί η εξάρτηση της απώλειας πακέτων στην δικτυακή υποδομή, τον φόρτο του συστήματος, τη δικτυακή κίνηση, την κατεύθυνση μετάδοσης και τον αριθμό των ταυτόχρονων κλήσεων, οι μετρήσεις εκτελέστηκαν πρώτα σε περιβάλλον τοπικού δικτύου και κατόπιν σε πραγματικό περιβάλλον με τις συνθήκες που περιγράφονται στην παράγραφο 8.2 και εγκαθιστώντας έως 2 ταυτόχρονες κλήσεις (τηλεφώνου ή ασυρμάτου).

Θα πρέπει να σημειωθεί πως η συνολική απώλεια πακέτων δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0.5% κατά την παράγραφο 3.7, άρα έπρεπε να ανταλλαχθούν τουλάχιστον 20000 πακέτα RTP (100 φορές το αντίστροφο του 0.5%) μεταξύ των 2 άκρων για να θεωρηθεί η μέτρηση αντιπροσωπευτική. Ο αριθμός αυτός ανταποκρίνεται σε μία διάρκεια κλήσης ίσης με 200 δευτερόλεπτα, καθώς το κάθε πακέτο φωνής αναπαριστά 10 ms χρόνου. Οι μετρήσεις που περιγράφονται λήφθηκαν με διάρκεια κλήσεων ίση με 300 δευτερόλεπτα, ούτως ώστε να καλυφθεί η απαίτηση.

8.4.2 Καθορισμός των μετρήσεων

8.4.2.1 Μέτρηση ISPL.1

Η μέτρηση ISPL.1 της απώλειας πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον τοπικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος με μία κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η κλήση τερματίζεται μετά από 300 δευτερόλεπτα
- Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος υπολογίζεται για κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά με χρήση των στατιστικών

8.4.2.2 Μέτρηση ISPL.2

Η μέτρηση ISPL.2 της απώλειας πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον τοπικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος με 2 ταυτόχρονες κλήσεις αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία δεύτερη κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Οι κλήσεις τερματίζονται μετά από 300 δευτερόλεπτα
- Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος υπολογίζεται για κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά με χρήση των στατιστικών

8.4.2.3 Μέτρηση ISPL.3

Η μέτρηση ISPL.3 της απώλειας πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον τοπικού δικτύου με φόρτο συστήματος με μία κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία σύνδεση TTCP εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η κλήση τερματίζεται μετά από 300 δευτερόλεπτα
- Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος υπολογίζεται για κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά με χρήση των στατιστικών

8.4.2.4 Μέτρηση ISPL.4

Η μέτρηση ISPL.4 της απώλειας πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον τοπικού δικτύου με φόρτο συστήματος με 2 ταυτόχρονες κλήσεις αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία σύνδεση TTCP εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία δεύτερη κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Οι κλήσεις τερματίζονται μετά από 300 δευτερόλεπτα
- Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος υπολογίζεται για κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά με χρήση των στατιστικών

8.4.2.5 Μέτρηση E2EPL.1

Η μέτρηση E2EPL.1 της απώλειας πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος και δικτύου με μία κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η κλήση τερματίζεται μετά από 300 δευτερόλεπτα
- Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος υπολογίζεται για κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά με χρήση των στατιστικών

8.4.2.6 Μέτρηση E2EPL.2

Η μέτρηση E2EPL.2 της απώλειας πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος και δικτύου με 2 ταυτόχρονες κλήσεις αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία δεύτερη κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Οι κλήσεις τερματίζονται μετά από 300 δευτερόλεπτα
- Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος υπολογίζεται για κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά με χρήση των στατιστικών

8.4.2.7 Μέτρηση E2EPL.3

Η μέτρηση E2EPL.3 της απώλειας πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και χωρίς φόρτο δικτύου με μία κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η κλήση τερματίζεται μετά από 300 δευτερόλεπτα
- Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος υπολογίζεται για κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά με χρήση των στατιστικών

8.4.2.8 Μέτρηση E2EPL.4

Η μέτρηση E2EPL.4 της απώλειας πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και χωρίς φόρτο δικτύου με 2 ταυτόχρονες κλήσεις αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία δεύτερη κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Οι κλήσεις τερματίζονται μετά από 300 δευτερόλεπτα
- Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος υπολογίζεται για κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά με χρήση των στατιστικών

8.4.2.9 Μέτρηση E2EPL.5

Η μέτρηση E2EPL.5 της απώλειας πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και δικτύου με μία κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85

- Εγκαθίστανται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85 τόσες συνδέσεις TTCP όσες είναι αναγκαίες για να οδηγηθεί το δορυφορικό κύκλωμα σε συμφόρηση
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η κλήση τερματίζεται μετά από 300 δευτερόλεπτα
- Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος υπολογίζεται για κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά με χρήση των στατιστικών

8.4.2.10 Μέτρηση E2EPL.6

Η μέτρηση E2EPL.6 της απώλειας πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και δικτύου με 2 ταυτόχρονες κλήσεις αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Εγκαθίστανται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85 τόσες συνδέσεις TTCP όσες είναι αναγκαίες για να οδηγηθεί το δορυφορικό κύκλωμα σε συμφόρηση
- Μία κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία δεύτερη κλήση (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Οι κλήσεις τερματίζονται μετά από 300 δευτερόλεπτα
- Η απώλεια πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος υπολογίζεται για κάθε κατεύθυνση ξεχωριστά με χρήση των στατιστικών

8.5 Μετρήσεις καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης

Η καθυστέρηση της εγκατάστασης κλήσης ορίζεται διαφορετικά για τηλεφωνικές κλήσεις και κλήσεις ασυρμάτου:

- Στην περίπτωση τηλεφωνικών κλήσεων, ορίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της συλλογής μίας έγκυρης ακολουθίας ψηφίων DTMF και της παροχής στον καλούντα του ήχου κλήσης (ring-back)
- Στην περίπτωση κλήσεων ασυρμάτου, ορίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της χρήσης του πλήκτρου PTT για πρώτη φορά από το εναέριο μέσο ή τον ελεγκτή και της λήψης της φωνής στο απέναντι άκρο, εφόσον δεν είχε εγκατασταθεί προηγουμένως η κλήση. Είναι προφανές πως ο χρόνος που απαιτείται για να εγκατασταθεί μία κλήση ασυρμάτου περιλαμβάνει και την από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση

Η καθυστέρηση της εγκατάστασης κλήσης είναι θεμελιώδους σημασίας για κλήσεις ασυρμάτου, καθώς δεν ορίζεται σηματοδοσία τόνων αντίστοιχη με αυτή που συναντάται σε τηλεφωνικές κλήσεις (σήμα κατειλημμένου, σήμα κλήσης κ.α.), οπότε ο χρήστης δεν ενημερώνεται για την πρόοδο της διαδικασίας.

Το υπόλοιπο της παραγράφου ασχολείται με τις μετρήσεις καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσεων ασυρμάτου. Η περίπτωση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως η χειρότερη. Οι μετρήσεις εκτελέστηκαν με χρήση των διατάξεων που παρουσιάζονται στο Σχήμα 84 (περιβάλλον τοπικού δικτύου) και στο Σχήμα 85 (περιβάλλον δορυφορικού δικτύου).

8.5.1 Στρατηγική μέτρησης

Καθώς ο βασικός στόχος της ομάδας αυτής των μετρήσεων ήταν να ποσοτικοποιηθεί η εξάρτηση της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης στην δικτυακή υποδομή, τον φόρτο του συστήματος, τη δικτυακή κίνηση, την κατεύθυνση μετάδοσης και τον αριθμό των ταυτόχρονων κλήσεων, οι μετρήσεις εκτελέστηκαν πρώτα σε περιβάλλον τοπικού δικτύου και κατόπιν σε πραγματικό περιβάλλον με τις συνθήκες που περιγράφονται στην παράγραφο 8.2 και εγκαθιστώντας έως 2 ταυτόχρονες κλήσεις (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) με την κλήση ασυρμάτου να είναι πάντα η τελευταία.

8.5.2 Καθορισμός μετρήσεων

8.5.2.1 Μέτρηση LAN_CSD.1

Η μέτρηση LAN_CSD.1 της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης σε περιβάλλον τοπικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος χωρίς καμία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Η κλήση ασυρμάτου καταργείται
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές
- Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων φωνής εντός του ενταμιευτή εκπομπής υπολογίζεται με χρήση των στατιστικών

8.5.2.2 Μέτρηση LAN_CSD.2

Η μέτρηση LAN_CSD.2 της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης σε περιβάλλον τοπικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος με μία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία τηλεφωνική κλήση εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Η κλήση ασυρμάτου καταργείται
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές
- Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων φωνής εντός του ενταμιευτή εκπομπής υπολογίζεται με χρήση των στατιστικών

8.5.2.3 Μέτρηση LAN_CSD.3

Η μέτρηση LAN_CSD.3 της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης σε περιβάλλον τοπικού δικτύου με φόρτο συστήματος χωρίς καμία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία σύνδεση TTCP εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Η κλήση ασυρμάτου καταργείται
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές
- Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων φωνής εντός του ενταμιευτή εκπομπής υπολογίζεται με χρήση των στατιστικών

8.5.2.4 Μέτρηση LAN_CSD.4

Η μέτρηση LAN_CSD.4 της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης σε περιβάλλον τοπικού δικτύου με φόρτο συστήματος με μία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία σύνδεση TTCP εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία τηλεφωνική κλήση εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Η κλήση ασυρμάτου καταργείται
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές
- Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων φωνής εντός του ενταμιευτή εκπομπής υπολογίζεται με χρήση των στατιστικών

8.5.2.5 Μέτρηση SAT_CSD.1

Η μέτρηση SAT_CSD.1 της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος και δικτύου χωρίς καμία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Η κλήση ασυρμάτου καταργείται
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές

- Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων φωνής εντός του ενταμιευτή εκπομπής υπολογίζεται με χρήση των στατιστικών

8.5.2.6 Μέτρηση SAT_CSD.2

Η μέτρηση SAT_CSD.2 της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος και δικτύου με μία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία τηλεφωνική κλήση εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Η κλήση ασυρμάτου καταργείται
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές
- Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων φωνής εντός του ενταμιευτή εκπομπής υπολογίζεται με χρήση των στατιστικών

8.5.2.7 Μέτρηση SAT_CSD.3

Η μέτρηση SAT_CSD.3 της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και χωρίς φόρτο δικτύου χωρίς καμία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Η κλήση ασυρμάτου καταργείται
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές
- Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων φωνής εντός του ενταμιευτή εκπομπής υπολογίζεται με χρήση των στατιστικών

8.5.2.8 Μέτρηση SAT_CSD.4

Η μέτρηση SAT_CSD.4 της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και χωρίς φόρτο δικτύου με μία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία τηλεφωνική κλήση εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Η κλήση ασυρμάτου καταργείται
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές
- Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων φωνής εντός του ενταμιευτή εκπομπής υπολογίζεται με χρήση των στατιστικών

8.5.2.9 Μέτρηση SAT_CSD.5

Η μέτρηση SAT_CSD.5 της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και δικτύου χωρίς καμιά υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Εγκαθίστανται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85 τόσες συνδέσεις TTCP όσες είναι αναγκαίες για να οδηγηθεί το δορυφορικό κύκλωμα σε συμφόρηση
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Η κλήση ασυρμάτου καταργείται
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές
- Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων φωνής εντός του ενταμιευτή εκπομπής υπολογίζεται με χρήση των στατιστικών

8.5.2.10 Μέτρηση SAT_CSD.6

Η μέτρηση SAT_CSD.6 της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και δικτύου με μία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Εγκαθίστανται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85 τόσες συνδέσεις TTCP όσες είναι αναγκαίες για να οδηγηθεί το δορυφορικό κύκλωμα σε συμφόρηση
- Μία τηλεφωνική κλήση εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Η κλήση ασυρμάτου καταργείται
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές
- Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων φωνής εντός του ενταμιευτή εκπομπής υπολογίζεται με χρήση των στατιστικών

8.6 Μετρήσεις από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης

Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση μετρήθηκε χρησιμοποιώντας κλήσεις ασυρμάτου για τις οποίες ορίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της χρήσης του πλήκτρου PTT από το εναέριο μέσο ή τον ελεγκτή και της λήψης της φωνής στο απέναντι άκρο, εφόσον έχει ήδη εγκατασταθεί η κλήση. Καθώς η υλοποίηση του τηλεπικοινωνιακού διαύλου εντός του υπό μελέτη συστήματος είναι ο ίδιος, είτε πρόκειται για κλήσεις ασυρμάτου είτε για τηλεφωνικές κλήσεις, οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στην παρούσα παράγραφο θεωρείται πως ισχύουν και για τηλεφωνικές κλήσεις. Οι μετρήσεις εκτελέστηκαν με χρήση των διατάξεων που παρουσιάζονται στο Σχήμα 84 (περιβάλλον τοπικού δικτύου) και στο Σχήμα 85 (περιβάλλον δορυφορικού δικτύου).

8.6.1 Στρατηγική μέτρησης

Καθώς ο βασικός στόχος της κλάσης αυτής των μετρήσεων ήταν να ποσοτικοποιηθεί η εξάρτηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης στην δικτυακή υποδομή, τον φόρτο του συστήματος, τη δικτυακή κίνηση, την κατεύθυνση μετάδοσης και τον αριθμό των ταυτόχρονων κλήσεων, οι μετρήσεις εκτελέστηκαν πρώτα σε περιβάλλον τοπικού δικτύου και κατόπιν σε πραγματικό περιβάλλον με τις συνθήκες που περιγράφονται στην παράγραφο 8.2 και εγκαθιστώντας έως 2 ταυτόχρονες κλήσεις (τηλεφώνου ή ασυρμάτου) με την κλήση ασυρμάτου να είναι πάντα η τελευταία.

8.6.2 Καθορισμός μετρήσεων

8.6.2.1 Μέτρηση LAN_E2ED.1

Η μέτρηση LAN_E2ED.1 της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης κλήσης σε περιβάλλον τοπικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος χωρίς καμία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές χωρίς να καταργηθεί η κλήση

8.6.2.2 Μέτρηση LAN_E2ED.2

Η μέτρηση LAN_E2ED.2 της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης κλήσης σε περιβάλλον τοπικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος με μία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία τηλεφωνική κλήση εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές χωρίς να καταργηθεί καμιά κλήση

8.6.2.3 Μέτρηση LAN_E2ED.3

Η μέτρηση LAN_E2ED.3 της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης κλήσης σε περιβάλλον τοπικού δικτύου με φόρτο συστήματος χωρίς καμία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία σύνδεση TTCP εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές χωρίς να καταργηθεί η κλήση

8.6.2.4 Μέτρηση LAN_E2ED.4

Η μέτρηση LAN_E2ED.4 της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης κλήσης σε περιβάλλον τοπικού δικτύου με φόρτο συστήματος και μία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία σύνδεση TTCP εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία τηλεφωνική κλήση εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 84
- Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές χωρίς να καταργηθεί καμιά κλήση

8.6.2.5 Μέτρηση SAT_E2ED.1

Η μέτρηση SAT_E2ED.1 της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος και δικτύου χωρίς καμία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές χωρίς να καταργηθεί η κλήση

8.6.2.6 Μέτρηση SAT_E2ED.2

Η μέτρηση SAT_E2ED.2 της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου χωρίς φόρτο συστήματος και δικτύου με μία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Μία τηλεφωνική κλήση εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές χωρίς να καταργηθεί καμιά κλήση

8.6.2.7 Μέτρηση SAT_E2ED.3

Η μέτρηση SAT_E2ED.3 της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και χωρίς φόρτο δικτύου χωρίς καμία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές χωρίς να καταργηθεί η κλήση

8.6.2.8 Μέτρηση SAT_E2ED.4

Η μέτρηση SAT_E2ED.4 της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και χωρίς φόρτο δικτύου με μία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία τηλεφωνική κλήση εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές χωρίς να καταργηθεί καμία κλήση

8.6.2.9 Μέτρηση SAT_E2ED.5

Η μέτρηση SAT_E2ED.5 της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και δικτύου χωρίς καμία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Εγκαθίστανται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85 τόσες συνδέσεις TTCP όσες είναι αναγκαίες για να οδηγηθεί το δορυφορικό κύκλωμα σε συμφόρηση
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές χωρίς να καταργηθεί η κλήση

8.6.2.10 Μέτρηση SAT_E2ED.6

Η μέτρηση SAT_E2ED.6 της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης κλήσης σε περιβάλλον δορυφορικού δικτύου με φόρτο συστήματος και δικτύου με μία υφιστάμενη κλήση αποτελούνταν από τα πιο κάτω βήματα:

- Δύο συνδέσεις TTCP εγκαθίστανται: μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 1 και το σύστημα # 1 και άλλη μία ανάμεσα στον υπολογιστή # 2 και το σύστημα # 2 που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Μία τηλεφωνική κλήση εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Εγκαθίστανται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85 τόσες συνδέσεις TTCP όσες είναι αναγκαίες για να οδηγηθεί το δορυφορικό κύκλωμα σε συμφόρηση
- Μία κλήση ασυρμάτου εγκαθίσταται ανάμεσα στα δύο συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 85
- Η από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση της κλήσης μετράται με χρήση του παλμογράφου
- Το πείραμα επαναλαμβάνεται 100 φορές χωρίς να καταργηθεί καμιά κλήση

8.7 Αποτελέσματα αντικειμενικών μετρήσεων ποιότητας κλήσης

Στις προηγούμενες παραγράφους περιγράφηκαν με ακρίβεια οι μετρήσεις που απαιτούνται για την αντικειμενική ποσοτικοποίηση της ποιότητας κλήσης. Οι πιο κάτω παράγραφοι συνοψίζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών σε σχέση με:

- Την διακύμανση καθυστέρησης
- Την απώλεια πακέτων
- Την καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης
- Την από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση

8.7.1 Αποτελέσματα μετρήσεων διακύμανσης καθυστέρησης

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αναλύθηκαν στην παράγραφο 8.3 παρουσιάζονται στους πιο κάτω πίνακες. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν παρατίθενται στην παράγραφο 12.

Ταυτότητα μέτρησης	Μετρούμενη κλήση	Μέγιστη διακύμανση καθυστέρησης στην έξοδο του υπό μελέτη συστήματος (ms)
LAN_JIT.1	Μία κλήση	0.26
LAN_JIT.2	Πρώτη κλήση	0.34
	Δεύτερη κλήση	0.32
LAN_JIT.3	Μία κλήση	7.97
LAN_JIT.4	Πρώτη κλήση	8.24
	Δεύτερη κλήση	8.2

Ταυτότητα μέτρησης	Μετρούμενη κλήση	Κατεύθυνση μετάδοσης	Μέγιστη διακύμανση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης (ms)
SAT_JIT.1	Μία κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	5.11
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0.23
SAT_JIT.2	Πρώτη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	7.31
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0.28
	Δεύτερη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	7.21
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0.31
SAT_JIT.3	Μία κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	1.49
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	5.54
SAT_JIT.4	Πρώτη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	1.37
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	5.41
	Δεύτερη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	1.38
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	5.68
SAT_JIT.5	Μία κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	1.44
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	17.93
SAT_JIT.6	Πρώτη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	1.42
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	14.50
	Δεύτερη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	1.39
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	14.37

Όπως είναι προφανές από τους πίνακες, η διακύμανση της καθυστέρησης εξόδου του υπό μελέτη συστήματος παραμένει ελάχιστη (κάτω από 1 ms), εκτός από τις μετρήσεις στη διάρκεια των οποίων υπήρχε μεγάλος φόρτος συστήματος, ο οποίος επιβαλλόταν στο σύστημα με τη δημιουργία μεγάλης δικτυακής κίνησης. Πιο συγκεκριμένα, ο μέγιστος ρυθμός κίνησης Ethernet που καταγράφηκε κατά τις μετρήσεις LAN_JIT.3 & 4 καθώς και SAT_JIT.3, 4, 5 & 6 ήταν 25 MBits/sec. Η συμπεριφορά αυτή θεωρείται φυσιολογική, καθώς τα πακέτα φωνής και δεδομένων ανταλλάσσονται μέσω της ίδιας διεπαφής δικτύου, οπότε η διακύμανση της καθυστέρησης αναμένεται να είναι μεγαλύτερη λόγω της συνύπαρξής τους. Πάραυτα, οι μετρήσεις SAT_JIT.3, 4, 5 & 6 αποδεικνύουν ότι αυτή η αυξημένη διακύμανση της καθυστέρησης εξόδου δεν οδηγεί σε αυξημένη διακύμανση από άκρο-σε-άκρο, η οποία παραμένει γενικά χαμηλή (κάτω από 7.5 ms). Η παράμετρος αυτή αυξάνεται σημαντικά όταν το δορυφορικό κύκλωμα τελεί υπό συμφόρηση (μετρήσεις SAT_JIT.5 και 6). Σε κάθε περίπτωση, η από-κορυφή-σε-κορυφή διακύμανση της καθυστέρησης παραμένει κάτω από 30 ms.

Μία ακόμα παρατήρηση είναι πως παρουσιάζεται μία ασυμμετρία στην από-άκρο-σε-άκρο διακύμανση καθυστέρησης ανάλογα με την κατεύθυνση μετάδοσης και το άκρο από το οποίο ξεκίνησε η κλήση. Πιο συγκεκριμένα, στις μετρήσεις SAT_JIT.1 & 2 οι κλήσεις ξεκίνησαν από το σύστημα #1, ενώ στις μετρήσεις SAT_JIT.3, 4, 5 & 6, οι κλήσεις και οι συνδέσεις TTCP ξεκίνησαν από το σύστημα #2. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να συνοψιστεί στο ότι η διακύμανση καθυστέρησης είναι μεγαλύτερη στην πλευρά της λήψης του άκρου από το οποίο ξεκίνησε η κλήση. Η κατασκευάστρια εταιρία (ND Satcom) ειδοποιήθηκε για το φαινόμενο αυτό και το διερευνά.

8.7.2 Αποτελέσματα μετρήσεων απώλειας πακέτων

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αναλύθηκαν στην παράγραφο 8.4 παρουσιάζονται στους πιο κάτω πίνακες. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν παρατίθενται στην παράγραφο 13.

Ταυτότητα μέτρησης	Μετρούμενη κλήση	Μετρούμενη κατεύθυνση μετάδοσης	Ρυθμός απώλειας εκπεμπόμενων πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος (%)	Ρυθμός απώλειας λαμβανόμενων πακέτων εντός του υπό μελέτη συστήματος (%)
ISPL.1	Μία κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.00167
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.00209
ISPL.2	Πρώτη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.00076
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.00076
	Δεύτερη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.00116
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.00077
ISPL.3	Μία κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.00162
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.00243
ISPL.4	Πρώτη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.00119
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.00158
	Δεύτερη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.00119
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.00079

Ταυτότητα μέτρησης	Μετρούμενη κλήση	Μετρούμενη κατεύθυνση μετάδοσης	Ρυθμός απώλειας πακέτων στο δορυφορικό δίκτυο (%)	Συνολικός ρυθμός απώλειας πακέτων (%)
E2EPL.1	Μία κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.009
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.003
E2EPL.2	Πρώτη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0.327	0.347
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0.328	0.351
	Δεύτερη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0.315	0.331
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0.315	0.330
E2EPL.3	Μία κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.006
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.003
E2EPL.4	Πρώτη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.003
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.003
	Δεύτερη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.006
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.006
E2EPL.5	Μία κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.006
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.133
E2EPL.6	Πρώτη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.002
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.272
	Δεύτερη κλήση	Σύστημα #2 προς σύστημα #1	0	0.020
		Σύστημα #1 προς σύστημα #2	0	0.220

Είναι προφανές από τους πιο πάνω πίνακες πως η απώλεια πακέτων που εισάγεται από το υπό μελέτη σύστημα είναι εξαιρετικά χαμηλή σε κάθε περίπτωση (βλέπε μετρήσεις LAN_JIT.1-4), ακόμα και υπό μεγάλο φόρτο συστήματος.

Ακόμη και όταν ο τηλεπικοινωνιακός δίαυλος περιλαμβάνει το δορυφορικό κύκλωμα, ο ρυθμός απώλειας πακέτων παραμένει χαμηλός, εκτός από 2 μετρήσεις:

- Τη μέτρηση E2EPL.2, για την οποία ο αυξημένος ρυθμός απώλειας πακέτων μπορεί να αποδοθεί σε αυξημένο ρυθμό λάθους διφυών λόγω ανέμου, καθώς οι μετρήσεις ελήφθησαν με αέρα 8 Μποφόρ, κάτι που προκαλούσε ελαφρά ταλάντωση της κεραίας
- Τις μετρήσεις E2EPL.5 και 6, όπου ο αυξημένος ρυθμός μπορεί να αποδοθεί στον αυξημένο ρυθμό διακύμανσης καθυστέρησης (βλέπε μετρήσεις SAT_JIT.5 και SAT_JIT.6) που εξωθεί κάποια πακέτα φωνής εκτός του ενταμιευτή διακύμανσης καθυστέρησης, οπότε και χάνονται. Η ασύμμετρη συμπεριφορά των μετρήσεων ενισχύει την άποψη αυτή καθώς ταυτοποιείται πλήρως με τις μετρήσεις SAT_JIT.5 και SAT_JIT.6.

Σε κάθε περίπτωση, η από-άκρο-σε-άκρο απώλεια πακέτων δεν ξεπερνά το 0.5%, οπότε οι απαιτήσεις 10 και 19 της παραγράφου 3.7 εκπληρώνονται και δεν αναμένεται περαιτέρω μείωση της ποιότητας φωνής.

8.7.3 Αποτελέσματα μετρήσεων καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αναλύθηκαν στην παράγραφο 8.5 παρουσιάζονται στους πιο κάτω πίνακες. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν παρατίθενται στην παράγραφο 14.

Ταυτότητα μέτρησης	Ελάχιστη καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης (s)	Μέγιστη καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης (s)	Μέση καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης (s)
LAN_CSD.1	915.9	1.013	963.3
LAN_CSD.2	938.9	1.039	985.2
LAN_CSD.3	932.8	1.022	971.2
LAN_CSD.4	951.3	1.049	996.8

Ταυτότητα μέτρησης	Ελάχιστη καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης (s)	Μέγιστη καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης (s)	Μέση καθυστέρηση εγκατάστασης κλήσης (s)
SAT_CSD.1	985.3	1.030	1.006
SAT_CSD.2	998.0	1.055	1.025
SAT_CSD.3	986.8	1.042	1.012
SAT_CSD.4	1.007	1.365	1.060
SAT_CSD.5	1.006	1.054	1.032
SAT_CSD.6	1.009	1.388	1.045

Τόσο η μέση, όσο και η μέγιστη τιμή της καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης παραμένουν πολύ χαμηλότερες από την απαίτηση 6 της παραγράφου 3.7 (2 δευτερόλεπτα). Οι τιμές για τις μετρήσεις δορυφορικού δικτύου είναι ελαφρά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που ελήφθησαν σε περιβάλλον τοπικού δικτύου, κάτι που αποδεικνύει τη συνάφεια των συνθηκών μεταξύ εξομοίωσης και πραγματικότητας. Μία ακόμη παρατήρηση είναι πως η καθυστέρηση της εγκατάστασης κλήσης είναι ελαφρά μεγαλύτερη (κατά 30-50 ms) όταν υπάρχει ήδη μία εγκατεστημένη κλήση. Αυτό είναι εμφανές συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων LAN_CSD.1 & LAN_CSD.2, LAN_CSD.3 & LAN_CSD.4, SAT_CSD.1 & SAT_CSD.2, SAT_CSD.3 & SAT_CSD.4 καθώς και SAT_CSD.5 & SAT_CSD.6. Πάραυτα, η απόσταση από την απαίτηση των 2 δευτερολέπτων είναι τόσο μεγάλη που δεν προκαλούνται ανησυχίες.

8.7.4 Αποτελέσματα μετρήσεων από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αναλύθηκαν στην παράγραφο 8.6 παρουσιάζονται στους πιο κάτω πίνακες. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν παρατίθενται στην παράγραφο 15.

Ταυτότητα μέτρησης	Ελάχιστη καθυστέρηση από-άκρο-σε-άκρο (ms)	Μέγιστη καθυστέρηση από-άκρο-σε-άκρο (ms)	Μέση καθυστέρηση από-άκρο-σε-άκρο (ms)
LAN_E2ED.1	357.0	380.9	371.3
LAN_E2ED.2	368.6	385.2	374.9
LAN_E2ED.3	362.4	383.5	368.7
LAN_E2ED.4	368.6	385.2	374.9

Ταυτότητα μέτρησης	Ελάχιστη καθυστέρηση από-άκρο-σε-άκρο (ms)	Μέγιστη καθυστέρηση από-άκρο-σε-άκρο (ms)	Μέση καθυστέρηση από-άκρο-σε-άκρο (ms)
SAT_E2ED.1	352.3	370.3	360.0
SAT_E2ED.2	354.4	370.6	359.1
SAT_E2ED.3	356.8	366.3	362.4
SAT_E2ED.4	357.6	367.7	363.7
SAT_E2ED.5	381.9	412.4	391.3
SAT_E2ED.6	385.7	406.7	392.8

Η μέση τιμή της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης παραμένει στις περισσότερες περιπτώσεις κάτω από το όριο των 375 ms σύμφωνα με τις απαιτήσεις 5 και 17 της παραγράφου 3.7. Το ίδιο ισχύει για την πλειοψηφία των μεγίστων τιμών. Οι μόνες μετρήσεις που παρουσιάζουν μεγαλύτερες μέγιστες τιμές είναι οι SAT_E2ED.5 και 6, οι οποίες έχουν επίσης τις μεγαλύτερες μέσες τιμές. Η αιτία είναι, για μία ακόμη φορά η αυξημένη διακύμανση καθυστέρησης λόγω δικτυακού φόρτου που παρουσιάστηκε ήδη στην παράγραφο 8.7.1, που οδηγεί σε μεγαλύτερο μέγεθος του δυναμικού ενταμιευτή διακύμανσης καθυστέρησης. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το μέγεθος αυτό αναμένεται διπλάσιο της από-κορυφή-σε-κορυφή διακύμανσης καθυστέρησης και συγκρίνοντας τα 30 ms της διαφοράς μεταξύ των μετρήσεων SAT_E2ED.5 & 6 και των υπολοίπων μετρήσεων με τη μέγιστη διακύμανση καθυστέρησης (14.5 ms) των μετρήσεων SAT_JIT.5 & 6 της παραγράφου 8.3, η διαφορά στην από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση εξηγείται πλήρως. Οι συγκεκριμένοι έλεγχοι δεν είναι σε καμία περίπτωση αντιπροσωπευτικοί της τυπικής λειτουργίας που υπό μελέτη συστήματος. Επίσης, δεν παρουσιάζεται εξάρτηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης από τον αριθμό των ταυτόχρονων κλήσεων και η συμφωνία των αποτελεσμάτων σε περιβάλλον τοπικού και δορυφορικού δικτύου αποδεικνύουν για μία ακόμη φορά την επιτυχή εξομοίωση της πραγματικότητας στο εργαστήριο.

8.7.5 Συσχέτιση των αποτελεσμάτων με τη λειτουργία του jitter buffer

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στις παραγράφους 8.7.1, 8.7.2 και 8.7.4, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως ο jitter buffer λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές, απορροφώντας τη διακύμανση καθυστέρησης χωρίς να παραβιάζονται οι απαιτήσεις της παραγράφου 3.7 στον ρυθμό απώλειας πακέτων ($\leq 0.5\%$) και στην από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση (≤ 375 msec) για μία πλειάδα συνθηκών, τόσο αντιπροσωπευτικών της κανονικής λειτουργίας όσο και οριακών για το υπό μελέτη σύστημα. Για το λόγο αυτό θεωρούνται ως εκπληρωμένες οι απαιτήσεις 12 και 21 της παραγράφου 3.7.

9 Υποκειμενικές μετρήσεις της ποιότητας κλήσης

Παρόλο που οι αντικειμενικές μετρήσεις οι οποίες παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο παρέχουν σαφείς ενδείξεις πως το υπό μελέτη σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις της παραγράφου 3.7 και όπως προβλέπεται από την υλοποίησή του (βλέπε παράγραφο 4), είναι εξίσου σαφής η ανάγκη για υποκειμενική ποσοτικοποίηση της ποιότητας κλήσης ούτως ώστε να επιβεβαιωθεί πως οι τροποποιήσεις του E-model που προτάθηκαν στην παράγραφο 3 είναι σωστές και η τεχνολογία RoIP over satellite είναι κατάλληλη για έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας, ολοκληρώνοντας με αυτό τον τρόπο την διατριβή.

Οι υποκειμενικές μετρήσεις εμπλέκουν προφανώς τους χρήστες της υπηρεσίας, οι οποίοι δεν είναι άλλοι από τους πιλότους των εναερίων μέσων και τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας. Οι 2 αυτές ομάδες χρηστών κάνουν μια εξαιρετικά απαιτητική και δύσκολη δουλειά που ορίζεται από αυστηρές διαδικασίες εντός των οποίων έπρεπε να κινηθεί και η προσέγγιση που περιγράφεται στην παρούσα παράγραφο.

Η επιτυχία του εγχειρήματος εξαρτήθηκε από 4 βασικούς παράγοντες:

1. Την αντικειμενικότητα του δείγματος κλήσεων και χρηστών
2. Τον σχεδιασμό της διαδικασίας ώστε να μπορούν οι χρήστες να την εκτελέσουν με εύκολο τρόπο και χωρίς επιβάρυνση στο φόρτο εργασίας τους, καθώς σε άλλη περίπτωση το αίτημα για την εκτέλεση μετρήσεων δεν θα ικανοποιούνταν
3. Τη συσχέτιση της βαθμολόγησης των χρηστών ανά κλήση με αντικειμενικούς δείκτες επίδοσης του υπό μελέτη συστήματος
4. Τη μεθοδολογία ανάλυσης των αποτελεσμάτων

9.1 Υποκειμενικός έλεγχος ποιότητας τηλεφωνικών κλήσεων

Προτού χρησιμοποιηθεί το υπό μελέτη σύστημα για την υλοποίηση ραδιοεπικοινωνιών στο πλαίσιο του Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας, απαιτήθηκε από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας η αξιολόγηση της ποιότητας των τηλεφωνικών κλήσεων, με δεδομένο ότι το μεγαλύτερο μέρος του τηλεπικοινωνιακού διαύλου που σχεδιάστηκε (δηλαδή οι μετατροπείς RoIP/VoIP και το δορυφορικό δίκτυο) είναι κοινό στις 2 περιπτώσεις, άρα μία επιτυχής έκβαση θα έδινε το πράσινο φως για τη συνέχεια.

Ο υποκειμενικός έλεγχος έγινε με τη βοήθεια προσωπικού του Δήμου Πάτμου και της ΥΠΑ. Ο αρχικός σκοπός ήταν να πραγματοποιηθούν 100 τηλεφωνικές κλήσεις, οι οποίες θα αξιολογούνταν με τη βοήθεια των ερωτηματολογίων που παρατίθενται στην παράγραφο 18 τα οποία καταρτίστηκαν βάσει των προτύπων E.125 και P.82 της ITU-T (βλέπε Αναφορά 60 και Αναφορά 61 αντίστοιχα).

Η φάση αυτή τερματίστηκε πρόωρα αφού μετά από 10 κλήσεις, όλοι οι χρήστες απάντησαν «Εξαιρετική» στην ερώτηση 1.0 («Ποια από τις ακόλουθες 4 λέξεις είναι η κοντινότερη για να περιγράψει την ποιότητα της επικοινωνίας σας;») και «Όχι» στην ερώτηση 2.0 («Είχατε κάποια δυσκολία να μιλήσετε ή να ακούσετε κατά τη διάρκεια της κλήσης;»). Δεν υπήρχε λοιπόν λόγος απάντησης στις υπόλοιπες ερωτήσεις. Τα σχόλιά τους, όπως καταγράφηκαν στην ερώτηση 2.10 («Θα θέλατε να αναφέρετε κάτι άλλο σε σχέση με την ποιότητα της επικοινωνίας σας;») ήταν, μεταξύ άλλων:

- Είστε σίγουροι πως χρησιμοποιείτε δορυφόρο;
- Δεν υπάρχει ίχνος ηχούς.
- Ακούω δυνατά και καθαρά.

Συνεπακόλουθα, ο υποκειμενικός έλεγχος τερματίστηκε με το συμπέρασμα πως η ποιότητα των τηλεφωνικών κλήσεων αντιστοιχεί σε τιμές του παράγοντα R σαφώς πάνω από 80, όπως καταγράφηκε στην παράγραφο 3.3.2.4, άρα και ενός παράγοντα πλεονεκτήματος μεγαλύτερου του 20, εκπληρώνοντας την απαίτηση 20 της παραγράφου 3.7. Επιπλέον, η ανυπαρξία ακουστικής ηχούς επιβεβαιώνει την εκπλήρωση της απαίτησης 26 της παραγράφου 3.7 για την τιμή της παραμέτρου $TELR$ που ποσοτικοποιεί τη σωστή λειτουργία του ακυρωτή ηχούς.

9.2 Ορισμός του συστήματος υπό αξιολόγηση

Προτού παρουσιαστούν με λεπτομέρεια οι παράγοντες που επηρεάζουν την αξιολόγηση του συστήματος για κλήσεις ασυρμάτου, κάτι που αποτελεί τον βασικό στόχο της διατριβής, πρέπει να σημειωθεί πως εφόσον χρησιμοποιούνται άνθρωποι, η υποκειμενικότητά τους επηρεάζει το αποτέλεσμα. Από την άλλη, τόσο οι ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας όσο και οι πιλότοι είναι εκπαιδευμένοι σε αντίστοιχες διαδικασίες και μπορούν να διαχωρίσουν τα προβλήματα που προκαλούν οι ίδιοι από εκείνα που αφορούν στο σύστημα που αξιολογούν. Σε αυτό το γεγονός βασίζεται η μεθοδολογία Controller Acceptance Rating Scale (CARS) που θα παρουσιαστεί στις επόμενες παραγράφους.

Εκτός του ελεγκτή και του πιλότου, το σύστημα υπό αξιολόγηση περιλαμβάνει:

- Το σύστημα που μελετήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας
- Τον ασυρματικό εξοπλισμό VHF, τόσο του εναέριου μέσου όσο και του αναμεταβιβαστικού σταθμού
- Τον εναέριο χώρο ανάμεσα στο εναέριο μέσο και τον αναμεταβιβαστικό σταθμό
- Τον εξοπλισμό του ελεγκτή και του πιλότου (ακουστικό και μικρόφωνο)

Από την οπτική γωνία των χρηστών, η επίδραση στην ποιότητα των κλήσεων ασυρμάτου θα έπρεπε ιδεατά να μπορεί να επιμεριστεί μεταξύ των τμημάτων που απαρτίζουν το υπό αξιολόγηση σύστημα. Αν για παράδειγμα η επικοινωνία με ένα εναέριο μέσο δεν καταστεί δυνατή επειδή αυτό βρίσκεται εκτός ραδιοκάλυψης του πομποδέκτη που χρησιμοποιείται, αυτό δεν αποτελεί μειονέκτημα της σχεδίασης του υπό μελέτη συστήματος.

Αυτός ο επιμερισμός δεν είναι πάντα δυνατός, αν και όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν στις παραγράφους που ακολουθούν επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό και οι χρήστες αξιολόγησαν τη συσχέτιση του υπό μελέτη συστήματος με αντίστοιχα τα οποία χρησιμοποιούν στην καθημερινότητά τους, κάτι που ήταν και ο αρχικός σκοπός.

9.3 Η αντικειμενικότητα του δείγματος

Το δείγμα που έπρεπε να χρησιμοποιηθεί έχει 2 διαστάσεις:

- Τον τύπο και αριθμό των κλήσεων ασυρμάτου: Για να θεωρηθεί η αξιολόγηση αντιπροσωπευτική, ήταν απαραίτητο ένα αρκετά μεγάλο δείγμα υπό διαφορετικές επιχειρησιακές συνθήκες. Η πληροφορία αυτή δεν ήταν δυνατό να συλλεγεί χρησιμοποιώντας μόνο ελικόπτερα που προσέγγιζαν το ελικοδρόμιο της Πάτμου, καθώς θα απαιτούνταν πολλοί μήνες για να τελειώσει η αξιολόγηση. Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε από κοινού με την ΥΠΑ να περιληφθούν κλήσεις ασυρμάτου με υπερπτήσεις αεροπλάνων στη περιοχή του Νοτιοανατολικού τομέα του FIR Αθηνών σε διάφορα ύψη πτήσης και ποικίλους αεροδιαδρόμους (πτήσεις IFR και VFR).
- Τον αριθμό των χρηστών που θα εμπλέκονταν: Η αξιολόγηση έγινε στη διάρκεια του καλοκαιριού του 2010, μία περίοδο με τρομερή κυκλοφορία και φόρτο εργασίας για τους ελεγκτές. Παρόλο που θα ήταν λογικό να εμπλακούν όσο το δυνατό περισσότεροι ελεγκτές από τους 60 που εργάζονται στο Κέντρο Ελέγχου Περιοχής Αθηνών, η αρχική τοποθέτηση της διοίκησής τους ήταν πως θα μπορούσε να απασχολήσει το πολύ 2. Τελικά, όπως θα φανεί από τα αποτελέσματα, το σύστημα χρησιμοποιήθηκε από τουλάχιστον 15 χρήστες, ένα μέγεθος δείγματος οποίο κρίθηκε από την Υπηρεσία ως επαρκέστατο.

9.4 Η διαδικασία υποκειμενικής μέτρησης της ποιότητας κλήσης ασυρμάτου

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε βασίστηκε στη χρήση ερωτηματολογίων, τα οποία έπρεπε να συμπληρώσουν, για κάθε κλήση ασυρμάτου ξεχωριστά, μόνον οι ελεγκτές και όχι οι πιλότοι, καθώς το τελευταίο ήταν αδύνατο. Τα βήματα που ορίστηκαν εναρμονίστηκαν με

διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας, καθώς σε κάθε άλλη περίπτωση, δεν θα ακολουθούσαν:

- Αρχικά, ο ελεγκτής επικοινωνεί με το εναέριο μέσο χρησιμοποιώντας τις ήδη γνωστές συχνότητες για τον Νοτιοανατολικό τομέα του Ελληνικού εναέριου χώρου, δηλαδή μέσω τηλεπικοινωνιακού διαύλου διαφορετικού από αυτόν που υλοποιεί το υπό μελέτη σύστημα. Το εναέριο μέσο αυτό μπορεί να είναι είτε υπέρπτηση αεροπλάνου ή ελικοπτέρου (πτήση IFR ή VFR), είτε κάποιο ελικόπτερο που προσεγγίζει το ελικοδρόμιο της Πάτμου (πτήση VFR)
- Κατόπιν ζητά από τον πιλότο να αλλάξει τη συχνότητα επικοινωνίας σε αυτή του πομποδέκτη VHF του υπό μελέτη συστήματος (121.625 MHz, σύμφωνα με την παράγραφο 5.4)
- Στη συνέχεια αξιολογεί την ποιότητα της κλήσης με χρήση των ερωτηματολογίων που παρουσιάζονται στο υπόλοιπο της παραγράφου. Εάν είναι δυνατό, ζητά και καταγράφει επιπλέον την άποψη του πιλότου

Η διαδικασία αυτή προβλέπεται από τον ICAO για τον έλεγχο νέων εγκαταστάσεων αναμεταβιβαστικών σταθμών και ονομάζεται “radio check”. Αξίζει να σημειωθεί πως η εκτέλεση της κάθε μέτρησης είναι στη διακριτική ευχέρεια του ελεγκτή, ο οποίος και αποφασίζει αν οι επιχειρησιακές συνθήκες καθώς και ο φόρτος εργασίας του επιτρέπουν να την κάνει ή όχι. Το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στην Αναφορά 62 και στην Αναφορά 63 και περιέχει μία σειρά ερωτήσεων που αποσκοπούν στην ποσοτικοποίηση της ποιότητας κλήσης με ειδική στόχευση στο θέμα της καθυστέρησης που αναμενόταν να αποτελέσει βασικό παράγοντα διαμόρφωσης της άποψης του χρήστη. Οι σχετικοί πίνακες φαίνονται κάτωθι. Ο ελεγκτής κλήθηκε αρχικά να συμπληρώσει κάποια στοιχεία για την κλήση και κατόπιν να βαθμολογήσει την ποιότητά της σε μία δεκαβάθμια κλίμακα και να συμπληρώσει τα όποια σχόλιά του τα οποία, όπως θα φανεί στη συνέχεια, ήσαν εξαιρετικά χρήσιμα.

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής		
2. Ωρα/ημερομηνία κλήσης		
3. Στοιχεία στόχου		
4. Τύπος πτήσης	VFR	IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου		

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πώς βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση αύξησε το ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

9.5 Η συσχέτιση της βαθμολόγησης των χρηστών με αντικειμενικούς δείκτες επίδοσης

Μία ακόμη προφανής ανάγκη ήταν η συσχέτιση της βαθμολόγησης των ελεγκτών με τους δείκτες επίδοσης του υπό μελέτη συστήματος ούτως ώστε:

- Να γίνουν γνωστά τυχόντα προβλήματα που αφορούν το υπό μελέτη σύστημα αρκετά νωρίς στη διαδικασία ώστε να επιλυθούν και να μην επηρεαστεί το τελικό αποτέλεσμα
- Να επιβεβαιωθεί η εκπλήρωση των απαιτήσεων που έχουν παρουσιαστεί σε προηγούμενες παραγράφους σε σχέση με την άποψη των χρηστών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 4.12.5, οι οντότητες λογισμικού που αναπτύχθηκαν καταγράφουν μία σειρά μετρήσεων οι οποίες και αποθηκεύονται σε αρχεία εντός των μετατροπών RoIP/VoIP στα 2 άκρα. Τα αρχεία αυτά συγκεντρώνονται κατόπιν με έναν αυτοματοποιημένο μηχανισμό στο Κέντρο Ελέγχου Περιοχής Αθηνών. Θα πρέπει να σημειωθεί πως για να είναι δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων από τις 2 διαφορετικές πηγές πληροφορίας (αναφορές ελεγκτών και αρχεία), θα πρέπει να υπάρχει κοινή βάση χρόνου μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό, ο εξοπλισμός που εγκαταστάθηκε στα 2 άκρα (βλέπε παράγραφο 5), συντονίστηκε με χρήση του πρωτοκόλλου NTP (Network Time Protocol) με έναν εξυπηρετητή εντός του ΚΕΠΑΘ, ο οποίος χρησιμοποιεί ως βάση χρόνου ρολόι GPS και παρέχει επίσης το ρολόι έδρας ελεγκτή με βάση το οποίο καταγράφηκαν οι χρόνοι των αναφορών.

9.6 Η μεθοδολογία ανάλυσης των αποτελεσμάτων

Αφού συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων με χρήση του ερωτηματολογίου της παραγράφου 9.4 καθώς και τα στατιστικά των κλήσεων ασυρμάτου όπως καταγράφονται από τους μετατροπείς RoIP/VoIP), ακολούθησε η επεξεργασία τους για να εξαχθούν συγκεκριμένα συμπεράσματα που να αποδεικνύουν πως:

- Οι τροποποιήσεις του E-model που προτάθηκαν στην παράγραφο 3 είναι σωστές
- Η τεχνολογία RoIP over satellite είναι κατάλληλη για έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας

Το πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση αυτή ήταν η προ-επεξεργασία των βαθμολογιών και κυρίως των σχολίων των ελεγκτών καθώς και των στατιστικών των κλήσεων ούτως ώστε να εντοπιστούν και να διορθωθούν εγκαίρως προβλήματα, είτε του υπό μελέτη συστήματος, είτε των υπόλοιπων τμημάτων που απαρτίζουν το σύστημα που αξιολογείται, σύμφωνα με την παράγραφο 9.2. Όπως θα φανεί στην παράγραφο 9.7.1, η προ-επεξεργασία αυτή αποδείχθηκε εξαιρετικά σημαντική.

Κατόπιν, τα αποτελέσματα της βαθμολογίας των ελεγκτών χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία ιστογραμμάτων και τον υπολογισμό μέσης τιμής και μεταβλητότητας των αποτελεσμάτων. Τέλος, τα αποτελέσματα της βαθμολογίας συσχετίστηκαν με τα στατιστικά των κλήσεων, ολοκληρώνοντας την προσέγγιση.

9.7 Το χρονικό των μετρήσεων και τα αποτελέσματα

Η διαδικασία συλλογής των μετρήσεων ξεκίνησε στις 20/07/2010 μετά από επίσημο αίτημα της Διεύθυνσης Communications, Navigation και Surveillance (CNS) της ΥΠΙΑ προς την Διεύθυνση Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας. Οι ελεγκτές συμφώνησαν να αξιολογήσουν το σύστημα έως το τέλος του Σεπτεμβρίου 2010, λαμβάνοντας πάντα υπ'όψιν τους τον φόρτο εργασίας τους και την πυκνότητα της κυκλοφορίας λόγω της καλοκαιρινής περιόδου αιχμής για τον Ελληνικό εναέριο χώρο. Η συμμετοχή τους ήταν λίγο επιφυλακτική στην αρχή, όπως θα γίνει σαφές από τα σχόλιά τους, αλλά σύντομα εμπιστεύτηκαν το σύστημα, καθώς τους παρείχε ραδιοκάλυψη στη δύσκολη περιοχή του νοτιοανατολικού Αιγαίου.

Καθ'όλη τη διάρκεια της αξιολόγησης, όλες οι υπόλοιπες υπηρεσίες που παρέχει το υπό μελέτη σύστημα (βλέπε παράγραφο 4.14) ήταν σε πλήρη λειτουργία παράγοντας κίνηση στο

δορυφορικό δίκτυο IP. Λόγω της υλοποίησης των υπηρεσιών αυτών, η κίνηση αυτή παραμένει σταθερή ανεξάρτητα του αριθμού των χρηστών που την χρησιμοποιούν, οπότε οι συνθήκες του πειράματος ήταν αντιπροσωπευτικές.

Σε ότι αφορά την αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος, όπως θα φανεί από τις αναφορές των ελεγκτών, οι στόχοι (τόσο VFR όσο και IFR) κάλυψαν μία ευρεία γεωγραφική περιοχή και διάφορα ύψη πτήσης. Επίσης, παρόλο που ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε την εμπλοκή 2 ελεγκτών, λόγω του φόρτου εργασίας, περισσότεροι από 15 αξιολόγησαν το σύστημα. Η ανταπόκριση αυτή αποδεικνύει τη χρησιμότητα και παρέχει ενδείξεις για την επαρκή επίδοση του υπό μελέτη συστήματος. Επίσης βελτιώθηκε δραστικά η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος των χρηστών.

9.7.1 Αποτελέσματα προ-επεξεργασίας των μετρήσεων

Κατά τη διάρκεια της συλλογής των μετρήσεων και πριν αυτή ολοκληρωθεί, ξεκίνησε η προ-επεξεργασία τους με σκοπό την ανίχνευση και έγκαιρη αντιμετώπιση προβλημάτων τα οποία ήταν πιθανό να εμφανιστούν με δεδομένη την πειραματική φύση του υπό μελέτη συστήματος. Για την προ-επεξεργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν τόσο οι αναφορές των ελεγκτών όσο και τα στατιστικά στοιχεία των κλήσεων ασυρμάτου που συλλέγονται από τους μετατροπείς RoIP/VoIP των 2 άκρων για κάθε κλήση ξεχωριστά.

Αυτή η γρήγορη απόκριση κέρδισε την εκτίμηση των ελεγκτών και διευκόλυνε σημαντικά τη συνέχεια της διαδικασίας, απομακρύνοντας την πιθανότητα μείωσης της εγκυρότητας της αξιολόγησης ή ακόμα και της πλήρους εγκατάλειψής της από τους ελεγκτές, πιστεύοντας ότι το σύστημα δεν λειτουργεί σωστά.

Αρχικά παρατηρήθηκε πως οι πρώτες αναφορές κλήσεων (Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 1, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 2 και Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 3) καταγράφουν ένα πρόβλημα που περιγράφεται ως:

«Δεν ακούω τη συχνότητα να «κόβει». Αυτό μου δημιουργεί την αίσθηση ότι η συχνότητα δεν λειτουργεί και επομένως ανασφάλεια. Επίσης δεν ακούω την επιστροφή της φωνής μου σε κάθε εκπομπή και αυτό μου δημιουργεί την αίσθηση ότι δεν εκπέμπω. Επομένως δημιουργείται ανασφάλεια.»

Το λεκτικό του σχολίου έγινε σαφές μετά από διευκρινίσεις που ζητήθηκαν από τους ελεγκτές και το πρόβλημα εντοπίστηκε ως ένα λάθος παραμετροποίησης που οδήγησε στην αποκοπή της ανάδρασης της εκπεμπόμενης από τον ελεγκτή φωνής προς τη λήψη του, απαίτηση η οποία καταγράφηκε στην παράγραφο 3.2.2. Όπως φαίνεται από τις υπόλοιπες αναφορές, το πρόβλημα δεν αναφέρθηκε ξανά.

Κατόπιν παρατηρήθηκε πως σε έναν σημαντικό αριθμό αναφορών (Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 4, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 6, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 7, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 8, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 9, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 10, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 11, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 14, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 17 και Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 18), ο ελεγκτής κατέγραψε την ύπαρξη ενός μικρού θορύβου, ενώ ο πιλότος δεν εντόπισε κάτι αντίστοιχο. Με τη βοήθεια της ΥΠΑ, το πρόβλημα αποδόθηκε στην εγκατάσταση του δέκτη VHF και κάποια πιθανή παρεμβολή στη λήψη. Οι ελεγκτές θεώρησαν το πρόβλημα ασήμαντο, οπότε δεν ζήτησαν την ανάληψη κάποιας δράσης.

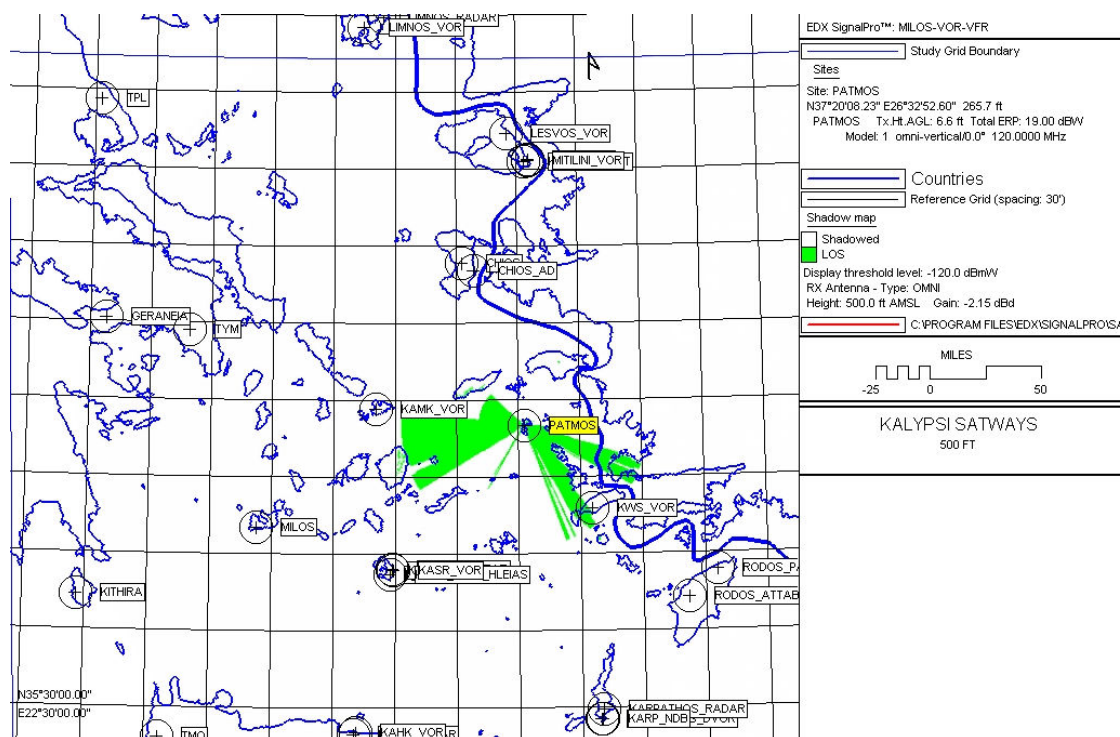
Η πλειοψηφία των σχολίων στις υπόλοιπες αναφορές αφορούσαν θέματα ραδιοκάλυψης. Τα σχόλια αυτά γίνονταν όλο και πιο λεπτομερή καθώς η διαδικασία εξελισσόταν, υποδεικνύοντας 2 πράγματα:

- Οι ελεγκτές άρχισαν να εμπιστεύονται το σύστημα που αξιολογούσαν και αντί να το χρησιμοποιούν μόνον για “radio check” όπως όριζε η διαδικασία της παραγράφου 9.4, άρχισαν να εκτελούν έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας μέσω αυτού. Αρκετές αναφορές (Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 14, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 15, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 17 και Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 18) περιγράφουν

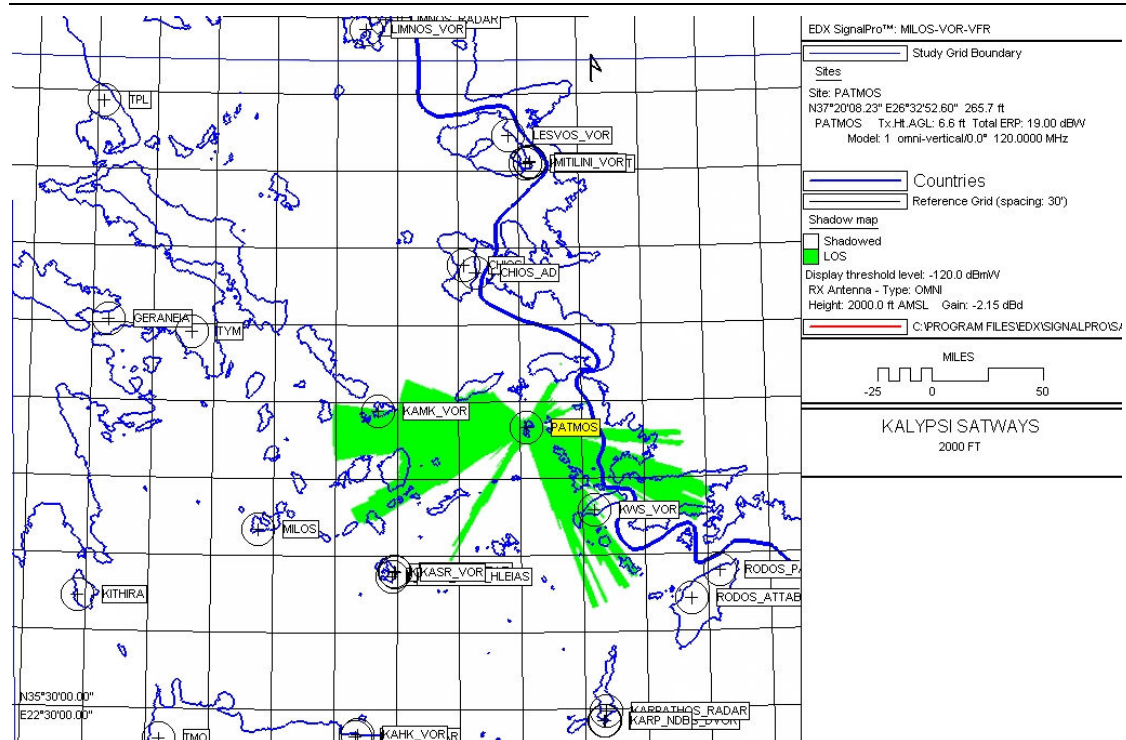
ενέργειες ελέγχου με μεγάλη διάρκεια κατά την οποία το ιπτάμενο μέσο κάλυψε δεκάδες μίλια.

- Οι ελεγκτές, με δεδομένη την τεράστια εμπειρία τους με τον Ελληνικό εναέριο χώρο και προσπαθώντας να βοηθήσουν στην αξιολόγηση, σύντομα αφοσιώθηκαν στο θέμα της ραδιοκάλυψης, ξεχνώντας τη χρήση δορυφορικής επικοινωνίας και αντιμετωπίζοντας το σύστημα υπό αξιολόγηση όπως ένα οποιοδήποτε άλλο από αυτά που χρησιμοποιούν καθημερινά.

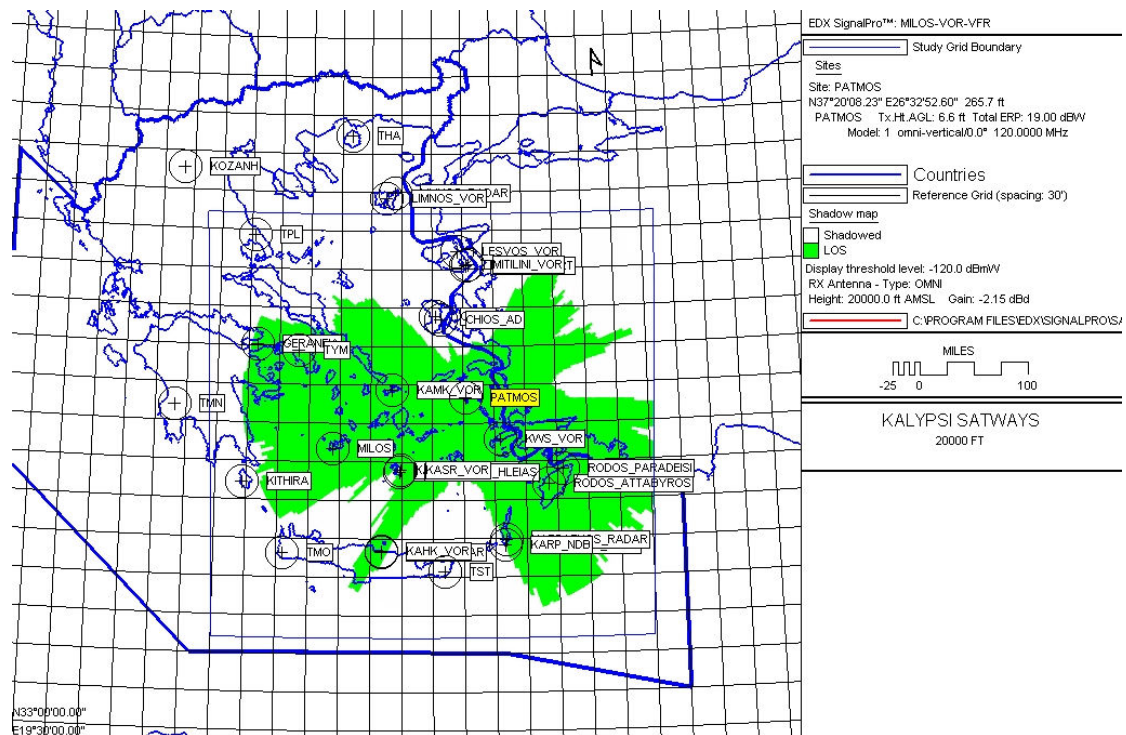
Η αξιολόγηση των σχολίων των ελεγκτών ούτως ώστε να απομονωθεί ο παράγοντας της ραδιοκάλυψης από την ποσοτικοποίηση της ποιότητας της κλήσης που το υπό μελέτη σύστημα παρέχει έγινε με τη βοήθεια κατάλληλων διαγραμμάτων που παρήγαγε η ΥΠΑ με δεδομένα εισόδου τη γεωγραφική θέση, τη συχνότητα και την ισχύ εκπομπής του πομποδέκτη του αναμεταβιβαστικού σταθμού στο ελικοδρόμιο της Πάτμου, τα οποία παρουσιάζονται στα πιο κάτω σχήματα.



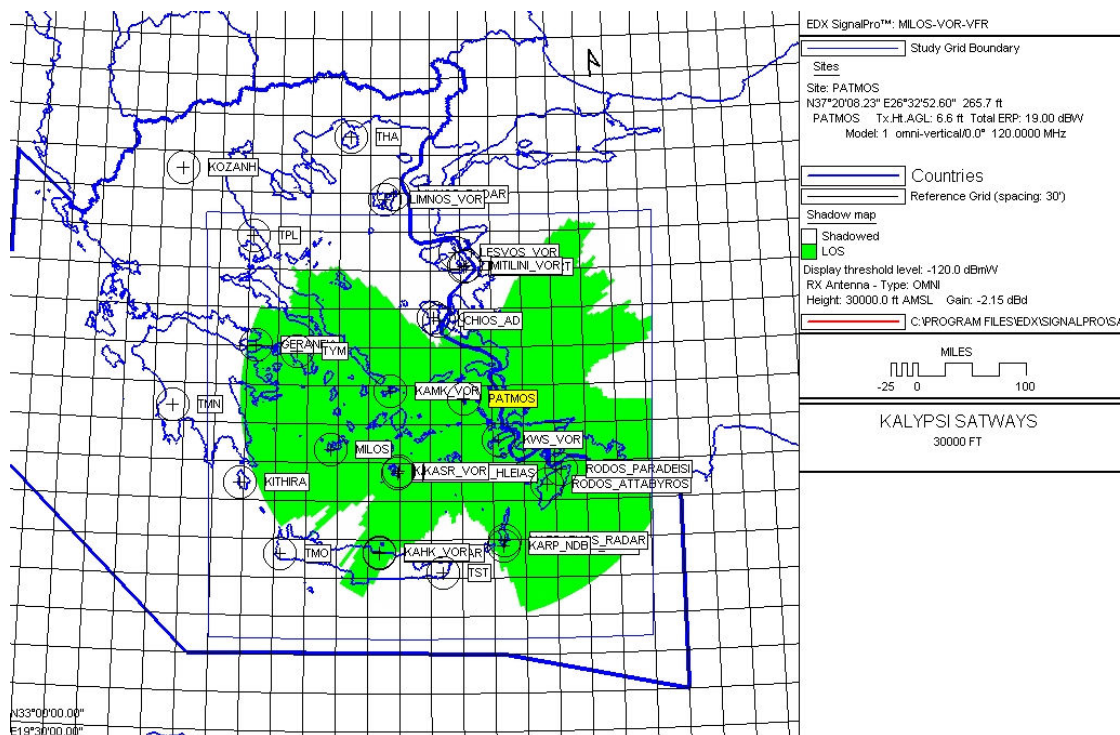
Σχήμα 86. Διάγραμμα ραδιοκάλυψης σε ύψος 500 ποδιών



Σχήμα 87. Διάγραμμα ραδιοκάλυψης σε ύψος 2000 ποδιών



Σχήμα 88. Διάγραμμα ραδιοκάλυψης σε ύψος 20000 ποδιών

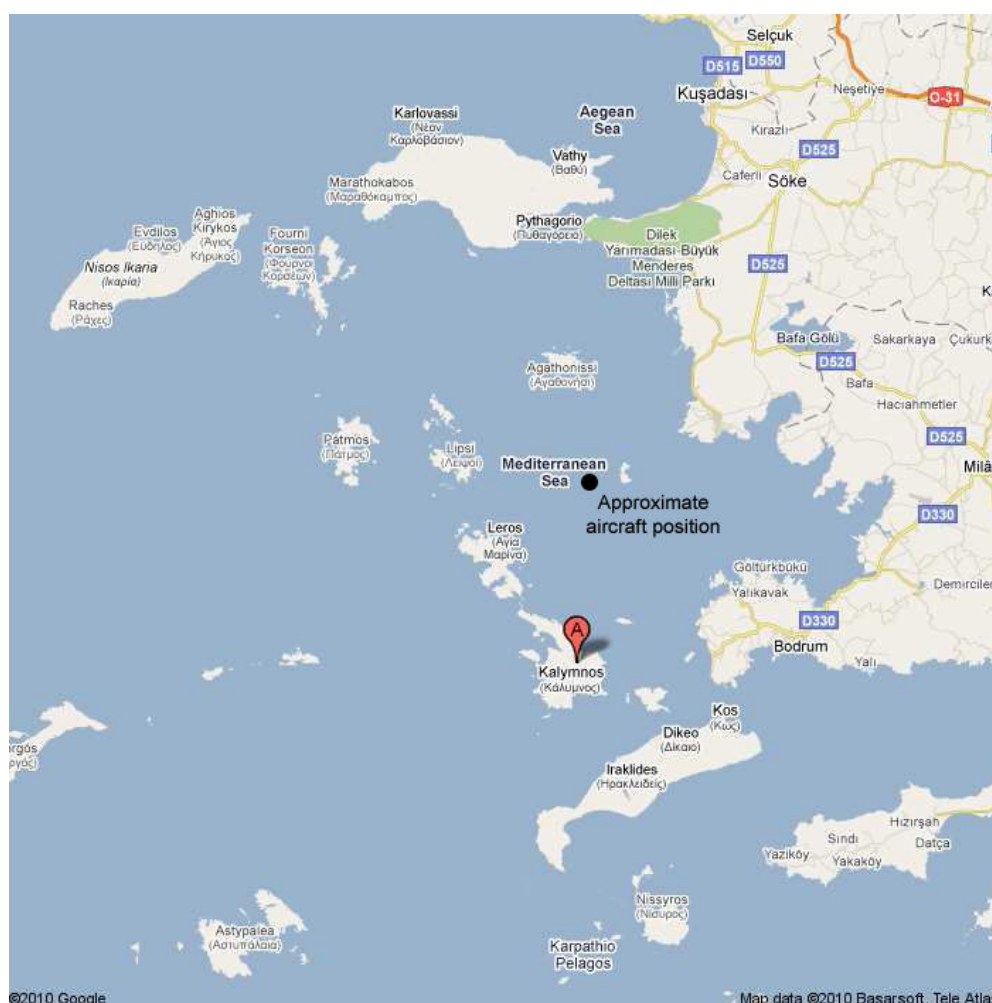


Σχήμα 89. Διάγραμμα ραδιοκάλυψης σε ύψος 30000 ποδιών

Τα διαγράμματα αυτά κοινοποιήθηκαν στους ελεγκτές. Οι αναφορές που περιέχουν σχόλια που μπορεί να σχετίζονται με ζητήματα ραδιοκάλυψης είναι:

- Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 8: Το εναέριο μέσο πετούσε 46 NM δυτικά της Πάτμου σε ύψος 16500 ft. Το Σχήμα 88 δείχνει πολύ καλή ραδιοκάλυψη, κάτι το οποίο επισημαίνεται και στην αναφορά του ελεγκτή
- Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 9: Το εναέριο μέσο πετούσε 40 NM δυτικά της Πάτμου σε ύψος 6900 ft. Το Σχήμα 87 και το Σχήμα 88 δείχνουν πολύ καλή ραδιοκάλυψη από ύψος 2000 ποδών έως ύψος 20000 ποδών, κάτι το οποίο επισημαίνεται και στην αναφορά του ελεγκτή
- Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 11: Το εναέριο μέσο πετούσε 58 NM δυτικά της Πάτμου σε ύψος 4500 ft. Το Σχήμα 87 και το Σχήμα 88 δείχνουν πολύ καλή ραδιοκάλυψη από ύψος 2000 ποδών έως ύψος 20000 ποδών, κάτι το οποίο επισημαίνεται και στην αναφορά του ελεγκτή
- Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 12: Το εναέριο μέσο πετούσε 40 NM δυτικά της Πάτμου σε ύψος 12500 ft. Το Σχήμα 87 και το Σχήμα 88 δείχνουν πολύ καλή ραδιοκάλυψη από ύψος 2000 ποδών έως ύψος 20000 ποδών, κάτι το οποίο επισημαίνεται και στην αναφορά του ελεγκτή
- Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 13: Το εναέριο μέσο πετούσε 20 NM δυτικά της Πάτμου σε ύψος 9000 ft. Το Σχήμα 87 και το Σχήμα 88 δείχνουν πολύ καλή ραδιοκάλυψη από ύψος 2000 ποδών έως ύψος 20000 ποδών, κάτι το οποίο επισημαίνεται και στην αναφορά του ελεγκτή
- Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 14: Οι επικοινωνίες έγιναν σε ύψος 7700 ft, 26 NM δυτικά της Πάτμου, σε ύψος 10300 ft, 40 NM δυτικά της Πάτμου και σε ύψος 12000 ft, 65 NM δυτικά της Πάτμου. Οι πρώτες 3 επικοινωνίες δεν παρουσίασαν προβλήματα, όπως και αναμενόταν σύμφωνα με το Σχήμα 87 και το Σχήμα 88 δείχνουν πολύ καλή ραδιοκάλυψη από ύψος 2000 ποδών έως ύψος 20000 ποδών. Κατά την τελευταία επικοινωνία, παρουσιάστηκε σημαντικό επίπεδο θορύβου. Πράγματι, το Σχήμα 87 και το Σχήμα 88 υποδεικνύουν πως η θέση του εναερίου μέσου ήταν εκτός ραδιοκάλυψης, όπως άλλωστε επεσήμανε ο ελεγκτής

- Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 15: Οι επικοινωνίες έγιναν σε ύψος 7500 ft, 14 NM δυτικά της Πάτμου, σε ύψος 9000 ft, 18 NM δυτικά της Πάτμου και σε ύψος 12000 ft, 65 NM δυτικά της Πάτμου. Οι πρώτες 2 επικοινωνίες δεν παρουσίασαν προβλήματα, όπως και αναμενόταν σύμφωνα με το Σχήμα 87 και το Σχήμα 88 δείχνουν πολύ καλή ραδιοκάλυψη από ύψος 2000 ποδών έως ύψος 20000 ποδών. Κατά την τελευταία επικοινωνία, παρουσιάστηκε σημαντικό επίπεδο θορύβου. Πράγματι, το Σχήμα 87 και το Σχήμα 88 υποδεικνύουν πως η θέση του εναέριου μέσου ήταν εκτός ραδιοκάλυψης, όπως άλλωστε επεσήμανε ο ελεγκτής
- Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 16: Το εναέριο μέσο πετούσε 40 NM δυτικά της Πάτμου σε ύψος 10400 ft. Το Σχήμα 87 και το Σχήμα 88 δείχνουν πολύ καλή ραδιοκάλυψη από ύψος 2000 ποδών έως ύψος 20000 ποδών, κάτι το οποίο επισημαίνεται και στην αναφορά του ελεγκτή
- Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 17: Όταν το εναέριο μέσο βρισκόταν 15 NM βόρεια της Καλύμνου και σε ύψος πτήσης 6500 ft, η επικοινωνία ήταν προβληματική. Πράγματι, το Σχήμα 87, το Σχήμα 88 και το Σχήμα 90 υποδεικνύουν μία σκιά στην ραδιοκάλυψη που προκαλείται από το νησί των Λειψών
- Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 19: Το εναέριο μέσο πετούσε 18 NM δυτικά της Πάτμου σε ύψος 13500 ft. Το Σχήμα 87 και το Σχήμα 88 δείχνουν πολύ καλή ραδιοκάλυψη από ύψος 2000 ποδών έως ύψος 20000 ποδών, κάτι το οποίο επισημαίνεται και στην αναφορά του ελεγκτή



Σχήμα 90. Θέση αεροσκάφους (κατά προσέγγιση) όπως καταγράφηκε στην Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 17

Μελετώντας παράλληλα τα στατιστικά των κλήσεων αποκαλύφθηκε πως ενώ από την 20^η Ιουλίου έως την 1^η Αυγούστου 2010, η διακύμανση της καθυστέρησης και ο ρυθμός απώλειας πακέτων παρέμειναν πολύ κοντά στις απαιτήσεις που καταγράφηκαν στην παράγραφο 3.7, σε κάποια χρονική στιγμή ανάμεσα στις 5:00 AM και τις 9:00 AM UTC στη 1^η Αυγούστου, ο ρυθμός απώλειας πακέτων πολλαπλασιάστηκε 5 φορές, υποδεικνύοντας πιθανό πρόβλημα.

Προς διερεύνηση της κατάστασης, εγκαταστάθηκε μία εφαρμογή στους 2 μετατροπείς RoIP/VoIP η οποία εκπέμπει περιοδικά ένα πακέτο ping από το 1 άκρο στο άλλο και προς τις 2 κατευθύνσεις. Αποκαλύφθηκαν τα ακόλουθα:

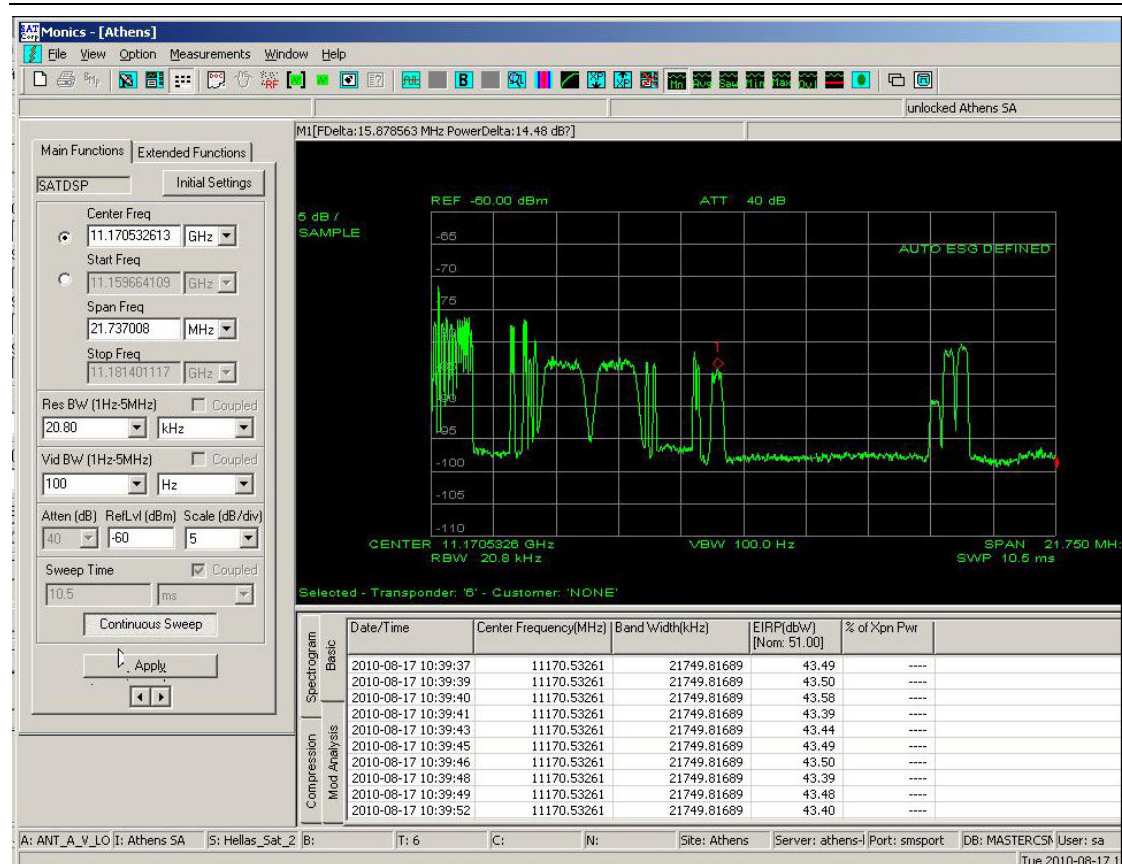
- 1 από τα περίπου 20 πακέτα χάνονταν με απόλυτα προβλέψιμο τρόπο
- Κάθε x λεπτά, ο συγχρονισμός μεταξύ των 2 δορυφορικών modems χάνονταν για 20 δευτερόλεπτα. Η συμπεριφορά αυτή μπορούσε να προβλεφθεί μέχρι το δευτερόλεπτο, αν και η τιμή x διέφερε, με την πιο συνήθη τιμή να είναι 50 λεπτά
- Μία ποικιλία παραμέτρων επίδοσης που καταγράφουν τα modems παρουσίαζε κυκλική επιδείνωση και βελτίωση

Η πρώτη εντύπωση ήταν πως επρόκειτο για παρεμβολή από άλλο σταθμό που εκπέμπει, εκούσια ή ακούσια στο ίδιο φέρον. Για να διαπιστωθεί η αλήθεια της υπόθεσης, ο σταθμός master απενεργοποιήθηκε στις 17 Αυγούστου και η εταιρία Hellas Sat έκανε σειρά μετρήσεων που παρουσιάζονται στην Εικόνα 22 ως Εικόνα 27. Το πείραμα απέδειξε πως όταν δεν εκπέμπει ο σταθμός master, υπάρχει εκπομπή στο φέρον η οποία μπορεί να αποδοθεί:

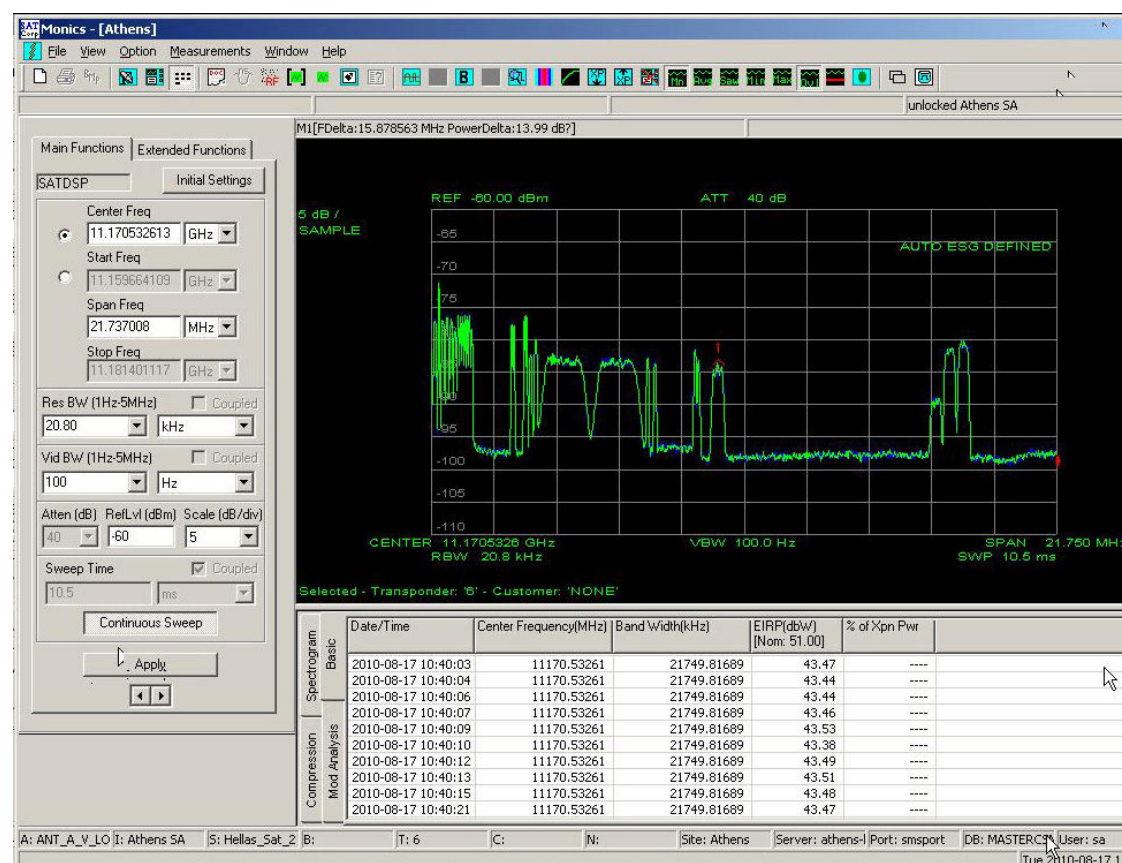
- Στον σταθμό slave. Πάραυτα, ο ρυθμός εκπομπής συμβόλων που αναφέρθηκε από την Hellas Sat για την παρεμβολή ήταν 403.94 kbauds/sec, ενώ το δορυφορικό δίκτυο που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιεί ρυθμό εκπομπής συμβόλων ίσο με 392.5 kbauds/sec.
- Σε άλλον σταθμό

Το επόμενο βήμα στη διάγνωση του προβλήματος ήταν να απενεργοποιηθούν, με τη βοήθεια του Δήμου της Πάτμου και οι 2 σταθμοί ταυτόχρονα στις 20 Αυγούστου και μία νέα σειρά μετρήσεων (Εικόνα 28 έως Εικόνα 30) απέδειξε πως πρόκειται για παρεμβολή, η οποία εξαφανίστηκε αργότερα την ίδια ημέρα. Έκτοτε, οι 2 σταθμοί λειτούργησαν κανονικά χωρίς άλλα προβλήματα.

Η καταλληλότητα της τεχνολογίας Radio over IP σε συνδυασμό με δορυφορική μετάδοση στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας

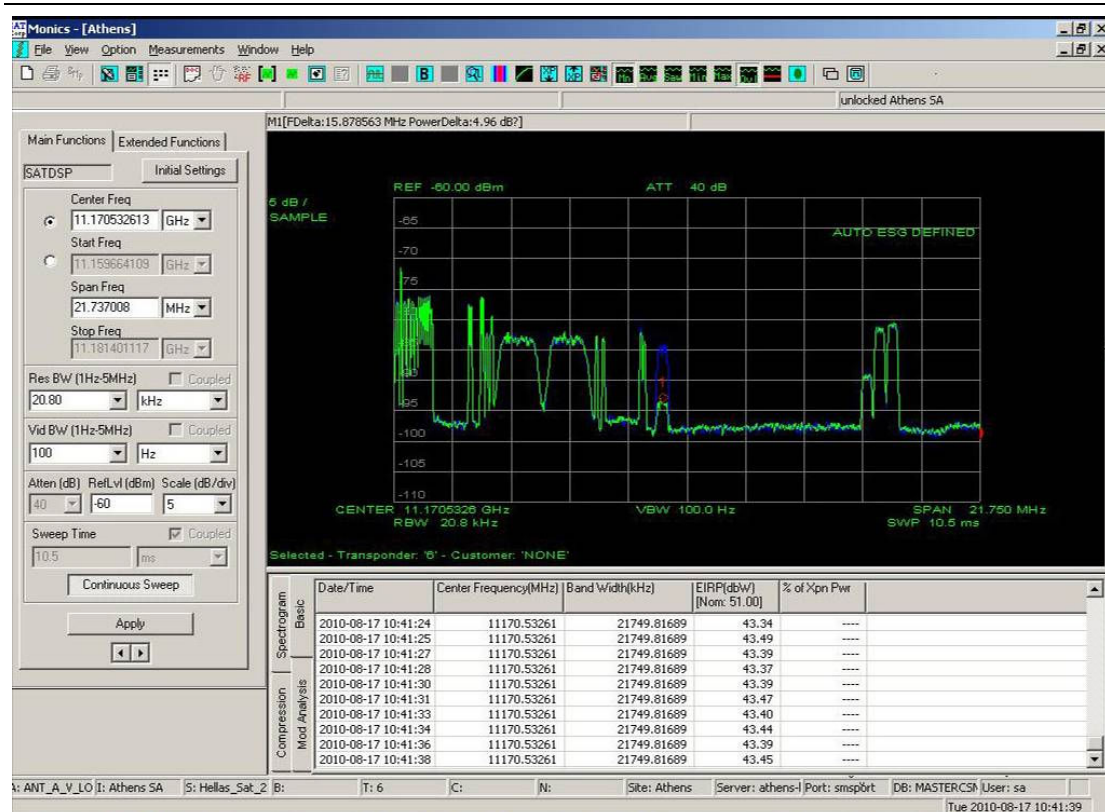


Εικόνα 22. Αρχική κατάσταση, εκπομπή και από τους 2 σταθμούς

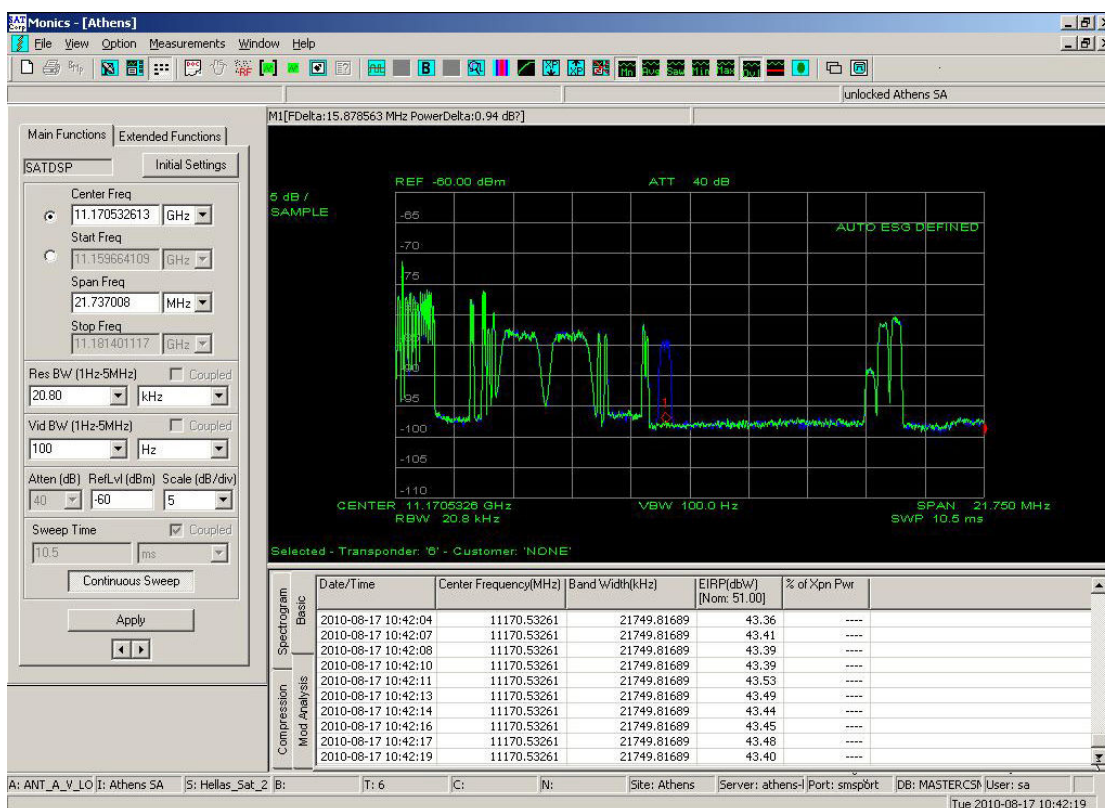


Εικόνα 23. Αποθήκευση στη μνήμη αρχικής κατάστασης (μπλε χρώμα)

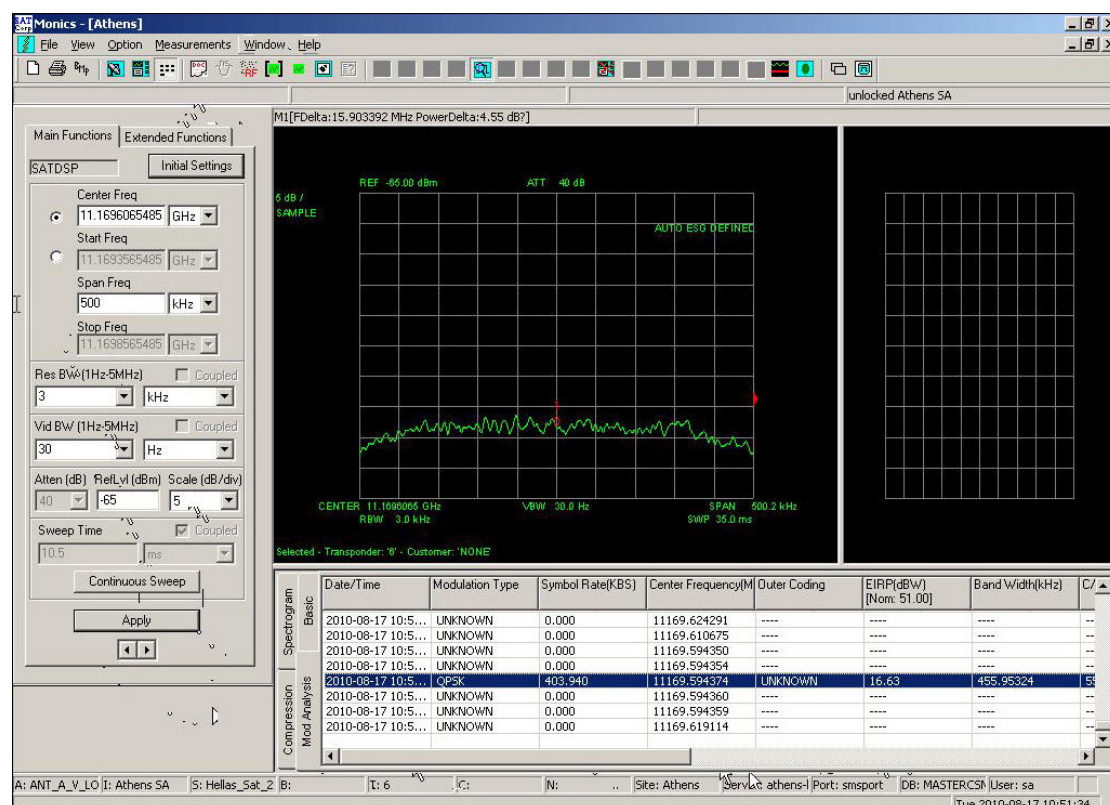
Η καταλληλότητα της τεχνολογίας Radio over IP σε συνδυασμό με δορυφορική μετάδοση στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας



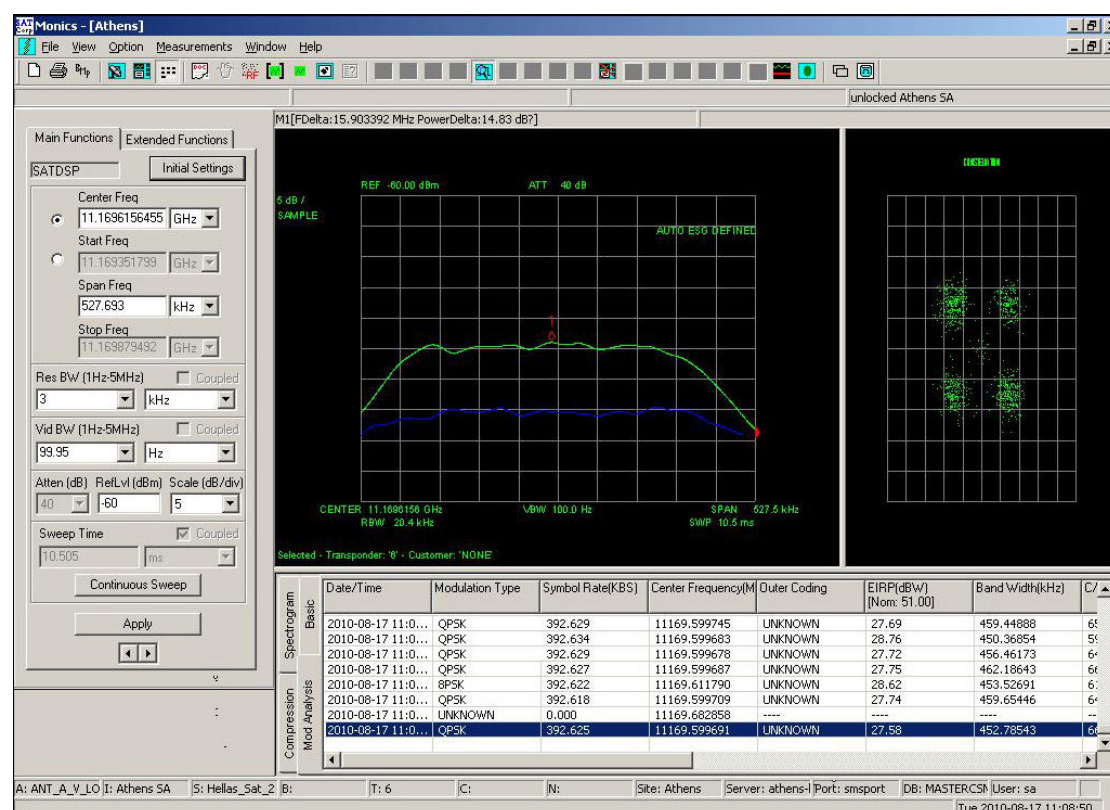
Εικόνα 24. Απενεργοποίηση σταθμού master



Εικόνα 25. Απενεργοποίηση σταθμού master – Δεν υπάρχουν άλλες εκπομπές στο φέρον

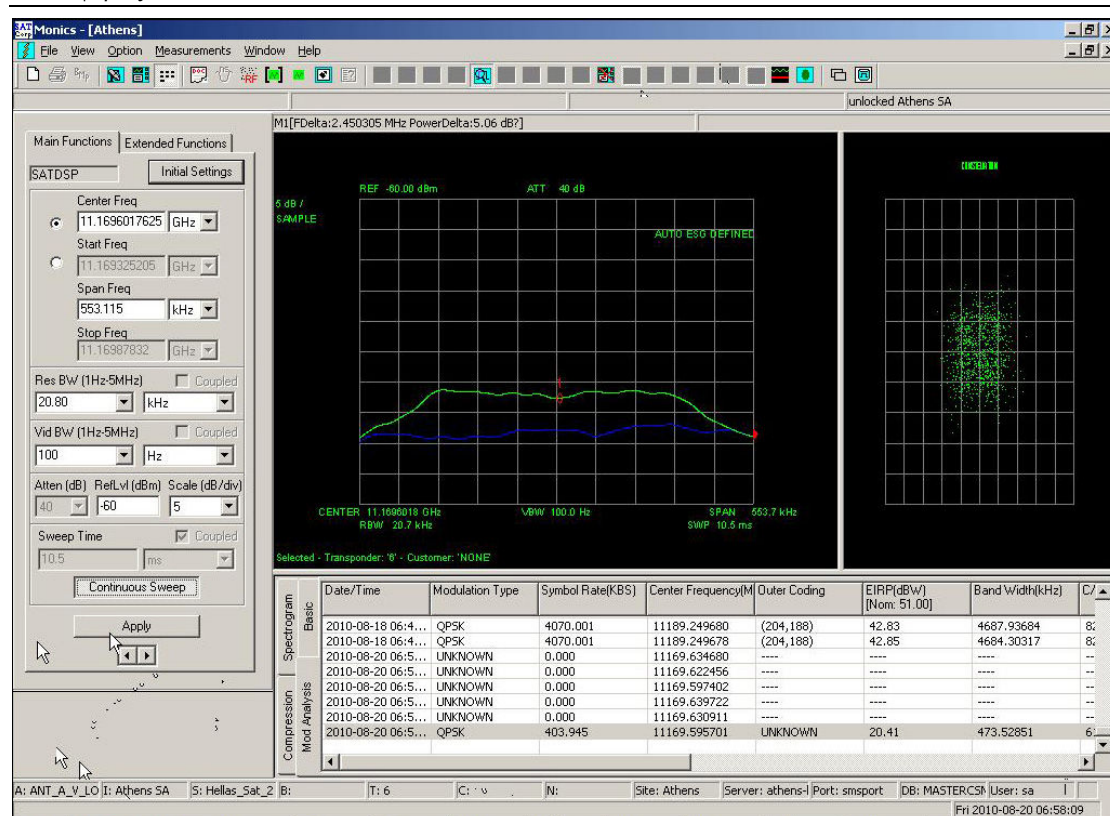


Εικόνα 26. Σταθμός master ενεργοποιημένος – Παρεμβολή παρούσα

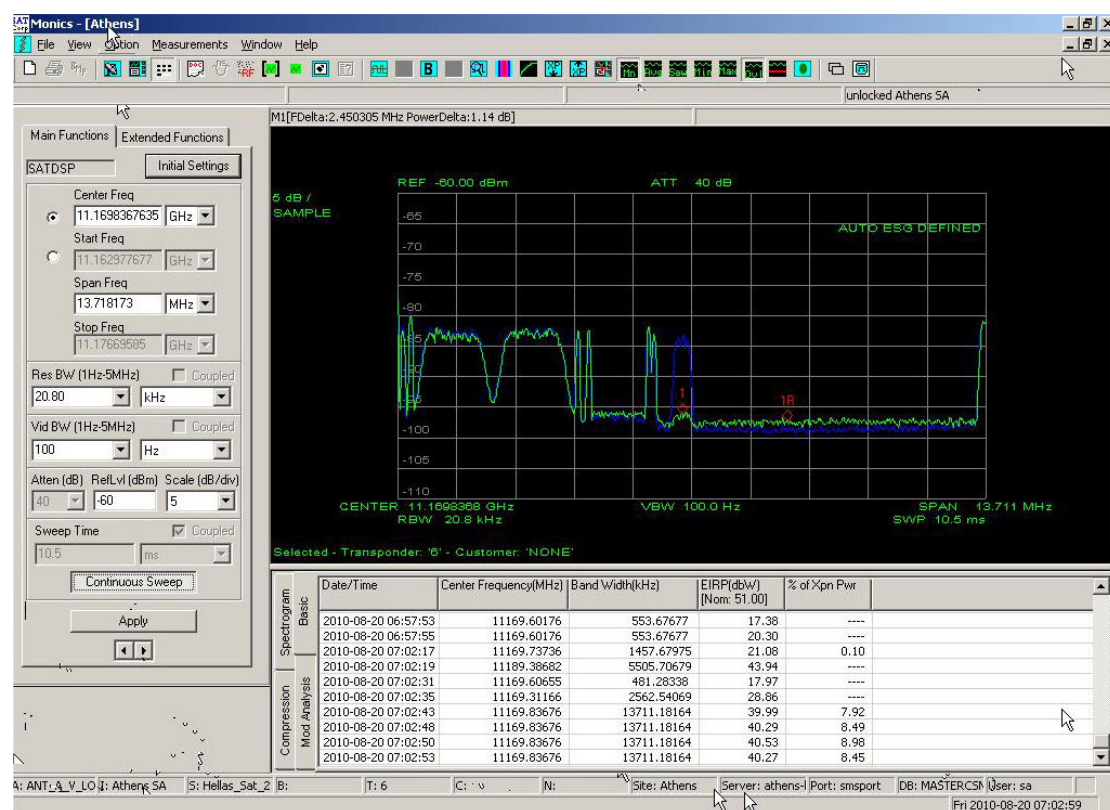


Εικόνα 27. Επανενεργοποίηση και των 2 σταθμών

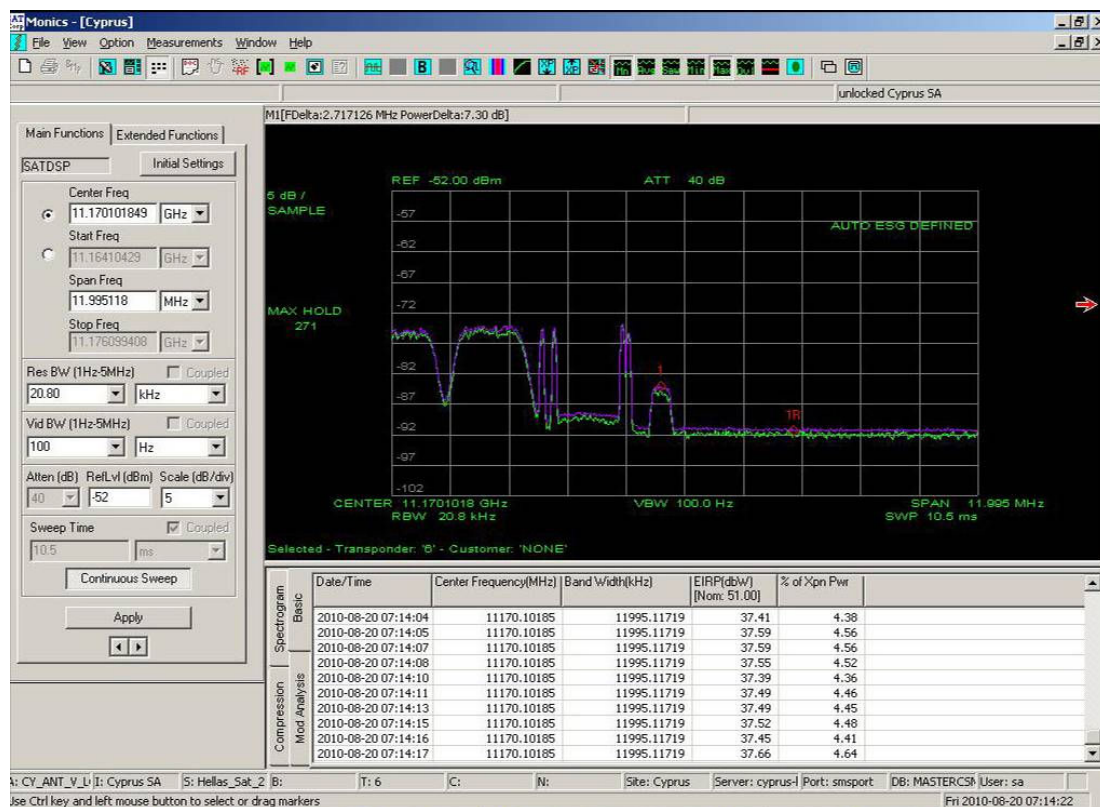
Η καταλληλότητα της τεχνολογίας Radio over IP σε συνδυασμό με δορυφορική μετάδοση στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας



Εικόνα 28. Παρεμβολή – 1^η καταγραφή



Εικόνα 29. Παρεμβολή – 2^η καταγραφή



Εικόνα 30. Παρεμβολή – 3^η καταγραφή

Ένα τελευταίο πρόβλημα που ανιχνεύθηκε επίσης εγκαίρως ήταν μία λάθος αρχικοποίηση της παραμέτρου «Προθεσμία δραστηριότητας PTT» (βλέπε παράγραφο 3.6), η οποία προκαλούσε μία επέκταση της διάρκειας των κλήσεων ασυρμάτου πέραν της διάρκειας των 10 λεπτών που είχε αρχικά οριστεί. Σαν αποτέλεσμα, τα στατιστικά περισσότερων της μίας κλήσης καταγράφηκαν ως μία. Η συμπεριφορά αυτή δεν προκάλεσε κανένα λειτουργικό πρόβλημα και, φυσικά, δεν μπορεί να αποφευχθεί, καθώς ο ελεγκτής μπορεί να επικοινωνήσει με άλλο εναέριο μέσο προτού καταργηθεί η κλήση ασυρμάτου με το προηγούμενο. Απλώς, η ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε δυσκολότερη. Οι μετατροπές RoIP/VoIP παραμετροποιήθηκαν σωστά την 16^η Αυγούστου, πάραυτα η πιθανότητα να συμβεί το ίδιο δεν μπορεί να θεωρηθεί μηδενική.

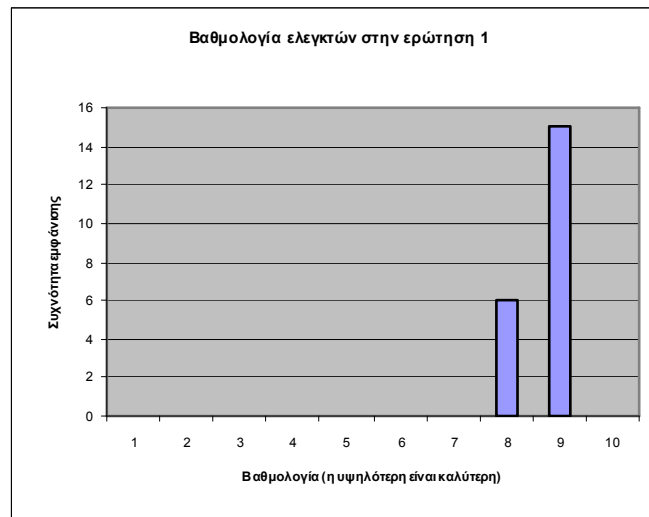
9.7.2 Σύνοψη των αναφορών/στατιστικών

Οι βαθμολογίες των ελεγκτών που παρουσιάζονται στην παράγραφο 16 συγκεντρώθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία ιστογραμμάτων και τον υπολογισμό μέσης τιμής και μεταβλητότητας των απαντήσεων σε κάθε ερώτηση που τέθηκε στους χρήστες. Τα ακόλουθα γραφήματα παρουσιάζουν τα ιστογράμματα μαζί με την αντίστοιχη ερώτηση ως αναφορά.

Ερώτηση 1:

Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;

1: “Πολύ κακή”, 10: “Εξαιρετικά καλή”



Γράφημα 16. Ιστόγραμμα των βαθμολογιών των ελεγκτών για την ερώτηση 1

Ερώτηση 2:

Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;

1: “Καθόλου”, 10: “Πάρα πολύ”

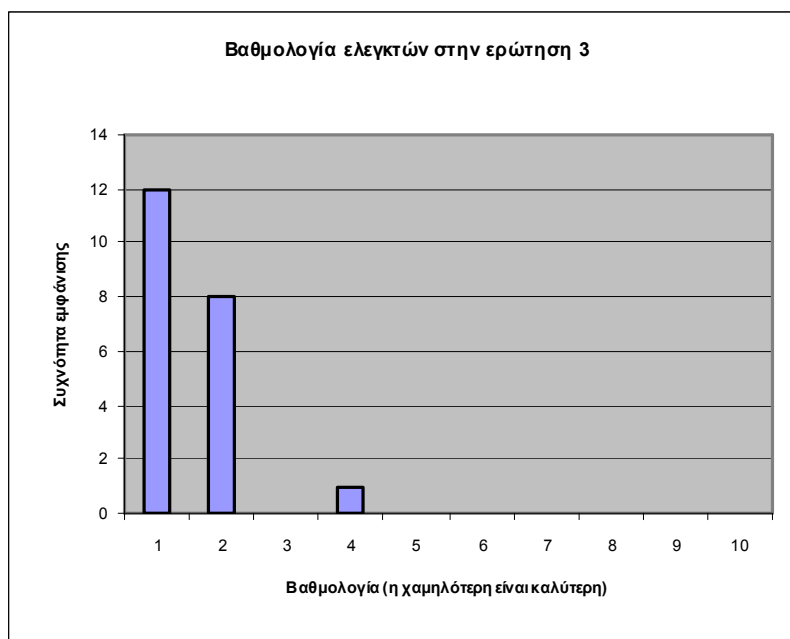


Γράφημα 17. Ιστόγραμμα των βαθμολογιών των ελεγκτών για την ερώτηση 2

Ερώτηση 3:

Σε ποίο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;

1: “Καθόλου”, 10: “Πάρα πολύ”



Γράφημα 18. Ιστόγραμμα των βαθμολογιών των ελεγκτών για την ερώτηση 3

Ερώτηση 4:

Σε ποίο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;

1: “Καθόλου”, 10: “Πάρα πολύ”

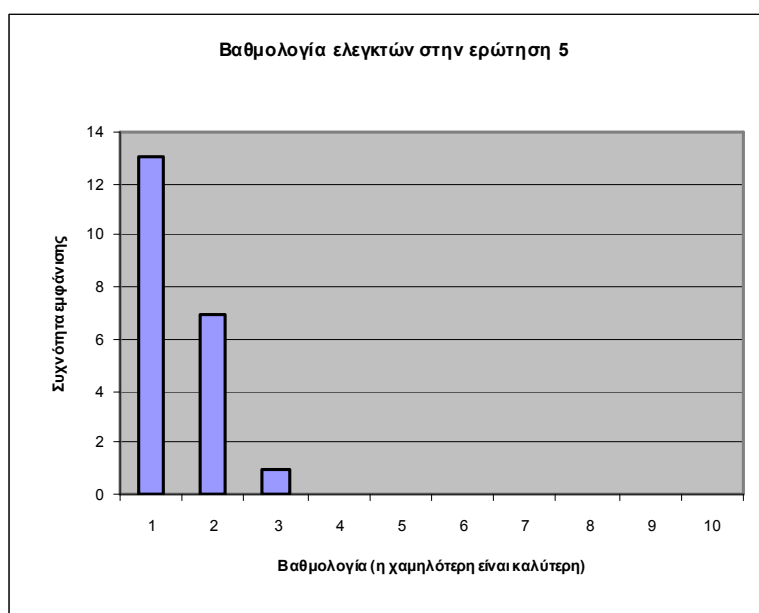


Γράφημα 19. Ιστόγραμμα των βαθμολογιών των ελεγκτών για την ερώτηση 4

Ερώτηση 5:

Σε ποίο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;

1: “Καθόλου”, 10: “Πάρα πολύ”

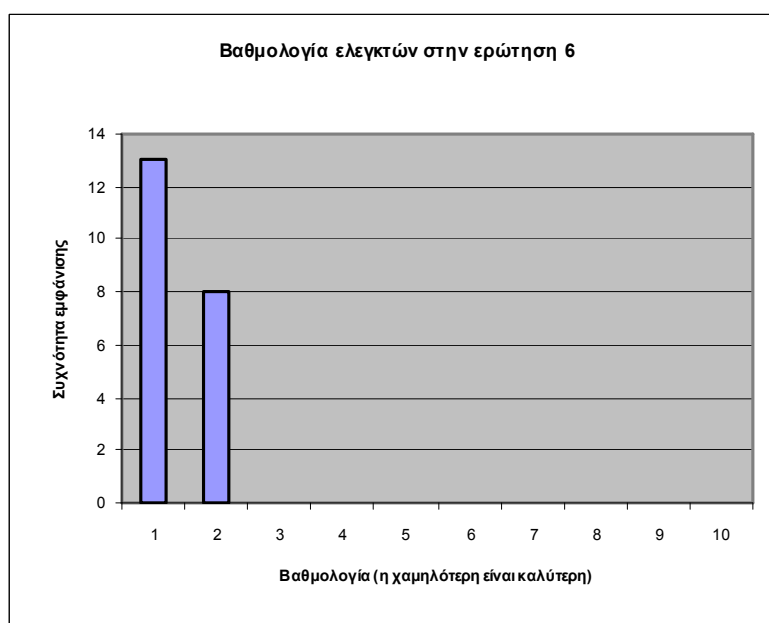


Γράφημα 20. Ιστόγραμμα των βαθμολογιών των ελεγκτών για την ερώτηση 5

Ερώτηση 6:

Σε ποίο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;

1: “Καθόλου”, 10: “Πάρα πολύ”



Γράφημα 21. Ιστόγραμμα των βαθμολογιών των ελεγκτών στην ερώτηση 6

Ο ακόλουθος πίνακας συνοψίζει τις αναλυτικές βαθμολογίες των χρηστών σε κάθε μία από τις 6 ερωτήσεις, καθώς και τις μέσες τιμές και μεταβλητότητες αυτών. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των ιστογραμμάτων που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες σελίδες. Παρατίθενται επίσης διάφορα δεδομένα για τις κλήσεις ασυρμάτου και τις πτήσεις που αυτές αφορούν.

Ταυτότητα αναφοράς	Ύψος πτήσης	Υπεύθυνος ελεγκτής	Τύπος πτήσης	Ωρα	Ημερ/νια	Βαθμός ερώτησης 1	Βαθμός ερώτησης 2	Βαθμός ερώτησης 3	Βαθμός ερώτησης 4	Βαθμός ερώτησης 5	Βαθμός ερώτησης 6
1	32000	CP	IFR	9:10	7/20/2010	9	2	2	2	2	2
2	32000	GW	IFR	9:20	7/20/2010	9	2	2	1	1	1
3	36000	SE	IFR	9:30	7/20/2010	8	3	4	3	3	2
4	20000	PO	IFR	9:40	7/20/2010	8	2	2	2	2	2
5	20000	MR	IFR	9:40	7/20/2010	8	2	2	2	2	2
6	24000-9000	AJ	IFR	21:10	7/21/2010	8	2	2	2	2	2
7	25000-8500	GX	IFR	21:20	7/21/2010	8	2	2	2	2	2
8	16500	CU	VFR	11:00	7/25/2010	9	2	2	2	2	2
9	6900	PD	VFR	11:10	7/25/2010	9	2	2	2	2	2
10	4800	TN	VFR	6:25	7/26/2010	9	1	1	1	1	1
11	4500	MP	VFR	6:30	7/26/2010	9	1	1	1	1	1
12	12500	TS	VFR	5:00	8/1/2010	9	1	1	1	1	1
13	9000	XD	VFR	5:20	8/1/2010	9	1	1	1	1	1
14	5500-12000	CK	VFR	5:30	8/1/2010	8	1	1	1	1	1
15	9000	VO	VFR	5:20	8/1/2010	9	1	1	1	1	1
16	10400	SC	VFR	9:00	8/1/2010	9	1	1	1	1	1
17	6500	PV	VFR	8:10	13/8/2010	9	1	1	1	1	1
18	Gnd-2000-gnd	CP	VFR	8:20	13/8/2010	9	1	1	1	1	1
19	13500	PV	VFR	10:50	8/30/2010	9	1	1	1	1	1
20	11500	XD	VFR	10:50	8/30/2010	9	1	1	1	1	1
21	9500	GW	VFR	10:55	8/30/2010	9	1	1	1	1	1
				Μέσος όρος:		8.71	1.48	1.52	1.43	1.43	1.38
				Μεταβλητότητα:		0.46	0.60	0.75	0.60	0.60	0.50

Πίνακας 23. Συνοπτική παρουσίαση των βαθμολογιών των χρηστών

Οι μέσες τιμές αποδεικνύουν την εξαιρετική επίδοση του συστήματος που αξιολογήθηκε και η μικρή μεταβλητότητα αποδεικνύει τη σταθερότητα της επίδοσής του από την οπτική γωνία του χρήστη. Στη συνέχεια συσχετίστηκαν τα στατιστικά των κλήσεων, όπως αυτά καταγράφηκαν από τους μετατροπείς RoIP/VoIP με τις αναφορές των χρηστών. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Ταυτότητα αναφοράς	Ύψος πτήσης	Υπεύθυνος ελεγκτής	Τύπος πτήσης	Ωρα	Ημερ/νια	Μέγιστος αριθμός πλαισίων φωνής εντός του Tx buffer – Πάτμος	Μέγιστος αριθμός πλαισίων φωνής εντός του Tx buffer – ΥΠΑ	Μέγιστη διακύμανση καθυστέρησης – Πάτμος (ms)	Μέγιστη διακύμανση καθυστέρησης – ΥΠΑ (ms)	Μέσος ρυθμός απώλειας πακέτων – Πάτμος (%)	Μέσος ρυθμός απώλειας πακέτων – ΥΠΑ (%)
1	32000	CP	IFR	9:10	7/20/2010		53.5	20.625	20.375	0.256122	0.005902
2	32000	GW	IFR	9:20	7/20/2010		53.5	20.625	20.375	0.256122	0.005902
3	36000	SE	IFR	9:30	7/20/2010		53.5	20.625	20.375	0.256122	0.005902
4	20000	PO	IFR	9:40	7/20/2010		53.5	20.625	20.375	0.256122	0.005902
5	20000	MR	IFR	9:40	7/20/2010		53.5	20.625	20.375	0.256122	0.005902
6	24000-9000	AJ	IFR	21:10	7/21/2010		34	20.625	20.625	0.634086	0.535834
7	25000-8500	GX	IFR	21:20	7/21/2010		34	20.625	20.625	0.634086	0.535834
8	16500	CU	VFR	11:00	7/25/2010	64		20.625	20.625	0.651964	0.010114
9	6900	PD	VFR	11:10	7/25/2010	64		20.625	20.625	0.651964	0.010114
10	4800	TN	VFR	6:25	7/26/2010		50	20.625	21.25	0.433433	1.143037
11	4500	MP	VFR	6:30	7/26/2010		50	20.625	21.25	0.433433	1.143037
12	12500	TS	VFR	5:00	8/1/2010		66	20.75	22.375	0.439504	0.738153
13	9000	XD	VFR	5:20	8/1/2010		66	20.75	22.375	0.439504	0.738153
14	5500-12000	CK	VFR	5:30	8/1/2010		66	20.75	22.375	0.439504	0.738153
15	9000	VO	VFR	5:20	8/1/2010		66	20.75	22.375	0.439504	0.738153
16	10400	SC	VFR	9:00	8/1/2010		64	20.625	18.375	0	3.504325
17	6500	PV	VFR	8:10	13/8/2010		65	16.5	79.625	5.426296	5.756446
18	Gnd-2000-gnd	CP	VFR	8:20	13/8/2010		65	16.5	79.625	5.426296	5.756446
19	13500	PV	VFR	10:50	8/30/2010		64	N/A	24.25	N/A	0.002639
20	11500	XD	VFR	10:50	8/30/2010		64	N/A	24.25	N/A	0.002639
21	9500	GW	VFR	10:55	8/30/2010		64	N/A	24.25	N/A	0.002639

Πίνακας 24. Συνοπτική παρουσίαση των στατιστικών των κλήσεων ασυρμάτου

Τα στατιστικά των κλήσεων από τον μετατροπέα RoIP/VoIP της Πάτμου για τις αναφορές 19, 20 και 21 χάθηκαν λόγω διακοπής της ΔΕΗ και μία λάθος παραμετροποίηση του μετατροπέα, πρόβλημα το οποίο επιλύθηκε.

Συνεχίζοντας με την ανάλυση των στατιστικών των κλήσεων, η ύπαρξη μη μηδενικής τιμής στις στήλες «Μέγιστος αριθμός πλαισίων φωνής εντός του Tx buffer» υποδεικνύει ποια πλευρά εγκατέστησε την κλήση και όπως ήταν αναμενόμενο, οι ελεγκτές κάλεσαν για πρώτη φορά περισσότερες φορές από τους πιλότους, λόγω της διαδικασίας που ακολουθήθηκε. Οι μέγιστες τιμές διακύμανσης καθυστέρησης ήταν σχεδόν σταθερές, όμοιες για τα 2 άκρα και μεγαλύτερες κατά 3 ms από αυτές που κατεγράφησαν στην παράγραφο 8, κάτι που αναμένεται να αντιστοιχίζεται σε 6 ms επιπλέον από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση. Ακόμη και αν κάτι τέτοιο δεν μπορεί να αποδειχθεί με μετρήσεις, καθώς οι 2 σταθμοί δεν βρίσκονται στη ίδια γεωγραφική θέση, δεν προβλέπεται η συνολική καθυστέρηση να ξεπερνά το όριο των 375 ms που τέθηκε στην παράγραφο 3.7, αν ληφθούν υπ'όψιν οι μετρήσεις της παραγράφου 8. Κάτι που πρέπει ακόμα να σημειωθεί είναι πως οι ρυθμοί απώλειας πακέτων είναι σημαντικά υψηλότερες από τις μετρήσεις που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 8 και κάποιες φορές μέχρι και 10 φορές μεγαλύτερες από την απαίτηση του 0.5% που τέθηκε στην παράγραφο 3.7. Η αιτία για την συμπεριφορά αυτή ήταν η παρεμβολή στον δορυφόρο που παρουσιάστηκε άνωθι, καθώς μετά τον τερματισμό της, ο ρυθμός απώλειας πακέτων έπεσε κοντά στο 0 (βλέπε Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 19, Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 20 και Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 21, μετατροπέας RoIP/VoIP στην ΥΠΑ).

10 Συμπεράσματα και κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα

Η διατριβή καταλήγει σε μία σειρά από πολύ σημαντικά συμπεράσματα:

- Επιβεβαιώνονται πλήρως τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.2.2.5.4, ότι δηλαδή καθυστερήσεις της φωνής στην περιοχή από 375 έως 390 msec δεν επηρεάζουν τη λειτουργία του Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας. Πάραυτα, ενώ οι προαναφερθείσες μελέτες έγιναν ως επί το πλείστον σε περιβάλλον εξομοίωσης, η παρούσα εργασία καταδεικνύει πως η χρήση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων που εισάγουν αντίστοιχες καθυστερήσεις είναι δυνατή και σε επιχειρησιακές συνθήκες. Επιπλέον, η ταυτόχρονη χρήση κωδικοποιητών χαμηλού ρυθμού δεν φαίνεται να επηρεάζει την ποιότητα της φωνής, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της παραγράφου 9
- Αποδεικνύεται πως, σε εφαρμογές EEK, είναι εφικτός ο συνδυασμός της μεταφοράς ραδιοφωνικών επικοινωνιών πάνω από δίκτυα IP και δορυφορικής μετάδοσης, δηλαδή πως η συνύπαρξη των 2 τεχνολογιών δεν προκαλεί παραβίαση του ανεκτού ορίου των 375 msec στην από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση. Προκειμένου βεβαίως κάτι τέτοιο να καταστεί δυνατόν, απαιτήθηκε λεπτομερέστατη σχεδίαση τόσο του τερματικού εξοπλισμού, δηλαδή των μετατροπέων RoIP/VoIP, όσο και του δορυφορικού δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται στην παράγραφο 4 μία καινοτόμα αρχιτεκτονική ενσωματωμένου λογισμικού που εκτελείται σε ένα λειτουργικό σύστημα γενικού σκοπού, όπως το Linux και επιτρέπει την μετάδοση φωνής με ταυτόχρονη διασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας, τόσο ως προς την καθυστέρηση, όσο και την απώλεια πακέτων, υπό τις πιο δύσκολες συνθήκες και υλοποιώντας μία εξαιρετικά απαιτητική εφαρμογή
- Επαληθεύεται η χρήση ενός τροποποιημένου E-model που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διατριβής ως εργαλείο ποσοτικοποίησης της ποιότητας μίας κλήσης ασυρμάτου. Πιο συγκεκριμένα, αποδείχθηκε πως οι απαιτήσεις που εξήχθησαν με τη χρήση του οδήγησαν σε ένα σύστημα η ποιότητα υπηρεσίας του οποίου ικανοποιεί το σύνολο των χρηστών, όπως παρουσιάστηκε στην παράγραφο 9
- Παρουσιάζονται στην παράγραφο 9 απτά στοιχεία πως ελεγκτές και πιλότοι έχουν αυξημένα περιθώρια ανοχής στη προβλεπόμενη από το E-model μείωση της ποιότητας μίας υπηρεσίας φωνής που προκαλείται από παράγοντες όπως η αυξημένη απώλεια πακέτων και η καθυστέρηση. Πιο συγκεκριμένα, η απαιτούμενη τιμή του παράγοντα πλεονεκτήματος A που προβλέπεται στην παράγραφο 3.2.2.8 είναι 31.342 ανά κατεύθυνση, ούτως ώστε οι κλήσεις ασυρμάτου με χρήση του υπό μελέτη συστήματος (Σχήμα 8) να παρουσιάζουν ποιότητα φωνής αντίστοιχη με αυτή που επιτυγχάνεται με χρήση μισθωμένων γραμμών (Σχήμα 7). Η τιμή αυτή, παρότι μεγάλη σε σχέση με αυτές που προβλέπονται για το ευρύ κοινό (Πίνακας 3), πρώτον ισχύει, εκπληρώνοντας την απαίτηση 11 της παραγράφου 3.7 και δεύτερον φαίνεται να έχει μειωμένη συμμετοχή στη διαμόρφωση της άποψης των χρηστών. Ο πιθανότερος λόγος είναι πως λόγω της half-duplex φύσης των ραδιοφωνικών επικοινωνιών, η επίδραση του παράγοντα I_d στη διαμόρφωση της αίσθησης ποιότητας από τους χρήστες είναι μικρότερη από την περίπτωση πιο διαδραστικών φωνητικών επικοινωνιών, όπως στις τηλεφωνικές κλήσεις, άρα η μείωση της τιμής του παράγοντα R που υπολογίζεται από το E-model είναι υπερεκτιμημένη
- Αποδεικνύεται πως η προσέγγιση που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.6 ως προς την εγκατάσταση μίας κλήσης ασυρμάτου με χρήση πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στην τηλεφωνία VoIP ήταν απολύτως επιτυχής καθώς κανένας ελεγκτής δεν κατέγραψε αρνητικά σχόλια σε σχέση με το υπάρχον σύστημα επικοινωνιών φωνής στο οποίο δεν απαιτείται αντίστοιχη διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, δεν παρατηρήθηκε σε καμιά περίπτωση απώλεια φωνής στην αρχή της επικοινωνίας, ένα φαινόμενο στο οποίο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη η συγκεκριμένη ομάδα χρηστών. Επιπλέον, η μεταφορά σηματοδότησης PTT/Squelch με σύγχρονο

τρόπο με τη φωνή (βλέπε παράγραφο 3.5), δηλαδή εντός του πακέτου RTP απέτρεψε την ασύγχρονη άφιξη στον δέκτη, ένα εγνωσμένο πρόβλημα μεγάλης σημασίας για την ΥΠΑ.

Οι μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις που αναδείχθηκαν στην εργασία περιλαμβάνουν:

- Τον λεπτομερή καθορισμό της επίδρασης της καθυστέρησης στην ποιότητα φωνής σε ραδιοεπικοινωνίες και ειδικά μεταξύ των χρηστών που συμμετέχουν στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας, τόσο σε περιβάλλον εξομοίωσης, όσο και σε επιχειρησιακές συνθήκες, καθώς είναι προφανές πως αντίστοιχες μελέτες αντιμετωπίζουν το πρόβλημα μόνο για κάποιες τιμές καθυστέρησης του ενδιαφέροντος των συγγραφέων. Το θέμα κρίνεται ως πολύ σημαντικό με δεδομένη την εισαγωγή του VoIP και των δορυφορικών επικοινωνιών φωνής στο μελλοντικό τοπίο του ΕΕΚ
- Τη μελέτη της επίδρασης που έχουν οι διαδικασίες πολλαπλής πρόσβασης σε περιβάλλον δορυφορικής μετάδοσης στην καθυστέρηση της φωνής και της εγκατάστασης κλήσης ασυρμάτου. Έχουν ήδη γίνει συζητήσεις με την ESA και την ΥΠΑ και είναι πολύ πιθανή η εγκατάσταση του συστήματος σε ακόμη 5 σημεία ώστε να δημιουργηθεί ένα εφεδρικό δίκτυο ραδιοπομποδεκτών, ανεξάρτητο από την επίγεια υποδομή και ταυτόχρονα να διερευνηθεί το ενδιαφέρον αυτό ζήτημα.
- Την επέκταση του πρωτοκόλλου SIP σε συνδυασμό με IP multicast πάνω από το δορυφορικό δίκτυο ώστε να βελτιστοποιηθεί η χρήση του στον ΕΕΚ. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζει ενδιαφέρον ο χειρισμός μίας κλήσης ασυρμάτου ως 2 ανεξάρτητα σκέλη (από τον ελεγκτή προς τους αναμεταβιβαστικούς σταθμούς και αντίστροφα) ώστε να επιτευχθεί καλύτερη χρήση του δορυφορικού φάσματος
- Τη εισαγωγή κωδικοποιητών με ανίχνευση δραστηριότητας φωνής (Voice Activity Detection – VAD) ώστε να καταλαμβάνεται το δορυφορικό φάσμα μόνο όταν εκπέμπεται φωνή. Με δεδομένη την half-duplex φύση των ραδιοεπικοινωνιών, η προσέγγιση αυτή αναμένεται να μειώσει στο μισό τις απαιτήσεις για δορυφορική χωρητικότητα άρα και το κόστος. Παρόλο που υλοποιήθηκαν οι κωδικοποιητές G.729B και AB οι οποίοι παρέχουν τέτοια λειτουργικότητα, στην αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε μόνον ο κωδικοποιητής G.729, καθώς η ανίχνευση δραστηριότητας φωνής μπορεί υπό συνθήκες να οδηγήσει σε αποκοπή συλλαβών κάτι που στο περιβάλλον του ΕΕΚ μπορεί να αποτελέσει αιτία ατυχήματος

Σε κάθε περίπτωση, η αποδοχή του συστήματος από τους μελλοντικούς του χρήστες υπήρξε ενθουσιώδης, σε σημείο που εξέπληξε ακόμη και τους ανωτέρους τους. Η επιτυχία της προσέγγισης συνοψίζεται στις παρατηρήσεις που καταγράφονται στην Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 18, όταν συγκριθεί το περιεχόμενό της με το βασικό κίνητρο πίσω από την εκπόνηση της διατριβής, όπως καταγράφηκε στην παράγραφο 2:

«Ήταν μια κυκλοφορία με προορισμό το ελικοδρόμιο Πάτμου. Έγινε έλεγχος της συχνότητας από την αναχώρηση από το αεροδρόμιο Μυκόνου μέχρι τη προσγείωση στο ελικοδρόμιο της Πάτμου στο έδαφος. Σε απόσταση 15 NM ανατολικά RIPLI (Σ.Σ.: περιοχή του Ελληνικού εναέριου χώρου) ο πιλότος άκουγε 5/5 και ο ελεγκτής 5/5 με λίγο θόρυβο. Σε απόσταση 20 NM δυτικά της Πάτμου σε ύψος 1500 FT ο πιλότος άκουγε 5/5 και ο ελεγκτής 5/5. Αρχίζοντας τη κάθοδο προς το ελικοδρόμιο τόσο η λήψη όσο και η εκπομπή ήταν εξαιρετικές. Στο έδαφος η επικοινωνία ήταν εξαιρετική και με αυτό τον τρόπο έκλεισε και το σχέδιο πτήσης. Ο πιλότος εξέφρασε τον εντυπωσιασμό του διότι παραδοσιακά δεν είχε ποτέ ραδιοφωνική κάλυψη στη περιοχή αυτή. Θεωρώ ότι το εγχείρημα της δορυφορικής επικοινωνίας είναι επιτυχές και καλύπτει από πλευράς συχνότητας το ελικοδρόμιο έως το έδαφος.»

11 Δημοσιεύσεις

Διάφορα τμήματα της διατριβής δημοσιεύτηκαν τόσο σε διεθνή περιοδικά όσο και σε συνέδρια στο εξωτερικό και στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα:

- Το σκεπτικό της διατριβής καθώς και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems τον Ιανουάριο του 2015 με τίτλο “Adaptation of the E-model for satellite internet protocol radio calls in air traffic control”.
- Μέρος της εργασίας (αρχιτεκτονική λογισμικού/υλικού καθώς και πρώιμα αποτελέσματα) δημοσιεύτηκε στο περιοδικό IEEE Communications Magazine, Design and Implementation series τον Αύγουστο του 2008 με τίτλο “Design and Implementation of a Solution for the Provisioning of Converged Remote Tower and Facility Management Services over Satellite IP for Greek Heliports”.
- Αποτελέσματα από την ενασχόληση του συγγραφέα με θέματα ποιότητας φωνής και υλοποίηση αλγορίθμων στην τηλεφωνία IP που αποτέλεσε βασικό υπόβαθρο για την εκπόνηση της διατριβής δημοσιεύτηκαν:
 - Στο περιοδικό IEEE Internet Computing, July/August 2005, με τίτλο “A voice quality monitoring and control framework for IP telephony systems”
 - Στο περιοδικό IEEE Communications Magazine, April 2012, με τίτλο “Speech Codecs for High Quality Voice-over ZigBee Applications: Evaluation and Implementation Challenges”
 - Στο περιοδικό International Journal of Parallel Programming του εκδοτικού οίκου Springer, June 2010, με τίτλο “Design, Implementation and Validation of an Open Source IP-PBX/VoIP Gateway Multi-Core SoC”
- Οι βασικές δημοσιεύσεις σε συνέδρια περιλαμβάνουν:
 - Το 2^ο Διεθνές Συμπόσιο Διαστημικών Εφαρμογών (SpaceAppli08) που διοργανώθηκε από το Γαλλικό Εθνικό Κέντρο Διαστημικών Ερευνών (CNES) στην Τουλούζη τον Απρίλιο του 2008
 - Τη διεθνή διημερίδα SatForum08 που διοργανώθηκε από το υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών τον Ιανουάριο του 2008 στην Αθήνα σε συνεργασία με την Γαλλική Πρεσβεία. Το θέμα του συνεδρίου ήταν οι δορυφορικές επικοινωνίες και η πλοήγηση στην υπηρεσία του πολίτη
- Η εργασία έχει επίσης παρουσιαστεί κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής της:
 - Στην τακτική συνάντηση του Communications Team (COMT) Ευρωπαϊκού Οργανισμού Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας (EUROCONTROL) τον Ιούνιο του 2007
 - Στο workshop που διοργάνωσε η ESA για τα επιτυχή έργα τα οποία έχει χρηματοδοτήσει τον Οκτώβριο του 2008
 - Στο workshop για την εφαρμογή του Voice over IP στην αεροναυτιλία που διοργάνωσε ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας (EUROCONTROL) τον Φεβρουάριο του 2009
 - Στην τακτική συνάντηση του έργου SESAR στην Αθήνα τον Μάιο του 2009
 - Σε πολλές τακτικές συναντήσεις του έργου IRIS της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (European Space Agency – ESA)

Άλλες δημοσιεύσεις του συγγραφέα περιλαμβάνουν:

- Περιοδικά:
 - A. Meliones, S. Apostolacos, A. Nouvakia, “A web-based three-tier control and monitoring application for integrated facility management of photovoltaic systems”, Journal on Applied Computing and Informatics, Volume 10, Issues 1–2, January 2014, Pages 14–37
 - Th. Zahariadis, S. Apostolacos, I. Grammatikakis, D. Mexis, N. Zervos, “Block-floating point FFT implementation for DMT xDSL systems”, Journal of Circuits, Systems and Computers, Vol. 13, No. 5 (2004)

- Συνέδρια:

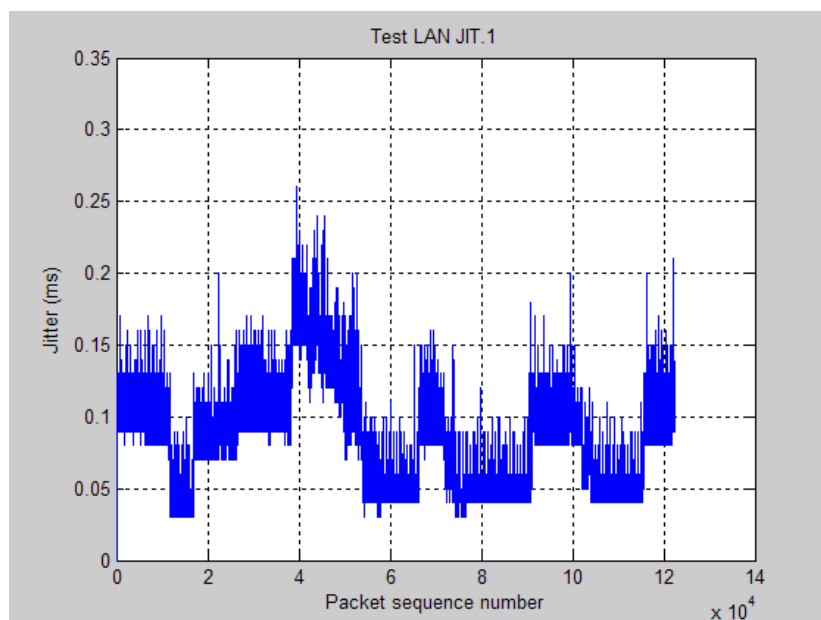
- E. Touloupis, A. Meliones, S. Apostolacos, "Implementation and Evaluation of a Voice Codec for Zigbee", 16th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'2011), June 28-July 1, 2011, Corfu, Greece
- S. Apostolacos, G. Lykakis, A. Meliones, M. Touloupis, V. Vlagoulis, G. Konstantoulakis, "Design, Implementation and Validation of an Open Source IP-PBX/VoIP Gateway SoC", 22nd Conference on VLSI design, 5-9 January 2009
- I. Grammatikakis, M. Manousos, S. Apostolacos, D. Mexis, "End-to-end Voice over IP system demonstration", 1st annual IEEE BENELUX/DSP Valley Signal Processing Symposium 2005, April 19-20 2005
- S. Apostolacos, I. Grammatikakis, D. Mexis, N. Vogiatzis, N. Zervos, "Efficient FFT implementation on FPGA for DMT xDSL systems", 3rd IEEE Benelux Signal Processing Symposium (SPS-2002), Leuven, Belgium, March 21-22, 2002
- S. Apostolacos, I. Grammatikakis, D. Mexis, "Arithmetic Precision Optimization of Fast Fourier Transform for Spectrum Analysis Applications", 1st Acoustics Conference "Acoustics 2002", University of Patras, September 30 – October 1 2002
- S. Apostolacos, I. Grammatikakis, D. Mexis, A. Tavoularis, A. Chorevas, N. Vlassopoulos, "DSP Techniques for Integrated Audio Switching Amplifiers", 1st Acoustics Conference "Acoustics 2002", University of Patras, September 30 – October 1 2002
- S. Apostolacos, I. Grammatikakis, D. Mexis, "Implementation of Speech Compression Algorithms in a Digital Signal Processor", 1st Acoustics Conference "Acoustics 2002", University of Patras, September 30 – October 1 2002

- Τεχνικές αναφορές:

- N. Vogiatzis, S. Apostolacos, I. Grammatikakis, D. Mexis, N. Zervos, "BIT LOADING AND FINE GAIN ADJUSTMENTS IN DMT VDSL SYSTEMS", Internal Lucent Technical Document ITD-01-42158Z; 10073585-011105-04TM
- N. Vogiatzis, S. Apostolacos, I. Grammatikakis, D. Mexis, N. Zervos, "SIGNAL-TO-NOISE RATIO CALCULATION FOR DMT VDSL SYSTEMS", Internal Lucent Technical Document ITD-01-42157Y; 10073585-011105-03TM
- N. Vogiatzis, S. Apostolacos, I. Grammatikakis, D. Mexis, N. Zervos, "FREQUENCY DOMAIN EQUALIZATION FOR DMT VDSL SYSTEMS", Internal Lucent Technical Document ITD-01-42156X
- N. Vogiatzis, S. Apostolacos, I. Grammatikakis, D. Mexis, N. Zervos, "TIME DOMAIN EQUALIZATION, TRAINING/FILTERING AND AUTOMATIC GAIN CONTROL FOR DMT VDSL SYSTEMS", Internal Lucent Technical Document ITD-01-42155W; 10073585-011105-01TM
- N. Vogiatzis, S. Apostolacos, I. Grammatikakis, D. Mexis, N. Zervos, "EFFICIENT FFT IMPLEMENTATION ON FPGA FOR DMT XDSL SYSTEMS", Internal Lucent Technical Document ITD-01-42148N; 10073585-011102-01TM

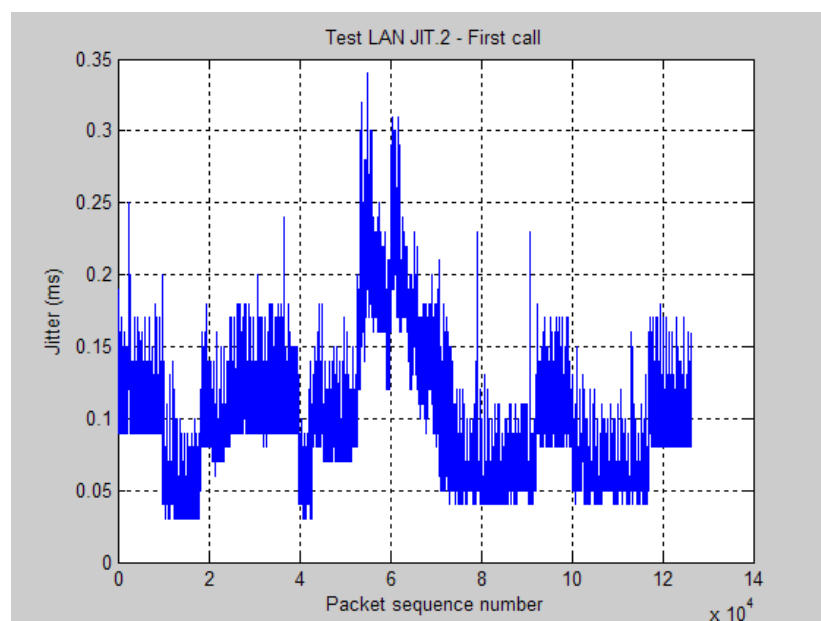
12 Παράρτημα I – Αποτελέσματα μετρήσεων διακύμανσης καθυστέρησης

12.1 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_JIT.1

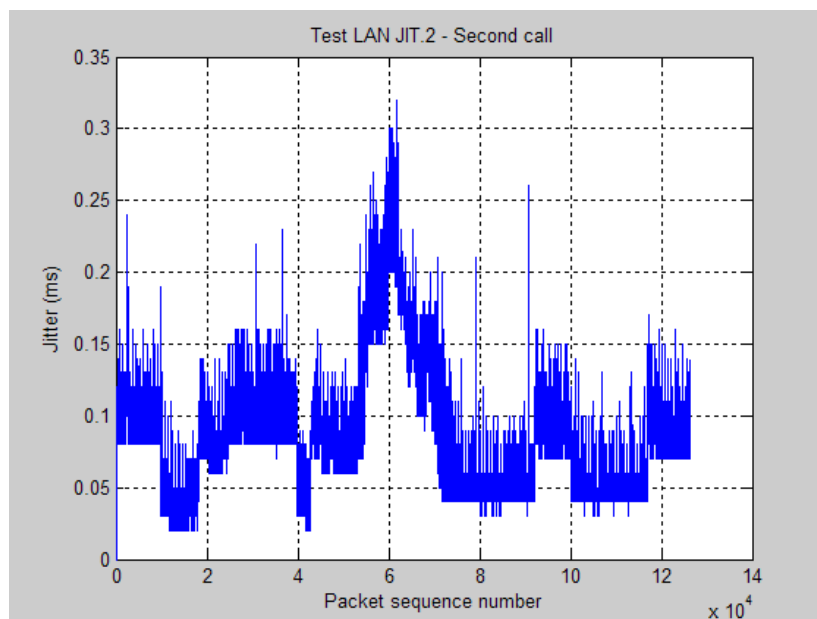


Γράφημα 22. Μέτρηση μεταβλητότητας καθυστέρησης LAN_JIT.1

12.2 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_JIT.2

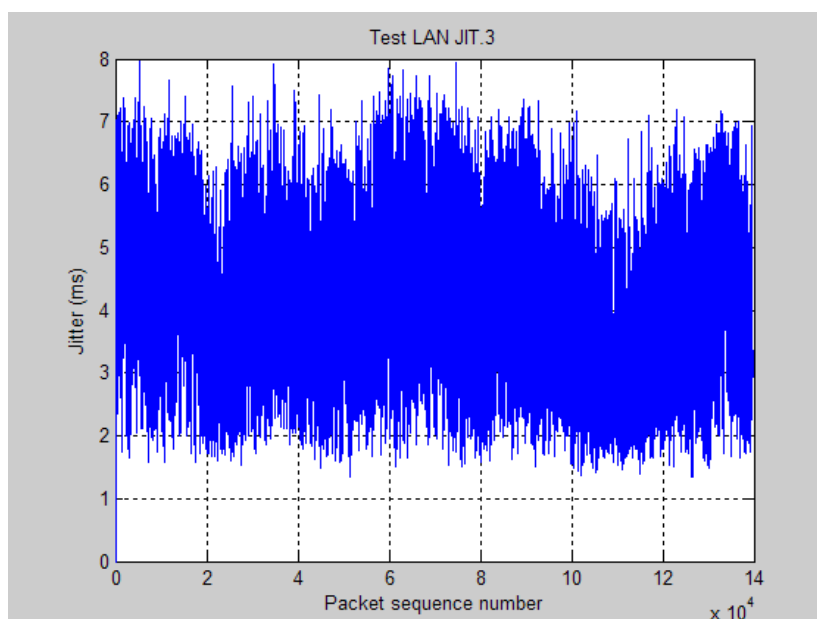


Γράφημα 23. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης LAN_JIT.2 – Πρώτη κλήση



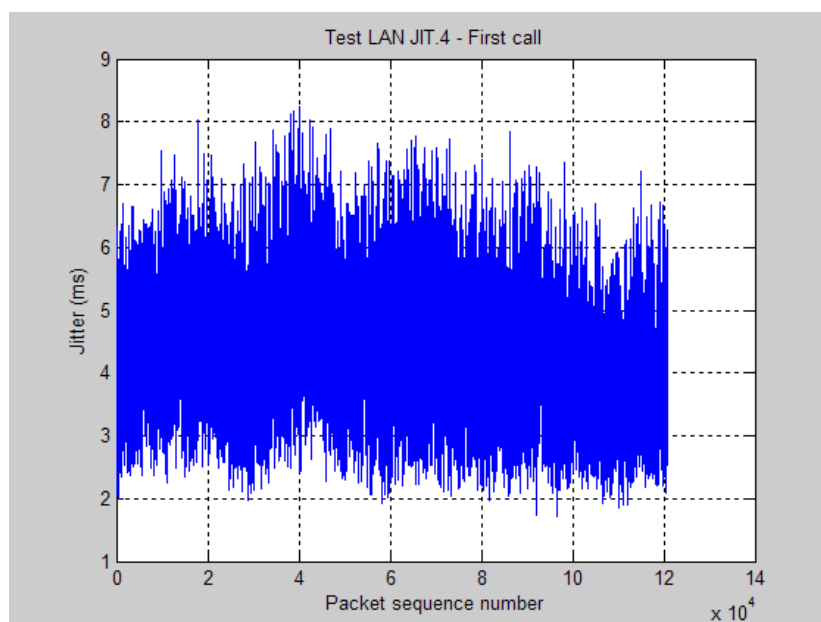
Γράφημα 24. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης LAN_JIT.2 – Δεύτερη κλήση

12.3 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_JIT.3

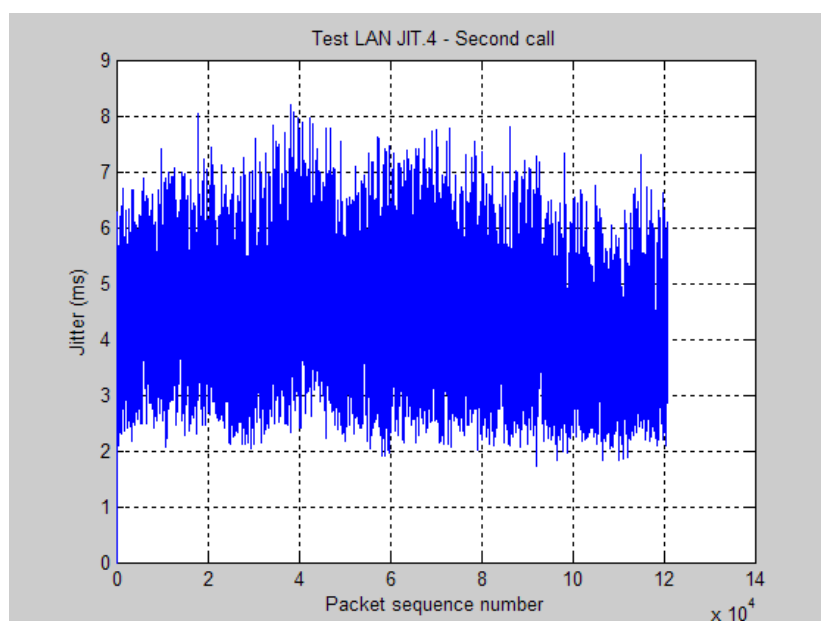


Γράφημα 25. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης LAN_JIT.3

12.4 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_JIT.4

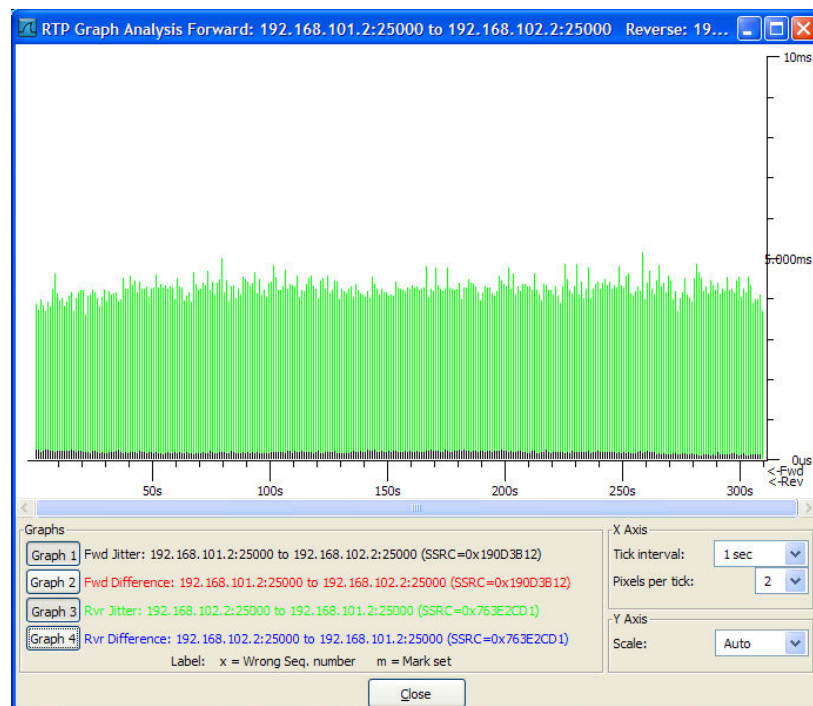


Γράφημα 26. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης LAN_JIT.4 – Πρώτη κλήση



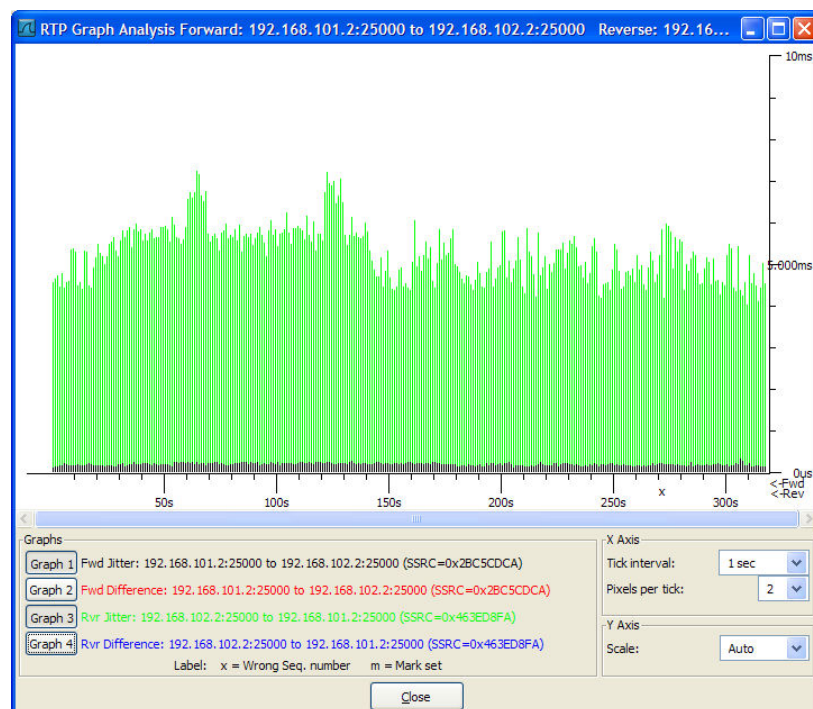
Γράφημα 27. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης LAN_JIT.4 – Δεύτερη κλήση

12.5 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_JIT.1

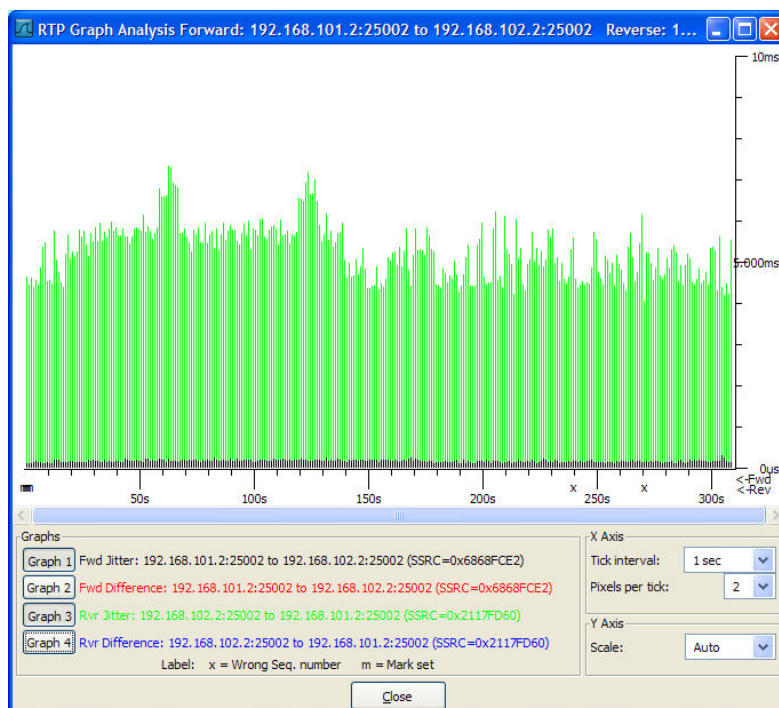


Γράφημα 28. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης SAT_JIT.1

12.6 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_JIT.2

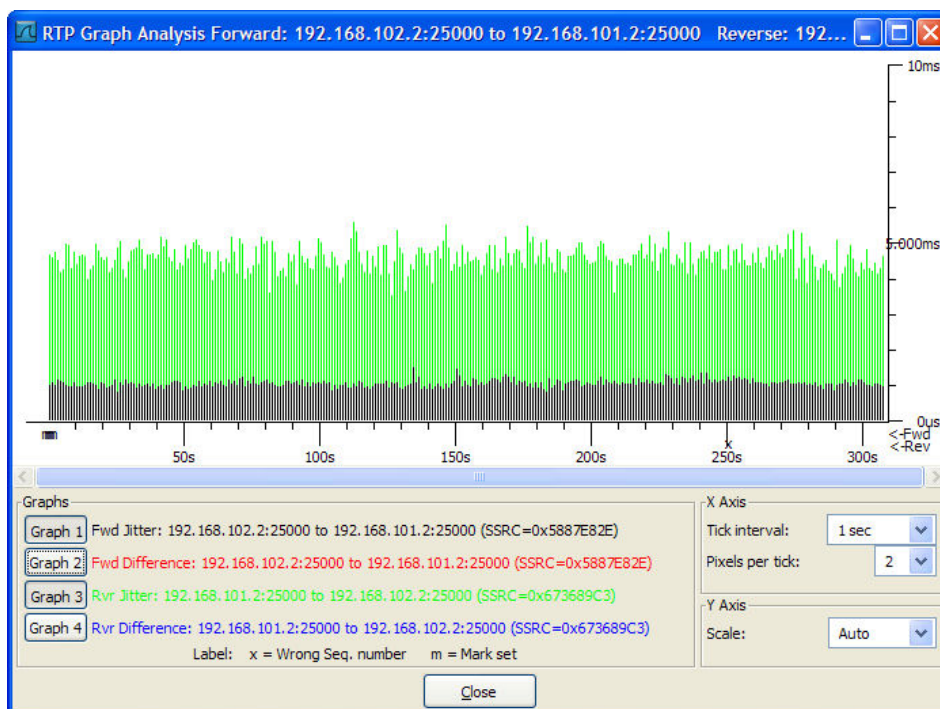


Γράφημα 29. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης SAT_JIT.2 – Πρώτη κλήση



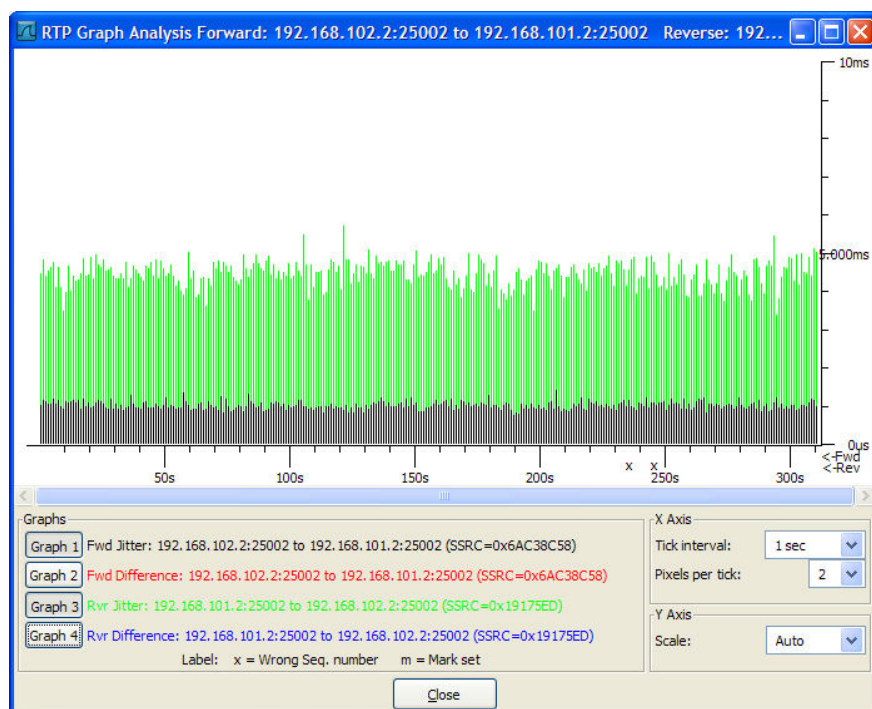
Γράφημα 30. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης SAT_JIT.2 – Δεύτερη κλήση

12.7 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_JIT.3

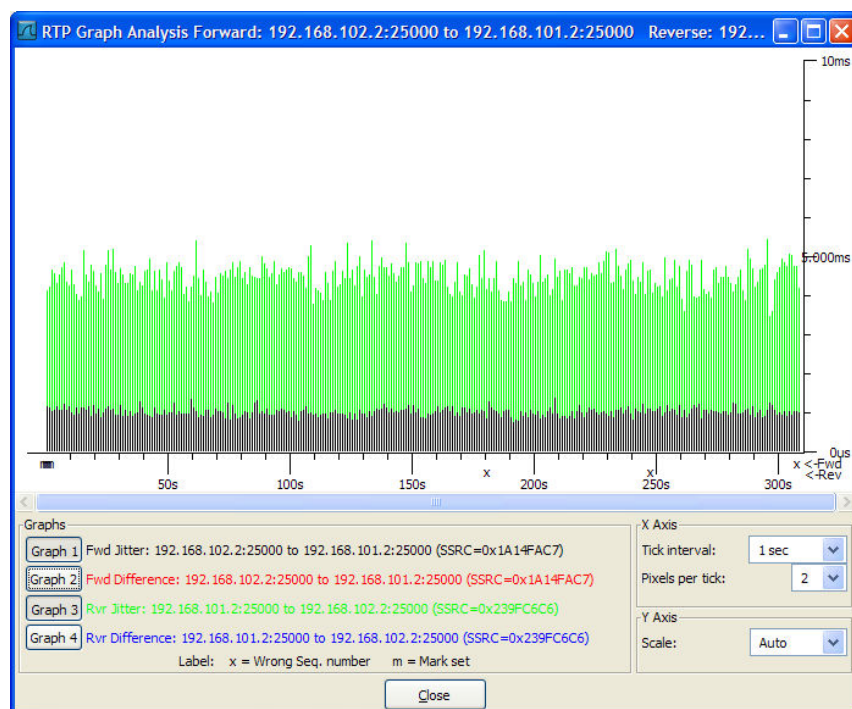


Γράφημα 31. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης SAT_JIT.3

12.8 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_JIT.4

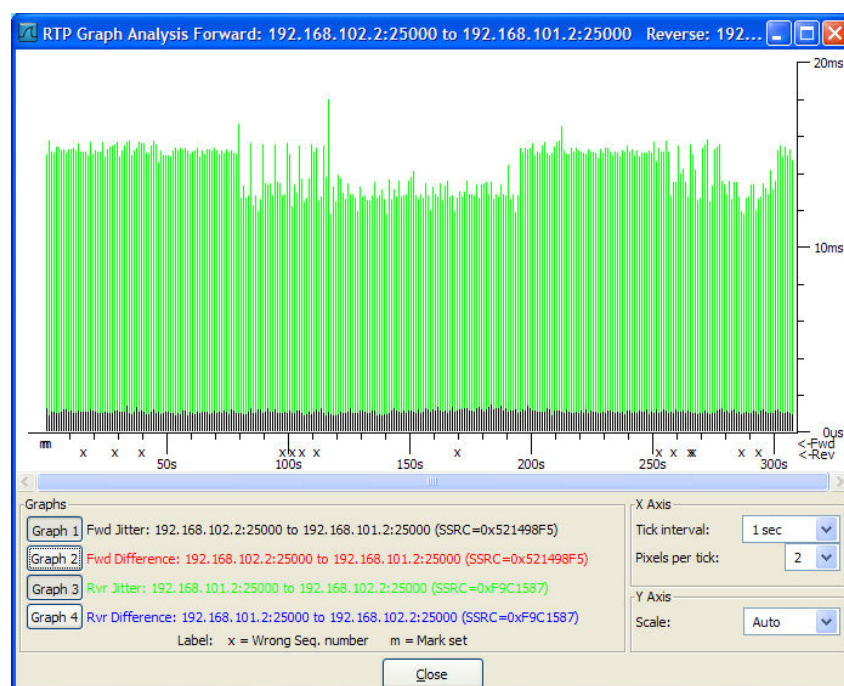


Γράφημα 32. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης SAT_JIT.4 – Πρώτη κλήση



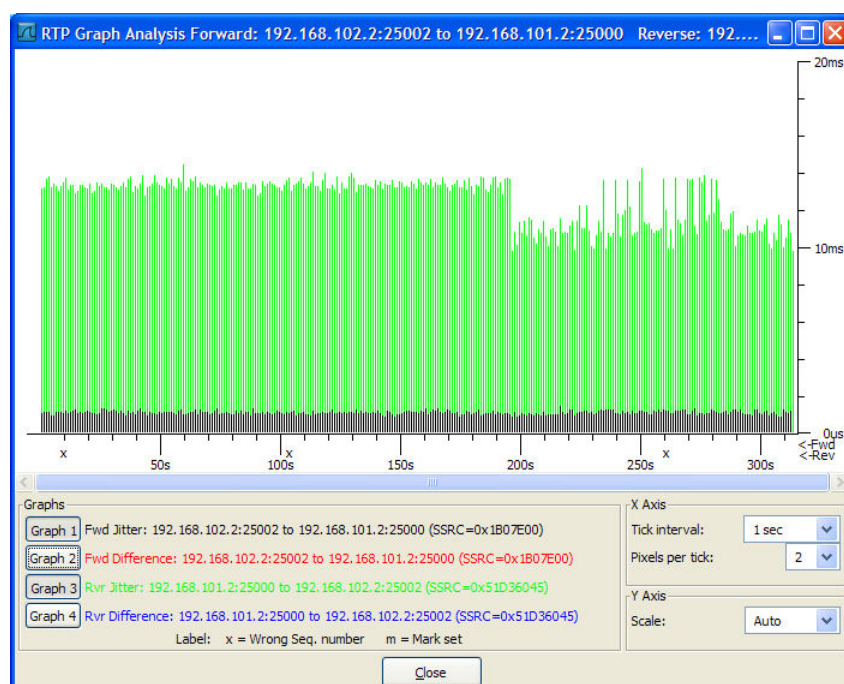
Γράφημα 33. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης SAT_JIT.4 – Δεύτερη κλήση

12.9 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_JIT.5

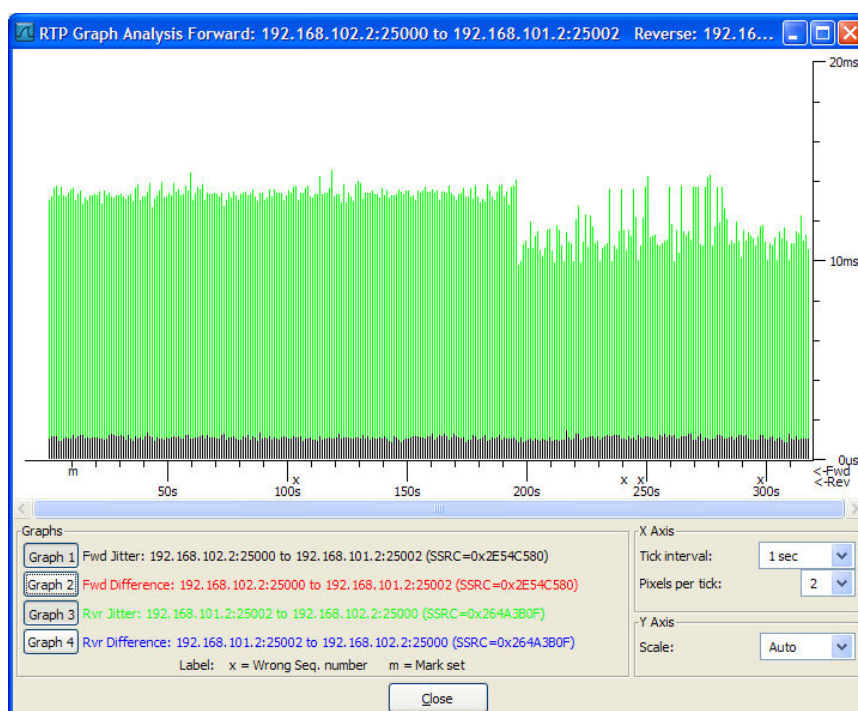


Γράφημα 34. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης SAT_JIT.5

12.10 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_JIT.6



Γράφημα 35. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης SAT_JIT.6 – Πρώτη κλήση



Γράφημα 36. Μέτρηση διακύμανσης καθυστέρησης SAT_JIT.6 – Δεύτερη κλήση

13 Παράρτημα II – Αποτελέσματα μετρήσεων ρυθμού απώλειας πακέτων

Σημείωση: Οι μέγιστες τιμές της διακύμανσης καθυστέρησης (maximum jitter) είναι στιγμιαίες μετρήσεις και δεν μπορούν να συγκριθούν απευθείας με τις μέσες τιμές της διακύμανσης καθυστέρησης (mean jitter), οι οποίες με τη σειρά τους παρουσιάζουν αξιοπρόσεκτη συμφωνία με τα αποτελέσματα των μετρήσεων LAN_JIT.1 έως 4 και SAT_JIT.1 έως 6 της παραγράφου 12.

13.1 Αποτελέσματα μέτρησης ISPL.1

Μετρήσεις συστήματος #1:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 238503
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 1
DownPacketsTotal     : 238501
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/569804)
-----
RTP packets          : 0/238495
Jitter mean          : 0.1 ms
Jitter max           : 1.2 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 1
JB frames data       : 238495
JB frames null       : 5
```

Μετρήσεις συστήματος #2:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 238495
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 1
DownPacketsTotal     : 238493
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/489811)
-----
RTP packets          : 0/238485
Jitter mean          : 0.2 ms
Jitter max           : 1.1 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 1
JB frames data       : 238485
JB frames null       : 4
```

13.2 Αποτελέσματα μέτρησης ISPL.2

Μετρήσεις συστήματος #1 – Πρώτη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/1)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 257250
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 1
DownPacketsTotal     : 257249
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/809684)
-----
RTP packets          : 0/257248
Jitter mean          : 0.1 ms
Jitter max           : 1.5 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 1
JB frames data       : 257246
JB frames null       : 2
```

Μετρήσεις συστήματος #1 – Δεύτερη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 261780
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 261778
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/292436)
-----
RTP packets          : 0/261777
Jitter mean          : 0.1 ms
Jitter max           : 1.6 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 1
JB frames data       : 261775
JB frames null       : 2
```


Μετρήσεις συστήματος #2 – Πρώτη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/1)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 257378
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 1
DownPacketsTotal     : 257349
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/673231)
-----
RTP packets          : 0/257211
Jitter mean          : 0.2 ms
Jitter max           : 1.6 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 1
JB frames data       : 257208
JB frames null       : 3
```

Μετρήσεις συστήματος #2 – Δεύτερη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 260991
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 260989
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/114219)
-----
RTP packets          : 0/260968
Jitter mean          : 0.2 ms
Jitter max           : 1.4 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 1
JB frames data       : 260954
JB frames null       : 2
```

13.3 Αποτελέσματα μέτρησης ISPL.3

Μετρήσεις συστήματος #1:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 370140
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 1
DownPacketsTotal     : 370142
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 3
DownUnderflows       : 3
Tx frames null       : 3
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/447983)
-----
RTP packets          : 0/370135
Jitter mean          : 1.8 ms
Jitter max           : 13.8 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 370135
JB frames null       : 6
```

Μετρήσεις συστήματος #2:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 370138
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 1
DownPacketsTotal     : 370132
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/73698)
-----
RTP packets          : 3/370132
Jitter mean          : 5.0 ms
Jitter max           : 13.9 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 3
JB frames data       : 370125
JB frames null       : 6
```

13.4 Αποτελέσματα μέτρησης ISPL.4

Μετρήσεις συστήματος #1 – Πρώτη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/1)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 251039
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 1
DownPacketsTotal     : 251039
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/633739)
-----
RTP packets          : 0/251037
Jitter mean          : 1.4 ms
Jitter max           : 13.8 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 1
JB frames data       : 251036
JB frames null       : 2
```

Μετρήσεις συστήματος #1 – Δεύτερη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 251994
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 251992
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 1
DownUnderflows       : 1
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/980588)
-----
RTP packets          : 0/251990
Jitter mean          : 1.2 ms
Jitter max           : 14.1 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 251988
JB frames null       : 3
```

Μετρήσεις συστήματος #2 – Πρώτη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/1)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 251045
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 251038
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/213785)
-----
RTP packets          : 0/251036
Jitter mean          : 4.1 ms
Jitter max           : 14.5 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 3
JB frames data       : 251034
JB frames null       : 3
```

Μετρήσεις συστήματος #2 – Δεύτερη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 251993
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 251987
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/95652)
-----
RTP packets          : 0/251990
Jitter mean          : 4.3 ms
Jitter max           : 14.2 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 3
JB frames data       : 251983
JB frames null       : 3
```

13.5 Αποτελέσματα μέτρησης E2EPL.1

Μετρήσεις συστήματος #2:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 30990
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 30933
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/297069)
-----
RTP packets          : 0/30933
Jitter mean          : 3.3 ms
Jitter max           : 20.8 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 30931
JB frames null       : 1
```

Μετρήσεις συστήματος #1:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 1
UpPacketsTotal       : 30993
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 30991
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/292118)
-----
RTP packets          : 0/30987
Jitter mean          : 3.7 ms
Jitter max           : 16.8 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 30987
JB frames null       : 3
```

13.6 Αποτελέσματα μέτρησης E2EPL.2

Μετρήσεις συστήματος #2 – Πρώτη κλήση:

```
=====
VEF statistics (RADIO/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 1
UpPacketsTotal       : 30920
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 30867
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/743335)
-----
RTP packets          : 101/30766
Jitter mean          : 4.3 ms
Jitter max           : 20.5 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 6
JB frames data       : 30758
JB frames null       : 108
```

Μετρήσεις συστήματος #2 – Δεύτερη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 1
UpPacketsTotal       : 31844
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 31842
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/775459)
-----
RTP packets          : 100/31744
Jitter mean          : 4.3 ms
Jitter max           : 20.6 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 5
JB frames data       : 31736
JB frames null       : 105
```

Μετρήσεις συστήματος #1 – Πρώτη κλήση:

```
=====
VEF statistics (RADIO/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 30989
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 30917
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 18

RTP statistics (VOIP/346894)
-----
RTP packets          : 101/30816
Jitter mean          : 3.8 ms
Jitter max           : 18.5 ms
JB frames min         : 0
JB frames max         : 6
JB frames data        : 30809
JB frames null        : 107
```

Μετρήσεις συστήματος #1 – Δεύτερη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 31872
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 31814
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/228591)
-----
RTP packets          : 100/31715
Jitter mean          : 3.8 ms
Jitter max           : 18.4 ms
JB frames min         : 0
JB frames max         : 4
JB frames data        : 31708
JB frames null        : 105
```

13.7 Αποτελέσματα μέτρησης E2EPL.3

Μετρήσεις συστήματος #2:

```
=====
VEF statistics (RADIO/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 1
UpPacketsTotal       : 30961
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 30893
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 13

RTP statistics (VOIP/754347)
-----
RTP packets          : 0/30893
Jitter mean          : 3.6 ms
Jitter max           : 17.9 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 30891
JB frames null       : 1
```

Μετρήσεις συστήματος #1:

```
=====
VEF statistics (RADIO/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 1
UpPacketsTotal       : 30896
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 30843
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/257058)
-----
RTP packets          : 0/30843
Jitter mean          : 3.8 ms
Jitter max           : 21.5 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 30840
JB frames null       : 2
```


13.8 Αποτελέσματα μέτρησης E2EPL.4

Μετρήσεις συστήματος #2 – Πρώτη κλήση:

```
=====
VEF statistics (RADIO/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 31045
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 1
DownPacketsTotal     : 30974
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 15

RTP statistics (VOIP/687812)
-----
RTP packets          : 0/30972
Jitter mean          : 3.4 ms
Jitter max           : 18.8 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 30972
JB frames null       : 1
```

Μετρήσεις συστήματος #2 – Δεύτερη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 31133
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 31075
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/744984)
-----
RTP packets          : 0/31075
Jitter mean          : 3.4 ms
Jitter max           : 18.8 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 31072
JB frames null       : 2
```

Μετρήσεις συστήματος #1 – Πρώτη κλήση:

```
=====
VEF statistics (RADIO/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 30976
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 30921
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/461330)
-----
RTP packets          : 0/30921
Jitter mean          : 4.1 ms
Jitter max           : 19.8 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 30919
JB frames null       : 1
```

Μετρήσεις συστήματος #1 – Δεύτερη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 31102
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 31102
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/764051)
-----
RTP packets          : 0/31102
Jitter mean          : 4.0 ms
Jitter max           : 20.4 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 31098
JB frames null       : 2
```

13.9 Αποτελέσματα μέτρησης E2EPL.5

Μετρήσεις συστήματος #2:

```
=====
VEF statistics (RADIO/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 30884
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 30772
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 17

RTP statistics (VOIP/336083)
-----
RTP packets          : 0/30771
Jitter mean          : 12.8 ms
Jitter max           : 73.0 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 6
JB frames data       : 30730
JB frames null       : 41
```

Μετρήσεις συστήματος #1:

```
=====
VEF statistics (RADIO/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 30813
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 30715
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/796534)
-----
RTP packets          : 0/30715
Jitter mean          : 3.4 ms
Jitter max           : 19.6 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 30712
JB frames null       : 2
```

13.10 Αποτελέσματα μέτρησης E2EPL.6

Μετρήσεις συστήματος #2 – Πρώτη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 33674
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 33610
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/922701)
-----
RTP packets          : 0/33617
Jitter mean          : 11.3 ms
Jitter max           : 34.9 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 7
JB frames data       : 33535
JB frames null       : 74
```

Μετρήσεις συστήματος #2 – Δεύτερη κλήση:

```
=====
VEF statistics (RADIO/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 34363
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 1
DownPacketsTotal     : 34224
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 17

RTP statistics (VOIP/863065)
-----
RTP packets          : 0/34227
Jitter mean          : 11.3 ms
Jitter max           : 40.4 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 6
JB frames data       : 34130
JB frames null       : 93
```

Μετρήσεις συστήματος #1 – Πρώτη κλήση:

```
=====
VEF statistics (FXS/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 33677
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 33677
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/456654)
-----
RTP packets          : 0/33671
Jitter mean          : 3.7 ms
Jitter max           : 20.1 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 2
JB frames data       : 33669
JB frames null       : 7
```

Μετρήσεις συστήματος #1 – Δεύτερη κλήση:

```
=====
VEF statistics (RADIO/0)
-----
UpFifoLengthAvg      : 2
UpPacketsTotal       : 34296
UpPacketsInvalid     : 0
UpPacketsDiscarded   : 0
DownFifoLengthAvg    : 0
DownPacketsTotal     : 34173
DownPacketsInvalid   : 0
DownPacketsDiscarded : 0
DownUnderflows       : 0
Tx frames null       : 0
TB frames max        : 0

RTP statistics (VOIP/87255)
-----
RTP packets          : 0/34174
Jitter mean          : 3.7 ms
Jitter max           : 19.8 ms
JB frames min        : 0
JB frames max        : 3
JB frames data       : 34171
JB frames null       : 1
```

14 Παράρτημα III – Αποτελέσματα μετρήσεων καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης

14.1 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_CSD.1



Γράφημα 37. Μέτρηση καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης LAN_CSD.1

14.2 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_CSD.2



Γράφημα 38. Μέτρηση καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης LAN_CSD.2

14.3 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_CSD.3



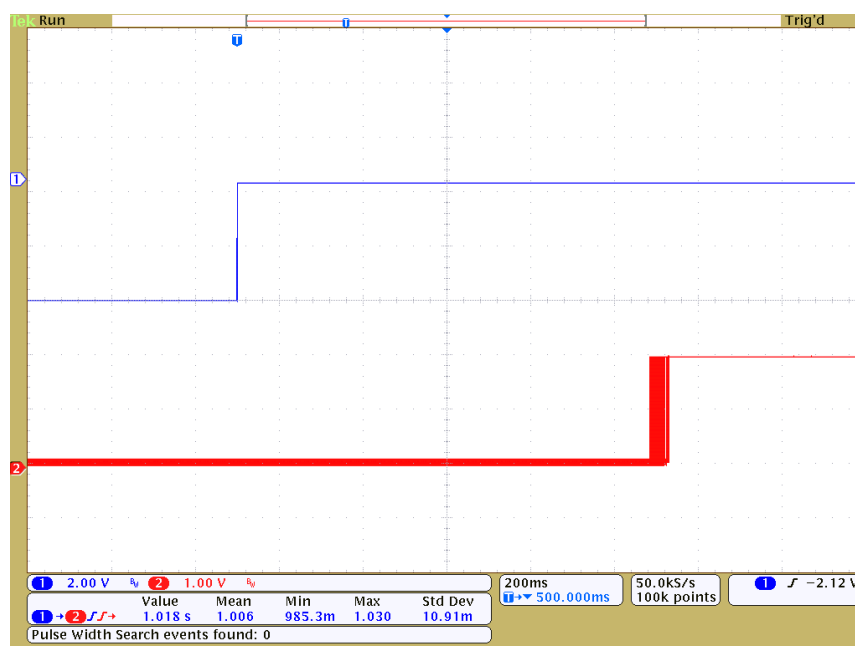
Γράφημα 39. Μέτρηση καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης LAN_CSD.3

14.4 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_CSD.4



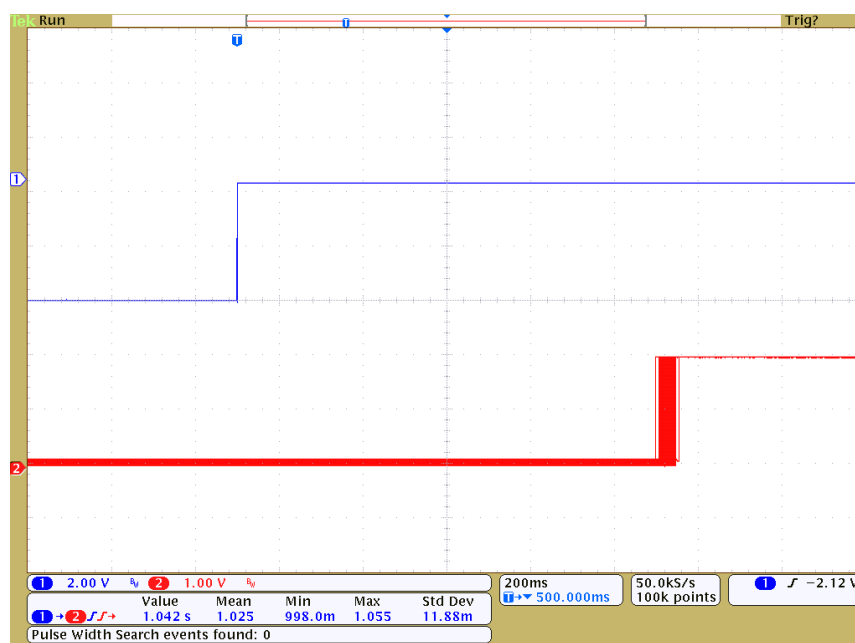
Γράφημα 40. Μέτρηση καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης LAN_CSD.4

14.5 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_CSD.1



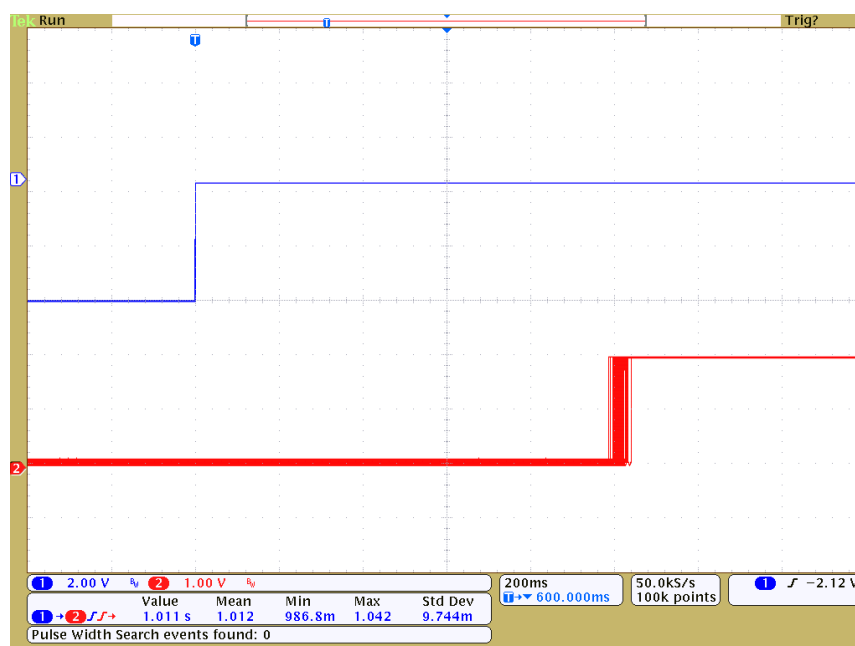
Γράφημα 41. Μέτρηση καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης SAT_CSD.1

14.6 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_CSD.2



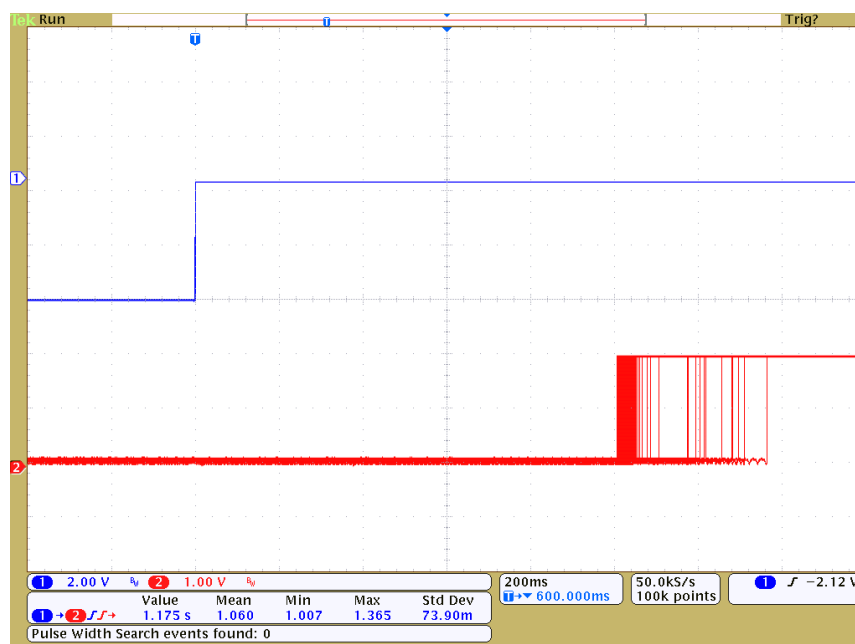
Γράφημα 42. Μέτρηση καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης SAT_CSD.2

14.7 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_CSD.3



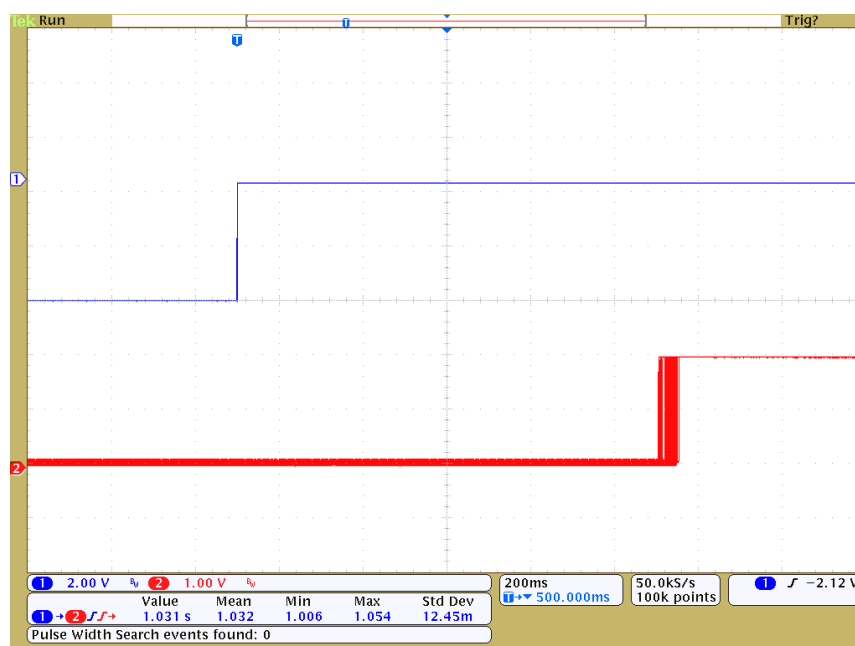
Γράφημα 43. Μέτρηση καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης SAT_CSD.3

14.8 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_CSD.4



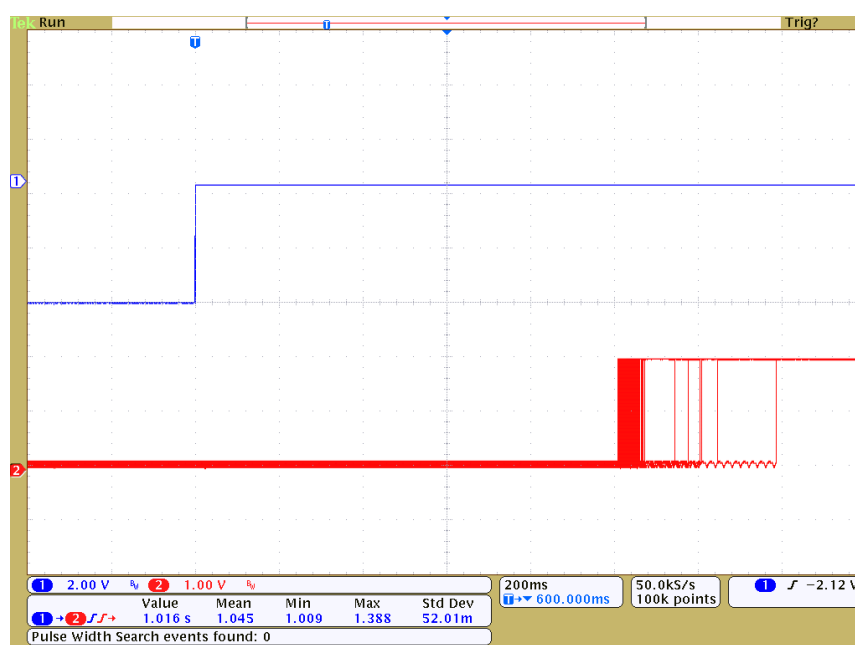
Γράφημα 44. Μέτρηση καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης SAT_CSD.4

14.9 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_CSD.5



Γράφημα 45. Μέτρηση καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης SAT_CSD.5

14.10 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_CSD.6



Γράφημα 46. Μέτρηση καθυστέρησης εγκατάστασης κλήσης SAT_CSD.6

15 Παράρτημα IV – Αποτελέσματα μετρήσεων της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης

15.1 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_E2ED.1



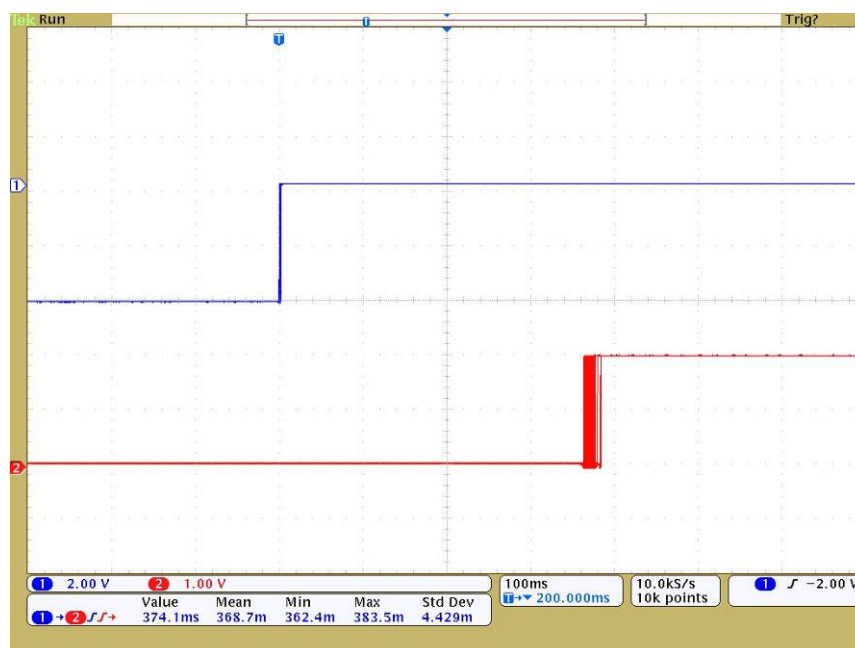
Γράφημα 47. Μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης LAN_E2ED.1

15.2 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_E2ED.2



Γράφημα 48. Μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης LAN_E2ED.2

15.3 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_E2ED.3



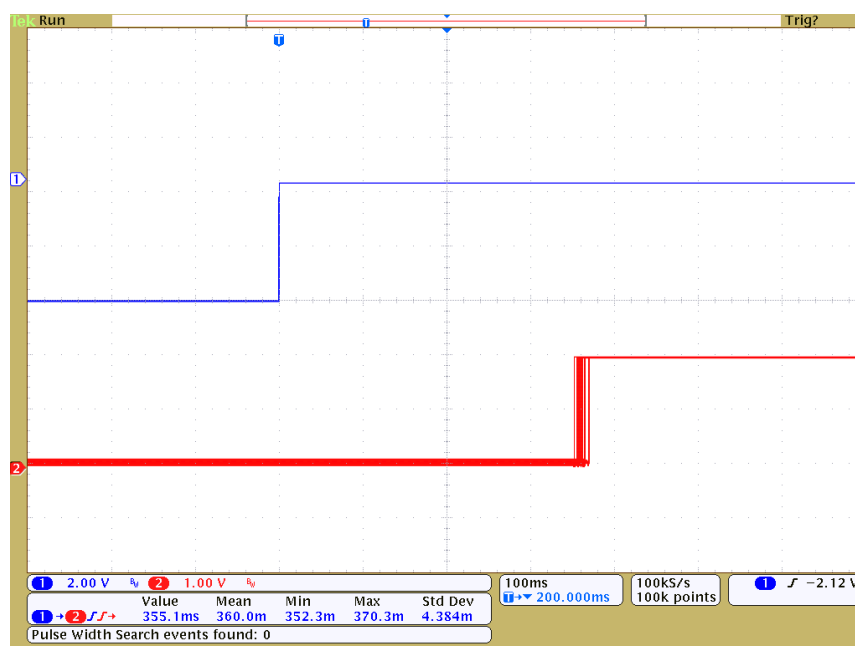
Γράφημα 49. Μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης LAN_E2ED.3

15.4 Αποτελέσματα μέτρησης LAN_E2ED.4



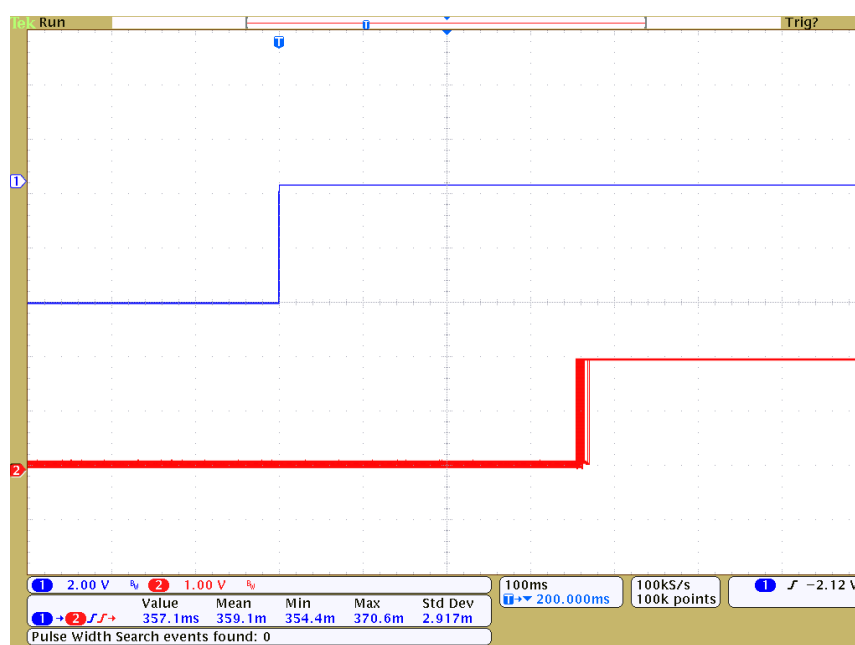
Γράφημα 50. Μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης LAN_E2ED.4

15.5 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_E2ED.1



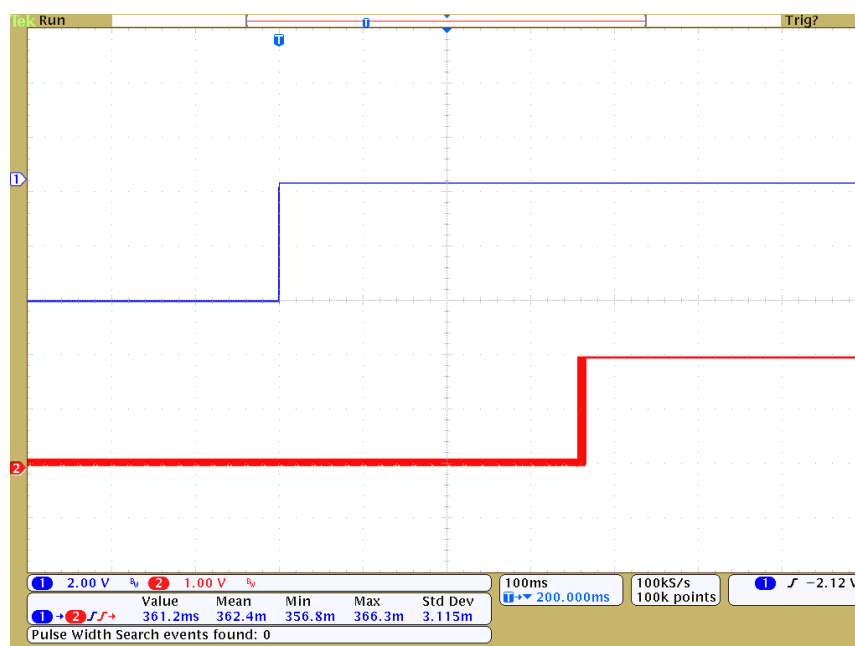
Γράφημα 51. Μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης SAT_E2ED.1

15.6 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_E2ED.2



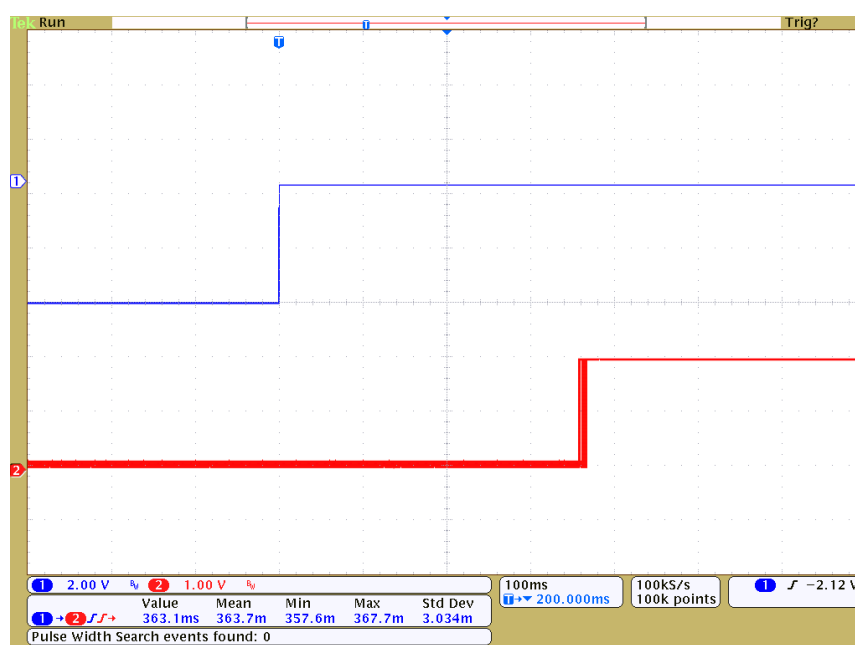
Γράφημα 52. Μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης SAT_E2ED.2

15.7 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_E2ED.3



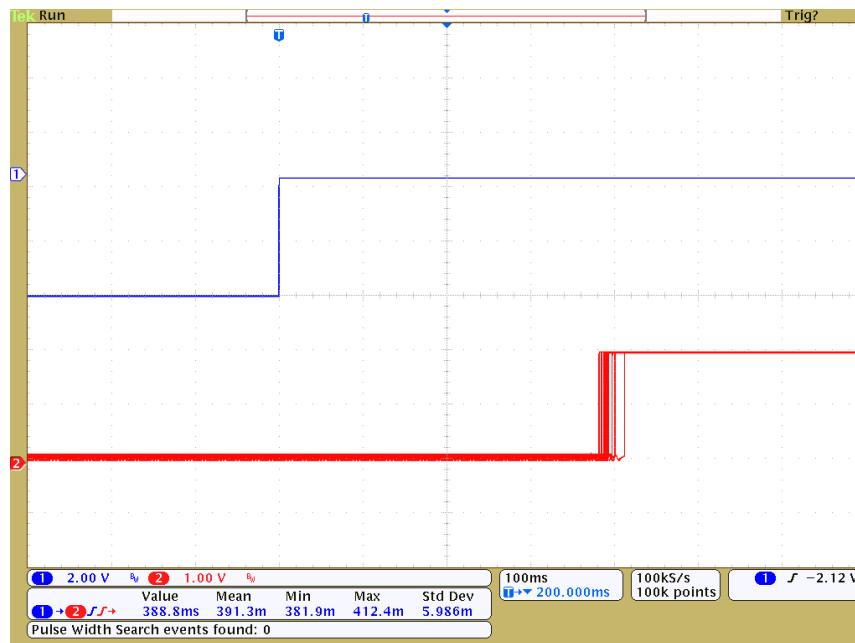
Γράφημα 53. Μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης SAT_E2ED.3

15.8 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_E2ED.4



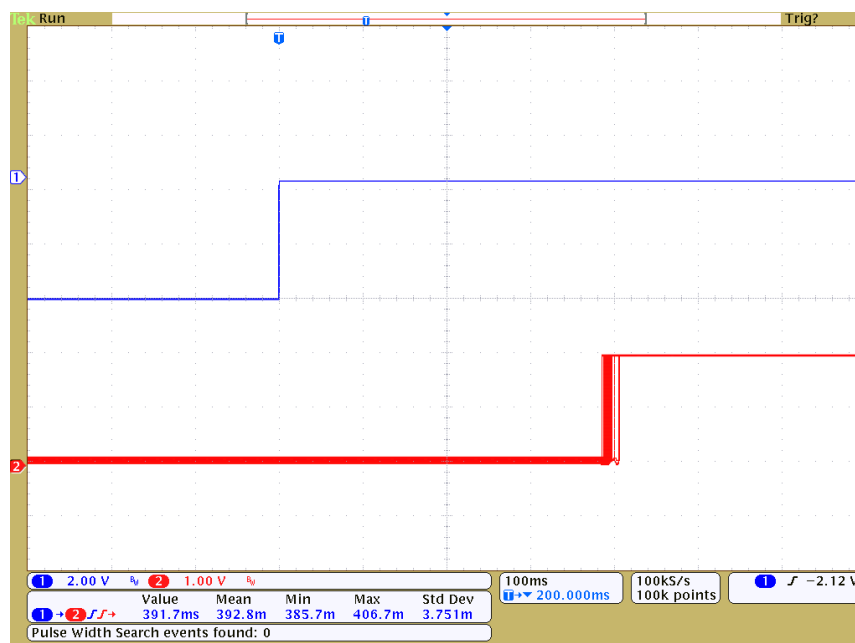
Γράφημα 54. Μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης SAT_E2ED.4

15.9 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_E2ED.5



Γράφημα 55. Μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης SAT_E2ED.5

15.10 Αποτελέσματα μέτρησης SAT_E2ED.6



Γράφημα 56. Μέτρηση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης SAT_E2ED.6

16 Παράρτημα V – Αναφορές ελεγκτών

16.1 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 1

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	CP	
2. Ωρα/ημερομηνία κλήσης	09:10 UTC / 20-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	RJA263 RDS - LARKI	
4. Τύπος πτήσης	☐ VFR	☒ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	FL 320	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Δεν ακούω τη συχνότητα να «κόβει». Αυτό μου δημιουργεί την αίσθηση ότι η συχνότητα δεν λειτουργεί και επομένως ανασφάλεια. Επίσης δεν ακούω την επιστροφή της φωνής μου σε κάθε εκπομπή και αυτό μου δημιουργεί την αίσθηση ότι δεν εκπέμπω. Επομένως δημιουργείται ανασφάλεια.

16.2 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 2

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	GW	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	09:20 UTC / 20-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	RJA263 RDS - LARKI	
4. Τύπος πτήσης	☐ VFR	☒ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	FL 320	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Δεν ακούω τη συχνότητα να «κόβει». Αυτό μου δημιουργεί την αίσθηση ότι η συχνότητα δεν λειτουργεί και επομένως ανασφάλεια. Επίσης δεν ακούω την επιστροφή της φωνής μου σε κάθε εκπομπή και αυτό μου δημιουργεί την αίσθηση ότι δεν εκπέμπω. Επομένως δημιουργείται ανασφάλεια.

16.3 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 3

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	SE	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	09:30 UTC / 20-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	CYP562 RDS - LARKI	
4. Τύπος πτήσης	☐ VFR	☒ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	FL 360	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 <u>8</u> 9 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 2 3 <u>4</u> 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 2 <u>3</u> 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Δεν ακούω τη συχνότητα να «κόβει». Αυτό μου δημιουργεί την αίσθηση ότι η συχνότητα δεν λειτουργεί και επομένως ανασφάλεια. Επίσης δεν ακούω την επιστροφή της φωνής μου σε κάθε εκπομπή και αυτό μου δημιουργεί την αίσθηση ότι δεν εκπέμπω. Επομένως δημιουργείται ανασφάλεια.

16.4 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 4

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	PO	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	09:40 UTC / 20-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	RYW6691 RDS - RIPLI	
4. Τύπος πτήσης	☐ VFR	☒ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	FL 200	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 <u>8</u> 9 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Ακούω ένα ελαφρύ σφύριγμα.

16.5 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 5

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	AJ	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	21:10 UTC / 21-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	NAX 3380 KEA - SNI	
4. Τύπος πτήσης	☐ VFR	☒ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	FL 240 ALT έως 9000 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 <u>8</u> 9 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Στο FL250 η λήψη έρχεται με πολύ θόρυβο. Ο πιλότος αναφέρει ότι ακούει 4/5 με λίγο φύσημα (interference). Στα επόμενα ύψη που έγιναν οι δοκιμές η λήψη βελτιώθηκε λίγο. Στα χαμηλά ύψη (9000 ft, 8000 ft) η λήψη είναι πολύ πτωχή (1/5).

16.6 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 6

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	GX	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	21:20 UTC / 21-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	CSA 6504 KOPAR - RDS	
4. Τύπος πτήσης	☐ VFR	☒ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	FL 250 ALT έως 8500 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 <u>8</u> 9 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποίο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποίο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποίο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποίο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποίο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Η λήψη καθ' όλη τη διάρκεια του ελέγχου ήταν ικανοποιητική με λίγο θόρυβο. Δεν χειροτέρεψε σε χαμηλότερα ύψη. Στα 9000 ft και στα 8500 ft ο θόρυβος ήταν πιο έντονος. Ο πιλότος άκουγε καλά και δεν ανέφερε κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα.

16.7 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 7

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	MR	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	09:40 UTC / 20-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	RYW6691 RDS - RIPLI	
4. Τύπος πτήσης	☐ VFR	☒ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	FL 200	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 <u>8</u> 9 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Ακούω ένα ελαφρύ σφύριγμα.

16.8 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 8

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	CU	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	11:00 UTC / 25-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	SEH143 MITILINI - IRAKLIO (46 NM WEST PATMOS)	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	FL 165	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Ακούω ένα θόρυβο όταν λαμβάνω τη συχνότητα. Ο πιλότος αναφέρει λήψη 5/5.

16.9 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 9

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	PD	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	11:10 UTC / 25-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	OAL 017 IKARIA - ATHINA (40 NM WEST PATMOS)	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	ALT 6900 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Ακούω ένα θόρυβο όταν λαμβάνω τη συχνότητα. Ο πιλότος αναφέρει λήψη 5/5.

16.10 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 10

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	TN	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	06:25 UTC / 26-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	SXASG ATHENS - RHODES (8 NM SOUTH KOPAR)	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	ALT 4800 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Ακούω ένα ανεπαίσθητο θόρυβο όταν λαμβάνω τη συχνότητα. Ο πιλότος αναφέρει λήψη 4/5. Αξιολογώ ότι η λήψη είναι 4/5 και ιδιαίτερα καλή για το ύψος και τη θέση του αεροσκάφους. Ο πιλότος ευρισκόμενος στο KOPAR και σε χαμηλότερο ύψος ανέφερε ότι ελάμβανε την εκπομπή μου, εγώ όμως δεν τον άκουγα.

16.11 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 11

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	MP	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	06:30 UTC / 26-7-2010	
3. Στοιχεία στόχου	SEH 015 MIKONOS - SANTORINI (58 NM WEST PATMOS)	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	ALT 4500 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Ακούω ένα ανεπαίσθητο θόρυβο όταν λαμβάνω τη συχνότητα. Αξιολογώ τη λήψη 4/5. Ο πιλότος αναφέρει λήψη 4/5 και ότι ορισμένες φορές έρχεται η λήψη με διακοπές.

16.12 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 12

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	TS	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	05:00 UTC / 1-8-2010	
3. Στοιχεία στόχου	OAL 012 ATHINA - KALYMNOS (40 NM WEST PATMOS)	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	ALT 12500 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Η ποιότητα εκπομπής και λήψης ήταν πολύ καλές. Δεν παρατηρούνται φαινόμενα καθυστέρησης της λήψης.

16.13 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 13

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	XD	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	05:20 UTC / 1-8-2010	
3. Στοιχεία στόχου	OAL 012 ATHINA - KALYMNOS (20 NM WEST PATMOS)	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	ALT 9000 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Η ποιότητα εκπομπής και λήψης ήταν πολύ καλές. Δεν παρατηρούνται φαινόμενα καθυστέρησης της λήψης.

16.14 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 14

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	CK	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	05:30 UTC / 1-8-2010	
3. Στοιχεία στόχου	OAL 031 LEROS - ATHINA (40 NM WEST PATMOS)	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	ALT 5500 FT έως 12000 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 <u>8</u> 9 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Η ποιότητα εκπομπής και λήψης ήταν γενικά καλές. Σε ύψος 5500 FT ο πιλότος ακούει 5/5 και ο ελεγκτής 4/5 με λίγο θόρυβο. Έγιναν έλεγχοι σε ύψος 7700 FT, 26 NM WEST PATMOS, 10300 FT, 40 NM WEST PATMOS και 12000 FT, 65 NM WEST PATMOS. Στη τελευταία δοκιμή υπάρχει σημαντικός θόρυβος, προφανώς λόγω απόστασης. Δεν παρατηρούνται φαινόμενα καθυστέρησης της λήψης.

16.15 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 15

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	VO	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	05:20 UTC / 1-8-2010	
3. Στοιχεία στόχου	OAL 013 KALYMNOS - ATHINA (20 NM WEST PATMOS)	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	ALT 9000 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Η ποιότητα εκπομπής και λήψης ήταν γενικά καλές. Έγιναν έλεγχοι σε ύψος 7500 FT, 14 NM WEST PATMOS, 9000 FT, 18 NM WEST PATMOS και 12000 FT, 65 NM WEST PATMOS. Στη τελευταία δοκιμή υπάρχει σημαντικός θόρυβος, προφανώς λόγω απόστασης. Στις υπόλοιπες η εκπομπή και λήψη ήταν πολύ καλές (5/5). Δεν παρατηρούνται φαινόμενα καθυστέρησης της λήψης.

16.16 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 16

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	SC	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	09:00 UTC / 1-8-2010	
3. Στοιχεία στόχου	OAL 016 ATHINA - IKARIA (40 NM WEST PATMOS)	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	ALT 10400 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Η ποιότητα εκπομπής και λήψης ήταν πολύ καλές. Δεν παρατηρούνται φαινόμενα καθυστέρησης της λήψης.

16.17 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 17

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου			
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	PV		
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	08:10 UTC / 13-8-2010		
3. Στοιχεία στόχου	SXKIP THESSALONIKI - KALYMNOS		
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR	
5. Ύψος πτήσης στόχου	6500 FT		

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Η κυκλοφορία πετώντας στη θέση MES δεν άκουγε (εκτός της χωροκάλυψης). Σε απόσταση 15 NM βόρεια Πάτμου άκουγε 5/5 και ο ελεγκτής 5/5 με λίγο θόρυβο. Σε απόσταση 15 NM βόρεια Καλύμνου η λήψη ήταν 3/5 αλλά ο πιλότος δεν άκουγε.

16.18 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 18

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	CP	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	08:20 UTC / 13-8-2010	
3. Στοιχεία στόχου	SXHES MYKONOS - PATMOS	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	2000 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Ήταν μια κυκλοφορία με προορισμό το ελικοδρόμιο Πάτμου. Έγινε έλεγχος της συχνότητας από την αναχώρηση από το αεροδρόμιο Μυκόνου μέχρι τη προσγείωση στο ελικοδρόμιο της Πάτμου στο έδαφος. Σε απόσταση 15 NM ανατολικά RIPLI ο πιλότος άκουγε 5/5 και ο ελεγκτής 5/5 με λίγο θόρυβο. Σε απόσταση 20 NM δυτικά της Πάτμου σε ύψος 1500 FT ο πιλότος άκουγε 5/5 και ο ελεγκτής 5/5. Αρχίζοντας τη κάθοδο προς το ελικοδρόμιο τόσο η λήψη όσο και η εκπομπή ήταν εξαιρετικές. Στο έδαφος η επικοινωνία ήταν εξαιρετική και με αυτό τον τρόπο έκλεισε και το σχέδιο πτήσης. Ο πιλότος εξέφρασε τον εντυπωσιασμό του διότι παραδοσιακά δεν είχε ποτέ ραδιοφωνική κάλυψη στη περιοχή αυτή. Θεωρώ ότι το εγχείρημα της δορυφορικής επικοινωνίας είναι επιτυχές και καλύπτει από πλευράς συχνότητας το ελικοδρόμιο έως το έδαφος.

16.19 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 19

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου			
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	PV		
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	10:50 UTC / 30-8-2010		
3. Στοιχεία στόχου	SEH011 HIOS - RHODOS (18 NM WEST PATMOS)		
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR	
5. Ύψος πτήσης στόχου	13500 FT		

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Η ποιότητα εκπομπής και λήψης ήταν πολύ καλές. Δεν παρατηρούνται φαινόμενα καθυστέρησης της λήψης.

16.20 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 20

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου			
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	XD		
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	10:50 UTC / 30-8-2010		
3. Στοιχεία στόχου	OAL016 ATHINA - IKARIA		
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR	
5. Ύψος πτήσης στόχου	FL115		

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιό βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Η ποιότητα εκπομπής και λήψης ήταν καλές. Ο πιλότος ανέφερε την ύπαρξη θορύβου (λήψη 4/5). Η λήψη μου ήταν ικανοποιητική με δεδομένη τη θέση του αεροσκάφους και τους χάρτες ραδιοκάλυψης. Δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα καθυστέρησης της λήψης.

16.21 Αναφορά κλήσης ασυρμάτου 21

Στοιχεία κλήσης ασυρμάτου		
1. Υπεύθυνος ελεγκτής	GW	
2. Ώρα/ημερομηνία κλήσης	10:55 UTC / 30-8-2010	
3. Στοιχεία στόχου	OAL015 KALYMNOS - ATHINA	
4. Τύπος πτήσης	☒ VFR	☐ IFR
5. Ύψος πτήσης στόχου	9500 FT	

Βαθμολογίες ποιότητας κλήσης και επίδρασης της καθυστέρησης			
1. Πως βαθμολογείτε την ποιότητα της φωνής κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Πολύ κακή	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	Εξαιρετικά καλή
2. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
3. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον χρονισμό των εντολών ελέγχου κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
4. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τη χρήση της σωστής φρασεολογίας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
5. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε την καθαρότητα της φωνής σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ
6. Σε ποιο βαθμό η καθυστέρηση επηρέασε τον ρυθμό ομιλίας σας κατά τη διάρκεια της κλήσης;	Καθόλου	<u>1</u> 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Πάρα πολύ

Έχετε κάποια επιπλέον σχόλια ή διευκρινίσεις για την εμπειρία σας από το σύστημα στη διάρκεια της κλήσης;

Η ποιότητα εκπομπής και λήψης ήταν πολύ καλές. Δεν παρατηρούνται φαινόμενα καθυστέρησης της λήψης.

HELLAS SAT			Tel: +30 210 6100600 -ext. 124 Fax: +30 210 6111545 e-mail: a.kalivas@hellas-sat.net www.hellas-sat.net								
Satellite and Transponder Information			Uplink Information			Downlink Information			Key Status Indicators		
Satellite:	Hellas SAT HellasSat-2		Beam Name:	F2H		Beam Name:	F2V		Overall	☒	
Longitude [deg E]:	39.00		Begin Freq [MHz]:	14.208,00		Begin Freq [MHz]:	11.158,00		Sys Margin	☒	
Transponder ID:	06-F2H/F2V		Center Freq [MHz]:	14.226,00		Center Freq [MHz]:	11.176,00		Availability	☒	
Bandwidth [MHz]:	36,0		End Freq [MHz]:	14.244,00		End Freq [MHz]:	11.194,00		UL EIRP Lim	☒	
Nominal Input Backoff [dB]:	-9,0		Beam-Peak SFD [dBW/m²]:	-89,9		Saturation Beam-Peak EIRP [dBW]:	55,0		D/L PFD Lim	☒	
Nominal Output Backoff [dB]:	-4,0		Beam-Peak G/T [dB/K]:	11,1		Operational Beam-Peak EIRP [dBW]:	50,9		Xpdr Power	☒	
Transponder Operating Mode:	Multi-Carrier		Polarization:	Horizontal		Polarization:	Vertical		Xpdr BW	☒	
Carrier Information			Uplink Calculations			Clear			Rain Up		
Carrier ID:	Ellinko - Patmos		E/S HPA Rating [dBW]:	4,5		4,5		4,5			
Carrier Type:	Digital		E/S HPA Operation Loss [dB]:	0,0		0,0		0,0			
Uplink Center Frequency [MHz]:	14.226,0000		E/S HPA OBO (per-carrier) [dB]:	-0,3		-0,3		-0,3			
Downlink Center Frequency [MHz]:	11.176,0000		UPC Power Boost [dB]:	0,0		0,0		0,0			
Number of Carriers:	1		Effective E/S HPA OBO (per-carrier) [dB]:	-0,3		-0,3		-0,3			
Activity Factor [%]:	100%		Power at HPA Output Flange [dBW]:	4,2		4,2		4,2			
Information Rate [Mbit/s]:	0,5888		E/S HPA C/I [dB]:	25,0		25,0		25,0			
Overhead [Mbit/s]:	0,0000		Uplink Feed Loss [dB]:	0,5		0,5		0,5			
Composite Data Rate [Mbit/s]:	0,5888		Power at Antenna Input Flange [dBW]:	3,7		3,7		3,7			
FEC or Turbo Code Rate:	3/4		Uplink Antenna Gain [dBi]:	46,7		46,7		46,7			
RS Code (n,k):	N/A		Uplink EIRP [dBW]:	50,4		50,4		50,4			
Effective Code Rate:	0,75000		Radome Loss [dB]:	0,0		0,0		0,0			
Modulation Type:	QPSK		Effective Uplink EIRP [dBW]:	50,4		50,4		50,4			
Number of Bits Per Symbol:	2		Uplink Free Space Loss [dB]:	207,0		207,0		207,0			
Noise Bandwidth [MHz]:	0,3925		Uplink Atmospheric Absorption [dB]:	0,0		0,0		0,0			
Filter Roll-off Factor	0,35		Uplink Miscellaneous Losses [dB]:	0,2		0,2		0,2			
Bandwidth Allocation Factor:	1,40		Uplink Propagation Loss Margin [dB]:	0,3		2,7		0,3			
Allocated Bandwidth [MHz]:	0,5500		Uplink Availability [% / yr]:	0,000%		99,937%		0,000%			
Required Clear-Sky Eb/No [dB]:	7,9		Gain of 1m² Antenna [dBi]:	44,5		44,5		44,5			
Required Rain-Degraded Eb/No [dB]:	7,9		Carrier FD From Direction of Uplink E/S [dBW/m²]:	-112,6		-114,9		-112,6			
Required Link Availability [%]:	99,700%		Transponder SFD from Beam-Peak [dBW/m²]:	-89,9		-89,9		-89,9			
Other Losses [dB]:	0,0		Uplink Aspect Correction [dB]:	4,5		4,5		4,5			
Required System Margin [dB]:	1,0		Transponder SFD from Direction of Tx E/S [dBW/m²]:	-85,4		-85,4		-85,4			
Transmit E/S Information			Carrier Input Backoff [dB]:	-27,2		-29,5		-27,2			
Name:	Ellinko		Transponder Beam-Peak G/T [dB/K]:	11,1		11,1		11,1			
City / Country:	-/		Transponder G/T in Direction of Tx E/S [dB/K]:	6,6		6,6		6,6			
Latitude [deg N]:	37,8800		Uplink Thermal Noise C/N [dB]:	22,2		19,8		22,2			
Longitude [deg E]:	23,7300		Uplink Co-Channel Interference (CCI) C/I [dB]:	27,0		24,6		27,0			
Altitude [m]:	0		Uplink Adjacent Satellite Interference (ASI) C/I [dB]:	30,0		27,6		30,0			
Range to Satellite [km]:	37.527,7		Transponder Calculations			Clear			Rain Up		
True Azimuth [deg]:	155,9		Xpdr Dk Saturation EIRP Towards Beam-Peak [dBW]:	55,0		55,0		55,0			
True Elevation [deg]:	43,5		Xpdr Dk Saturation EIRP Towards Receive E/S [dBW]:	53,4		53,4		53,4			
Magnetic Azimuth [deg]:	152,3		Carrier OBO - IBO Delta [dB]:	5,0		5,0		5,0			
Effective (Refracted) Elevation [deg]:	43,5		Carrier Output Backoff [dB]:	-22,2		-24,6		-22,2			
HPA Rating [W]:	2,8		Carrier Downlink EIRP Towards Beam-Peak [dB]:	32,8		30,4		32,8			
HPA Operating Mode:	Single-Carrier		Downlink Aspect Correction [dB]:	1,5		1,5		1,5			
HPA Operation Loss [dB]:	0		Carrier Downlink EIRP (Towards Receive E/S) [dBW]:	31,2		28,9		31,2			
UPC Type:	N/A		Transponder HPA Intermodulation C/I [dB]:	18,0		15,6		18,0			
UPC Dynamic Range [dB]:	0,0		Adjacent Carrier Interference (ACI) C/I [dB]:	27,0		24,6		27,0			
Uplink Feed Loss [dB]:	0,5		Downlink Calculations			Clear			Rain Up		
Diameter / Effective Aperture [m]:	1,8		Downlink Free Space Loss [dB]:	204,9		204,9		204,9			
Efficiency [%]:	65%		Downlink Atmospheric Absorption [dB]:	0,0		0,0		0,0			
Antenna Gain (at Cxr Uplink Freq) [dBi]:	46,7		Downlink Miscellaneous Losses [dB]:	0,2		0,2		0,2			
Radome Loss [dB]:	0,0		Downlink Propagation Loss Margin [dB]:	0,2		0,2		4,5			
Antenna Uplink Mispointing Loss [dB]:	0,2		Downlink Availability [% / yr]:	0,000%		0,000%		99,994%			
Uplink Depolarization Loss	0,0		Effective Rx E/S G/T [dB/K]:	23,4		23,4		19,7			
Other Uplink Losses [dB]:	0,0		Downlink Thermal Noise C/N [dB]:	22,0		19,6		14,0			
Uplink Aspect Correction [dB]:	4,5		Downlink Co-Channel Interference C/I [dB]:	27,0		24,6		27,0			
Receive E/S Information			Downlink Adjacent Satellite Interference C/I [dB]:	19,0		16,6		19,0			
Name:	Patmos		Performance Summary			Clear			Rain Up		
City / Country:	-/		Carrier Total C/N [dB]:	12,9		10,7		10,7			
Latitude [deg E]:	37,3300		Miscellaneous Losses [dB]:	0,0		0,0		0,0			
Longitude [deg E]:	26,5400		Predicted C/N [dB]:	12,9		10,7		10,7			
Altitude [m]:	0		Required C/N [dB]:	9,7		9,7		9,7			
Range to Satellite [km]:	37.420,2		Predicted Eb/No [dB]:	11,2		8,9		9,0			
True Azimuth [deg]:	159,9		Required Eb/No [dB]:	7,9		7,9		7,9			
True Elevation [deg]:	45,0		Achieved			Achieved CW			Satisfied?		
Magnetic Azimuth [deg]:	156,0		C/W	3,3		& Rain		1,0		YES	
Effective (Refracted) Elevation [deg]:	45,0		System Margin [dB]:	1,0		Required		1,0		YES	
Radome Loss [dB]:	0,0		Required Link Availability [% / yr]:	99,700%		99,931%					
Diameter / Effective Aperture [m]:	1,8		Uplink Off-Axis EIRP Margin			Downlink PFD Margin					
Efficiency [%]:	65%		Effective Carrier U/L Boresight EIRP [dBW]	50,4		Carrier D/L EIRP at Beam Peak [dBW]:		32,8			
Antenna Gain (at Cxr Downlink Freq) [dBi]:	44,6		Off-Axis Analysis Angle [deg]:	3,0		Assumed Angle of Arrival [deg]:		5,0			
Downlink Feed Loss [dB]:	0,5		Antenna Off-Axis Gain [dBi]:	20,1		Path Loss Towards Ang Arr [dB]:		206,6			
Antenna Noise Temperature [K]:	28,0		Carrier U/L Off-Axis EIRP [dBW]:	23,8		PFD at Earth's Surface [dBW/m²]:		-131,5			
LNA Noise Temperature [K]:	58,9		ITU Off-Axis EIRP Limit [dBW]:	37,0		ITU RR-28 Limit [dBW/m²]:		-130,1			
Ambient Temperature [K]:	290,0		Off-Axis EIRP Limit Margin [dB]:	13,2		PFD Margin [dB]:		1,4			
System Noise Temperature (Clear-Sky) [K]:	117,8		Noise Analysis			Percent of Total [%]			C/I or C/IM or C/N [dB]		
Effective G/T (Clear-Sky) [dB/K]:	23,4					Clear			Rain Up		
Antenna Downlink Mispointing Loss [dB]:	0,2		E/S HPA IM	3,7%		3,7%		25,0		25,0	
Downlink Depolarization Loss [dB]:	0,0		Uplink Thermal Noise	7,0%		12,2%		22,2		19,8	
Other Downlink Losses [dB]:	0,0		Uplink CCI	2,3%		4,0%		27,0		24,6	
Downlink Aspect Correction [dB]:	1,5		Uplink ASI	1,2%		2,0%		30,0		27,6	
Bandwidth Analysis			Xpdr HPA IM	18,5%		32,0%		18,0		15,6	
Allocated Bandwidth [MHz]:	0,5500		ACI	2,3%		4,0%		27,0		24,6	
Power Equivalent Bandwidth [MHz]:	0,5500		Downlink Thermal Noise	7,4%		12,7%		46,9%		22,0	
Leased Bandwidth [MHz]:	0,5500		Downlink CCI	2,3%		4,0%		27,0		24,6	
Capacity Optimal / BW / PWR Limited:	Capacity Optimal		Downlink ASI	14,7%		25,4%		19,0		16,6	
Cxr Ellinko - Patmos			Total Noise	59,5%		100,0%		99,0%		12,9	

HELLAS SAT			Tel: +30 210 6100600 -ext. 124 Fax: +30 210 6111545 e-mail: a.kalivas@hellas-sat.net www.hellas-sat.net																	
Satellite and Transponder Information			Uplink Information			Downlink Information			Key Status Indicators											
Satellite:	Hellas SAT HellasSat-2		Beam Name:	F2H		Beam Name:	F2V		Overall	☒										
Longitude [deg E]:	39,00		Begin Freq [MHz]:	14.208,00		Begin Freq [MHz]:	11.158,00		Sys Margin	☒										
Transponder ID:	06-F2H/F2V		Center Freq [MHz]:	14.226,00		Center Freq [MHz]:	11.176,00		Availability	☒										
Bandwidth [MHz]:	36,0		End Freq [MHz]:	14.244,00		End Freq [MHz]:	11.194,00		U/L EIRP Lim	☒										
Nominal Input Backoff [dB]:	-9,0		Beam-Peak SFD [dBW/m²]:	-89,9		Saturation Beam-Peak EIRP [dBW]:	55,0		D/L PFD Lim	☒										
Nominal Output Backoff [dB]:	-4,0		Beam-Peak G/T [dB/K]:	11,1		Operational Beam-Peak EIRP [dBW]:	50,9		Xpdr Power	☒										
Transponder Operating Mode:	Multi-Carrier		Polarization:	Horizontal		Polarization:	Vertical		Xpdr BW	☒										
Carrier Information			Uplink Calculations			Clear			Rain Up			Rain Dn								
Carrier ID:	Patmos - Elliniko		E/S HPA Rating [dBW]:	4,9		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9							
Carrier Type:	Digital		E/S HPA Operation Loss [dB]:	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Uplink Center Frequency [MHz]:	14.226,0000		E/S HPA OBO (per-carrier) [dB]:	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Downlink Center Frequency [MHz]:	11.176,0000		UPC Power Boost [dB]:	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Number of Carriers:	1		Effective E/S HPA OBO (per-carrier) [dB]:	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Activity Factor [%]:	100%		Power at HPA Output Flange [dBW]:	4,9		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9							
Information Rate [Mbit/s]:	0,5888		E/S HPA C/IM [dB]:	25,0		25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0							
Overhead [Mbit/s]:	0,0000		Uplink Feed Loss [dB]:	1,5		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5							
Composite Data Rate [Mbit/s]:	0,5888		Power at Antenna Input Flange [dBW]:	3,4		3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4							
FEC or Turbo Code Rate:	3/4		Uplink Antenna Gain [dBi]:	46,7		46,7	46,7	46,7	46,7	46,7	46,7	46,7	46,7							
RS Code (n,k):	N/A		Uplink EIRP [dBW]:	50,1		50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1							
Effective Code Rate:	0,75000		Radome Loss [dB]:	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Modulation Type:	QPSK		Effective Uplink EIRP [dBW]:	50,1		50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1							
Number of Bits Per Symbol:	2		Uplink Free Space Loss [dB]:	207,0		207,0	207,0	207,0	207,0	207,0	207,0	207,0	207,0							
Noise Bandwidth [MHz]:	0,3925		Uplink Atmospheric Absorption [dB]:	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Filter Roll-off Factor	0,35		Uplink Miscellaneous Losses [dB]:	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2							
Bandwidth Allocation Factor:	1,40		Uplink Propagation Loss Margin [dB]:	0,3		2,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3							
Allocated Bandwidth [MHz]:	0,5500		Uplink Availability [% / yr]:	0,000%		99,927%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%							
Required Clear-Sky Eb/No [dB]:	7,9		Gain of 1m² Antenna [dBi]:	44,5		44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5							
Required Rain-Degraded Eb/No [dB]:	7,9		Carrier FD From Direction of Uplink E/S [dBW/m²]:	-112,8		-115,2	-112,8	-112,8	-112,8	-112,8	-112,8	-112,8	-112,8							
Required Link Availability [%]:	99,700%		Transponder SFD from Beam-Peak [dBW/m²]:	-89,9		-89,9	-89,9	-89,9	-89,9	-89,9	-89,9	-89,9	-89,9							
Other Losses [dB]:	0,0		Uplink Aspect Correction [dB]:	4,2		4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2							
Required System Margin [dB]:	1,0		Transponder SFD from Direction of Tx E/S [dBW/m²]:	-85,7		-85,7	-85,7	-85,7	-85,7	-85,7	-85,7	-85,7	-85,7							
Transmit E/S Information			Carrier Input Backoff [dB]:	-27,2		-29,5	-27,2	-27,2	-27,2	-27,2	-27,2	-27,2	-27,2							
Name:	Patmos_1 *		Transponder Beam-Peak G/T [dB/K]:	11,1		11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1							
City / Country:	-/		Transponder G/T in Direction of Tx E/S [dB/K]:	6,9		6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9							
Latitude [deg N]:	37,3300		Uplink Thermal Noise C/N [dB]:	22,2		19,8	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2							
Longitude [deg E]:	26,5400		Uplink Co-Channel Interference (CCI) C/I [dB]:	27,0		24,6	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0							
Altitude [m]:	50		Uplink Adjacent Satellite Interference (ASI) C/I [dB]:	30,0		27,6	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0							
Range to Satellite [km]:			37,420,2			Transponder Calculations			Clear			Rain Up			Rain Dn					
True Azimuth [deg]:	159,9		Xpdr Dik Saturation EIRP Towards Beam-Peak [dBW]:	55,0		55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0				
True Elevation [deg]:	45,0		Xpdr Dik Saturation EIRP Towards Receive E/S [dBW]:	53,5		53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5				
Magnetic Azimuth [deg]:	156,0		Carrier OBO - IBO Delta [dB]:	5,0		5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0				
Effective (Refracted) Elevation [deg]:	45,0		Carrier Output Backoff [dB]:	-22,2		-24,6	-22,2	-22,2	-22,2	-22,2	-22,2	-22,2	-22,2	-22,2	-22,2	-22,2				
HPA Rating [W]:	3,1		Carrier Downlink EIRP Towards Beam-Peak [dB]:	32,8		30,4	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8				
HPA Operating Mode:	Single-Carrier		Downlink Aspect Correction [dB]:	1,5		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5				
HPA Operation Loss [dB]:	0		Carrier Downlink EIRP (Towards Receive E/S) [dBW]:	31,3		28,9	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3				
UPC Type:	N/A		Transponder HPA Intermodulation C/IM [dB]:	18,0		15,6	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0				
UPC Dynamic Range [dB]:	0,0		Adjacent Carrier Interference (ACI) C/I [dB]:	27,0		24,6	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0				
Uplink Feed Loss [dB]:	1,5		Downlink Calculations			Clear			Rain Up			Rain Dn								
Diameter / Effective Aperture [m]:	1,8		Downlink Free Space Loss [dB]:	204,9		204,9	204,9	204,9	204,9	204,9	204,9	204,9	204,9	204,9	204,9	204,9				
Efficiency [%]:	65%		Downlink Atmospheric Absorption [dB]:	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Antenna Gain (at Cxr Uplink Freq) [dBi]:	46,7		Downlink Miscellaneous Losses [dB]:	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2				
Radome Loss [dB]:	0,0		Downlink Propagation Loss Margin [dB]:	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2				
Antenna Uplink Mispointing Loss [dB]:	0,2		Downlink Availability [% / yr]:	0,000%		0,000%	99,995%	99,995%	99,995%	99,995%	99,995%	99,995%	99,995%	99,995%	99,995%	99,995%				
Uplink Depolarization Loss	0,0		Effective Rx E/S G/T [dB/K]:	23,4		23,4	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7				
Other Uplink Losses [dB]:	0,0		Downlink Thermal Noise C/N [dB]:	22,0		19,7	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0				
Uplink Aspect Correction [dB]:	4,2		Downlink Co-Channel Interference C/I [dB]:	27,0		24,6	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0				
Receive E/S Information			Downlink Adjacent Satellite Interference C/I [dB]:	19,0		16,6	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0				
Name:	Elliniko_1 *		Performance Summary			Clear			Rain Up			Rain Dn								
City / Country:	-/		Carrier Total C/N [dB]:	12,9		10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7				
Latitude [deg E]:	37,8800		Miscellaneous Losses [dB]:	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Longitude [deg E]:	23,7300		Predicted C/N [dB]:	12,9		10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7				
Altitude [m]:	0		Required C/N [dB]:	9,7		9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7				
Range to Satellite [km]:	37,527,7		Predicted Eb/No [dB]:	11,2		8,9	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0				
True Azimuth [deg]:	155,9		Required Eb/No [dB]:	7,9		7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9				
True Elevation [deg]:	43,5		Feasibility Analysis			Achieved			Achieved CW			Required			Satisfied?					
Magnetic Azimuth [deg]:	152,3		System Margin [dB]:	3,3		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	YES				
Effective (Refracted) Elevation [deg]:	43,5		Required Link Availability [% / yr]:	99,700%		99,922%	99,922%	99,922%	99,922%	99,922%	99,922%	99,922%	99,922%	99,922%	99,922%	YES	YES			
Radome Loss [dB]:	0,0		Uplink Off-Axis EIRP Margin			Downlink PFD Margin			Clear			Rain Up			Rain Dn					
Diameter / Effective Aperture [m]:	1,8		Effective Carrier U/L Boresight EIRP [dBW]	50,1		50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1			
Efficiency [%]:	65%		Off-Axis Analysis Angle [deg]:	3,0		3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0			
Antenna Gain (at Cxr Downlink Freq) [dBi]:	44,6		Antenna Off-Axis Gain [dBi]:	20,1		20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1			
Downlink Feed Loss [dB]:	0,5		Carrier U/L Off-Axis EIRP [dBW]:	23,5		23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5			
Antenna Noise Temperature [K]:	27,9		ITU Off-Axis EIRP Limit [dBW]:	37,0		37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0			
LNA Noise Temperature [K]:	58,8		Off-Axis EIRP Limit Margin [dB]:	13,5		13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5			
Ambient Temperature [K]:	290,0		Noise Analysis			Percent of Total [%]			C/I or C/IM or C/N [dB]			Clear			Rain Up			Rain Dn		
System Noise Temperature (Clear-Sky) [K]:	117,7		E/S HPA IM	3,7%		3,7%	3,7%	3,7%	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Effective G/T (Clear-Sky) [dB/K]:	23,4		Uplink Thermal Noise	7,1%		12,2%	7,1%	22,2	19,8	19,8	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	
Antenna Downlink Mispointing Loss [dB]:	0,2		Uplink CCI	2,3%		4,0%	2,3%	27,0	24,6	24,6	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	
Downlink Depolarization Loss [dB]:	0,0		Uplink ASI	1,2%		2,0%	1,2%	30,0	27,6	27,6	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	
Other Downlink Losses [dB]:	0,0		Xpdr HPA IM	18,6%		32,0%	18,6%	18,0	15,6	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	
Downlink Aspect Correction [dB]:	1,5		ACI	2,3%		4,0%	2,3%	27,0	24,6	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	
Bandwidth Analysis			Downlink Thermal Noise	7,3%		12,6%	47,1%	22,0	19,7	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	
Allocated Bandwidth [MHz/%]:	0,5500	1,53%	Downlink CCI	2,3%		4,0%	2,3%	27,0	24,6	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	
Power Equivalent Bandwidth [MHz/%]:	0,5500	1,53%	Downlink ASI	14,7%		25,4%	14,7%	19,0	16,6	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	
Leased Bandwidth [MHz/%]:	0,5500	1,53%	Total Noise	59,6%		100,0%	99,4%	12,9	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	
Capacity Optimal / BW / PWR Limited:	Capacity Optimal		Cxr Patmos - Elliniko																	

18 Παράρτημα VII – Ερωτηματολόγιο για την αξιολόγηση της ποιότητας τηλεφωνικών κλήσεων

Το ακόλουθο ερωτηματολόγιο προτείνεται από την Αναφορά 60 με τροποποιήσεις που προτείνονται στην Αναφορά 61 για την αξιολόγηση τηλεφωνικής υπηρεσίας που παρέχεται από το παραδοσιακό τηλεφωνικό δίκτυο.

1.0 Ποια από τις ακόλουθες 4 λέξεις είναι η κοντινότερη για να περιγράψει την ποιότητα της επικοινωνίας σας;

1.1 – εξαιρετική	☐
1.2 – καλή	☐
1.3 – μέτρια	☐
1.4 – κακή	☐

2.0 Είχατε κάποια δυσκολία να μιλήσετε ή να ακούσετε κατά τη διάρκεια της κλήσης;

Μην ρωτάτε. Αν ο χρήστης προθυμοποιηθεί να δώσει κάποια εξήγηση, καταγράψτε τη

.....

Στις ερωτήσεις 2.1-2.8, προσπαθήστε να γράψετε όλο το κείμενο προτού απαντήσει ο χρήστης.

2.1 Τώρα θα ήθελα να θέσω κάποιες συγκεκριμένες ερωτήσεις σχετικά με την ποιότητα της κλήσης.

Αν ο χρήστης έχει ήδη εκφράσει κάποια δυσκολία, προσθέστε:

Με βάση τα όσα έχετε ήδη πει, κάποιες από τις ερωτήσεις μπορεί να φανούν επαναλαμβανόμενες αλλά παρακαλώ για την υπομονή σας.

Κατ'αρχήν, κατά τη διάρκεια της συνομιλίας σας, ακούσατε ηχώ της φωνής σας ή η φωνή σας ακουγόταν ρηχή;

2.1.1 – Η φωνή μου ακουγόταν ρηχή	☐
2.1.2 – Τίποτα από τα 2	☐
2.1.3 – Δεν θυμάμαι/δεν είμαι σίγουρος	☐
2.1.4 – Κάτι άλλο (προσδιορίστε)	

2.2 Ακούσατε κάποια άλλη συνομιλία την ίδια ώρα με τη δική σας;

2.2.1 – Άλλη συνομιλία	☐
2.2.2 – Όχι	☐
2.2.3 – Δεν θυμάμαι/δεν είμαι σίγουρος	☐
2.2.4 – Κάτι άλλο (προσδιορίστε)	

2.3 Τώρα θα ήθελα να σκεφτείτε τη φωνή του ανθρώπου με τον οποίο συνομιλούσατε. Η φωνή ακουγόταν σιγά; Η φωνή παρουσίαζε μεταβολές στην ένταση; Η φωνή είχε διακοπές;

2.3.1 – Χαμηλή ένταση	☐
2.3.2 – Μεταβαλλόμενη ένταση	☐
2.3.3 – Διακοπές	☐
2.3.4 – Κανένα πρόβλημα	☐
2.3.5 – Δεν θυμάμαι/δεν είμαι σίγουρος	☐
2.3.6 – Κάτι άλλο (προσδιορίστε)	

2.4 Πως σας φάνηκε η φωνή του ανθρώπου με τον οποίο μιλήσατε; Παρουσίαζε ηχώ; Σας φάνηκε ρηχή; Σας φάνηκε αφύσικη;

2.4.1 – Ηχώ, ρηχή φωνή	☐
2.4.2 – Αφύσικη φωνή	☐
2.4.3 – Κανένα πρόβλημα	☐

- 2.4.4 – Δεν θυμάμαι/δεν είμαι σίγουρος ☐
- 2.4.5 – Κάτι άλλο (προσδιορίστε)

2.5 Επιτρέψτε μου να σας περιγράψω 3 είδη θορύβου για να μου πείτε αν προσέξατε κάποιο από αυτά στη διάρκεια της συνομιλίας: φύσημα, ήχο που «σπάει», βόμβος;

- 2.5.1 – Φύσημα ☐
- 2.5.2 – Ήχο που «σπάει» ☐
- 2.5.3 – Βόμβος ☐
- 2.5.4 – Κανένα ☐
- 2.5.5 – Δεν θυμάμαι/δεν είμαι σίγουρος ☐
- 2.5.6 – Κάτι άλλο (προσδιορίστε)

2.6 Επιτρέψτε μου να σας περιγράψω 3 ακόμη είδη θορύβου για να μου πείτε αν προσέξατε κάποιο από αυτά στη διάρκεια της συνομιλίας: κλικ, σειρά από τόνους, συνεχόμενο ήχο υψηλής συχνότητας;

- 2.6.1 – Κλικ ☐
- 2.6.2 – Σειρά από τόνους ☐
- 2.6.3 – Συνεχόμενο ήχο υψηλής συχνότητας ☐
- 2.6.4 – Κανένα ☐
- 2.6.5 – Δεν θυμάμαι/δεν είμαι σίγουρος ☐
- 2.6.6 – Κάτι άλλο (προσδιορίστε)

2.7 Σας φάνηκε πως ο συνομιλητής αργούσε να απαντήσει, σαν να υπήρχε καθυστέρηση στη συνομιλία;

- 2.7.1 – Ναι ☐
- 2.7.2 – Όχι ☐
- 2.7.3 – Δεν γνωρίζω ☐
- 2.7.4 – Κάτι άλλο (προσδιορίστε)

2.8 Μπορείτε να περιγράψετε τον θόρυβο του περιβάλλοντος στην περιοχή γύρω σας όταν μιλούσατε; Σε ποια από τις πιο κάτω κατηγορίες θα κατατάσσατε τον χώρο στον οποίο μιλούσατε;

- 2.8.1 – Πολύ θορυβώδη ☐
- 2.8.2 – Θορυβώδη ☐
- 2.8.3 – Ήσυχο ☐
- 2.8.4 – Πολύ ήσυχο ☐
- 2.8.5 – Κάτι άλλο (προσδιορίστε)

2.9 Ποια από τις πιο κάτω κατηγορίες περιγράφει καλύτερα τον βαθμό στον οποίο ακούγατε τη φωνή σας μέσω του τηλεφώνου όσο μιλάγατε;

- 2.9.1 – Δεν την άκουγα ☐
- 2.9.2 – Την άκουγα, τώρα που το λέτε ☐
- 2.9.3 – Την άκουγα, όχι δυνατά ☐
- 2.9.4 – Την άκουγα, δυνατά ☐
- 2.9.5 – Κάτι άλλο (προσδιορίστε)

2.10 Θα θέλατε να αναφέρετε κάτι άλλο σε σχέση με την ποιότητα της επικοινωνίας σας;
Ναι – Τι; (Καταγράψτε το)

.....
.....

19 Αναφορές

Αναφορά 1. Federal Aviation Administration (FAA), “Order 7110.65P Air Traffic Control”, Feb. 19, 2004

Αναφορά 2. European Commission, SESAR Joint Undertaking and Eurocontrol, “European Air Traffic Management Master Plan” (1st ed.), 30 Mar. 2009

Αναφορά 3. NASA and the Next Generation Air Transportation System (NextGen). Whitepaper, available at www.aeronautics.nasa.gov/docs/nextgen_whitepaper_06_26_07.pdf, Jun. 2007

Αναφορά 4. The Single European Sky Air Traffic Management Research (SESAR) Consortium, “Deliverable D3 – The ATM Target Concept”, Sep. 2007

Αναφορά 5. Elinor Ulfratt and Jay McConville, “Comparison of the SESAR and NextGen Concepts of Operations”, v1.0, May 2008

Αναφορά 6. The Single European Sky Air Traffic Management Research (SESAR) Consortium, “DLW-0706-025-00-04 Deliverable, Technology assessment”, Feb. 2008

Αναφορά 7. Thigpen, D., “Disposition of FAA Comments and Changes To ED-136/137/138”, Presented at the 12th meeting of the Working Group I (Networking) of the Aeronautical Communications Panel (ACP), Paris, France, May 2010

Αναφορά 8. EuroCAE ED-136 Recommendation, “Voice Over Internet Protocol (VoIP) Air Traffic Management (ATM) System Operational And Technical Requirements”, Feb. 2009

Αναφορά 9. EuroCAE ED-137 Recommendation, “Interoperability Standards For VoIP ATM Components Part 1: Radio”, Feb. 2009

Αναφορά 10. EuroCAE ED-138 Recommendation, “Network Requirements And Performances For Voice Over Internet Protocol (VoIP) Air Traffic Management (ATM) Systems Part 1: Network Specification”, Feb. 2009

Αναφορά 11. Eurocontrol, “Overview of Civil Aviation Satellite Communications & Spectrum Requirement Refinement”, COM-SAT-REQ-D2, European Air Traffic Management Programme, Apr. 2002

Αναφορά 12. Ricard, N., and Ongaro, F., “ESA’s Iris Programme: Satellite communications for air traffic management”, Space Communications 21 (2007/2008), 109–121

Αναφορά 13. Kerczewski, R. J., “CNS Architectures and Systems Research and Development for the National Airspace System”, In Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, 2004

Αναφορά 14. Krozel, J., “Free Flight Research Issues And Literature Search”, Technical Report, TR00RTO43-02, Prepared for NASA Research Center, Moffett Field, CA, Sept. 2000

Αναφορά 15. ITU-T Recommendation G.107, “The E-model: a computational model for use in transmission planning”, Mar. 2005

Αναφορά 16. Johannesson, N.O., “The ETSI computation model: a tool for transmission planning of telephone networks”, IEEE Communications Magazine, 35, 1 (Jan. 1997), 70–79

Αναφορά 17. Alnatt, J., “Subjective Rating and Apparent Magnitude”, Intl. J. Man - Machine Studies, vol. 7, 1975, pp. 801-16

Αναφορά 18. ITU-T Recommendation G.113, “Transmission impairments due to speech processing”, Nov. 2007

Αναφορά 19. EuroCAE ED-18 Document, “Audio systems characteristics and minimum performance specifications – Aircraft microphones (except carbon) aircraft headsets, handsets and loudspeakers, aircraft audio selector panels and amplifiers”, Jul. 1985

Αναφορά 20. LaDue, J., Sollenberger, R. L., Belanger, B., and Heinze, A., “Human factors evaluation of vocoders for air traffic control environments: Phase I—Field evaluation”, DOT/FAA/CT-TN97/11, Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center, Atlantic City, NJ, Sep. 1997

Αναφορά 21. ITU-T Recommendation G.109, “Definition of categories of speech transmission quality”, Sep. 1999

Αναφορά 22. Sollenberger, R. L., La Due, J. L., Carver, B., & Heinze, A., “Human factors evaluation of vocoders for air traffic control (ATC) environments phase II: ATC Simulation”, DOT/FAA/CT-TN97/25, Atlantic City International Airport: Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center, 1997

Αναφορά 23. Friedman-Berg, F., Allendoerfer, K., and Deshmukh, A., “Voice over Internet protocol: Speech intelligibility assessment”, DOT/FAA/TC-TN-09/04, Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center, Atlantic City, NJ, Dec. 2009.

Αναφορά 24. ITU-T Recommendation G.108, “Application of the E-model: A planning guide”, Sep. 1999

Αναφορά 25. International Civil Aviation Organization (ICAO), “Manual on Required Communication Performance”, Doc 9869, AN/462, ICAO: Montreal, Canada, 2006

Αναφορά 26. RTCA, “Next Generation Air/Ground Communication System (NEXCOM) – Safety and Performance Requirements (SPR)”, DO-284, Jan. 2003

Αναφορά 27. Cardosi, K. M., “Time Required for Transmission of Time-Critical Air Traffic Control Messages in an En Route Environment”, International Journal On Aviation Psychology 3(4), pp. 303-313, 1993

Αναφορά 28. Sollenberger, R. L., McAnulty, D. M., and Kerns, K., “The effect of voice communications latency in high density, communications-intensive airspace”, DOT/FAA/CT/TN03/04, Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center, Atlantic City, NJ, Jan. 2003

Αναφορά 29. Nadler, E. D., DiSario, R., Mengert, P., Sussman, E. D., and Spanier, G., “A simulation study of the effects of communication delay on air traffic control”, FAA report, DOT/FAA/CT-90/6, Sep. 1990

Αναφορά 30. ITU-T Recommendation G.729, “Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP)”, Mar. 1996

Αναφορά 31. ITU-T Recommendation G.729A, “Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP): Annex A: Reduced complexity 8 kbit/s CS-ACELP speech codec”, Nov. 1996

Αναφορά 32. ITU-T Recommendation G.729B, “Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP): A silence compression scheme for G.729 optimized for terminals conforming to recommendation V.70”, Nov. 1996

Αναφορά 33. ITU-T Recommendation G.723.1, “Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s”, May 2006

Αναφορά 34. ITU-T Recommendation G.168, “Digital network echo cancellers”, Jan. 2007

Αναφορά 35. IETF RFC 3550, “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications”, Jul. 2003

Αναφορά 36. IETF RFC 3551, “RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control”, Jul. 2003

Αναφορά 37. IETF RFC 3095, “Robust Header Compression (ROHC): Framework and four profiles: RTP, UDP, ESP, and uncompressed”, Jul. 2001

Αναφορά 38. International Civil Aviation Organization (ICAO), “Guidelines on Performance of Very Small Aperture Terminal (VSAT) Networks”, Internal Memorandum, ICAO, Montreal, Canada, Nov. 2006

Αναφορά 39. http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com13/ngn2004/working_definition.html

Αναφορά 40. ITU-T Recommendation Y.2261, “PSTN/ISDN evolution to NGN”, Sep. 2006

Αναφορά 41. ITU-T Recommendation H.248.1, “Gateway Control Protocol”, Sep. 2005

Αναφορά 42. IETF RFC 3261, “SIP: Session Initiation Protocol”, Jun. 2002

Αναφορά 43. ITU-T Recommendation H.323, “Packet-based multimedia communications systems”, Nov. 2009

Αναφορά 44. Nortel Networks, “A Comparison of H.323v4 and SIP”, May 2000

Αναφορά 45. <http://telecom.esa.int/telecom/www/object/index.cfm?fobjectid=28374>

Αναφορά 46. <http://telecom.esa.int/telecom/www/object/index.cfm?fobjectid=29397>

Αναφορά 47. ETSI ES 201 970 V1.1.1, “Access and Terminals (AT); Public Switched Telephone Network (PSTN); Harmonized specification of physical and electrical characteristics at a 2-wire analogue presented Network Termination Point (NTP)”, Aug. 2002

Αναφορά 48. ETSI EG 201 188 V1.2.1, “Public Switched Telephone Network (PSTN); Network Termination Point (NTP) analogue interface; Specification of physical and electrical characteristics at a 2-wire analogue presented NTP for short to medium length loop applications”, Jan. 2000

Αναφορά 49. ITU-T Recommendation ITU-T E.180/Q.35, “Technical characteristics of tones for the telephone service”, Mar. 1998

Αναφορά 50. ITU-T Recommendation ITU-T E.182, “Application of tones and recorded announcements in telephone services”, Mar. 1998

Αναφορά 51. ITU-T Recommendation ITU-T Q.23, “Technical features of push-button telephone sets”, Nov. 1988

Αναφορά 52. ITU-T Recommendation ITU-T Q.24, “Multifrequency push-button signal reception”, Nov. 1988

Αναφορά 53. ES 201 235-3 & 4 V1.2.1, parts 3 & 4, “Specification of Dual Tone Multi-Frequency (DTMF) Transmitters and Receivers; Part 3: Receivers, Part 4: Transmitters and Receivers for use in Terminal Equipment for end-to-end signaling”, May 2002

Αναφορά 54. EIA/TIA-464A: “Requirements for Private Branch Exchange (PBX) Switching Equipment”

Αναφορά 55. Bellcore GR-181-CORE: “Dual-Tone Multifrequency Receiver Generic Requirements for End-to-End Signaling Over Tandem-Switched Voice Links”, Issue 1, Jul. 2003

Αναφορά 56. IETF RFC 2805, “Media Gateway Control Protocol Architecture and Requirements”, Apr. 2000

Αναφορά 57. IETF RFC 4733, “RTP Payload for DTMF Digits, Telephony Tones, and Telephony Signals”, Dec. 2006

Αναφορά 58. Maral, G. and Bousquet, M., “Satellite Communications Systems”, 4th edition, Wiley, Chichester, 2002

Αναφορά 59. ITU-T Recommendation O.41, “Psophometer for use on telephone-type circuits”, Oct. 1994

Αναφορά 60. ITU-T Recommendation E.125, “Inquiries among users of the international telephone service”, Oct. 1984

Αναφορά 61. ITU-T Recommendation P.82, “Method for evaluation of service from the standpoint of speech transmission quality”, Nov. 1988

Αναφορά 62. Sollenberger, R., McAnulty D. M. & Kerns K., “The Effect of Voice Communications Latency in High Density, Communications-Intensive Airspace”, DOT/FAA/CT/TN03/04, Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center, Atlantic City, NJ, Jan. 2003

Αναφορά 63. Lee, K., Kerns, K., Bone, R., and Nickelson, M., “Development and validation of the Controller Acceptance Rating Scale (CARS): Results of empirical research”, Presented at the International Air Traffic Management Research and Development Seminar, Santa Fe, NM, Dec. 2001

20 Σύντομο βιογραφικό διδάκτορα

Ο Σπυρίδων Α. Αποστολάκος γεννήθηκε στην Αθήνα την 15η Απριλίου 1974. Μετά από την αποφοίτησή του από το Λύκειο, έγινε δεκτός στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών. Απέκτησε το Δίπλωμά του τον Ιούνιο του 1999. Η διπλωματική του εργασία είχε σαν θέμα την θεωρητική και πειραματική σύγκριση των μεθόδων διαμόρφωσης CAP/OFDM και DMT στο περιβάλλον μετάδοσης του ADSL.

Τον Οκτώβριο του 2015 κρίστηκε Διδάκτωρας του Τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής του ΕΜΠ, παρουσιάζοντας την θεωρητική ανάλυση και επαλήθευση σε πραγματικές συνθήκες της εφαρμοσιμότητας της χρήσης Radio-over-IP τεχνολογιών, συνδυασμένων με δορυφορική μετάδοση στη διαχείριση εναερίας κυκλοφορίας. Από τον Σεπτέμβριο του 1998 ως τον Οκτώβριο του 2000, δούλεψε σαν τεχνικός σύμβουλος στην εταιρεία Lucent Technologies NL με αντικείμενο τον σχεδιασμό και υλοποίηση ασυρμάτων και ενσύρματων συστημάτων μετάδοσης υψηλών ταχυτήτων. Από τον Νοέμβριο 2000, δουλεύει στην InAccess Networks. Το αντικείμενο ενασχόλησής του ήταν αρχικά ο σχεδιασμός και υλοποίηση προϊόντων στην περιοχή της μετάδοσης φωνής πάνω από δίκτυα πακέτων. Από το 2009, είναι ο product architect της λύσης inSolar, μίας κεντροποιημένης πλατφόρμας απομακρυσμένης παρακολούθησης φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων και άλλων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η οποία επιβλέπει πάνω από 2 GW φωτοβολταϊκών σταθμών σε πάνω από 10 χώρες, περιλαμβανομένων των ΗΠΑ, Αγγλίας και Ινδίας.

Ο κύριος Αποστολάκος έχει συμμετάσχει σε πλήθος εμπορικών και ερευνητικών έργων και είναι ο συγγραφέας μεγάλου αριθμού δημοσιεύσεων, τόσο σε περιοδικά, όσο και σε συνέδρια. Κατέχει επίσης 2 πατέντες στις περιοχές του VoIP και του ελέγχου εναερίας κυκλοφορίας.

Η μητρική του γλώσσα είναι τα Ελληνικά και μιλά επίσης Αγγλικά και Γαλλικά. Είναι μέλος του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος και του Συνδέσμου Διεθνούς Διαχείρισης και Προώθησης Προϊόντων (Association of International Product Marketing and Management – AIPMM).