

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου τηλεϊατρικού συστήματος για αποστολή ιατρικού βίντεο σε πραγματικό χρόνο σε απομακρυσμένες περιοχές, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ανοικτού κώδικα.

Για την αξιολόγηση του συστήματος πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσο το σύστημα είναι αποδοτικό. Το αρχικό σύνολο δεδομένων αποτελείτο από ασυμπιεστα βίντεο από υπέρηχο της καρωτιδικής αρτηρίας. Τα δύο βασικά σενάρια που μελετήθηκαν είναι η χρήση του συστήματος για αποστολή βίντεο εντός του ίδιου ασύρματου τοπικού δικτύου και η χρήση ασύρματου δικτύου 3G για την αποστολή του βίντεο.

Χρησιμοποιήθηκαν δυο διαδεδομένες τεχνικές αξιολόγησης που αναφέρει η σχετική βιβλιογραφία, η αντικειμενική αξιολόγηση (PSNR) και η κλινική αξιολόγηση (με απώτερο στόχο να εξεταστεί η απόδοση του συστήματος για τη διάγνωση της αθρωματικής πλάκας από κάποιον ειδικό).

Τα αποτελέσματα της αντικειμενικής αξιολόγησης είναι μέσα στα ικανοποιητικά πλαίσια που ορίζει η βιβλιογραφία ώστε το βίντεο να είναι ικανοποιητικής διαγνωστικής ποιότητας (PSNR >35 dB). Τα ποσοστά των χαμένων πακέτων και οι καθυστερήσεις ήταν ελάχιστα.

Στην περίπτωση χρήσης του δικτύου 3G, παρόλο που η αντικειμενική ποιότητα θεωρείται χαμηλή, η κλινική αξιολόγηση έδειξε πως τα βίντεο μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αξιόπιστη κλινική διάγνωση.

**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΙΑΤΡΙΚΟΥ
ΒΙΝΤΕΟ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ-ΚΩΔΙΚΑ**

Ειρήνη Ελευθερίου

Η Διατριβή αυτή
Υποβλήθηκε προς Μερική Εκπλήρωση των
Απαιτήσεων για την Απόκτηση
Τίτλου Σπουδών Master
σε Προηγμένες Τεχνολογίες Πληροφορικής
στο
Πανεπιστήμιο Κύπρου

Συστήνεται προς Αποδοχή
από το Τμήμα Πληροφορικής
Ιούνιος, 2012

ΣΕΛΙΔΑ ΕΓΚΡΙΣΗΣ

Διατριβή Master

**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΙΑΤΡΙΚΟΥ ΒΙΝΤΕΟ
ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ
ΑΝΟΙΚΤΟΥ-ΚΩΔΙΚΑ**

Παρουσιάστηκε από
την Ειρήνη Ελευθερίου

Ερευνητικός Σύμβουλος

Όνομα Ερευνητικού Συμβούλου

Μέλος Επιτροπής

Όνομα Μέλους Επιτροπής

Μέλος Επιτροπής

Όνομα Μέλους Επιτροπής

Πανεπιστήμιο Κύπρου

Ιούνιος, 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Παττίχη για την ευκαιρία και που μου έδωσε να εκπονήσω την παρούσα εργασία και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Η καθοδήγηση και υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο Πανεπιστήμιο Κύπρου έπαιξαν πρωταρχικό ρόλο στην επιτυχή ολοκλήρωση τους.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Αντρέα Παναγίδη για τον πολύτιμο χρόνο που μου πρόσφερε και την υπομονή που υπέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Οι εμπειρίες και τις γνώσεις του στον τομέα της τηλεϊατρικής και της επεξεργασίας βίντεο με βοήθησαν να ολοκληρώσω με επιτυχία την παρούσα εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την πολύτιμη στήριξη που μου πρόσφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Πανεπιστήμιο Κύπρου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο 1	1
1.1 Τηλεϊατρικά Συστήματα.....	1
Κεφάλαιο 2	4
2.1 Κωδικοποίηση Ψηφιακού Βίντεο	4
2.1.1 Κωδικοποίηση εντροπίας.....	5
2.1.2 Κωδικοποίηση με πρόβλεψη.....	5
2.1.3 Πρόβλεψη με αντιστάθμιση κίνησης.....	6
2.2 Πρότυπα Κωδικοποίησης Ψηφιακού Βίντεο	6
2.2.1 H.261 (1990)	7
2.2.2 MPEG-1 (1993)	7
2.2.3 H.262/MPEG-2 (1995).....	8
2.2.4 H.263 (2000)	8
2.2.5 MPEG-4 Part 2 (2000).....	8
2.2.6 H.264/AVC MPEG-4 Part 10 (2003).....	9
2.3 Αρχιτεκτονική Του Προτύπου H.264/AVC	10
2.4 Profiles και Levels.....	11
2.5 Τύποι πλαισίων.....	12
2.6 Intra Updating	13
2.7 Rate Control.....	14
Κεφάλαιο 3	15
3.1 Εισαγωγή.....	15
3.2 Δεύτερη γενεά ασύρματων δικτύων (2G).....	17
3.3 Δεύτερη και μισό γενεά ασύρματων δικτύων (2.5G).....	18

3.4	Τρίτη γενεά ασύρματων δικτύων (3G)	19
3.5	Τρίτη και μισό γενεά ασύρματων δικτύων (3.5G)	20
3.6	Τέταρτη γενεά ασύρματων δικτύων (4G).....	22
3.7	Πρωτόκολλα Επικοινωνίας	26
Κεφάλαιο 4.....		28
4.1	Εφαρμογές Ανοικτού Κώδικα και Λογισμικό	28
4.1.1	FFmpeg.....	30
4.1.2	x264.....	31
4.1.3	VLC	31
4.1.4	Wireshark	32
4.1.5	JSVM.....	34
4.1.6	yunViewer.....	35
4.2	Περιγραφή τηλεϊατρικού συστήματος.....	35
Κεφάλαιο 5.....		39
5.1	Κωδικοποίηση	39
5.2	Αποστολή	42
5.2.1	Σενάριο 1: Αποστολή Ιατρικού Βίντεο εντός των Εγκαταστάσεων του Διαγνωστικού Κέντρου (WLAN).....	43
5.2.2	Σενάριο 2: Αποστολή Ιατρικού Βίντεο σε Επείγοντα Περιστατικά και από Απομακρυσμένες Περιοχές (3.5G - HSPA)	43
5.3	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	44
5.3.1	Αντικειμενική Αξιολόγηση Βίντεο (Objective Video Quality Assessment).....	44
5.3.2	Κλινική Αξιολόγηση Βίντεο (Clinical Video Quality Assessment)	

Κεφάλαιο 6	47
6.1 Αξιολόγηση Κωδικοποιημένων Βίντεο	47
6.2 Σενάριο 1: WLAN	50
6.2.1 Αντικειμενική Αξιολόγηση	50
6.2.2 Κλινική Αξιολόγηση	59
6.3 Σενάριο 2: 3.5G (HSPA)	62
6.3.1 Αντικειμενική Αξιολόγηση	62
6.3.2 Κλινική Αξιολόγηση	71
6.4 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα	72
Κεφάλαιο 7	80
7.1 Συμπεράσματα	80
7.2 Μελλοντική Εργασία	83
Βιβλιογραφία	84
APPENDIX A	86
APPENDIX B	101

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3-1 : Οι Τεχνολογίες Με Τις Αντίστοιχες Ταχύτητες και Καθυστερήσεις [1] ..	25
Πίνακας 5-1 : Κριτήρια κλινικής αξιολόγησης και παράμετροι κωδικοποίησης	40
Πίνακας 5-2 : Παράμετροι κωδικοποίησης	42
Πίνακας 5-3 : Περιγραφή κλίμακας κλινικής αξιολόγησης [1]	46
Πίνακας 6-1 : Διαθέσιμο εύρος ζώνης για τα δυο σενάρια	50
Πίνακας 6-2 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 1) χωρίς B-frames (Baseline Profile)	51
Πίνακας 6-3 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 1) με 2 B-frames.....	51
Πίνακας 6-4 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 1) με 4 B-frames.....	52
Πίνακας 6-5: Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 1) με 8 B-frames.....	52
Πίνακας 6-6 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 352x288 και bitrate 324kbps (Σενάριο 1).....	60
Πίνακας 6-7 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 352x288 και bitrate 512kbps (Σενάριο 1).....	60
Πίνακας 6-8 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 560x416 και bitrate 512kbps (Σενάριο 1).....	61
Πίνακας 6-9 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 560x416 και bitrate 768kbps (Σενάριο 1).....	61
Πίνακας 6-10 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 2) χωρίς B-frames (Baseline Profile)	63

Πίνακας 6-11 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 2) με 2 B-frames	63
Πίνακας 6-12 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 2) με 4 B-frames	64
Πίνακας 6-13 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 2) με 8 B-frames	64
Πίνακας 6-14 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 352x288 και bitrate 256kbps (Σενάριο 2).....	72
Πίνακας 6-15 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 352x288 και bitrate 324kbps (Σενάριο 2).....	72
Πίνακας A-1 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 1) χωρίς B-frames (Baseline Profile)	86
Πίνακας A-2 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 1) με 2 B-frames	86
Πίνακας A-3 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 1) με 4 B-frames	87
Πίνακας A-4 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 1) με 8 B-frames	87
Πίνακας A-5 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 1) χωρίς B-frames	87
Πίνακας A-6 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 1) με 2 B-frames	88
Πίνακας A-7 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 1) με 4 B-frames	88
Πίνακας A-8 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 1) με 8 B-frames	89
Πίνακας A-9 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 1) με 16 B-frames	89

Πίνακας A-10 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 1) χωρίς B-frames (Baseline Profile)	89
Πίνακας A-11 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 1) με 2 B-frames	90
Πίνακας A-12 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 1) με 4 B-frames	90
Πίνακας A-13 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 1) με 8 B-frames	91
Πίνακας A-14 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 1) χωρίς B-frames (Baseline Profile)	91
Πίνακας A-15 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 1) με 2 B-frames	91
Πίνακας A-16 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 1) με 4 B-frames	92
Πίνακας A-17 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 1) με 8 B-frames	92
Πίνακας A-18 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 1) με 16 B-frames	92
Πίνακας A-19 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 2) χωρίς B-frames (Baseline Profile)	93
Πίνακας A-20 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 2) με 2 B-frames	93
Πίνακας A-21 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 2) με 4 B-frames	94
Πίνακας A-22 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 2) με 8 B-frames	94
Πίνακας A-23 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 2) χωρίς B-frames (Baseline Profile)	94

Πίνακας A-24 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 2) με 2 B-frames	95
Πίνακας A-25 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 2) με 4 B-frames	95
Πίνακας A-26 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 2) με 8 B-frames	96
Πίνακας A-27 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 2) με 16 B-frames	96
Πίνακας A-28 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 2) χωρίς B-frames (Baseline Profile)	96
Πίνακας A-29 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 2) με 2 B-frames	97
Πίνακας A-30 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 2) με 4 B-frames	97
Πίνακας A-31 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2) με 8 B-frames	98
Πίνακας A-32 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2) χωρίς B-frames	98
Πίνακας A-33 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2) με 2 B-frames	98
Πίνακας A-34 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2) με 4 B-frames	99
Πίνακας A-35 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2) με 8 B-frames	99
Πίνακας A-36 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2) με 16 B-frames	100

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 : Ασύρματη Μετάδοση Ιατρικού Βίντεο Για Επείγοντα Περιστατικά [1]	3
Σχήμα 2.1 : Εξέλιξη Προτύπων Κωδικοποίησης [1]	7
Σχήμα 2.2 : Τα στρώματα VCL και NAL του προτύπου H.264/AVC	10
Σχήμα 2.3 : Χαρακτηριστικά των διαφόρων profile του προτύπου H.264/AVC.....	12
Σχήμα 3.1 : Ασύρματες και Ενσύρματες Τεχνολογίες [3]	16
Σχήμα 3.2 : Καθυστέρηση WCDMA, HSDPA και HSPA(HSDPA + HSUPA) [7]	21
Σχήμα 3.3 : Καθυστερήσεις (Delays) Για Τις Διάφορες Τεχνολογίες [3].....	22
Σχήμα 4.1 : Διάγραμμα Συστήματος.....	30
Σχήμα 4.2 : VLC Media Player	32
Σχήμα 4.3 : Wireshark.....	34
Σχήμα 4.4 : Διεπαφή Κωδικοποιητή.....	36
Σχήμα 4.5 : Διεπαφή Αποστολέα	37
Σχήμα 4.6 : Διεπαφή Παραλήπτη.....	38
Σχήμα 6.1 : Rate Distortion Curves μεταξύ αρχικού και κωδικοποιημένου βίντεο για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 176x144	48
Σχήμα 6.2 : Rate Distortion Curves μεταξύ αρχικού και κωδικοποιημένου βίντεο για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 352x288	49
Σχήμα 6.3 : Rate Distortion Curves μεταξύ αρχικού και κωδικοποιημένου βίντεο για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 560x416	49
Σχήμα 6.4 : Rate Distortion Curves για το βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 176x144 και με 15 fps.....	53
Σχήμα 6.5 : Σύγκριση PSNR των κωδικοποιημένων βίντεο και των βίντεο που παραλήφθηκαν (Σενάριο 1).....	54

Σχήμα 6.6 : Rate Distortion Curves για το βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 352x288 και με 15 fps	55
Σχήμα 6.7 : Rate Distortion Curves μεταξύ του αρχικού βίντεο και του βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 560x416.....	56
Σχήμα 6.8 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 0 B-frames (Σενάριο 1) ...	57
Σχήμα 6.9 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 2 B-frames (Σενάριο 1) ...	57
Σχήμα 6.10: Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 4 B-frames (Σενάριο 1) ..	58
Σχήμα 6.11: Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 8 B-frames (Σενάριο 1) ..	58
Σχήμα 6.12 : Rate Distortion Curves μεταξύ του αρχικού βίντεο και του βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 176x144 (3G)	65
Σχήμα 6.13 : Σύγκριση PSNR των κωδικοποιημένων βίντεο και των βίντεο που παραλήφθηκαν (Σενάριο 2).....	66
Σχήμα 6.14 : Rate Distortion Curves μεταξύ του αρχικού βίντεο και του βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 352x288 (3G)	67
Σχήμα 6.15 : Rate Distortion Curves μεταξύ του αρχικού βίντεο και του βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 560x416 (3G)	68
Σχήμα 6.16 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 0 B-frames (Σενάριο 2) .	69
Σχήμα 6.17 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 2 B-frames (Σενάριο 2) .	69
Σχήμα 6.18 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 4 B-frames (Σενάριο 2) .	70
Σχήμα 6.19 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 8 B-frames (Σενάριο 2) .	70
Σχήμα 6.20 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 176x144 και bitrate 128kbps	74
Σχήμα 6.21 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 176x144 και bitrate 256kbps	74
Σχήμα 6.22 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 176x144 και bitrate 324kbps	75
Σχήμα 6.23 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 352x288 και bitrate 324kbps	75

Σχήμα 6.24 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 352x288 και bitrate 512kbps	76
Σχήμα 6.25 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 560x416 και bitrate 512kbps	76
Σχήμα 6.26 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 560x416 και bitrate 768kbps	77
Σχήμα 6.27 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 176x144 και 2-Bframes	78
Σχήμα 6.28 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 352x288 και 2-Bframes	78
Σχήμα 6.29 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 560x416 και 2-Bframes	79
Σχήμα B.1 : Αρχικό Παράθυρο	101
Σχήμα B.2 : Επιλογή ρυθμίσεων κωδικοποιητή και αποστολέα	102
Σχήμα B.3 : Κωδικοποιητής (Παράμετροι)	103
Σχήμα B.4 : Κωδικοποιητής (Έξοδος)	104
Σχήμα B.5 : Αποστολέας	105
Σχήμα B.6 : Επιλογή Ρυθμίσεων Παραλήπτη	106
Σχήμα B.7 : Παραλήπτης	107
Σχήμα B.8 : Έξοδος	107

AKPONYMA

3G	3 rd Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	4 th Generation
AVC	Advanced Video Coding
CDMA	Code Division Multiple Access
CIF	Common Intermediate Format
DL	Downlink
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
FDD	Frequency Division Duplex
FMO	Flexible Macroblock Ordering
GOP	Group of Pictures
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications-Advanced
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
JCT-VC	Joint Collaborative Team on Video coding
JPEG	Joint Photographic Experts Group
JVT	Joint Video Team
LAN	Local Area Network
LTE	Long Term Evolution

MAC	Medium Access Control
MB	Macroblock
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MPEG	Motion Pictures Experts Group
MSE	Mean Square Error
MV	Motion Vector
NAL	Network Abstraction Layer
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PHY	Physical
PLR	Packet Loss Rates
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
QCIF	Quarter Common Intermediate Format
QoS	Quality of Service
QP	Quantization Parameter
RS	Redundant Slices
RTP	Real-time Transport Protocol
RTSP	Real Time Streaming Protocol
RTT	Round-Trip delay Time
SNR	Signal to Noise Ration
SVC	Scalable Video Coding
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
UDP	User Datagram Protocol
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

VCL	Video Coding Layer
VoIP	Voice over IP
VQEG	Video Quality Experts Group
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό ακολουθεί μια σύντομη εισαγωγή στα τηλεϊατρικά συστήματα και στις εφαρμογές τους.

1.1 Τηλεϊατρικά Συστήματα

Η τηλεϊατρική είναι η παροχή ιατρικής φροντίδας μεταξύ απομακρυσμένων περιοχών, κάνοντας χρήση τηλεπικοινωνιακών μέσων με σκοπό την παροχή εξειδικευμένης ιατρικής φροντίδας σε περιοχές που δεν είναι στελεχωμένες με ειδικευμένο ιατρικό προσωπικό ή όπου δεν είναι δυνατό να υπάρχει.

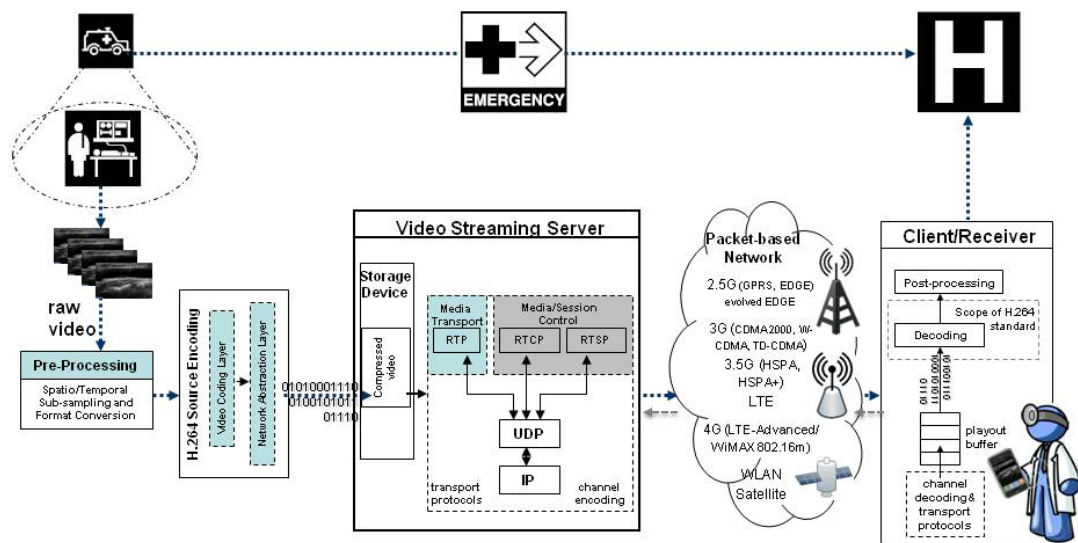
Για παράδειγμα, σε μικρά νοσοκομεία όπου δεν υπάρχουν γιατροί από όλες τις ειδικεύσεις, με τη χρήση της τηλεϊατρικής θα είναι δυνατή η παροχή ιατρικής φροντίδας από κάποιο ειδικό που βρίσκεται εκτός νοσοκομείου. Επίσης, κατά τη μεταφορά των ασθενών στο νοσοκομείο με το ασθενοφόρο σε περιπτώσεις επειγόντων περιστατικών, ο χρόνος είναι πολύ σημαντικός και καθοριστικός για την μετέπειτα εξέλιξη της υγείας του ασθενή, ειδικότερα τα πρώτα 60 λεπτά («the golden hour»). Για αυτό το λόγο η χρήση της τηλεϊατρικής είναι αναγκαία αφού στο ασθενοφόρο δεν είναι δυνατό να υπάρχει εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό. Ακόμη, είναι δυνατή η αποστολή βιοσημάτων και ιατρικού βίντεο, σε πραγματικό χρόνο, του ασθενούς στο νοσοκομείο όπου μεταφέρεται για μείωση των καθυστερήσεων.

Η χρήση της τηλεϊατρικής διευκολύνει τις διαδικασίες ιατρικής περίθαλψης αφού αντιμετωπίζονται τα προβλήματα περίθαλψης σε περιοχές χωρίς πολλούς πόρους. Ο

χρόνος επικοινωνίας μεταξύ των γιατρών που βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές ελαττώνεται, όπως επίσης και η άσκοπη μετακίνηση των ασθενών και έτσι κατ' επέκταση μειώνεται και το κόστος.

Εκτός από τις πιο πάνω περιπτώσεις, μερικές εφαρμογές της τηλεϊατρικής είναι η τηλεδιάγνωση (παροχή εξειδικευμένης ιατρικής γνώσης με τη μορφή διάγνωσης ή συμβουλών, μέσω της χρήσης τηλεματικών συστημάτων), η τηλεακτινολογία (μεταφορά ακτινολογικών εικόνων από ένα σημείο σε άλλο για γνωμάτευση ή παροχή συμβουλών θεραπείας), η τηλεκαρδιολογία (μετάδοση ΗΚΓ), η τηλεδερματολογία (αποστολή δερματολογικών εικόνων) , η τηλεχειρουργική (μετάδοση εικόνας και ήχου επιτρέποντας την επικοινωνία μεταξύ χειρουργών, με χρήση ρομποτικών συσκευών) και άλλες.

Στο Σχήμα 1.1 δίνεται μια περιγραφή της αρχιτεκτονικής ενός τηλεϊατρικού συστήματος για επείγοντα περιστατικά. Η διαδικασία είναι η εξής: Το ιατρικό βίντεο γυρίζεται στο ασθενοφόρο από το ειδικά εκπαιδευμένο παραϊατρικό προσωπικό, μέσω του διαθέσιμου εξοπλισμού. Το βίντεο και τα βιοσήματα του ασθενή αποστέλλονται στο γιατρό (για διάγνωση) ή/και στις εγκαταστάσεις του νοσοκομείου (π.χ. για ετοιμασία του χειρουργείου) που θα εισαχθεί ο ασθενής μέσω των διαθέσιμων ασύρματων καναλιών. Πριν την αποστολή, το βίντεο κωδικοποιείται για να μειωθεί το μέγεθος του ώστε να γίνει πιο γρήγορα η αποστολή του. Είναι σημαντικό κατά την κωδικοποίηση να μην μειωθεί σημαντικά η ποιότητα του συμπιεσμένου βίντεο ώστε να είναι δυνατή η διάγνωση από τον γιατρό που θα το λάβει.



Σχήμα 1.1 : Ασύρματη Μετάδοση Ιατρικού Βίντεο Για Επείγοντα Περιστατικά [1]

Κεφάλαιο 2

H.264/AVC

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη αναδρομή στα πρότυπα κωδικοποίησης ψηφιακού βίντεο και αναφέρονται τα γενικά χαρακτηριστικά κάθε προτύπου. Στη συνέχεια γίνεται επεξήγηση του προτύπου H.264/AVC και των χαρακτηριστικών που μας ενδιαφέρουν για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εφαρμογής.

2.1 Κωδικοποίηση Ψηφιακού Βίντεο

Τα διαδοχικά πλαίσια σε ένα βίντεο δεν έχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στόχος της κωδικοποίησης είναι να μειωθεί το bit-rate που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και μετάδοση του βίντεο κωδικοποιώντας μόνο τις διαφορές μεταξύ διαδοχικών πλαισίων. Έτσι το κωδικοποιημένο βίντεο είναι συμπιεσμένο σε σχέση με το αρχικό. Η απόδοση των τεχνικών συμπίεσης εξαρτάται από δυο παράγοντες: από την ποσότητα πλεονασμού που περιέχεται στα πλαίσια καθώς και από τις τεχνικές συμπίεσης που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση.

Υπάρχουν δύο είδη πλεονασμού σε ένα σήμα βίντεο, ο χωρικός πλεονασμός (Spatial Redundancy) και ο χρονικός πλεονασμός (Temporal Redundancy). Ο χωρικός πλεονασμός προκύπτει γιατί τα γειτονικά pixel είναι πολύ πιθανό να είναι όμοια μεταξύ τους. Ο χρονικός πλεονασμός είναι αποτέλεσμα του ότι τα γειτονικά frames δεν έχουν πολλές διαφορές μεταξύ τους και άρα μπορούν να υπολογιστούν από προηγούμενα (ή και επόμενα) frames.

Υπάρχουν δυο τεχνικές κωδικοποίησης ανάλογα με τη σχέση που έχει το αρχικό βίντεο με το αποτέλεσμα της αποκωδικοποίησης: κωδικοποίηση με απώλειες και κωδικοποίηση χωρίς απώλειες. Με τον πρώτο τρόπο διατηρείται η ποιότητα του βίντεο, δηλαδή τα αποκωδικοποιημένα πλαίσια είναι τα ίδια με τα αρχικά πριν την κωδικοποίηση, αλλά τα δεδομένα του βίντεο για αποθήκευση είναι λιγότερα. Στην δεύτερη περίπτωση, το αποκωδικοποιημένο βίντεο έχει χαμηλότερη ποιότητα από το αρχικό αφού χάνεται κάποια πληροφορία, αλλά πετυχαίνεται καλύτερος λόγος συμπίεσης.

Ανάλογα με τη μέθοδο που ακολουθείται για τη συμπίεση εικόνων έχουμε τις ακόλουθες τεχνικές κωδικοποίησης:

2.1.1 Κωδικοποίηση εντροπίας

Η κωδικοποίηση εντροπίας είναι είδος κωδικοποίησης χωρίς απώλειες. Σε αυτό το είδος κωδικοποίησης γίνεται αναπαράσταση των συντελεστών που εμφανίζονται συχνότερα με λιγότερα ψηφία. Για παράδειγμα, αν οι τιμές χρωμάτων των pixels που εμφανίζονται συχνά αναπαρασταθούν με λιγότερα ψηφία ενώ οι τιμές που έχουν λιγότερη πιθανότητα να εμφανιστούν αναπαρασταθούν με περισσότερα ψηφία, τότε μειώνεται ο μέσος όρος των bits που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των χρωμάτων. Βασικό στοιχείο αυτής της τεχνικής κωδικοποίησης είναι ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η φύση των δεδομένων.

2.1.2 Κωδικοποίηση με πρόβλεψη

Σε αυτή την περίπτωση, γίνεται χρήση του γεγονότος ότι υπάρχει πλεονασμός στα γειτονικά pixels μέσα στα πλαίσια ή μεταξύ των διαδοχικών πλαισίων. Σε συστήματα που γίνεται χρήση κωδικοποίησης με πρόβλεψη, γίνεται μια κατά προσέγγιση πρόβλεψη της τιμής της χρωματικής απόχρωσης κάθε pixel από προηγούμενη πληροφορία που μεταδόθηκε, και στη συνέχεια υπολογίζεται η διαφορά ανάμεσα

στην προβλεπόμενη τιμή του και στην πραγματική τιμή του pixel και γίνεται κωδικοποίηση μόνο αυτής.

2.1.3 Πρόβλεψη με αντιστάθμιση κίνησης

Αυτή η τεχνική βασίζεται στην εκτίμηση της κίνησης μεταξύ των πλαισίων του βίντεο. Η καλύτερη πρόβλεψη κάπου pixel δίνεται από το pixel του προηγούμενου κωδικοποιημένου πλαισίου. Έτσι, γίνεται αποστολή μόνο του λάθους της πρόβλεψης και των διανυσμάτων κίνησης.

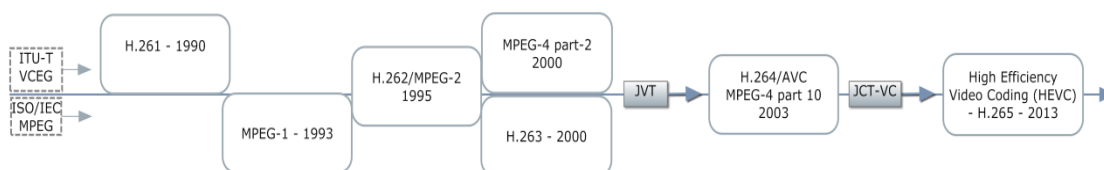
2.2 Πρότυπα Κωδικοποίησης Ψηφιακού Βίντεο

Διαφορετικά πρότυπα κωδικοποίησης βίντεο χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους για τη μείωση των δεδομένων, και ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα διαφέρουν σε bit rate, σε ποιότητα και σε χρόνο καθυστέρησης.

Τα αρχικά MPEG προέρχονται από τις λέξεις Moving Picture Experts Group. Πρόκειται για μια επιτροπή ειδικών που δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη κωδικοποιητών για συμπίεση πληροφορίας εικόνας, ήχου και βίντεο. Μέχρι σήμερα η επιτροπή MPEG έχει διατυπώσει τη μορφή αρκετών συμπιεστών που φέρουν όλοι την ονομασία MPEG και μοιράζονται μεν τα ίδια βασικά χαρακτηριστικά, διαφέρουν όμως σε αρκετά σημεία. Οι σπουδαιότεροι από αυτούς είναι οι MPEG-1, MPEG-2 και MPEG-4.

Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται η χρονολογική εξέλιξη των πιο διαδεδομένων προτύπων κωδικοποίησης. Η Joint Video Team (JVT) είναι μια ομάδα που δημιουργήθηκε από εμπειρογνώμονες που ανήκουν και στη ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) και την ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG). Στη συνέχεια

παρουσιάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά των βασικών προτύπων κωδικοποίησης ψηφιακού βίντεο.



Σχήμα 2.1 : Εξέλιξη Προτύπων Κωδικοποίησης [1]

2.2.1 H.261 (1990)

Το βίντεο εισόδου που υποστηρίζεται από αυτό το πρότυπο είναι είτε cif είτε qcif ανάλυσης και frame rate μεταξύ 7.5 με 30 fps. Σχεδιάστηκε για εφαρμογές που υποστηρίζουν χαμηλό bit rate ($p \times 64$ kbps) για μετάδοση έγχρωμου βίντεο σε δίκτυα ISDN. Κάνει χρήση μόνο I και P πλαισίων.

2.2.2 MPEG-1 (1993)

Το MPEG-1 είναι το πρώτο πρότυπο κωδικοποίησης για ήχο και εικόνα. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι μέχρι 1,5 Mbits/sec. Καλύπτει πολλές εφαρμογές, από συστήματα αλληλεπίδρασης σε CD-ROM ως την μεταφορά του βίντεο σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Το πρότυπο κωδικοποίησης MPEG-1 είναι γενικό. Υποστηρίζει μία μεγάλη γκάμα εφαρμογών (που χρειάζονται μικρό bandwidth) και μια μεγάλη ποικιλία παραμέτρων εισόδου περιλαμβάνοντας μεταβλητό μέγεθος εικόνας και ρυθμό πλαισίων που μπορεί να προσδιοριστεί από τον χρήστη. Η εικόνα έχει ανάλυση 352x240 pixels (NTSC) ή 352x288 pixels (PAL) και η ποιότητά της είναι σε επίπεδα VHS βίντεο.

2.2.3 H.262/MPEG-2 (1995)

Το MPEG-2 παρέχει λύσεις κωδικοποίησης βίντεο στις εφαρμογές που αρχικά δεν είχαν αντιμετωπιστεί ή δεν είχαν προβλεφτεί από το MPEG-1 πρότυπο. Ειδικότερα, στο πρότυπο MPEG-2 δόθηκε το προνόμιο να παρέχει βίντεο ποιότητας όχι χειρότερο από το NTC/PAL και μέχρι CCIR 601 ποιότητα. Η ανάπτυξη του προτύπου πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με ITU-T H.262. Η βασική ανάλυση της εικόνας ακολουθεί το τηλεοπτικό πρότυπο CCIR-601 (broadcast quality - ποιότητα εκπομπής) δηλαδή 704x480 pixels (NTSC) ή 704x576 pixels (PAL) και υποστηρίζει εικόνα πλεκτής σάρωσης (interlaced). Ο ρυθμός μετάδοσης κυμαίνεται από 3 ως 10 Mbits/sec. Οι εφαρμογές του είναι στην καλωδιακή τηλεόραση (CableTV), στη δορυφορική (Direct Broadcasting Satellite TV) αλλά αναμένεται να επεκταθεί και στην επίγεια τηλεόραση. Επίσης χρησιμοποιείται στην αποθήκευση κινηματογραφικών ταινιών στα DVD (Digital Video Disk).

2.2.4 H.263 (2000)

Το πρότυπο αυτό αποτελεί την εξέλιξη του H.261 με το πλεονέκτημα ότι υποστηρίζει μικρότερα bit rates και καλύτερη αξιοποίηση του εύρους ζώνης, παρέχοντας ταυτόχρονα μηχανισμούς ανάκτησης από λάθη. Επίσης, έχει καλύτερους αλγόριθμους εκτίμησης κίνησης από το H.261 και χρησιμοποιεί πλαίσια I,P και B. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα χαμηλών ταχυτήτων (64 – 128 Kbps). Χρησιμοποιείται για μετάδοση βίντεο στο διαδίκτυο με χρήση του πρωτοκόλλου IP.

2.2.5 MPEG-4 Part 2 (2000)

Το MPEG-4 δημοσιεύτηκε το 1998. Παρέχει αποτελεσματική συμπίεση, πρόσβαση στα αντικείμενα και αλληλεπίδραση με αυτά, μεγάλη αντοχή σε σφάλματα μετάδοσης, ενοποιημένο περιβάλλον φυσικών / συνθετικών αντικειμένων και κλιμάκωση χρόνου, χώρου, ποιότητας και αντικειμένων. Είναι ένα πρότυπο για εφαρμογές επικοινωνίας

πολυμέσων. Η ανάλυση της εικόνας είναι 176x144 pixels σε σχετικά χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης που κυμαίνονται ανάμεσα στα 4.8 και 64 Kbits/sec.

2.2.6 H.264/AVC MPEG-4 Part 10 (2003)

Το πρότυπο H.264/MPEG-4 Part 10 ή AVC (Advanced Video Coding) είναι το πλέον διαδεδομένο πρότυπο για κωδικοποίηση βίντεο υψηλής ευκρίνειας. Αναπτύχθηκε από την Joint Video Team (JVT) που αποτελείται από εμπειρογνώμονες από την ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) και την ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG).

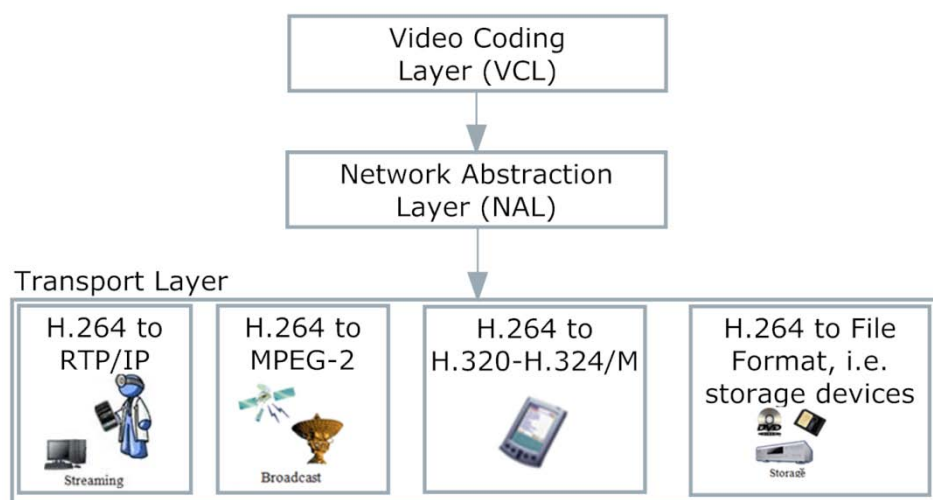
Οι εφαρμογές που προβλέπονται για το πρότυπο H.264/AVC συμπεριλαμβάνουν μετάδοση μέσω καλωδιακών, δορυφορικών, καλωδιακών μόντεμ, ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (xDSL), και επίγειων καναλιών. Επίσης, διαδραστική ή σειριακή αποθήκευση σε οπτικά και μαγνητικά μέσα (π.χ. DVD), αποθήκευση και διανομή επαγγελματικών ταινιών και βίντεο, βίντεο κατά παραγγελία(video-on-demand) ή υπηρεσίες πολυμέσων συνεχούς ροής μέσω καλωδιακού μόντεμ, xDSL, τοπικού δικτύου (LAN), ISDN, και ασύρματων δικτύων, συνομιλητικές υπηρεσίες μέσω Ethernet, LAN, xDSL, ISDN, ασύρματων και κινητών δικτύων, και modems, και τέλος υπηρεσιών μηνυμάτων με πολυμέσα (MMS) πάνω σε xDSL, Ethernet, LAN, ISDN, ασύρματα και κινητά δίκτυα. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για κωδικοποίηση στους δίσκους Blu-ray και για live streaming. Με μια τέτοια ευρεία κάλυψη εφαρμογών, το πρότυπο H.264/AVC έλαβε γρήγορα μια μεγάλη πρόσφατη προσοχή από τη βιομηχανία.

Ο λόγος που το πρότυπο αυτό είναι τόσο διαδεδομένο είναι γιατί ξεπερνά τα προηγούμενα πρότυπα προσφέροντας καλύτερους λόγους συμπίεσης (μέχρι 50%) διατηρώντας ικανοποιητική ποιότητα. Αυτό το επιτυγχάνει χρησιμοποιώντας πολλαπλά πλαίσια αναφοράς για την πρόβλεψη κίνησης (μέχρι 5). Έτσι, απαιτεί

λιγότερο χώρο αποθήκευσης και πολύ καλή ποιότητα σε χαμηλά bit rates. Το πρότυπο H.264/AVC έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στα λάθη παρέχοντας εργαλεία για αντιμετώπιση των χαμένων πακέτων και των λαθών στα bit. Επίσης, το πρότυπο έχει ευελιξία ως προς τα διάφορα περιβάλλοντα δικτύου [2] μέσω του Network Abstraction Layer (NAL). Από την άλλη πλευρά όμως, η βελτιστοποιημένη αποδοτικότητα κωδικοποίησης έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας και κατ' επέκταση τον χρόνο κωδικοποίησης.

2.3 Αρχιτεκτονική Του Προτύπου H.264/AVC

Για να είναι δυνατή η μέγιστη ευελιξία και η προσαρμογή, το πρότυπο H.264/AVC ορίζει δυο στρώματα, το Video Coding Layer (VCL) και το Network Abstraction Layer (NAL). Το VCL αναπαριστά αποτελεσματικά το περιεχόμενο του βίντεο. Το NAL μορφοποιεί τα VCL δεδομένα και παρέχει πληροφορίες header κάνοντας τα κατάλληλα για μεταφορά μέσω διαφόρων στρωμάτων μεταφοράς ή μέσω αποθήκευσης (Σχήμα 2.2).



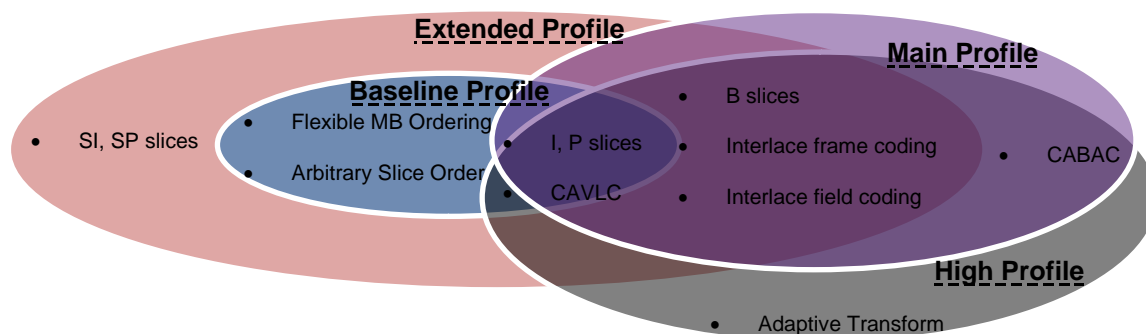
Σχήμα 2.2 : Τα στρώματα VCL και NAL του προτύπου H.264/AVC

2.4 Profiles και Levels

Το πρότυπο H.264/AVC ορίζει διάφορα profiles και levels, το κάθε ένα από τα οποία απευθύνεται σε διαφορετικές εφαρμογές και περιβάλλοντα μετάδοσης. Τα τρία βασικά profiles είναι το Baseline, το Extended, το Main. Το Baseline χρησιμοποιείται σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως κινητά τηλέφωνα, mobile TV, και τηλεδιάσκεψη. Είχε σχεδιαστεί για εφαρμογές χαμηλής καθυστέρησης, καθώς και για εφαρμογές που τρέχουν σε πλατφόρμες με χαμηλή επεξεργαστική ισχύ και σε περιβάλλον με υψηλή απώλεια πακέτων. Το Extended σχεδιάστηκε για υπηρεσίες πολυμέσων στο διαδίκτυο. Το Main χρησιμοποιείται σε ψηφιακά μέσα αποθήκευσης και για τηλεοπτική μετάδοση. Το High χρησιμοποιείται για studio editing. Το Σχήμα 2.3 παρουσιάζει τις ομοιότητες και διαφορές των διαφόρων profiles.

Στα τηλεϊατρικά συστήματα το Baseline θεωρείται το καταλληλότερο profile, αφού συνήθως γίνεται χρήση κινητών συσκευών, τα οποία έχουν χαμηλή επεξεργαστική ισχύ. Επίσης, στην περίπτωση του βίντεο streaming όπου υπάρχει περίπτωση να χαθούν αρκετά πακέτα, το Baseline προφίλ είναι το ιδανικότερο.

Τα διάφορα levels παρέχουν περιορισμούς π.χ. στην ανάλυση της εικόνας, στο frame rate, στον αριθμό των πλαισίων αναφοράς που θα χρησιμοποιηθούν κατά την κωδικοποίηση, στο μέγιστο εύρος ζώνης και στο μέγεθος του buffer.



Σχήμα 2.3 : Χαρακτηριστικά των διαφόρων profile του προτύπου H.264/AVC

2.5 Τύποι πλαισίων

Το πρότυπο H.264/AVC ορίζει 3 διαφορετικούς τύπους πλαισίων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με το profile. Αυτά είναι τα I, τα P και τα B.

Τα I πλαίσια (Intra Frames) περιέχουν αναφορές μόνο στον εαυτό τους, και κατ' επέκταση μπορούν να αποκωδικοποιηθούν ανεξάρτητα από τα άλλα πλαίσια. Το πρώτο πλαίσιο μιας ακολουθίας βίντεο πρέπει να είναι I πλαίσιο. Τα I πλαίσια λαμβάνουν τον περισσότερο χώρο αποθήκευσης αφού περιέχουν όλη την πληροφορία που χρειάζεται για την αποκωδικοποίησή τους.

Τα P πλαίσια (Predicted Frames) χρησιμοποιούν ένα ή περισσότερα προηγούμενα (I ή P) πλαίσια σαν αναφορές για την κωδικοποίηση του πλαισίου, και έτσι είναι πιο συμπιεσμένα από τα I πλαίσια. Σημαντικό μειονέκτημα των P πλαισίων είναι ότι είναι ευαίσθητα σε λάθη μετάδοσης αφού εξαρτώνται από προηγούμενα πλαίσια.

Τα B πλαίσια (Bi-Directional Predicted Frames) είναι όπως τα P πλαίσια με την διαφορά ότι χρησιμοποιούν και προηγούμενα αλλά και επόμενα (I ή P) πλαίσια ως αναφορά, και είναι πιο συμπιεσμένα από τα προηγούμενα.

Με βάση τα πιο πάνω, υπάρχουν δυο είδη κωδικοποιήσεων. Η ενδοπλαισιακή κωδικοποίηση και η διαπλαισιακή. Στην ενδοπλαισιακή κωδικοποίηση το βίντεο sequence αποτελείται μόνο από I πλαίσια. Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται περισσότερο εύρος ζώνης για μετάδοση του βίντεο αλλά από την άλλη πλευρά, αν υπάρχει λάθος στη μετάδοση κάποιου πλαισίου, δεν θα επηρεαστούν τα άλλα πλαίσια. Στην ενδοπλαισιακή κωδικοποίηση χρησιμοποιείται αντιστάθμιση κίνησης για κωδικοποίηση των πλαισίων, έτσι το βίντεο αποτελείται και από P και B πλαίσια. Εδώ, το εύρος ζώνης που χρειάζεται είναι μικρότερο, αλλά τα λάθη της κωδικοποίησης στα πλαίσια αναφοράς μεταφέρονται στο πλαίσιο που θα προβλεφτεί.

2.6 Intra Updating

Για να αποφευχθεί η μεταφορά του λάθους στα επόμενα πλαίσια, περιοδικά εισάγονται intra-coded macroblocks ή πλαίσια. Η τυχαία εισαγωγή των intra macroblock ή η εισαγωγή I πλαισίων είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για να σταματήσει η χρονική διάδοση των λαθών όταν δεν χρησιμοποιείται κανάλι ανατροφοδότησης. Παρόλα τα θετικά της πιο πάνω μεθόδου, η εισαγωγή I πλαισίων απαιτεί επιπλέον εύρος ζώνης.

2.7 Rate Control

Ένα αλγόριθμος για rate control προσαρμόζει δυναμικά τις παραμέτρους του κωδικοποιητή για να πετύχει ένα συγκεκριμένο bitrate. Για να γίνει αυτό δεσμεύει ένα αριθμό από bits για κάθε Group Of Pictures (GOP), για κάθε ξεχωριστή εικόνα, ή ακόμα για κάθε υπο-εικόνα σε ένα βίντεο.

Η παράμετρος κβαντοποίησης (QP = Quantization Parameter) ρυθμίζει πόση χωρική λεπτομέρεια θα αποθηκευτεί. Όσο πιο μικρή είναι, τόσο περισσότερη λεπτομέρεια διατηρείται, ενώ όσο μεγαλώνει χάνεται κάποια από αυτή την πληροφορία με αποτέλεσμα να χαμηλώσει το bitrate και η ποιότητα. Με άλλα λόγια το bitrate μπορεί να ρυθμιστεί καθορίζοντας διαφορετικές τιμές στο QP. Για πιο χαμηλό bitrate χρησιμοποιούμε πιο μεγάλο QP, με αποτέλεσμα να έχουμε χαμηλότερη ποιότητα βίντεο.

Κεφάλαιο 3

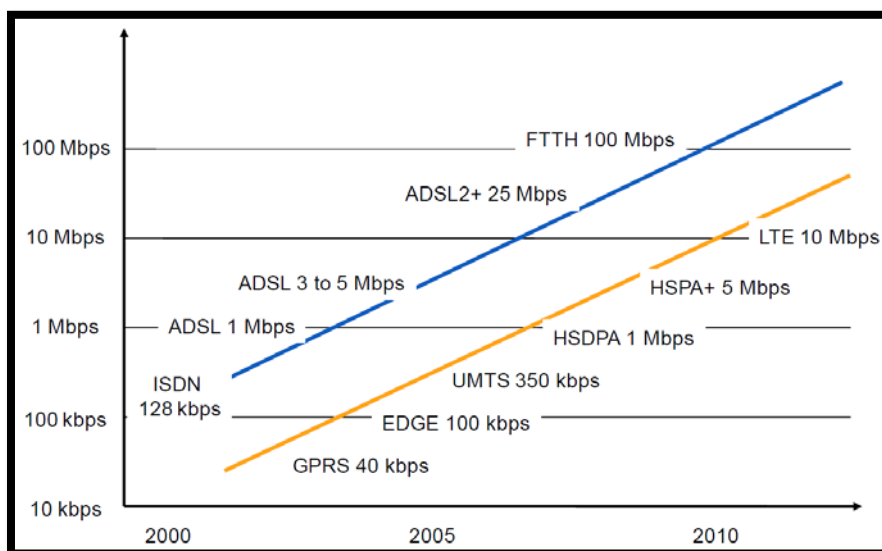
Ασύρματες Τεχνολογίες Μετάδοσης Βίντεο και Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια περιγραφή των κύριων ασύρματων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για μετάδοση βίντεο και θα γίνει μια ανασκόπηση των βασικών δικτύων των διαφόρων γενεών. Επίσης, θα γίνει μια περιγραφή του RTP (Real-time Transport Protocol) πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται για μετάδοση βίντεο σε πραγματικό χρόνο.

3.1 Εισαγωγή

Οι ασύρματες τεχνολογίες παίζουν σημαντικό ρόλο στα δίκτυα και στις επικοινωνίες παρόλο που οι ενσύρματες τεχνολογίες έχουν σαφώς καλύτερες αποδόσεις. Στο Σχήμα 3.1 φαίνεται η χρονολογική εξέλιξη των ενσύρματων και των ασύρματων τεχνολογιών σε σχέση με τις τιμές απόδοσης τους. Όπως φαίνεται και από το σχήμα, η απόδοση των ενσύρματων τεχνολογιών είναι δέκα φορές καλύτερη από αυτή των ασύρματων. Αυτό συμβαίνει γιατί η ταχύτητα εξαρτάται από το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων και από το Signal to Noise Ratio (SNR). Οι γραμμές από οπτικές ίνες (fiber-optic) έχουν το μεγαλύτερο φάσμα και το λιγότερο θόρυβο. Στα ασύρματα περιβάλλοντα ο χρήστης μεταβιβάζεται από μια κυψέλη σε άλλη. Έτσι, η κινητικότητα είναι η κύρια χρησιμότητα των ασύρματων δικτύων, αλλά αυτή είναι που τα καθιστά πιο αργά από τα ενσύρματα δίκτυα.

Εκτός από την απόδοση (throughput), η καθυστέρηση (latency) παίζει σημαντικό ρόλο στα συστήματα πραγματικού χρόνου. Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται ότι οι νεότερες τεχνολογίες έχουν μειωμένες καθυστερήσεις σε σχέση με τις πιο παλιές.



Σχήμα 3.1 : Ασύρματες και Ενσύρματες Τεχνολογίες [3]

Η εποχή της κινητής τηλεφωνίας άρχισε το 1980 αλλά από τότε οι κινητές επικοινωνίες έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές. Η εξέλιξη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας κατηγοριοποιήθηκε σε γενιές. Δύο τεχνολογίες βρίσκονται στην ίδια γενεά εάν έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά δικτύου και χρονοδιαγράμματα ανάπτυξης.

Η πρώτη γενεά (1G) κινητών δικτύων βασιζόταν σε αναλογικά συστήματα και γνώρισαν μεγάλη επιτυχία παρόλο που η χρήση τους ήταν περιορισμένη σε μεταφορά φωνής. Η επόμενη γενεά (2G) γνώρισε πολύ μεγαλύτερη επιτυχία αφού μπορούσε να μεταφέρει και δεδομένα με ταχύτητες μέχρι 9.6 Kbps. Η μεγάλη διαφορά σε σχέση με την προηγούμενη γενεά είναι η χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας, η οποία έχει περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με την αναλογική

τεχνολογία. Περιλαμβάνει το σύστημα GSM (Global System for Mobile Communications) [4] το οποίο θεωρείται το πιο διαδεδομένο. Η τρίτη γενεά (3G) ήταν αποτέλεσμα της αύξησης του αριθμού των συνδρομητών και η ανάγκη παροχής πιο γρήγορων ταχυτήτων. Η τέταρτη γενεά (4G) δικτύων προσφέρει ακόμα καλύτερες ταχύτητες και δίνει έμφαση στην ασφάλεια.

Ο Πίνακας 3-1 παρουσιάζει κάποιες από τις βασικές τεχνολογίες των τεσσάρων γενεών με τις αντίστοιχες ταχύτητες και καθυστερήσεις τους. Ξεκινώντας από τις τεχνολογίες της δεύτερης γενεάς (GSM) τα οποία μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα με ταχύτητες 9.6 Kbps, καταλήγουμε στις τεχνολογίες τέταρτης γενεάς (LTE-Advanced και WiMAX) που μεταφέρουν δεδομένα με ταχύτητες μέχρι 1 Gbps. Όσο για τις καθυστερήσεις (delays), οι τεχνολογίες τέταρτης γενεάς ελαχιστοποιούν τις καθυστερήσεις σε λιγότερα από 10ms.

Ακολουθεί μια περιγραφή των γενεών και των τεχνολογιών τους.

3.2 Δεύτερη γενεά ασύρματων δικτύων (2G)

Τα δίκτυα δεύτερης γενεάς εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '80 και αποτέλεσαν την βάση για την εξέλιξη στα σημερινά δίκτυα τρίτης γενεάς. Σε αντίθεση με τα πρώτα δίκτυα (1G) που μετέδιδαν αναλογικό σήμα και ο διαχωρισμός μεταξύ των χρηστών για ταυτόχρονη πρόσβαση στο ασύρματο μέσο γινόταν με την Frequency Division Multiple Access (FDMA) τεχνική, τα δίκτυα δεύτερης γενεάς χρησιμοποιούσαν τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης του σήματος, ενώ οι χρήστες διαχωρίζονταν με Time Division Multiple Access (TDMA) ή Code Division Multiple Access (CDMA).

Τα δίκτυα δεύτερης γενεάς έδωσαν την δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων (εκτός από φωνή) και έτσι ήταν δυνατή η αποστολή γραπτών μηνυμάτων (SMS).

Οι βασικές τεχνολογίες 2^{ης} γενεάς είναι:

- Το Global System for Mobile communication (GSM)
- Το Pacific Digital Cellular (PDC)
- Το Interim Standard 95 (IS-95) ή cdmaOne

Το σύστημα GSM επιτρέπει ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων μέχρι και 9.6 Kbps. Λειτουργεί σε συχνότητες 900 MHz και 1.8 GHz στην Ευρώπη και 1.9 GHz και 850 MHz σε Αμερική και Αυστραλία.

Η πρώτη προσπάθεια σύνδεσης στο διαδίκτυο μέσω των δικτύων της δεύτερης γενεάς έγινε πριν από μερικά χρόνια με την εμφάνιση του WAP (Wireless Applications Protocol), αλλά η προσπάθεια απέτυχε λόγω των χαμηλών ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων.

3.3 Δεύτερη και μισό γενεά ασύρματων δικτύων (2.5G)

Για να είναι δυνατή η παροχή μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης, η διεθνής επιστημονική κοινότητα ξανασχεδίασε τα πρότυπα δεύτερης γενεάς, έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν περισσότερες δικτυακές εφαρμογές. Έτσι λοιπόν προέκυψε ένα νέο σύνολο προτύπων που ονομάστηκε γενεά 2.5G. Με άλλα λόγια, η 2.5G γενεά περιλαμβάνει προηγμένες αναβαθμίσεις των δικτύων δεύτερης γενεάς. Τα πρότυπα αυτά επέτρεπαν στον υπάρχοντα εξοπλισμό της δεύτερης γενεάς να τροποποιηθεί για να μπορεί να υποστηρίζει υπηρεσίες όπως πλοήγηση στο διαδίκτυο, αποστολή ηλεκτρονικών μηνυμάτων κ.ά. Έτσι προέκυψαν νέες τεχνολογίες όπως:

- High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD)
- General Packet Radio Service (GPRS)
- Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)

Το HSCSD χρησιμοποιεί ταυτόχρονα πολλαπλά time slots (χρόνο-θυρίδες) όταν στέλνει/λαμβάνει δεδομένα για αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων κατά 50% περίπου (14.4 Kbps από τα 9.6 Kbps που προσέφερε το GSM).

Το GPRS θεωρείται ότι ανήκει στην 2.5G γενεά, γιατί είναι το πρώτο βήμα μετάβασης από την δεύτερη στην τρίτη γενεά. Το GPRS παρέχει θεωρητικές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 171.2 Kbps χρησιμοποιώντας 8 time slots για κωδικοποίηση CS-4, αλλά οι πραγματικές τιμές κυμαίνονται στα 30–80 Kbps γιατί για downlink μπορούν να χρησιμοποιηθούν το πολύ 4 time slots.

Το GPRS βασίζεται στη λειτουργία της μεταγωγής πακέτου (packet switched), γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για πρόσβαση στο διαδίκτυο και ακόμα μετάδοση ήχου και βίντεο.

Εκτός από τις τεχνολογίες 2.5G υπάρχουν και οι λεγόμενες τεχνολογίες 2,75G. Ένα αντιπροσωπευτικό πρότυπο αυτών των τεχνολογιών είναι το EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), που επιτυγχάνει ταχύτητες της τάξης των 236.8 Kbps για 4 timeslots (με θεωρητικό μέγιστο στα 473.6 Kbps για 8 timeslots).

3.4 Τρίτη γενεά ασύρματων δικτύων (3G)

Η γενεά αυτή δεν αποτελεί απλά αναβάθμιση της προηγούμενης γενεάς, αφού τα δίκτυα τρίτης γενεάς έχουν καινούργια αρχιτεκτονική.

Τα δίκτυα τρίτης γενεάς ξεκίνησαν την δεκαετία του 2000 για να προσφέρουν μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης και πιο προηγμένες υπηρεσίες. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται περιλαμβάνουν ασύρματη τηλεφωνική επικοινωνία ευρείας ζώνης, βιντεοκλήσεις, κινητή πρόσβαση στο διαδίκτυο, κινητή τηλεόραση και ευρυζωνικές ασύρματες υπηρεσίες δεδομένων, όλα αυτά μέσω μιας κινητής συσκευής.

Οι ταχύτητες που υποστηρίζονται κυμαίνονται από 384 Kbps (πολύ κινητό περιβάλλον) μέχρι 2 Mbps (ακίνητο περιβάλλον).

Μια τεχνολογία τρίτης γενεάς είναι το UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) που έχει ως βάση του το Wideband-CDMA (W-CDMA) το οποίο σχεδιάστηκε για να αποτελέσει τον μελλοντικό διάδοχο του GSM αφού είναι επηρεασμένο από τον τρόπο λειτουργίας του. Χρησιμοποιεί συχνότητες 1900 MHz για uplink και 2100 MHz για downlink με θεωρητικές ταχύτητες 11 Mbps.

Μια άλλη τεχνολογία είναι η CDMA2000 (Βόρεια Αμερική) και αποτελεί εξέλιξη των ήδη υπαρχών CDMA τεχνολογιών. Η μέγιστη ταχύτητα που προσφέρει είναι 14.7 Mbps στο downlink.

3.5 Τρίτη και μισό γενεά ασύρματων δικτύων (3.5G)

Η 3.5G (2005) περιλαμβάνει τα δίκτυα εκείνα που εκτός από την τεχνολογία W-CDMA, έχουν ενσωματώσει και την τεχνολογία High Speed Downlink Packet Access (HSDPA). Η τεχνολογία αυτή αφορά την μετάδοση πακέτων από το σταθμό βάσης προς το χρήστη (downlink) με ρυθμό 5 φορές μεγαλύτερο του UMTS και 15 φορές μεγαλύτερο του GPRS, δηλαδή από τα 2 Mbps που μπορεί να προσφέρει το UMTS ο ρυθμός μπορεί να φτάσει θεωρητικά μέχρι και τα 14.4 Mbps. Αυτό το καθιστά

κατάλληλο για εφαρμογές που έχουν ψηλές απαιτήσεις στον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, π.χ. βίντεο streaming.

Το HSDPA [5] θεωρείται ως εξέλιξη του UMTS προτύπου, παρέχοντας στους χρήστες υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και μεγαλύτερη χωρητικότητα.

Η λειτουργία του HSDPA στηρίζεται στο ότι χρησιμοποιεί ένα νέο Downlink Shared Channel (DSCH) το οποίο θα μεγαλύτερο εύρος ζώνης και το οποίο θα μοιράζονται μεταξύ τους οι χρήστες για την μεταφορά των πακέτων. Το κανάλι αυτό ονομάζεται high-speed DSCH (HS-DSCH). Έτσι, δεν χρησιμοποιούνται ξεχωριστά Dedicated Channel για την αποστολή δεδομένων. και επομένως επιτυγχάνονται μεγαλύτερες ταχύτητες.

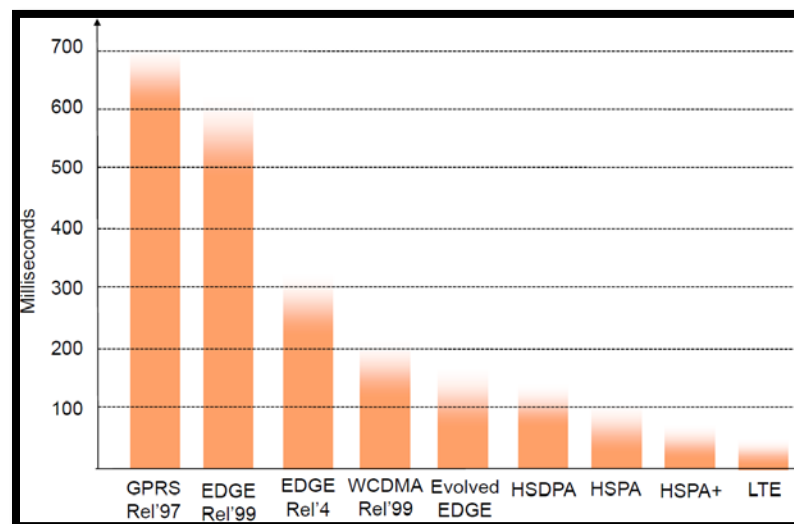
Το High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) [6] αποτελεί μια εξέλιξη του HSDPA προσφέροντας γρηγορότερες ταχύτητες για upload (μέχρι 5.76 Mbps) και κυκλοφόρησε ως μέρος της 3GPP Release 6. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2, το HSDPA μειώνει την καθυστέρηση στο downlink, το HSUPA μειώνει την καθυστέρηση στο uplink καθιστώντας την συνολική καθυστέρηση του συστήματος αποδεκτή για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.



Σχήμα 3.2 : Καθυστέρηση WCDMA, HSDPA και HSPA(HSDPA + HSUPA) [7]

3.6 Τέταρτη γενεά ασύρματων δικτύων (4G)

Τα δίκτυα τέταρτης γενεάς βασίζονται στην τεχνολογία LTE [8], [9] (Long Term Evolution) η οποία αυξάνει την χωρητικότητα του δικτύου και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και επιπλέον μειώνει τις καθυστερήσεις. Οι θεωρητικοί ρυθμοί μετάδοσης φτάνουν τα 100 Mbps που είναι περίπου 10 φορές καλύτεροι από τα δίκτυα 3G και η μέγιστη καθυστέρηση υπολογίζεται στα 10 ms (Σχήμα 3.3). Έτσι θα είναι δυνατή η μετάδοση βίντεο υψηλής ευκρίνειας.



Σχήμα 3.3 : Καθυστερήσεις (Delays) Για Τις Διάφορες Τεχνολογίες [3]

Για να είναι δυνατή η επίτευξη πλήρους απόδοσης των δυνατοτήτων του LTE είναι αναγκαία η μετατροπή των σημερινών υβριδικών δικτύων (κυκλώματος/πακέτου) σε δίκτυα πλήρως βασισμένα σε IP (Internet Protocol). Δηλαδή οι υποδομές 4G αποτελούνται από διάφορα δίκτυα που χρησιμοποιούν το IP ως κοινό πρωτόκολλο, ώστε οι χρήστες να μπορούν να επιλέγουν κάθε εφαρμογή και περιβάλλον. Η λύση

αυτή επιτρέπει τη δημιουργία νέων υπηρεσιών με επαναχρησιμοποίηση του λογισμικού εφαρμογών, ενώ η ανεξαρτησία του IP, του επιτρέπει να δουλεύει πάνω σε οποιαδήποτε τεχνολογία πρόσβασης. Αυτό σημαίνει ότι τα ετερογενή ασύρματα δίκτυα θα συγχωνευτούν σε ένα μοναδικό δίκτυο, κάνοντας έτσι την πλειοψηφία των υπηρεσιών ανεξάρτητη από τις τεχνολογίες πρόσβασης.

Το LTE βασίζεται πάνω σε νέες τεχνικές αρχές. Ενσωματώνει OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) τα οποία δίνουν προτεραιότητα στην ελαχιστοποίηση των παρεμβολών μεταξύ των καναλιών, και συστήματα κεραίων MIMO (Multiple-Input Multiple-Output).

Το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) είναι μια άλλη τεχνολογία η οποία προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι 72 Mbps χωρίς να υπάρχει ανάγκη για καλωδιακές υποδομές.

Το WiMAX προσφέρει μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες ασύρματων ευρυζωνικών συνδέσεων (π.χ. Wi-Fi).

Το 2008, η ITU-R (International Telecommunications Union-Radio communications sector) όρισε ένα σύνολο από απαιτήσεις για το πρότυπο 4G με το όνομα IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications Advanced), καθορίζοντας απαιτήσεις μέγιστης ταχύτητας στα 100 Mbps σε κινητό περιβάλλον και στο 1 Gbps σε ακίνητο περιβάλλον [10]. Έτσι, αφού το LTE και το Mobile WiMAX υποστηρίζουν χαμηλότερες ταχύτητες, δεν αποτελούν συμβατά δίκτυα τέταρτης γενεάς. Το 2010, η ITU-R αναγνώρισε ότι οι δύο αυτές τεχνολογίες, καθώς και άλλες που είναι πέραν της τρίτης γενεάς, παρόλο που δεν πληρούν τις IMT-Advanced απαιτήσεις, θα μπορούσαν εντούτοις να θεωρηθούν "4G", υπό την προϋπόθεση ότι είναι πρόδρομοι για IMT-Advanced συμβατές εκδόσεις και ότι έχουν βελτιστοποιήσει σε ένα σημαντικό επίπεδο τις επιδόσεις και τις δυνατότητες των αρχικών συστημάτων τρίτης γενεάς.

Το Mobile WiMAX Release 2 (WirelessMAN-Advanced ή IEEE 802.16m) και το LTE Advanced [11] (LTE-A) είναι IMT-Advanced συμβατές και προς τα πίσω συμβατές εκδόσεις των δύο παραπάνω συστημάτων και έτσι μπορούν να θεωρηθούν και επίσημα τεχνολογίες τέταρτης γενεάς.

Πίνακας 3-1 : Οι Τεχνολογίες Με Τις Αντίστοιχες Ταχύτητες και Καθυστερήσεις [1]

Wireless Technology	Theoretical Data Rates	Typical Data Rates	Delay
2G-GSM (TDMA)	9.6 – 115 Kbps.	10 Kbps	N/A
2.5G-GPRS (TDMA)	DL:UL: 9.6 - 171.2 Kbps	DL:UL: 30-50 Kbps	< 700ms
2.5G-EDGE (TDMA)	DL:UL: 9.6-384 Kbps	DL:UL: 75-135 Kbps	<600ms (Rel.99) <350 (Rel. 4)
Evolved EDGE (TDMA)	DL: 1.89Mbps UL: 947Kbps	DL: 175-350Kbps UL:150-350Kbps	<200ms
3G-UMTS (FDD, W-CDMA)	DL:UL: 144 kbps - 2 Mbps.	DL:UL: 220-384 Kbps	<250ms
3G-UMTS (TDD, TD/CDMA)	as above	as above	as above
3.5G-HSPA (HSDPA Rel. 5) (HSUPA Rel. 6)	DL: 14Mbps UL: 5.8 Mbps	DL : 1-4 Mbps UL : 500Kbps -2Mbps	<150ms
3.5G-HSPA+ Rel. 8 (Rel. 9)	DL: 42(84) Mbps UL: 11.5(23) Mbps	DL : 1.9-8.8 Mbps UL: 1-4 Mbps	<100ms
3.5G-LTE (OFDMA)	DL: 326 Mbps UL: 86 Mbps	DL: 5.9-21.5 Mbps UL: TBD	<70ms
Mobile WiMAX (OFDM) (IEEE 802.16e)	DL: 46 Mbps UL: 5.6 Mbps	DL:UL: TBD	<70ms
4G-LTE-Advanced (OFDMA)	DL: 1Gbps UL: 100 Mbps	TBD	TBD (target<5ms)
4G- WiMAX (OFDM) (IEEE 802.16m)	DL: 1Gbps UL: 100 Mbps	TBD	TBD (target<5ms)

N/A: not available, TBD: to be determined, DL: downlink, UL: uplink

3.7 Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Για την μετάδοση βίντεο σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο Real-Time Transport Protocol (RTP). Ο λόγος είναι γιατί τα δυο βασικά ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα, το User Datagram Protocol (UDP) και το Transmission Control Protocol (TCP), δεν είναι ιδανικά από μόνα τους για χρήση σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Το UDP [12] γιατί δεν είναι εξασφαλίζει ότι τα πακέτα θα φτάνουν με τη σωστή σειρά (δηλαδή με την σειρά που στάλθηκαν) στον παραλήπτη και το TCP [13] γιατί κάνει αναμετάδοση για να εξασφαλίσει ότι όλα τα πακέτα φτάνουν στον προορισμό τους, προκαλώντας μεγάλες καθυστερήσεις. Επίσης, στις εφαρμογές μετάδοσης βίντεο σε πραγματικό χρόνο είναι ανεκτό να χαθεί ένας μικρός αριθμός πακέτων, αφού οι κωδικοποιητές και οι αποκωδικοποιητές χρησιμοποιούν τεχνικές ανθεκτικότητας στα λάθη. Για τους παραπάνω λόγους αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο RTP [14] το οποίο βασίζεται στα πρωτόκολλα UDP ή TCP και που επιπλέον παρέχει χρονοσφραγίδες (timestamps), μηχανισμούς ελέγχου και άλλες λειτουργικότητες που το κάνουν ικανό για μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, προσφέρει μηχανισμούς ανίχνευσης των χαμένων πακέτων προκειμένου αυτά να αναμεταδοθούν.

Η επικεφαλίδα ενός RTP πακέτου περιέχει πληροφορίες οι οποίες αφορούν τα δεδομένα που μεταφέρει (payload). Μερικά από αυτά είναι ο αύξων αριθμός του (sequence number), η χρονοσφραγίδα (timestamp) και η πηγή (ssrc).

Το πρωτόκολλο the Real Time Control Protocol (RTCP) είναι μέρος του RTP και είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της ποιότητας της υπηρεσίας (QoS) και παίρνει πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των συμμετεχόντων στη σύνοδο (session). Αυτό το κάνει στέλλοντας στατιστικές πληροφορίες στους συμμετέχοντες και παίρνοντας

στατιστικά και πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των χαμένων πακέτων, το jitter, το Round-Trip Delay time (RTT) κ.ά. Οι πληροφορίες αυτές θα χρησιμοποιηθούν για βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας.

Τα RTP πακέτα συνήθως στέλνονται σε ένα port με ζυγό αριθμό (π.χ. 5004) και τα RTCP στέλνονται στο επόμενο port με μονό αριθμό (π.χ. 5005) [15].

Κεφάλαιο 4

Εφαρμογή Συστήματος Τηλεϊατρικής

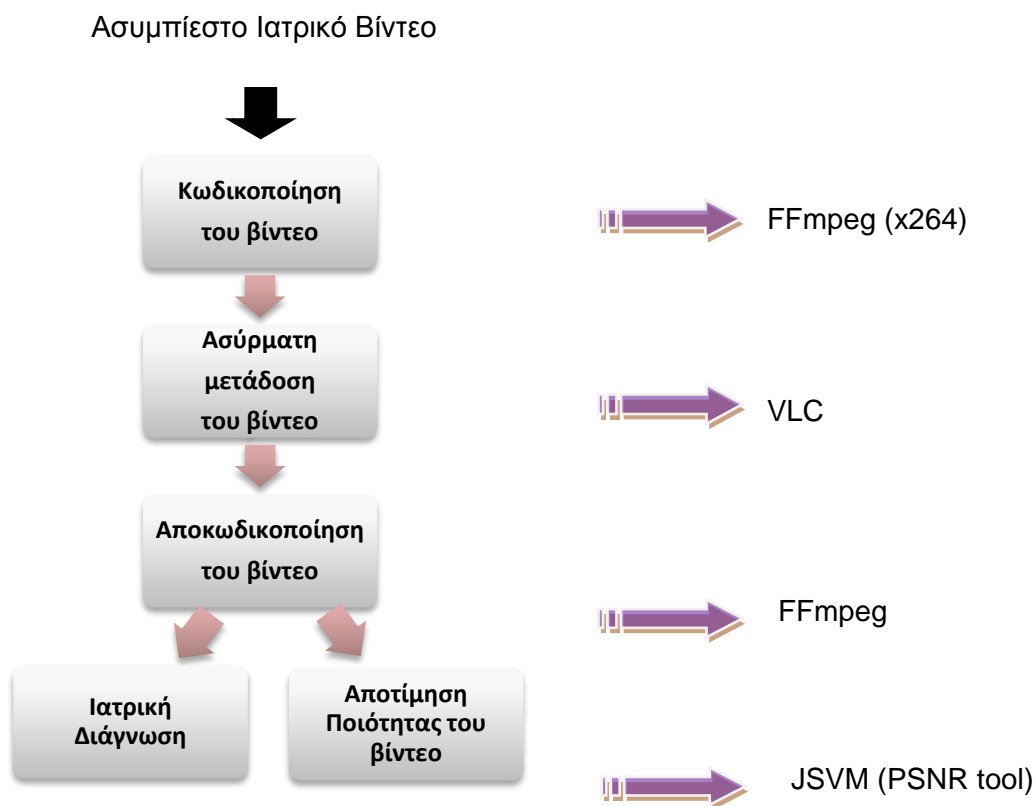
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια περιγραφή του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής και το οποίο βασίζεται σε εργαλεία ανοικτού κώδικα. Επίσης παρουσιάζεται το ολοκληρωμένο σύστημα μετάδοσης ιατρικού βίντεο το οποίο ενσωματώνει τις ανωτέρω τεχνολογίες.

4.1 Εφαρμογές Ανοικτού Κώδικα και Λογισμικό

Οι εφαρμογές ανοικτού κώδικα είναι εφαρμογές που ο πηγαίος κώδικας είναι ελεύθερα διαθέσιμος. Οποιοσδήποτε μπορεί να έχει πρόσβαση σε αυτόν και μπορεί να τον τροποποιήσει ή να τον χρησιμοποιήσει σε άλλες εφαρμογές.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα που μπορούν να προσφέρουν οι εφαρμογές ανοικτού κώδικα έναντι των εφαρμογών κλειστού κώδικα. Το κύριο πλεονέκτημα για τις επιχειρήσεις είναι ότι ο ανοικτός κώδικας είναι ένας καλός τρόπος να επιτύχουν μεγαλύτερη διείσδυση στην αγορά. Επίσης, το κόστος ανάπτυξης και συντήρησης των εφαρμογών είναι πολύ λιγότερο αφού οποιοσδήποτε μπορεί να συνεισφέρει χωρίς πληρωμή. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι το ότι οι εφαρμογές ανοικτού κώδικα θεωρούνται πιο αξιόπιστες αφού υπάρχουν χιλιάδες ανεξάρτητοι προγραμματιστές που το ελέγχουν και διορθώνουν τα λάθη του. Για την παρούσα εργασία, η επιλογή εργαλείων ανοικτού κώδικα αποσκοπεί στην ανάπτυξη, αξιολόγηση, και διάδοση ενός τηλεϊατρικού συστήματος χαμηλού κόστους, με ευκολία εγκατάστασης και διείσδυσης στην ερευνητική κοινότητα.

Η διαδικασία είναι η εξής: Καταρχήν το βίντεο κωδικοποιείται με τη χρήση της βιβλιοθήκης x264 [16] του εργαλείου FFmpeg [17] με το πρότυπο H.264/AVC. Στη συνέχεια το βίντεο αποστέλλεται μέσω του VLC [18]. Κατά την αποστολή του βίντεο χρησιμοποιείται το Wireshark [19] για την παρακολούθηση των πακέτων. Ο αποδέκτης χρησιμοποιεί επίσης το VLC για να παραλάβει το κωδικοποιημένο βίντεο, το οποίο στη συνέχεια αποκωδικοποιείται και πάλι με τη χρήση του FFmpeg. Μετά την αποκωδικοποίηση, ακολουθεί η αποτίμηση της ποιότητας του, με διαδομένους αλγόριθμους αξιολόγησης της ποιότητας του βίντεο όπως το PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) μεταξύ των πλαισίων του βίντεο πριν την κωδικοποίηση και των αντίστοιχων πλαισίων του βίντεο μετά την κωδικοποίηση, αποστολή και αποκωδικοποίηση του. Σκοπός είναι η παροχή βίντεο ικανοποιητικής διαγνωστικής ποιότητας στο γιατρό, ο οποίος θα προχωρήσει στην κλινική αξιολόγησή του. Η πιο πάνω διαδικασία περιγράφεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 : Διάγραμμα Συστήματος

Ακολουθεί περιγραφή του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του τηλεϊατρικού συστήματος.

4.1.1 FFmpeg

Το ffmpeg [17] είναι ένα command-line εργαλείο ελεύθερου λογισμικού που χρησιμοποιείται για την μετατροπή βίντεο από μια μορφή σε μια άλλη σε πολύ καλό χρόνο και αποδοτικά. Είναι μέρος του FFmpeg project μαζί με τα εργαλεία libavcodec και libavformat και είναι υλοποιημένο σε γλώσσα C. Το libavcodec είναι μια

βιβλιοθήκη με κωδικοποιητές ήχου και βίντεο και το libavformat βιβλιοθήκη που περιέχει πολυπλέκτες και αποπολυπλέκτες για container formats εικόνας και ήχου. Για την κωδικοποίηση σε H.264, το ffmpeg χρησιμοποιεί μια εξωτερική βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα, την x264.

4.1.2 x264

Η βιβλιοθήκη x264 [16] είναι μια βιβλιοθήκη δωρεάν λογισμικού για κωδικοποίηση βίντεο streams σε H.264/AVC μορφή. Ο FFmpeg χρησιμοποιεί το command line interface της βιβλιοθήκης για κωδικοποίηση σε H.264/AVC μορφή. Κάποια άλλα προγράμματα, όπως είναι το MeGUI, χρησιμοποιούν το API της.

Η βιβλιοθήκη x264 θεωρείται η καλύτερη για κωδικοποίηση σε H.264/AVC αφού παρέχει καλύτερη απόδοση, συμπίεση, ποιότητα και περισσότερες δυνατότητες από οποιονδήποτε άλλο κωδικοποιητή σε H.264/AVC. Τέλος, η βιβλιοθήκη H.264/AVC χρησιμοποιείται σε πολλές υπηρεσίες βίντεο στο διαδίκτυο, όπως είναι το YouTube.

4.1.3 VLC

Το VLC media player [18] είναι ένα φορητό πρόγραμμα ελεύθερου λογισμικού ανοικτού κώδικα (γραμμένο σε C, C++) για αναπαραγωγή πολυμέσων, κωδικοποίηση και streaming γραμμένο από το εγχείρημα VideoLAN (VideoLAN project). Είναι cross-platform media player, με εκδόσεις για Microsoft Windows, Mac OS X, Linux, BeOS, MorphOS, BSD, Solaris, iOS, and eComStation.

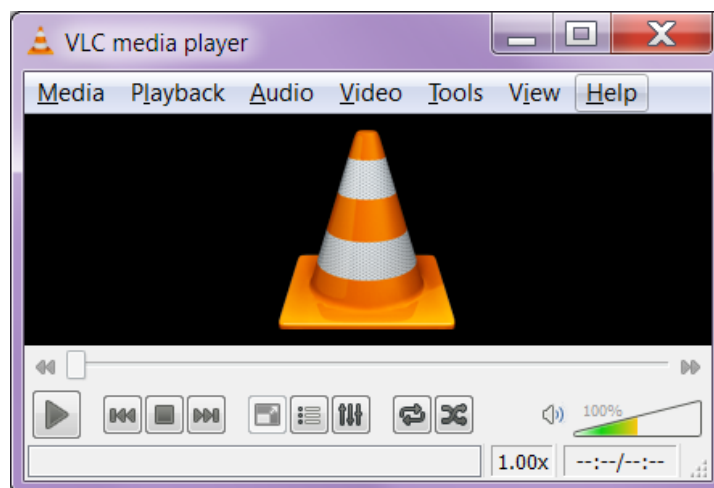
Το VLC υποστηρίζει πολλούς κωδικοποιητές ήχου, βίντεο, DVDs, VCDs, και διάφορα πρωτόκολλα streaming. Είναι ικανό να κάνει stream και να επανακωδικοποιεί αρχεία πολυμέσων.

Τα αρχικά του σήμαιναν VideoLAN Client αλλά αυτό δεν ισχύει πλέον αφού το VLC δεν είναι απλά ένας client γιατί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν server για να κάνει

stream MPEG-1, MPEG-2 και MPEG-4 αρχεία, DVDs and live βίντεο στο δίκτυο σε unicast ή multicast.

Η προεπιλεγμένη διανομή του VLC περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό από ελεύθερες βιβλιοθήκες κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης. Πολλοί από τους κωδικοποιητές του VLC προέρχονται από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος FFmpeg, αλλά κυρίως χρησιμοποιεί τους δικούς του πολυπλέχτες και αποπολυπλέχτες.

Το VLC μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δυο τρόπους: είτε μέσω του γραφικού περιβάλλοντος (Σχήμα 4.2), είτε μέσω της γραμμής εντολών.



Σχήμα 4.2 : VLC Media Player

4.1.4 Wireshark

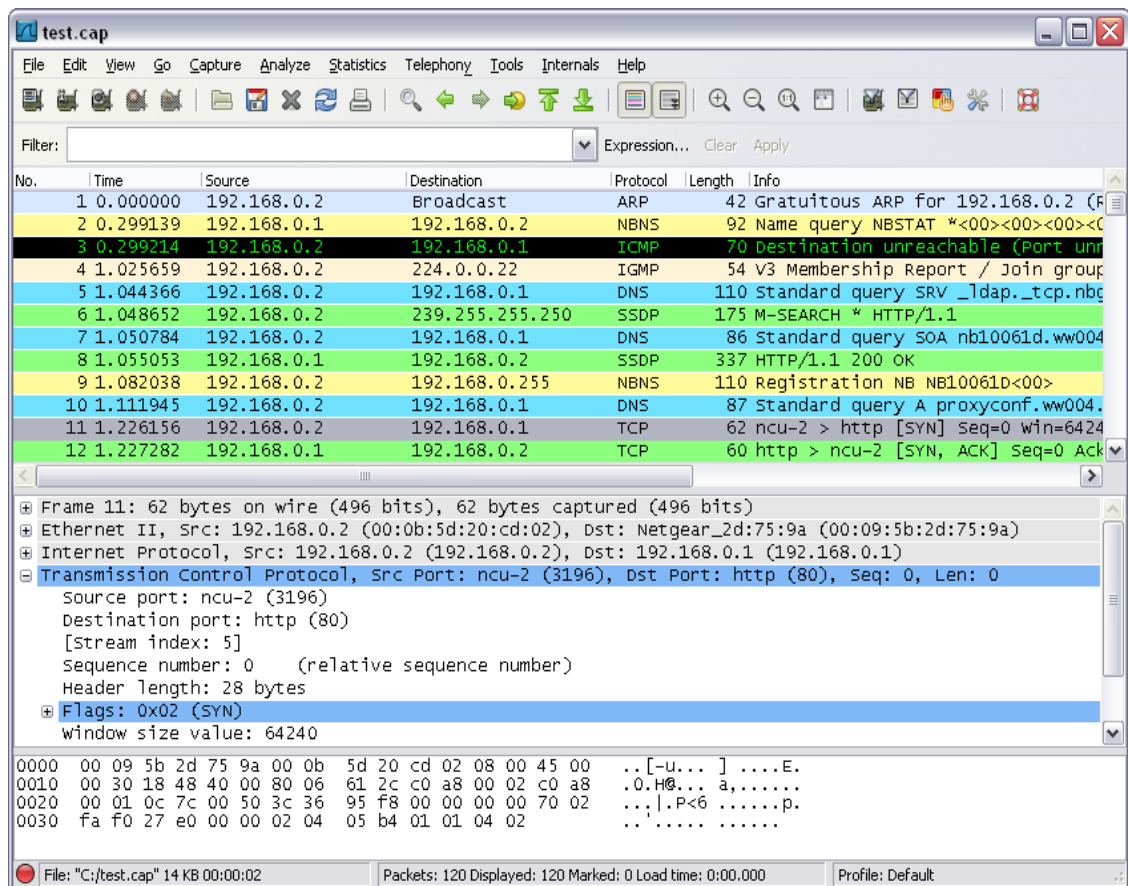
Το Wireshark [19] είναι ένας αναλυτής πακέτων δικτύου (network packet analyzer) ελεύθερου λογισμικού και ανοιχτού κώδικα. Με τον όρο αναλυτής πακέτων εννοούμε ένα πρόγραμμα το οποίο καταγράφει τα πακέτα ενός δικτύου και τα αναλύει παρουσιάζοντας τα με περισσότερη λεπτομέρεια.

Μερικές χρήσεις του Wireshark είναι οι ακόλουθες:

- Χρήση από τους διαχειριστές του δικτύου για αντιμετώπιση προβλημάτων στο δίκτυο
- Χρήση από μηχανικούς ασφάλειας του δικτύου για να μελετήσουν προβλήματα ασφάλειας
- Χρήση από προγραμματιστές για εντοπισμό σφαλμάτων στην υλοποίηση πρωτοκόλλων
- Χρήση από ανθρώπους που θέλουν να μάθουν εσωτερικά στοιχεία των πρωτοκόλλων δικτύου

Το αρχικό όνομα του προγράμματος ήταν Ethereal, και τον Μάιο του 2006 άλλαξε σε Wireshark για λόγους εμπορικών σημάτων. Είναι διαθέσιμο για όλα τα κύρια λειτουργικά συστήματα όπως τα Windows, Linux, Mac OS X, Solaris και BSD χρησιμοποιεί το GTK+ για το γραφικό περιβάλλον και το Pcap για σύλληψη πακέτων.

Το Wireshark μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μέσω του GUI του (Σχήμα 4.3), είτε μέσω της γραμμής εντολών χρησιμοποιώντας το Tshark. Το Tshark είναι μια command line έκδοση του Wireshark που χρησιμεύει σε περιπτώσεις όπου η χρήση της γραφικής διεπαφής δεν χρειάζεται ή δεν είναι δυνατή. Υποστηρίζει τις ίδιες επιλογές με το Wireshark.



Σχήμα 4.3 : Wireshark

4.1.5 JSVM

Το λογισμικό JSVM (Joint Scalable Video Model) είναι το λογισμικό αναφοράς για το έργο Scalable Video Coding (SVC) του Joint Video Team (JVT) του ISO/IEC Moving Pictures Experts Group (MPEG) και του ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG). Το λογισμικό JSVM είναι γραμμένο σε C++.

Περιέχει διάφορα εργαλεία για κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση βίντεο. Εδώ έγινε χρήση μόνο του εργαλείου PSNR (PSNRStatic) για υπολογισμό του PSNR των αποκωδικοποιημένων βίντεο.

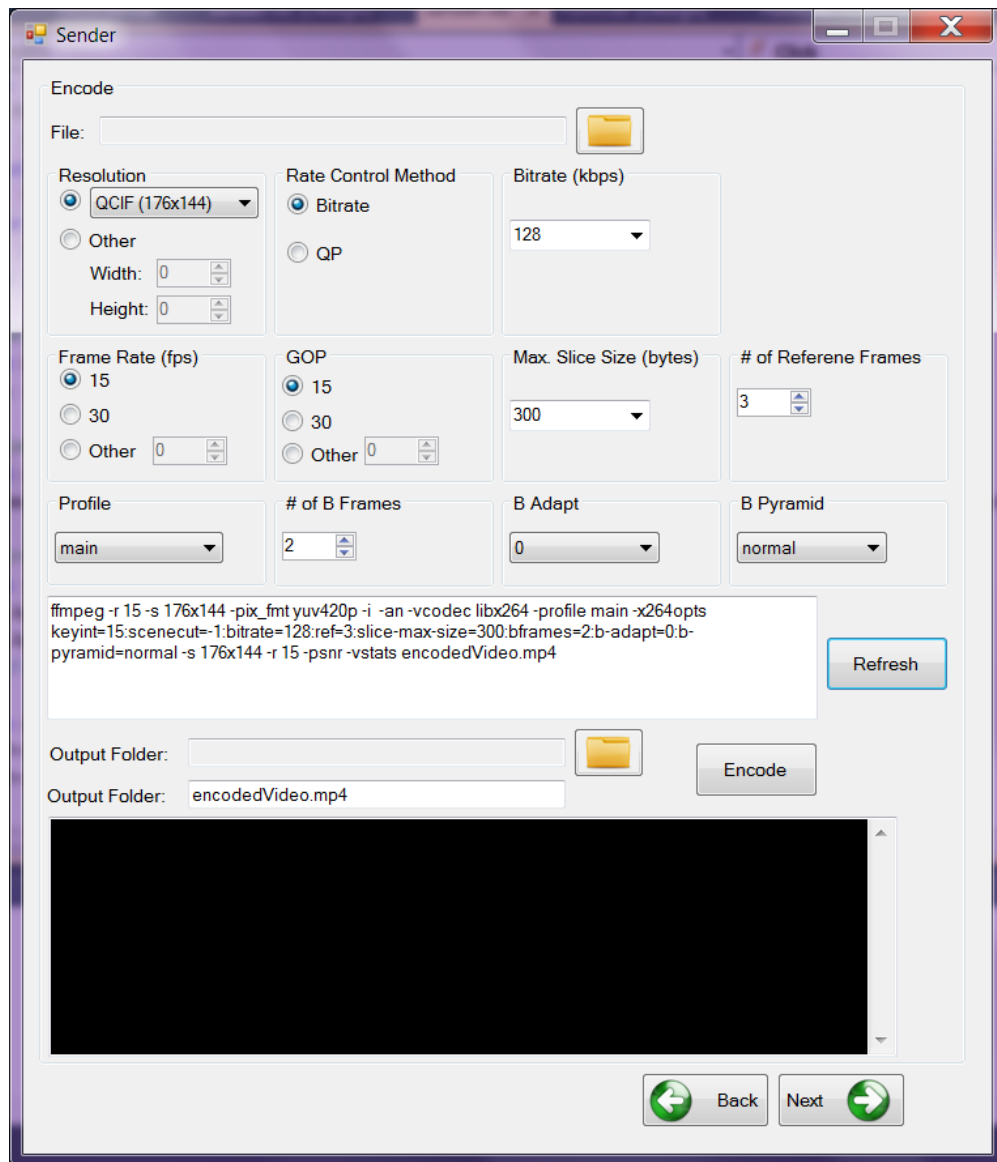
4.1.6 yuvViewer

Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιήθηκε για να μπορούμε να βλέπουμε τα βίντεο τα οποία είναι σε ασυμπίεστη μορφή, δηλαδή τα yuv βίντεο.

Ο όρος YUV αναφέρεται σε μια οικογένεια χρωματικών χώρων, οι οποίοι κωδικοποιούν την φωτεινότητα ανεξάρτητα από το χρώμα. Όπως και το RGB, το YUV χρησιμοποιεί τρεις τιμές για να αναπαραστήσει κάθε χρώμα, το Y, το U και το V. Η συνιστώσα Y αναπαριστά την φωτεινότητα του χρώματος και οι U και V συνιστώσες αναπαριστούν το χρώμα.

4.2 Περιγραφή τηλεϊατρικού συστήματος

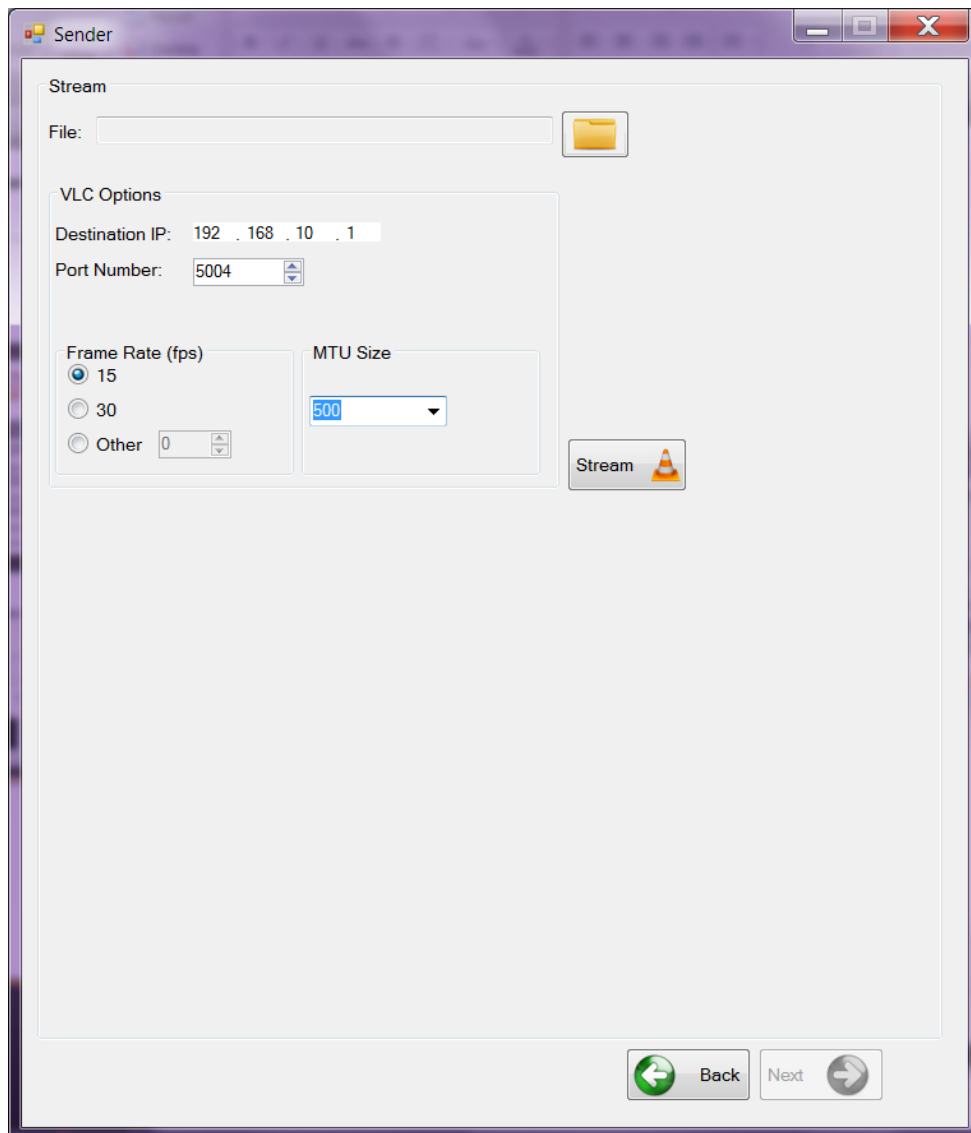
Το σύστημα που αναπτύχθηκε έχει ως στόχο την αποστολή βίντεο σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας τις προαναφερθέντες υπάρχουσες τεχνολογίες. Αποτελείται από 3 μέρη: τον κωδικοποιητή (Σχήμα 4.4), τον αποστολέα (Σχήμα 4.5) και τον παραλήπτη (Σχήμα 4.6). Ο κωδικοποιητής καλεί τον ffmpeg (με batch file) στέλνοντας του της παραμέτρους κωδικοποίησης τις οποίες ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από το γραφικό περιβάλλον, είτε να γράψει απευθείας την εντολή κωδικοποίησης. Ο ffmpeg χρησιμοποιεί την βιβλιοθήκη x264 για την κωδικοποίηση. Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τις παραμέτρους κωδικοποίησης (βλέπε κεφάλαιο 5) αλλά και κάποιες άλλες παραμέτρους της βιβλιοθήκης x264.



Σχήμα 4.4 : Διεπαφή Κωδικοποιητή

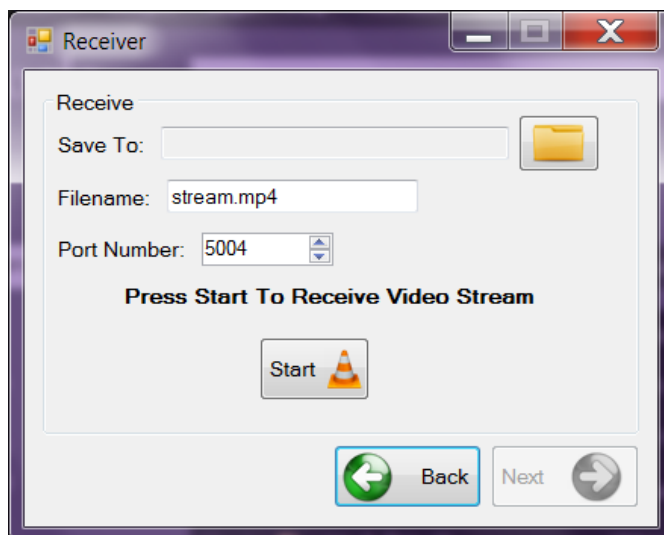
Ο αποστολέας αποστέλλει το κωδικοποιημένο βίντεο στην επιλεγμένη διεύθυνση IP και στο επιλεγμένο port. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να διαλέξει το μέγιστο μέγεθος των πακέτων (mtu size) το οποίο συστήνεται να είναι ίσο με το μέγιστο μέγεθος των slices, έτσι ώστε κάθε πακέτο να περιέχει μόνο ένα slice και σε περίπτωση που χαθεί να χαθεί μόνο ένα μέρος του frame και όχι ολόκληρο. Για την αποστολή του βίντεο καλείται το VLC (με batch file). Το VLC τοποθετεί το κωδικοποιημένα βίντεο σε πακέτα MPEG-2 TS (MPEG-2 Transport Stream) και

προσθέτει πληροφορίες για το πώς είναι κωδικοποιημένο το βίντεο έτσι ώστε ο παραλήπτης να γνωρίζει πως να το αποκωδικοποιήσει.



Σχήμα 4.5 : Διεπαφή Αποστολέα

Ο παραλήπτης είναι υπεύθυνος για την παραλαβή και αποθήκευση του βίντεο. Εδώ ο χρήστης εισάγει και πάλι το port από το οποίο θα λαμβάνει τα πακέτα, όπως και το όνομα με το οποίο το βίντεο θα αποθηκευτεί. Και εδώ καλείται το VLC (με batch file) για την παραλαβή του stream.



Σχήμα 4.6 : Διεπαφή Παραλήπτη

Κεφάλαιο 5

Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων για την αξιολόγηση του συστήματος. Θα γίνει αναφορά στο σύνολο δεδομένων και στις παραμέτρους κωδικοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων. Επίσης θα περιγραφεί η διαδικασία διεξαγωγής των πειραμάτων και τέλος θα περιγραφούν οι μετρικές αξιολόγησης.

5.1 Κωδικοποίηση

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικά βίντεο τα οποία αποστάλθηκαν τρεις φορές το κάθε ένα. Τα τέσσερα από τα πέντε βίντεο κωδικοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές αναλύσεις εικόνας (resolutions): 176x144 (QCIF), 352x288 (CIF) και 560x416, όπου η τελευταία αποτελεί την αρχική ανάλυση με την οποία έχουν ληφθεί τα βίντεο από τον υπερχο. Για το πέμπτο βίντεο χρησιμοποιήθηκαν τα 176X144 , 352X288 και 640X480 (VGA). Οι αναλύσεις εικόνας αποσκοπούν στην εξέταση των κλινικών κριτηρίων που μπορούν να διαγνωστούν από τον γιατρό βάση της κλινικής πληροφορίας που διαθέτουν (Πίνακας 5-1).

Πίνακας 5-1 : Κριτήρια κλινικής αξιολόγησης και παράμετροι κωδικοποίησης

	Κλινική Σημασία	Clinical Differentiation for:	
		Ανάλυση (Resolution)	Frame Rate
Ανίχνευση Πλάκας	Διάγνωση παρουσίας της πλάκας	QCIF (176x144), CIF (352x288)	≥5 fps
Στένωση	Εκτίμηση βαθμού στένωσης	QCIF (176x144), CIF (352x288)	≥5 fps Προτεινόμενο ≥10 fps
Τύπος Πλάκας	Αποτίμηση μορφολογίας της πλάκας και των συστατικών της και καθορισμός του τύπου της πλάκας	CIF (352x288)	≥10 fps Προτεινόμενο 15 fps

Εξετάσαμε τις πιο κοινές μορφές κωδικοποίησης για αποστολή βίντεο σε πραγματικό χρόνο βάση της βιβλιογραφίας ([20] και [21]) σχετικά με τον αριθμό των B-frames.

Αυτές είναι οι εξής:

1. Χρήση μόνο P-frames , χωρίς B-frames, IPPP
2. Χρήση 2 B-frames για την κωδικοποίηση, δηλαδή μεταξύ δύο διαδοχικών P-frames εμφανίζονται δύο B-frames, IPBBP
3. Χρήση 4 B-frames για την κωδικοποίηση, δηλαδή μεταξύ δύο διαδοχικών P-frames εμφανίζονται τέσσερα B-frames, IPBBBBP
4. Χρήση 8 B-frames για την κωδικοποίηση, δηλαδή μεταξύ δύο διαδοχικών P-frames εμφανίζονται οχτώ B-frames, IPBBBBBBBBP

Στις περιπτώσεις που δεν χρησιμοποιήθηκαν B-frames χρησιμοποιήθηκε το Baseline Profile και στις υπόλοιπες το Main Profile.

Οι τιμές για τις υπόλοιπες παραμέτρους επιλέχθηκαν μέσα από πειράματα και κατόπιν μελέτης της σχετικής βιβλιογραφίας. Η παράμετρος Maximum Slice Size επιλέχθηκε λόγω του ότι είχε χαμηλή καθυστέρηση (latency) σε σχέση με μεγαλύτερες παραμέτρους και επίσης είχε τα καλύτερα αποτελέσματα στις μετρήσεις του PSNR. Επίσης βάση αυτής της παραμέτρου επιλέχθηκε και το μέγεθος των πακέτων έτσι ώστε όταν χαθεί ένα πακέτο το λάθος να περιοριστεί μόνο στο συγκεκριμένο slice που είναι περίπου 500 bytes. Αντίθετα, αν τα πακέτα ήταν μικρότερα θα ήταν και περισσότερα, με αποτέλεσμα να μεγαλώνει το ποσοστό των χαμένων πακέτων.

Μια ακόμη σημαντική παράμετρος είναι η παράμετρος GOP (Group Of Pictures) και η συχνότητα Intra-Update. Η παράμετρος αυτή επιλέχθηκε βάση του frame rate έτσι ώστε σε κάθε δευτερόλεπτο να υπάρχει σίγουρα ένα I-frame. Επιπλέον, στη συγκεκριμένη περίπτωση μετάδοσης ιατρικού βίντεο, αποσκοπεί στον τερματισμό της διάδοσης σφάλματος (error propagation) στην αρχή του εκάστοτε καρδιακού κύκλου για μεγιστοποίηση της κλινικής ποιότητας του βίντεο.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5-2) παρουσιάζονται οι παράμετροι κωδικοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων. Για την μικρότερη ανάλυση (176x144) εικόνας χρησιμοποιήθηκαν τα bitrate 128kbps, 256kbps και 324kbps. Για τα 352x288 χρησιμοποιήθηκαν τα bitrate 128kbps, 256kbps, 324kbps και 512kbps και τέλος για τα βίντεο με την μεγαλύτερη ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν τα bitrate 512kbps και 768kbps.

Πίνακας 5-2 : Παράμετροι κωδικοποίησης

Παράμετρος	Τιμή
Resolution	176x144, 352x288, 560x416
Frame Rate	15
Bitrate (kbps)	128, 256, 324, 512, 768
GOP	15
B Frames	0, 2, 4, 6, 8, 16
Number of Reference Frames	3
Maximum Slice Size (bytes)	500

5.2 Αποστολή

Ο αποστολέας αποστέλλει στον παραλήπτη το κωδικοποιημένο βίντεο μέσω του διαθέσιμου δικτύου. Ταυτόχρονα, ο παραλήπτης λαμβάνει την σειρά κωδικοποιημένων ροών, την αποκωδικοποιεί και την παρουσιάζει.

Ακολουθεί περιγραφή των δυο σεναρίων τα οποία καλύπτουν τις πιθανές διαθέσιμες τεχνολογίες μετάδοσης. Το πρώτο σενάριο αφορά την αποστολή του ιατρικού βίντεο όπου ο αποστολέας και ο παραλήπτης βρίσκονται συνδεδεμένοι στο ίδιο Wireless Local Area Network (WLAN). Στο δεύτερο σενάριο έγινε χρήση ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος τρίτης γενιάς, και πιο συγκεκριμένα δικτύου HSPA (3.5G).

Και στα δυο σενάρια χρησιμοποιήθηκαν δυο φορητοί υπολογιστές, ο αποστολέας και ο παραλήπτης. Ο αποστολέας είναι υπεύθυνος για την κωδικοποίηση και αποστολή του βίντεο και ο παραλήπτης για την παραλαβή και αποθήκευση του.

5.2.1 Σενάριο 1: Αποστολή Ιατρικού Βίντεο εντός των Εγκαταστάσεων του Διαγνωστικού Κέντρου (WLAN)

Στο πρώτο σενάριο ο αποστολέας και ο παραλήπτης είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο. Το σενάριο αυτό προσομοιώνει τη χρήση του παρόν συστήματος για αποστολή ιατρικού βίντεο από ένα χώρο του νοσοκομείου σε κάποιο άλλο. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μείωση των καθυστερήσεων μεταφοράς του ασθενή από ένα χώρο του νοσοκομείου σε κάποιο άλλο, όπως επίσης και τις άσκοπες μετακινήσεις ιατρών. Επιπλέον, σε περιπτώσεις όπου η μετακίνηση του ασθενή εγκυμονεί κινδύνους με την χρήση φορητού εξοπλισμού στην θάλαμο νοσηλείας.

5.2.2 Σενάριο 2: Αποστολή Ιατρικού Βίντεο σε Επείγοντα Περιστατικά και από Απομακρυσμένες Περιοχές (3.5G - HSPA)

Στο δεύτερο σενάριο χρησιμοποιήθηκε ασύρματο δίκτυο τρίτης γενεάς (3G/3.5G) για αποστολή των βίντεο. Για το HSPA η θεωρητική ταχύτητα αποστολής είναι 5.8 Mbps όπως καταγράφεται από τον παροχέα, εντούτοις η τυπική ταχύτητα αποστολής είναι γύρω στο 1Mbps και η καθυστέρηση περίπου 135ms. Ο αποστολέας βρισκόταν συνδεδεμένος στο 3.5G δίκτυο και ο παραλήπτης ήταν συνδεδεμένος με WiFi σε κάποιο τοπικό δίκτυο. Όπως και στο Σενάριο 1, οι μετρήσεις έλαβαν χώρα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους έτσι ώστε να αποτυπωθεί μια ρεαλιστική προσέγγιση των πραγματικών συνθηκών.

Το σενάριο αυτό προσομοιώνει την αποστολή ιατρικού βίντεο σε επείγοντα περιστατικά και/ή από απομακρυσμένες περιοχές, και γενικά περιοχές όπου η πρόσβαση στο διαδίκτυο είναι δυνατή μόνο δια μέσου του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, στο νοσοκομείο ή στο εξειδικευμένο διαγνωστικό κέντρο. Αυτό μπορεί να είναι είτε από το ασθενοφόρο, είτε από κάποια περιοχή που είναι διαθέσιμο το δίκτυο τρίτης γενεάς.

5.3 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Η αξιολόγηση του συστήματος βασίστηκε σε αλγόριθμους αξιολόγησης ποιότητας του βίντεο, καθώς και ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Για να είναι δυνατός ο υπολογισμός του PSNR ο παραλήπτης αποθήκευε το βίντεο. Για τον υπολογισμό του ποσοστού των χαμένων πακέτων (packet loss rate) και της καθυστέρησης (end-to-end delay) έγινε χρήση του εργαλείου Wireshark το οποίο κατέγραφε τα πακέτα που λάμβανε ο παραλήπτης.

5.3.1 Αντικειμενική Αξιολόγηση Βίντεο (Objective Video Quality Assessment)

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν δυο μετρικές. Η πρώτη είναι το PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) το οποίο υπολογίζεται από το MSE (Mean Square Error) μεταξύ των πλαισίων του αρχικού (ασυμπιέστου) βίντεο και του βίντεο που παραλήφθηκε. Θεωρείται μια από τις καλύτερες μετρικές για την αξιολόγηση της ποιότητας εικόνων και βίντεο.

Έστω I το αρχικό βίντεο (ασυμπιέστο) και K το βίντεο μετά την κωδικοποίηση/αποστολή με διαστάσεις $m \times n$, το MSE ορίζεται ως εξής:

$$MSE = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2$$

Το PSNR ορίζεται ως εξής:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right)$$

Για τον υπολογισμό του PSNR, τα βίντεο μετά την παραλαβή και αποθήκευση τους αποκωδικοποιήθηκαν (μετατράπηκαν σε γυν μορφή).

5.3.2 Κλινική Αξιολόγηση Βίντεο (Clinical Video Quality Assessment)

Η δεύτερη μετρική αξιολόγησης αφορά την αξιολόγηση των βίντεο από εξειδικευμένους γιατρούς βάση των τριών κλινικών διαγνωστικών κριτηρίων που φαίνονται στον Πίνακας 5-3 [1]. Η κλινική αξιολόγηση βασίζεται στο [22].

Κατά την κλινική αξιολόγηση βίντεο από τηλεγράφημα της καρωτιδικής αρτηρίας, ο γιατρός ενδιαφέρεται αρχικά να εντοπίσει το πιθανό σχηματισμό αθυρωματικής πλάκας στα τοιχώματα της αρτηρίας. Έχοντας διαγνώσει την παρουσία της αθυρωματικής πλάκας, η εξέταση προχωρεί στον υπολογισμό του ποσοστού στένωσης της αρτηρίας. Ακολουθεί η κατηγοριοποίηση του τύπου της πλάκας, και κατά πόσο αυτή είναι σταθερή ή όχι. Ασταθείς αθυρωματικές πλάκες εμφανίζουν μεγάλη πιθανότητα ρήξης, με μεγάλη πιθανότητα πρόκλησης εγκεφαλικού επεισοδίου.

Στα πλαίσια της κλινικής αξιολόγησης της παρούσας εργασίας, ο γιατρός αξιολόγησε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των διαφόρων μεθόδων κωδικοποίησης (αριθμός B-frames), αναλύσεων εικόνας (video resolution), και ποιότητας (bitrate). Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στο [1] και παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακας 5-3. Η κλίμακα αξιολόγησης εκτείνεται από το 1 μέχρι το 5. Το 5 αντιστοιχεί σε κλινική ποιότητα αντίστοιχη του αρχικού ασυμπίεστου βίντεο. Αξιολόγηση με 4 υποδηλώνει ότι το βίντεο είναι ικανοποιητικής κλινικής ποιότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αντικειμενική διάγνωση. Στην αντίπερα όχθη, αξιολόγηση με 1 υποδηλώνει ότι οποιαδήποτε κλινική πληροφορία έχει χαθεί κατά την αποστολή του βίντεο το οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάγνωση.

Πίνακας 5-3 : Περιγραφή κλίμακας κλινικής αξιολόγησης [1]

	Ανίχνευση Πλάκας	Στένωση	Τύπος Πλάκας
5	Η πλάκα αναγνωρίζεται όπως και στο αρχικό	Ο βαθμός της στένωσης προσδιορίζεται όπως και στο αρχικό	Η κατηγοριοποίηση του τύπου της πλάκας όπως και στο αρχικό
4	Η παρουσία της πλάκας μπορεί να διαγνωστεί εύκολα	Αρκετά κλινικά δεδομένα για προσδιορισμό του βαθμού στένωσης	Αρκετά κλινικά δεδομένα για κατηγοριοποίηση τύπου της πλάκας
3	Η παρουσία της πλάκας μπορεί να διαγνωστεί με πολλή προσοχή	Τα κλινικά δεδομένα επιτρέπουν μόνο προσέγγιση του βαθμού της στένωσης	Η κατηγοριοποίηση του τύπου της πλάκας εξαρτάται από την περίπτωση
2	Η παρουσία της πλάκας μπορεί να διαγνωστεί μετά το πάγωμα ενός καθαρού πλαισίου	Πολύ μειωμένη ικανότητα εκτίμησης του βαθμού στένωσης	Δεν μπορεί να κατηγοριοποιηθεί
1	Μη ανιχνεύσιμη	Απροσδιόριστη	Δεν μπορεί να κατηγοριοποιηθεί

Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα γίνει η αποτίμηση του συστήματος μετάδοσης ιατρικού βίντεο μέσω των ασύρματων τεχνολογιών που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (3G-3.5G και Wireless LAN). Αυτό θα γίνει παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα των υπό εξέταση σεναρίων. Θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των δύο σεναρίων που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο τα οποία καλύπτουν τις πιθανές διαθέσιμες τεχνολογίες μετάδοσης. Το πρώτο σενάριο αφορά την αποστολή του ιατρικού βίντεο όπου ο αποστολέας και ο παραλήπτης βρίσκονται συνδεδεμένοι στο ίδιο Wireless Local Area Network (WLAN) και το δεύτερο σενάριο την χρήση ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος τρίτης γενιάς.

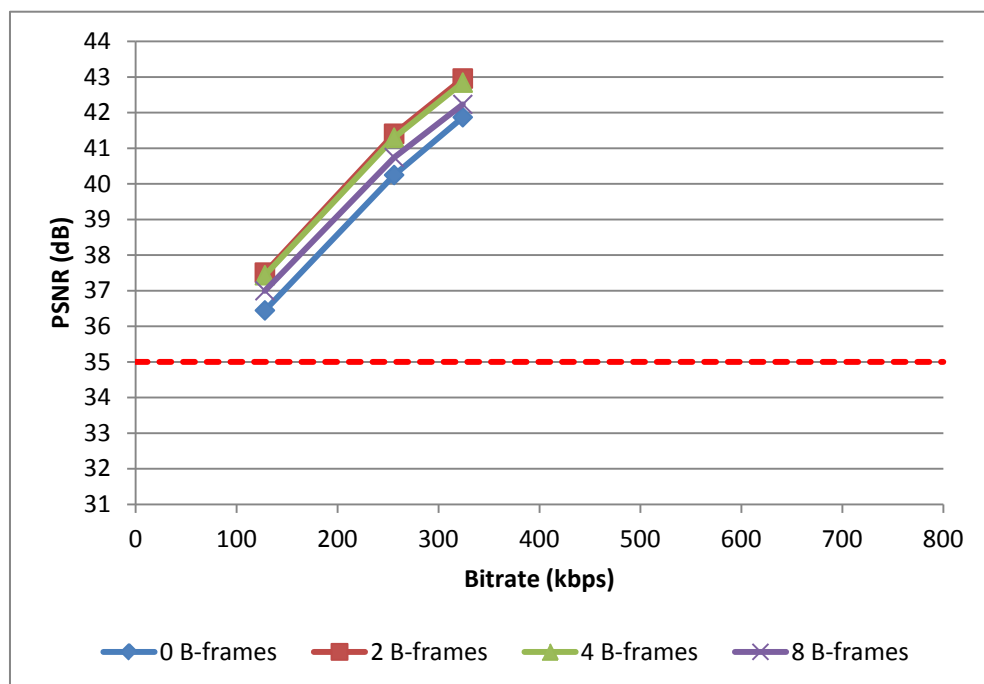
6.1 Αξιολόγηση Κωδικοποιημένων Βίντεο

Στα σχήματα 6.1-6.3 παρουσιάζεται το PSNR του βίντεο 6RTICA μετά την κωδικοποίηση και για τα τρία resolution. Στα σχήματα η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή συμβολίζει την τιμή του PSNR την οποία ορίζει η βιβλιογραφία ([22]) ως ελάχιστη τιμή για την οποία τα βίντεο θεωρούνται διαγνωστικά επαρκή.

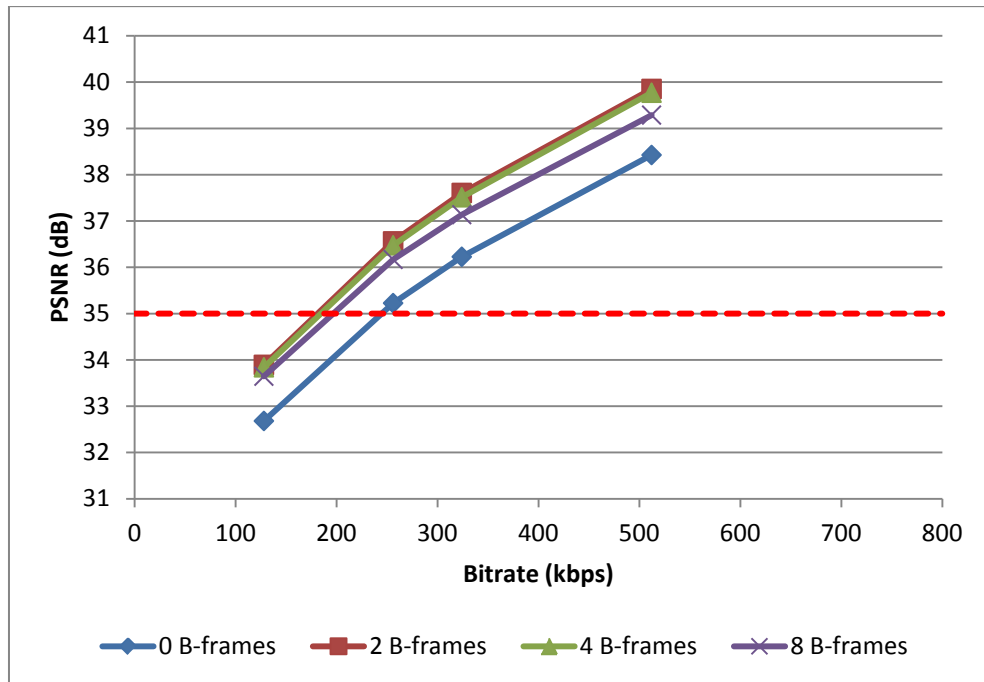
Βάση του πιο πάνω, παρατηρήσαμε ότι τα βίντεο με την μεγαλύτερη ανάλυση χρειάζονται μεγαλύτερο bitrate κατά την κωδικοποίηση ώστε να ξεπερνούν το πιο πάνω κατώφλι (threshold). Έτσι στα βίντεο ανάλυσης 560x416 χρησιμοποιήσαμε τα bitrate 512kbps και 768kbps μόνο. Επιπλέον παρατηρούμε πως το PSNR ξεπερνά τα 35dB σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός στην περίπτωση των βίντεο ανάλυσης 352x288

με bitrate 128kbps, για αυτό για την συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκε και το bitrate 512kbps.

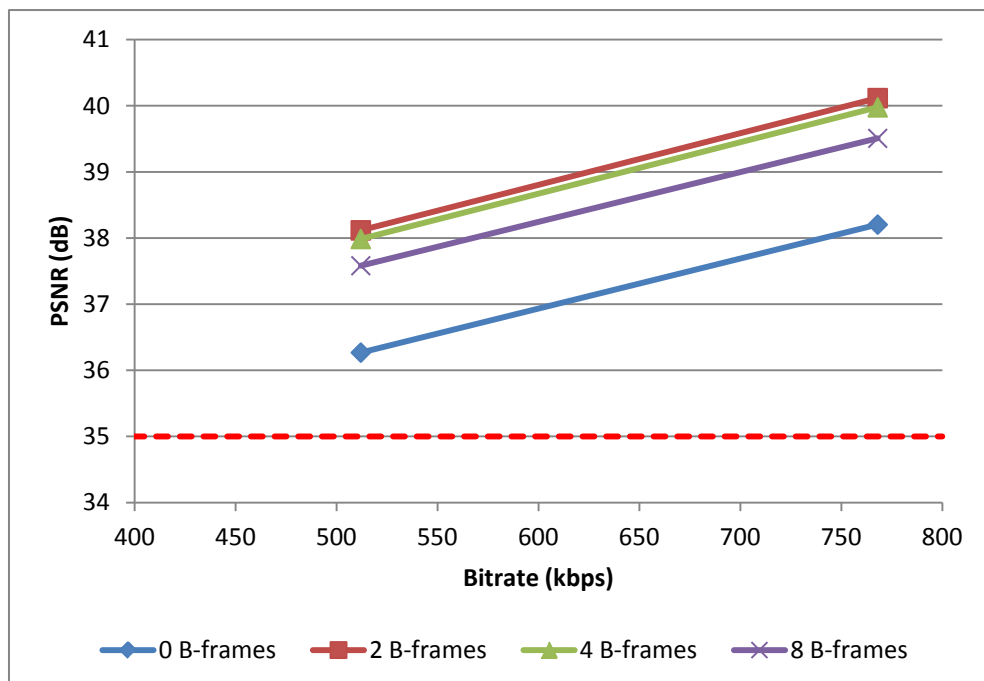
Επίσης, παρατηρούμε ότι τα βίντεο που κωδικοποιήθηκαν χωρίς B-frames έχουν το χαμηλότερο PSNR. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού τα B-frames χρησιμοποιούν αναφορές τόσο από προηγούμενα αλλά και από επόμενα frames, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πληροφορία που πρέπει να αποσταλεί και συνεπώς να αυξάνεται το PSNR (για το ίδιο bitrate). Από την άλλη πλευρά, η χρήση μεγάλου αριθμού από B-frames έχει ως συνέπεια απώλεια πληροφορίας και μείωση του PSNR. Η καλύτερη περίπτωση είναι η χρήση μέτριου αριθμού από B-frames. Στην περίπτωση μας αυτό είναι 2-4 για GOP 15.



Σχήμα 6.1 : Rate Distortion Curves μεταξύ αρχικού και κωδικοποιημένου βίντεο για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 176x144



Σχήμα 6.2 : Rate Distortion Curves μεταξύ αρχικού και κωδικοποιημένου βίντεο για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 352x288



Σχήμα 6.3 : Rate Distortion Curves μεταξύ αρχικού και κωδικοποιημένου βίντεο για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 560x416

6.2 Σενάριο 1: WLAN

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο πρώτο σενάριο ο αποστολέας και ο παραλήπτης είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο, με αποτέλεσμα το διαθέσιμο εύρος ζώνης να είναι πολύ ψηλό (βλέπε Πίνακας 6-1). Αυτό είχε ως φυσικό επακόλουθο να προκύψουν μικρά ποσοστά απώλειας πακέτων και κατ' επέκταση τα βίντεο που παραλήφθηκαν είχαν σχετικά ψηλό PSNR, συγκρίσιμο με το συμπιεσμένο, προ-αποστολής βίντεο.

6.2.1 Αντικειμενική Αξιολόγηση

Ο Πίνακας 6-2 παρουσιάζει τις μετρήσεις του PSNR για το βίντεο 6RTICA μεταξύ του αρχικού (ασυμπίεστου) βίντεο και του βίντεο μετά την κωδικοποίηση, όπως και μεταξύ του αρχικού βίντεο με το βίντεο που παραλήφθηκε, χρησιμοποιώντας 0 B-frames. Τα PSNR που παρουσιάζονται στον πίνακα είναι ο μέσος όρος των PSNR για τις τρεις φορές που στάλθηκε το βίντεο. Στους πίνακες Πίνακας 6-3, Πίνακας 6-4 και Πίνακας 6-5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με την χρήση 2,4 και 8 B-frames αντίστοιχα.

Πίνακας 6-1 : Διαθέσιμο εύρος ζώνης για τα δυο σενάρια

Σενάριο	Ασύρματη Τεχνολογία	Διαθέσιμο Εύρος ζώνης
1	WLAN	Download: 8 Mbps Upload: 1 Mbps
2	High Speed Packet Access (HSPA) - 3.5G	Download: 3 Mbps Upload: 1 Mbps

Όπως φαίνεται και από τους πίνακες οι τιμές του PSNR των βίντεο που παραλήφθηκαν είναι πολύ κοντά σε αυτές των κωδικοποιημένων βίντεο λόγω του ότι

δεν υπήρξαν μεγάλες απώλειες πακέτων. Επίσης παρατηρούμε ότι το PSNR των βίντεο που παραλήφθηκαν είναι μέσα στα ικανοποιητικά πλαίσια (βάση του [22]), δηλαδή είναι πάνω από 35dB το οποίο θεωρείται διαγνωστικά επαρκή.

Πίνακας 6-2 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 1) χωρίς B-frames (Baseline Profile)

Resolution	Bitrate	PSNR Encoded	PSNR Received	PLR Wireless
176x144	128	36,4449	35,4937	0,000000%
176x144	256	40,2461	37,1293	0,000000%
176x144	324	41,8684	40,7665	1,016260%
352x288	128	32,6804	30,2995	0,000000%
352x288	256	35,2257	35,2844	0,000000%
352x288	324	36,2267	36,2891	0,000000%
352x288	512	38,4247	37,1864	0,229433%
560x416	512	36,2682	36,3202	0,000000%
560x416	768	38,2036	35,9377	0,000000%

Πίνακας 6-3 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 1) με 2 B-frames

Resolution	Bitrate	PSNR Encoded	PSNR Received	PLR Wireless
176x144	128	37,5046	37,3534	0,000000%
176x144	256	41,4035	39,5129	0,131492%
176x144	324	42,955	36,8536	0,803859%
352x288	128	33,8912	33,7836	0,000000%
352x288	256	36,558	36,3038	0,000000%
352x288	324	37,6042	37,4403	0,000000%
352x288	512	39,8506	38,9512	0,169895%
560x416	512	38,1163	37,9445	0,000000%
560x416	768	40,1155	39,9227	0,000000%

Πίνακας 6-4 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 1) με 4

B-frames

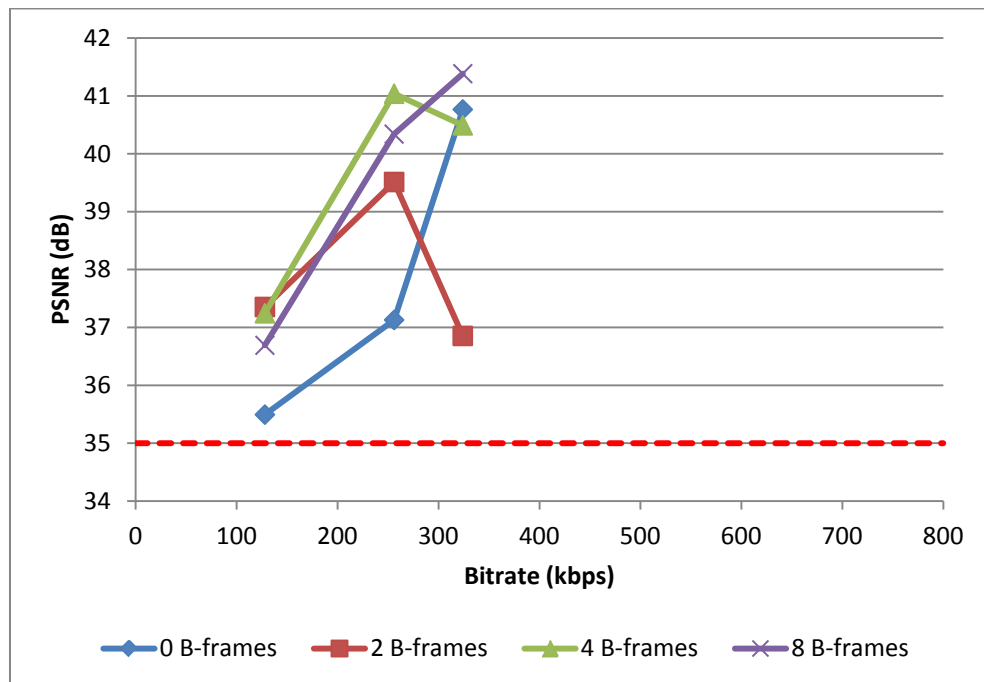
Resolution	Bitrate	PSNR Encoded	PSNR Received	PLR Wireless
176x144	128	37,4332	37,2445	0,000000%
176x144	256	41,2955	41,0387	0,000000%
176x144	324	42,8419	40,4920	1,014957%
352x288	128	33,8397	33,4981	0,000000%
352x288	256	36,4739	36,3074	0,000000%
352x288	324	37,5123	37,3397	0,000000%
352x288	512	39,7699	35,7514	0,840054%
560x416	512	37,9865	37,8061	0,000000%
560x416	768	39,9766	39,9497	0,000000%

Πίνακας 6-5: Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 1) με 8 B-

frames

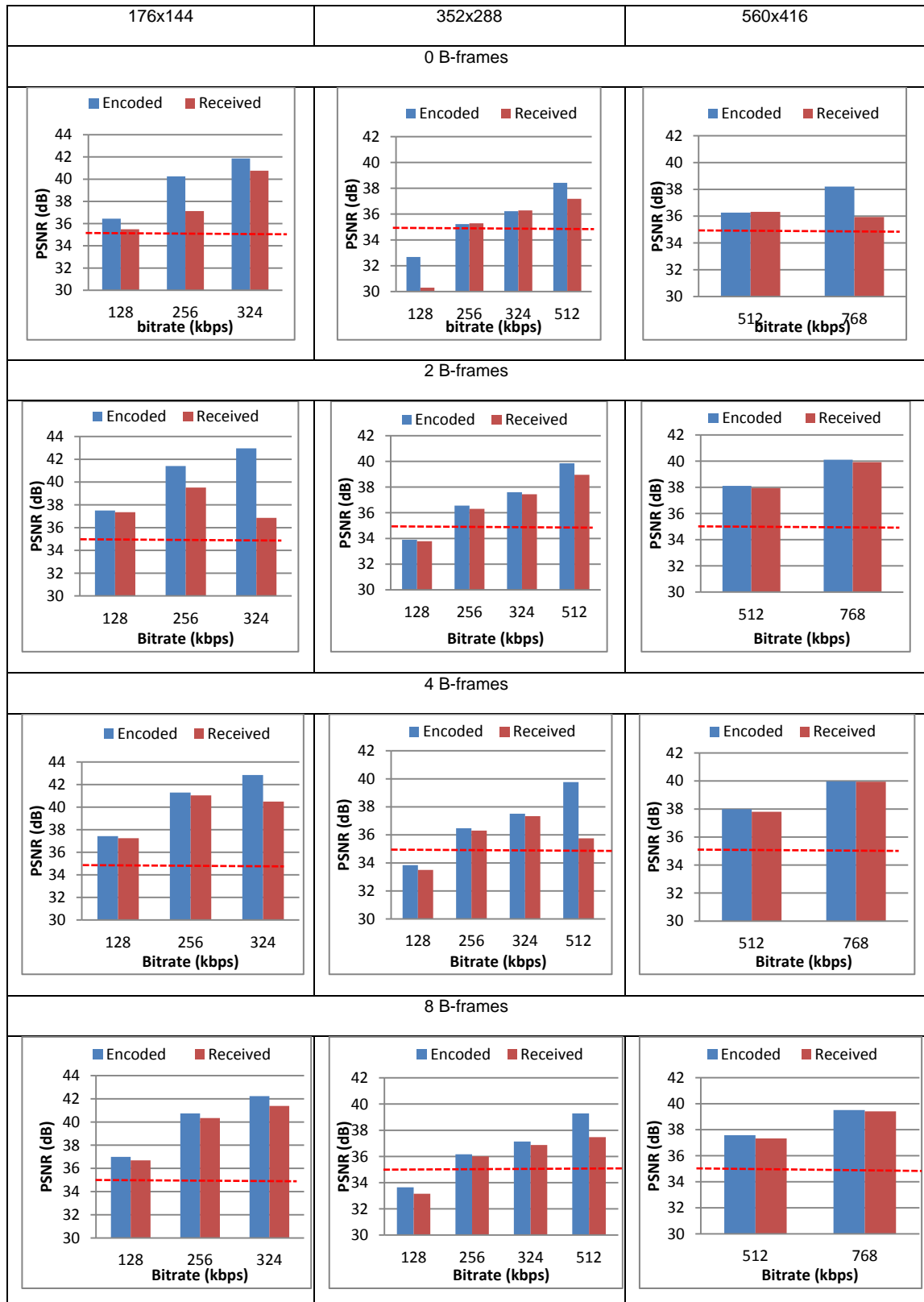
Resolution	Bitrate	PSNR Encoded	PSNR Received	PLR Wireless
176x144	128	36,9961	36,6916	0,000000%
176x144	256	40,7413	40,3410	0,127470%
176x144	324	42,2302	41,3851	0,623053%
352x288	128	33,6457	33,1472	0,000000%
352x288	256	36,1683	36,0116	0,000000%
352x288	324	37,1356	36,8781	0,000000%
352x288	512	39,2867	37,4699	1,598174%
560x416	512	37,582	37,3323	0,000000%
560x416	768	39,5074	39,4136	0,000000%

Στο Σχήμα 6.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις διάφορες τιμές του PSNR για όλες τις τιμές για την παράμετρο B-frames (0, 2, 4, 8) για το βίντεο ανάλυσης 176x144. Λόγω κάποιας απώλειας πακέτων οι τιμές του PSNR είναι ελαφρώς πιο χαμηλές από αυτές του κωδικοποιημένου βίντεο. Αυτό φαίνεται καλύτερα στο Σχήμα 6.5. Επίσης, παρατηρούμε πως το PSNR ξεπερνά τα 35dB σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός στην περίπτωση των βίντεο ανάλυσης 352x288 με bitrate 128kbps.



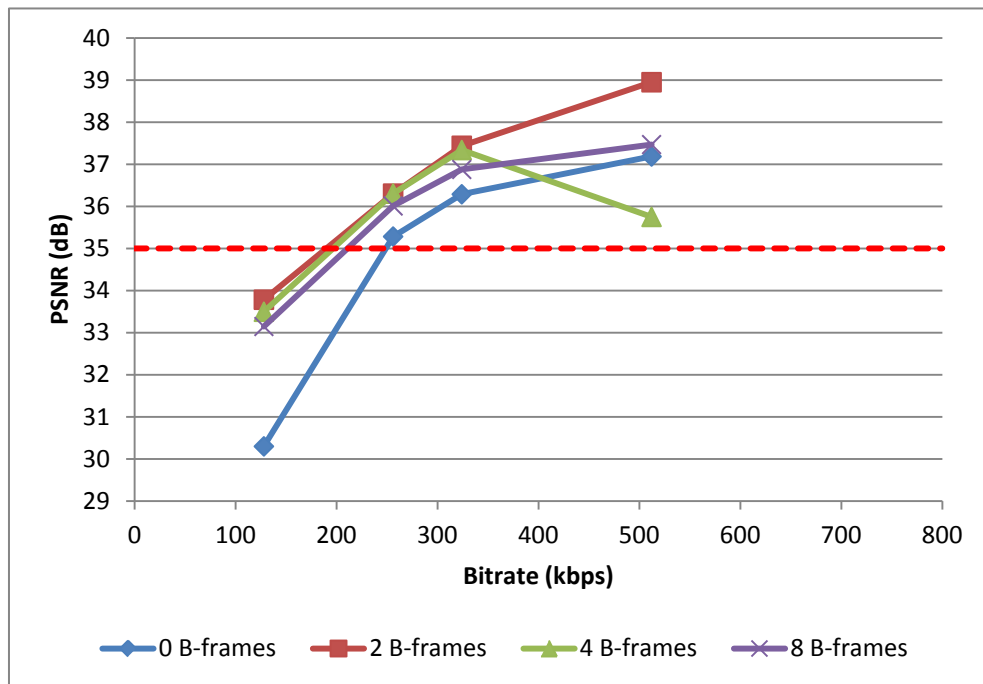
Σχήμα 6.4 : Rate Distortion Curves για το βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 176x144 και με 15 fps

Γενικά παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται το ποσοστό των χαμένων πακέτων η χρήση μεγάλου αριθμού από B-frames αλλοιώνει τα αποτελέσματα. Με άλλα λόγια, χωρίς B-frames έχουμε περισσότερη ανθεκτικότητα όσο αυξάνεται το ποσοστό των χαμένων πακέτων. Αντίθετα, όταν το ποσοστό των χαμένων πακέτων είναι μικρό, η χρήση των B-frames παρουσιάζει καλύτερα αποτέλεσμα.



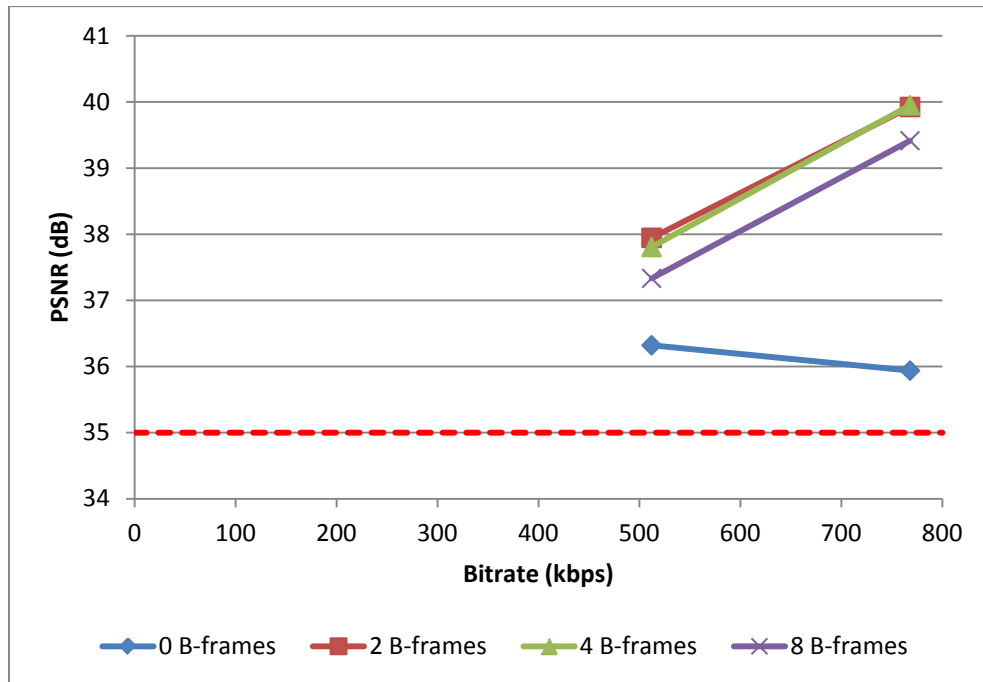
Σχήμα 6.5 : Σύγκριση PSNR των κωδικοποιημένων βίντεο και των βίντεο που παραλήφθηκαν (Σενάριο 1)

Ακολουθούν τα σχήματα και για τις αναλύσεις 352x288 (Σχήμα 6.6) και 560x416 (Σχήμα 6.7).



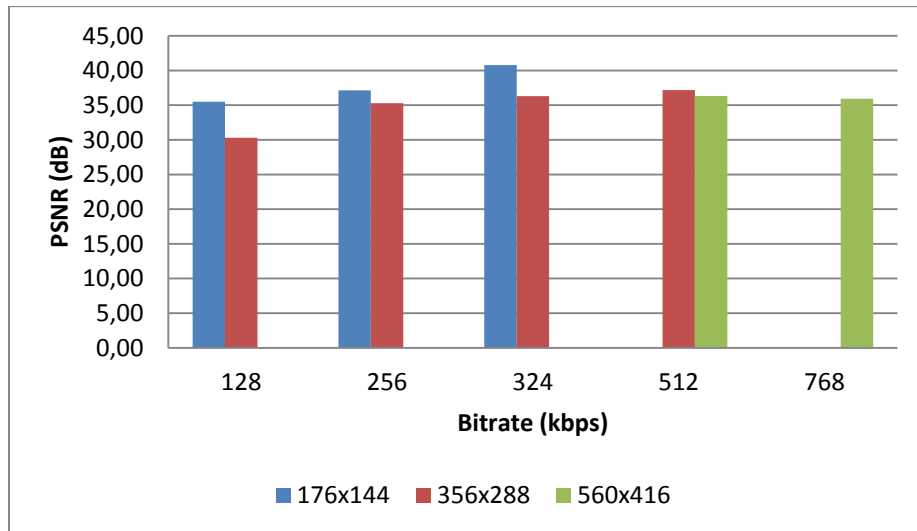
Σχήμα 6.6 : Rate Distortion Curves για το βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 352x288 και με 15 fps

Στο Σχήμα 6.6 παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο PSNR έχει το βίντεο που κωδικοποιήθηκε με 2 B-frames, όπου και εμφανίστηκαν οι μικρότερες απώλειες πακέτων και το μικρότερο PSNR έχει το βίντεο που κωδικοποιήθηκε χωρίς B-frames. Στο βίντεο με τα 4 B-frames η γραφική παράσταση παρουσιάζει ακανόνιστη συμπεριφορά λόγω του μεγάλου αριθμού χαμένων πακέτων. Επειδή το κάθε βίντεο στάλθηκε μόνο τρεις φορές, η απώλεια πακέτων επηρεάζει σημαντικά το PSNR. Όπως παρατηρούμε από τη γραφική παράσταση για κωδικοποίηση άνω των 128 kbps, όλα τα βίντεο πετυχαίνουν αξιολογήσεις PSNR > 35dB.

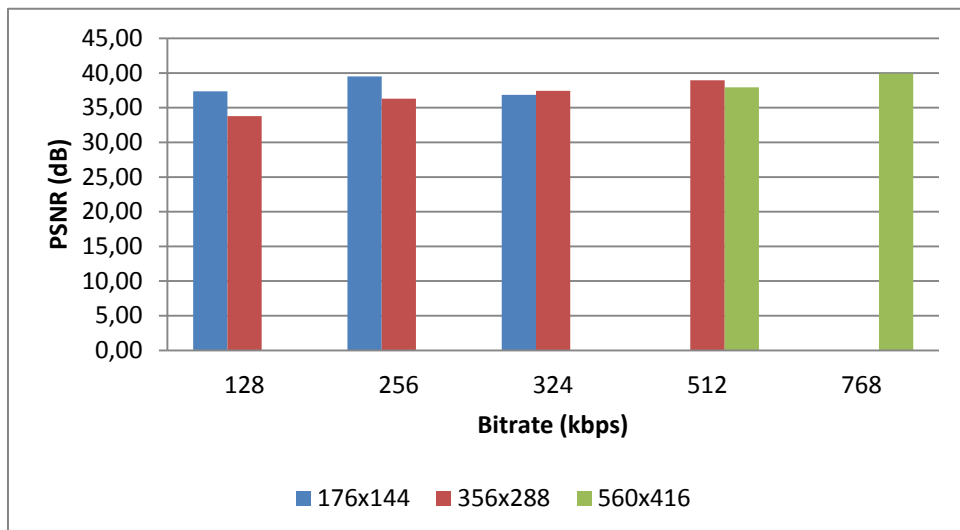


Σχήμα 6.7 : Rate Distortion Curves μεταξύ του αρχικού βίντεο και του βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 560x416

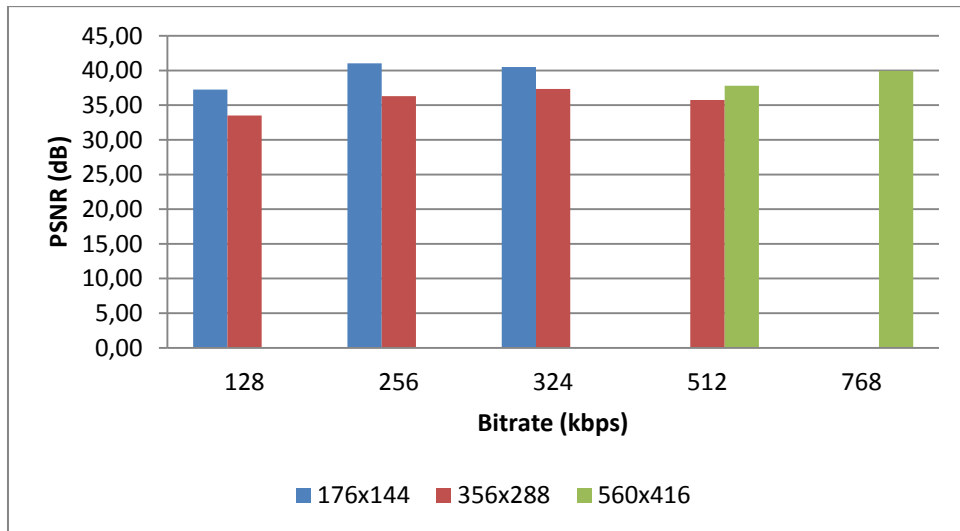
Τα επόμενα σχήματα (Σχήμα 6.8 - Σχήμα 6.11) παρουσιάζουν τις γραφικές παραστάσεις του PSNR για τα διάφορα resolution και bitrate. Οι τιμές του PSNR μεγαλώνουν καθώς μεγαλώνει το bitrate αφού με μεγαλύτερο bitrate διατηρείται περισσότερη πληροφορία κατά την κωδικοποίηση. Όσο μεγαλώνει η ανάλυση της εικόνας και το bitrate παραμένει σταθερό το PSNR χαμηλώνει αφού με μεγαλύτερη ανάλυση χρειάζεται να κωδικοποιηθεί περισσότερη πληροφορία.



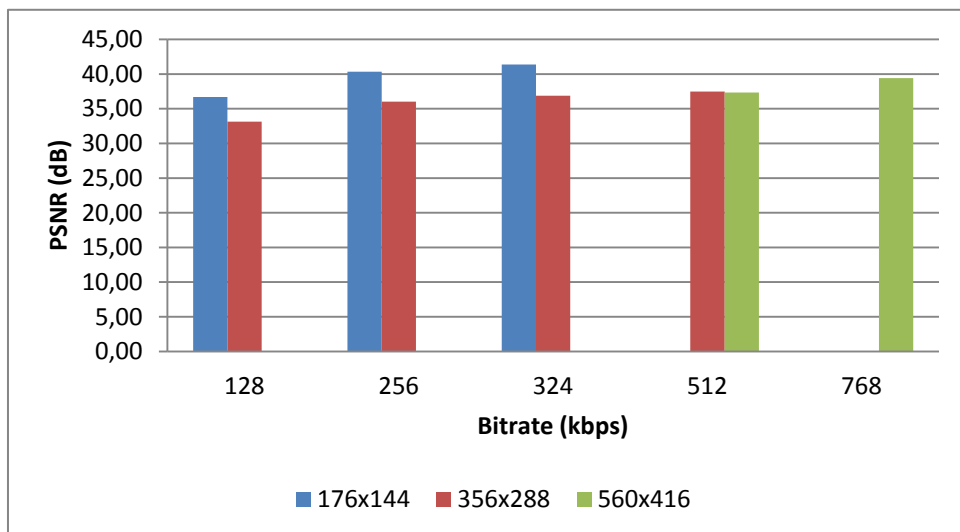
Σχήμα 6.8 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 0 B-frames (Σενάριο 1)



Σχήμα 6.9 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 2 B-frames (Σενάριο 1)



Σχήμα 6.10: Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 4 B-frames (Σενάριο 1)



Σχήμα 6.11: Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 8 B-frames (Σενάριο 1)

Τα αποτελέσματα για τα υπόλοιπα τέσσερα βίντεο είναι τα ίδια με του βίντεο που περιγράφηκε πιο πάνω. Οι πίνακες βρίσκονται στο Appendix A.

Σημειώνεται ότι για την κωδικοποίηση των βίντεο 16LTSIDE και P1046_RICA, εκτός από 0, 2, 4 και 8 B-frames χρησιμοποιήθηκαν και 16 B-frames. Παρατηρούμε ότι η κωδικοποίηση με την χρήση 16 B-frames δεν προσφέρει περισσότερη ποιότητα και έχει λιγότερη ανθεκτικότητα στο λάθος. Βάση των πιο πάνω, για τις συγκεκριμένες παραμέτρους κωδικοποίησης και την συγκεκριμένη εφαρμογή, προτείνουμε την χρήση μέχρι και 8 B-frames. Ίσως με την χρήση μεγαλύτερου frame rate (π.χ. 30fps) και άρα με μεγαλύτερου GOP, η κωδικοποίηση με 16 B-frames να είναι πιο αποδοτική.

6.2.2 Κλινική Αξιολόγηση

Η αναπαραγωγή των βίντεο κατά την κλινική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε στις πραγματικές τους διαστάσεις στην οθόνη φορητού υπολογιστή. Ο γιατρός είχε την δυνατότητα να παρακολουθήσει αρχικά το ασυμπίεστο βίντεο πριν από κάθε συνεδρία αξιολόγησης. Η ανάλυση εικόνας QCIF (176x144) δεν χρησιμοποιήθηκε, αφού όπως παρουσιάζεται στην βιβλιογραφία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του τύπου της πλάκας (Πίνακας 5-1). Επίσης δεν αξιολογήθηκαν κωδικοποιήσεις για bitrate 128 kbps, αφού το κωδικοποιημένο βίντεο πριν από την αποστολή βρισκόταν κάτω από τα αποδεκτά επίπεδα (PSNR <35 dB).

Όπως ήταν αναμενόμενο, υψηλότερες τιμές PSNR αντιστοιχούν σε υψηλότερες αξιολογήσεις από το γιατρό. Όπως φαίνεται από τους πίνακες Πίνακας 6-6 μέχρι Πίνακας 6-9, όλα τα υπερηχογραφικά βίντεο λαμβάνουν τιμές οι οποίες βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια. Πιο συγκεκριμένα η ικανότητα διάγνωσης της παρουσίας αθυρωματικής πλάκας καθώς και ο υπολογισμός του ποσοστού στένωσης πλησιάζει

τα επίπεδα του ασυμπίεστου βίντεο. Για την διάγνωση του τύπου της πλάκας, αν και υπάρχει κάποια αποδεκτή απώλεια κλινικής πληροφορίας, αυτή είναι εντός αποδεκτών πλαισίων. Η σημαντικότερη παρατήρηση είναι ότι η ικανότητα διάγνωσης αυξάνεται τόσο με την ποιότητα του βίντεο, όσο και με την ανάλυση εικόνας. Επίσης ο γιατρός σχολίασε, ιδιαίτερα για το υπερηχογραφικό βίντεο ανάλυσης 560x416 (κωδικοποιημένο στις αρχικές διαστάσεις), ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αξιολόγηση της κίνησης της πλάκας.

Πίνακας 6-6 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 352x288 και bitrate 324kbps (Σενάριο 1)

	Αριθμός B-frames			
	0	2	4	8
Ανίχνευση Πλάκας	5	5	5	5
Στένωση	5	5	5	5
Τύπος Πλάκας	4	4	4	4

Πίνακας 6-7 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 352x288 και bitrate 512kbps (Σενάριο 1)

	Αριθμός B-frames			
	0	2	4	8
Ανίχνευση Πλάκας	5	5	5	5
Στένωση	5	5	5	5
Τύπος Πλάκας	4.2	4.2	4.2	4.2

Πίνακας 6-8 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 560x416 και bitrate 512kbps (Σενάριο 1)

	Αριθμός B-frames			
	0	2	4	8
Ανίχνευση Πλάκας	5	5	5	5
Στένωση	5	5	5	5
Τύπος Πλάκας	4	4	4	4

Πίνακας 6-9 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 560x416 και bitrate 768kbps (Σενάριο 1)

	Αριθμός B-frames			
	0	2	4	8
Ανίχνευση Πλάκας	5	5	5	5
Στένωση	5	5	5	5
Τύπος Πλάκας	4.4	4.4	4.4	4.4

6.3 Σενάριο 2: 3.5G (HSPA)

Στο δεύτερο σενάριο χρησιμοποιήθηκε ασύρματο δίκτυο τρίτης γενεάς (3G/3.5G) για αποστολή των βίντεο και προσομοιώνει την αποστολή ιατρικού βίντεο από οποιοδήποτε σημείο υπάρχει διαθέσιμο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας στις εγκαταστάσεις του νοσοκομείου ή σε εξειδικευμένο διαγνωστικό κέντρο.

6.3.1 Αντικειμενική Αξιολόγηση

Ο Πίνακας 6-10 παρουσιάζει τις μετρήσεις του PSNR για το βίντεο 6RTICA μεταξύ του αρχικού (ασυμπιέστου) βίντεο και του βίντεο μετά την κωδικοποίηση, όπως και μεταξύ του αρχικού βίντεο με το βίντεο που παραλήφθηκε, χρησιμοποιώντας 0 B-frames. Τα PSNR που παρουσιάζονται στον πίνακα είναι ο μέσος όρος των PSNR για τις τρεις φορές που στάλθηκε το βίντεο. Στους πίνακες Πίνακας 6-11 μέχρι Πίνακας 6-13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με την χρήση 2,4 και 8 B-frames αντίστοιχα.

Από τα πειράματα που διεξάχθηκαν προέκυψε το συμπέρασμα ότι λόγω κάποιων καθυστερήσεων στη σύνδεση μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη, και οι οποίες οδηγούν στην στιγμιαία απώλεια συγχρονισμού, οι τιμές του PSNR είναι χαμηλότερες σε αυτό το σενάριο σε σχέση με το πρώτο σενάριο. Επίσης, κάποια από τα αποτελέσματα έχουν μη αναμενόμενες τιμές λόγω της απώλειας πακέτων ή της καθυστέρησης στην παραλαβή τους.

**Πίνακας 6-10 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 2)
χωρίς B-frames (Baseline Profile)**

Resolution	Bitrate	PSNR Encoded	PSNR 3G Received	PLR 3G
176x144	128	36,4449	32,5440	0,338983%
176x144	256	40,2461	35,3251	0,000000%
176x144	324	41,8684	34,4255	0,152439%
352x288	128	32,6804	30,1689	0,000000%
352x288	256	35,2257	32,2770	0,372439%
352x288	324	36,2267	31,9513	0,000000%
352x288	512	38,4247	32,7161	0,196657%
560x416	512	36,2682	33,5816	0,000000%
560x416	768	38,2036	32,2497	0,132363%

**Πίνακας 6-11 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 2) με 2
B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR Encoded	PSNR 3G Received	PLR 3G
176x144	128	37,5046	33,2711	0,000000%
176x144	256	41,4035	33,3897	0,000000%
176x144	324	42,9550	32,9451	0,000000%
352x288	128	33,8912	30,9721	0,000000%
352x288	256	36,5580	33,0847	0,381679%
352x288	324	37,6042	33,6075	0,000000%
352x288	512	39,8506	30,3848	0,101937%
560x416	512	38,1163	33,7765	0,401606%
560x416	768	40,1155	33,2408	0,000000%

Πίνακας 6-12 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 2) με 4

B-frames

Resolution	Bitrate	PSNR Encoded	PSNR 3G Received	PLR 3G
176x144	128	37,4332	33,3371	0,350877%
176x144	256	41,2955	34,5465	0,000000%
176x144	324	42,8419	34,5599	0,000000%
352x288	128	33,8397	31,0326	0,000000%
352x288	256	36,4739	32,8378	0,000000%
352x288	324	37,5123	32,5051	0,153139%
352x288	512	39,7699	32,9217	0,100806%
560x416	512	37,9865	34,3603	0,000000%
560x416	768	39,9766	32,8771	0,067797%

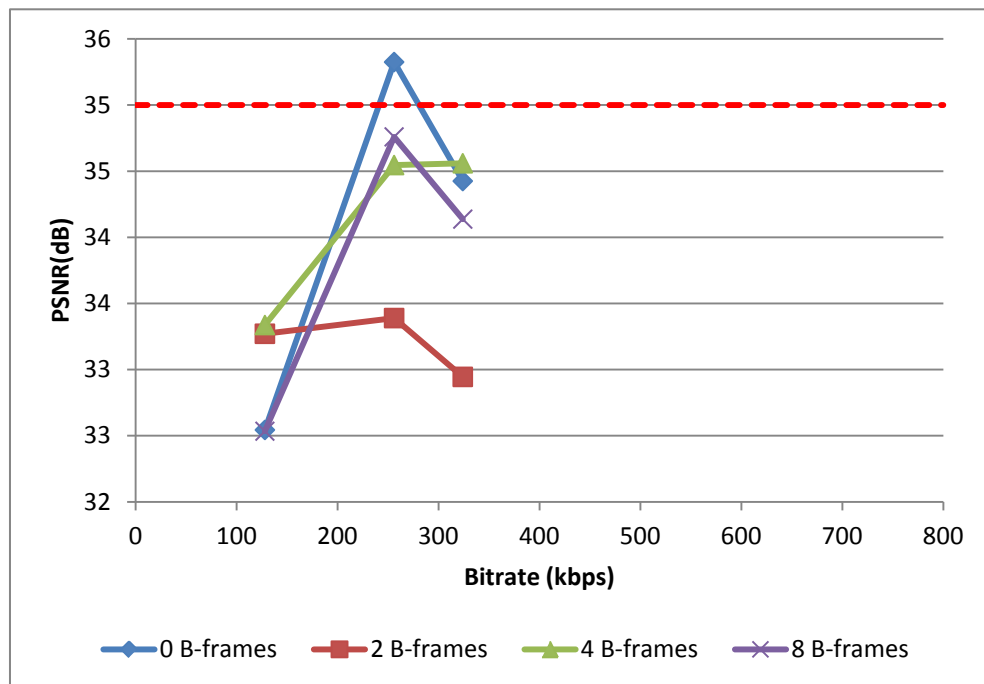
Πίνακας 6-13 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 6RTICA (Σενάριο 2) με 8

B-frames

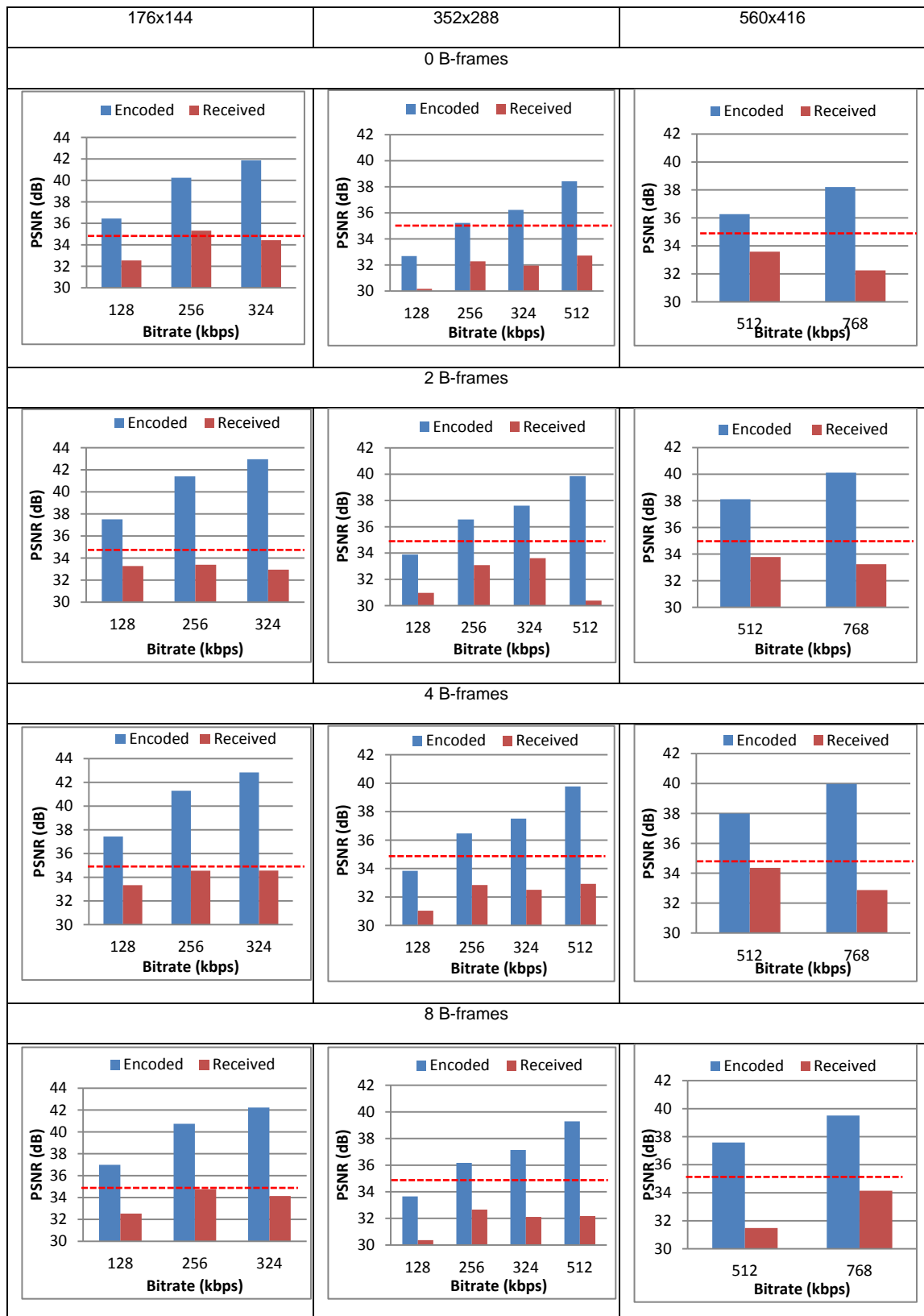
Resolution	Bitrate	PSNR Encoded	PSNR 3G Received	PLR 3G
176x144	128	36,9961	32,5345	0,000000%
176x144	256	40,7413	34,7595	0,191205%
176x144	324	42,2302	34,1376	0,000000%
352x288	128	33,6457	30,3644	0,324675%
352x288	256	36,1683	32,6578	0,000000%
352x288	324	37,1356	32,1140	0,000000%
352x288	512	39,2867	32,1744	0,097847%
560x416	512	37,5820	31,4815	0,000000%
560x416	768	39,5074	34,1421	0,065617%

Στο Σχήμα 6.12 φαίνεται πως επηρεάζουν οι διαφορετικές τιμές των B-frames το PSNR για το βίντεο ανάλυσης 176x144. Παρατηρούμε πως αυξάνοντας το bitrate πολύ δεν έχουμε κατ' ανάγκη πολύ ψηλότερο PSNR αφού υπάρχει πιθανότητα να χαθούν περισσότερα πακέτα λόγω επιβάρυνσης του δικτύου. Επίσης, το PSNR του βίντεο που λήφθηκε έχει σχετικά μεγάλη διαφορά από αυτή του κωδικοποιημένου βίντεο και καθώς αυξάνεται το bitrate η διαφορά αυτή μεγαλώνει (Σχήμα 6.13). Αυτό συμβαίνει γιατί ο όγκος των δεδομένων που αποστέλλονται είναι μεγαλύτερος με

αποτέλεσμα να επηρεάζεται η ποιότητα λόγω των αυξημένων καθυστερήσεων ή/και της απώλειας πακέτων.

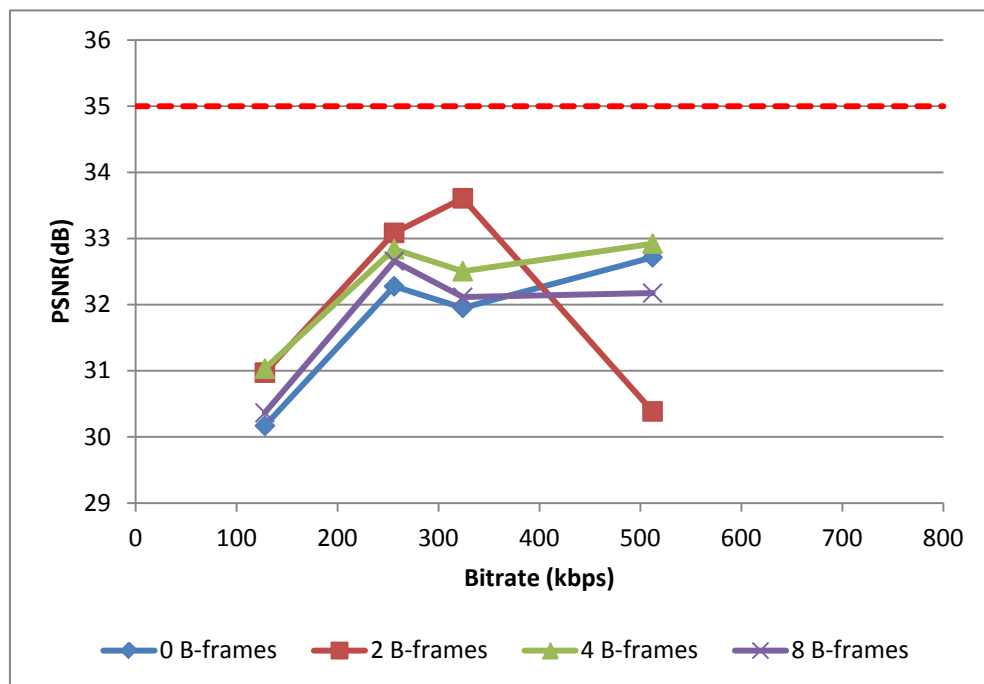


Σχήμα 6.12 : Rate Distortion Curves μεταξύ του αρχικού βίντεο και του βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 176x144 (3G)



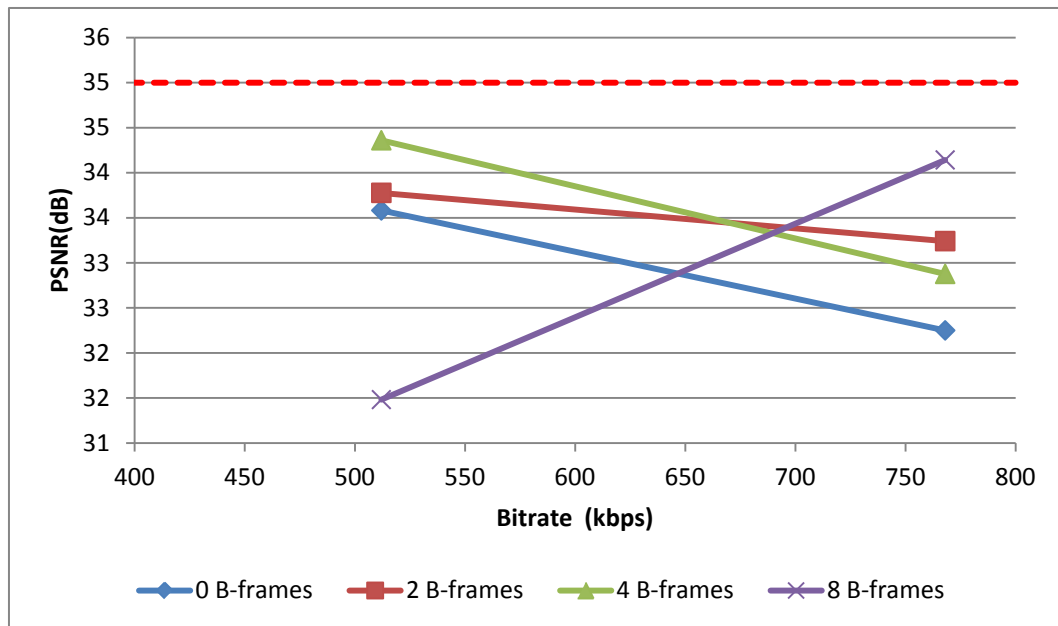
Σχήμα 6.13 : Σύγκριση PSNR των κωδικοποιημένων βίντεο και των βίντεο που παραλήφθηκαν (Σενάριο 2)

Το Σχήμα 6.14 επίσης παρουσιάζει πως επηρεάζεται το PSNR από τις τιμές των B-frames για το βίντεο ανάλυσης 352x288. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως αυξάνοντας το bitrate μέχρι κάποιο βαθμό (256kbps) μπορεί να αυξηθεί το PSNR αλλά με πολύ μεγάλο bitrate (512kbps) το PSNR μειώνεται σε κάποιο βαθμό. Και εδώ οι κύριοι λόγοι είναι η απώλεια ή/και η καθυστέρηση στην παραλαβή κάποιων πακέτων, με αποτέλεσμα το βίντεο να χάνει τον συγχρονισμό του και έτσι το PSNR μειώνεται.



Σχήμα 6.14 : Rate Distortion Curves μεταξύ του αρχικού βίντεο και του βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 352x288 (3G)

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 6.15) παρουσιάζεται το πως επηρεάζεται το PSNR από τις τιμές των B-frames για το βίντεο ανάλυσης 560x416. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως αυξάνοντας το bitrate στα 768kbps το PSNR μειώνεται στις περισσότερες περιπτώσεις. Και εδώ οι κύριοι λόγοι είναι η απώλεια ή/και η καθυστέρηση στην παραλαβή κάποιων πακέτων, με αποτέλεσμα το βίντεο να χάνει τον συγχρονισμό του και έτσι το PSNR μειώνεται.

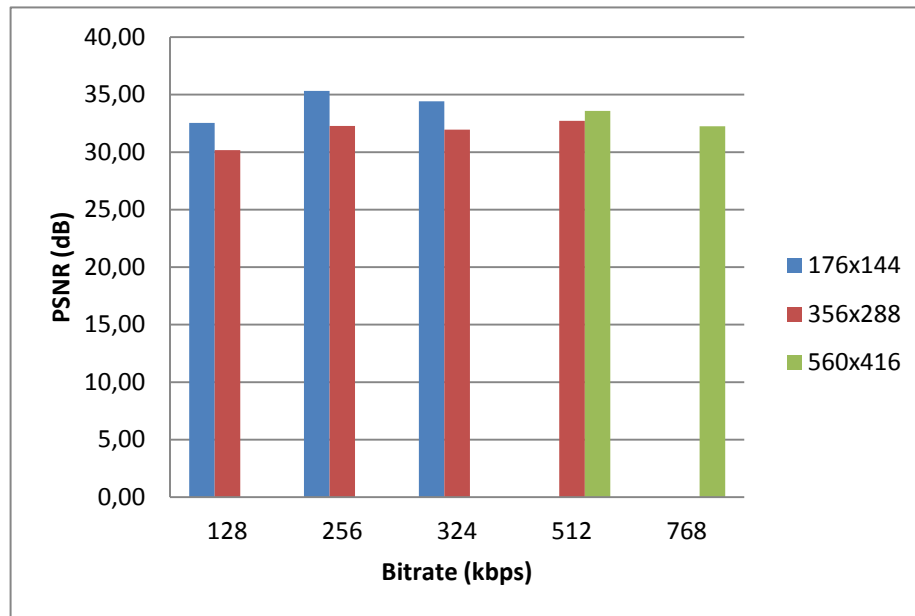


Σχήμα 6.15 : Rate Distortion Curves μεταξύ του αρχικού βίντεο και του βίντεο που λήφθηκε για τα τις διάφορες τιμές των B-frames για το βίντεο 6RTICA ανάλυσης 560x416 (3G)

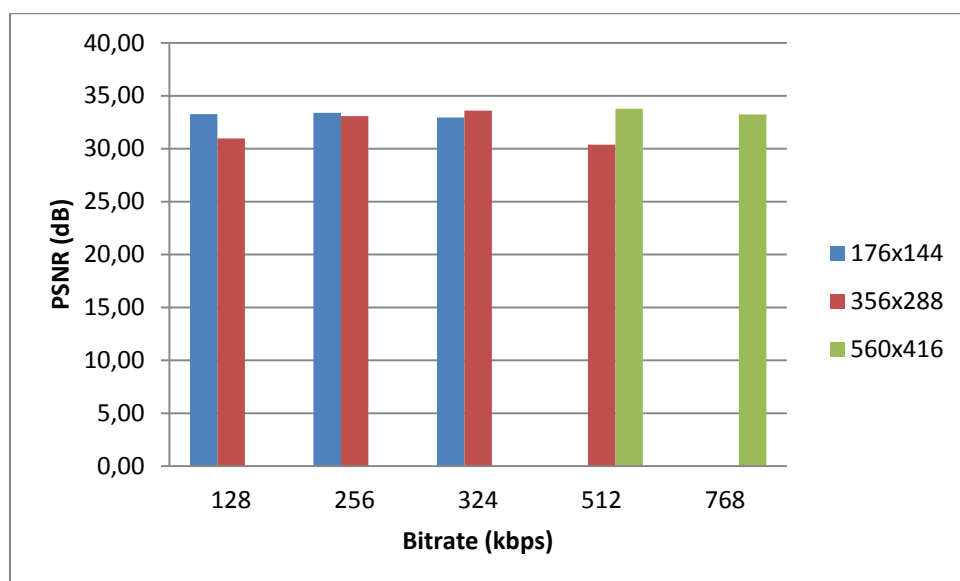
Τα επόμενα σχήματα (Σχήμα 6.16 - Σχήμα 6.19) παρουσιάζουν τις γραφικές παραστάσεις του PSNR για τα διάφορα resolution και bitrate. Σε κάποιες περιπτώσεις οι τιμές του PSNR μεγαλώνουν καθώς μεγαλώνει το bitrate αφού με μεγαλύτερο bitrate διατηρείται περισσότερη πληροφορία κατά την κωδικοποίηση. Όσο μεγαλώνει η ανάλυση της εικόνας και το bitrate παραμένει σταθερό το PSNR χαμηλώνει αφού με μεγαλύτερη ανάλυση χρειάζεται να κωδικοποιηθεί περισσότερη πληροφορία.

Στις πλείστες περιπτώσεις όμως, το PSNR μειώνεται καθώς αυξάνεται το bitrate. Μια ακόμη σημαντική παρατήρηση είναι το γεγονός ότι σε αυτό το σενάριο το PSNR δεν ξεπερνά τα 35dB, δηλαδή βάση της αντικειμενικής αξιολόγησης τα βίντεο δεν θεωρούνται διαγνωστικά επαρκή. Αυτό οφείλεται στο ότι τα βίντεο που

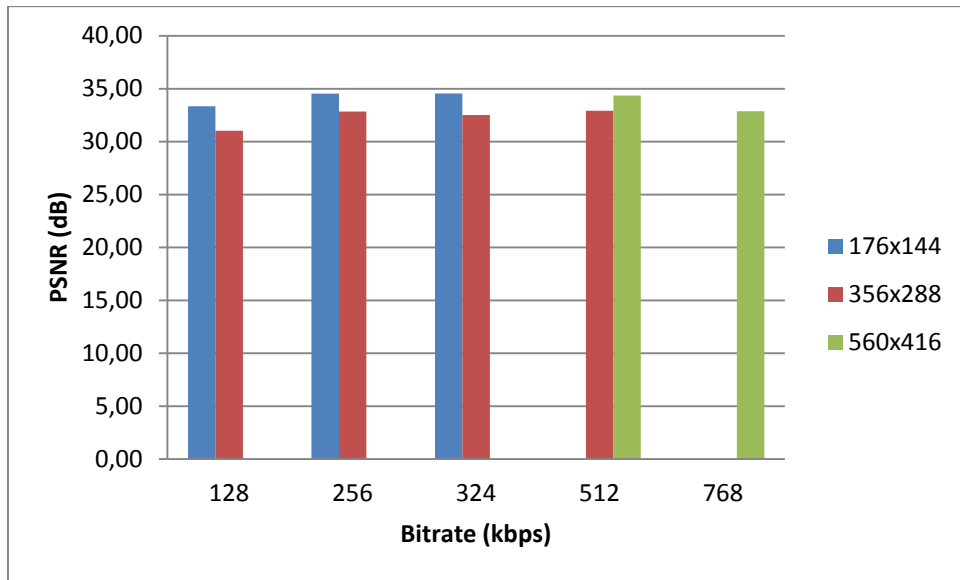
παραλήφθηκαν έχουν κάποιες απώλειες στο συγχρονισμό τους, προφανώς λόγω της καθυστέρησης στην παραλαβή κάποιων πακέτων. Κατ' επέκταση, ο αλγόριθμος υπολογισμού του PSNR δεν συγκρίνει τα πλαίσια που παραλήφθηκαν με τα αντίστοιχα αρχικά, και έτσι οι τιμές του PSNR δεν είναι πλήρως αντιπροσωπευτικές.



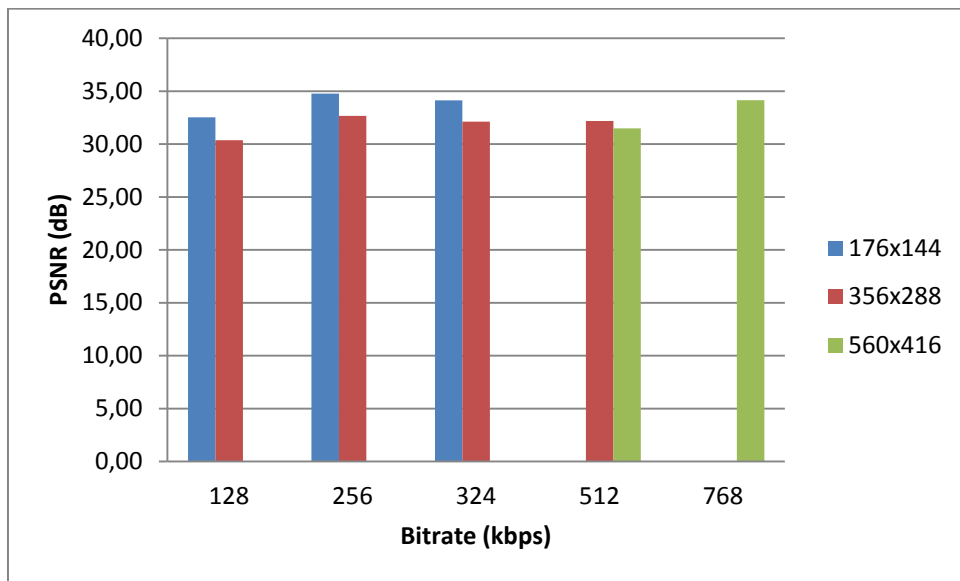
Σχήμα 6.16 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 0 B-frames (Σενάριο 2)



Σχήμα 6.17 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 2 B-frames (Σενάριο 2)



Σχήμα 6.18 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 4 B-frames (Σενάριο 2)



Σχήμα 6.19 : Σύγκριση του PSNR των τριών resolution για 8 B-frames (Σενάριο 2)

6.3.2 Κλινική Αξιολόγηση

Η αναπαραγωγή των βίντεο από υπερηχογράφημα κατά την κλινική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε στις πραγματικές τους διαστάσεις στην οθόνη φορητού υπολογιστή. Ο γιατρός είχε την δυνατότητα να παρακολουθήσει αρχικά το ασυμπιεστο βίντεο πριν από κάθε συνεδρία αξιολόγησης. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε μόνο για ανάλυση εικόνας CIF (352x288).

Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της αντικειμενικής αξιολόγησης που παρουσιάστηκαν πιο πάνω, η κλινική αξιολόγηση έδειξε ότι τα συγκεκριμένα βίντεο μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αξιόπιστη κλινική διάγνωση (Πίνακας 6-14 και Πίνακας 6-15). Το γεγονός όπως μας εξήγησε ο γιατρός έγκειται στο γεγονός ότι παρά την απώλεια συγχρονισμού που παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια της αναπαραγωγής του βίντεο, αυτή δεν εκτείνεται σε όλους τους καρδιακούς κύκλους παρά μόνο σε ορισμένους. Σε συνάρτηση με το γεγονός ότι δεν παρατηρείται υψηλή απώλεια πακέτων που να επηρεάζει την ποιότητα, αυτό επιτρέπει την αξιόπιστη διάγνωση. Παρόμοια με το Σενάριο 1, καλύτερη ποιότητα ενισχύει την διαγνωστική ικανότητα για τον τύπο της πλάκας. Σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο, η αξιολόγηση της κίνησης της πλάκας δεν είναι εφικτή. Η τελευταία παρατήρηση είναι πιο έντονη για περισσότερα B-frames.

Πίνακας 6-14 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 352x288 και bitrate 256kbps (Σενάριο 2)

B-frames				
	0	2	4	8
Ανίχνευση Πλάκας	5	5	5	5
Στένωση	5	5	5	5
Τύπος Πλάκας	4	4	4	4

Πίνακας 6-15 : Αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης για ανάλυση 352x288 και bitrate 324kbps (Σενάριο 2)

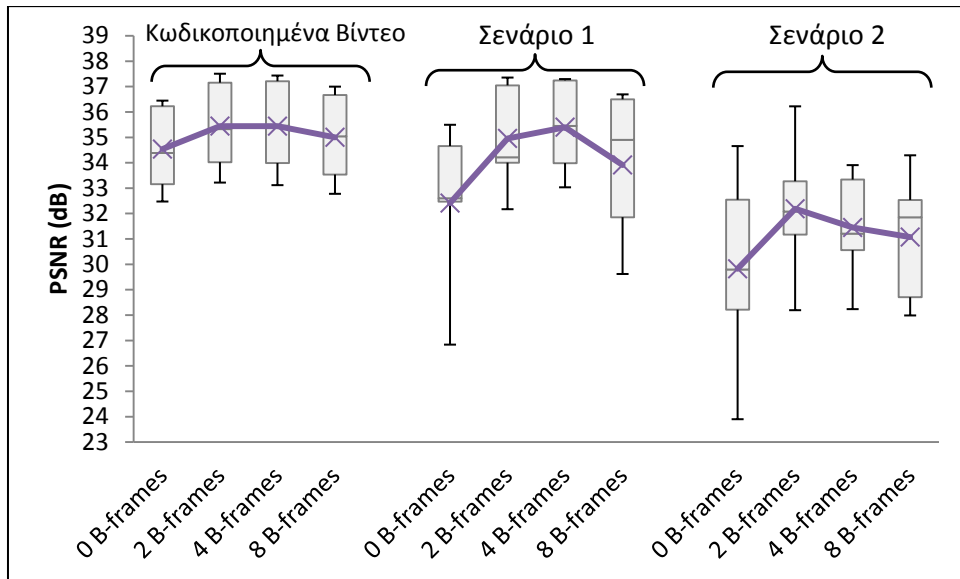
B-frames				
	0	2	4	8
Ανίχνευση Πλάκας	5	5	5	5
Στένωση	5	5	5	5
Τύπος Πλάκας	4.2	4.2	4.2	4.2

6.4 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

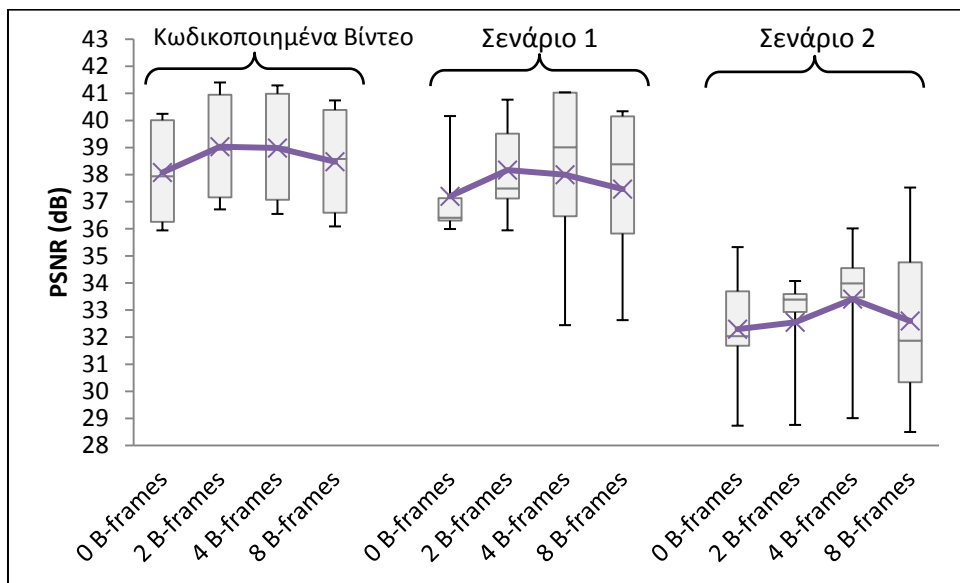
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για το σύνολο των πέντε βίντεο που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη, καθώς και για τις διαφορετικές αναλύσεις εικόνας και bitrate που χρησιμοποιήθηκαν κατά την φάση αξιολόγησης του προτεινόμενου συστήματος.

Τα σχήματα που ακολουθούν και τα οποία παρουσιάζονται υπό μορφή box plots, εμπεριέχουν τόσο τα αποτελέσματα από τα κωδικοποιημένα βίντεο, όσο και τα αποτελέσματα από τα βίντεο που παραλήφθηκαν από το πρώτο σενάριο (WLAN) και δεύτερο σενάριο (3G).

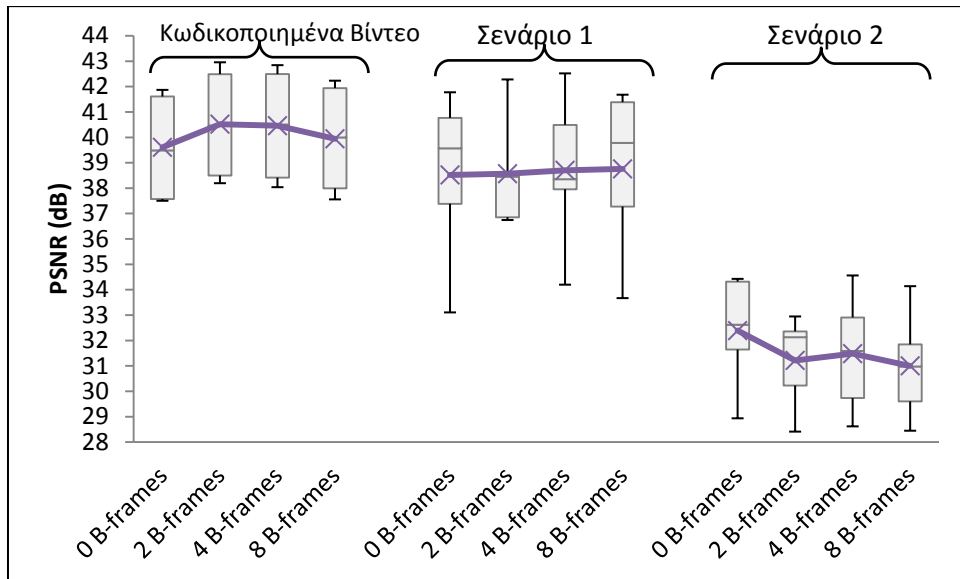
Τα σχήματα Σχήμα 6.20, Σχήμα 6.21 και Σχήμα 6.22 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για βίντεο ανάλυσης 176x144 και bitrate 128kbps, 256kbps και 324kbps αντίστοιχα. Τα σχήματα Σχήμα 6.23 και Σχήμα 6.24 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για βίντεο ανάλυσης 352x288 και bitrate 324kbps και 512kbps, και τέλος τα σχήματα Σχήμα 6.25 και Σχήμα 6.26 τα βίντεο ανάλυσης 560x416 και bitrate 512kbps και 768kbps αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι τα PSNR των βίντεο που παραλήφθηκαν στο δεύτερο σενάριο είναι ελάχιστα πιο χαμηλά από αυτά των κωδικοποιημένων βίντεο που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αποστολή, λόγω της απώλειας ελάχιστων πακέτων και κάποιων μικρών καθυστερήσεων. Αντίθετα, στο δεύτερο σενάριο παρατηρούμε μια σημαντική μείωση του PSNR των βίντεο που παραλήφθηκαν από το PSNR τόσο των κωδικοποιημένων βίντεο αλλά και από αυτών του πρώτου σεναρίου. Ο κύριος λόγος αυτής ραγδαίας μείωσης της ποιότητας των βίντεο σε τιμές PSNR, έγκειται πρωτίστως στο γεγονός των αυξημένων καθυστερήσεων κατά την παραλαβή των πακέτων, και κατά δεύτερο λόγω στις απώλειες πακέτων που παρατηρήθηκαν. Οι αυξημένες καθυστερήσεις στην άφιξη των πακέτων οδηγούν στην στιγμιαία απώλεια συγχρονισμού του βίντεο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο αλγόριθμος υπολογισμού ποιότητας PSNR, ο οποίος βασίζεται στον υπολογισμού του λάθους μεταξύ δυο εικόνων (και υπολογισμού του μέσου όρου στην περίπτωση των βίντεο), να συγκρίνει εικόνες από διαφορετικές χρονικές στιγμές, με συνέπεια την μη σωστή αποτύπωση της πραγματικής ποιότητας των υπό εξέταση βίντεο. Το συμπέρασμα αυτό ενθαρρύνεται και από την κλινική αξιολόγηση των εν λόγω βίντεο που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 6.3.



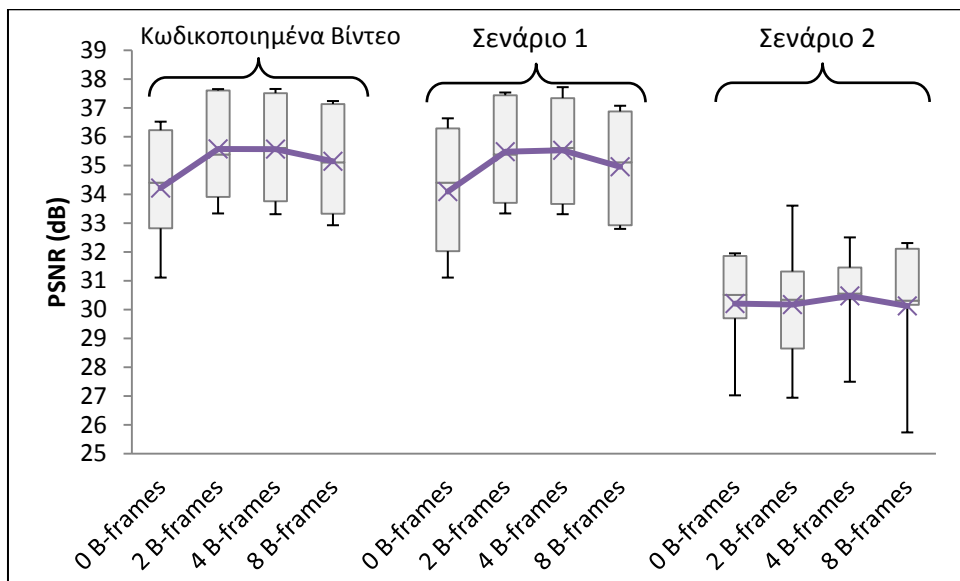
Σχήμα 6.20 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 176x144 και bitrate 128kbps



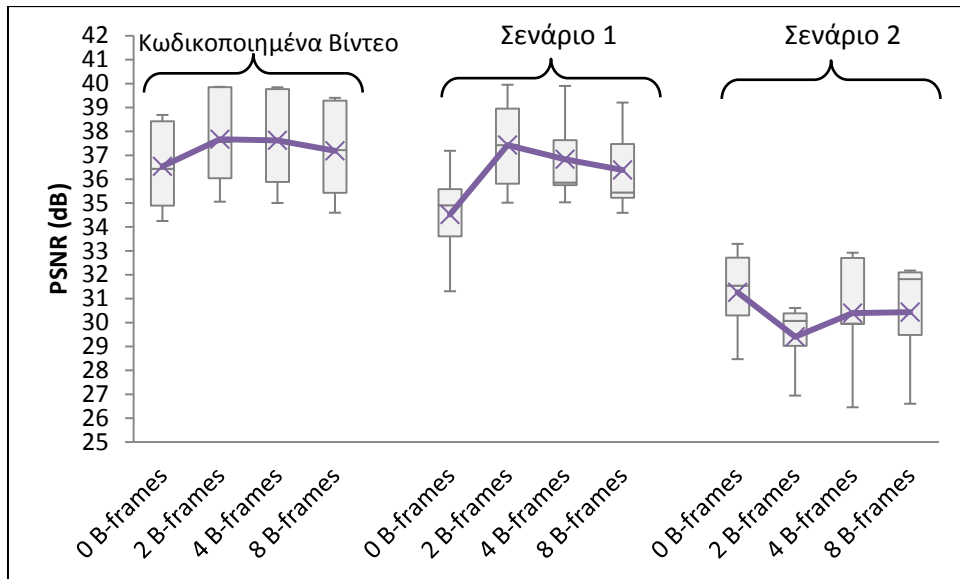
Σχήμα 6.21 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 176x144 και bitrate 256kbps



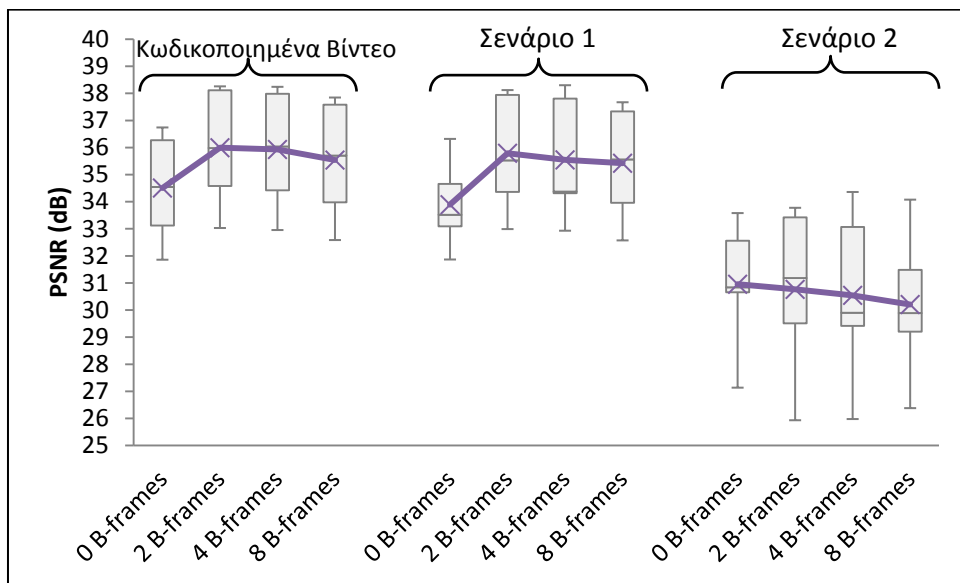
Σχήμα 6.22 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 176x144 και bitrate 324kbps



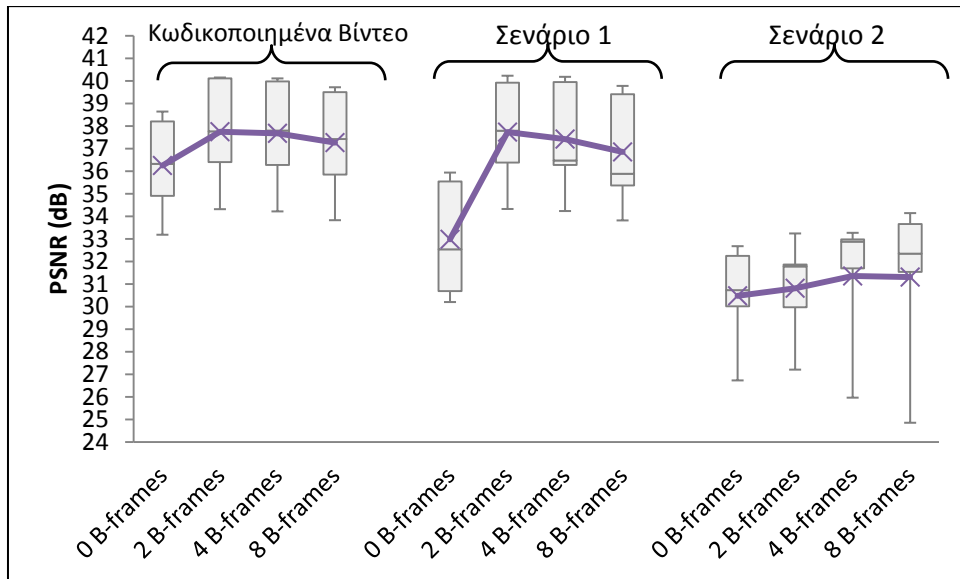
Σχήμα 6.23 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 352x288 και bitrate 324kbps



Σχήμα 6.24 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 352x288 και bitrate 512kbps



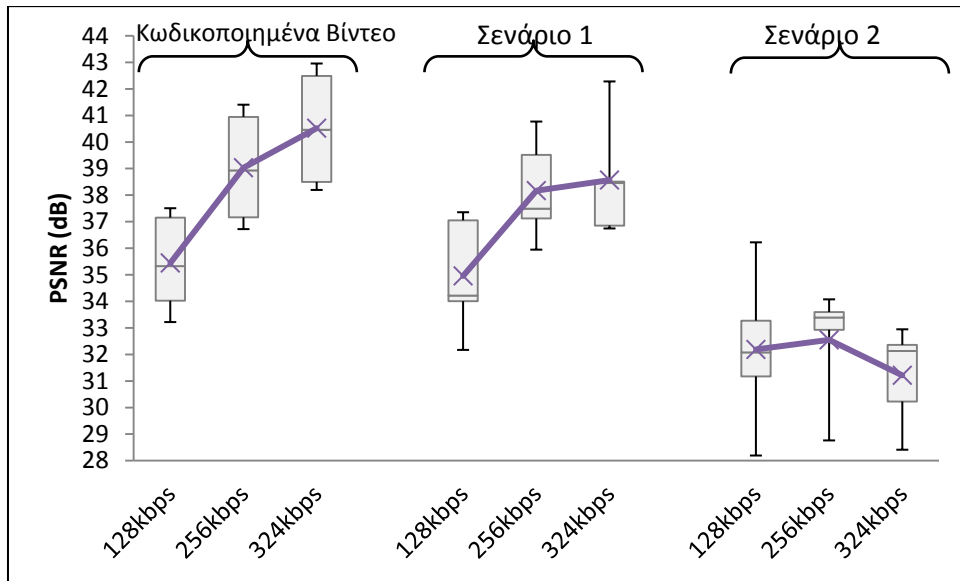
Σχήμα 6.25 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 560x416 και bitrate 512kbps



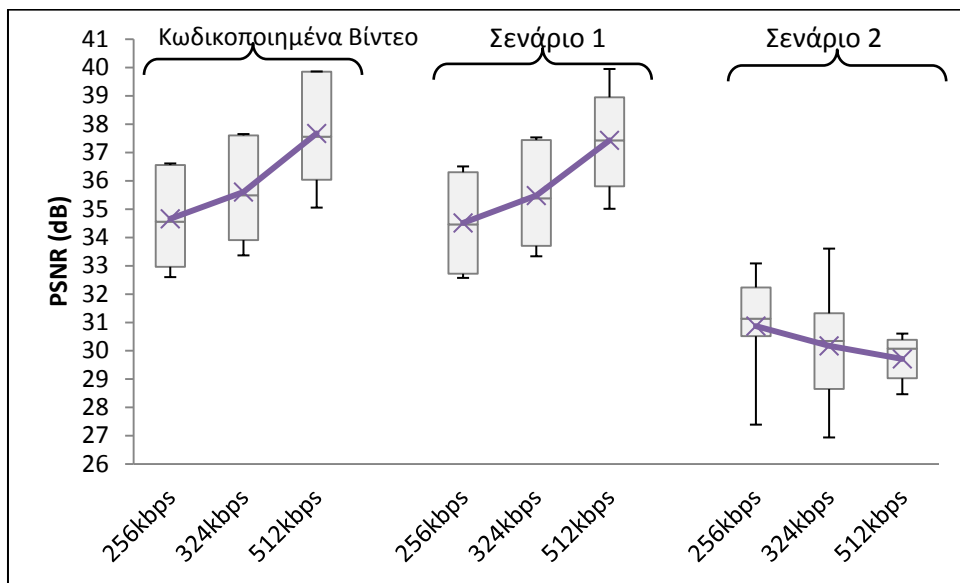
Σχήμα 6.26 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 560x416 και bitrate 768kbps

Τα σχήματα Σχήμα 6.27, Σχήμα 6.28 και Σχήμα 6.29 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για τα βίντεο ανάλυσης 176x144, 352x288 και 560x416 αντίστοιχα. Στα σχήματα αυτά παρουσιάζονται μόνο τα βίντεο που κωδικοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας 2 B-frames, γιατί όπως φάνηκε από τα προηγούμενα σχήματα, η κωδικοποίηση με 2 B-frames ήταν η πιο αποδοτική στη συγκεκριμένη μελέτη, καθώς παρουσίαζε το ψηλότερο PSNR τόσο στα κωδικοποιημένα βίντεο, όσο και στα βίντεο που παραλήφθηκαν.

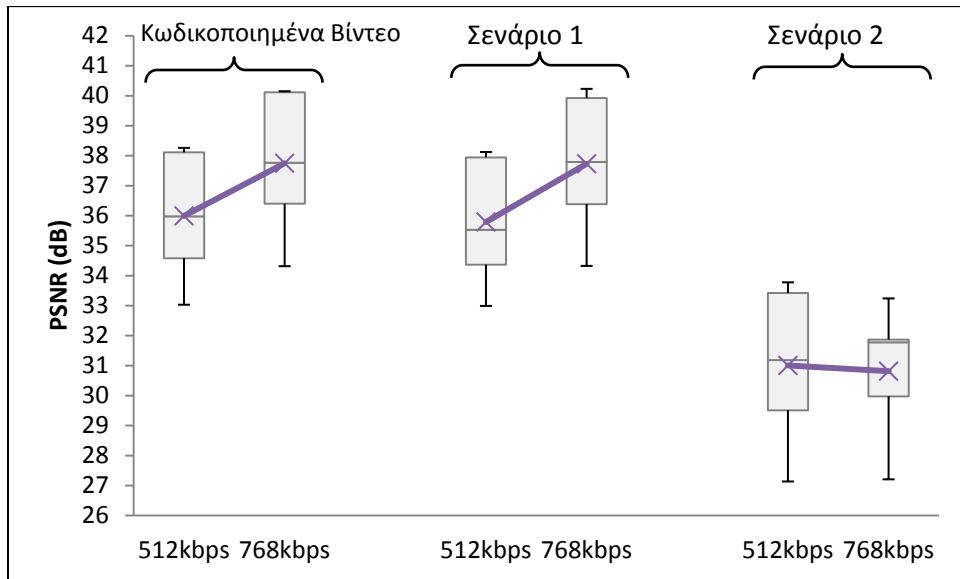
Παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται το bitrate, το PSNR αυξάνεται εκτός στα βίντεο του δεύτερου σεναρίου, όπου παρατηρούμε μείωση του. Η μείωση αυτή οφείλεται στο ότι στο δεύτερο σενάριο έχουμε μεγάλες καθυστερήσεις και έτσι όσο αυξάνεται το bitrate και κατ' επέκταση τα δεδομένα που αποστέλλονται, οι καθυστερήσεις αυτές αυξάνονται με αποτέλεσμα το βίντεο που θα λάβει ο παραλήπτης να χάνει περισσότερο τον συγχρονισμό του. Έτσι κατά τον υπολογισμό του PSNR, οι τιμές δεν ήταν αντιπροσωπευτικές, όπως έχει ήδη έχει παρουσιαστεί πιο πάνω



Σχήμα 6.27 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 176x144 και 2-Bframes



Σχήμα 6.28 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 352x288 και 2-Bframes



Σχήμα 6.29 : Box Plots για όλα τα βίντεο ανάλυσης 560x416 και 2-Bframes

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα / Μελλοντική Εργασία

7.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος τηλεϊατρικής χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ανοικτού κώδικα και την αξιολόγηση της εφαρμογής σε ασύρματα δίκτυα 3.5G. Απώτερος στόχος ήταν η διερεύνηση του πως επηρεάζουν οι παράμετροι κωδικοποίησης την απόδοση του συστήματος για ερευνητικούς σκοπούς.

Η χρήση τεχνολογιών ανοικτού κώδικα για τηλεϊατρικούς σκοπούς έχει το πλεονέκτημα ότι το λογισμικό ανοικτού κώδικα είναι δωρεάν και δεν θα αποτελέσει οικονομική επιβάρυνση. Επίσης, μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες οποιασδήποτε εφαρμογής αφού ο πηγαίος κώδικας είναι ελεύθερα διαθέσιμος και τροποποιήσιμος και μπορεί εύκολα να διαδοθεί.

Το σύστημα που αναπτύχθηκε έχει ως σκοπό την μετάδοση ιατρικού βίντεο σε πραγματικό χρόνο. Σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η παρουσία εξειδικευμένου ιατρικού προσωπικού, η χρήση του συστήματος είναι μια λύση για να αποφευχθούν οι άσκοπες μετακινήσεις γιατρών και ασθενών.

Συγκεκριμένα, στα πειράματα που διεξάχθηκαν χρησιμοποιήθηκαν βίντεο υπερήχου της καρωτιδικής αρτηρίας. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις αναλύσεις εικόνας που σύμφωνα

με την βιβλιογραφία είναι κατάλληλες για το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Αυτές είναι οι εξής: 176x144 (QCIF), 352x288 (CIF) και 560x416. Η τελευταία είναι η ανάλυση των βίντεο όπως καταγράφηκαν από την υπερηχογραφικό μηχάνημα.

Τα βίντεο κωδικοποιήθηκαν με την βιβλιοθήκη x264 η οποία θεωρείται η καλύτερη βιβλιοθήκη για κωδικοποίηση βάση του προτύπου H.264/AVC και η πλέον αποδοτική από πλευράς χρόνου κωδικοποίησης. Ελέγξαμε τις πιο διαδεδομένες μεθόδους κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, δηλαδή την κωδικοποίηση χωρίς B-frames, καθώς και κωδικοποιήσεις με 2, 4 και 8 B-frames.

Έγιναν δυο είδη αξιολογήσεων, η αντικειμενική αξιολόγηση και η κλινική αξιολόγηση. Για το πρώτο είδος αξιολόγησης αρχικά τα παραληφθέντα βίντεο αποκωδικοποιήθηκαν και στη συνέχεια υπολογίστηκε το PSNR τους, το οποίο θεωρείται η πιο διαδεδομένη μετρική για την αξιολόγηση της ποιότητας βίντεο και εικόνων. Επειδή όμως οι τιμές του PSNR μπορεί να μην είναι πάντα αντιπροσωπευτικές, χρησιμοποιήθηκε και η άποψη ενός ειδικού (κλινική αξιολόγηση), ο οποίος αξιολόγησε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των διαφόρων μεθόδων κωδικοποίησης (αριθμός B-frames), αναλύσεων εικόνας (video resolution), και ποιότητας (bitrate). Η αξιολόγηση έγινε με κλίμακα από το 1 μέχρι το 5 (όπου το 5 αντιστοιχεί σε κλινική ποιότητα αντίστοιχη του αρχικού ασυμπιεστού βίντεο).

Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων μελετήθηκαν δύο σενάρια. Το πρώτο σενάριο αφορά την χρήση ασύρματου τοπικού δικτύου για την αποστολή των βίντεο, όπου αποστολέας και παραλήπτης είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο. Στο δεύτερο σενάριο, ο αποστολέας ήταν συνδεδεμένος σε 3.5G δίκτυο και ο παραλήπτης ήταν συνδεδεμένος σε κάποιο ασύρματο τοπικό δίκτυο.

Τα αποτελέσματα του πρώτου σεναρίου ήταν πολύ ικανοποιητικά, πράγμα που ήταν αναμενόμενο λόγω του υψηλού διαθέσιμου εύρους ζώνης και των χαμηλών καθυστερήσεων στην αποστολή και παραλαβή των πακέτων. Επίσης, στο σενάριο αυτό τα ποσοστά χαμένων πακέτων ήταν πολύ χαμηλά αφού τα πακέτα προορίζονταν για το ίδιο δίκτυο.

Τα αποτελέσματα της αντικειμενικής αξιολόγησης είναι μέσα στα ικανοποιητικά πλαίσια που ορίζει η βιβλιογραφία ώστε το βίντεο να είναι ικανοποιητικής διαγνωστικής ποιότητας (PSNR >35 dB). Μέσα στα επιτρεπτά πλαίσια ήταν επίσης και τα ποσοστά των χαμένων πακέτων και οι καθυστερήσεις.

Το δεύτερο σενάριο όπως φαίνεται από την αντικειμενική αξιολόγηση είναι πιο απαιτητικό από το πρώτο, αφού αρκετά από τα αποτελέσματα είναι κάτω από τα ικανοποιητικά πλαίσια, δηλαδή το PSNR ήταν κάτω από 35 dB. Αυτό οφείλεται στην απώλεια συγχρονισμού λόγω των καθυστερήσεων στην παραλαβή κάποιων πακέτων, ειδικότερα στα βίντεο με bitrate μεγαλύτερο από 256kbps. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο αλγόριθμος υπολογισμού του PSNR να μην συγκρίνει τα πλαίσια του βίντεο που παραλήφθηκε με τα αντίστοιχα πλαίσια του αρχικού βίντεο, οδηγώντας σε χαμηλές τιμές PSNR, χωρίς αυτές οι τιμές να αποτυπώνουν την πραγματική κλινική ποιότητα του βίντεο.

Αντίθετα, η κλινική αξιολόγηση έδειξε πως τα βίντεο μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αξιόπιστη κλινική διάγνωση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι παρά την απώλεια συγχρονισμού που παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια της αναπαραγωγής του βίντεο, αυτή δεν εκτείνεται σε όλους τους καρδιακούς κύκλους παρά μόνο σε ορισμένους. Επίσης, αφού δεν παρατηρείται υψηλή απώλεια πακέτων που να επηρεάζει την ποιότητα, ο γιατρός είναι σε θέση να κρίνει τις τρεις παραμέτρους που αποτελούν την διάγνωση.

Για να είναι πιο αντιπροσωπευτικά τα αποτελέσματα της αντικειμενικής αξιολόγησης και για να συνάδουν με την κλινική αξιολόγηση, δοκιμάστηκε ο αλγόριθμος Variable Frame Delay ο οποίος αντιστοιχεί τα πλαίσια του βίντεο που παραλήφθηκε με τα πλαίσια του αρχικού και επίσης βρίσκει ποια είναι τα χαμένα πλαίσια, υπολογίζοντας το Mean Square Error (MSE) των πλαισίων και αντιστοιχώντας με αυτά που έχουν το μικρότερο λάθος.

Δυστυχώς ο αλγόριθμος υποστηρίζει μόνο 4:2:2 YUV pixel format αλλά τα YUV βίντεο που χρησιμοποιήσαμε ήταν 4:2:0 YUV pixel format. Εντούτοις, δοκιμάσαμε τον αλγόριθμο και τα προκαταρκτικά αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά αφού οι τιμές του PSNR με τον νέο αλγόριθμο ήταν μεγαλύτερες από αυτές που υπολογίσαμε με τον αρχικό τρόπο.

7.2 Μελλοντική Εργασία

Μελλοντικά προτείνεται η αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος με μεγαλύτερο σύνολο δεδομένων έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο αντιπροσωπευτικά και να μην επηρεάζεται η αξιολόγηση από ακραίες τιμές.

Προκαταρκτικές πειραματικές μετρήσεις έχουν ήδη εκκινήσει και για ασύρματα δίκτυα HSDPA, όπου το διαθέσιμο εύρος ζώνης περιορίζεται στα 384 kbps, με απώτερο σκοπό να αξιολογηθούν όλοι οι τύποι ασυρμάτων δικτύων κινητής τηλεφωνίας που υπάρχουν στην Κύπρο.

Επιπλέον, ο αλγόριθμος Variable Frame Delay που αναφέρθηκε πιο πάνω είναι ένας καλός τρόπος αξιολόγησης του συστήματος έτσι ώστε η αντικειμενική αξιολόγηση να συνάδει με την κλινική αξιολόγηση. Έτσι προτείνεται η προσαρμογή του αλγορίθμου με τα βίντεο του συνόλου δεδομένων, δηλαδή βίντεο με pixel format 4:2:0 YUV.

Βιβλιογραφία

- [1] A. Panayides, *Diagnostically Resilient Encoding, Wireless Transmission, and Quality Assessment of Medical Video*, 2011.
- [2] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjøntegaard and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, p. 560–576, 2003.
- [3] RysavyResearch, «Mobile Broadband Explosion: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced,» 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.4gamericas.org>.
- [4] GSM World, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.gsmworld.com>.
- [5] 3GPP TS 25.308 V5.4.0 (2002-10) High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) Stage 2 - Release 5.
- [6] 3GPP, «Overview of 3GPP Release 6,» V0.1.1, 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases.
- [7] M. Jaloun και Z. Guennoun, «Wireless Mobile Evolution to 4G Network,» *Wireless Sensor Network*, pp. 309-317, 2010.
- [8] 3GPP, «Overview of 3GPP Release 8,» V0.2.2, 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases.
- [9] 3GPP, «Overview of 3GPP Release 9,» V0.2.1, 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases.
- [10] ITU-R, «Requirements Related to Technical Performance for IMT-Advanced Radio Interface(s),» 2008.
- [11] 3GPP, «Overview of 3GPP Release 10,» V0.1.0, 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases.
- [12] J. Postel, User Datagram Protocol, RFC 768, 1980.

- [13] J. Postel, Transmission Control Protocol, RFC 793, 1981.
- [14] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick και V. Jacobson, RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, Internet Engineering Task Force, RFC 1889, Jan. 1996.
- [15] C. Huitema, Real Time Control Protocol (RTCP) attribute in Session Description Protocol (SDP), RFC 3605, October 2003.
- [16] VideoLan, [Ηλεκτρονικό]. Available:
<http://www.videolan.org/developers/x264.html>.
- [17] FFmpeg. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://ffmpeg.org/>.
- [18] VideoLan, [Online]. Available: <http://www.videolan.org/vlc/>.
- [19] Wireshark Network Protocol Analyzer, [Ηλεκτρονικό]. Available:
<http://www.wireshark.org/>.
- [20] A. Panayides, M. S. Pattichis, C. S. Pattichis, C. P. Loizou, M. Pantziaris και A. Pitsillides, «Towards Diagnostically Robust Medical Ultrasound Video Streaming using H.264,in Biomedical Engineering,» in *Biomedical Engineering, Ed. by Carlos Alexandre Barros De Mello,IN-TECH*, pp. 219-237, 2009.
- [21] A. Panayides, M. S. Pattichis και C. S. Pattichis, «Wireless Medical Ultrasound Video Transmission Through Noisy Channels,» in *Proc. of 30th Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE EMBC'08*, 2008.
- [22] A. Panayides, M. S. Pattichis, C. S. Pattichis, C. P. Loizou, M. Pantziaris και A. Pitsillides, «Atherosclerotic Plaque Ultrasound Video Encoding, Wireless Transmission, and Quality Assessment Using H.264,» *IEEE Transactions in Information Technology in Biomedicine*, τόμ. 15, pp. 387-397, 2011.

APPENDIX A

Πίνακες Αποτελεσμάτων

**Πίνακας A-1 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 1)
χωρίς B-frames (Baseline Profile)**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	32,4714	32,4712	0,000000%
176x144	256	35,9422	35,9923	0,000000%
176x144	324	37,5009	37,3825	0,070472%
352x288	128	29,6172	29,1791	0,000000%
352x288	256	31,9196	30,8308	0,000000%
352x288	324	32,8206	32,0290	0,555555%
352x288	512	34,8936	34,9096	0,000000%
560x416	512	33,1183	33,0899	0,000000%
560x416	768	34,9104	32,5407	0,000000%

**Πίνακας A-2 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 1) με 2
B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	33,2175	32,1689	0,000000%
176x144	256	36,7179	35,9443	0,000000%
176x144	324	38,1931	36,7428	0,000000%
352x288	128	30,607	30,3157	0,000000%
352x288	256	32,9664	32,7186	0,088889%
352x288	324	33,9087	33,7064	0,000000%
352x288	512	36,0376	35,8089	0,000000%
560x416	512	34,5816	34,3646	0,000000%
560x416	768	36,4033	36,3863	0,000000%

Πίνακας A-3 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 1) με 4

B-frames

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	33,1162	33,0310	0,000000%
176x144	256	36,55	36,4654	0,000000%
176x144	324	38,0363	37,9567	0,000000%
352x288	128	30,5255	29,7046	0,000000%
352x288	256	32,8165	31,8706	0,000000%
352x288	324	33,7598	33,6650	0,070922%
352x288	512	35,8872	35,8552	0,000000%
560x416	512	34,4223	34,3734	0,000000%
560x416	768	36,2801	36,2768	0,000000%

Πίνακας A-4 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 1) με 8

B-frames

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	32,7748	31,8546	0,000000%
176x144	256	36,0887	35,8261	0,000000%
176x144	324	37,5555	37,2731	0,000000%
352x288	128	30,2792	30,0598	0,000000%
352x288	256	32,4194	32,1901	0,000000%
352x288	324	33,326	32,8007	2,317655%
352x288	512	35,4323	35,4400	0,000000%
560x416	512	33,9789	33,9622	0,000000%
560x416	768	35,8542	35,8876	0,000000%

Πίνακας A-5 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 1)

χωρίς B-frames

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	36,2252	34,6549	0,000000%
176x144	256	40,0084	40,1636	0,000000%
176x144	324	41,6081	41,7737	0,000000%
352x288	128	32,7678	29,6496	0,000000%
352x288	256	35,4924	35,5940	0,000000%
352x288	324	36,5218	36,6379	0,000000%
352x288	512	38,6859	35,5846	0,000000%
560x416	512	36,7431	34,6590	0,000000%
560x416	768	38,6414	35,5487	0,000000%

Πίνακας A-6 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 1) με 2**B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	37,1518	37,0484	0,000000%
176x144	256	40,9468	40,7688	0,000000%
176x144	324	42,49	42,2797	0,000000%
352x288	128	33,9044	33,9263	0,000000%
352x288	256	36,6145	36,5095	0,000000%
352x288	324	37,6521	37,5338	0,000000%
352x288	512	39,862	39,9502	0,000000%
560x416	512	38,2605	38,1226	0,000000%
560x416	768	40,1496	40,2293	0,000000%

Πίνακας A-7 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 1) με 4**B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	37,2116	37,2940	0,000000%
176x144	256	40,9841	41,0252	0,000000%
176x144	324	42,4907	42,5179	0,000000%
352x288	128	33,9247	33,9883	0,000000%
352x288	256	36,6304	36,7031	0,000000%
352x288	324	37,6568	37,7198	0,000000%
352x288	512	39,8437	39,9005	0,000000%
560x416	512	38,243	38,3023	0,000000%
560x416	768	40,1103	40,1802	0,000000%

Πίνακας A-8 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 1) με 8**B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	36,6655	36,4985	0,000000%
176x144	256	40,3871	40,1534	0,000000%
176x144	324	41,939	41,6785	0,000000%
352x288	128	33,6249	33,5080	0,000000%
352x288	256	36,2324	36,0838	0,000000%
352x288	324	37,2378	37,0743	0,000000%
352x288	512	39,4016	39,2051	0,000000%
560x416	512	37,848	37,6736	0,000000%
560x416	768	39,7181	39,7785	0,000000%

Πίνακας A-9 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 1) με**16 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	36,3272	36,4398	0,000000%
176x144	256	39,8952	40,0032	0,000000%
176x144	324	41,3335	41,4404	0,000000%
352x288	128	33,5006	33,5956	0,000000%
352x288	256	35,9673	36,0941	0,000000%
352x288	324	36,9128	37,0163	0,000000%
352x288	512	38,9666	39,1000	0,000000%
560x416	512	37,4559	37,5724	0,000000%
560x416	768	39,2517	39,3523	0,000000%

Πίνακας A-10 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 1)**χωρίς B-frames (Baseline Profile)**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	34,3875	32,6029	0,000000%
176x144	256	37,9401	36,4093	0,000000%
176x144	324	39,4866	39,5675	0,000000%
352x288	128	31,043	31,0479	0,000000%
352x288	256	33,4547	33,4838	0,000000%
352x288	324	34,3774	34,4076	0,000000%
352x288	512	36,4367	33,6086	0,035689%
560x416	512	34,545	33,5146	3,790294%
560x416	768	36,3244	30,2014	5,975522%

**Πίνακας A-11 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 1) με
2 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	35,3236	34,2147	0,000000%
176x144	256	38,928	37,4929	0,000000%
176x144	324	40,4619	38,5109	0,000000%
352x288	128	32,1159	32,0603	0,000000%
352x288	256	34,5597	34,4639	0,000000%
352x288	324	35,4906	35,3833	0,000000%
352x288	512	37,5578	37,4284	0,000000%
560x416	512	35,9795	35,5283	0,000000%
560x416	768	37,7669	37,7936	0,000000%

**Πίνακας A-12 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 1) με
4 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	35,4548	35,4488	0,000000%
176x144	256	39,0071	39,0091	0,000000%
176x144	324	40,5088	38,3495	0,000000%
352x288	128	32,2455	32,2817	0,000000%
352x288	256	34,6828	34,6886	0,000000%
352x288	324	35,6018	35,6100	0,000000%
352x288	512	37,6303	37,6354	0,000000%
560x416	512	36,0408	34,3164	4,973545%
560x416	768	37,8032	36,4788	0,000000%

**Πίνακας A-13 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 1) με
8 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	35,0409	34,9012	0,000000%
176x144	256	38,5767	38,3817	0,000000%
176x144	324	39,999	39,7852	0,000000%
352x288	128	32,0779	31,9867	0,000000%
352x288	256	34,3622	34,2487	0,000000%
352x288	324	35,2379	35,1126	0,000000%
352x288	512	37,2156	35,2245	4,573805%
560x416	512	35,7008	35,5626	0,000000%
560x416	768	37,4278	35,3676	2,954755%

**Πίνακας A-14 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 1)
χωρίς B-frames (Baseline Profile)**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	33,1565	26,8355	0,000000%
176x144	256	36,26	36,3032	0,000000%
176x144	324	37,5697	33,1043	0,000000%
352x288	128	29,7768	29,7788	0,000000%
352x288	256	31,7521	30,3637	0,000000%
352x288	324	32,5222	31,1104	0,000000%
352x288	512	34,2487	31,3085	0,000000%
640x480	512	31,8593	31,8675	0,000000%
640x480	768	33,1838	30,6892	0,000000%

**Πίνακας A-15 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 1)
με 2 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	34,0223	34,0039	0,000000%
176x144	256	37,1619	37,1228	0,000000%
176x144	324	38,499	38,4520	0,000000%
352x288	128	30,5981	30,5746	0,000000%
352x288	256	32,6014	32,5740	0,000000%
352x288	324	33,3687	33,3365	0,000000%
352x288	512	35,0556	35,0137	0,000000%
640x480	512	33,0304	32,9904	0,000000%
640x480	768	34,3161	34,3249	0,000000%

**Πίνακας A-16 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 1)
με 4 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	33,9875	33,9843	0,000000%
176x144	256	37,0714	32,4439	0,000000%
176x144	324	38,4129	34,1968	0,000000%
352x288	128	30,5974	30,5884	0,000000%
352x288	256	32,5584	32,5423	0,000000%
352x288	324	33,3284	33,3102	0,000000%
352x288	512	35,0014	35,0297	0,000000%
640x480	512	32,9555	32,9305	0,000000%
640x480	768	34,2177	34,2338	0,000000%

**Πίνακας A-17 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 1)
με 8 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	33,5348	29,6174	0,031066%
176x144	256	36,5965	32,6285	0,000000%
176x144	324	37,993	33,6669	0,000000%
352x288	128	30,3048	30,2842	0,000000%
352x288	256	32,2017	32,1855	0,000000%
352x288	324	32,9394	32,9271	0,000000%
352x288	512	34,5948	34,5903	0,000000%
640x480	512	32,5857	32,5728	0,000000%
640x480	768	33,8278	33,8180	0,000000%

**Πίνακας A-18 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 1)
με 16 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR (Original VS. Received)	PLR Wireless
176x144	128	33,4717	33,4907	0,000000%
176x144	256	36,3435	36,3649	0,000000%
176x144	324	37,6223	37,6442	0,000000%
352x288	128	30,3678	30,3761	0,000000%
352x288	256	32,0896	32,1040	0,000000%
352x288	324	32,789	32,8004	0,000000%
352x288	512	34,3743	34,3902	0,000000%
640x480	512	32,3436	32,3473	0,000000%
640x480	768	33,5384	33,5419	0,000000%

**Πίνακας A-19 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 2)
χωρίς B-frames (Baseline Profile)**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	32,4714	23,8980	0,000000%
176x144	256	35,9422	32,0356	0,000000%
176x144	324	37,5009	31,6416	0,000000%
352x288	128	29,6172	27,7896	0,000000%
352x288	256	31,9196	29,4609	0,259740%
352x288	324	32,8206	29,7001	0,208333%
352x288	512	34,8936	30,3005	0,270636%
560x416	512	33,1183	30,8372	0,134953%
560x416	768	34,9104	30,7285	0,090580%

**Πίνακας A-20 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 2) με
2 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	33,2175	32,0785	0,000000%
176x144	256	36,7179	32,9285	0,000000%
176x144	324	38,1931	30,2269	0,000000%
352x288	128	30,607	29,0246	0,000000%
352x288	256	32,9664	30,5153	0,000000%
352x288	324	33,9087	28,6498	0,000000%
352x288	512	36,0376	29,0295	0,000000%
560x416	512	34,5816	31,1843	0,137552%
560x416	768	36,4033	31,7787	0,000000%

**Πίνακας A-21 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 2) με
4 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	33,1162	30,5592	0,000000%
176x144	256	36,55	33,9848	0,000000%
176x144	324	38,0363	29,7317	0,218341%
352x288	128	30,5255	28,8923	0,000000%
352x288	256	32,8165	31,6548	0,000000%
352x288	324	33,7598	30,3595	0,000000%
352x288	512	35,8872	29,9564	0,000000%
560x416	512	34,4223	29,4160	0,000000%
560x416	768	36,2801	32,9766	0,000000%

**Πίνακας A-22 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 11LTCCA (Σενάριο 2) με
8 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	32,7748	31,8530	0,000000%
176x144	256	36,0887	31,8702	0,000000%
176x144	324	37,5555	31,8438	0,211864%
352x288	128	30,2792	28,2392	0,000000%
352x288	256	32,4194	30,2760	0,000000%
352x288	324	33,326	30,3115	0,204499%
352x288	512	35,4323	29,4835	0,130548%
560x416	512	33,9789	29,2000	0,000000%
560x416	768	35,8542	32,3470	0,084388%

**Πίνακας A-23 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 2)
χωρίς B-frames (Baseline Profile)**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	36,2252	34,6549	0,000000%
176x144	256	40,0084	31,6834	0,000000%
176x144	324	41,6081	34,3198	0,000000%
352x288	128	32,7678	28,9964	0,000000%
352x288	256	35,4924	32,5619	0,000000%
352x288	324	36,5218	31,8626	0,160514%
352x288	512	38,6859	33,2914	0,103842%
560x416	512	36,7431	32,5576	0,103842%
560x416	768	38,6414	32,6767	0,140056%

**Πίνακας A-24 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 2) με
2 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	37,1518	36,2202	1,132075%
176x144	256	40,9468	33,5939	0,000000%
176x144	324	42,49	32,1321	0,000000%
352x288	128	33,9044	29,4632	0,000000%
352x288	256	36,6145	32,2374	0,204499%
352x288	324	37,6521	31,3230	0,000000%
352x288	512	39,862	30,6071	0,105932%
560x416	512	38,2605	29,5100	0,000000%
560x416	768	40,1496	31,8694	0,071023%

**Πίνακας A-25 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 2) με
4 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	37,2116	33,9049	1,123596%
176x144	256	40,9841	36,0157	0,000000%
176x144	324	42,4907	32,9075	0,000000%
352x288	128	33,9247	30,8886	0,000000%
352x288	256	36,6304	31,7290	0,000000%
352x288	324	37,6568	31,4592	0,161551%
352x288	512	39,8437	29,9526	0,104384%
560x416	512	38,243	33,0681	0,103734%
560x416	768	40,1103	33,2687	0,000000%

**Πίνακας A-26 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 2) με
8 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	36,6655	34,2917	0,000000%
176x144	256	40,3871	37,5246	0,000000%
176x144	324	41,939	30,9788	0,000000%
352x288	128	33,6249	31,1566	0,000000%
352x288	256	36,2324	30,6267	0,191571%
352x288	324	37,2378	32,3090	0,154321%
352x288	512	39,4016	32,1009	0,000000%
560x416	512	37,848	34,0776	0,000000%
560x416	768	39,7181	33,6623	0,067385%

**Πίνακας A-27 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 16LTSIDE (Σενάριο 2) με
16 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	36,3272	35,5495	0,000000%
176x144	256	39,8952	33,5328	0,000000%
176x144	324	41,3335	29,6395	0,000000%
352x288	128	33,5006	30,7853	0,000000%
352x288	256	35,9673	31,8545	0,000000%
352x288	324	36,9128	31,8406	0,152439%
352x288	512	38,9666	36,7924	0,000000%
560x416	512	37,4559	31,2098	0,099010%
560x416	768	39,2517	34,9951	0,066225%

**Πίνακας A-28 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 2)
χωρίς B-frames (Baseline Profile)**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	34,3875	29,7993	0,000000%
176x144	256	37,9401	33,6902	0,000000%
176x144	324	39,4866	32,6219	0,000000%
352x288	128	31,043	27,8452	0,000000%
352x288	256	33,4547	30,4760	0,000000%
352x288	324	34,3774	30,5095	0,000000%
352x288	512	36,4367	31,5441	0,107066%
560x416	512	34,545	30,6558	0,212540%
560x416	768	36,3244	30,0140	0,071994%

**Πίνακας A-29 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 2) με
2 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	35,3236	31,1709	0,384615%
176x144	256	38,928	34,0731	0,000000%
176x144	324	40,4619	32,3583	0,000000%
352x288	128	32,1159	28,6117	0,000000%
352x288	256	34,5597	31,1334	0,000000%
352x288	324	35,4906	30,3467	0,000000%
352x288	512	37,5578	30,0745	0,128700%
560x416	512	35,9795	33,4232	0,107411%
560x416	768	37,7669	29,9756	0,072674%

**Πίνακας A-30 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο 25LTCCA (Σενάριο 2) με
4 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	35,4548	31,2088	0,000000%
176x144	256	39,0071	33,4656	0,000000%
176x144	324	40,5088	31,5888	0,000000%
352x288	128	32,2455	29,5812	0,370370%
352x288	256	34,6828	31,4631	15,927419%
352x288	324	35,6018	30,5572	0,000000%
352x288	512	37,6303	32,7054	0,000000%
560x416	512	36,0408	29,8977	0,105820%
560x416	768	37,8032	31,6969	0,071633%

**Πίνακας A-31 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2)
με 8 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	35,0409	28,7032	0,357143%
176x144	256	38,5767	30,3336	0,000000%
176x144	324	39,999	29,6005	0,162866%
352x288	128	32,0779	29,4977	0,000000%
352x288	256	34,3622	29,9606	0,000000%
352x288	324	35,2379	30,1675	0,000000%
352x288	512	37,2156	31,8193	0,103950%
560x416	512	35,7008	29,8896	0,000000%
560x416	768	37,4278	31,5425	0,000000%

**Πίνακας A-32 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2)
χωρίς B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	33,1565	28,2143	0,338409%
176x144	256	36,26	28,7314	0,093110%
176x144	324	37,5697	28,9335	0,075358%
352x288	128	29,7768	26,2841	0,168067%
352x288	256	31,7521	26,9319	0,092507%
352x288	324	32,5222	27,0236	0,000000%
352x288	512	34,2487	26,6581	0,048804%
640x480	512	31,8593	26,4903	0,097087%
640x480	768	33,1838	26,7296	0,000000%

**Πίνακας A-33 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2)
με 2 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	34,0223	28,1916	0,000000%
176x144	256	37,1619	28,7599	0,000000%
176x144	324	38,499	28,4097	0,076687%
352x288	128	30,5981	27,0195	0,000000%
352x288	256	32,6014	27,3927	0,093633%
352x288	324	33,3687	26,9403	0,075643%
352x288	512	35,0556	28,4669	0,049603%
640x480	512	33,0304	27,1355	0,049285%
640x480	768	34,3161	27,2068	0,000000%

**Πίνακας A-34 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2)
με 4 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	33,9875	28,2333	0,000000%
176x144	256	37,0714	29,0095	0,094607%
176x144	324	38,4129	28,6162	0,000000%
352x288	128	30,5974	26,9846	0,167224%
352x288	256	32,5584	27,5603	0,000000%
352x288	324	33,3284	27,4951	0,150830%
352x288	512	35,0014	26,9432	0,049407%
640x480	512	32,9555	25,9324	0,049044%
640x480	768	34,2177	25,9650	0,066667%

**Πίνακας A-35 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2)
με 8 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	33,5348	27,9847	0,000000%
176x144	256	36,5965	28,4992	0,093197%
176x144	324	37,993	28,4450	0,000000%
352x288	128	30,3048	27,0250	0,000000%
352x288	256	32,2017	26,8603	0,091491%
352x288	324	32,9394	25,7363	0,148368%
352x288	512	34,5948	26,4537	0,096993%
640x480	512	32,5857	25,9767	0,000000%
640x480	768	33,8278	24,8531	0,586701%

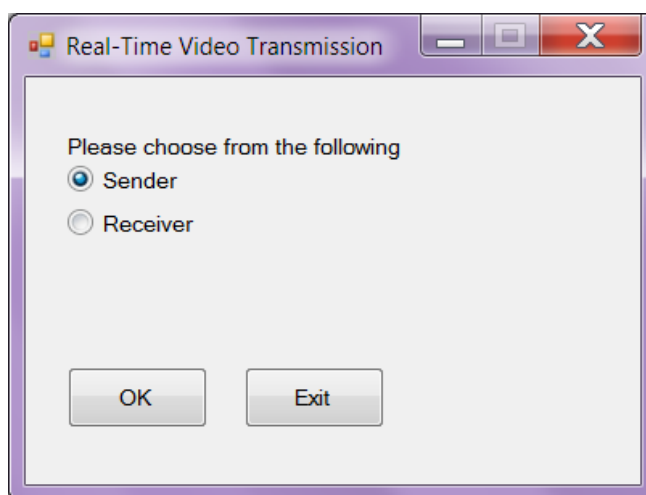
**Πίνακας A-36 : Αποτελέσματα μέσου όρου PSNR για το βίντεο P1046_RICA (Σενάριο 2)
με 16 B-frames**

Resolution	Bitrate	PSNR (Original VS. Encoded)	PSNR 3G (Original VS. Received)	PLR 3G
176x144	128	33,4717	27,7033	0,000000%
176x144	256	36,3435	28,8132	0,000000%
176x144	324	37,6223	28,2317	0,000000%
352x288	128	30,3678	25,8527	0,327869%
352x288	256	32,0896	26,2360	0,000000%
352x288	324	32,789	26,3477	0,073746%
352x288	512	34,3743	26,6014	0,096200%
640x480	512	32,3436	26,3797	0,047506%
640x480	768	33,5384	26,1223	3,260870%

APPENDIX B

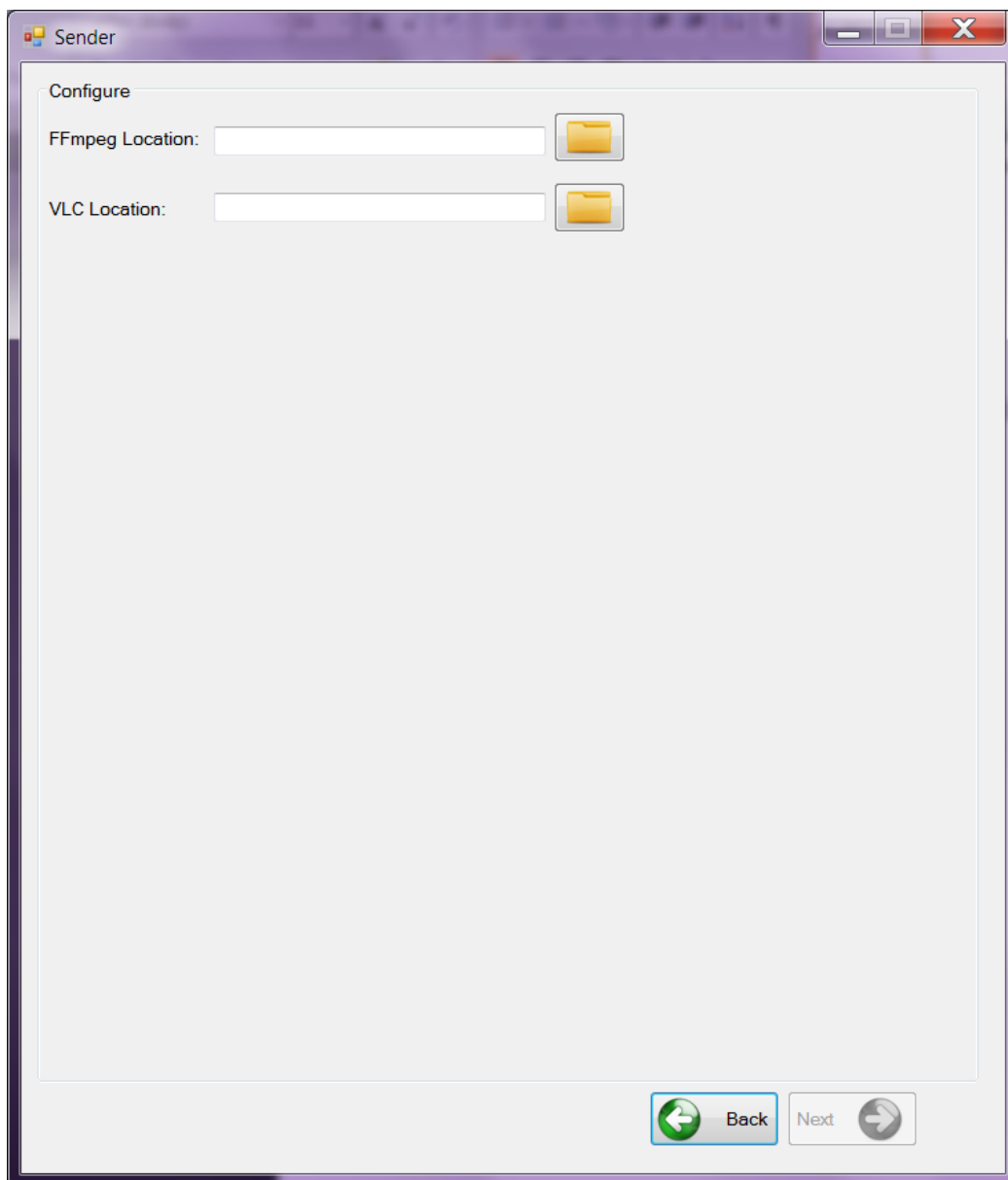
Εγχειρίδιο Χρήσης

Το αρχικό παράθυρο (Σχήμα B.1) που εμφανίζεται μετά την εκκίνηση του προγράμματος καλεί τον χρήστη να επιλέξει ανάμεσα στον αποστολέα (Sender) ή τον παραλήπτη (Receiver), ανάλογα με το πώς θέλει να το χρησιμοποιήσει. Εάν το πρόγραμμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την κωδικοποίηση ή/και την μετάδοση βίντεο ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την πρώτη επιλογή (Sender), ενώ για την παραλαβή βίντεο πρέπει να επιλέξει την δεύτερη επιλογή (Receiver).



Σχήμα B.1 : Αρχικό Παράθυρο

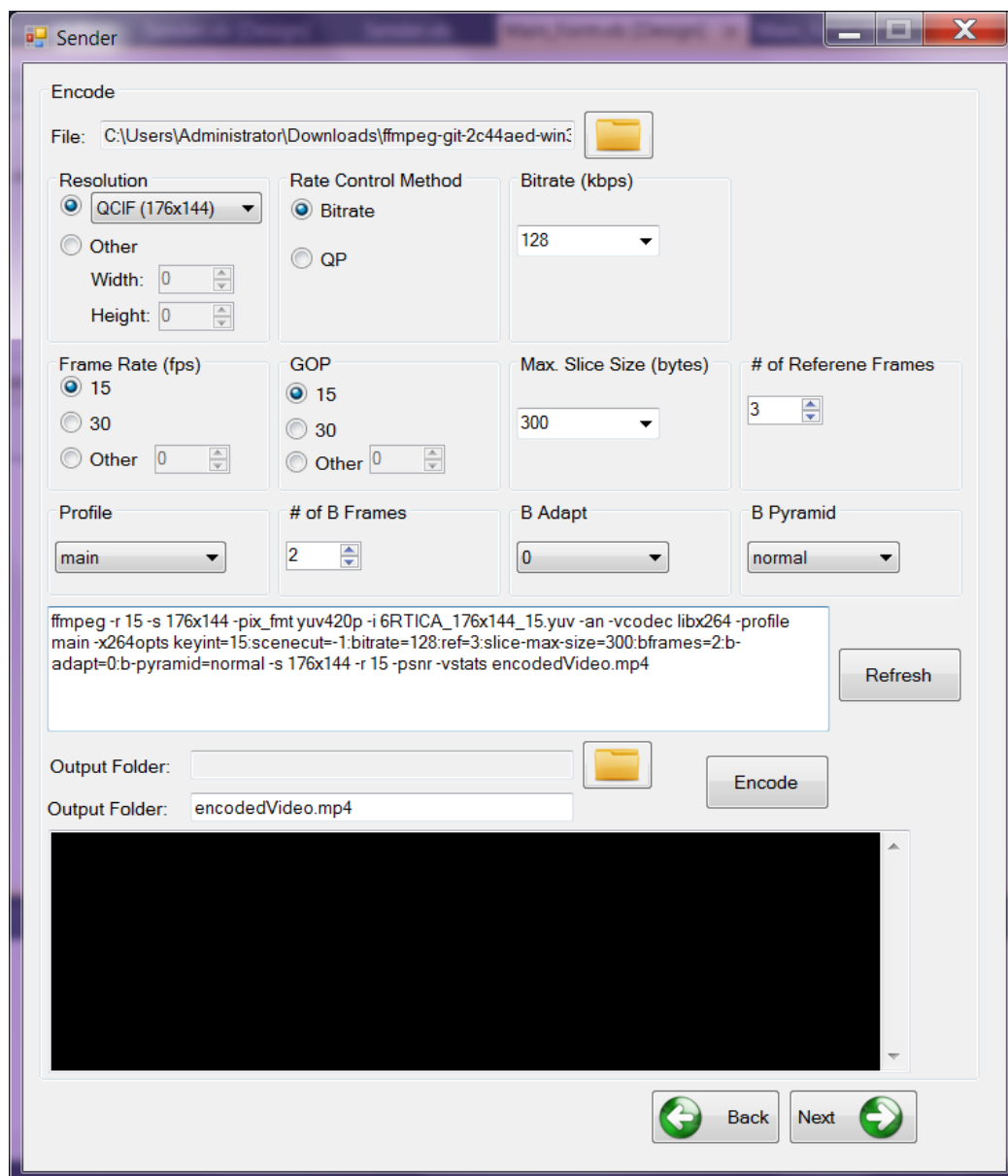
Εάν ο χρήστης επιλέξει την πρώτη επιλογή, εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται στο Σχήμα B.2. Ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τον φάκελο που βρίσκεται ο κωδικοποιητής FFmpeg ή/και το φάκελο που είναι εγκατεστημένο το VLC. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει μόνο το φάκελο του FFmpeg εάν θέλει μόνο να κωδικοποιήσει ένα βίντεο ή μόνο το φάκελο του VLC εάν θέλει μόνο να αποστείλει ένα ήδη κωδικοποιημένο βίντεο.



Σχήμα Β.2 : Επιλογή ρυθμίσεων κωδικοποιητή και αποστολέα

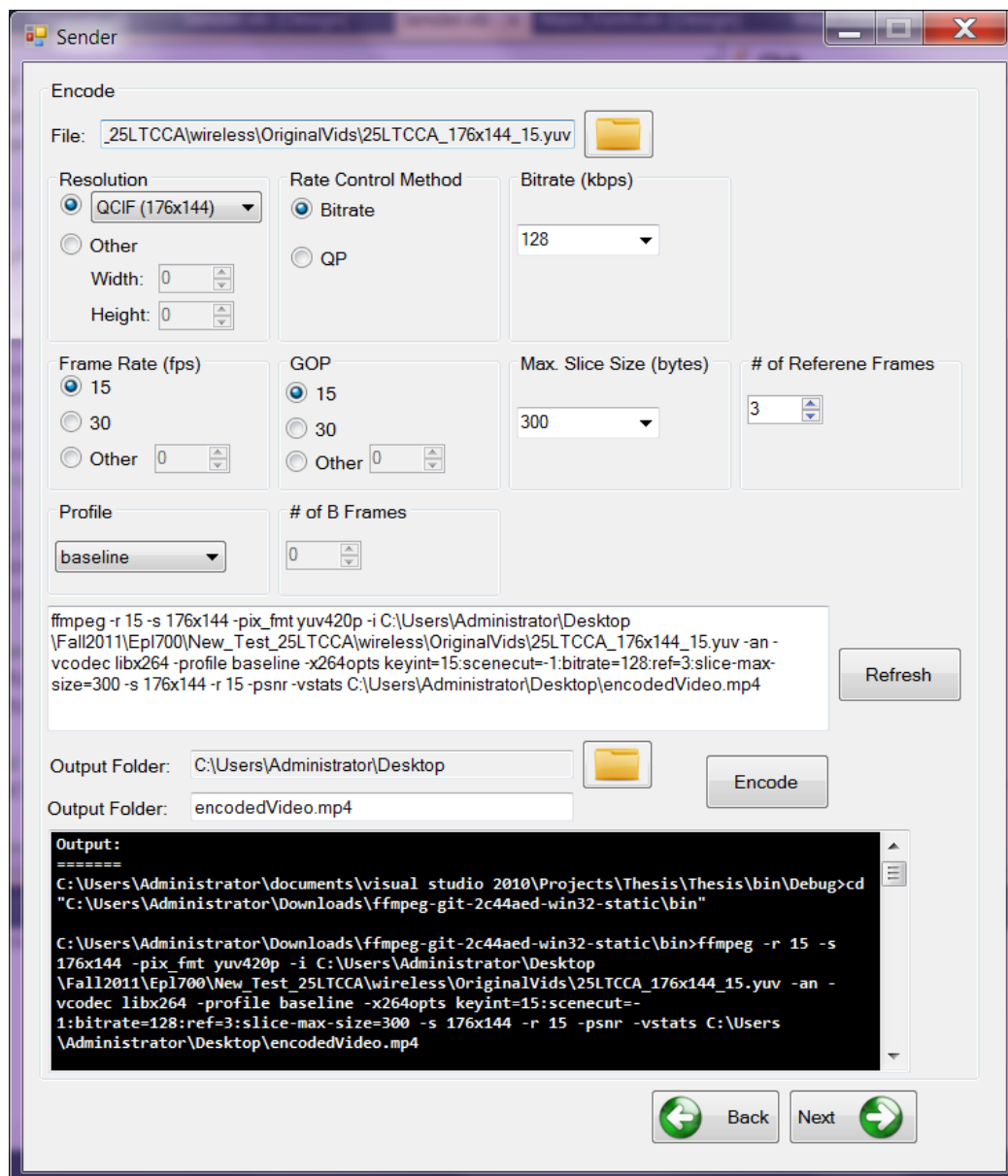
Στη συνέχεια, πατώντας το κουμπί Next, εμφανίζεται ένα παράθυρο (Σχήμα Β.3) όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τις παραμέτρους κωδικοποίησης της βιβλιοθήκης x264, όπως την ανάλυση του βίντεο (resolution), το bitrate ή το QP (ανάλογα με την μέθοδο Rate Control που επιθυμεί), το frame rate, το μέγεθος του GOP (Group Of Pictures), το profile (baseline, main, high), τον αριθμό των B-frames, τον αριθμό των πλαισίων που θα χρησιμοποιηθούν ως αναφορές (reference frames) κτλ. Επίσης ο χρήστης πρέπει να επιλέξει το ασυμπίεστο βίντεο που θα κωδικοποιήσει (γυν) και τον

φάκελο και το όνομα που θα αποθηκευτεί το βίντεο μετά την κωδικοποίηση. Η εντολή που θα εκτελεστεί πατώντας το κουμπί Encode είναι αυτή που παρουσιάζεται στο textbox. Για ανανέωση της εντολής ανάλογα με τις επιλεγμένες παραμέτρους, ο χρήστης πρέπει να πατήσει το κουμπί Refresh. Ο χρήστης έχει την επιλογή να γράψει από μόνος του στην εντολή κωδικοποίησης στο textbox.



Σχήμα Β.3 : Κωδικοποιητής (Παράμετροι)

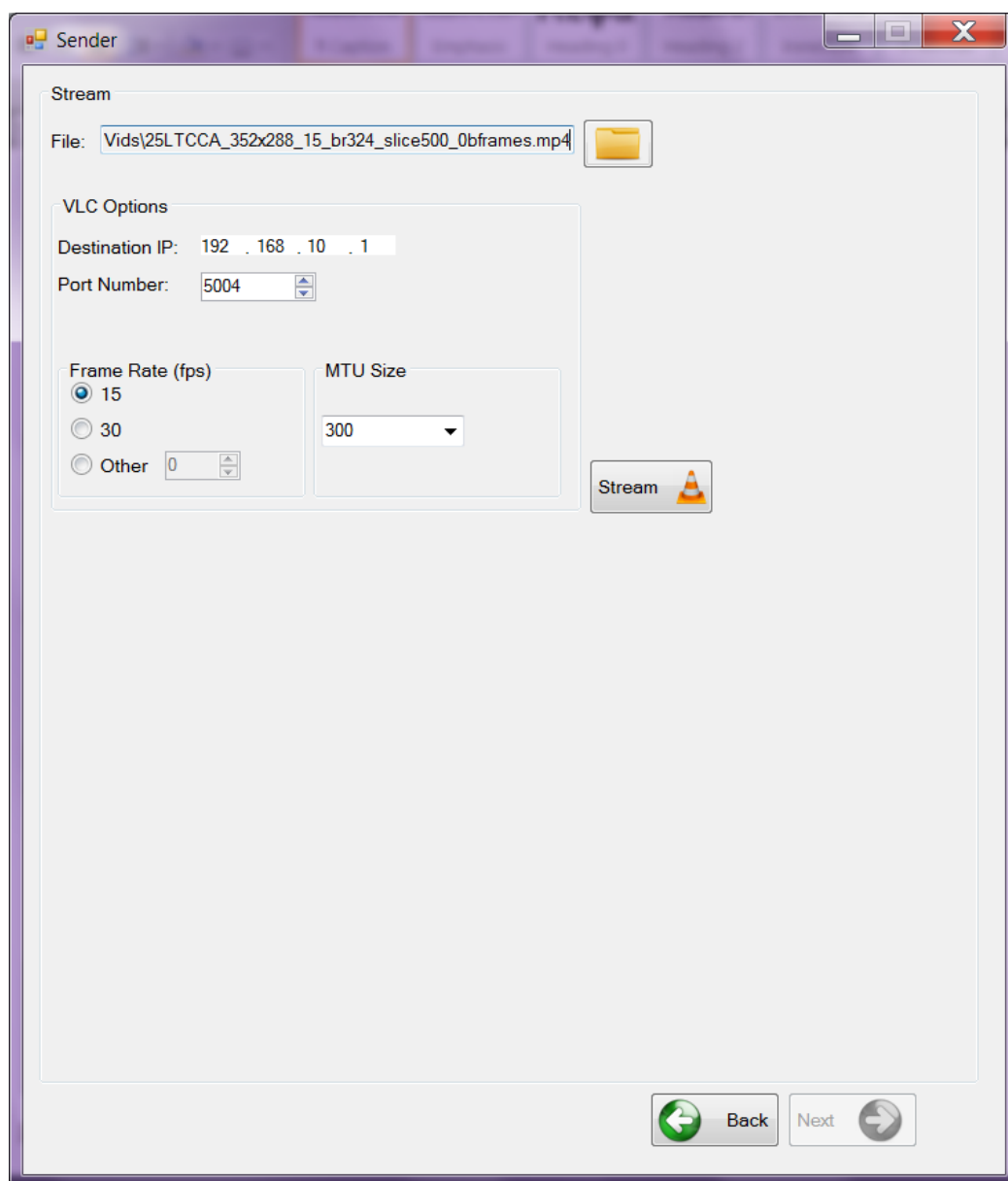
Όταν ο χρήστης πατήσει το κουμπί Encode, θα αρχίσει η διαδικασία κωδικοποίησης. Όταν ολοκληρωθεί, η έξοδος του κωδικοποιητή θα εμφανιστεί στο μαύρο πλαίσιο στο κάτω μέρος του παραθύρου (Σχήμα Β.4).



Σχήμα Β.4 : Κωδικοποιητής (Έξοδος)

Πατώντας το κουμπί Next εμφανίζεται το παράθυρο για επιλογή των παραμέτρων αποστολής (Σχήμα Β.5). Εδώ ο χρήστης πρέπει να επιλέξει το κωδικοποιημένο βίντεο και τις παραμέτρους του VLC για την αποστολή του. Αυτές είναι η διεύθυνση

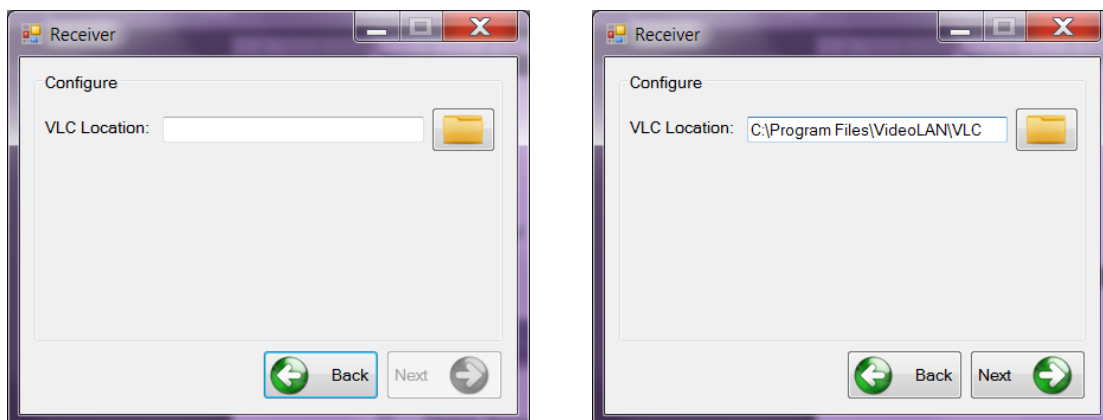
IP του παραλήπτη, ο αριθμός θύρας (port number) που θα αποσταλούν τα πακέτα, το frame rate και τέλος το μέγιστο μέγεθος των πακέτων (MTU size). Όταν ο χρήστης εισάγει τις πιο πάνω παραμέτρους και πατήσει το κουμπί Stream, θα εκκινήσει το VLC το οποίο θα αναλάβει την αποστολή του βίντεο.



Σχήμα B.5 : Αποστολέας

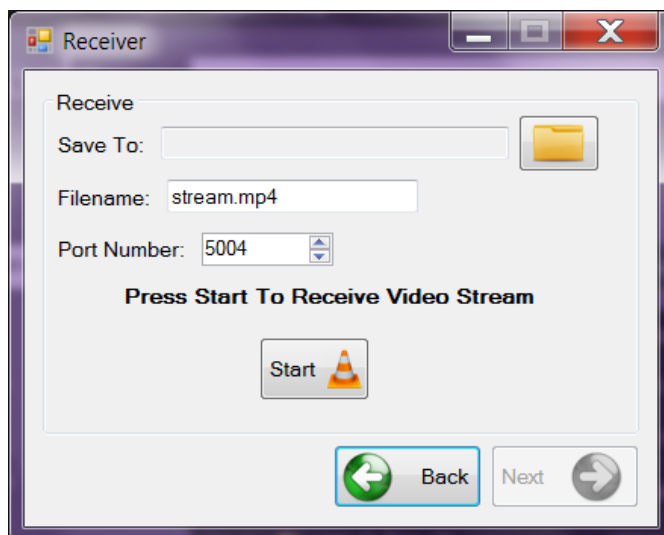
Αν ο χρήστης επιλέξει από το Σχήμα B.1 την δεύτερη επιλογή, εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται στο Σχήμα B.6 αριστερά όπου ο χρήστης πρέπει να επιλέξει

τον φάκελο που βρίσκεται το VLC, το οποίο θα αναλάβει την παραλαβή του βίντεο. αν επιλεγθεί ο σωστός φάκελος ο χρήστης θα μπορεί να πατήσει το κουμπί Next (Σχήμα Β.6 δεξιά).



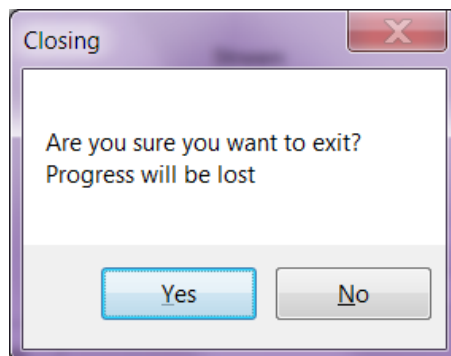
Σχήμα Β.6 : Επιλογή Ρυθμίσεων Παραλήπτη

Το επόμενο παράθυρο (Σχήμα Β.7) καλεί τον χρήστη να επιλέξει τον φάκελο και το όνομα με το οποίο θα αποθηκευτεί το βίντεο που θα παραληφθεί, όπως επίσης και τον αριθμό θύρας (port number) από τον οποίο θα λάβει τα πακέτα και οποίος πρέπει να είναι ο ίδιος με αυτόν που εισήγαγε ο αποστολέας. Τέλος, πατώντας το κουμπί Start θα γίνει η εκκίνηση του VLC το οποίο θα αναλάβει την παραλαβή και αποθήκευση του βίντεο.



Σχήμα Β.7 : Παραλήπτης

Όταν ο χρήστης επιλέξει να τερματίσει την λειτουργία είτε του κωδικοποιητή, είτε του αποστολέα, είτε του παραλήπτη, θα εμφανιστεί ένα παράθυρο επιβεβαίωσης (Σχήμα Β.8), γιατί σε περίπτωση τερματισμού τους, όλες οι αλλαγές που έκανε στις παραμέτρους θα χαθούν.



Σχήμα Β.8 : Έξοδος