

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΣΧΕΔΙΟ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ
ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Δεκέμβριος 2013

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ
ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΙΑΤΡΙΚΟΥ ΒΙΝΤΕΟ
ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ**

Ροδοθέου Ιάκωβος

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Δεκέμβριος 2013

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Σύγκριση προτύπων κωδικοποίησης και τεχνικών αφαίρεσης θορύβου για τη
μετάδοση ιατρικού βίντεο στα πλαίσια συστημάτων κινητής υγείας.**

Ροδοθέου Ιάκωβος

Επιβλέπων Καθηγητής
Παττίχης Κωνσταντίνος

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των
απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του
Πανεπιστημίου Κύπρου

Δεκέμβριος 2013

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Παττίχη για την ευκαιρία και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Οι συμβουλές καθώς και η υποστήριξη που έχω εισπράξει καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο Πανεπιστήμιο Κύπρου συνέβαλαν καθοριστικά για την επιτυχή ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον Δρ. Αντρέα Παναγίδη για τον πολύτιμο χρόνο που μου πρόσφερε καθώς και για την υπομονή που επέδειξε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής. Οι γνώσεις και συμβουλές του στον τομέα της πληροφορικής και συγκεκριμένα στον τομέα της επεξεργασίας βίντεο συνέλαβαν καθοριστικά για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Τέλος το μεγαλύτερο ευχαριστώ θα ήθελα να το εκφράσω στην οικογένεια μου για την πολύτιμη στήριξη που μου πρόσφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπο μου για την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιεί μια ολοκληρωμένη σύγκριση προτύπων κωδικοποίησης για σκοπούς ανάπτυξης αποδοτικών συστημάτων κινητής υγείας (mobile-health) για τη μετάδοση ιατρικού βίντεο. Επιπλέον, στα πλαίσια προ επεξεργασίας του ιατρικού βίντεο πριν την κωδικοποίηση, ερευνήθηκε η χρήση τεχνικών αφαίρεσης θορύβου ο οποίος εισάγεται κατά την απόκτηση των βίντεο. Απώτερος σκοπός είναι τόσο η βελτίωση της κλινικής ποιότητας όσο και η μείωση του απαιτούμενου εύρους ζώνης κατά την μετάδοση των υπερηχογραφικών βίντεο.

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο από δέκα υπερηχογραφικά βίντεο της καρωτιδικής αρτηρίας χωρικής ανάλυσης 560x416 αποτελούμενο από 50 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο. Τα πρότυπα κωδικοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι το HEVC, H264, H263, MPEG4 και το MPEG2. Τα τρία ψηφιακά φίλτρα απομάκρυνσης του θορύβου τα οποία εφαρμόστηκαν στα δέκα βίντεο είναι τα DsFIsnv, DsFhmedian και DsFsrad. Η βασική υλοποίηση του συστήματος έχει πραγματοποιηθεί σε scripting language (bash). Επιπρόσθετο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη αλλά και εξαγωγή των αποτελεσμάτων έλαβε χώρα στο εργαλείο MATLAB.

Οι τεχνικές αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα μας εστιάζουν κυρίως σε δύο κατευθύνσεις. Η μια αφορά την ποιότητα εικόνας που προσφέρει η κάθε κωδικοποίηση και η οποία αξιολογείται χρησιμοποιώντας αντικειμενικές τεχνικές αξιολόγησης βίντεο. Η δεύτερη είναι ο ρυθμός μετάδοσης ή το εύρος ζώνης το οποίο απαιτείται για την κάθε κωδικοποίηση. Για την ενδελεχή μελέτη των πιο πάνω χρησιμοποιήσαμε ένα ευρύ φάσμα παραμέτρων κβαντοποίησης που αντιστοιχούν σε διάφορους λόγους συμπίεσης.

Η πειραματική αξιολόγηση κατέδειξε ότι το σύγχρονο πρότυπο κωδικοποίησης HEVC επιτυγχάνει τους καλύτερους λόγους συμπίεσης για ολόκληρο το σύνολο των βίντεο που εξετάστηκαν, σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα κωδικοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, για την ίδια ποιότητα εικόνας, το πρότυπο HEVC μειώνει το απαιτούμενο εύρος ζώνης έως και 33% σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο πρότυπο H264. Περαιτέρω, η χρήση φίλτρων κατά την προ-επεξεργασία των βίντεο, παρουσιάζει σημαντική μείωση του

αναγκαίου εύρους ζώνης, χωρίς να επηρεάζει αρνητικά την κλινική ποιότητα των βίντεο. Πιο συγκεκριμένα, το φίλτρο DsFIs_{mn} μειώνει το απαιτούμενο εύρος ζώνης έως και 43% για βίντεο τα οποία κωδικοποιούνται με το πρότυπο HEVC χωρίς προ-επεξεργασία.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	1
1.1. Εισαγωγή.....	1
1.2. Στόχος.....	2
1.3. Δομή Εργασίας	2
Κεφάλαιο 2. Κωδικοποίηση και Πρότυπα Ψηφιακού Βίντεο	3
2.1. Κωδικοποίηση Ψηφιακού Βίντεο	3
2.1.1. Κωδικοποίηση Εντροπίας	4
2.1.2. Κωδικοποίηση με Πρόβλεψη.....	6
2.1.3. Πρόβλεψη με Αντιστάθμιση Κίνησης	6
2.2. Πρότυπα Ψηφιακού Βίντεο	7
2.2.1. H261	8
2.2.2. MPEG1	8
2.2.3. H262/MPEG2.....	9
2.2.4. H263	10
2.2.5. MPEG4	11
2.2.6. H264	11
2.2.7. HEVC.....	16
Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογία	23
3.1. Περιγραφή.....	23
3.2. Αντικειμενικές Τεχνικές Αξιολόγησης Ποιότητας Βίντεο	24
3.2.1. PSNR.....	24
3.2.2. SSIM.....	25
3.3. Υπολογισμός Εξοικονόμησης Εύρους Ζώνης για Αντίστοιχη Ποιότητα.....	28
3.3.1. Bit-Rate.....	28
3.4. Μεθοδολογία Αξιολόγησης στην Παρούσα Εργασία	28

Κεφάλαιο 4. Ανάπτυξη Συστήματος.....	35
4.1. Διαδικασία Κωδικοποίησης	35
4.2. Διαδικασία Εξαγωγής Αποτελεσμάτων.....	38
Κεφάλαιο 5. Ανάλυση και Σύγκριση Αποτελεσμάτων.....	42
5.1. Ανάλυση Αποτελεσμάτων Βάση Αλγορίθμων Αντικειμενικής Αξιολόγησης Βίντεο.	42
5.1.1. Ανάλυση PSNR.....	43
5.1.2. Ανάλυση MSE.....	49
5.1.3. Ανάλυση SSIM.....	54
5.2. Ανάλυση Bit-rate	59
5.2.1. Original video bit rate	59
5.2.2. Despeckle video bit rate.....	61
5.3. Περίληψη Αποτελεσμάτων	64
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα	69
6.1. Συμπεράσματα.....	69
6.2. Μελλοντική Εργασία.....	71
Βιβλιογραφία	73

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 2.1:Εξέλιξη Προτύπων Κωδικοποίησης.....	8
Σχήμα 2.2: Χρονική σχέση μεταξύ I,P και B πλαισίων	9
Σχήμα 2.3: VCL και NAL στρώματα προτύπου H.264/AVC [13]	13
Σχήμα 2.4: Εφαρμογή του φίλτρου de-blocking	15
Σχήμα 2.5: Χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας για το πρότυπο H.264/AVC	16
Σχήμα 2.6: Υποδιαίρεση μιας εικόνας σε slices (αριστερά) και tiles (δεξιά) [14].....	21
Σχήμα 2.7: Κατευθύνσεις για την λειτουργία intra-picture [14]	21
Σχήμα 3.1: Λειτουργία SSIM [18].....	25
Σχήμα 3.2: Μορφή γειτονικών στοιχείων κινούμενου παραθύρου [25].....	34
Σχήμα 4.1: Κάλεσμα αρχείου bash για την δημιουργία των configuration files	37
Σχήμα 4.2: Κάλεσμα αρχείου για εξαγωγή αποτελεσμάτων MMQA	39
Σχήμα 4.3: Διαγραμματική Ανάλυση Συστήματος	41
Σχήμα 5.1: HEVC - PSNR	43
Σχήμα 5.2: H264 - PSNR	43
Σχήμα 5.3: H263 - PSNR	43
Σχήμα 5.4: MPEG4 - PSNR.....	43
Σχήμα 5.5: MPEG2 - PSNR.....	43
Σχήμα 5.6: HEVC(DsFhmedian) - PSNR.....	46
Σχήμα 5.7: HEVC(DsFlsmv) - PSNR	46
Σχήμα 5.8: HEVC(DsFsrاد) - PSNR	46
Σχήμα 5.9: H.264 DsFhmedian - PSNR	48
Σχήμα 5.10: H.264 DsFlsmv - PSNR.....	48
Σχήμα 5.11: H.264 DsFsrاد - PSNR	48
Σχήμα 5.12: HEVC - MSE	50
Σχήμα 5.13: H264 - MSE.....	50
Σχήμα 5.14: MPEG4 - MSE.....	50
Σχήμα 5.15: H263 - MSE.....	50
Σχήμα 5.16: MPEG2 - MSE.....	50
Σχήμα 5.17: HEVC(DsFhmedian) - MSE	52
Σχήμα 5.18: HEVC(DsFlsmv) - MSE	52
Σχήμα 5.19: HEVC(DsFsrاد) - MSE.....	52
Σχήμα 5.20: H264(DsFhmedian) - MSE	53

Σχήμα 5.21: H264(DsFsrad) - MSE	53
Σχήμα 5.22: H264(DsFlsmv) - MSE.....	53
Σχήμα 5.23: HEVC - SSIM	55
Σχήμα 5.24: H264 - SSIM.....	55
Σχήμα 5.25: MPEG4 - SSIM.....	55
Σχήμα 5.26:H263 - SSIM.....	55
Σχήμα 5.27: MPEG2 - SSIM.....	55
Σχήμα 5.28: HEVC(DsFhmedian) - SSIM	57
Σχήμα 5.29:HEVC(DsFlsmv) - SSIM	57
Σχήμα 5.30:HEVC(DsFsrad) - SSIM.....	57
Σχήμα 5.31: H264(DsFhmedian) - SSIM	58
Σχήμα 5.32: H264(DsFlsmv) - SSIM.....	58
Σχήμα 5.33: H264(DsFsrad) - SSIM	58
Σχήμα 5.34: Video Coding Standards Comparison.....	60
Σχήμα 5.35: HEVC and Despeckle Filtering Rate Distortion plots	62
Σχήμα 5.36: H264 and Despeckle Filtering Rate Distortion plots.....	64

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5-1: Video Coding Standards Bit Rate Saving	59
Πίνακας 5-2:Video Despeckle Filtering Bit Rate Gains (HEVC)	61
Πίνακας 5-3:Video Despeckle Filtering Bit Rate Gains (H264).....	63

Ακρώνυμα

3G	Third Generation
AVC	Advanced Video Coding
CABAC	Context Adaptive Binary Arithmetic Coding
CAVLC	Context Adaptive Variable Length Coding
CIF	Common Intermediate Format
CTB	Coding Tree Block
CTU	Coding Tree Units
dB	Decibel
DCT	Discrete Cosine Transform
DPCM	Differential Pulse Code Modulation
DSL	Digital Subscriber Line
GOP	Group Of Pictures
HD	High Definition
HDTV	High Definition Television
HEVC	High Efficiency Video Coding
HMEDIAN	Hybrid Median
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
JCT-VC	Joint Collaborative Team on Video Coding
JVT	Join Video Team
MMS	Multimedia Messaging Services
MPEG	Moving Pictures Expert Group
MSE	Mean Square Error

NAL	Network Abstraction Layer
PAL	Phase Alternating Line
PSNR	Peak Signal Noise Ratio
QCIF	Quarter Common Intermediate Format
QP	Quantization Parameter
RTP	Real-time Transport Protocol
SEI	Supplemental Enhancement Information
SNR	Signal to Noise Ratio
SRAD	Speckle Reducing Anisotropic Diffusion
SSIM	Structural Similarity
TB	Transform Block
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Systems
VCEG	Video Coding Expert Group
VCL	Video Coding Layer
VUI	Video Usability Information
WPP	Wave-front Parallel Processing

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1. Εισαγωγή.....	1
1.2. Στόχος.....	2
1.3. Δομή Εργασίας	2

1.1. Εισαγωγή

Με την πάροδο του χρόνου η παρουσία του διαδικτύου εξαπλώνεται παντού, παίζοντας όλο και σημαντικότερο ρόλο στην καθημερινότητα μας. Διαφορετικοί τύποι πολυμέσων όπως τα κείμενα, ο ήχος, οι εικόνες και τα βίντεο έχουν ενσωματωθεί και χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό και σε πολλούς τομείς επί καθημερινής βάσης από όλους μας. Υπάρχουν δυο βασικά χαρακτηριστικά στα δίκτυα πολυμέσων χρησιμοποιούν υψηλά ποσοστά μεταφοράς δεδομένων και η αναπαραγωγή τους γίνεται σε πραγματικό χρόνο.

Πρώτα από όλα τα δεδομένα ήχου και βίντεο είναι εντελώς διαφορετικά από την άποψη της εσωτερικής δομής τους λόγω του γεγονότος ότι έχουν δημιουργηθεί για να παίζονται από διαφορετικές συσκευές. Συχνά ένα αρχείο βίντεο μπορεί να περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό από άλλα αρχεία όπως: διάφορα αρχεία ήχου καθώς επίσης και αρχεία κειμένου. Ένα σημαντικό πρόβλημα όπου μπορούμε να συναντήσουμε στα αρχεία βίντεο είναι να αποσυγχρονιστεί το αρχείο με αποτέλεσμα αυτό να επηρεάσει άμεσα την ποιότητα του βίντεο. Επίσης φαίνεται ότι υπάρχουν νέα προβλήματα που οι προγραμματιστές πρέπει να λύσουν: ποια κωδικοποίηση είναι η καλύτερη για να χρησιμοποιήσουν για ένα συγκεκριμένο βίντεο, ποιόν πολυπλέκτη πρέπει να χρησιμοποιήσουν για τον συνδυασμό βίντεο και ήχου κτλ. Υπάρχει μια ποικιλία κωδικοποιητών που αναπτύχθηκαν για διαφορετικούς σκοπούς. Ένα πολύ απλό παράδειγμα είναι ένας κωδικοποιητής που μπορεί να χρησιμοποιείται για ταινίες υψηλής ποιότητας αλλά μπορεί να μην είναι κατάλληλος για ροή μέσα στο δίκτυο. Για όλα τα συστήματα συμπίεσης υπάρχουν δυο αλγόριθμοι οι οποίοι είναι απαραίτητοι, ο ένας

είναι ο κωδικοποιητής που βρίσκεται στην πηγή ενώ ο άλλος είναι ο αποκωδικοποιητής που βρίσκεται στον προορισμό.

Αυτά είναι το γενικό υπόβαθρο πως τα πολυμέσα επηρεάζουν την καθημερινότητα μας αλλά και πως μπορούν όλα αυτά που αναφέραμε πιο πάνω να βρίσκονται στο σπίτι του κάθε ένα από εμάς.

1.2. Στόχος

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η ενδελεχής σύγκριση των προτύπων κωδικοποίησης, HEVC, H264, MPEG4, H263 και MPEG2 για την ανάπτυξη αποδοτικών συστημάτων μετάδοσης ιατρικού βίντεο. Επιπλέον, η σύγκριση τεχνικών αφαίρεσης θορύβου σαν βήμα προ-επεξεργασίας των υπό κωδικοποίηση ιατρικών βίντεο.

Τα πιο πάνω δύναται να χρησιμοποιηθούν ως ένα ολοκληρωμένο εγχειρίδιο για την ανάπτυξη συστημάτων μετάδοσης ιατρικού βίντεο και αποτελούν μια αυτοματοποιημένη διαδικασία την οποία ο μελλοντικός χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει για αντίστοιχες μελέτες.

1.3. Δομή Εργασίας

Η εργασία ακολουθεί την εξής δομή:

Το 2^ο κεφάλαιο περιέχει μια αναδρομή στις τεχνικές και στα πρότυπα κωδικοποίησης ψηφιακού βίντεο

Το 3^ο κεφάλαιο περιέχει μια λεπτομερή αναφορά στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

Στο 4^ο κεφάλαιο περιέχει την ανάπτυξη του συστήματος με την οποία έχει γίνει η αυτοματοποίηση των λειτουργιών.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι συγκρίσεις και η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν κατά την εκτέλεση των σεναρίων.

Τέλος, στο 6^ο κεφάλαιο αναφέρονται τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας αυτής.

Κεφάλαιο 2. Κωδικοποίηση και Πρότυπα Ψηφιακού Βίντεο

2.1. Κωδικοποίηση Ψηφιακού Βίντεο	3
2.1.1. Κωδικοποίηση Εντροπίας	4
2.1.2. Κωδικοποίηση με Πρόβλεψη.....	6
2.1.3. Πρόβλεψη με Αντιστάθμιση Κίνησης	6
2.2. Πρότυπα Ψηφιακού Βίντεο	7
2.2.1. H261	8
2.2.2. MPEG1	8
2.2.3. H262/MPEG2.....	9
2.2.4. H263	10
2.2.5. MPEG4	11
2.2.6. H264	11
2.2.7. HEVC.....	16

Στο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή στα πρότυπα κωδικοποίησης ψηφιακού βίντεο και αναφέρονται τα γενικά χαρακτηριστικά κάθε πρότυπου. Ακολούθως θα γίνει επεξήγηση για το κάθε πρότυπο κωδικοποίησης (HEVC,H.264,MPEG4,H.263 και MPEG2) και των χαρακτηριστικών τους.

2.1. Κωδικοποίηση Ψηφιακού Βίντεο

Ένα σημαντικό ερώτημα που τίθεται είναι αν μπορεί η πληροφορία να κωδικοποιηθεί πιο αποδοτικά δηλαδή να βρεθεί ένας τρόπος να μεταδοθεί η πληροφορία με λιγότερα bit αλλά παράλληλα με την ίδια ποιότητα. Άρα συμπίεση είναι μια διαδικασία που επανακωδικοποιεί την εκπεμπόμενη πληροφορία με στόχο να μεταδώσει το ίδιο περιεχόμενο αλλά με λιγότερα bits. Η συμπίεση εκμεταλλεύεται κανόνες και περιορισμούς , προσπαθεί να εκμεταλλευτεί κάθε πλεονασμό που υπάρχει στην αρχική πληροφορία.

Ειδικότερα στην πληροφορία πολυμέσων εκμεταλλευόμαστε το γεγονός ότι απευθύνεται σε ανθρώπους έτσι μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά και περιορισμούς των ανθρώπινων αισθητήριων οργάνων και να συμπίεσουμε την πληροφορία χωρίς να μειώσουμε αισθητά την ποιότητα της. Για παράδειγμα το ανθρώπινο μάτι μπορεί να δει κάποιες αποχρώσεις και το ανθρώπινο αυτί να αντιληφθεί κάποιες συχνότητες έτσι μπορούμε να ξεφορτωθούμε τέτοιες πληροφορίες χωρίς να μειώσουμε την ποιότητα. Η συμπίεση μπορεί να μειώσει τον όγκο των δεδομένων που στέλνονται ή αποθηκεύονται, με την ελαχιστοποίηση του ενυπάρχοντος πλεονασμού. Ο πλεονασμός παρουσιάζεται κατά τη δημιουργία των δεδομένων. Με τη διαδικασία της συμπίεσης η μεταφορά και η αποθήκευση γίνονται με πιο αποδοτικό τρόπο, ενώ παράλληλα διατηρείται η ακεραιότητα των δεδομένων. 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 pixels 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 επιτυγχάνεται καλύτερος λόγος συμπίεσης [1] [2].

2.1.1. Κωδικοποίηση Εντροπίας

Η κωδικοποίηση εντροπίας είναι μια από τις τεχνικές συμπίεσης η οποία αναφέρεται σε τεχνικές οι οποίες δεν λαμβάνουν υπ' όψη τους το είδος της πληροφορίας που πρόκειται να συμπεσθεί. Δηλαδή τεχνολογίες όπως αυτή αντιμετωπίζουν την πληροφορία ως μια απλή ακολουθία από bits. Έτσι με αυτό το τρόπο αντιμετώπισης της πληροφορίας η κωδικοποίηση εντροπίας μπορεί να εφαρμοσθεί ανεξάρτητα από το είδος της

πληροφορίας. Σημαντικό πλεονέκτημα των τεχνικών κωδικοποίησης εντροπίας είναι ότι προσφέρουν κωδικοποίηση χωρίς απώλειες. Οι τεχνικές κωδικοποίησης εντροπίας διαχωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες: Περιορισμός των επαναλαμβανόμενων (Suppression of repetitive sequences) ακολουθιών και στη Στατιστική Κωδικοποίηση (Statistical encoding).

Ο Περιορισμός των επαναλαμβανόμενων είναι από τις παλαιότερες μεθόδους κωδικοποίησης εντροπίας αλλά συγχρόνως και από τις πιο απλές που χρησιμοποιούνται. Η βασική ιδέα που χρησιμοποιεί αυτή η μέθοδος είναι ότι σε τυχαία ακολουθία από bits είναι πιθανό να εμφανιστούν κάποια τμήματα που αποτελούνται από κάποιο επαναλαμβανόμενο χαρακτήρα. Αυτά τα τμήματα μπορούν να αντικατασταθούν από το χαρακτήρα, ένα ειδικό χαρακτήρα, που ονομάζεται σημαία, και το πλήθος των επαναλήψεων του χαρακτήρα σε αυτά. Κάθε φορά που συναντάται η σημαία, ο χαρακτήρας που προηγείται αυτής πρέπει να επαναληφθεί όσες φορές υποδεικνύει ο αριθμός που ακολουθεί την σημαία. Αυτή η μέθοδος κωδικοποίησης εντροπίας που περιγράψαμε πιο πάνω μπορεί να γίνει πιο αποδοτική σε περιπτώσεις όπου έχουμε συχνά εμφανιζόμενες ακολουθίες μηδενικών. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται απλώς μία σημαία η οποία θα έχει την έννοια "επανάλαβε μηδενικά" και ο αριθμός των επαναλήψεων. Σίγουρα το μήκος των ακολουθιών καλό θα ήταν να είναι τέτοιο ώστε να υπάρχει ουσιαστικό όφελος από την αντικατάσταση.

Η στατιστική κωδικοποίηση η οποία είναι και αυτή μια μέθοδος κωδικοποίησης εντροπίας χρησιμοποιείται πολύ συχνά. Η βασική αρχή αυτής της τεχνικής βρίσκεται στο εντοπισμό των πιο συχνά εμφανιζόμενων ακολουθιών χαρακτήρων και στην κωδικοποίηση τους με λιγότερα bits. Δηλαδή σπάνια εμφανιζόμενες ακολουθίες θα έχουν μεγαλύτερους κωδικούς, ενώ αυτές με συχνές ακολουθίες μικρότερους. Σημαντικό γεγονός της μεθόδου αυτής είναι η ύπαρξη λεξικού, όπου αποθηκεύονται οι ακολουθίες που αντιστοιχούν σε κάθε κωδικό για να μπορεί να γίνει η αποσυμπίεση. Καθοριστικής σημασίας για την επίδοση του αλγορίθμου είναι η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων για την ανεύρεση των ακολουθιών που θα κωδικοποιηθούν με μικρούς κωδικούς. Η στατιστική κωδικοποίηση παίρνει δυο μορφές: Αντικατάσταση προτύπων (pattern substitution) και κωδικοποίηση Huffman (Huffman Encoding). Η μορφή αντικατάσταση προτύπων είναι μία μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται αποκλειστικά για κείμενα ενώ η κωδικοποίηση Huffman αποτελεί μια γενίκευση της στατιστικής

κωδικοποίησης. Η μέθοδος Huffman χρησιμοποιείται στη συμπίεση ακίνητης και κινούμενης εικόνας [3].

2.1.2. Κωδικοποίηση με Πρόβλεψη

Στην κωδικοποίηση με πρόβλεψη ο πλεονασμός στο βίντεο είναι καθορισμένος από τα γειτονικά pixels που βρίσκονται εντός των πλαισίων ή και μεταξύ των διαδοχικών πλαισίων. Η ιδέα της κωδικοποίησης αυτής είναι αρκετά υποσχόμενη εάν η συσχέτιση μεταξύ γειτονικών pixels έχει δυνατό δεσμό ως προς το χωρικό αλλά και χρονικό πλεονασμό. Δηλαδή με τον όρο χωρικό πλεονασμό εννοούμε την πιθανότητα δυο γειτονικά pixels να έχουν ίδια ή παραπλήσια τιμή φωτεινότητας ενώ με τον χρονικό πλεονασμό εννοούμε ότι οι τιμές της φωτεινότητας και χρώματος μπορούν να προϋπολογιστούν σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή από τις προηγούμενες τιμές τους που έχουν μεταδοθεί. Η διαφορά μεταξύ του πραγματικού pixel και του προβλεπόμενου είναι συνήθως η διαφορά των δυο. Επίσης η κωδικοποίηση με πρόβλεψη μπορεί να συνδυαστεί με την διαδικασία κωδικοποίησης μήκους διαδρομής [4] .

2.1.3. Πρόβλεψη με Αντιστάθμιση Κίνησης

Η πρόβλεψη με αντιστάθμιση κίνησης είναι ένα ισχυρό εργαλείο για μείωση του χρονικού πλεονασμού μεταξύ των πλαισίων και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται ευρέως στα πρότυπα κωδικοποίησης βίντεο όπως H.261, MPEG-1 και MPEG2 ως μια τεχνική πρόβλεψης για χρονική κωδικοποίηση DPCM (Differential Pulse Code Modulation). Η ιδέα πίσω από την πρόβλεψη αντιστάθμιση κίνησης βασίζεται στην εκτίμηση κίνησης μεταξύ των πλαισίων ενός βίντεο. Για παράδειγμα εάν τα στοιχεία σε μια σκηνή ενός βίντεο έχουν χωρικά εκτοπιστεί η κίνηση μεταξύ των πλαισίων μπορεί να περιγραφεί από ένα περιορισμένο αριθμό παραμέτρων κίνησης. Σε αυτό το παράδειγμα ο καλύτερος τρόπος πρόβλεψης ενός πραγματικού pixel δίνεται από τον αλγόριθμο πρόβλεψης με αντιστάθμιση κίνησης από το pixel του προηγούμενου κωδικοποιημένου πλαισίου. Με αυτό τον τρόπο γίνεται αποστολή μόνο του λάθους της πρόβλεψης και των διανυσμάτων κίνησης [4].

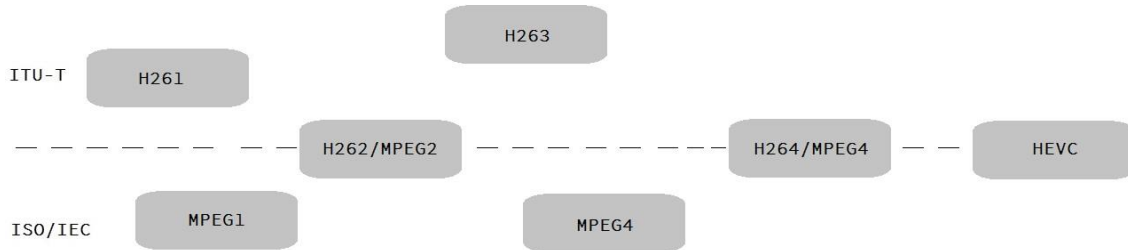
2.2. Πρότυπα Ψηφιακού Βίντεο

Στις μέρες μας υπάρχουν αρκετά πρότυπα ψηφιακού βίντεο που χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους κωδικοποίησης και προσφέρουν την δυνατότητα να φυλάξουμε ή να μεταδώσουμε το ποσό των δεδομένων που είναι αναγκαίο για να γίνει η παρουσίαση των εικόνων και των βίντεο με αποτελεσματικό τρόπο.

Ένα από τα πρότυπα ψηφιακού βίντεο είναι και το MPEG [5]. Τα αρχικά MPEG προέρχονται από τις λέξεις Moving Picture Experts Group και πρόκειται για μια επιτροπή που δρα στα πλαίσια του Διεθνούς Οργανισμού τυποποίησης. Ο συντονιστής της επιτροπής αυτής είναι ο Leonardo Chiariglione γνωστός σαν ο πατέρας του MPEG. Το όνομα MPEG έχει επικρατήσει να αναφέρεται και στην οικογένεια των τυποποιήσεων που δημιουργήθηκαν από την ομάδα MPEG και χρησιμοποιούνται για την μετάδοση οπτικών και ηχητικών δεδομένων σε ψηφιακή συμπιεσμένη μορφή. Η οικογένεια περιλαμβάνει τις εξής τυποποιήσεις MPEG1 , MPEG 2 και MPEG4.

Επίσης μία ακόμη επιτροπή που συντελεί στο έργο του Διεθνούς Οργανισμού τυποποίησης είναι η Video Coding Expert Group (ITU-T Q6/SG16). Η συγκεκριμένη επιτροπή είναι υπεύθυνη για την σειρά κωδικοποιήσεων "H.2x". Μερικές από αυτές τις κωδικοποιήσεις είναι η H.261, H.263 και H.264. Σκοπός της είναι η κατασκευή διεθνών προτύπων ψηφιακού βίντεο και εικόνας, συγκεκριμένα για λειτουργίες όπως τηλεδιάσκεψεις και βίντεο κλήσεις. Την προεδρία του οργανισμού αυτού έχει ο Ιάπωνας Sakae Okubo ο οποίος έχει αναπτύξει την κωδικοποίηση H.261.

Οι δυο επιτροπές που έχουν αναφερθεί πιο πάνω συνεργαστήκαν σε αρκετές περιπτώσεις για την έκδοση πρωτοτύπων. Με τον σχηματισμό μιας κοινής ομάδας με το όνομα Joint Video Team (JVT) [6] οι δυο αυτές επιτροπές προχώρησαν στην υλοποίηση του προτύπου H.264 και την ολοκλήρωση του το 2003. Τον Ιανουάριο του 2010 η ομάδα Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) δημιουργήθηκε ως ομάδα μέσα από την Video Coding Expert (ITU-T Q6/SG16) και την MPEG έτσι ώστε να δημιουργήσουν ένα νέας γενιάς πρότυπο με το όνομα High Efficiency Video Coding(HEVC).



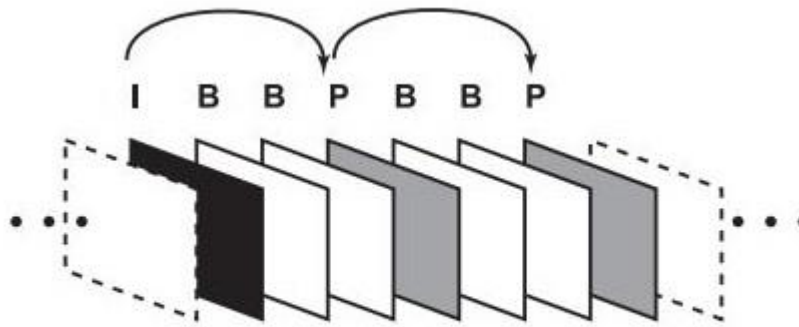
Σχήμα 2.1:Εξέλιξη Προτύπων Κωδικοποίησης

2.2.1. H261

Το πρότυπο H.261 παρουσιάστηκε το 1990 με στόχο την τηλεδιάσκεψη με εικόνα και ήχο με τη χρήση 1-30 καναλιών ISDN(Integrated Services Digital Network).Αυτό το πρότυπο σχεδιάστηκε για εφαρμογές που υποστηρίζουν χαμηλό bit rate το οποίο είναι μεταξύ 64-2048Kbps. Η είσοδος του H.261 είναι βίντεο της μορφής CIF και QCIF με ανάλυση 352x288 και 176x144 αντίστοιχα. Η μικρότερη μονάδα κωδικοποίησης στο H.261 είναι το 16x16 pixel macro-block το οποίο περιέχει μια επικεφαλίδα η οποία καθορίζει την διεύθυνση και την λειτουργία συμπίεσης. Η αντιστάθμιση κίνησης που χρησιμοποιείται στο H.261 χρησιμοποιεί μόνο πρόβλεψη προς τα εμπρός δηλαδή μόνο P-frames επιτρέπονται [7].

2.2.2. MPEG1

Αποτελεί το πρώτο πρότυπο που εκδόθηκε από τον ομάδα MPEG κατά την περίοδο του 1992. Ο σκοπός του προτύπου ήταν να παρέχει μια ολοκληρωμένη λύση για την κωδικοποίηση οπτικό ακουστικού υλικού και την αποθήκευση του σε ψηφιακά μέσα όπως CD-ROM και οπτικούς δίσκους. Μιας και ο κύριος σκοπός ήταν η αποθήκευση σε CD το πρότυπο περιορίστηκε σε εύρος του 1,5Mbps bit rate [8]. Ως προς την λειτουργία του στο MPEG1 χρησιμοποιούνται frames τύπου I,P και B. Η χρήση των frames τύπου B απαιτεί έναν πολυπλοκότερο εκτιμητή κίνησης και πολυπλοκότερη μονάδα αντιστάθμισης κίνησης. Τα διανύσματα κίνησης για αυτά τα frames υπολογίζονται από την προηγούμενα I ή P frames αλλά και τα επόμενα I ή P frames. Επιπλέον στο MPEG1 χρησιμοποιείται η δομή του συνόλου εικόνων (GOP - Group of Pictures). Ένα τέτοιο σύνολο ξεκινά από ένα I frame και στην συνέχεια ακολουθούν τα frames P ή B. Αυτό επιτρέπει την τυχαία προσπέλαση της ακολουθίας καθώς επίσης και λειτουργίες όπως fast forward και reverse.



Σχήμα 2.2: Χρονική σχέση μεταξύ I,P και B πλαισίων

2.2.3. H262/MPEG2

Το MPEG2 παρουσιάστηκε ως επίσημο πρότυπο αρχικά το Νοέμβριο του 1994 στη Σιγκαπούρη. Η ανάπτυξη αυτού του προτύπου είχε ως κύριο στόχο την έλλειψη κάποιων δυνατοτήτων από το MPEG1, οι οποίες άρχισαν να ζητούνται από την βιομηχανία ψηφιακής εικόνας. Το βασικότερο πρόβλημα που είχε το MPEG1 ήταν ότι η ποιότητα των προτύπων της τηλεόρασης PAL και του HDTV που χρησιμοποιούνταν εκείνη την εποχή από την τηλεόραση. Επίσης οι μελέτες μέχρι τότε έδειχναν ότι ο αλγόριθμος που χρησιμοποιούσε το MPEG1 ήταν αρκετά αναποτελεσματικός σε σχέση με τους αλγόριθμους που είχαν αναπτυχθεί εκείνη την εποχή για την συμπίεση βίντεο, ενώ παράλληλα ο νέος αλγόριθμος συμπίεσης του MPEG2 θα έπρεπε να είναι συμβατός με αυτόν του MPEG1 ώστε να υπάρχει μια συνέχεια μεταξύ των δύο προτύπων. Για την δημιουργία αυτού του προτύπου συνεργάστηκαν δυο ομάδες η MPEG(ISO/IEC) και η ITU-T. Έτσι με λίγα λόγια θα λέγαμε ότι η επιτυχία του προτύπου MPEG1 οδήγησε στην δημιουργία του επόμενου προτύπου MPEG2 το οποίο προσπάθησε να φέρει μια πιο γενική περιγραφή των μεθόδων κωδικοποίησης εικόνας αλλά και ήχου με περισσότερες επιλογές στην ποιότητα, το οποίο θα στόχευε σε εφαρμογές μεσαίας και υψηλής ποιότητας.

Μερικά χαρακτηριστικά του πρωτοτύπου MPEG2 είναι ότι ακολουθεί το τηλεοπτικό πρότυπο CCIR-601 (broadcast quality - ποιότητα εκπομπής) δηλαδή 704x480 pixels ή

704x576 pixels (PAL) καθώς υποστηρίζει και εικόνα σάρωσης (interlaced). Επιπλέον ο ρυθμός δεδομένων ενός συμπιεσμένου βίντεο με το πρότυπο MPEG2 είναι περίπου μεταξύ 3-100Mbps [2]. Ένα επίσης χαρακτηριστικό του MPEG2 είναι ότι μπορεί να κωδικοποιήσει συνυφασμένες εικονοσειρές στο format 4:2:0 ενώ η εκτίμηση κίνησης γίνεται σε τμήματα μεγέθους 16x8 [5].

2.2.4. H263

Το H263 βασίζεται στο ίδιο πλαίσιο με το H261. Ωστόσο, η ανάπτυξη νέων μεθόδων κωδικοποίησης και η εξάπλωση υπολογιστικών συστημάτων υψηλών επιδόσεων, επέτρεψε στην ITU-T να ενσωματώσει στο νέο πρότυπο H263 πιο αποδοτικούς αλγόριθμους με το κόστος όμως της αυξημένης πολυπλοκότητας. Η ανάπτυξη του προτύπου έγινε σε τρεις φάσεις : η πρώτη ολοκληρώθηκε στα τέλη του 1995, η δεύτερη που ονομάστηκε H263+ και αποτελούσε επέκταση του προηγούμενου προτύπου ολοκληρώθηκε το 1997 και η τρίτη φάση με το όνομα H263++ εγκρίθηκε στα τέλη του 2000.

Μία από τις νέες λειτουργίες που εφαρμόστηκαν στο πρότυπο αυτό ήταν στα διανύσματα κίνησης. Τα διανύσματα κίνησης στο πρότυπο H263 επιτρέπονται να αναφέρονται σε θέσεις ανάμεσα στα pixels (half-pixels positions). Αυτό το χαρακτηριστικό πρόσφερε σημαντική βελτίωση στις περιοχές που παρουσίαζαν υψηλή ανάλυση. Επιπλέον το H263 παρουσίασε βελτιωμένη κωδικοποίηση μεταβλητού μήκους (DCT - Discrete Cosine Transform) χρησιμοποιώντας τρισδιάστατο πίνακα κωδικών λέξεων μεταβλητού μήκους. Ένα ακόμη πλεονέκτημα του H263 έναντι του προκατόχου του H261 ήταν η υποστήριξη περισσότερων σε θέμα διαμορφώσεις βίντεο εισόδου, όπου μερικές από αυτές είναι: Sub-QCIF, QCIF, CIF, 4CIF και 16CIF. Επίσης στο H263 αντί της κωδικοποίησης μεταβλητού μήκους το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο H261, χρησιμοποιείται αριθμητική κωδικοποίηση παρέχοντας τη δυνατότητα για μείωση του απαιτούμενου ρυθμού bit κατά 4% για τα frames τύπου P και κατά 10% για τα frames τύπου I. Αυτό βέβαια αύξησε την πολυπλοκότητα από την μεριά του αποκωδικοποιητή κατά 50% περίπου [9].

2.2.5. MPEG4

Το πρότυπο MPEG4 δημοσιεύτηκε το 1998 ώστε να αντιμετωπίσει τις ανάγκες που προέκυψαν από μια νέα γενιά εφαρμογών πολυμέσων. Οι εφαρμογές αυτές, πέρα από την αποτελεσματικότητα της κωδικοποίησης απαιτούν και προηγμένες λειτουργίες, όπως είναι η διαδραστικότητα με συγκεκριμένα αντικείμενα, η κλιμάκωση αντικειμένων και ανθεκτικότητα σε λάθη κατά την μετάδοση. Πολλές από τις λειτουργίες που προσφέρονται από το πρότυπο MPEG4 απαιτούν πρόσβαση όχι μόνο σε μια ακολουθία από εικόνες αλλά σε συγκεκριμένα αντικείμενα και σε χρονικές αναπαραστάσεις αυτού του αντικειμένου σε μία εικόνα. Το πρότυπο MPEG4 επιτρέπει τη διαδραστικότητα με αντικείμενα, κωδικοποιώντας τα ανεξάρτητα χρησιμοποιώντας κίνηση, υφή αλλά και σχήμα. Ο αποκωδικοποιητής από την πλευρά του συνθέτει τα διάφορα αντικείμενα σε μια σκηνή και τα προβάλλει.

Μία από τις βασικές λειτουργίες που προστέθηκαν στο πρότυπο MPEG4 για την βελτίωση της αποδοτικότητας της συμπίεσης είναι ότι η πρόβλεψη του συντελεστή DC μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε το προηγούμενο μπλοκ είτε το μπλοκ που βρίσκεται πάνω από το τμήμα που εξετάζεται. Σημαντική πληροφορία για το MPEG4 είναι και η ανάλυση εικόνας είναι 176x144 pixels σε σχετικά χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης που κυμαίνονται ανάμεσα στα 4,8 - 64Kbits/s. Επιπλέον το πρότυπο αυτό παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση κίνησης αφού τα διανύσματα κίνησης επιτρέπεται να αναφέρονται σε θέσεις που απέχουν $\frac{1}{4}$ από τις θέσεις που βρίσκονται τα pixels. Βέβαια αυτό επιτρέπει την πιο ακριβή αναπαράσταση της κίνησης και τη μείωση του σφάλματος πρόβλεψης που κωδικοποιείται. Σημαντικό όμως είναι το γεγονός ότι εφαρμόζεται μόνο για τη συνιστώσα της φωτεινότητας και όχι για τις συνιστώσες χρωματικότητας.

2.2.6. H264

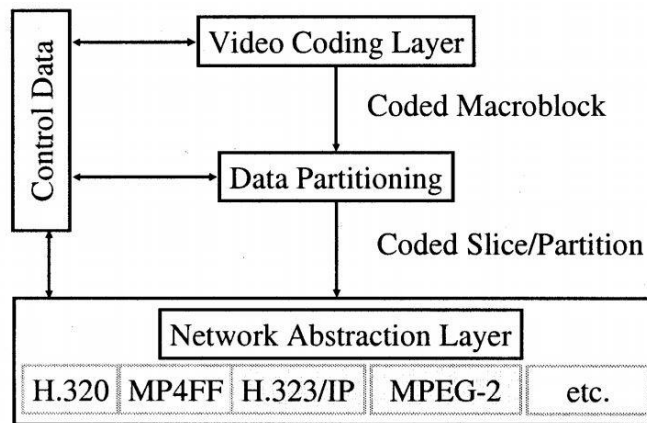
Ο αυξανόμενος αριθμός των εφαρμογών που περιλάμβαναν την αναπαραγωγή και μετάδοση εικονοσειρών καθώς και η αναπτυσσόμενη δημοτικότητα της τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας οδήγησαν στην δημιουργία του προτύπου H264/MPEG4 Part 10 ή αλλιώς AVC. Ένα από τα πλέον πιο διαδεδομένα πρότυπα που προσφέρουν καλύτερη απόδοση στην κωδικοποίηση βίντεο υψηλής ευκρίνειας. Το πρότυπο αυτό είναι μια δημιουργία από την συνεργασία δυο ομάδων, της ITU-T Video Expert Group(VCEG) και

την ISO/IEC Moving Experts Group (MPEG) δίνοντας την ονομασία στην ομάδα αυτή ως Joint Video Team (JVT) [10] [11] .

Η ανάπτυξη των μέσων μετάδοσης όπως το καλωδιακό Modem, το xDSL, ISDN και το UMTS πρόσφεραν πολύ μικρότερους ρυθμούς μετάδοσης από ένα κανάλι ευρείας μετάδοσης (broadcast channel), έτσι δημιούργησαν την ανάγκη για ένα νέο πρότυπο το οποίο θα μπορούσε να ανταπεξέλθει με μια αποδοτικότερη κωδικοποίηση. Βάση τον πιο πάνω η JVT προέβλεψε να συμπεριληφθούν τα πιο πάνω στο νέο πρωτότυπο H.264, δηλαδή να μπορεί να γίνει μετάδοση μέσω καλωδιακών, δορυφορικών, καλωδιακών μόντεμ, xDSL και επίγειων καναλιών. Επιπλέον το πρότυπο αυτό είχε την δυνατότητα για αποθήκευση σε οπτικά μαγνητικά μέσα όπως DVD αλλά και διανομή επαγγελματικών ταινιών και βίντεο. Ένα ακόμη πλεονέκτημα που βοήθησε το H.264 να γίνει ευρέως γνωστό είναι δυνατότητα του για κωδικοποίηση στους δίσκους Blu-ray καθώς επίσης και για live streaming. Το τελευταίο στοιχείο αλλά και σημαντικότερο που βοήθησε το πρωτότυπο αυτό να κλέψει τις εντυπώσεις ήταν το ότι πρόσφερε διπλάσιο βαθμό συμπίεσης κάτι που σήμαινε ότι θα μειώσει στο μισό το ρυθμό bit που απαιτείται για τον ίδιο βαθμό ποιότητας.

2.2.6.1. Αρχιτεκτονική Προτύπου

Μία νέα καινοτομία που εισάγει το H.264 είναι νοητός διαχωρισμός του κωδικοποιητή σε δύο βασικά στρώματα: το στρώμα κωδικοποίησης εικονοσειρών (VCL - Video Coding Layer) το οποίο είναι υπεύθυνο για την αναπαράσταση και κωδικοποίηση της εικονοσειράς, και το στρώμα δικτύου (NAL - Network Abstraction Layer) , που αναλαμβάνει να προσαρμόσει την αναπαράσταση του στρώματος VCL στο μέσο μετάδοσης ή αποθήκευσης που θα χρησιμοποιηθεί [12]. Ένα σχηματικό διάγραμμα αυτού του νοητικού διαχωρισμού σε στρώματα μπορούμε να διακρίνουμε πιο κάτω (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: VCL και NAL στρώματα προτύπου H.264/AVC [13]

Το στρώμα δικτύου είναι σχεδιασμένο για να προσφέρει φιλικότητα προς το δίκτυο και να κάνει απλή και αποδοτική την προσαρμογή της πληροφορίας που προέρχεται από το στρώμα κωδικοποίησης σε μια πλειάδα εφαρμογών και συστημάτων. Τα βασικά στοιχεία του στρώματος αυτού παρουσιάζονται παρακάτω: RTP/IP για όλα τα είδη ενσύρματων ή ασύρματων υπηρεσιών πραγματικού χρόνου. Διάφοροι τύποι αρχείων όπως για παράδειγμα ISO MP4 και MMS (Multimedia Messaging Services). H.320 για ενσύρματες και ασύρματες διαδραστικές υπηρεσίες. Συστήματα MPEG2 για υπηρεσίες ευρείας μετάδοσης.

Το στρώμα κωδικοποίησης εικονοσειρών ακολουθεί τη λεγόμενη υβριδική προσέγγιση κωδικοποίησης βασισμένη σε μπλοκ στην οποία κάθε εικόνα παριστάνεται από ορθογώνιες επιφάνειες που καλούνται macroblocks. Δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο στοιχείο της διαδικασίας κωδικοποίησης στην οποία οφείλεται το μεγαλύτερο βαθμό η βελτίωση στην ικανότητα συμπίεσης, σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα συμπίεσης. Αντίθετα, οι μικρές βελτιώσεις κάθε χαρακτηριστικού, όλες μαζί, δίνουν το τελικό αποτέλεσμα.

Στο H.264/AVC υπάρχουν τεχνικές για την πρόβλεψη intra της συνιστώσας φωτεινότητας Υ. Στην πρώτη τεχνική που ονομάζεται INTRA_4x4 το macroblock χωρίζεται σε 16 μπλοκ μεγέθους 4x4 και η πρόβλεψη εφαρμόζεται σε καθένα από αυτά τα τμήματα ξεχωριστά. Στην άλλη μέθοδο που εφαρμόζεται για την πρόβλεψη intra, η οποία ονομάζεται INTRA_16x16, η πρόβλεψη εφαρμόζεται σε όλα τα δείγματα του macroblock και υπάρχουν 4 διαφορετικοί τύποι. Υπάρχει η κατακόρυφη πρόβλεψη, η

οριζόντια πρόβλεψη, πρόβλεψη DC και η επίπεδη πρόβλεψη. Γενικότερα η πρόβλεψη INTRA_16x16 χρησιμοποιείται για τα τμήματα της εικόνας που παρουσιάζουν πολύ ομαλές μεταβολές.

Μια ακόμα καινοτομία του προτύπου H.264 είναι ότι για την εκτίμηση κίνησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι 5 πλαίσια αναφοράς, σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα, στα οποία μόνο ένα πλαίσιο αναφοράς χρησιμοποιείτο.

Ο μετασχηματισμός συντελεστών βοηθά στην από-συσχέτιση της πληροφορίας και μερικοί διαδεδομένοι από αυτούς είναι ο μετασχηματισμός συνημίτονου και ο μετασχηματισμός κυματιδίων. Ο ρόλος του μετασχηματισμού είναι να μειώσει το χωρικό πλεονασμό του σφάλματος πρόβλεψης. Στο H.264 ο μετασχηματισμός αυτός εφαρμόζεται σε μπλοκ μεγέθους 4x4 αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις και 2x2 σε αντίθεση με τα προηγούμενα πρότυπα MPEG1 και MPEG2 που χρησιμοποιούσαν μπλοκ μεγέθους 8x8. Φυσικά το μικρότερο μέγεθος μπλοκ στο οποίο εφαρμόζεται ο μετασχηματισμός επιτρέπει στον κωδικοποιητή να προσαρμόζει καλύτερα το σφάλμα πρόβλεψης στα όρια των αντικειμένων της εικόνας και γενικότερα να προσαρμόζεται καλύτερα στις τοπικές ιδιομορφίες που υπάρχουν σε μία εικόνα.

Το πρότυπο H.264 εφαρμόζει δυο εναλλακτικές μεθόδους για την κωδικοποίηση εντροπίας. Η πρώτη ονομάζεται CAVLC (Context Adaptive Variable Length Coding) και η άλλη τεχνική ονομάζεται CABAC (Context Adaptive Binary Arithmetic Coding). Η πρώτη τεχνική είναι μια τεχνική μικρής πολυπλοκότητας που χρησιμοποιεί έναν μοναδικό πίνακα αντιστοίχισης για όλα τα συντακτικά στοιχεία εκτός από τους κβαντισμένους μετασχηματισμένους συντελεστές. Η δεύτερη τεχνική είναι περισσότερο απαιτητική αλγοριθμικά, αλλά συντελεί σε πιο αποτελεσματική συμπίεση. Σε αυτή την τεχνική υπάρχουν πίνακες VLC για διαφορετικά συντακτικά στοιχεία που εναλλάσσονται αναλόγως των συντακτικών στοιχείων που έχουν μεταδοθεί μέχρι εκείνη τη στιγμή.

Ένα χαρακτηριστικό της κωδικοποίησης που βασίζεται σε blocks είναι η παραγωγή ορατών τετραγωνικών τμημάτων στην τελική εικόνα. Σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου έχει το φίλτρο de-blocking. Η βασική ιδέα είναι ότι, εάν υπολογισθεί μια σχετικά μεγάλη διαφορά ανάμεσα σε δείγματα κοντά στο άκρο του block , τότε είναι πολύ πιθανό να δημιουργηθεί κάποιο artifact. Ωστόσο, εάν η τάξη μεγέθους

αυτής της διαφοράς είναι τόσο μεγάλη που δεν μπορεί να εξηγηθεί από την ταχύτητα της κβάντισης, τότε το άκρο αυτό πιθανότατα αντανakλά μια αλλαγή και στην αρχική εικόνα και δεν πρόκειται για artifact, οπότε δεν θα πρέπει και να εξομαλυνθεί. Η εφαρμογή του συγκεκριμένου φίλτρου έχει αποδειχθεί ότι επιφέρει μείωση του αναγκαίου bit κατά 5-10%. Για να γίνει αυτό δεσμεύει ένα αριθμό από bits για κάθε Group Of Pictures (GOP), για κάθε ξεχωριστή εικόνα, ή ακόμα για κάθε υπό-εικόνα σε ένα βίντεο. Η παράμετρος κβαντοποίησης ($QP = \text{Quantization Parameter}$) ρυθμίζει πόση χωρική λεπτομέρεια θα αποθηκευτεί. Όσο πιο μικρή είναι, τόσο περισσότερη λεπτομέρεια διατηρείται, ενώ όσο μεγαλώνει χάνεται κάποια από την πληροφορία με αποτέλεσμα να χαμηλώνει το bitrate και η ποιότητα. Στο Σχήμα 2.4 που ακολουθεί παρουσιάζει το αποτέλεσμα της εφαρμογής του φίλτρου de-blocking σε μία εικόνα.



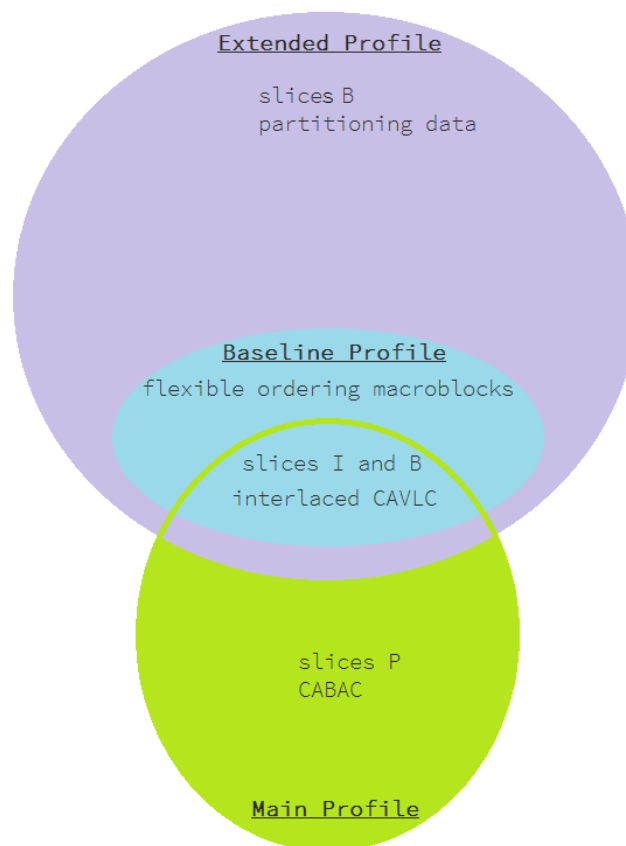
Σχήμα 2.4: Εφαρμογή του φίλτρου de-blocking

Αριστερά: χωρίς εφαρμογή του φίλτρου.

Δεξιά: με εφαρμογή φίλτρου.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το H.264 περιέχει μια πλειάδα εργαλείων κωδικοποίησης. Βεβαίως, αυτό δεν σημαίνει ότι οι κωδικοποιητές θα πρέπει να τα υποστηρίζουν και να τα χρησιμοποιούν όλα. Για παράδειγμα εάν πρόκειται να γίνει μετάδοση σε δίκτυο που εμφανίζει αμελητέα πιθανότητα σφάλματος, τότε ο κωδικοποιητής δεν είναι απαραίτητο να υποστηρίζει τα εργαλεία για ανθεκτικότητα σε λάθη. Για αυτό το λόγο, στο H.264 υπάρχουν κατηγορίες (profiles) που ουσιαστικά αποτελούν υποσύνολα των διαθέσιμων εργαλείων. Οι τρεις κατηγορίες αυτές είναι το Baseline Profile, το Main Profile και τέλος το Extended Profile. Στο Baseline Profile υποστηρίζονται slices τύπου I και P, εργαλεία ανθεκτικότητας όπως ευέλικτη διάταξη macroblocks και κωδικοποίηση εντροπίας με την μέθοδο CAVLC. Το Extended Profile είναι ένα υπερσύνολο του Baseline Profile, καθώς υποστηρίζει αυτά που υποστηρίζει και

το Baseline Profile καθώς και slices τύπου B, επεξεργασία interlaced ακολουθιών και διαμέριση δεδομένων. Τέλος το Main Profile περιλαμβάνει slices τύπου I,P και B, υποστήριξη interlaced CAVLC και τη μέθοδο CABAC. Σημαντικό μειονέκτημα της κατηγορίας αυτής είναι η μη υποστήριξη εργαλείων ανθεκτικότητας τα οποία περιλαμβάνονται στις άλλες δυο κατηγορίες. Για κάθε κατηγορία που έχει αναφερθεί πιο πάνω καθορίζονται επίπεδα (levels). Ο ρόλος των επιπέδων είναι θέσουν όρια στις τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, σχετικά με το μέγεθος της εικόνας, το ρυθμό των εικόνων ανά δευτερόλεπτο ή το πλήθος των εικόνων αναφοράς. Συνολικά υπάρχουν 16 επίπεδα [13]. Στο Σχήμα 2.5 που ακολουθεί φαίνεται διαγραμματικά τα επίπεδα.



Σχήμα 2.5: Χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας για το πρότυπο H.264/AVC

2.2.7. HEVC

High Efficiency Video Coding είναι πλέον το νεότερο πρότυπο κωδικοποίησης βίντεο της ITU-T Video Coding Expert Group και της ISO/IEC Moving Picture Expert Group [14] [15]. Ο κύριος στόχος του προτύπου HEVC είναι να επιτρέψει μια σημαντική βελτίωση στο τρόπο συμπίεσης και να μειώσει στο 50% το bit rate με την ποιότητα του βίντεο να παραμένει υψηλή. Το πρότυπο αυτό είναι το πιο πρόσφατο δημιούργημα από τις δύο

ομάδες που αναφέρθηκαν πιο πάνω η οποίες δημιούργησαν μία ομάδα κοινή με το όνομα Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC). Η πρώτη έκδοση του HEVC οριστικοποιήθηκε τον Ιανουάριο του 2013 και μερικές πρόσθετες εργασίες σχεδιάζονται να επεκτείνουν το πρότυπο αυτό έτσι ώστε να υποστηρίξει εκτεταμένη αυτονομία χρήσης με βελτιωμένη ακρίβεια και μορφή χρώματος. Επίσης θα υποστηρίξει επεκτάσιμη κωδικοποίηση βίντεο και 3D/stereo/multi-view κωδικοποίηση.

Η αυξανόμενη ποικιλομορφία των υπηρεσιών και η αυξανόμενη δημοτικότητα των βίντεο υψηλής ευκρίνειας (HD) δημιούργησαν την ανάγκη για μία ισχυρότερη και αποτελεσματικότερη κωδικοποίηση η οποία θα είναι ανώτερη σε δυνατότητες από το H.264/AVC. Επιπλέον ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας που οδήγησε στην δημιουργία του προτύπου αυτού είναι η αυξανόμενη κίνηση που προκαλείται από τις βίντεο εφαρμογές που στοχεύουν κινητές συσκευές και tablet Pc's καθώς επίσης και τις ανάγκες video-on-demand υπηρεσιών με αποτέλεσμα να υπάρχουν σοβαρές προκλήσεις για τα δίκτυα σήμερα.

Το HEVC έχει σχεδιαστεί ουσιαστικά για να αντικαταστήσει όλες αυτές της εφαρμογές που μέχρι σήμερα χρησιμοποιούσαν το παλιό πρότυπο H.264/AVC και ιδιαίτερα εστιάζει την προσοχή του σε δύο θέματα: στην ανάλυση του βίντεο και να μεγαλώσει την χρήση της παράλληλης επεξεργασίας.

2.2.7.1. Σχεδιασμός και Χαρακτηριστικά

Το πρότυπο HEVC σχεδιάστηκε για την επίτευξη πολλαπλών στόχων, μερικοί από αυτούς είναι η αποδοτικότητα κωδικοποίησης, η ευκολία στην ολοκλήρωση στα συστήματα μεταφορών και ανθεκτικότητα για απώλεια δεδομένων καθώς επίσης και την δυνατότητα εκτέλεσης χρησιμοποιώντας παράλληλη επεξεργασία. Στις πιο κάτω παραγράφους περιγράφουν τα βασικά στοιχεία της σχεδίασης που επιτυγχάνουν αυτούς τους στόχους καθώς και την τυπική λειτουργία του κωδικοποιητή η οποία δημιουργεί ένα έγκυρο bit stream.

2.2.7.1.1. Στρώμα Κωδικοποίησης Βίντεο

Το στρώμα κωδικοποίησης βίντεο στο HEVC χρησιμοποιεί την ίδια υβριδική προσέγγιση που χρησιμοποιούσαν όλα τα προηγούμενα πρότυπα μέχρι σήμερα. Ο αλγόριθμος κωδικοποίησης που χρησιμοποιεί το HEVC για να έχει ένα χαμηλό bit stream

δημιουργείται ως εξής. Αρχικά κάθε εικόνα χωρίζεται σε μπλοκ με ακριβής διαχωρισμό και μεταφέρονται στον αποκωδικοποιητή. Η πρώτη εικόνα της αλληλουχίας κωδικοποιείται χρησιμοποιώντας μόνο intrapicture πρόβλεψη. Για τις υπόλοιπες εικόνες της αλληλουχίας χρησιμοποιείται interpicture. Το υπολειπόμενο σήμα από της προβλέψεις intrapicture και interpicture το οποίο είναι η διαφορά μεταξύ του αρχικού μπλοκ και της πρόβλεψης του, μετασχηματίζεται από ένα γραμμικό χωρικό μετατροπέα (linear spatial transform). Οι συντελεστές μετάδοσης περνούν από κλιμάκωση, κωδικοποιούνται με εντροπία και μεταδίδονται μαζί με της πληροφορίες της πρόβλεψης. Από την πλευρά του ο κωδικοποιητής αναπαράγει το βρόγχο (loop) επεξεργασίας του αποκωδικοποιητή έτσι ώστε και οι δύο να δημιουργήσουν ταυτόσημες προβλέψεις για τα επόμενα δεδομένα. Ως εκ τούτου οι συντελεστές κβαντοποίησης κατασκευάζονται με αντίστροφη κλιμάκωση και στη συνέχεια αντίστροφη μετατροπή για να επαναλάβουν την προσέγγιση του υπολειπόμενου σήματος. Το υπολειπόμενο σήμα προστίθεται στην πρόβλεψη και το αποτέλεσμα της πρόσθεσης αυτής ενδέχεται να τροφοδοτηθεί σε ένα ή δυο επαναλαμβανόμενα φίλτρα για να εξομαλυνθούν τα artifacts που προκαλούνται από την επεξεργασία block-wise και την κβαντοποίηση. Η τελική εικόνα παρουσιάζεται η αποθηκεύεται σε buffer για να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των εικόνων της υπό-αλληλουχίας.

2.2.7.1.2. Αρχιτεκτονική Υψηλού Επιπέδου

Μερικές από τις πτυχές του νέου προτύπου HEVC είναι η καλύτερευση στο θέμα ευελιξίας και λειτουργίας πάνω σε ποικίλες εφαρμογές καθώς επίσης σε περιβάλλοντα δικτύου και τη βελτίωση σε απώλειες δεδομένων. Ωστόσο το επίπεδο αρχιτεκτονικής υψηλού επιπέδου που χρησιμοποιήθηκε στο πρότυπο H.264/AVC έχει διατηρηθεί και στο HEVC και έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

- **Σύνολο Παραμέτρων:** το σύνολο αυτό περιέχει πληροφορίες για την αποκωδικοποίηση έτσι ώστε να μπορούν να μοιράζονται σε διάφορες περιφέρειες (regions) για το αποκωδικοποιημένο βίντεο. Επιπλέον το σύνολο παραμέτρων παρέχει έναν ισχυρό μηχανισμό για τη μεταφορά δεδομένων που είναι απαραίτητα για την αποκωδικοποίηση.
- **Μονάδες NAL:** το NAL (Network Abstraction Layer) χρησιμοποιεί το περιεχόμενο μιας επικεφαλίδας (header) με μέγεθος 2 byte που σκοπός του είναι να εντοπίζει αμέσως σχετικά δεδομένα ωφέλιμου φορτίου.

- **Slices:** Τα slices είναι μια δομή δεδομένων που μπορεί να αποκωδικοποιηθεί ανεξάρτητα από τα άλλα slices της ίδιας εικόνας, με τους όρους της κωδικοποίησης εντροπίας και πρόβλεψης σήματος. Ένα slice μπορεί να είναι μια ολόκληρη εικόνα ή μια περιοχή μιας εικόνας. Ένας κύριος σκοπός των slices είναι η επανασυγχρονισμός σε περίπτωση απώλειας δεδομένων.
- **Supplemental Enhancement Information (SEI) and Video Usability Information (VUI) metadata:** Είναι υπεύθυνα για την υποστήριξη των μεταδεδομένων. Αυτά τα μεταδεδομένα περιέχουν πληροφορίες όπως για παράδειγμα χρόνο που τραβήχτηκε το βίντεο ή εικόνα.

2.2.7.1.3. Παράλληλη Αποκωδικοποίηση και Τροποποιημένο Slice

Τα τέσσερα νέα χαρακτηριστικά που εισήχθησαν στο πρότυπο του HEVC για να ενισχύσει την παράλληλη επεξεργασία ή να τροποποιήσει τη δομή των δεδομένων του slice για σκοπούς του "πακεταρίσματος". Κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά που ακολουθούν είναι στο χέρι αυτού που εκτελεί το κωδικοποιητή ή αποκωδικοποιητή κατά πόσον και πώς μπορεί να επωφεληθεί.

- **Tiles:** Ο κύριος σκοπός των tiles είναι να αυξήσουν τη δυνατότητα για παράλληλη επεξεργασία και όχι να παρέχουν ανθεκτικότητα σφάλματος. Τα tiles είναι ανεξάρτητες decodable περιοχές μίας εικόνας που είναι κωδικοποιημένες με κάποιες κοινές πληροφορίες. Επιπλέον τα tiles μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το spatial random access σε τοπικές περιοχές των εικόνων.
- **Wave-front parallel processing:** Όταν το Wave-front parallel processing (WPP) είναι ενεργοποιημένο ένα slice διαιρείται σε σειρές από CTU's. Η πρώτη σειρά βρίσκεται σε επεξεργασία σε ένα συνηθισμένο τρόπο, η δεύτερη σειρά μπορεί να ξεκινήσει την επεξεργασία εάν και μόνο εάν έχουν ολοκληρώσει την επεξεργασία τους τα δύο CTU's από την πρώτη σειρά και συνεχίζει αυτό ούτως και κάθε εξής και για τις υπόλοιπες σειρές. Το WPP μπορεί να παρέχει συχνά καλύτερη απόδοση από ότι τα tiles (αγνοεί ορισμένα artifacts που μπορεί να δημιουργήθηκαν από τη χρήση των tiles).
- **Dependent slice segments:** Η δομή αυτή επιτρέπει στα δεδομένα που συσχετίζονται με το WPP ή τα tiles να μεταφέρονται σε μια ξεχωριστή μονάδα NAL. Αυτό κάνει τα δεδομένα διαθέσιμα στο σύστημα για να μπορέσει να

υπάρξει κατακερματισμός στο "πακετάρισμα" με σκοπό την χαμηλότερη λανθάνουσα κατάσταση εάν υπήρχαν όλα μαζί κωδικοποιημένα σε ένα slice.

2.2.7.2. Τεχνικές Κωδικοποίησης

Όπως σε όλες τις προηγούμενες κωδικοποίησης βίντεο της ITU-T και ISO/IEC έτσι και τώρα ο σχεδιασμός για το HEVC ακολουθεί την ίδια υβριδική προσέγγιση. Ο βασικός αλγόριθμος είναι ένα υβρίδιο μεταξύ της πρόβλεψης interpicture η οποία εκμεταλλεύεται τις χρονικές εξαρτήσεις και την πρόβλεψη intrapicture που αξιοποιεί τις χωρικές εξαρτήσεις. Αυτό που άλλαξε στο HEVC είναι ένα πλήθος από μικρότερες βελτιώσεις που κάνουν την διαφορά στο πρότυπο αυτό.

2.2.7.2.1. Sampled Representation of Pictures

Για την αντιπροσώπευση των χρωμάτων στο HEVC χρησιμοποιεί το τρίπτυχο (tristimulus) YCbCr με δειγματοληψία 4:2:0. Το Y συστατικό ή αλλιώς luma αναπαριστά την φωτεινότητα. Τα συστατικά Cb και Cr αντιπροσωπεύουν την έκταση κατά την οποία το χρώμα αποκλίνει από το γκρι προς το μπλέ και το κόκκινο αντίστοιχα.

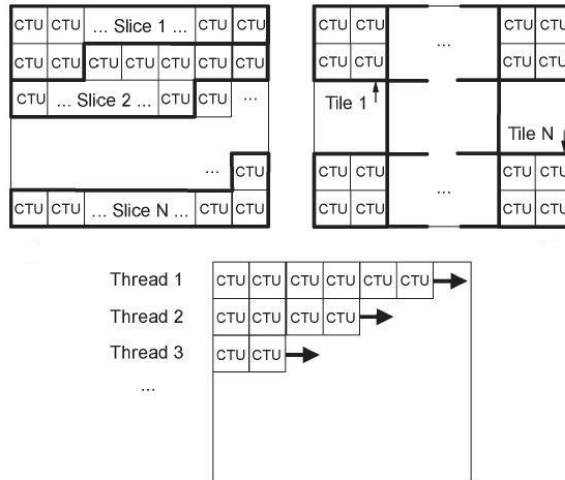
2.2.7.2.2. Division of the Picture into Coding Tree Units

Μια εικόνα χωρίζεται σε CTU's (Coding Tree Units) το οποίο κάθε ένα περιέχει CTB's luma και CTB's chroma. Ένα πλεονέκτημα που έχει το HEVC στο θέμα αυτό είναι η υποστήριξη μεγαλύτερων CTB's από προηγούμενα πρότυπα που αυτό βοηθά στην κωδικοποίηση βίντεο υψηλής ευκρίνειας.

2.2.7.2.3. Slices and Tiles

Τα slices είναι μια αλληλουχία από CTU's τα οποία υποβάλλονται σε επεξεργασία με την σειρά. Μια εικόνα μπορεί να χωρισθεί σε ένα ή σε περισσότερα slices όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6. Κάθε slice μπορεί να κωδικοποιηθεί με τη χρήση διαφορετικών τύπων κωδικοποίησης. Τα slices τύπου I κωδικοποιούνται μόνο με πρόβλεψη intrapicture. Τα slices τύπου P κωδικοποιούνται με πρόβλεψη interpicture με το πολύ ένα σώμα πρόβλεψης αντιστάθμισης. Τα slices τύπου B μπορούν και αυτά να κωδικοποιηθούν

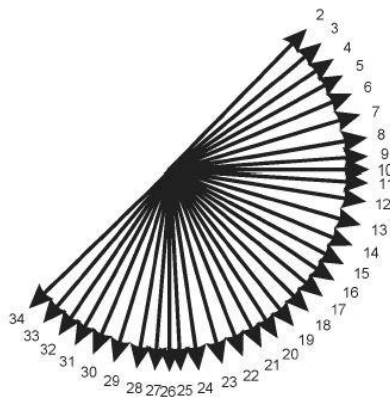
χρησιμοποιώντας πρόβλεψη interpicture αλλά με το πολύ δυο προβλέψεις αντιστάθμισης.



Σχήμα 2.6: Υποδιαίρεση μιας εικόνας σε slices (αριστερά) και tiles (δεξιά) [14]

2.2.7.2.4. Intra-picture Prediction

Η πρόβλεψη Intra-picture λειτουργεί ανάλογα με το μέγεθος του Transform Block (TB) και το προηγούμενο αποκωδικοποιημένο δείγμα από τους γείτονες του TB για να δημιουργήσουν το σήμα της πρόληψης. Η κατευθυντήρια πρόβλεψη με 33 διαφορετικούς προσανατολισμούς ορίζεται από το μέγεθος του TB από 4x4 μέχρι 32x32. Στο Σχήμα 2.7 φαίνονται οι πιθανές κατευθύνσεις προβλέψεις.



Σχήμα 2.7: Κατευθύνσεις για την λειτουργία intra-picture [14]

2.2.7.2.5. Transform Scaling and Quantization

Το HEVC χρησιμοποιεί κωδικοποίηση μετασχηματισμού υπολειμματικού σφάλματος πρόβλεψης (prediction error residual) με παρόμοιο τρόπο όπως στα προηγούμενα πρότυπα. Το υπολειμματικό μπλοκ κατανέμεται σε πολλαπλά transform blocks (TB's). Τα υποστηριζόμενα μεγέθη για transform block είναι 4x4, 8x8, 16x16 και 32x32.

2.2.7.2.6. Entropy Coding

Το HEVC προσδιορίζει μόνο μια μέθοδο κωδικοποίησης εντροπίας, την CABAC, σε σχέση με το H.264/AVC το οποίο υποστηρίζει δυο (CAVLC και CABAC).

2.2.7.3. Profiles and Levels

Το πρότυπο HEVC υποστηρίζει μόνο τρία προφίλ, σε σχέση με προηγούμενα πρότυπα, τα οποία είναι το Main, Main 10 και το Main Still Picture. Ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των προφίλ παρέχουν ένα μεγάλο ποσό της λειτουργικότητας μεταξύ των συσκευών και δικαιολογείται από το γεγονός ότι η παραδοσιακά ξεχωριστές υπηρεσίες όπως το broadcast, το streaming συγκλίνουν στο σημείο όπου οι περισσότερες συσκευές πρέπει να μπορούν να της υποστηρίξουν.

Προς το παρόν ο αριθμός των επιπέδων που θα έχει το πρότυπο HEVC είναι 13 στην πρώτη έκδοση του και θα κυμαίνονται από σχετικά μικρό μέγεθος εικόνας όπως 176x144 μέχρι εικόνες με μέγεθος 7680x4320 (ή αλλιώς 8k x 4k).

Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογία

3.1. Περιγραφή.....	23
3.2. Αντικειμενικές Τεχνικές Αξιολόγησης Ποιότητας Βίντεο	24
3.2.1. PSNR.....	24
3.2.2. SSIM.....	25
3.3. Υπολογισμός Εξοικονόμησης Εύρους Ζώνης για Αντίστοιχη Ποιότητα.....	28
3.3.1. Bit-Rate.....	28
3.4. Μεθοδολογία Αξιολόγησης στην Παρούσα Εργασία	28

Γνωρίζοντας τα πρότυπα κωδικοποίησης που χρησιμοποιήσαμε και τις λειτουργίες που μας προσφέρουν σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια περιγραφή για τις διάφορες παραμέτρους αξιολόγησης που θα χρησιμοποιηθούν στο μεταγενέστερο στάδιο της εργασίας αυτής για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Οι παράμετροι αυτοί έχουν σχέση με την ποιότητα των βίντεο καθώς επίσης και με το εύρος ζώνης που χρησιμοποιούν τα βίντεο για την συγκεκριμένη ποιότητα. Επίσης ακόμη ένα σημαντικό μέτρο αξιολόγησης είναι και ο υπολογισμός παραμέτρων υφής.

3.1. Περιγραφή

Η γρήγορη εξέλιξη της τεχνολογίας καθιστά πλέον αναγκαία την υιοθέτηση τεχνικών απλών, οι οποίες θα μπορούν εύκολα και γρήγορα να παρέχουν αξιόπιστες μετρήσεις. Για αυτό το σκοπό αναπτύχθηκαν οι αντικειμενικές μετρήσεις ποιότητας βίντεο, μετρήσεις που υπολογίζουν την εξοικονόμηση εύρους ζώνης αλλά και μετρήσεις που υπολογίζουν τις παραμέτρους υφής, οι οποίες αξιοποιώντας μεγέθη τα οποία μπορούν να μετρηθούν - εκτιμηθούν αντικειμενικά, εξομοιώνουν τις μετρήσεις των αντίστοιχων μεθόδων και μας παρέχουν εύκολα αξιόπιστες μετρήσεις.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται μερικές από τις πιο γνωστές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ευρέως και θα χρησιμοποιηθούν και στην εργασία αυτή για την εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων.

3.2. Αντικειμενικές Τεχνικές Αξιολόγησης Ποιότητας Βίντεο

3.2.1. PSNR

Ο όρος PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) είναι ένας full reference αλγόριθμος ο οποίος εκφράζει την διαφορά σήματος μεταξύ της μέγιστης δυνατής τιμής και την δύναμη παραμόρφωσης του σήματος που επηρεάζει την ποιότητα του [16]. Με λίγα λόγια είναι ένα μέτρο εκτίμησης της επίδρασης των λαθών που συμβαίνουν σε ένα σύστημα μετάδοση σήματος βίντεο ή ακόμη και κωδικοποίησης βίντεο. Το PSNR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της παραμόρφωσης μίας εικόνας ή πλαισίου λόγω των λαθών στην μετάδοση και κωδικοποίηση, σε σύγκριση με την αρχική εικόνα ή πλαίσιο. Σε διάφορες βιβλιογραφίες αναφέρονται διάφοροι τρόποι ορισμού του, ένας από αυτούς δίνεται από την πιο κάτω σχέση:

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

ή αλλιώς

$$PSNR = 20 * \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right)$$

όπου MAX_I είναι η μέγιστη τιμή του pixel μίας εικόνας. Όταν το κάθε pixel αναπαριστάται με 8-bits τότε η τιμή αυτή είναι 256. Ο όρος PSNR εκφράζεται σε dB (decibel) και οι συνηθισμένες τιμές για μια συμπιεσμένη εικόνα είναι μεταξύ 30 και 40 dB. Για να υπολογίσουμε το PSNR αρχικά υπολογίζουμε το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (MSE - Mean Squared Error) [17] ανάμεσα στην αρχική και την τελική μας εικόνα με τον παρακάτω τύπο:

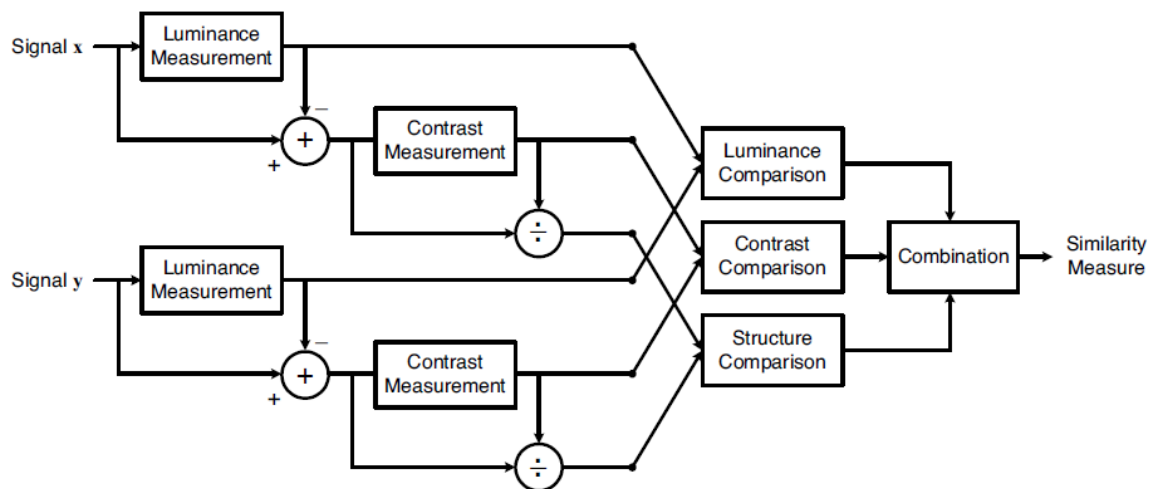
$$MSE = \frac{1}{m * n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [I(i, j) - K(i, j)]^2$$

όπου για κάθε frame έχουμε το m να είναι το πλάτος της εικόνας, το n να είναι το ύψος της εικόνας, το i είναι η στήλη που βρίσκεται το pixel, το j είναι η γραμμή που βρίσκεται το pixel και με $I(i, j)$ και $K(i, j)$ το αρχικό και το παραμορφωμένο βίντεο αντίστοιχα.

Όταν συγκρίνουμε ένα αρχικό βίντεο και ένα βίντεο που έχει υποστεί συμπίεση το PSNR συνήθως κυμαίνεται από 30 έως 50 dB. Όσο πιο μεγάλο είναι το PSNR τόσο λιγότερη παραμόρφωση υπάρχει στο βίντεο. Επιπλέον το PSNR είναι αλγόριθμος πλήρους αναφοράς δηλαδή απαιτείται και το αρχικό και το τελικό βίντεο και η εφαρμογή προϋποθέτει ότι οι δοκιμές αναφέρονται στο ίδιο περιεχόμενο και οι κωδικοποιήσεις έγιναν με τον ίδιο αλγόριθμο συμπίεσης. Επίσης υπολογίζεται μόνο η φωτεινότητα επειδή η ανθρώπινη όραση είναι πιο ευαίσθητη σε διαφορές ποσότητας φωτός έτσι μετρώντας μόνο την φωτεινότητα δεν λαμβάνει υπόψη τις απώλειες που προκαλούνται από την μετατροπή RGB σε YUV.

3.2.2. SSIM

Ο SSIM (Structural SIMilarity) είναι και αυτός ένας full reference αλγόριθμος που δέχεται για εισόδους δυο σήματα (εικόνες) [18]. Το σύστημα διαχωρίζει τις διεργασίες για την μέτρηση της ομοιότητας σε τρεις βασικές κατηγορίες οι οποίες είναι η φωτεινότητα (luminance) , Αντίθεση (contrast) και στην Δομή (structure). Στο πιο κάτω σχήμα φαίνονται ξεκάθαρα τα επίπεδα που μόλις έχουμε αναφέρει.



Σχήμα 3.1: Λειτουργία SSIM [18]

Αρχικά υπολογίζεται η φωτεινότητα (luminance) από κάθε σήμα (εικόνα) , αυτή υπολογίζεται ως η μέση ένταση φωτεινότητας του κάθε σήματος από τον τύπο

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Υπολογίζουμε το μ_x και το μ_y για τα δύο σήματα με τον ίδιο τύπο πιο πάνω.

Στο δεύτερο βήμα αφαιρούμε την μέση ένταση φωτεινότητας και από τα δύο σήματα. Το σήμα που παράγεται είναι $x - \mu_x$ και αντίστοιχα $y - \mu_y$.

Ακολουθως υπολογίζεται η αντίθεση (contrast) χρησιμοποιώντας την τυπική απόκλιση (τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης) για την εκτίμηση του contrast του σήματος, χρησιμοποιώντας το τύπο

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2$$

Στο τρίτο βήμα το σήμα κανονικοποιείται διαιρώντας το με την τυπική απόκλιση του έτσι ώστε και τα δύο σήματα να έχουν μονάδα για τυπική απόκλιση. Η σύγκριση της δομής γίνεται με αυτά τα κανονικοποιημένα σήματα.

$$\frac{(x - \mu_x)}{\sigma_x} \quad \text{και} \quad \frac{(y - \mu_y)}{\sigma_y}$$

Τέλος τα 3 αυτά στοιχεία συνδυάζονται για να μας δώσουν ένα συνολικό αποτέλεσμα ομοιότητας.

Για να ολοκληρωθεί η μέτρηση της ομοιότητας της δομής ορίζονται τρεις βασικές συνιστώσες οι οποίες είναι το luminance (x,y), το contrast(x, y) και το structure(x,y).

Η σύγκριση φωτεινότητας luminance (x,y), γίνεται με τον εξής τύπο

$$luminance(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}$$

Η σταθερά C_1 περιλαμβάνεται για να αποφύγουμε αστάθεια όταν ο παρονομαστής πλησιάζει το μηδέν. Η σταθερά C_1 υπολογίζεται με τον τύπο

$$C_1 = (K_1 L)^2$$

Όπου L είναι το εύρος των τιμών των Pixels και το $K_1 < 1$.

Η σύγκριση της αντίθεσης $\text{contrast}(x,y)$ δίνεται από τον πιο κάτω τύπο

$$\text{contrast}(x,y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}$$

Η σταθερά C_2 υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και η C_1 .

Η τελευταία σύγκριση είναι η σύγκριση δομής που γίνεται μετά από την αφαίρεση της φωτεινότητας και μετά την κοινωνικοποίηση (normalization) των σημάτων. Ο τύπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό είναι

$$\text{structure}(x,y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}$$

Ο τύπος για να υπολογιστεί η σταθερά C_3 είναι ο εξής

$$C_3 = \frac{C_2}{2}$$

Τέλος συνδυάζοντας αυτές τις τρεις μετρήσεις - συγκρίσεις βγαίνει το τελικό αποτέλεσμα της μέτρησης της ομοιότητας (SSIM) μεταξύ των σημάτων x και y .

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}$$

3.3. Υπολογισμός Εξοικονόμησης Εύρους Ζώνης για Αντίστοιχη Ποιότητα

Στις μέρες μας ένα από τα σημαντικότερα θέματα που απασχολούν το κλάδο της πληροφορικής είναι η αυξανόμενη ροή πληροφοριών που υπάρχει στο δίκτυο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους ζώνης (bandwidth) ανάμεσα στα κανάλια που μεταφέρουν τις πληροφορίες. Έτσι με αφορμή αυτό το πρόβλημα θα εξετάσουμε ποιες από τις κωδικοποιήσεις που αναφέραμε στο Κεφάλαιο 2 προσφέρει την καλύτερη ποιότητα βίντεο σε σχέση με το εύρος ζώνης που της αναλογεί.

Ένας σημαντικός τομέας στον οποίο δουλεύουν συνεχώς οι ομάδες που παράγουν πρότυπα κωδικοποίησης είναι η βελτίωση του ρυθμού μεταφοράς ενός βίντεο με την προϋπόθεση η ποιότητα του βίντεο να μην έχει επηρεαστεί. Όντως αν παρατηρήσουμε και συγκρίνουμε τις τιμές που χρειάζονται τα αρχικά πρότυπα που αναπτύχθηκαν με τα πιο πρόσφατα θα δούμε μια αισθητή βελτίωση στο τρόπο διαχείρισης του εύρους ζώνης που χρησιμοποιούν.

3.3.1. Bit-Rate

Το bit rate αναφέρεται στην ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων μέσα από ένα κανάλι. Η μονάδα μέτρησης του bit rate είναι σε bits ανά δευτερόλεπτο (bits per second, bps). Στα πλαίσια της εργασίας αυτής χρησιμοποιήσαμε το bit rate σε σχέση με το PSNR (Peak Signal to Noise Ratio). Αυτή η συσχέτιση μας δίνει την δυνατότητα να παρατηρήσουμε το πως ανάλογα με την ποιότητα ενός βίντεο πως αλλάζει το bit rate. Το ιδανικότερο βίντεο είναι αυτό που θα έχει υψηλό PSNR (δηλαδή χαμηλότερη παραμόρφωση) και χαμηλό bit rate. Έτσι δημιουργήσαμε διαφορετικά σενάρια με διαφορετικά βίντεο και παραμέτρους κβαντοποίησης για να παρατηρήσουμε σε ποιες περιπτώσεις παίρνουμε τα καλύτερα αποτελέσματα.

3.4. Μεθοδολογία Αξιολόγησης στην Παρούσα Εργασία

Σε αυτό το σημείο θα γίνει αναφορά στην μεθοδολογία αξιολόγησης που ακολουθήθηκε στην εργασία αυτή για την αξιολόγηση των βίντεο που χρησιμοποιήσαμε. Οι τεχνικές αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτές που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Ένα αρκετά χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για να γίνουν οι αξιολογήσεις αυτές είναι το MeTriX Mux [19]. Το πακέτο αυτό περιλαμβάνει wrapper code, που περιέχει μία

ποικιλία από υλοποιήσεις για video quality metrics. Στην συνέχεια θα αναφερθούμε πως χρησιμοποιήθηκαν αυτές οι υλοποιήσεις για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων που θα παρουσιαστούν στο Κεφάλαιο 5.

Αρχικά στα πλαίσια της εργασίας αυτής χρησιμοποιήσαμε ένα σετ από δέκα ιατρικά βίντεο για να μπορέσουμε να κάνουμε τις μετρήσεις μας βάση αυτά. Στην συνέχεια χρησιμοποιήσαμε πέντε διαφορετικούς κωδικοποιητές για να κωδικοποιήσουμε αυτά τα δέκα βίντεο. Οι κωδικοποιητές που χρησιμοποιήθηκαν είναι το νέο πρότυπο HEVC το οποίο αναπτύχθηκε πρόσφατα, το H.264, το MPEG4, το H.263 και τέλος το MPEG2. Οι επιλογές μας αυτές έγιναν γιατί πέραν από το ότι είναι τα δημοφιλέστερα και χρησιμοποιούνται ευρέως σε αρκετές εφαρμογές, μερικά από αυτά χρησιμοποιούν ίδιες λειτουργίες ως προς την κωδικοποίηση και έτσι θα ήταν ενδιαφέρον να μελετήσουμε κατά πόσο διαφέρουν σε ποιότητα αλλά και ρυθμό μετάδοσης. Αφού λοιπόν επιλέξαμε τους κωδικοποιητές μας και τα βίντεο που θα χρησιμοποιήσουμε σκεφτήκαμε πέραν από τις διαφορετικές κωδικοποιήσεις να χρησιμοποιήσουμε και διαφορετικές παραμέτρους κβαντοποίησης. Αυτό θα μας έδινε περισσότερες λεπτομέρειες για την κάθε κωδικοποίηση και πως αυτή συμπεριφέρεται στον τρόπο κωδικοποίησης με διαφορετικές παραμέτρους. Οι παράμετροι κβαντοποίησης για τα πρότυπα HEVC και H.264 ήταν τα 42,40,38,36,34,32,30,28,26,24,22 και 20 συγκεκριμένα δώδεκα QP's για αυτές τις δύο κωδικοποιήσεις και για τα υπόλοιπα (MPEG2,MPEG4 και H.263) χρησιμοποιήθηκαν τα 31,25,20,26,23,10,8,6,5,4,3 και 2. Αυτή η διαφορά στις παραμέτρους κβαντοποίησης οφείλεται στην διαφορετική υλοποίηση του τρόπου κβαντοποίησης που χρησιμοποιείται στο HEVC και H.264 με τα υπόλοιπα πρότυπα αλλά και στο να υπάρχει σωστή αντιστοιχίσει μεταξύ των δύο αυτών κατηγοριών κβαντοποίησης σύμφωνα με την συγκεκριμένη έρευνα [20]. Τελειώνοντας με την συγκεκριμένη διαδικασία και αφού το δείγμα μας από τα δέκα βίντεο κωδικοποιήθηκε ορθά με τα πρότυπα που αναφέραμε πιο πάνω και τις συγκεκριμένες παραμέτρους κβαντοποίησης μπορούσαμε να πάρουμε τις μετρήσεις μας. Μέσα από τα κωδικοποιημένα μας βίντεο επιλέξαμε να πάρουμε τις τιμές από τρία διαφορετικά quality metrics τα οποία ήταν το MSE (Mean Square Error), το PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) και το SSIM (Structural Similarity) αφού οι τρεις αυτές μέθοδοι αξιολόγησης προσφέρουν σημαντικές λεπτομέρειες για την ποιότητα του βίντεο. Για την μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκαν προγράμματα στην Matlab τα οποία βοήθησαν στο παραχθούν οι μετρήσεις αυτές. Συγκεντρώνοντας τις τιμές αυτές ξεχωριστά για το κάθε βίντεο, για την

κάθε κωδικοποίηση και για την κάθε παράμετρο κβαντοποίησης είχαμε τα πρώτα συγκριτικά αποτελέσματα που αφορούσαν την ποιότητα. Η ίδια μέθοδος ακολουθήθηκε και για να παραχθούν τα αποτελέσματα του ρυθμού μετάδοσης (bit rate) για τα συγκεκριμένα κωδικοποιημένα βίντεο αφού θα μπορούσε να μας δώσει μια καλή σύγκριση ανάλογα με την ποιότητα. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν έτσι ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε και τα κέρδη που μας προσφέρει η κάθε μια κωδικοποίηση συγκρίνοντας την με τις υπόλοιπες. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή αυτών των αποτελεσμάτων είναι μέσω ενός χρήσιμου προγράμματος (bjontegaard.mat) το οποίο προσφέρει την δυνατότητα για τον υπολογισμό του μέσου όρου κέρδους για την παράμετρο αξιολόγησης ποιότητας PSNR αλλά και την διαφορά σε ποσοστό μεταξύ δύο ή περισσότερων rate distortions [21] [22] . Τα αποτελέσματα που υπολογίζονται φυλάγονται υπό την μορφή πίνακα στην matlab. Έτσι με αυτό το τρόπο υπολογίσαμε τα bit rate gains μεταξύ των κωδικοποιήσεων και φίλτρων και τα οποία θα παρουσιασθούν στο Κεφάλαιο 5. Παίρνοντας όλες αυτές τις πληροφορίες από το δείγμα μας μπορούσαμε να τις συγκρίνουμε έτσι ώστε να υπάρχει μια ξεκάθαρη εικόνα για τα αποτελέσματα μας. Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούμε στην μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Με την βοήθεια της Matlab καταφέραμε να δημιουργήσουμε boxplots για τις αξιολογήσεις ποιότητας. Τα boxplots είναι ένας γραφικός τρόπος παρουσίασης ομαδοποιημένων αποτελεσμάτων σε σύγκριση με μία άλλη τιμή. Επιπλέον τα boxplots δίνουν την δυνατότητα να παρουσιάζεται όλο το εύρος (από μικρότερο μέχρι το μεγαλύτερο) που καλύπτουν οι ομαδοποιημένες τιμές καθώς και την median τιμή όλων αυτών. Στην δική μας εργασία η ομαδοποίηση των δεδομένων που έγινε για να μπορούν να παραχθούν τα boxplots είναι στις τιμές του PSNR, MSE και SSIM. Δηλαδή συγκεντρώσαμε τις τιμές από τα δέκα βίντεο που είχαμε ως δείγμα και τα κωδικοποιήσαμε για παράδειγμα με το πρότυπο HEVC και με παράμετρο κβαντοποίησης 20 και τις ομαδοποιήσαμε έτσι ώστε να έχουμε μια γραφική παράσταση η οποία περιέχει για όλα τα QP's και όλες τις ομαδοποιημένες τιμές. Αυτό έγινε για όλες τις κωδικοποιήσεις αλλά και για όλες τις μονάδες αξιολόγησης (PSNR, MSE και SSIM). Επιπλέον δημιουργήσαμε γραφικές παραστάσεις οι οποίες δείχνουν το rate-distortion για κάθε κωδικοποίηση. Το rate-distortion είναι μια μέθοδος η οποία αναφέρεται στην βελτιστοποίηση του ποσού στρέβλωσης σε σχέση με το ποσό των δεδομένων που απαιτείται για την κωδικοποίηση του βίντεο [23]. Η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για την παρουσίαση των rate-distortion-curves ήταν να συγκεντρώσουμε όλες τις τιμές του PSNR για το κάθε QP ξεχωριστά για μία

κωδικοποίηση και να βρούμε την median τιμή για το κάθε QP. Στην συνέχεια χρησιμοποιήσαμε την ίδια μέθοδο και για το bit rate και έτσι είχαμε τις τιμές οι οποίες θα μας έδιναν τα rate-distortion-curves για την κάθε κωδικοποίηση.

Η διαδικασία που αναφέρθηκε πιο πάνω εφαρμόστηκε στα αρχικά βίντεο αλλά και στα ίδια βίντεο με εφαρμογή φίλτρων που σκοπό τους ήταν να μειώσουν το θόρυβο. Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή είναι το DsFlsmv (DsFlsmv), το Hybrid Median (DsFhmedian) και το Speckle Reducing Anisotropic Diffusion (DsFsrاد). Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή για το κάθε φίλτρο και ποιες οι λειτουργίες του κατά την εφαρμογή του σε ένα βίντεο.

Το DsFlsmv είναι ένα φίλτρο το οποίο ανήκει στην κατηγορία των γραμμικών ψηφιακών φίλτρων και βασική λειτουργία του είναι η τοπική στατιστική ανάλυση του πλαισίου, συγκεκριμένα στον τοπικό μέσο όρο και την τοπική διακύμανση [24] [25]. Ορισμός του φίλτρου αυτού περιγράφεται από την πιο κάτω σχέση:

$$f_{i,j} = \bar{g} + k_{i,j}(g_{i,j} - \bar{g})$$

όπου $f_{i,j}$ είναι η τιμή της φωτεινότητας του φιλτραρισμένου στοιχείου, $\bar{g}$ είναι η τοπική μέση τιμή της περιοχής $N1 \times N2$ η οποία περιέχει το εικονοστοιχείο $g_{i,j}$, το $g_{i,j}$ είναι η τιμή της φωτεινότητας του αρχικού εικονοστοιχείου στο κινούμενο παράθυρο και τέλος το $k_{i,j} \in [0,1]$ είναι ο συντελεστής ισοστάθμισης και όπου i και j οι συντεταγμένες του εικονοστοιχείου. Ο συντελεστής ισοστάθμισης υπολογίζεται με εξής τύπο:

$$k_{i,j} = \frac{(1 - \overline{(g)}^2 \sigma^2)}{(\sigma^2(1 + \sigma_n^2))}$$

όπου σ^2 είναι η διακύμανση της φωτεινότητας του εικονοστοιχείου και σ_n^2 είναι η διακύμανση του θορύβου σε όλο το πλαίσιο. Όπως αναφέραμε και πιο πάνω οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής ισοστάθμισης είναι μηδέν ή ένα. Η τιμή του συντελεστή ισοστάθμισης παίρνει την τιμή ένα όταν βρίσκεται σε περιοχές ακμών και αυτό οδηγεί στην δημιουργία ενός νέου αμετάβλητου εικονοστοιχείου $f_{i,j}$. Ενώ σε

περίπτωση που ισούται με μηδέν που συμβαίνει όταν βρισκόμαστε σε περιοχές οι οποίες είναι ομοιόμορφες τότε ισούται με την τοπική μέση τιμή. Ο υπολογισμός της διακύμανσης θορύβου σε κάθε παράθυρο δίνεται από τον πιο κάτω τύπο:

$$\sigma_n^2 = \sum_{i=1}^p \frac{\sigma_p^2}{\bar{g}_p}$$

όπου p είναι ο δείκτης που καλύπτει όλα τα παράθυρα σε ολόκληρο το πλαίσιο (frame) του βίντεο, σ_n^2 είναι η διακύμανση του θορύβου στο επιλεγμένο παράθυρο και $\bar{g}$ είναι η μέση τιμή του θορύβου στο επιλεγμένο παράθυρο.

Μερικές από τις επιρροές που έχει το φίλτρο αυτό στο βίντεο είναι να κάνει το βίντεο πιο ομοιογενές και τις ακμές πιο ορατές στο ανθρώπινο μάτι. Επιπλέον στοιχεία που προσφέρει το φίλτρο αυτό είναι η φωτεινότητα αλλά και η αυξημένη αντίθεση χωρίς βέβαια να υπάρξει αλλοίωση στα χαρακτηριστικά του βίντεο.

Το φίλτρο Speckle Reducing Anisotropic Diffusion (DsFsrad) είναι ένα ψηφιακό φίλτρο το οποίο ενσωματώνει τις πιο τοπικές στατιστικές στο πλαίσιο του βίντεο της αντί-ισοτροπικής διάχυσης για να εξομαλύνει της τις ομοιογενές περιοχές [26]. Αυτή η λειτουργία του φίλτρου βασίζεται σε μια μη γραμμική μερική διαφορική εξίσωση (ΜΔΕ) η οποία ορίζεται ως εξής:

$$\frac{\partial I(i,j;t)}{\partial t} = \text{div} [c(q)\nabla I(i,j;t)]$$

όπου i, j είναι συντεταγμένες στο πλαίσιο του βίντεο, t είναι ο χρόνος διάχυσης, $I(i,j;t)$ είναι η συνάρτηση έντασης του πλαισίου και $c(q) \in [0,1]$ είναι ο συντελεστής διάχυσης ο οποίος ενσωματώνει τις τοπικές στατιστικές και υπολογίζεται με τον πιο κάτω τύπο:

$$c(q) = \left[1 + \frac{[q(i,j;t)^2 - q_0^2(t)]}{q_0^2(t)[1 + q_0^2(t)]} \right]^{-1}$$

όπου $q(i, j)$ είναι ο στιγμιαίος συντελεστής διακύμανσης και q_0 είναι η κλίμακα λειτουργίας του πολλαπλασιαζόμενου θορύβου. Ο στιγμιαίος συντελεστής διακύμανσης υπολογίζεται στο διακριτό πεδίο του συντελεστή μεταβλητότητας σε ένα μόνο σημείο μέσα στο εκάστοτε πλαίσιο και δίνεται από:

$$q(i, j; t) = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{\nabla I}{I}\right) - \left(\frac{1}{16}\right)\left(\frac{\nabla^2 I}{I}\right)^2}{\left[1 + \left(\frac{1}{4}\right)\left(\frac{\nabla^2 I}{I}\right)\right]^2}}$$

το $q_0(t)$ είναι η κλίμακα λειτουργίας του πολλαπλασιαζόμενου θορύβου και προσδιορίζεται από τον υπολογισμό του συντελεστή μεταβλητότητας σε μια ομοιογενή περιοχή, $b(t)$, και ορίζεται με:

$$q_0(t) = \frac{\sqrt{\sigma(b(t))}}{\mu(b(t))}$$

όπου $\sigma(b(t))$ είναι η τυπική απόκλιση της ομοιογενούς περιοχής και $\mu(b(t))$ είναι η μέση τιμή της ομοιογενούς περιοχής.

Στην περίπτωση όπου το κεντρικό εικονοστοιχείο στηρίζεται στα τέσσερα γειτονικά εικονοστοιχεία (δυτικά, ανατολικά, βόρεια και νότια) τότε το DsFsrad γίνεται διακριτό. Τα τέσσερα γειτονικά εικονοστοιχεία υπολογίζονται με της εξής εξισώσεις:

$$I_N = I(i - 1, j)$$

$$I_S = I(i + 1, j)$$

$$I_W = I(i, j - 1)$$

$$I_E = I(i, j + 1)$$

αφού υπολογιστούν τα τέσσερα εικονοστοιχεία στην συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κλίσης σε κάθε κατεύθυνση με τον εξής τρόπο:

$$\nabla I_N = I_N - I$$

$$\nabla I_S = I_S - I$$

$$\nabla I_W = I_W - I$$

$$\nabla I_E = I_E - I$$

$$\nabla^2 I = I_E I_W I_S I_N - 4I$$

όπου $\nabla^2 I$ είναι η εξίσωση laplacian.

Τα στοιχεία που προσφέρει το φίλτρο αυτό στο βίντεο είναι παρόμοια με αυτά του DsFlsmv (DsFlsmv). Δηλαδή ομοιογένεια και πιο ευδιάκριτες ακμές , αυξημένη αντίθεση και αύξηση στην εντροπία.

Το φίλτρο Hybrid Median (DsFhmedian) έχει παρόμοια λειτουργία με το φίλτρο μέσου όσου με την μόνη διαφορά ότι το DsFhmedian λειτουργεί σε κινούμενο παράθυρο διαστάσεων 5x5 εικονοστοιχείων [27]. Το κεντρικό εικονοστοιχείο αντικαθιστάται από την διάμεσο των γειτονικών στοιχείων όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.

E	-	D	-	C
-	E	D	C	-
F	F	A	B	B
-	G	H	I	-
G	-	H	-	I

Σχήμα 3.2: Μορφή γειτονικών στοιχείων κινούμενου παραθύρου [25]

Αυτό επαναλαμβάνεται για όλο το πλαίσιο και για όλα τα πλαίσια του βίντεο. Ο υπολογισμός του δίνεται από τον εξής τύπο:

$$A' = median(A, median(A, B, D, F, H), median(A, C, E, G, I))$$

Μερικές από τις αλλαγές που επιφέρει το συγκεκριμένο φίλτρο στο βίντεο είναι η αύξηση των γκρι περιοχών του πλαισίου καθώς επίσης αυξάνει το μαύρο χρώμα του πλαισίου και ελαχιστοποιεί τις άσπρες περιοχές. Επιπλέον κατά την εφαρμογή του στο βίντεο παρατηρείται ομοιογένεια και σκαμπανεβάσματα στις γκρι φωτεινότητες.

Κεφάλαιο 4. Ανάπτυξη Συστήματος

4.1. Διαδικασία Κωδικοποίησης	35
4.2. Διαδικασία Εξαγωγής Αποτελεσμάτων	38

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε περιγραφεί στην μεθοδολογία (η διαδικασία κωδικοποίησης και εξαγωγής χρήσιμων αποτελεσμάτων) στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια περιεκτική ανάλυση στη ανάπτυξη του συστήματος καθώς θα περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο υλοποιήσαμε την μεθοδολογία αυτή. Δηλαδή τα εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε για να μπορέσουμε να έχουμε τα αποτελέσματα που ακολουθούν και θα γίνει σε μεταγενέστερο στάδιο η ανάλυση και η σύγκριση τους.

4.1. Διαδικασία Κωδικοποίησης

Στις ακόλουθες παραγράφους θα γίνει μία αναφορά στην διαδικασία κωδικοποίησης των βίντεο και πώς αυτή υλοποιήθηκε. Αυτό το μέρος της εργασίας είναι ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια που χρειαζόταν να υλοποιηθεί για την ολοκλήρωση του σκοπού που είχε από την αρχή η εργασία αυτή. Το κύριο στοιχείο της διαδικασίας αυτής ήταν να δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να μπορεί αυτοματοποιημένα να κωδικοποιήσει ένα βίντεο ή μια ομάδα από βίντεο με τα πρότυπα HEVC, H.264, H.263, MPEG4 και MPEG2. Αυτό έγινε για να μπορέσουμε εύκολα αλλά και γρήγορα να κωδικοποιούμε βίντεο ή ομάδες από βίντεο όποια και να είναι αυτά.

Αρχικά για την επίτευξη του στόχου αυτού υπήρξε μια εξοικείωση ως προς το πώς λειτουργεί το κάθε πρότυπο για να μπορέσουμε στην συνέχεια να δημιουργήσουμε ένα σύστημα το οποίο να περιλαμβάνει όλα τα πρότυπα. Αυτό έγινε μέσα από μια διαδικασία κωδικοποίησης ενός βίντεο για αρχή με όλους του κωδικοποιητές έτσι ώστε να συγκεντρώσουμε όλες τις παραμέτρους που χρειαζόμαστε για να δημιουργήσουμε το αυτοματοποιημένο μας σύστημα. Στο σημείο αυτό σημαντικό είναι να αναφέρουμε τον τρόπο με τον οποίο εκτελούσαμε τις εντολές κωδικοποίησης. Οι εντολές κωδικοποίησης όπως και τα υπόλοιπα που θα αναφερθούν πιο κάτω λειτουργούν μέσω αρχείων bash τα οποία συνδέονται μεταξύ τους. Η ιεράρχηση η οποία ακολουθήθηκε για την υλοποίηση αυτών των bash αρχείων είναι η ύπαρξη ενός κύριου αρχείου bash στο

οποίο είναι όλες οι παράμετροι κωδικοποίησης καταγεγραμμένοι και η κύρια λειτουργία του είναι να στέλνει στα υπόλοιπα bash αρχεία τις παραμέτρους που χρειάζονται για να εκτελέσουν και αυτά με την σειρά τους τις λειτουργίες τους.

Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω το κύριο αρχείο περιέχει τις παραμέτρους τις οποίες ο χρήστης του συστήματος αυτού θα καθορίζει. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- Όνομα Κωδικοποίησης
- Παράμετροι Κβαντοποίησης
- Ονομασία βίντεο
- Ανάλυση Βίντεο (width και height)
- Frame Rate
- Number of frames
- Path original video
- Path compressed video

Το όνομα της κωδικοποίησης έχει ορισθεί ως ένας μονοδιάστατος πίνακας που περιέχει τα strings με τις ονομασίες των προτύπων και όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.1 είναι η μεταβλητή VCS_Array. Η επιλογή μας αυτή δηλαδή να ορισθεί ως πίνακας ήταν για το λόγο ότι ο χρήστης μπορεί να δώσει πολλαπλά πρότυπα προς κωδικοποίηση. Οι παράμετροι κβαντοποίησης έχουν ορισθεί ως δύο ξεχωριστοί πίνακες για τον λόγο ότι χρησιμοποιούμε διαφορετικά QP's για το HEVC και H.264 και διαφορετικά για τα υπόλοιπα πρότυπα τα οποία είναι το QP_Array1 και QP_Array2 στο Σχήμα 4.1 αντίστοιχα. Ανάλογα με το ποια κωδικοποίηση εκτελείται χρησιμοποιείται και ο κατάλληλος πίνακας κβαντοποίησης. Επιπλέον ένας ακόμη λόγος που οι παράμετροι κωδικοποίησης ορίστηκαν ως πίνακες ήταν για να μπορεί ο χρήστης να δίνει όσες επιλογές επιθυμεί. Η παράμετρος για την ονομασία των βίντεο έχει οριστεί και αυτή ως ένας μονοδιάστατος πίνακας με το όνομα Video_Array βάση με το Σχήμα 4.1 για τον ίδιο λόγο με τους δύο προηγούμενους πίνακες. Το width και το height είναι το resolution που έχει το βίντεο (στην περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε βίντεο με το ίδιο resolution) και στο Σχήμα 4.1 είναι οι μεταβλητές Width και Height αντίστοιχα. Αυτές οι δυο παράμετροι ορίστηκαν ως μεταβλητές όπου στην bash αναγνωρίζονται ως strings. Το frame rate είναι και αυτό μια μεταβλητή η οποία καθορίζει το ρυθμό πλαισίων ανά δευτερόλεπτο που έχει ένα βίντεο. Η παράμετρος number of frames καθορίζει το ρυθμό το συνολικό

αριθμό από frames που έχει το βίντεο. Οι παράμετροι για τα paths αναπαριστώνται ως strings και το path original video είναι το μονοπάτι που βρίσκεται το βίντεο προς κωδικοποίηση ενώ το path compressed video είναι το μονοπάτι στο οποίο θα αποθηκευτεί το κωδικοποιημένο βίντεο.

Αφού λοιπόν καθορίσαμε της παραμέτρους που χρειαζόμασταν θα αναλύσουμε σε αυτό το σημείο πως υλοποιείται η κωδικοποίηση των βίντεο. Για την κωδικοποίηση των βίντεο για κάθε πρότυπο χρησιμοποιούνται τα configuration files όπου σε αυτά τα αρχεία υπάρχουν αποθηκευμένες οι παράμετροι κωδικοποίησης για το κάθε πρότυπο. Έτσι στο αρχικό μας bash αρχείο καλούμε ένα άλλο bash αρχείο το οποίο δημιουργεί δυναμικά τα configuration files για κάθε πρότυπο με τον εξής τύπο που παρουσιάζεται στην πιο κάτω εικόνα.

```
bash create_conf_file.sh "$VCS_Array" "$QP_Array1" "$QP_Array2" "$Video_Array" $Width $Height
```

Σχήμα 4.1: Κάλεσμα αρχείου bash για την δημιουργία των configuration files

Οι παράμετροι που στέλνονται σε αυτό το αρχείο είναι ο πίνακας με τις κωδικοποιήσεις, οι δύο πίνακες κβαντοποίησης , ο πίνακας που περιέχει τα ονόματα των βίντεο ,το width και height και τέλος ο αριθμός των frames .

Από την μεριά του τώρα το αρχείο που δημιουργεί τα configuration files παίρνει τις παραμέτρους που του στέλνονται από το αρχικό bash αρχείο και τις αποθηκεύει σε τοπικές μεταβλητές και πίνακες που δηλώθηκαν σε αυτό το αρχείο έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την δημιουργία ενός configuration file είναι πολύ απλή. Χρησιμοποιώντας τρία φωλιασμένα loops γίνονται όλες οι ενέργειες για την δυναμική δημιουργία των configuration files. Το πρώτο loop είναι αυτό που κάνει προσπέλαση στον πίνακα με τα ονόματα των βίντεο. Το δεύτερο είναι αυτό που κάνει προσπέλαση στον πίνακα με τις κωδικοποιήσεις ενώ στο τρίτο και τελευταίο loop γίνεται προσπέλαση του πίνακα κβαντοποίησης αφού βέβαια ελέγξουμε πρώτα ποια κωδικοποίηση είναι για να χρησιμοποιηθεί σωστός πίνακας κβαντοποίησης. Στο εσωτερικό των τριών loops βρίσκονται οι εντολές οι οποίες αλλάζουν δυναμικά το περιεχόμενο του κατάλληλου configuration file για να μπορέσει στην συνέχεια να κωδικοποιηθεί με τις σωστές παραμέτρους. Οι γραμμές αυτές

περιέχουν, το path για το αρχικό βίντεο το οποίο είναι προς κωδικοποίηση, την ονομασία που θα δώσει στο bit-stream file , την ονομασία που θα δώσει στο κωδικοποιημένο βίντεο, την παράμετρο κβαντοποίησης και τέλος των αριθμό των frames. Αφού γίνουν οι αλλαγές στο κατάλληλο configuration file τότε εκτελείται η εντολή κωδικοποίησης. Η εντολή κωδικοποίησης για κάθε πρότυπο διαφέρει αλλά οι κύριες παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση είναι το path του encoder και το configuration file. Στο τέλος της κωδικοποίησης δημιουργούνται δύο νέα αρχεία. Το ένα αρχείο είναι το κωδικοποιημένο μας βίντεο και το άλλο είναι της μορφής .str το οποίο είναι το bit-stream file για την συγκεκριμένη κωδικοποίηση βίντεο.

Όλη η διαδικασία που έχει αναφερθεί πιο πάνω γίνεται για όλα τα βίντεο, για όλες τις κωδικοποιήσεις , για όλες τις παραμέτρους κβαντοποίησης που εισάγει ο χρήστης στο αρχικό bash αρχείο.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την κωδικοποίηση των βίντεο στα οποία έχει εφαρμοστεί φίλτρο παραμένει η ίδια με μόνη διαφορά είναι να προστεθεί ακόμη μια παράμετρος στο αρχικό bash αρχείο η οποία είναι ένας μονοδιάστατος πίνακας που περιέχει τα ονόματα των φίλτρων που έχουν εφαρμοστεί στα βίντεο. Αυτό δεν αλλάζει καμία από τις πιο πάνω λειτουργίες αφού δεν τις επηρεάζει.

4.2. Διαδικασία Εξαγωγής Αποτελεσμάτων

Ένα από τα κυριότερα κομμάτια της εργασίας αυτής ήταν η σωστή εξαγωγή αποτελεσμάτων από τα είδη κωδικοποιημένα βίντεο που είχαμε. Τα αποτελέσματα θα βοηθήσουν στο να έχουμε μια ξεκάθαρη εικόνα ως προς τις μεθόδους αξιολόγησης που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Επιπλέον με τα αποτελέσματα αυτά θα μπορούσαμε να βγάλουμε σημαντικά συμπεράσματα για την κάθε κωδικοποίηση ξεχωριστά αλλά και συγκρίνοντας τις μεταξύ τους. Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθεί η διαδικασία ανάπτυξης των εργαλείων που βοήθησαν να παραχθούν τα αποτελέσματα αυτά.

Όπως αναφέραμε και στην διαδικασία κωδικοποίησης ο σκοπός ήταν η ανάθεση όλων των λειτουργιών σε ένα κύριο αρχείο bash. Έτσι λοιπόν και αυτή η λειτουργία υπάρχει στο κύριο αρχείο bash μετά βέβαια από την κωδικοποίηση των βίντεο. Η διαδικασία που

ακολουθείται για να παραχθούν τα αποτελέσματα αυτά είναι καλώντας ένα δεύτερο bash αρχείο από το κύριο αρχείο με τις εξής παραμέτρους:

- Ονομασία Βίντεο
- Ονομασία Κωδικοποιητή
- Παράμετροι Κβαντοποίησης
- Ανάλυση Βίντεο (Width και Height)
- Frame Rate
- Number of Frames
- Path Original Video
- Path compressed Video

Στην συνέχεια το αρχείο αυτό λαμβάνει τις παραμέτρους που του στέλνονται από το κύριο αρχείο και τις αποθηκεύει σε τοπικές μεταβλητές ή μονοδιάστατους πίνακες ανάλογα με το είδος της κάθε παραμέτρου. Αφού φυλαχθούν οι μεταβλητές αυτές η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτή που έχει περιγραφεί στην διαδικασία κωδικοποίησης. Δηλαδή υπάρχουν τρία loops τα οποία είναι φωλιασμένα με την σειρά που θα αναφερθούν στην συνέχεια. Τα loops έχουν χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να εκτελεσθούν οι μετρήσεις για όλα τα βίντεο, κωδικοποιήσεις και παραμέτρους κβαντοποίησης που ο χρήστης καθόρισε στην αρχή του κύριου αρχείου. Σημαντικό στοιχείο για να αναφέρουμε είναι ότι για τις ίδιες παραμέτρους που έγινε η κωδικοποίηση γίνεται και η διαδικασία εξαγωγής αποτελεσμάτων. Η σειρά με την οποία βρίσκονται τα loops στο αρχείο αυτό είναι αρχικά το πρώτο loop όπου διασχίζουμε τον πίνακα με τα ονόματα των βίντεο, το δεύτερο loop γίνεται διάσχιση στον πίνακα με τις κωδικοποιήσεις ενώ τέλος στο τρίτο loop διασχίζουμε τον πίνακα με τις παραμέτρους κβαντοποίησης.. Δηλαδή με λίγα λόγια για να έχουμε μια ξεκάθαρη εικόνα πρώτα γίνονται οι μετρήσεις για όλα τα QP's και για όλες τις κωδικοποιήσεις που ο χρήστης όρισε και στην συνέχεια εκτελεί την ίδια διαδικασία και για τα υπόλοιπα βίντεο που έστειλε ως παράμετρο σε αυτό το αρχείο ο χρήστης από το αρχικό bash αρχείο. Η σημαντική γραμμή κώδικα που παράγει όλα τα αποτελέσματα των μετρήσεων βρίσκεται μέσα στα τρία loops και ένα παράδειγμα για την εξαγωγή μετρήσεων για την κωδικοποίηση HEVC δίνεται στο Σχήμα 4.2 για περεταίρω κατανόηση του συστήματος μας.

```
bash matlab_batcher.sh vqa_and_texfeat_unix_2 $i $j $Width $Height $k $QP_Array2 $Frame_rate $No_of_frames $Path_orig $Path_comp
```

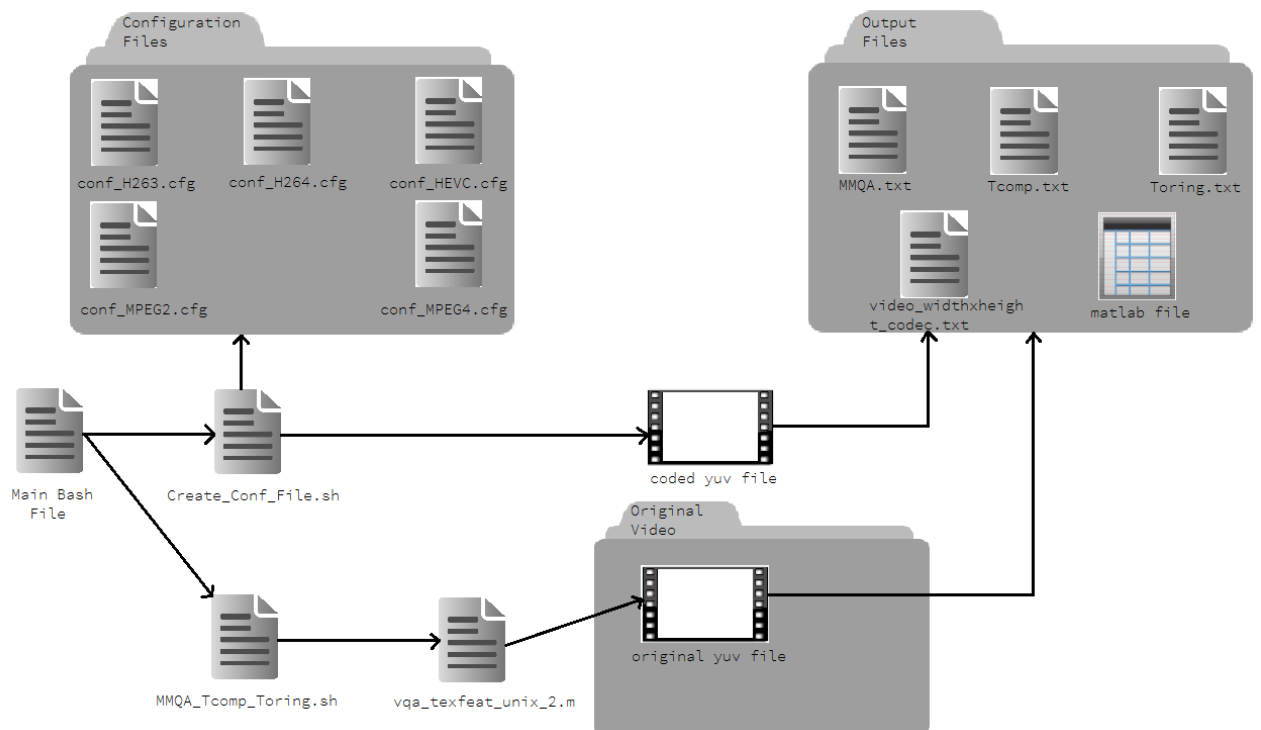
Σχήμα 4.2: Κάλεσμα αρχείου για εξαγωγή αποτελεσμάτων MMQA

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από την πιο πάνω εικόνα στο αρχείο όπου γίνονται οι πράξεις δηλαδή το `νqa_and_texfeat_unix_2` στέλνονται παράμετροι το i όπου είναι η ονομασία του βίντεο, το j η κωδικοποίηση, `width` και `height` είναι το `resolution` του βίντεο, k είναι η παράμετρος κβαντοποίησης, το `frame rate`, το `number of frames` και τα `paths` για το βίντεο το οποίο είναι το αρχικό και το `path` για το βίντεο που είναι κωδικοποιημένο. Η διαδικασία αυτή γίνεται για όλες τις κωδικοποιήσεις με τον ίδιο τρόπο και με τις ίδιες παραμέτρους.

Το αρχείο αυτό (`νqa_texfeat_unix_2`) είναι υλοποιημένο στην Matlab και σε αυτό γίνονται όλες οι πράξεις έτσι ώστε να έχουμε συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα για τις μεθόδους αξιολόγησης. Το πρόγραμμα αυτό λαμβάνει τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν πιο πάνω από το αρχείο `bash` και τις αποθηκεύει σε τοπικές μεταβλητές έτσι ώστε να υπάρξει επεξεργασία τους. Αφού λοιπόν το πρόγραμμα αυτό τελειώσει με τις πράξεις που εκτελεί δημιουργεί `text` αρχεία που περιέχουν πληροφορίες για την κάθε κωδικοποίηση αλλά και πίνακες στην μορφή `.mat` οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες για τις τεχνικές αξιολόγησης καθώς και παραμέτρων υψής. Συγκεκριμένα το `νqa_texfeat_unix_2` έχει ως έξοδο για κάθε κωδικοποίηση τρία `text` αρχεία. Αυτά τα αρχεία είναι το `MMQA.txt`, το `Tcomp.txt` και το `Toring.txt`. Τα δύο τελευταία αρχεία περιέχουν πληροφορίες για τις παραμέτρους υψής οι οποίες δεν θα εξετασθούν σε αυτή την εργασία. Το `MMQA.txt` αρχείο περιέχει πληροφορίες για μια συγκεκριμένη κωδικοποίηση και τις που έχουν διάφοροι παράμετροι ποιότητας όπως το `PSNR`, `MSE`, `SSIM`, `SNR` κ.α. Εμείς σε αυτή την εργασία θα εξετάσουμε μόνο τις τιμές του `PSNR`, `MSE` και `SSIM`. Επιπλέον ένα ακόμη `text` αρχείο που παράγεται μετά το τέλος της εκτέλεσης του `νqa_texfeat_unix_2`. Το αρχείο αυτό παίρνει την ονομασία του βίντεο που στάλθηκε ως παράμετρο για να παραχθούν οι μετρήσεις του, το `resolution` (`width` και `height`) και στο τέλος η κωδικοποίηση. Τα περιεχόμενα του αρχείου αυτού είναι όλες οι κωδικοποιήσεις με της διαφορετικές παραμέτρους κβαντοποίησης. Τα στοιχεία που μας δίνει το συγκεκριμένο αρχείο είναι πολύ λεπτομερείς καθώς σε αυτό καταγράφονται όλα τα πλαίσια (`frames`) για το βίντεο καθώς επίσης το τύπο του κάθε πλαισίου (`I-frame`, `B-frame` και `P-frame`) με τι παράμετρο κβαντοποίησης κωδικοποιήθηκε το πλαίσιο, τα `bits` που χρειάστηκαν για την κωδικοποίηση καθώς και το `PSNR` για το κάθε πλαίσιο. Επιπλέον στοιχεία που προσφέρει το αρχείο αυτό είναι η σύνοψη των συνολικών αποτελεσμάτων για το `bit-rate` καθώς και για το `PSNR` για κάθε παράμετρο

κβαντοποίησης που κωδικοποιήθηκε το βίντεο. Όλες αυτές οι πληροφορίες που προσφέρει το αρχείο αυτό είναι αρκετά πολύτιμες και σημαντικές για την δημιουργία των συμπερασμάτων μας στο τέλος. Το τελευταίο αρχείο εξόδου που παράγει το πρόγραμμα `vqa_texfeat_unix_2` είναι της μορφής `.mat` το οποίο είναι πίνακας στην Matlab. Ο πίνακας αυτός περιέχει πληροφορίες για τα διάφορα quality metrics όπως (PSNR,SSIM,MSE) καθώς και πληροφορίες για τις παραμέτρους υψής. Οι πληροφορίες αυτές φυλάγονται ξεχωριστά για κάθε κωδικοποίησι με διαφορετική παράμετρο κβαντοποίησης έτσι έχουμε ένα πίνακα για κάθε κωδικοποίηση του βίντεο.

Για τα βίντεο τα οποία έχει εφαρμοστεί φίλτρο η πιο πάνω διαδικασία παραμένει η ίδια με μόνη διαφορά ότι στο `bash` αρχείο που βρίσκονται τα `loops` προστίθεται ακόμη ένα `loop` για να εξετασθεί ποια φίλτρα έρχονται ως παράμετροι από το κύριο `bash` αρχείο.



Σχήμα 4.3: Διαγραμματική Ανάλυση Συστήματος

Κεφάλαιο 5. Ανάλυση και Σύγκριση Αποτελεσμάτων

5.1. Ανάλυση Αποτελεσμάτων Βάση Αλγορίθμων Αντικειμενικής Αξιολόγησης Βίντεο.	42
5.1.1. Ανάλυση PSNR.....	43
5.1.2. Ανάλυση MSE.....	49
5.1.3. Ανάλυση SSIM.....	54
5.2. Ανάλυση Bit-rate	59
5.2.1. Original video bit rate	59
5.2.2. Despeckle video bit rate.....	61
5.3. Περίληψη Αποτελεσμάτων	64

Μετά την λεπτομερή ανάλυση πως έχει αναπτυχθεί το σύστημα μας, στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων που δημιουργήθηκαν για την αξιολόγηση των βίντεο. Οι παράμετροι αξιολόγησης που χρησιμοποιήσαμε στα πλαίσια της εργασίας αυτής είναι το PSNR, το MSE , το SSIM καθώς και το Bit-Rate. Θα γίνει μια αναλυτική περιγραφή για την κάθε κωδικοποίηση ξεχωριστά και τις τιμές που παίρνουν οι παράμετροι αξιολόγησης για αυτή. Παράλληλα θα γίνουν συγκρίσεις μεταξύ των κωδικοποιήσεων για κάθε παράμετρο αξιολόγησης, καθώς επίσης και μεταξύ των αρχικών βίντεο (original) και των φιλτραρισμένων βίντεο για την αφαίρεση θορύβου (despeckle). Στο τέλος θα γίνει μια σύνοψη των αποτελεσμάτων έτσι ώστε να καταλήξουμε στα συμπεράσματα μας που θα βρίσκονται στο Κεφάλαιο 6.

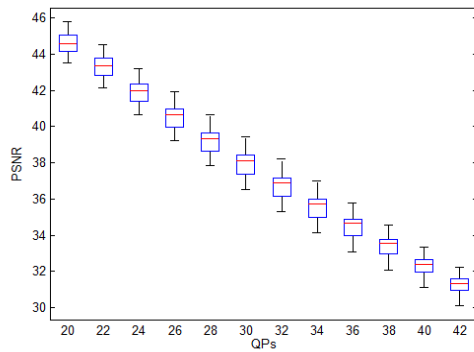
5.1. Ανάλυση Αποτελεσμάτων Βάση Αλγορίθμων Αντικειμενικής Αξιολόγησης Βίντεο

Στα πιο κάτω υποκεφάλαια θα παρουσιαστούν οι γραφικές παραστάσεις των PSNR, MSE και SSIM οι οποίες μας δείχνουν τις τιμές που συγκεντρώσαμε για την κάθε κωδικοποίηση. Οι γραφικές παραστάσεις αυτές έγιναν μέσω της Matlab και το είδος της γραφικής παράστασης που θα αναπαρασταθούν είναι τα boxplots τα οποία αναφέραμε στο Κεφάλαιο 4 τον τρόπο λειτουργίας τους.

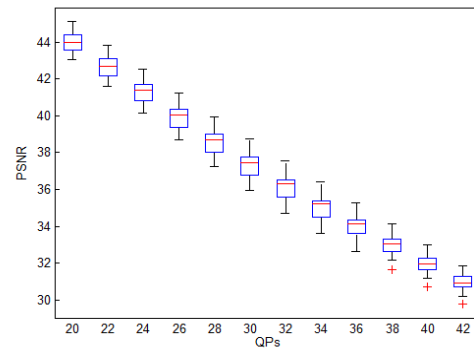
5.1.1. Ανάλυση PSNR

5.1.1.1. PSNR για Original Videos

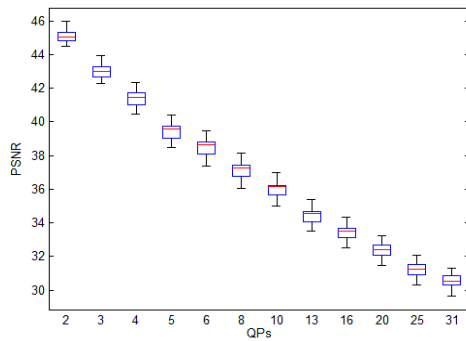
Σε αυτό το σημείο θα παρουσιάσουμε τα boxplots για τα αρχικά βίντεο τα οποία κωδικοποιήθηκαν με όλα τα πρότυπα κωδικοποίησης(HEVC,H264,H263,MPEG2 και MPEG4) .



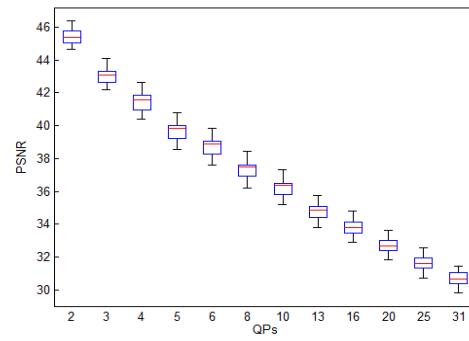
Σχήμα 5.1: HEVC - PSNR



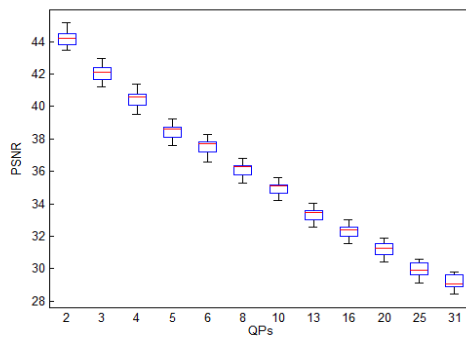
Σχήμα 5.2: H264 - PSNR



Σχήμα 5.3: H263 - PSNR



Σχήμα 5.4: MPEG4 - PSNR



Σχήμα 5.5: MPEG2 - PSNR

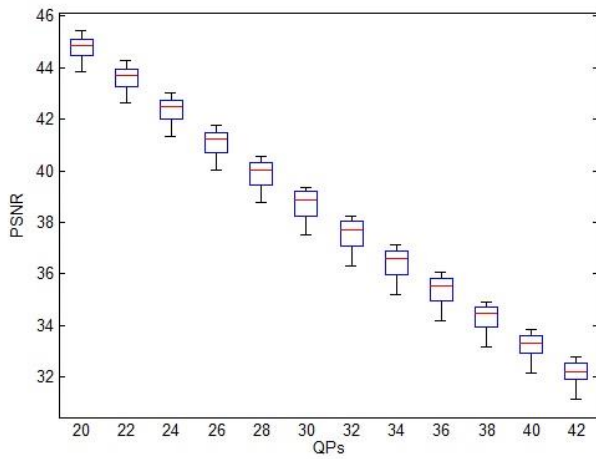
Στις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις διακρίνουμε τα boxplots τα οποία αναπαριστούν τις τιμές του PSNR σε σχέση με τις δώδεκα διαφορετικές παραμέτρους κβαντοποίησης που χρησιμοποιήσαμε. Για κάθε ένα βίντεο συγκεντρώσαμε ξεχωριστά τις τιμές για την κάθε παράμετρο κβαντοποίησης και τις αναπαραστήσαμε ανάλογα με το κάθε QP.

Στην γραφική παράσταση Σχήμα 5.1 αναπαριστά την κωδικοποίηση HEVC. Τα στοιχεία που μπορούμε να πάρουμε από την γραφική παράσταση αυτή είναι αρκετά και πολύ σημαντικά για την ποιότητα της κάθε παραμέτρου κβαντοποίησης. Οι παρατηρήσεις μας για την συγκεκριμένη γραφική παράσταση είναι ότι για την παράμετρο κβαντοποίησης 20 οι τιμές που κυμαίνεται το PSNR είναι μεταξύ του 43dB το οποίο είναι και η χαμηλότερη τιμή που παίρνει για παράμετρο κβαντοποίησης 20 ενώ η ψηλότερη τιμή είναι πολύ κοντά στα 46dB η οποία είναι και συνολικά η μεγαλύτερη από όλες τις παραμέτρους κβαντοποίησης. Καθώς οι τιμή της παραμέτρου κβαντοποίησης αυξάνεται αυτό που παρατηρούμε για το PSNR είναι ότι οι τιμές μειώνονται γραμμικά. Η χαμηλότερη τιμή PSNR που έχουμε στην κωδικοποίηση HEVC για τα αρχικά βίντεο είναι κοντά στα 30dB και αυτό είναι για παράμετρο κβαντοποίησης 42QP όπου αυτό είναι αναμενόμενο. Αυτό συμβαίνει για τον λόγο ότι όσο η παράμετρος κβαντοποίησης είναι αρκετά υψηλή έχουμε μεγαλύτερη συμπίεση του βίντεο κάτι που επιδρά και στην ποιότητα (PSNR) του βίντεο η οποία παίρνει χαμηλές τιμές. Στο Σχήμα 5.2 παρατηρούμε το boxplot για την κωδικοποίηση H.264. Αυτό που παρατηρούμε σε αυτή την γραφική παράσταση είναι το παίρνει την υψηλότερη τιμή του για το σύνολο όλων των QP's στο QP 20 και η τιμή αυτή είναι κοντά στα 45dB η οποία μπορεί να θεωρηθεί μια αρκετά ικανοποιητική τιμή. Οι τιμές του PSNR μειώνονται γραμμικά όταν η παράμετρος κβαντοποίησης αυξάνεται. Η χαμηλότερη τιμή του PSNR για αυτή την κωδικοποίηση του H.264 είναι κοντά στα 30dB και αυτή η τιμή είναι για την παράμετρο κβαντοποίησης ίσο με 42QP. Οι παράμετροι κβαντοποίησης στις οποίες μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική η παραμόρφωση του βίντεο είναι για τις τιμές 20 μέχρι 30 αφού ο μέσος όρος του PSNR αυτών των παραμέτρων κβαντοποίησης βρίσκεται πάνω από τα 38dB το οποίο θεωρείται ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Στο επόμενο σχήμα δηλαδή στο Σχήμα 5.3 διακρίνουμε το πρότυπο H.263. Στην συγκεκριμένη γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι οι τιμές του PSNR μειώνονται όταν η παράμετρος κβαντοποίησης αυξάνεται. Δηλαδή την μεγαλύτερη τιμή του PSNR την συναντάμε στο QP2 και είναι κοντά στα 46dB ενώ η χαμηλότερη τιμή του PSNR είναι 29dB και είναι για το QP31. Τα QP's που παρέχουν μια ικανοποιητική ποιότητα είναι από το 2 μέχρι το 8 αφού ο μέσος όρος των

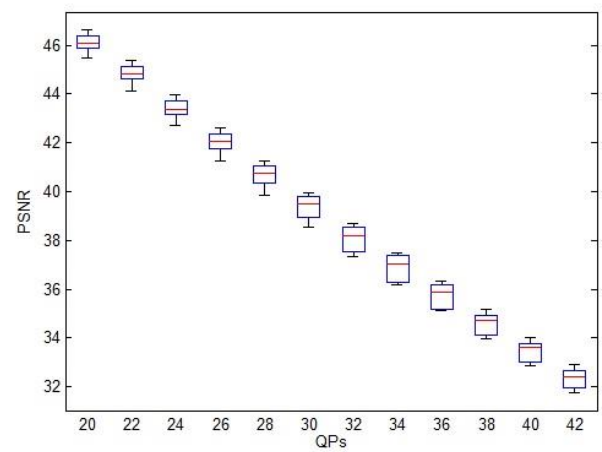
αποτελεσμάτων τους ξεπερνά την τιμή του 38dB για το PSNR το οποίο θεωρείται μια καλή προσέγγιση για την ποιότητα ενός βίντεο. Το Σχήμα 5.4 δείχνει το PSNR σε σχέση με τις παραμέτρους κβαντοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν για την κωδικοποίηση MPEG4. Αυτό που παρατηρούμε σε αυτή την γραφική παράσταση είναι ότι η μεγαλύτερη τιμή που παίρνει το PSNR είναι 46dB και αυτό συμβαίνει για το QP2 δηλαδή την χαμηλότερη τιμή κβαντοποίησης που χρησιμοποιήσαμε για το πρότυπο αυτό. Επιπλέον παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του QP τόσο χαμηλώνουν οι τιμές του PSNR. Η χαμηλότερη τιμή που έχει το PSNR σε αυτή την κωδικοποίηση είναι κοντά στα 29dB για παράμετρο κβαντοποίησης 31QP η οποία είναι η μεγαλύτερη τιμή κβαντοποίησης που χρησιμοποιήσαμε για το πρότυπο αυτό. Οι τιμές κβαντοποίησης που έχουν αποδεκτό PSNR δηλαδή πάνω από 38dB είναι από το 2 μέχρι το 6 αφού ο μέσος όρος των τιμών αυτών των QP's είναι πάνω από 38dB που θέσαμε ως επιτρεπτό όριο. Τέλος στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του PSNR για την κωδικοποίηση MPEG2 για όλες τις παραμέτρους κωδικοποίησης που χρησιμοποιήσαμε για το πρότυπο αυτό. Αυτό που μπορούμε να διακρίνουμε στη γραφική αυτή είναι ότι για τις μικρές τιμές των QP's τα αποτελέσματα του PSNR είναι αρκετά υψηλά αλλά όσο μεγαλώνει η τιμή του QP το PSNR μειώνεται. Η υψηλότερη τιμή του PSNR σε αυτό το πρότυπο είναι κοντά στα 45dB και η χαμηλότερη βρίσκεται κοντά στα 29dB και οι τιμές αυτές είναι για την παράμετρο κβαντοποίησης 2 και 31 αντίστοιχα. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε τα QP's όπου η τιμή του PSNR ξεπερνά τα 38dB αφού στην περίπτωση αυτή έχουμε αρκετά καλή ποιότητα και χωρίς παραμορφώσεις στο βίντεο. Οι τιμές κβαντοποίησης αυτές είναι από την 2 μέχρι την 5 όπου η μέση τιμή του PSNR για αυτές τις παραμέτρους είναι πάνω από το όριο που θέσαμε.

5.1.1.2. PSNR για De-speckle Videos

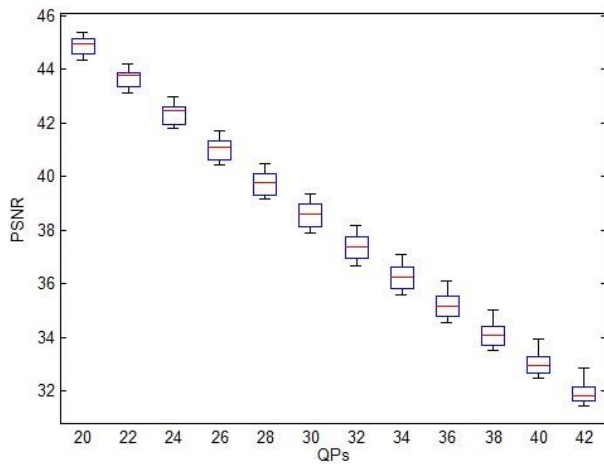
Στις επόμενες γραφικές παραστάσεις είναι τα boxplots για τα φιλτραρισμένα βίντεο τα οποία κωδικοποιήθηκαν για τα πρότυπα HEVC και H.264 και στα οποία εφαρμόστηκαν τα τρία φίλτρα που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 3.



Σχήμα 5.6: HEVC(DsFhmedian) - PSNR



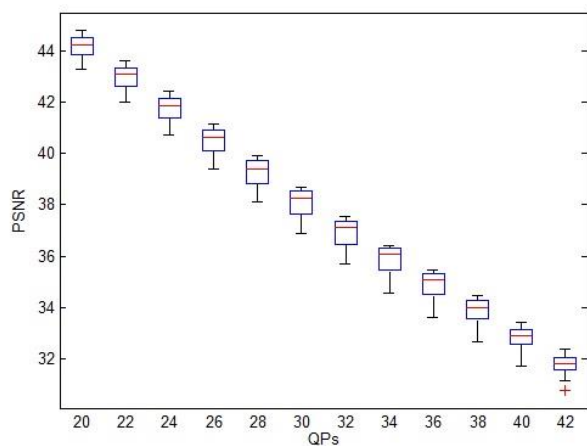
Σχήμα 5.7: HEVC(DsFlsmv) - PSNR



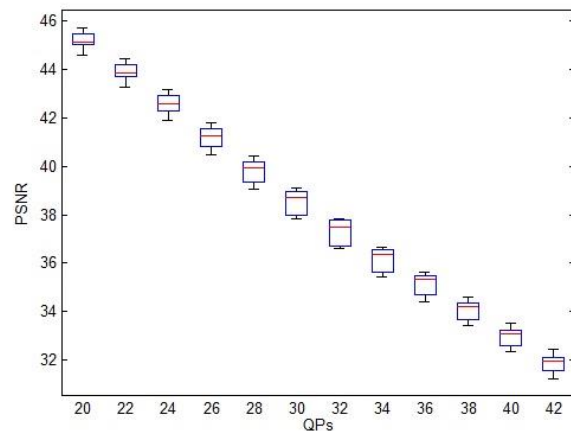
Σχήμα 5.8: HEVC(DsFsrاد) - PSNR

Οι γραφικές παραστάσεις που διακρίνονται στο Σχήμα 5.6 μέχρι Σχήμα 5.8 αναπαριστούν τις τιμές του PSNR για την κωδικοποίηση HEVC για τα βίντεο στα οποία εφαρμόστηκαν τα τρία φίλτρα απομάκρυνσης θορύβου. Αυτό που παρατηρούμε και στις τρεις γραφικές παραστάσεις είναι μια γραμμική μείωση των τιμών του PSNR καθώς η παράμετρος κβαντοποίησης αυξάνεται. Αυτό είναι απόλυτα φυσιολογικό λόγω του ότι όταν η παράμετρος κβαντοποίησης μεγαλώνει τότε η συμπίεση που δέχεται το βίντεο

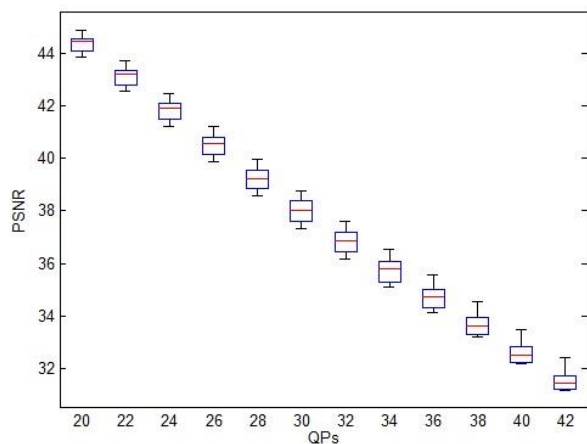
είναι μεγαλύτερη έτσι έχουμε χαμηλότερο PSNR που αυτό σημαίνει χαμηλότερη ποιότητα στο βίντεο μας. Όσο αφορά τις τιμές του PSNR παρατηρούμε ότι το φίλτρο DsFIs_{mn} Σχήμα 5.7 έχει ένα μικρό προβάδισμα έναντι των άλλων δυο φίλτρων. Συγκεκριμένα παρατηρώντας προσεκτικά όλες τις παραμέτρους κβαντοποίησης που χρησιμοποιήσαμε και αντιστοιχίζοντας τες με τις ανάλογες τιμές του PSNR το φίλτρο DsFIs_{mn} έχει την υψηλότερες τιμές συγκριτικά με τα φίλτρα DsFhmedian και DsFsrad κάτι που δηλώνει ότι το συγκεκριμένο φίλτρο μας παρέχει υψηλότερη ποιότητα κωδικοποίησης. Στο φίλτρο DsFIs_{mn} έχουμε τιμές για το PSNR οι οποίες ξεπερνούν τα 46dB ενώ τα άλλα δύο φίλτρα η μέγιστη τιμή PSNR που παίρνουν είναι κοντά στα 45dB και αυτό συμβαίνει για την χαμηλότερη παράμετρο κβαντοποίησης που χρησιμοποιήσαμε το QP20. Μεταξύ των φίλτρων DsFhmedian και DsFsrad παρατηρούμε διαφορές στις τιμές του PSNR οι οποίες είναι αρκετά μικρές αλλά ωστόσο να υπάρχει διαφορά μεταξύ τους. Το φίλτρο DsFhmedian παρατηρούμε να υπερτερεί του DsFsrad λόγο του ότι οι τιμές του PSNR σε αρκετές από τις παραμέτρους κβαντοποίησης είναι μεγαλύτερες. Οι παράμετροι κβαντοποίησης για τις οποίες τα τρία φίλτρα ξεπερνούν τα 38dB, το οποίο θεωρούμε ως ένα επιτρεπτό όριο ποιότητας, είναι για τα φίλτρα DsFhmedian και DsFsrad τα QP's 20 μέχρι 32 ενώ για το φίλτρο DsFIs_{mn} είναι τα QP's 20 μέχρι 34. Αυτό μας δείχνει ότι το φίλτρο DsFIs_{mn} μας παρέχει ακόμη μία παράμετρο κβαντοποίησης έναντι των άλλων δύο φίλτρων η οποία προσφέρει ικανοποιητική ποιότητα κωδικοποιημένου βίντεο.



Σχήμα 5.9: H.264 DsFhmedian - PSNR



Σχήμα 5.10: H.264 DsFismv - PSNR



Σχήμα 5.11: H.264 DsFsradi - PSNR

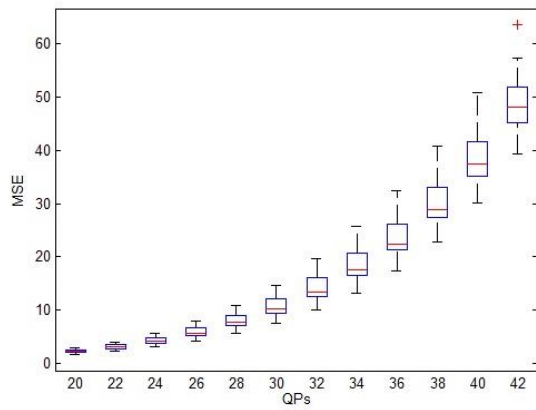
Στις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις παρατηρούμε την κωδικοποίηση H.264 για όλα τα βίντεο τα οποία χρησιμοποιήσαμε και εφαρμόστηκαν σε αυτά τα τρία φίλτρα που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 3. Η γενική παρατήρηση μας και για τις τρεις γραφικές παραστάσεις είναι ότι σε όλες υπάρχει μια γραμμική μείωση καθώς οι παράμετροι κωδικοποίησης αυξάνονται. Αυτό συμβαίνει για τον λόγο ότι όσο υψηλότερη τιμή έχει η παράμετρος κβαντοποίησης τόσο αυξάνεται η συμπίεση του βίντεο έτσι και η τιμή του

PSNR παίρνει χαμηλότερες τιμές. Οι παράμετροι κβαντοποίησης για τα τρία φίλτρα που ο μέσος όρος τους ξεπερνά τα 38dB είναι για το DsFhmedian και DsFsrاد τα QP's 20 μέχρι 30 ενώ για το φίλτρο DsFlsmv τα QP's 20 μέχρι 32. Αυτό μας δείχνει ότι η κωδικοποίηση H264 με το φίλτρο DsFlsmv προσφέρει ακόμη μια επιπλέον παράμετρο κβαντοποίησης σε σχέση με τα άλλα δύο φίλτρα όπου η ποιότητα του βίντεο βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα και έχει λιγότερα QP όπου η ποιότητα κωδικοποίησης είναι χαμηλή. Επιπλέον παρατηρούμε ότι το φίλτρο DsFlsmv για όλες τις τιμές κβαντοποίησης έχει υψηλότερες τιμές για το PSNR σε σχέση με αυτές που έχουν τα φίλτρα DsFhmedian και DsFsrاد. Ενδεικτικά για το QP20 παρατηρούμε ότι οι τιμές του PSNR για τα φίλτρα DsFhmedian και DsFsrاد έχουν τιμές κοντά στα 44dB ενώ το φίλτρο DsFlsmv φθάνει μέχρι το 46dB. Αυτό σημαίνει ότι το φίλτρο DsFlsmv προσφέρει καλύτερη ποιότητα κωδικοποίησης για όλες τις παραμέτρους κβαντοποίησης από τα άλλα δύο φίλτρα. Οι τιμές του PSNR για τα φίλτρα DsFhmedian και DsFsrاد είναι αρκετά πανομοιότυπες αλλά διακρίνουμε ότι το φίλτρο DsFhmedian έχει υψηλότερες τιμές για τις ίδιες τιμές κβαντοποίησης που αντιστοιχούν και για το φίλτρο DsFsrاد. Αυτή η διαφορά που υπάρχει για τις τιμές του PSNR μεταξύ των δύο φίλτρων παρατηρείται να μεγαλώνει καθώς αυξάνονται οι παράμετροι κβαντοποίησης.

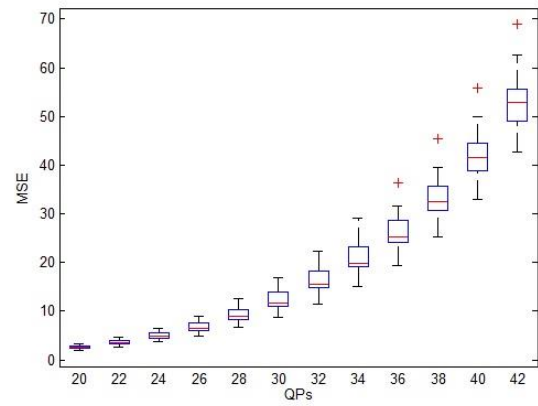
5.1.2. Ανάλυση MSE

5.1.2.1. MSE για Original Videos

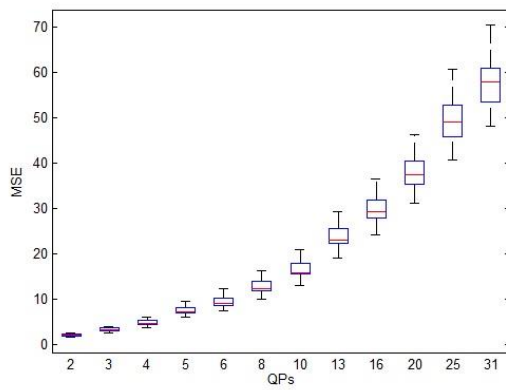
Στο σημείο αυτό θα γίνει η παρουσίαση των boxplots που αφορούν το MSE (Mean Square Error) για τα αρχικά βίντεο τα οποία κωδικοποιήθηκαν με όλα τα πρότυπα που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2.



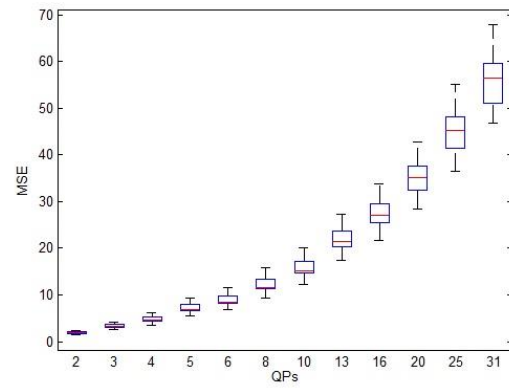
Σχήμα 5.12: HEVC - MSE



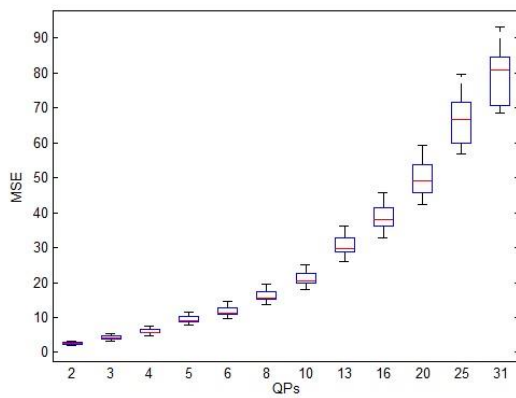
Σχήμα 5.13: H264 - MSE



Σχήμα 5.14: MPEG4 - MSE



Σχήμα 5.15: H263 - MSE

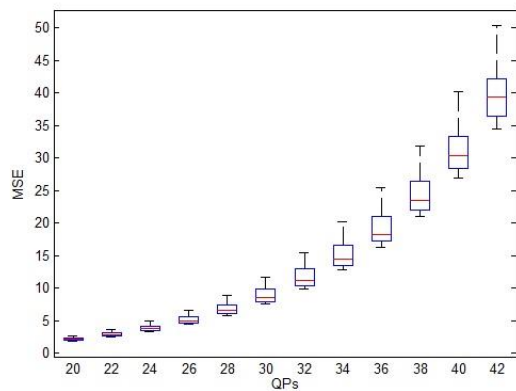


Σχήμα 5.16: MPEG2 - MSE

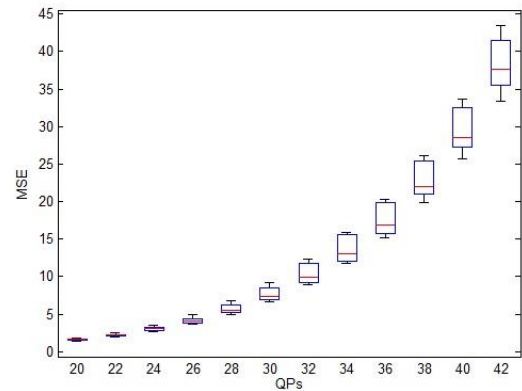
Στις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις διακρίνουμε τα boxplots τα οποία αφορούν το MSE για τα αρχικά βίντεο για όλες τις κωδικοποιήσεις που χρησιμοποιήσαμε σε σχέση με τις παραμέτρους κβαντοποίησης. Το MSE επηρεάζει άμεσα την ποιότητα ενός βίντεο βάση του τύπου του PSNR που αναφέραμε στο Κεφάλαιο 3. Το MSE είναι αντιστρόφως ανάλογο από το PSNR καθώς μειώνοντας το MSE αυξάνεται το PSNR όπου αυτό μας δίνει μια αρκετά καλή ποιότητα βίντεο χωρίς παραμόρφωση. Συνοψίζοντας μπορούμε να επισημάνουμε από τις γραφικές παραστάσεις που βλέπουμε πιο πάνω ότι οι τιμές του MSE κυμαίνονται μεταξύ του 3 και του 70 για τα περισσότερα πρότυπα ενώ στο MPEG2 πλησιάζουν και το 90. Επιπλέον παρατηρούμε ότι για τις μικρές τιμές στην παράμετρο κβαντοποίησης η διαφορά ανάμεσα σε όλα τα πρότυπα είναι αρκετά μικρή ενώ όσο η τιμή της παραμέτρου κβαντοποίησης αυξάνεται τα δύο πρότυπα που ξεχωρίζουν είναι το HEVC και το H264. Τα δύο αυτά πρότυπα έχουν τις χαμηλότερες τιμές για μεγάλα QP's κάτι που αντιστοιχεί σε καλύτερη ποιότητα βίντεο.

5.1.2.2. MSE για De-speckle Videos

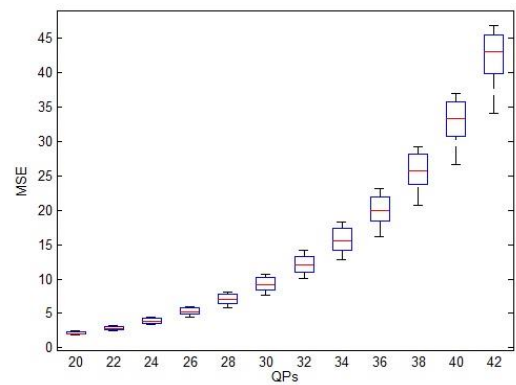
Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα boxplots τα οποία δίνουν τις τιμές του MSE σε σχέση με όλες τις παραμέτρους κβαντοποίησης για τα πρότυπα HEVC και H264 που χρησιμοποιήσαμε για τα φιλτραρισμένα βίντεο.



Σχήμα 5.17: HEVC(DsFhmedian) - MSE

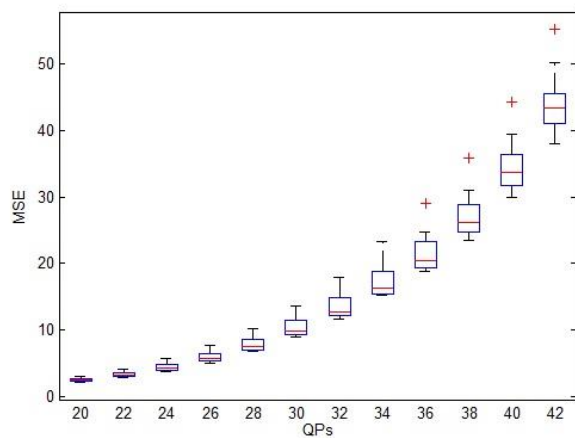


Σχήμα 5.18: HEVC(DsFlsmv) - MSE

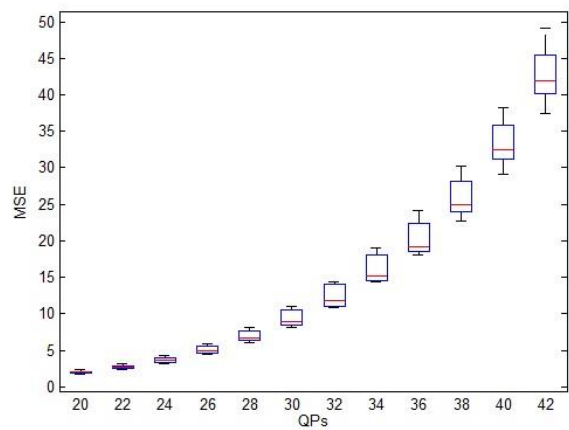


Σχήμα 5.19: HEVC(DsFsrاد) - MSE

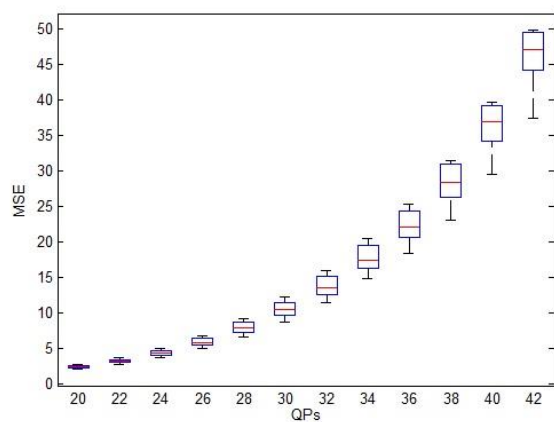
Οι πιο πάνω γραφικές παραστάσεις αναφέρονται στο MSE για τα φιλτραρισμένα βίντεο τα οποία κωδικοποιήθηκαν με το πρότυπο HEVC ενώ χρησιμοποιήθηκαν και τα τρία φίλτρα που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 3 για απομάκρυνση του θορύβου. Σκοπός των πιο πάνω boxplots είναι η σύγκριση των τριών φίλτρων με την ίδια κωδικοποίηση για την παράμετρο αξιολόγησης του MSE. Οι παρατηρήσεις μας είναι ότι για τα φίλτρα DsFlsmv και DsFsrاد η ελάχιστη και μέγιστη τιμή για το MSE είναι 3 και 45 αντίστοιχα ενώ για το φίλτρο DsFhmedian η μέγιστη τιμή ανεβαίνει μέχρι και το 50. Επιπλέον ένα στοιχείο το οποίο συναντήσαμε και στα αρχικά βίντεο είναι ότι για τις μικρές τιμές παραμέτρου κβαντοποίησης η διαφορά μεταξύ των τιμών του MSE στα τρία φίλτρα είναι αρκετά μικρή ενώ καθώς αυξάνονται οι τιμές της κβαντοποίησης αρχίζουν να υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στις τιμές του MSE. Το φίλτρο που ξεχωρίζει από τα τρία έχοντας την χαμηλότερη μέση τιμή MSE για μεγάλες παραμέτρους κβαντοποίησης είναι το DsFlsmv ενώ ακολουθεί το DsFsrاد με λίγο μεγαλύτερες τιμές.



Σχήμα 5.20: H264(DsFhmedian) - MSE



Σχήμα 5.22: H264(DsFlsmv) - MSE



Σχήμα 5.21: H264(DsFsradi) - MSE

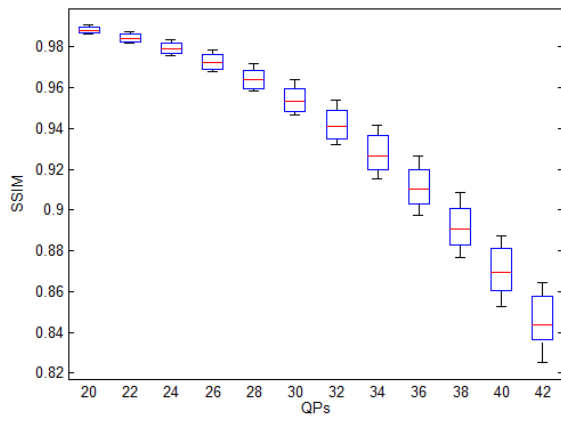
Τα πιο πάνω boxplots είναι για την κωδικοποίηση H264 των φιλτραρισμένων βίντεο στα οποία έχουν εφαρμοστεί τα τρία φίλτρα για απομάκρυνση του θορύβου. Τα σχόλια μας για αυτές τις τρεις γραφικές παραστάσεις είναι ότι οι τιμές που παίρνει το MSE είναι από το 3 μέχρι το 50 και για τα τρία φίλτρα. Επίσης υπάρχει διαφορά στις τρεις γραφικές για

τις τιμές του MSE καθώς αυξάνονται οι τιμές της παραμέτρου κβαντοποίησης στα τρία φίλτρα κάτι που κάνει το φίλτρο DsFIsMn να ξεχωρίζει κατά πολύ λίγο από τα υπόλοιπα καθώς το σύνολο των μέσων τιμών που διακρίνονται στο Σχήμα 5.22 με κόκκινη γραμμή βρίσκεται χαμηλότερα από τις άλλες δυο γραφικές παραστάσεις. Αυτό δίνει στο φίλτρο DsFIsMn το πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων φίλτρων την καλύτερη ποιότητα στα βίντεο αφού έχοντας το χαμηλότερο MSE συνεπάγεται θα έχει και το υψηλότερο PSNR.

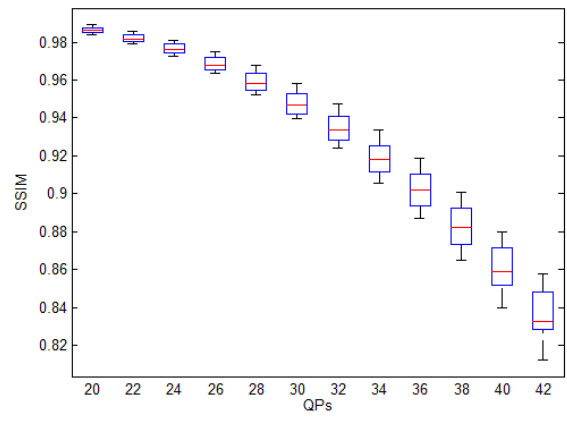
5.1.3. Ανάλυση SSIM

5.1.3.1. SSIM για Original Videos

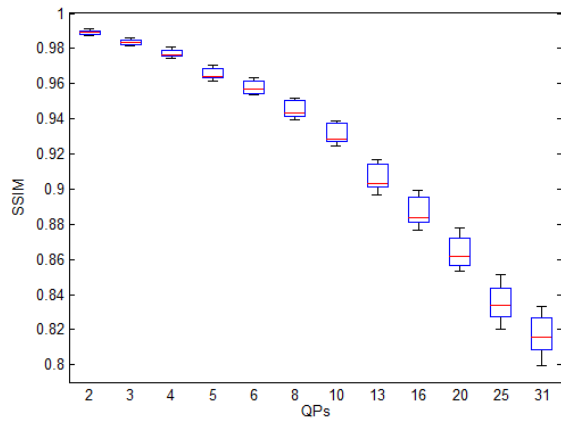
Σε αυτό το σημείο θα παρουσιασθούν τα boxplots τα οποία αφορούν το SSIM (Structural Similarity) σε σχέση με τις διάφορες παραμέτρους κβαντοποίησης που χρησιμοποιήσαμε για την κωδικοποίηση με όλα τα πρότυπα τα αρχικά βίντεο.



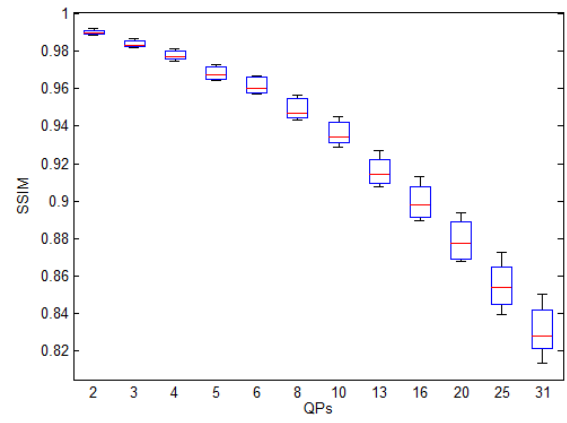
Σχήμα 5.23: HEVC - SSIM



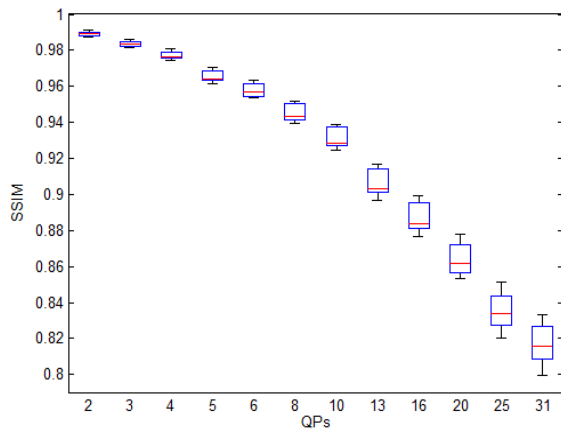
Σχήμα 5.24: H264 - SSIM



Σχήμα 5.25: MPEG4 - SSIM



Σχήμα 5.26: H263 - SSIM

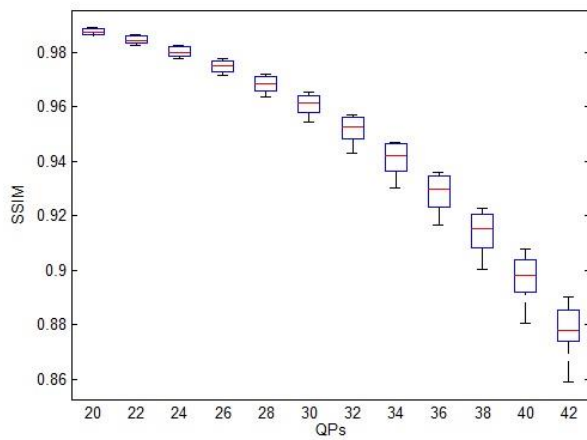


Σχήμα 5.27: MPEG2 - SSIM

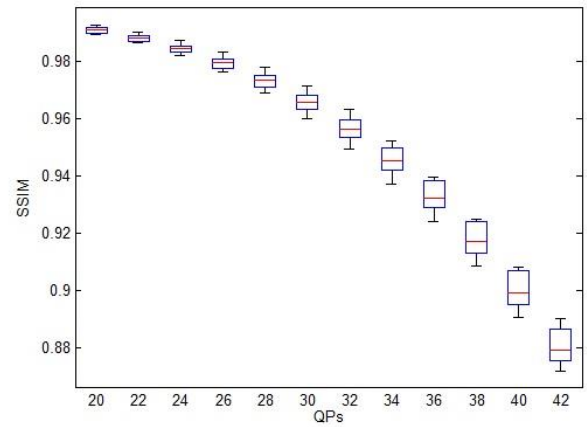
Στις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις διακρίνουμε τα αποτελέσματα για την μονάδα αξιολόγησης SSIM σε σχέση με τις δώδεκα παραμέτρους κβαντοποίησης που χρησιμοποιήσαμε για την κάθε κωδικοποίηση. Το SSIM είναι ένας αξιολογητής ομοιότητας όπως δηλώνει και το όνομα του. Το εύρος των τιμών που μπορεί να πάρει το SSIM είναι δεκαδικές τιμές μεταξύ του -1 και 1. Η τιμή 1 δηλώνει ότι η ομοιότητα μεταξύ των σημάτων εισόδου είναι αρκετά υψηλή ενώ όσο η τιμή μικραίνει τόσο λιγότερη ομοιότητα έχουμε. Στα αποτελέσματα μας αυτό που παρατηρούμε και στις πέντε κωδικοποιήσεις που χρησιμοποιήσαμε είναι ότι οι τιμές του SSIM είναι αρκετά υψηλές, συγκεκριμένα το εύρος των τιμών κυμαίνεται μεταξύ του 0.8 και του 1. Επιπλέον αυτό που παρατηρούμε στα πιο πάνω boxplots είναι η μείωση στις τιμές του SSIM καθώς η παράμετρος κβαντοποίησης αυξάνεται. Για τα πρότυπα HEVC και H264 στην παράμετρο κβαντοποίησης QP20 παρατηρούμε να έχουμε τα υψηλότερα ποσοστά ομοιότητας ενώ για τα υπόλοιπα πρότυπα αυτό συμβαίνει στην παράμετρο κβαντοποίησης QP2. Όσο αφορά τις χαμηλότερες τιμές του SSIM για τα πρότυπα HEVC και H264 αυτές είναι για την παράμετρο κβαντοποίησης QP42 και για τα υπόλοιπα πρότυπα βρίσκονται στην παράμετρο κβαντοποίησης QP31. Ένα επιπλέον σημαντικό στοιχείο που είναι σημαντικό να αναφέρουμε είναι το εύρος των τιμών του SSIM για την κάθε παράμετρο κωδικοποίησης. Παρατηρούμε ότι οι τιμές για το SSIM για χαμηλά QP's έχουν πολύ μικρή διαφορά μεταξύ τους ενώ όσο η παράμετρος κβαντοποίησης αυξάνεται το η διαφορά μεταξύ των τιμών του SSIM μεγαλώνει.

5.1.3.2. SSIM για De-speckle Videos

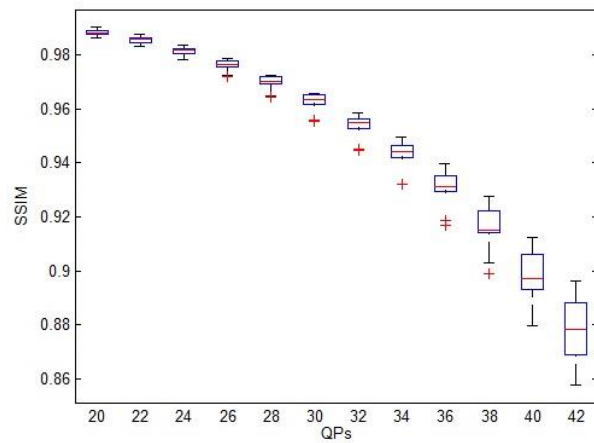
Σε αυτό το σημείο θα παρουσιασθούν τα boxplots των φιλτραρισμένων βίντεο τα οποία μας δείχνουν τις τιμές που παίρνει το SSIM σε σχέση με τις διάφορες παραμέτρους κωδικοποίησης που χρησιμοποιήσαμε για τα πρότυπα HEVC και H264.



Σχήμα 5.28: HEVC(DsFhmedian) - SSIM



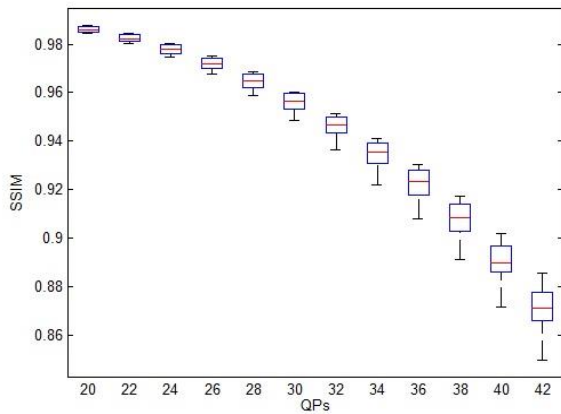
Σχήμα 5.29: HEVC(DsFlsmv) - SSIM



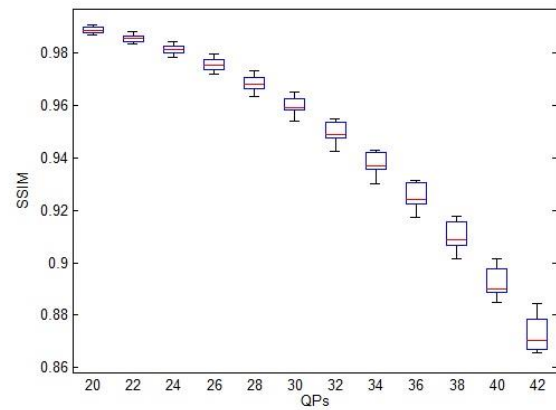
Σχήμα 5.30: HEVC(DsFsradi) - SSIM

Στα boxplots πιο πάνω παρατηρούμε τις τιμές του SSIM σε σχέση με τις παραμέτρους κβαντοποίησης για τα φιλτραρισμένα βίντεο τα οποία κωδικοποιήθηκαν με το πρότυπο HEVC. Στις συγκεκριμένες γραφικές παραστάσεις παρατηρούμε ότι οι τιμές που παίρνει το SSIM είναι μεταξύ του 0.86 και του 1. Σχετικά για τις μικρές παραμέτρους κβαντοποίησης όπου τα αποτελέσματα του SSIM είναι αρκετά υψηλά οι διαφορές μεταξύ των τριών φίλτρων είναι αρκετά μικρές αλλά παρατηρούμε ότι για το φίλτρο DsFlsmv οι τιμές είναι λίγο υψηλότερες από τα άλλα δυο. Επιπλέον για το φίλτρο DsFlsmv η

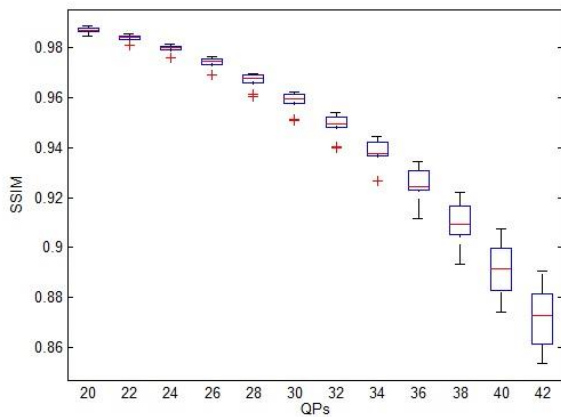
χαμηλότερη τιμή που παίρνει το SSIM είναι κοντά στο 0.87 ενώ για τα φίλτρα DsFhmedian και DsFsrاد οι χαμηλότερες τιμές τους είναι κοντά στο 0.86. Ένα ακόμη στοιχείο το οποίο παρατηρούμε στις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις είναι ότι οι τιμές του SSIM για μεγάλα QP's στα φίλτρα DsFsrاد και DsFhmedian καταλαμβάνουν μεγαλύτερο εύρος από αυτές του DsFlsmv η οποίες έχουν μικρότερη διαφορά μεταξύ τους.



Σχήμα 5.31: H264(DsFhmedian) - SSIM



Σχήμα 5.32: H264(DsFlsmv) - SSIM



Σχήμα 5.33: H264(DsFsrاد) - SSIM

Οι γραφικές παραστάσεις πιο πάνω αναπαριστούν την κωδικοποίηση H264 των φιλτραρισμένων βίντεο και τα αποτελέσματα που πάρθηκαν για την μονάδα αξιολόγησης SSIM συσχετίζοντας τις με τις παραμέτρους κβαντοποίησης. Αυτό που παρατηρούμε για αυτή την κωδικοποίηση αυτή είναι οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των τιμών του

SSIM για τα τρία φίλτρα που χρησιμοποιήσαμε. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα boxplots μας δείχνουν ότι οι τιμές του SSIM και για τα τρία φίλτρα κυμαίνονται από 0.86 ως 1 για την χαμηλότερη και υψηλότερη τιμή αντίστοιχα. Επίσης διακρίνουμε ότι οι τιμές του SSIM για το φίλτρο DsFlsmn είναι κατά πολύ λίγο μεγαλύτερες από των άλλων δυο φίλτρων όπου αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μεγαλύτερος βαθμός ομοιότητας στο φίλτρο DsFlsmn σε σύγκριση με τα υπόλοιπα φίλτρα.

5.2. Ανάλυση Bit-rate

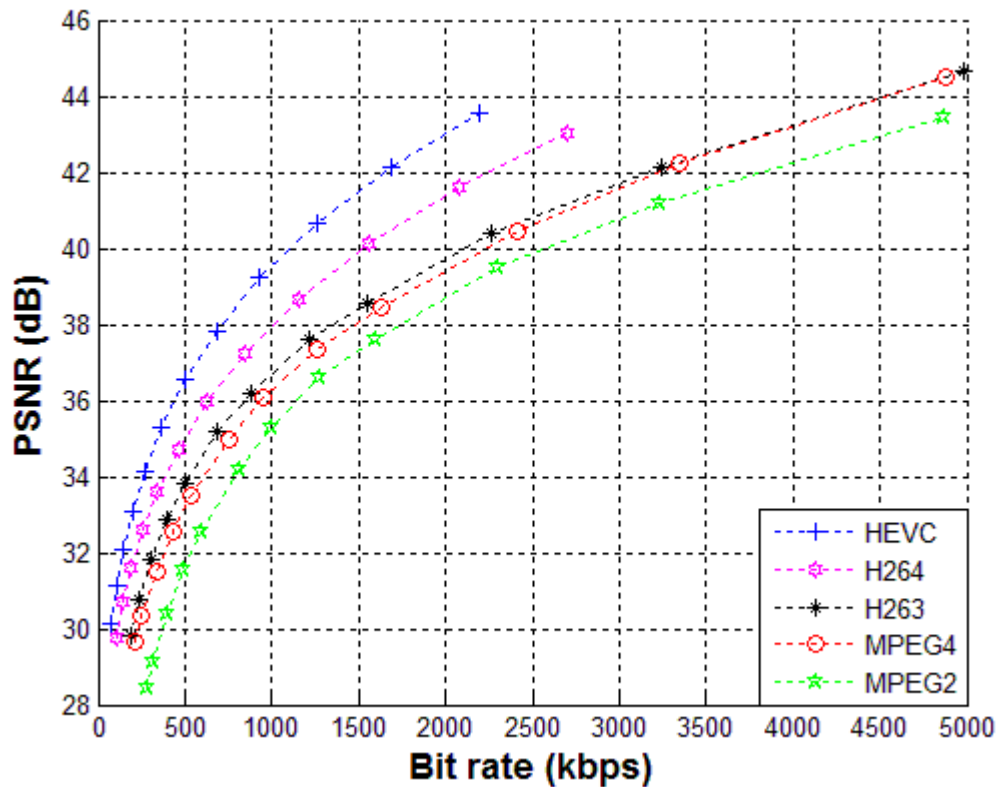
5.2.1. Original video bit rate

Encoding	Bit rate Savings Relative to			
	H.264/MPEG-4 AVC HP	H.263 CHC	MPEG-4 ASP	MPEG-2/H.262 MP
HEVC MP	33%	55%	58%	71%
H.264/MPEG-4 AVC HP	-	32%	37%	57%
H.263 CHC	-	-	7%	32%
MPEG-4 ASP	-	-	-	27%

Πίνακας 5-1: Video Coding Standards Bit Rate Saving

Στον Πίνακα 5-1 παρατηρούμε την εξοικονόμηση εύρους ζώνης συγκριτικά για όλα τα πρότυπα κωδικοποίησης που χρησιμοποιήσαμε στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Επιπρόσθετα αξίζει να σημειωθεί ότι για το πρότυπο κωδικοποίησης HEVC σε σύγκριση με τα υπόλοιπα πρότυπα κωδικοποίησης έχει την μεγαλύτερη διαφορά. Συγκεκριμένα συγκρίνοντας το HEVC με τον προκάτοχο του H264 η διαφορά εύρους ζώνης μεταξύ τους είναι στο 33% δηλαδή το πρότυπο HEVC έχει κατά ένα $\frac{1}{3}$ περίπου χαμηλότερο bit rate από το H264. Επιπλέον το HEVC έχει χαμηλότερο ποσοστό εύρους ζώνης από το H263 και MPEG4 και συγκεκριμένα 55% και 58% αντίστοιχα. Η διαφορά μεταξύ HEVC και MPEG2 είναι αρκετά μεγάλη αφού το ποσοστό ανέρχεται στο 71% για το εύρος ζώνης. Όσο αφορά το πρότυπο κωδικοποίησης H264 σε σχέση με το H263 η εξοικονόμηση εύρους ζώνης που προσφέρει είναι κατά 32% χαμηλότερη ενώ για το πρότυπο MPEG4 η διαφορά ανέρχεται στο 37% και τέλος για το πρότυπο MPEG2 το

ποσοστό είναι στο 57%. Για το πρότυπο H263 παρατηρούμε να έχουμε μια μικρή διαφορά συγκριτικά με το MPEG4 η οποία είναι στο 7% και με το MPEG2 η διαφορά αυτή στο εύρος ζώνης αυξάνεται και φθάνει στο 32%. Τέλος η τελευταία σύγκριση που απομένει είναι αυτή μεταξύ του MPEG4 και MPEG2 και το ποσοστό που προκύπτει για την εξοικονόμηση του εύρους ζώνης είναι 27% χαμηλότερη του πρώτου από το δεύτερο.



Σχήμα 5.34: Video Coding Standards Comparison

Στην πιο πάνω γραφική παράσταση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις διάφορες κωδικοποιήσεις βίντεο που χρησιμοποιήσαμε και συγκεκριμένα οι τιμές του PSNR σε σχέση με το bit rate για τις δώδεκα παραμέτρους κβαντοποίησης που χρησιμοποιήσαμε. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι το πρότυπο HEVC έχει τα καλύτερα αποτελέσματα από τα υπόλοιπα πρότυπα αφού για τις ίδιες τιμές του PSNR έχει τις χαμηλότερες τιμές για το bit rate. Αυτό φαίνεται και από την κλίση της καμπύλης η οποία είναι αρκετά μικρή κάτι που σημαίνει ότι το εύρος τιμών που καταλαμβάνει για το bit rate είναι αρκετά μικρό. Κοντά στα αποτελέσματα του HEVC βρίσκεται το πρότυπο H264 το οποίο και αυτό έχει χαμηλό εύρος τιμών για το bit rate σε σχέση με τα πρότυπα H263, MPEG4 και MPEG2. Τα υπόλοιπα τρία πρότυπα κωδικοποίησης (H263, MPEG4 και MPEG2) παρατηρούμε να απέχουν πολύ από τα δύο προηγούμενα πρότυπα καθώς η κλίση της καμπύλης είναι

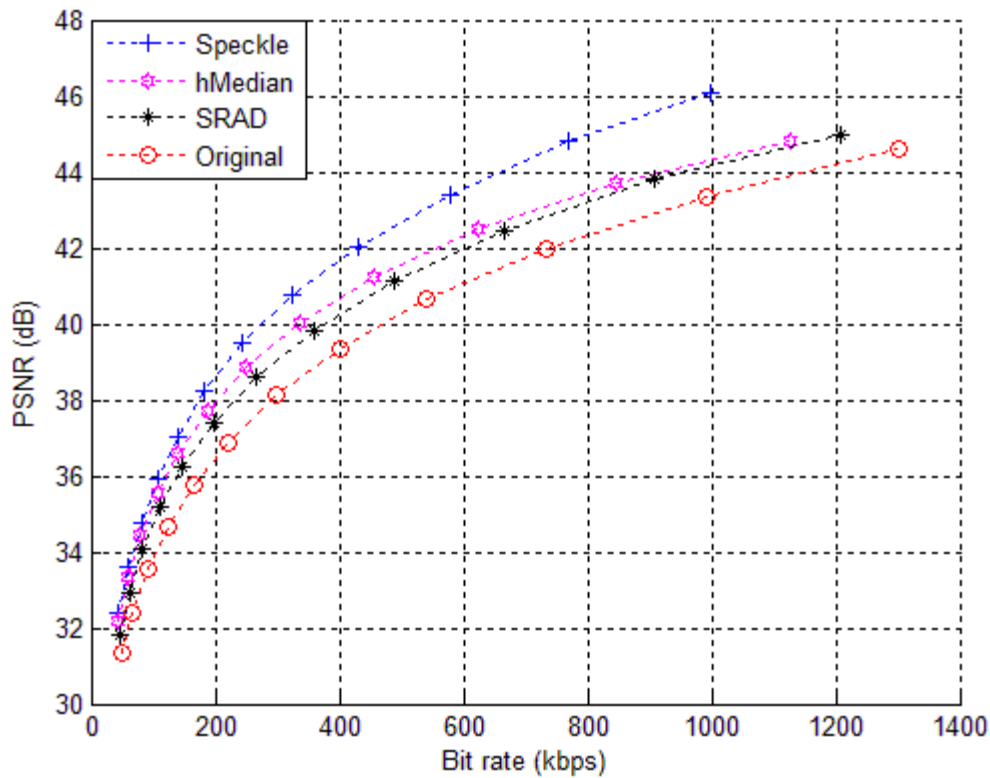
αρκετά μεγάλη κάτι που μας δείχνει ότι το πεδίο τιμών που καταλαμβάνει το bit rate είναι αρκετά μεγάλο. Συγκρίνοντας τα τρία αυτά πρότυπα καταλήγουμε ότι το πρότυπο H263 και MPEG4 έχουν πολύ μικρές διαφορές ενώ το MPEG2 έχει τα χαμηλότερα αποτελέσματα όσο αφορά PSNR και τα υψηλότερα για το bit rate.

5.2.2. Despeckle video bit rate

Despeckle Filtering Method	Bit rate Savings Relative to		
	HEVC Original	SRAD	Hyper Median
Linear Speckle	43%	26%	17%
Hyper Median	34%	12%	-
SRAD	23%	-	-12%

Πίνακας 5-2: Video Despeckle Filtering Bit Rate Gains (HEVC)

Ο Πίνακας 5-2 που βρίσκεται πιο πάνω μας παρουσιάζει τα αποτελέσματα για την εξοικονόμηση εύρους ζώνης για τα φιλτραρισμένα βίντεο που κωδικοποιήθηκαν με το πρότυπο HEVC. Οι συγκρίσεις έγιναν μεταξύ των τριών φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν (DsFhmedian, DsFlsmv και DsFsrاد) αλλά και των αρχικών βίντεο για να παρατηρήσουμε το ποσοστό που διαφέρει το κάθε ένα με τα υπόλοιπα για το bit rate. Συγκεκριμένα το ποσοστό διαφοράς μεταξύ των βίντεο που εφαρμόστηκε το φίλτρο DsFlsmv και των αρχικών βίντεο είναι στο 43% πιο χαμηλή για αυτά που εφαρμόστηκε το φίλτρο DsFlsmv ενώ η διαφορά από τα φίλτρα DsFsrاد και DsFhmedian ανέρχεται στο 26% και 17% αντίστοιχα. Το φίλτρο DsFhmedian εξοικονομεί κατά 34% περισσότερο bit rate από τα αρχικά βίντεο ενώ η διαφορά του από το φίλτρο DsFsrاد βρίσκεται στο 12%. Τελευταία σύγκριση που απομένει είναι αυτή μεταξύ του φίλτρου DsFsrاد και των αρχικών βίντεο και το ποσοστό διαφοράς τους είναι στο 23% υπερισχύοντας το DsFsrاد.



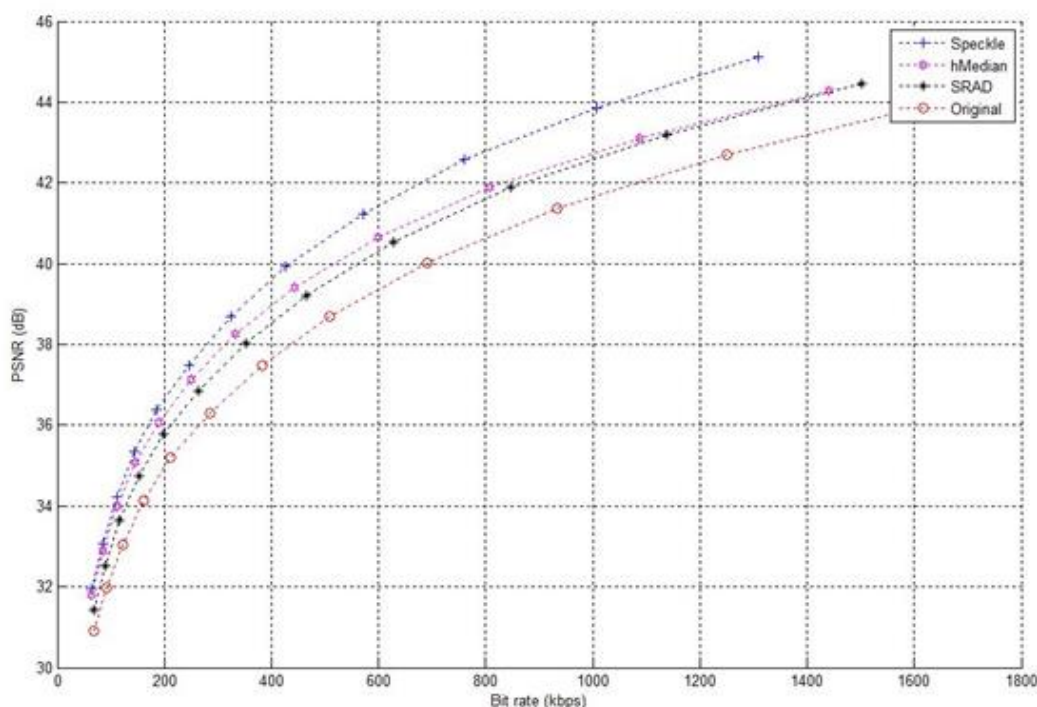
Σχήμα 5.35: HEVC and Despeckle Filtering Rate Distortion plots

Στο Σχήμα 5.35 παρουσιάζονται τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν για την απομάκρυνση θορύβου από τα βίντεο τα οποία κωδικοποιήθηκαν με το πρότυπο HEVC αλλά και τα αρχικά βίντεο. Οι παρατηρήσεις μας για την πιο πάνω γραφική παράσταση είναι ότι το φίλτρο DsFIs_{mn} έχει τα καλύτερα αποτελέσματα από τα υπόλοιπα φίλτρα αλλά και από τα αρχικά βίντεο λόγω του ότι για τις τιμές του PSNR οι αντίστοιχες του bit rate είναι οι χαμηλότερες από τα υπόλοιπα φίλτρα. Αυτό μπορούμε να το διακρίνουμε και από την κλίση της γραφικής παράστασης του φίλτρου DsFIs_{mn} η οποία τελειώνει μέχρι τα 1000kbps ενώ των υπολοίπων συνεχίζουν σε υψηλότερες τιμές για το bit rate. Τα φίλτρα DsFhmedian και DsFsrad παρατηρούμε να έχουν πανομοιότυπες τιμές για το PSNR και bit rate με ένα μικρό πλεονέκτημα στο φίλτρο DsFhmedian λόγω του ότι οι τιμές αυτές είναι λίγο χαμηλότερες από αυτές του DsFsrad. Τα αρχικά βίντεο απέχουν κατά πολύ από τα τρία φίλτρα για το λόγο ότι για τις ίδιες τιμές του PSNR οι αντίστοιχες τιμές του bit rate είναι αρκετά υψηλότερες.

Despeckle Filtering Method	Bit rate Savings Relative to		
	H264 Original	SRAD	Hyper Median
Linear Speckle	39.2%	20.2%	12.4%
Hyper Median	32.5%	10.7%	-
SRAD	23.4%	-	-10.7%

Πίνακας 5-3:Video Despeckle Filtering Bit Rate Gains (H264)

Ο Πίνακας 5-3 που βρίσκεται πιο πάνω παρουσιάζει την εξοικονόμηση εύρους ζώνης μεταξύ των φίλτρων και των αρχικών βίντεο για την κωδικοποίηση H264. Το ποσοστό διαφοράς μεταξύ του φίλτρου DsFlsmn με τα αρχικών βίντεο βρίσκεται στο 39,2% ενώ για τα άλλα δύο φίλτρα, DsFhmedian και DsFsrاد, οι τιμές είναι 20,2% και 12,4% αντιστοίχως. Το φίλτρο DsFlsmn παρατηρούμε να έχει τα καλύτερα ποσοστά από όλα τα άλλα φίλτρα. Όσο αφορά τα ποσοστά που υπερτερεί το φίλτρο DsFhmedian είναι 32,5% σε σύγκριση με τα αρχικά βίντεο ενώ από το φίλτρο DsFsrاد είναι 10,7% καλύτερο για εξοικονόμηση εύρους ζώνης. Τέλος το φίλτρο DsFsrاد υπερσχύει κατά 23,4% από τα αρχικά βίντεο ενώ από τα υπόλοιπα φίλτρα δεν έχει θετικά ποσοστά για εξοικονόμηση εύρους ζώνης.



Σχήμα 5.36: H264 and Despeckle Filtering Rate Distortion plots

Στο Σχήμα 5.36 πιο πάνω παρουσιάζονται τα rate distortion curves για τα τρία φίλτρα καθώς και για τα αρχικά βίντεο τα οποία κωδικοποιήθηκαν με το πρότυπο H264. Παρατηρούμε ότι για αυτή την κωδικοποίηση H264 το φίλτρο DsFIsMn και πάλι έχει τα καλύτερα αποτελέσματα όσο αφορά το PSNR και το bit rate όπως φαίνεται και στην γραφική παράσταση πιο πάνω. Διακρίνουμε ότι σε σύγκριση με τα υπόλοιπα φίλτρα για τις ίδιες τιμές του PSNR το φίλτρο DsFIsMn μας δίνει χαμηλότερες τιμές για το bit rate και συνολικά το εύρος τιμών σταματά στα 1300kbps ενώ των υπολοίπων συνεχίζει σε υψηλότερες τιμές. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε για τα φίλτρα DsFhmedian και DsFsrاد είναι αρκετά κοντά αλλά παρατηρούμε ότι το φίλτρο DsFhmedian έχει χαμηλότερο bit rate για τις ίδιες τιμές PSNR συγκριτικά με το DsFsrاد. Τα αρχικά βίντεο χρειάζονται το περισσότερο bit rate συγκρίνοντας τα για τις ίδιες τιμές του PSNR με όλα τα φίλτρα κάτι που τα καθιστά ως την μη αποδοτική επιλογή.

5.3. Περίληψη Αποτελεσμάτων

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια συνολική ανάλυση των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν πιο πάνω έτσι ώστε να έχουμε μια ξεκάθαρη εικόνα για την εξαγωγή των συμπερασμάτων.

Αρχικά θα ξεκινήσουμε με την τεχνική αξιολόγησης ποιότητας PSNR όπου μας δίνει τα αποτελέσματα για την παραμόρφωση που δέχεται το βίντεο κατά την κωδικοποίησή του. Να υπενθυμίσουμε ότι για υψηλά αποτελέσματα PSNR έχουμε μια αρκετά καλή ποιότητα χωρίς μεγάλη παραμόρφωση. Το γενικό αποτέλεσμα που παίρνουμε από τις γραφικές παραστάσεις είναι ότι το συνολικό εύρος τιμών παίρνει το PSNR είναι από 28dB μέχρι 46dB. Οι συγκεκριμένες τιμές αφορούν όλα τα πρότυπα κωδικοποίησης που χρησιμοποιήσαμε σε σχέση με τις παραμέτρους κβαντοποίησης για τα αρχικά βίντεο. Από πλευράς αξιολόγησης ορίσαμε ένα κατώφλι για τις τιμές του PSNR όπου θεωρούμε ότι όποιες τιμές το ξεπερνούν τότε η συγκεκριμένη παράμετρος κβαντοποίησης που έχει δώσει αυτό το PSNR μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Το συγκεκριμένο κατώφλι για το PSNR είναι στα 38dB κατά την κωδικοποίηση και πριν την αποστολή του βίντεο ενώ μετά την αποστολή η τιμή του PSNR πρέπει να είναι υψηλότερη από 35dB έτσι ώστε να θεωρηθεί ικανοποιητική η ποιότητα του βίντεο [28]. Συγκεκριμένα το πρότυπο HEVC έχει έξι παραμέτρους κβαντοποίησης οι οποίες ο μέσος όρος των τιμών του PSNR βρίσκεται πάνω από 38dB και αυτά τα QP's είναι από το QP20 μέχρι το QP30. Η μέγιστη τιμή PSNR που παίρνει το πρότυπο HEVC είναι κοντά στα 46dB. Για το πρότυπο H264 παρατηρούμε ότι τα QP20 μέχρι QP28 ξεπερνά ο μέσος όρος τους το κατώφλι που θέσαμε και η μέγιστη τιμή που παίρνει το PSNR είναι στα 45dB. Για τα υπόλοιπα πρότυπα (H263, MPEG2 και MPEG4) οι τιμές των QP's που ξεπερνούν τα 38dB είναι από το QP2 μέχρι το QP6 ενώ οι μέγιστες τιμές για το PSNR και για τα τρία πρότυπα είναι πανομοιότιες και είναι κοντά στα 45dB. Στη συνέχεια έγινε η παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τα φιλτραρισμένα βίντεο όπου εφαρμόστηκαν τρία διαφορετικά φίλτρα απομάκρυνσης θορύβου και κωδικοποιήθηκαν με το πρότυπο HEVC και H264. Για την κωδικοποίηση HEVC και το φίλτρο DsFhmedian παρατηρούμε ότι για τα QP20 μέχρι QP30 οι μέσες τιμές του PSNR έχουν ξεπεράσει το κατώφλι που έχουμε θέσει ενώ η υψηλότερη τιμή του PSNR είναι κοντά στα 46dB. Για την κωδικοποίηση HEVC και το φίλτρο DsFlsmv παρατηρούμε να έχουμε επτά QP's όπου ο μέσος όρος του PSNR τους ξεπερνά τα 38dB και αυτά είναι από το QP20 μέχρι το QP32. Η μεγαλύτερη τιμή που παίρνει το PSNR σε αυτή την κωδικοποίηση είναι κοντά στα 47dB. Το τελευταίο φίλτρο είναι το DsFsrاد του οποίου τα QP20 μέχρι QP30 είναι πάνω από 38dB ενώ η μέγιστη τιμή του PSNR είναι 45dB. Τα ίδια βίντεο με τα φίλτρα κωδικοποιήθηκαν και με το πρότυπο H264 και αναλυτικά αναφέρουμε ότι για το DsFhmedian και το DsFsrاد τα QP20 μέχρι το QP30 είναι αυτά που έχουν ξεπεράσει το κατώφλι ενώ για το φίλτρο DsFlsmv έχουμε τα QP20 μέχρι το QP32.

Ως δεύτερη τεχνική αξιολόγησης χρησιμοποιήσαμε το MSE για το οποίο παρουσιάσαμε τα boxplots για τα αρχικά βίντεο για όλες της κωδικοποιήσεις ενώ για τα φιλτραρισμένα βίντεο χρησιμοποιήσαμε το HEVC και το H264. Το MSE για το πρότυπο HEVC έχει ως μέγιστη τιμή το 60 ενώ τα υπόλοιπα πρότυπα η μέγιστη τιμή που παίρνουν είναι κοντά στο 70 και το μοναδικό πρότυπο που η μέγιστη τιμή πλησιάζει το 90 είναι το MPEG2. Τα αποτελέσματα για τα φιλτραρισμένα βίντεο για την κωδικοποίηση HEVC μας δείχνουν ότι για το φίλτρο DsFhmedian η μέγιστη τιμή του MSE είναι κοντά στο 50 ενώ για το DsFsrad η τιμή είναι λίγο πιο κάτω, δηλαδή στο 45 και τέλος για το φίλτρο DsFlsmv η μέγιστη τιμή είναι κάτω από 45 η οποία είναι και η χαμηλότερη. Η κωδικοποίηση H264 και για τα τρία φίλτρα (DsFhmedian, DsFlsmv και DsFsrad) μας δίνει μέγιστη τιμή κοντά στο 50 για το MSE.

Η τελευταία τεχνική αξιολόγησης χρησιμοποιήσαμε το SSIM και παρουσιάσαμε σε boxplots τις τιμές για τα αρχικά βίντεο με όλα τα πρότυπα ενώ για τα φιλτραρισμένα βίντεο χρησιμοποιήσαμε μετρήσεις μόνο για το πρότυπο HEVC και H264. Τα αποτελέσματα που πήραμε για τα αρχικά βίντεο για όλες τις κωδικοποιήσεις είναι στα ίδια επίπεδα για όλα τα πρότυπα, δηλαδή έχουμε το εύρος τιμών να είναι από 0,8 έως το 0,98 όπου είναι και η υψηλότερη τιμή που παίρνουμε. Τα αποτελέσματα του SSIM για τα φιλτραρισμένα βίντεο που κωδικοποιήθηκαν με το πρότυπο HEVC και εφαρμόστηκε το φίλτρο DsFhmedian είναι αρκετά ικανοποιητικά και το εύρος τιμών είναι από 0,86 μέχρι 0,99. Για το φίλτρο DsFlsmv έχουμε την χαμηλότερη τιμή του SSIM να βρίσκεται στο 0,89 ενώ η υψηλότερη είναι κοντά στα 0,99. Το φίλτρο DsFsrad έχει περίπου τα ίδια αποτελέσματα με το DsFhmedian, δηλαδή η χαμηλότερη τιμή που παίρνει είναι 0,86 ενώ η υψηλότερη βρίσκεται κοντά στο 0,99. Τα ίδια φιλτραρισμένα βίντεο κωδικοποιήθηκαν και με το πρότυπο H264 και τα αποτελέσματα που έδωσαν τα τρία φίλτρα είναι για το DsFhmedian και το DsFsrad έχουμε τιμές από 0,85 μέχρι 0,99 ενώ για το φίλτρο linear despeckle το εύρος των τιμών ξεκινά από 0,86 ως 0,99 για την μέγιστη τιμή SSIM.

Μετά την αξιολόγηση ποιότητας των βίντεο θα γίνει μια γενική αναφορά στα αποτελέσματα για το bit rate για τα πρότυπα HEVC και H264. Αρχικά παρουσιάστηκαν τα rate distortion curves για τα αρχικά βίντεο τα οποία κωδικοποιήθηκαν με τα πρότυπα HEVC και H264. Το median bit rate για το HEVC αρχίζει από 48kbps και φθάνει μέχρι τα 1300kbps σε σχέση με τις median τιμές του PSNR που ξεκινάνε από 31dB για το QP42

και φθάνουν μέχρι τα 44dB για το QP20. Η κωδικοποίηση H264 έχει το εύρος τιμών του bit rate να είναι 69kbps μέχρι 1600kbps για τις αντίστοιχες τιμές του PSNR οι οποίες αρχίζουν από τα 30dB για το QP42 και φθάνουν μέχρι και τα 43dB για το QP20. Ακολούθως παρουσιάστηκαν οι γραφικές παραστάσεις για το bit rate για τα φιλτραρισμένα βίντεο για τις κωδικοποιήσεις HEVC και H264 για το κάθε ένα από τα τρία φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν. Οι median τιμές του bit rate για το φίλτρο DsFhmedian για την κωδικοποίηση HEVC κυμαίνονται από 44kbps μέχρι 1100kbps για τις αντίστοιχες median τιμές του PSNR που κυμαίνονται από 32dB μέχρι 44dB αντίστοιχα. Το ίδιο φίλτρο με κωδικοποίηση H264 μας δίνει εύρος τιμών για το bit rate από 64kbps μέχρι 1440kbps και αντίστοιχα το PSNR από 31dB ως 44dB. Στη συνέχεια το φίλτρο DsFlsmn για τα ίδια πρότυπα μας έδωσε median τιμές για το bit rate από 44kbps μέχρι 999kbps για το πρότυπο HEVC ενώ για το H264 οι τιμές κυμαίνονται από 65kbps μέχρι 1300kbps. Οι τιμές του PSNR για το πρότυπο HEVC κυμαίνονται από 32dB μέχρι 46dB και για το H264 από 31dB μέχρι 45dB. Τελευταίο είναι το φίλτρο DsFsrاد και οι τιμές του bit rate για τις δύο κωδικοποιήσεις σε σχέση με το PSNR θα αναφερθούν πιο κάτω. Το πρότυπο HEVC σε αυτό το φίλτρο έχει εύρος τιμών από 46kbps ως 1200kbps για τις αντίστοιχες τιμές του PSNR οι οποίες κυμαίνονται από 31dB μέχρι 45dB. Το πρότυπο H264 έχει εύρος τιμών από 68kbps ως 1500kbps ενώ το αντίστοιχο PSNR κυμαίνεται από 31dB έως τα 44dB.

Όσο αφορά τα ποσοστά κέρδους bit rate τα οποία προσφέρει η κάθε κωδικοποίηση σε σχέση με τις υπόλοιπες και αναφέρθηκαν στον Πίνακα 5-1 οι παρατηρήσεις μας είναι ότι το πρότυπο HEVC έχει κατά 30% υψηλότερο κέρδος στο bit rate από τον προκάτοχο του H264 για την ίδια ποιότητα αλλά και καλύτερη ενώ από τα υπόλοιπα πρότυπα η διαφορά ποσοστού ξεπερνά το 50% και φθάνει μέχρι και το 70% κάτι που καθιστά το νέο πρότυπο HEVC ως το καλύτερο πρότυπο κωδικοποίησης στις μέρες μας. Το πρότυπο κωδικοποίησης H264 έχει και αυτό αρκετή διαφορά από τους προκάτοχους του η οποία ανέρχεται στο 30% και 40% για τα πρότυπα H263 και MPEG4 αντίστοιχα ενώ η διαφορά από το πρότυπο MPEG2 είναι στο 50% το οποίο έχει τα χαμηλότερα ποσοστά από όλα τα πρότυπα.

Σημαντικά βέβαια είναι και τα αποτελέσματα κέρδους bit rate που προκύπτουν από τα τρία φίλτρα που χρησιμοποιήσαμε αλλά και των αρχικών βίντεο με την κωδικοποίηση HEVC τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-2. Παρατηρούμε ότι τα ποσοστά για το

φίλτρο DsFIs_{mn} είναι τα υψηλότερα από τα υπόλοιπα δύο φίλτρα αλλά και από το αρχικό βίντεο στην κωδικοποίηση με HEVC κάτι που σημαίνει ότι το φίλτρο DsFIs_{mn} εξοικονομεί περισσότερο bit rate από τα υπόλοιπα με την ίδια ποιότητα βίντεο. Το φίλτρο DsFh_{median} ακολουθεί ως δεύτερο καλύτερο φίλτρο όσο αφορά το κέρδος bit rate ενώ το DsFs_{rad} υπερέχει μόνο του αρχικού βίντεο. Αυτή η σύγκριση έγινε και για το πρότυπο H264 στον Πίνακα 5-3 και παρατηρήσαμε την ίδια κατάταξη των φίλτρων όσο αφορά το κέρδος bit rate αλλά τα ποσοστά ήταν χαμηλότερα κάτι που αποδεικνύει για άλλη μια φορά ότι το πρότυπο HEVC προσφέρει χαμηλότερο bit rate και στα φιλτραρισμένα βίντεο.

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα που έχουμε αναφέρει και πιο πάνω επιβεβαιώθηκαν και κατά την αποστολή των συγκεκριμένων βίντεο , original και despeckle, αφού σε σχετική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Κύπρου σχετικά με την αποστολή ιατρικού βίντεο σε πραγματικό χρόνο παρατηρήθηκαν τα ίδια αποτελέσματα με αυτά που αναφέρθηκαν πιο πάνω και μετά την αποστολή των βίντεο [29]. Συγκεκριμένα η αποστολή έγινε με δυο μεθόδους, η μία ήταν μέσω 3G modem ενώ η άλλη ήταν μέσω Satellite Internet. Επιπλέον ο ρυθμός μετάδοσης των βίντεο καθορίστηκε κατά την κωδικοποίηση των βίντεο στα 768kbps και 1024kbps ενώ το frame rate καθορίστηκε κατά την αποστολή στα 50fps για το Satellite Internet και 25fps για το 3G. Αυτό που παρατηρήθηκε είναι η μικρή αλλοίωση στην ποιότητα του βίντεο κυρίως στην αποστολή με 3G modem αλλά χωρίς αυτό να επηρεάζει τις τεχνικές αξιολόγησης ποιότητας όπως το PSNR το οποίο ξεπερνούσε τα 35dB μετά την αποστολή κάτι που θεωρείται αρκετά ικανοποιητικό.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

6.1. Συμπεράσματα.....	69
6.2. Μελλοντική Εργασία.....	71

6.1. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την σύγκριση και ανάλυση των αποτελεσμάτων μεταξύ των κωδικοποιήσεων HEVC, H264, MPEG4, H263 και MPEG2. Απώτερος στόχος ήταν η διερεύνηση του πως επηρεάζουν οι διάφοροι παράμετροι τα πρότυπα αυτά και η σύγκριση μεταξύ τους για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για ερευνητικούς σκοπούς.

Το σύστημα που αναπτύχθηκε έχει ως σκοπό την κωδικοποίηση βίντεο με τα πρότυπα που αναφέρθηκαν πιο πάνω αλλά και ομάδων βίντεο τα οποία μπορούν να κωδικοποιηθούν με διαφορετικές παραμέτρους. Αυτό βοηθάει στο να έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα για αυτά τα πέντε πρότυπα κωδικοποίησης και πως οι διάφοροι παράμετροι επηρεάζουν την ποιότητα και το ρυθμό μετάδοσης τα οποία είναι τα κύρια χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή.

Συγκεκριμένα τα βίντεο που χρησιμοποιήθηκαν για την κωδικοποίηση είναι βίντεο υπέρηχου της καρωτιδικής αρτηρίας. Χρησιμοποιήθηκαν στο σύνολο δέκα διαφορετικά βίντεο τα οποία είχαν ανάλυση 560x416 όπου είναι η αυθεντική ανάλυση έτσι όπως καταγράφηκαν από το υπερηχογραφικό μηχάνημα.

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω χρησιμοποιήθηκαν δύο παράμετροι αξιολόγησης για τα κωδικοποιημένα βίντεο. Η πρώτη μέθοδος αξιολόγησης είναι το PSNR το οποίο θεωρείται μια από τις διαδεδομένες μετρήσεις για αξιολόγηση της ποιότητας βίντεο και η δεύτερη είναι ο ρυθμός μετάδοσης το οποίο μας δίνει τα αποτελέσματα για το ποσό των bits per seconds που χρειάζεται το βίντεο να μεταδοθεί. Η συσχέτιση αυτών των δύο παραμέτρων αξιολόγησης μας δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα ποιο πρότυπο είναι το καλύτερο για την κωδικοποίηση και μετάδοση βίντεο.

Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων εστιάσαμε την προσοχή μας στα δύο πιο πρόσφατα πρότυπα κωδικοποίησης (HEVC και H264) και μελετήθηκαν τέσσερα σενάρια. Το πρώτο σενάριο αφορά τις κωδικοποιήσεις των αρχικών βίντεο και των τιμών που παίρνουν οι μέθοδοι αξιολόγησης. Στο δεύτερο σενάριο μελετήθηκε η κωδικοποίηση των βίντεο που είχε εφαρμοστεί σε αυτά το φίλτρο DsFhmedian για την απομάκρυνση του θορύβου. Το τρίτο σενάριο αφορά πάλι τα βίντεο στα οποία εφαρμόστηκε το φίλτρο DsFlsmv και το τελευταίο σενάριο αφορά το φίλτρο DsFsrad.

Τα συμπεράσματα μας για τα αρχικά βίντεο για τις δύο κωδικοποιήσεις είναι ότι το πρότυπο HEVC παρατηρούμε να έχει καλύτερες επιδόσεις από τον προκάτοχο του H264. Η βελτίωση αυτή παρατηρείται και στις δυο παραμέτρους αξιολόγησης που χρησιμοποιήσαμε. Το πρότυπο HEVC αποδίδει υψηλότερες τιμές για το PSNR σε σχέση με το H264 κάτι που εξασφαλίζει στο βίντεο υψηλότερη ποιότητα ενώ το bit rate κανονικά θα έπρεπε να είναι πολύ μεγάλο λόγω τις πολύ καλής ποιότητας αντιθέτως οι τιμές του bit rate είναι πιο χαμηλές και από αυτές του H264 που έχει χαμηλότερο PSNR από το H264.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα συμπεράσματα για τα φιλτραρισμένα βίντεο στα οποία εφαρμόστηκαν τα φίλτρα DsFhmedian, DsFlsmv και DsFsrad. Όσο αφορά το φίλτρο DsFhmedian τα συμπεράσματα που μπορούμε να βγάλουμε είναι ότι και σε αυτή την περίπτωση το πρότυπο HEVC έχει καλύτερα αποτελέσματα από το H264 αφού για τις τιμές του PSNR παίρνουμε υψηλότερες τιμές και χαμηλότερο bit rate συγκριτικά με αυτές του H264. Για το φίλτρο DsFlsmv παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα που πήραμε είναι τα υψηλότερα όσο αφορά το PSNR και για το bit rate παρατηρούμε ότι οι τιμές του είναι πολύ ικανοποιητικές. Το φίλτρο DsFsrad παρατηρούμε να υπερτερεί το πρότυπο HEVC από το H264 σε μεγάλο βαθμό και για το PSNR αλλά και για τις τιμές του bit rate.

Το γενικό συμπέρασμα στο οποίο μπορούμε να καταλήξουμε πιο από τα τέσσερα σενάρια που χρησιμοποιήσαμε προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα είναι ότι το πρότυπο HEVC έχει βελτίωση σε μεγάλο ποσοστό την ποιότητα κωδικοποίησης ενός βίντεο ενώ παράλληλα προσφέρει κατά 33% χαμηλότερο bit rate από τον προκάτοχο του H264. Συγκριτικά τα καλύτερα αποτελέσματα όσο αφορά το PSNR και bit rate τα παίρνουμε από την κωδικοποίηση HEVC με την εφαρμογή του φίλτρου DsFlsmv στα

βίντεο σε σχέση με τα άλλα δύο φίλτρα (DsFhmedian και DsFsrad) αλλά επίσης και από τα αρχικά βίντεο. Το φίλτρο DsFhmedian έχει μετά το DsFlsmv τις καλύτερες επιδόσεις ενώ το DsFsrad έχει καλύτερες από τα αρχικά βίντεο τα οποία έχουν τις χαμηλότερες τιμές για το PSNR και τις υψηλότερες για το bit rate.

Βάση των πιο πάνω ο στόχος του προτύπου HEVC ο οποίος ήταν η βελτίωση στο τρόπο συμπίεσης και κωδικοποίησης βίντεο καθώς και η μείωση του bit rate με την ποιότητα να παραμένει υψηλή επιτεύχθηκε και έχουμε σήμερα ένα σημαντικό εργαλείο το οποίο θα ωφελήσει σε μεγάλο βαθμό όλους του τομείς που ασχολούνται με την επεξεργασία αλλά και μετάδοση ψηφιακού βίντεο.

6.2. Μελλοντική Εργασία

Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας εξάχθηκαν αναλύοντας δέκα βίντεο καρωτιδικής αρτηρίας και εφαρμόζοντας τρία ψηφιακά φίλτρα. Η μελλοντική εργασία στοχεύει τόσο σε εξέταση ενός μεγαλύτερου δείγματος υπερηχογραφικών βίντεο της καρωτιδικής αρτηρίας, όσο και η επέκταση της μελέτης και σε διαφορετικού είδους υπερηχογραφικού βίντεο, όπως το ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής. Μελλοντικός στόχος είναι επίσης η χρησιμοποίηση περισσότερων φίλτρων για την αφαίρεση θορύβου πριν από την κωδικοποίηση, για την ύπαρξη μια μελέτης η οποία θα συγκεντρώνει και θα αναλύει τα πιο διαδεδομένα φίλτρα που εμφανίζονται σήμερα στην βιβλιογραφία.

Επιπλέον μια σημαντική εξέλιξη του συστήματος θα ήταν η υλοποίηση του μέσω του λογισμικού μετάδοσης ιατρικού βίντεο σε πραγματικό χρόνο το οποίο αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο Κύπρου και θα μπορεί μέσω γραφικού περιβάλλοντος ο χρήστης να εκτελέσει όλες τις λειτουργίες που αναφέρθηκαν στην πτυχιακή εργασία αυτή καθώς επίσης θα του παρέχονται και οι κύριες λειτουργίες του προγράμματος όπως μετάδοση σε πραγματικό χρόνο ιατρικού βίντεο, κωδικοποίηση αποκωδικοποίηση ψηφιακού βίντεο, σύγκριση και αξιολόγηση βίντεο με αντικειμενικές τεχνικές αξιολόγησης ποιότητας βίντεο όπως PSNR, SSIM και MS-SSIM.

Τέλος τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση ως προς την ποιότητα, χρησιμοποίηση περισσότερων τεχνικών αξιολόγησης ποιότητας, καθώς επίσης και για να εξακριβώσουμε το ποσοστό που βοηθά το φιλτράρισμα και αν μπορούμε να πάρουμε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα υπάρχοντα.

Βιβλιογραφία

- [1] Phillip A. Laplante, Multimedia Image Second Edition, Pennsylvania: Taylor & Francis Group, LLC, 2012.
- [2] A. C. Bovik, The Essential Guide to Video Processing, Austin, Texas, 2009.
- [3] K. Γ. Μαργαρίτης, "Γενικές Αρχές Συμπίεσης," Parallel Distributed Processing Laboratory (PDP Lab), [Online]. Available: http://www.it.uom.gr/project/MultimediaTechnologyNotes/chap2a_3.htm#_ftnref2.
- [4] T. Sikora, «Digital Video Coding Standards and Their,» *Signal Processing for Multimedia*, pp. 225-231, 1999.
- [5] "The Moving Picture Experts Group website," MPEG, [Online]. Available: <http://mpeg.chiariglione.org/>.
- [6] "International Telecommunication Union," [Online]. Available: <http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/com16/video/Pages/jvt.aspx>.
- [7] I. T. Union, «Video Codec for Audiovisual Services at px64 kbit/s,» *ITU-T*, 1990.
- [8] I. O. f. Standardization, «ISO/IEC 11172-2 (MPEG1),» *Information Technology - Coding of moving pictures and associated for digital storage media at up to about 1.5 Mbit/s*, May 1993.
- [9] I. T. Union, «Video coding for low bit rate communication». *ITU-T*.
- [10] J. V. T. o. I. a. I. JTC, «Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification,» Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, JVTG050, March 2003.
- [11] I. E. G. Richardson, H.264 and MPEG-4 VIDEO COMPRESSION, The Robert Gordon University, Aberdeen, UK, 2003.
- [12] ITU-T, «Advanced video coding for generic audiovisual services,» σε *ITU-T and ISO/IEC 14496-10 Recommendation H.264 (MPEG-AVC)*, May 2003.
- [13] G. J. S. G. B. ., A. L. Thomas W., "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY*, vol. 13, p. 561, 2003.
- [14] G. J. Sullivan, R. O. Jens, J. H. Woo, W. Thomas and IEEE, "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard," *IEEE*, vol. 22, p. 1649, 2012.

- [15] ITU-T, "H.265: High efficiency video coding," in *ITU-T Recommendation H.265*, June 2013.
- [16] H. Q. Thu and M. Ghanbari, "Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment," *IEEE*, vol. 44, pp. 800 - 801, 2008.
- [17] M. Barni, in *Document and Image Compression*, CRC - Taylor & Francis, 2006, pp. 30 - 32.
- [18] A. C. Bovik, W. Zhou, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli, "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity," *IEEE*, vol. 13, pp. 600-606, 2004.
- [19] S. Henami, G. Pinto, F. Ciaramello and D. Rouse, "Visual Communications Lab," Cornell University, 2005. [Online]. Available: http://foulard.ece.cornell.edu/gaubatz/metrix_mux/.
- [20] J. -R. Ohm, G. J. Sullivan, H. Schwarz, T. K. Tan and T. Wiegand, "Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards-Including High Efficiency Video Coding," *IEEE*, vol. 22, pp. 1669-1684, Dec.2012.
- [21] G. Bjontegaard, "Improvements of the BD-PSNR model," *ITU-T SG16 Q.6 Document*, July 2008.
- [22] G. Valenzise, "Mathworks," 30 May 2010. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27798-bjontegaard-metric/content/bjontegaard.m>.
- [23] D. T. Hoang, P. M. Long and J. S. Vitter, "Efficient Cost Measures for Motion Estimation at Low Bit Rates," *IEEE*, vol. 8, pp. 488-495, 1998.
- [24] C. P. Loizou and C. S. Pattichis, "Despeckle Filtering Algorithms and Software and Software for Ultrasound Imaging," vol. 1, 2008.
- [25] Χ. Θεοφάνους, «Φιλτράρισμα Βίντεο Υπερήχων Καρωπδικής Αρτηρίας Για Αφαίρεση Πολλαπλασιαζόμενου Θορύβου,» ΤΕΠΑΚ, Λεμεσός, 2012.
- [26] Y. Yongjian and S. T. Acton, "Speckle Reducing Anisotropic Diffusion," *IEEE*, vol. 11, pp. 1260 - 1270, 2002.
- [27] [Online]. Available: <http://www.librow.com/articles/article-8>.
- [28] A. Panayides, M. Pattichis, C. Pattichis, C. Loizou, M. Pantziaris and A. Pitsillides, "Atherosclerotic Plaque Ultrasound Video Encoding, Wireless Transmission, and

Quality Assessment Using H.264," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 15, pp. 387-397, May 2011.

- [29] Α. Αργυρού, *ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΒΙΝΤΕΟ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΚΑΙ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ 3.5ης ΓΕΝΕΑΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ-ΚΩΔΙΚΑ*, Nicosia: Computer Science Department University of Cyprus, December 2013.