

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ (Έδρα: Σπάρτη)

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

Πτυχιακή Εργασία

«Αποτίμηση υποκειμενικής ποιότητας σε εφαρμογές μετάδοσης
video μέσω Internet»

Όνοματεπώνυμο: Σταματία Κονιδάρη
Αριθμός Μητρώου: 2012124

Επιβλέπων Καθηγητής: Σάββας Αργυρόπουλος

Έκδοση: 2017

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα από όλα, τον επιβλέποντα της εργασίας μου καθηγητή κ. Σάββα Αργυρόπουλο, διδάσκοντα του τμήματος μηχανικών πληροφορικής Τ.Ε, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την μεγάλη τους υποστήριξη και ενθάρρυνση κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	vi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εφαρμογές και Τεχνολογία Πολυμέσων	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Ψηφιακό βίντεο.....	4
2.1 Ψηφιακό βίντεο	4
2.2 Χαρακτηριστικά ψηφιακού βίντεο	4
2.3 Συμπίεση βίντεο	6
2.4 Κωδικοποιητές ψηφιακού βίντεο	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ποιότητα μετάδοσης βίντεο μέσω Internet.....	10
3.1 Ποιότητα υπηρεσιών στην μετάδοση πολυμέσων στο διαδίκτυο	10
3.2 Υποκειμενική αξιολόγηση Ποιότητας Βίντεο.....	11
3.3 Μέθοδοι υποκειμενικής εκτίμησης ποιότητας βίντεο:	14
3.3.1 Πρωτόκολλο προβολής εμπειρογνομόνων για την αξιολόγηση της ποιότητας του υλικού βίντεο.....	20
3.4 Αντικειμενικές Μέθοδοι μέτρησης Ποιότητας Ψηφιακού Βίντεο.....	23
3.4.1 Το διαδίκτυο ως πλατφόρμα μεταφοράς δεδομένων βίντεο	23
3.4.2 Ποιότητα υπηρεσίας - QoS (Quality of Service)	24
3.4.3 Μέθοδοι αντικειμενικής αξιολόγησης βίντεο	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Μεθοδολογία Πειράματος.....	36
4.1 Σχεδιασμός μετρήσεων.....	36
4.2 Υποκειμενικές Μετρήσεις	39
4.3 Αντικειμενική Μέθοδος	42
4.3.1 Αλγόριθμος G.1071.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Ανάλυση αποτελεσμάτων	46
5.1 Υποκειμενικές Μετρήσεις	46
5.2 Αντικειμενικές Μετρήσεις.....	47
5.3 Απόδοση Κωδικοποιητών	48
Συμπεράσματα – Επίλογος.....	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ποιότητα μετάδοσης κινούμενης εικόνας σε διάφορες ποιότητες, αποτελεί την μεγαλύτερη τεχνική πρόκληση. Λόγω της επικράτησης του διαδικτύου στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, αλλά και της ενσωμάτωσης του έξυπνου κινητού τηλεφώνου, το οποίο έγινε το μόνιμο «αξεσουάρ» της πλειοψηφίας των ανθρώπων στην γη, η μετάδοση πληροφοριών έχει πάρει γιγάντιες διαστάσεις και μάλιστα πολλές από αυτές απαιτείται να μεταδίδονται «ζωντανά» έχοντας τη μορφή «κινούμενης εικόνας» (βίντεο) με ποιότητα και ταχύτητα. Σημαντική εξέλιξη για τους διανομείς περιεχομένου βίντεο είναι ότι πλέον έχουν υιοθετήσει High Definition και Ultra High Definition (4k) αναλύσεις.

Συνεπώς, απαιτούνται κατάλληλοι μέθοδοι που θα ανταποκρίνονται στα νέα δεδομένα με ιδιαίτερη έμφαση σε κωδικοποίηση που επιτυγχάνει μεγαλύτερη συμπίεση. Η ανάπτυξη αξιόπιστων δοκιμών ποιότητας και τα εργαλεία παρακολούθησης της ποιότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους ραδιοτηλεοπτικούς φορείς απαιτεί τελικά αξιόπιστες μετρήσεις ποιότητας βίντεο. Με τη σειρά τους, η επικύρωση αυτών των αντικειμενικών μοντέλων απαιτεί αξιόπιστη υποκειμενική αξιολόγηση, την ακριβέστερη αναπαράσταση της ποιότητας που αντιλαμβάνονται οι τελικοί χρήστες. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές υποκειμενικές μεθοδολογίες αξιολόγησης και το καθένα έχει τα πλεονεκτήματά του και τις αποδόσεις.

Στα πλαίσια πτυχιακής εργασίας εξετάστηκε η υποκειμενική αξιολόγηση της ποιότητας των βίντεο υψηλών προδιαγραφών που είναι συμπιεσμένα και αναλύθηκε η απόδοση των κωδικοποιητών H.264 και HEVC με υποκειμενικές και αντικειμενικές μεθόδους.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία παρουσιάζεται η αποτίμηση της υποκειμενικής ποιότητας σε εφαρμογές μετάδοσης βίντεο μέσω του διαδικτύου. Σκοπός της εργασίας είναι να καταδειχθεί η τεχνολογία και οι εφαρμογές των πολυμέσων και οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στο διαδίκτυο και στις νέες πλατφόρμες εφαρμογών όπως τα κοινωνικά δίκτυα.

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται τα συστήματα πολυμέσων και η εξέλιξη τους καθώς και οι διαφορές από τις προηγούμενες περιόδους.

Στο κεφάλαιο 2 αναλύεται το ψηφιακό βίντεο, τα χαρακτηριστικά του οι μέθοδοι συμπίεσης και κωδικοποίησης και οι γνωστότερες και πιο χρησιμοποιούμενες μορφές των αρχείων.

Στο κεφάλαιο 3 εξετάζονται οι παράμετροι της μετάδοσης του βίντεο αλλά και των πολυμέσων, οι υποκειμενικές μέθοδοι μέτρησης της ποιότητας του τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζει αυτή η μέθοδος. Παρουσιάζεται επίσης και η αντικειμενική μέθοδος μέτρησης της ποιότητας ενός βίντεο, η οποία έχει να κάνει περισσότερο με τα τεχνικά χαρακτηριστικά και των συσκευών, λήψης και μετάδοσης, των προγραμμάτων κωδικοποίησης και επεξεργασίας, του διαδικτύου και των συσκευών των χρηστών.

Το κεφάλαιο 4 επικεντρώνεται στην περιγραφή των ρυθμίσεων και των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της μελέτης, τόσο στις υποκειμενικές μετρήσεις όσο και στις αντικειμενικές μετρήσεις.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5 περιγράφονται οι μετρήσεις και τα πειραματικά αποτελέσματα των υποκειμενικών και αντικειμενικών μεθόδων, όπως ο συσχετισμός μεταξύ των δυο μεθόδων αξιολόγησης ποιότητας βίντεο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εφαρμογές και Τεχνολογία Πολυμέσων

1.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μεγάλη αύξηση του αριθμού των χρηστών που χρησιμοποιούν συσκευές με δυνατότητες σύνδεσης στο διαδίκτυο, συνεπώς και αύξηση των σταθερών ευρυζωνικών ταχυτήτων. Νέες προηγμένες υπηρεσίες video αντιπροσωπεύουν μεγάλο μέρος της διακίνησης δεδομένων μέσω IP. Οι διανομείς περιεχομένου βίντεο έχουν πλέον υιοθετήσει HD αναλύσεις με αποτέλεσμα βίντεο με Standard Definition να μην υπάρχουν πια. Σημαντική εξέλιξη επίσης έχει παρατηρηθεί και πέρα από την ανάλυση HD, όπως UHD (Ultra High Definition) με ανάλυση 3840x2160, γνωστή ως 4k και 7680x4320 (8k). Αυτή η εξέλιξη έχει ως αποτέλεσμα τα βίντεο να καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες εύρους ζώνης και επομένως να δημιουργούν νέες απαιτήσεις για καλύτερη υποδομή του δικτύου και κάλυψη της ταχύτητας λόγω των υψηλότερων αναλύσεων.

Με την έλευση του διαδικτύου και την ανάγκη για γραφική παρουσίαση, εμφάνιση εικόνων αλλά κυρίως βίντεο, δημιουργήθηκε η ανάγκη για ισχυρούς υπολογιστές και συσκευές που θα καλύπτουν όμως τους βασικούς παράγοντες όπως την ποιότητα, άνεση και το επιτρεπτό κόστος αγοράς, για τους περισσότερο ανθρώπους. Με την ευρεία εξάπλωση των τεχνολογιών του διαδικτύου, της ασύρματης επικοινωνίας και ειδικά με την παρουσίαση και επικράτηση των νέων κινητών έξυπνων τηλεφώνων (smart phone) τα οποία έχουν μετατραπεί ουσιαστικά σε μικρούς ισχυρούς φορητούς υπολογιστές σχεδόν, τα πολυμέσα έχουν πλέον μεγάλη ανάπτυξη με συνεχείς απαιτήσεις για καλύτερη και ταχύτερη ποιότητα εμφάνισης.

Μέσω διαδικτύου και ειδικά μέσω της ασύρματης κινητής τηλεφωνίας, η παροχή υπηρεσιών κινούμενης εικόνας με σταθερή ποιότητα και σε πραγματικό χρόνο, καθώς και η ταυτόχρονη πρόσβαση πολλών χρηστών δημιουργεί πρόσθετες απαιτήσεις όσον αφορά τις τεχνικές δυνατότητες μετάδοσης της πληροφορίας στο δίκτυο. Η ψηφιακή πρόοδος δίνει τη δυνατότητα για δίκτυα νέας γενιάς με την χρήση οπτικών ινών, οι οποίες

προσφέρουν πολύ υψηλές ταχύτητες, τεράστιο εύρος ζώνης, καλύτερες ποιότητες σήματος, μεγαλύτερη ασφάλεια και ευκολότερη εγκατάσταση και συντήρηση.

Με τις κατάλληλες πλέον μεθόδους κωδικοποίησης και τεχνικές πολυπλεξίας μπορεί να μεταφερθεί περισσότερη πληροφορία πάνω από το ίδιο κανάλι επικοινωνίας. Οι νέες τεχνικές συμπίεσης δεδομένων, ειδικά στην εικόνα και τον ήχο, μειώνει το μέγεθος των αρχείων και υπάρχει η δυνατότητα για ζωντανή μετάδοση βίντεο μέσω διαδικτύου και με απλές συσκευές όπως ένα κινητό τηλέφωνο.

Η ψηφιακή πλέον τεχνολογία, είναι μονόδρομος καθώς όλες οι συσκευές παραγωγής, μετάδοσης και παρουσίασης (βιντεοκάμερες, φωτογραφικές μηχανές, προβολείς εικόνas και ταινιών (projector), οθόνες υπολογιστών και τηλεοράσεις είναι ψηφιακές και συνδέονται με μεγάλες ταχύτητες, πιστότητα και κυρίως ευκολία μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας και ψηφιακά συστήματα μετάδοσης και επικοινωνίας. (Λαζαρίνης, 2007).

Έτσι λόγω της αυξανόμενης ζήτησης online βίντεο από πλατφόρμες όπως το YouTube αναπτύσσεται η ανάγκη συμπίεσης του αρχικού σήματος βίντεο με έναν κωδικοποιητή (codec) σε πολύ μικρότερο πακέτο, που μπορεί εύκολα να αποθηκευθεί ή να μεταδοθεί μέσω του διαδικτύου. Οι κωδικοποιητές που χρησιμοποιούνται για την συμπίεση μειώνουν το εύρος ζώνης για την αποθήκευση ή τη μετάδοση των βίντεο, χωρίς να προκαλούν σοβαρές μεταβολές του περιεχομένου. Επομένως, δημιουργείται η ανάγκη χρήσης σύγχρονων μεθόδων συμπίεσης περιεχομένου βίντεο όπως VP9, H.265 και H.264 που αναπτύσσονται από καλά εδραιωμένα ιδρύματα όπως την ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG), την ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) και την Google Inc. Οι τελευταίοι κωδικοποιητές βίντεο σχεδιάστηκαν για να μειώσουν το απαιτούμενο bitrate των βίντεο με υψηλή ανάλυση ενώ παράλληλα εξασφάλισαν την ποιότητα εμπειρίας του τελικού χρήστη (QoE).

Στη συμπίεση video αναζητείται μια χρυσή τομή ανάμεσα στην ποιότητα και το εύρος ζώνης (bandwidth). Πολλές φορές βασίζεται σε υποκειμενικές μετρήσεις, όπως θα δούμε και στη συνέχεια στην εργασία που γίνονται σε άτομα που θεωρούνται ικανά “δείγματα” πάνω στην εκτίμηση των ακολουθιών.

Στις υποκειμενικές μετρήσεις υπάρχουν πιθανότητες ο θεατής να μην αντιληφθεί σημαντικές διαφορές στην ποιότητα του περιεχομένου και θεωρούν ανεκτές τις ατέλειες των βίντεο μετά από κάποιο ποσοστό συμπίεσης όπου η μέθοδος και το ποσοστό αυτό θεωρούνται αποδεκτά.

Η υποκειμενική μέθοδος μέτρησης της ποιότητας των βίντεο αποτελεί την πιο ακριβή μέθοδο, διότι με αυτόν τον τρόπο οι ερευνητές αντιλαμβάνονται την ποιότητα και την απόδοση των τελευταίων κωδικοποιητών βίντεο σε σχέση με την εμπειρία του χρήστη.

Η τρέχουσα εργασία εστιάστηκε κυρίως στην υποκειμενική μέθοδο χρησιμοποιώντας τα πρότυπα συμπίεσης H.264 και HEVC. Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας υλοποιήθηκαν και μετρήθηκαν μέθοδοι εκτίμησης της ποιότητας βίντεο μέσω της χρήσης μεθόδου ACR, με σκοπό την υποκειμενική εκτίμηση της ποιότητας βίντεο. Στη συνέχεια μέσω των κατάλληλων πειραμάτων αξιολογήθηκε η απόδοσή τους και μελετήθηκαν τα αποτελέσματα συγκριτικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Ψηφιακό βίντεο

2.1 Ψηφιακό βίντεο

Το ψηφιακό βίντεο είναι ένα σύνολο στατικών εικόνων που εναλλάσσονται γρήγορα πολλές φορές το δευτερόλεπτο. Το βίντεο «κληρονομεί» τα στοιχεία των εικόνων που το αποτελούν (χρωματική και χωρική ανάλυση – color special resolution) και επιπλέον χαρακτηρίζεται από την συχνότητα εναλλαγής τους (συχνότητα καρέ frame-rate). Για παράδειγμα μια κινηματογραφική ταινία, αποτελείται από διαδοχικές εικόνες, οι οποίες προβάλλονται γρήγορα (τουλάχιστον 25 εικόνες ανά δευτερόλεπτο) και έτσι τα αντικείμενα εμφανίζονται ως κινούμενα. Οι διαδοχικές εικόνες, που αποτελούν το απόσπασμα βίντεο, ονομάζονται πλαίσια ή καρέ (frames).

2.2 Χαρακτηριστικά ψηφιακού βίντεο

Τα κύρια χαρακτηριστικά του ψηφιακού βίντεο είναι:

- **Αριθμός Πλαισίων (Frame Rate):** Αφορά τον αριθμό των πλαισίων που προβάλλονται ανά δευτερόλεπτο κατά την αναπαραγωγή ενός αποσπάσματος βίντεο.

Ο αριθμός αυτός είναι σημαντικός, γιατί καθορίζει την ομαλότητα της εικόνας και το μέγεθος του αρχείου. Για να είναι ομαλή η εμφάνιση του αποσπάσματος του βίντεο χωρίς απότομες αλλαγές την ώρα της προβολής, ο αριθμός των εικόνων πρέπει να είναι μεγάλος και ανάλογα με την τεχνολογία εμφάνισης τουλάχιστον 25 ή 30 fps. Με αυτό τον τρόπο έχουμε μεγάλο μέγεθος του αποσπάσματος του βίντεο. Οι νέες τεχνικές συμπίεσης έχουν καταφέρει και μείωσαν το μέγεθος του βίντεο, που δε αποτελεί πλέον πρόβλημα αποθήκευσης, αλλά περισσότερο πρόβλημα αναμετάδοσης. (Henot, Ropert, Tanou, Kypreos & Guionnet, 2013).

- **Ανάλυση (video resolution):** Είναι η οριζόντια και κάθετη διάσταση της εικόνας. Εκφράζεται σε pixels (εικονοστοιχεία). Για παράδειγμα, βίντεο με ανάλυση 640×480 σημαίνει ότι οι εικόνες που αποτελούν το βίντεο έχουν διάσταση 640 pixels οριζοντίως και 480 pixels καθέτως.
- **Βάθος χρώματος:** Είναι ο αριθμός των bit που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση της πληροφορίας της χρωματικής απόχρωσης κάθε pixel.
- **Λόγος εικόνας (aspect ratio):** Αναφέρεται στο λόγο οριζόντιας ανάλυσης προς την κάθετη ανάλυση. Ο λόγος για HDTV είναι 16:9.
- **Ρυθμός μετάδοσης bit (bit rate):** Ο ρυθμός μετάδοσης bit είναι η ταχύτητα με την οποία τα δεδομένα (τα δυαδικά ψηφία – bits) μεταδίδονται. Μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης σημαίνει και καλύτερη ποιότητα βίντεο. Συνήθως ο ρυθμός μετάδοσης είναι σταθερός (CBR – Constant Bit Rate).
Ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να είναι και μεταβλητός (VBR – Variable Bit Rate), ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ποιότητα βίντεο. Σε σκηνές με γρήγορη κίνηση το bit rate είναι υψηλό ενώ σε σκηνές με αργή κίνηση το bit rate είναι χαμηλό.

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του δείκτη Cisco Visual Networking Index¹ (VNI), η αναμενόμενη παγκόσμια κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα φθάσει σε εντυπωσιακό 11,2 exabytes το μήνα, **αποτέλεσμα κυρίως του διαμοιρασμού βίντεο υλικού** το 2017, σχεδόν 13 φορές μεγαλύτερη από το 2012. Ο αριθμός των παγκόσμιων συνδέσεων 4G θα αυξηθεί περισσότερο από 16 φορές, φθάνοντας σε ένα ποσοστό ελαφρώς μικρότερο από 1 δισεκατομμύριο. Σε σύγκριση με την συμβατική τηλεόραση, η ποιότητα του βίντεο σε κινητές συσκευές περιορίζεται από τις δυνατότητες υλικού των

¹ <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html> Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper (πρόσβαση 30.6.2017).

συσκευών προβολής και την κατάσταση του δικτύου. Οι προηγούμενες έρευνες είναι ως επί το πλείστον ξεπερασμένες και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ακριβείς αναφορές από τη βιομηχανία κινητών συσκευών η οποία επεκτάθηκε σε τεράστια κλίμακα τα τελευταία χρόνια. Με την ταχεία εξέλιξη του υλικού των κινητών συσκευών, οι ψηφιακές αναλύσεις τους φτάνουν πλέον σε Full HD ή ακόμη μεγαλύτερες. Από την άλλη πλευρά, οι κινητές συσκευές που χρησιμοποιούνται σε προηγούμενες έρευνες είχαν συχνά εγγενή ανάλυση οθόνης πολύ χαμηλότερη από την πλήρη HD. Επιπλέον, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν υποστεί σημαντικές τεχνολογικές μεταβολές και εξελίξεις, καθώς οι διανομείς περιεχομένου βίντεο, όπως το YouTube, υποστηρίζουν ήδη την αναπαραγωγή βίντεο Full HD σε κινητές συσκευές.

Επιπλέον, οι διανομείς περιεχομένου βίντεο διανέμουν ενεργά περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας και υπάρχουν ακαδημαϊκοί που πρότειναν ότι η ανάλυση των περιεχομένων βίντεο θα πρέπει να ταιριάζει με την εγγενή ανάλυση του υλικού εμφάνισης για να επιτευχθεί το πιο επιθυμητό QoE. Τα περιεχόμενα βίντεο χαμηλότερης ανάλυσης από την HD που δοκιμάστηκαν σε προηγούμενες μελέτες δεν είναι επομένως κατάλληλα για δοκιμή στις τελευταίες κινητές συσκευές, οι οποίες έρχονται με οθόνες πολύ υψηλότερων εγγενών αναλύσεων. Υποθέτοντας ότι οι δημοφιλείς ψηφίσματα των 720p και 1080p υιοθετούνται τόσο σε υποκειμενικές όσο και σε αντικειμενικές μεθόδους VOA, η κινητή συσκευή που έχει επιλεγεί για sVQA θα πρέπει να έχει εγγενείς αναλύσεις οθόνης HD ή Full HD. (Bankoski, Bultje, Grange, Gu, Han, Koleszar, & Xu, 2013).

2.3 Συμπύεση βίντεο

Ένα επίσης βασικό χαρακτηριστικό του ψηφιακού βίντεο είναι η συμπύεση. Τεχνικές συμπύεσης έχουν αναπτυχθεί για να εξυπηρετήσουν διαφορετικές ανάγκες. Δημιουργείται η ανάγκη συμπύεσης των δεδομένων εικόνας βίντεο, γιατί διαφορετικά η αποθήκευση, η διακίνηση και η προβολή του βίντεο μέσω υπολογιστή και διαδικτύου θα ήταν ανέφικτη. Μεγαλύτερης διάρκειας βίντεο

θα «έριχναν» πρακτικά όλο το σύστημα. Οι κωδικοποιητές (codecs), που αναφέρονται και ως κωδικοποιητές/αποκωδικοποιητές, είναι λογισμικά που χρησιμοποιούνται για να συμπιέσουν ή να αποσυμπιέσουν ένα ψηφιακό αρχείο.

Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα και η απόδοση του υλικού κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης έχουν διεγείρει την ανάγκη για βίντεο υψηλότερης ανάλυσης. Ως αποτέλεσμα, οι μέθοδοι συμπίεσης βίντεο έχουν εξελιχθεί σε τέσσερις γενιές τα τελευταία 20 χρόνια. Η.265 / AVC και VP9 είναι η τελευταία (4η) γενιά κωδικοποιητών βίντεο.

2.4 Κωδικοποιητές ψηφιακού βίντεο

Το Moving Picture Experts Group (MPEG) είναι μια ομάδα εργασίας εμπειρογνομώνων που σχηματίστηκε από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) και τη Διεθνή Ηλεκτρονική Επιτροπή (IEC) για τον καθορισμό προτύπων συμπίεσης και μετάδοση ήχου και βίντεο που ιδρύθηκε το 1988. Ξεκίνησαν με τη δημιουργία του MPEG-1 (1993) μέχρι τον πιο πρόσφατο VP9. Αναλυτικότερα:

H.264: Ο H.264 είναι ο πιο δημοφιλής κωδικοποιητής/αποκωδικοποιητής για υλικό υψηλής ευκρίνειας. Υποστηρίζει απωλεστική και μη απωλεστική συμπίεση, ανάλογα με τις ρυθμίσεις που θα χρησιμοποιήσουμε. Ο ήχος συνήθως κωδικοποιείται με τον codec AAC ή τον MP3. Είναι πιο αποτελεσματικός από τον MPEG-4, αν και πλέον συμπεριλαμβάνεται στο πρότυπο MPEG-4 ως το τμήμα 10 (Part 10), που είναι γνωστό ως AVC (Advanced Video Coding). Προκύπτει, δηλαδή, ότι η οικογένεια κωδικοποιητών MPEG υποστηρίζει τις πιο προηγμένες τεχνικές συμπίεσης, ωστόσο και άλλοι κωδικοποιητές βασίζονται στο MPEG, καθιστώντας τα όρια και τις διαφορές μεταξύ των codec δυσδιάκριτα. (Sullivan, Ohm, Han & Wiegand, 2012).

Ο κωδικοποιητής H.264 / AVC ήταν τυποποιημένος τόσο από το VCEG όσο και από το MPEG το 2003. Ο κωδικοποιητής H.264 / AVC σχεδιάστηκε για να

μειώσει το bitrate κατά το ήμισυ διατηρώντας το ίδιο επίπεδο ποιότητας εικόνας σε σύγκριση με τα πρότυπα H.263 και MPEG2. Από την οριστικοποίησή του, ο κωδικοποιητής H.264 / AVC έχει αποκτήσει δημοτικότητα στις βιομηχανίες βίντεο, καθιστώντας το, πρότυπο της παροχής περιεχομένου βίντεο υψηλής ευκρίνειας μέσω του Internet κατά την τελευταία δεκαετία. Αυτό οφείλεται εν μέρει στη στενή συσχέτισή του με προηγούμενα πρότυπα όπως το H.263, επειδή πολλά από τα χαρακτηριστικά του προέρχονται από το H.263.

Ο H.264 αποτελεί εξέλιξη των παλαιότερων προτύπων H.261 και H.263, που χρησιμοποιούνταν σε συστήματα συνδιάσκεψης ή σε απλές τηλεφωνικές γραμμές με μικρή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων. Μετά την τυποποίηση, διάφορα μέρη ανέπτυξαν σύντομα τις δικές τους εκδοχές των κωδικοποιητών H.264. Η εφαρμογή ανοιχτού κώδικα του προτύπου είναι x264 Η γνωστή κωδικοποίηση βίντεο / **FFmpeg**² με τη βιβλιοθήκη libx264, χρησιμοποιείται ευρέως τόσο για ερευνητικούς όσο και για εμπορικούς σκοπούς. Το FFmpeg χρησιμοποιείται ευρέως από πολλές εφαρμογές όπως το ffdshow και το MEncoder και αποδεικνύεται ότι είναι αξιόπιστο και ανθεκτικό. (Bellard & Niedermayer, 2012),

Παρουσιάστηκε επίσης από την ομάδα MPEG και το πρότυπο H.265, το οποίο ονομάζεται **High Efficiency Video Coding (HEVC)**. Υποστηρίζεται ότι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος μπορεί να διπλασιάσει τον λόγο συμπίεσης δεδομένων, σε σύγκριση με τους κωδικοποιητές H.264 και MPEG-4 AVC, προσφέροντας καλύτερο επίπεδο ποιότητας βίντεο. Προορίζεται για την συμπίεση σε βίντεο **UHD**.

Ο κωδικοποιητής H.265 ή Υψηλής Απόδοσης Βίντεο Κωδικοποίηση (HEVC) Πρόκειται για ένα πρότυπο συμπίεσης βίντεο που είναι ο διάδοχος του H.264 ή MPEG-4 AVC (Advanced Video κωδικοποίηση). Ακριβώς όπως το H.264 / AVC, πολλά σχέδια και χαρακτηριστικά του κωδικοποιητή H.265 κληρονομούνται από το H.263. Σε σύγκριση με την προηγούμενη έκδοση του, H.264 / AVC, ο κωδικοποιητής H.265 είναι κατά 50% πιο αποδοτικός.

² <https://ffmpeg.org/ffmpeg.html> ffmpeg Documentation. (Πρόσβαση 30.6.2017).

Προηγούμενες μελέτες αποκάλυψαν ότι ο κωδικοποιητής H.265 είναι εξαιρετικά αποδοτικός τόσο για την τυχαία πρόσβαση όσο και για όλες τις ενδο-συσσκευές. Αυτό δείχνει ότι ο κωδικοποιητής H.265 δεν είναι μόνο εξαιρετικά αποδοτικός στο βίντεο αλλά έχει εξαιρετική επίδοση και για τη συμπίεση των φωτογραφιών (Hanhart, Rerabek, Korshunov, & Ebrahimi, 2013). Επίσης μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του βίντεο με τον ίδιο ρυθμό bit. H.265 μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 8 K UHD και ψήφισμα μέχρι 8192 x 4320.

Ο κωδικοποιητής VP9 είναι ο διάδοχος του VP8, ένα πρότυπο συμπίεσης που αναπτύχθηκε από την Google. Είναι έργο ανοικτού πηγαίου κώδικα του οποίου στόχος είναι να βελτιώνει την παράδοση του περιεχομένου μέσω του Διαδικτύου. Αναμένεται να μειώσει το μέγεθος των αρχείων βίντεο σε μισό, συγκρίνοντας την τρέχουσα τεχνολογία κωδικοποίησης που ονομάζεται H.264 ή MPEG-4. Θα χρησιμοποιηθεί για τη συμπίεση αρχείων βίντεο και ρεύμα σε 4K ψήφισμα. Ταυτόχρονα απελευθέρωσε επίσημα τον κωδικοποιητή βίντεο VP9 στις 12 Ιουνίου 2013 (<http://www.webmproject.org/vp9/>). Σε αντίθεση με άλλες εταιρείες και οργανισμούς, η Google διαθέτει οικονομικούς πόρους και έτοιμες πλατφόρμες όπως το YouTube για την προώθηση των τεχνολογιών της. Αυτό επιτρέπει στον κωδικοποιητή VP9 να κερδίσει γρήγορα την προτίμηση των εταιρειών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ποιότητα μετάδοσης βίντεο μέσω Internet

3.1 Ποιότητα υπηρεσιών στην μετάδοση πολυμέσων στο διαδίκτυο

Η Ποιότητα Υπηρεσιών των πολυμέσων και ειδικά του βίντεο γίνεται όλο και σημαντικότερη λόγω της ευρείας χρήσης τους πλέον στο διαδίκτυο και ειδικά στα **social media (κοινωνικά δίκτυα)**. Μέχρι πριν από λίγα χρόνια τη χρήση πολυμέσων την χρησιμοποιούσαν κυρίως ιστοσελίδες για διασκέδαση, εργασίες και εκπαίδευση. Όπως αναφέρθηκε λόγω της εκτεταμένης χρήσης των κοινωνικών δικτύων και μάλιστα μέσω των νέων κινητών τηλεφώνων, ο όγκος και η χρήση πολυμέσων αυξήθηκε δραματικά, όπως και η απαίτηση για καλύτερη ποιότητα. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για την ομαλή ροή των πολυμέσων, ανάμεσα σε άλλες, απαιτούν μια πιο περίπλοκη διαχείριση της Ποιότητας Υπηρεσιών. Αυτό σημαίνει ότι, εκτός από συγκεκριμένες παραμέτρους της εφαρμογής ή του δικτύου, οι απαιτήσεις Ποιότητας Υπηρεσιών μιας εφαρμογής πολυμέσων έχουν να κάνουν και με συγκεκριμένες προτιμήσεις του χρήστη και από την προσωπική του αντίληψη για την ποιότητα, αλλά κυρίως με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής λήψης.

Οι παράμετροι αυτοί μπορούν να είναι:

- Οι απαιτήσεις της εφαρμογής ροής των πολυμέσων από το ένα άκρο μέχρι το άλλο άκρο της,
- Οι παράμετροι ποιότητας και η ταχύτητα σύνδεσης της γραμμής του διαδικτύου σε μια συγκεκριμένη περιοχή,
- Οι προτιμήσεις του κάθε χρήστη.

Η κατάσταση του δικτύου, που χρησιμοποιείται για την σύνδεση στο διαδίκτυο παίζει μεγάλο ρόλο και ειδικά λόγω της χρήσης των δικτύων των εταιρειών κινητής τηλεφωνίας. Η ποιότητα του δικτύου επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της εφαρμογής πολυμέσων ειδικά αν πρόκειται για μετάδοση υψηλής ποιότητας. Αν υπάρχουν μεγάλες καθυστερήσεις στη μετάδοση, αυτό έχει αντίκτυπο στον χρόνο αντίδρασης της εφαρμογής που χρησιμοποιείται για την παρουσίαση με αποτέλεσμα προβλήματα στην ποιότητα. Οι περισσότεροι χρήστες όμως δεν έχουν τις γνώσεις να αξιολογήσουν την απόδοση της ποιότητας των υπηρεσιών του δικτύου και πρακτικά δεν τους ενδιαφέρει να απασχολούνται με τέτοιες τεχνικές λεπτομέρειες καθώς δεν τις καταλαβαίνουν. Το πρόβλημα γενικεύεται καθώς ένας χρήστης που παρακολουθεί ένα βίντεο με προβλήματα στην διακύμανση, έχει καθυστέρηση, αλλά ο ίδιος εκείνη την στιγμή δεν μπορεί να γνωρίζει εάν για αυτό ευθύνεται το δίκτυο που είναι συνδεδεμένος (απόκλιση καθυστέρησης) ή έχει πρόβλημα η εφαρμογή (το βίντεο δεν αποκωδικοποιήθηκε σωστά), ή έχει πρόβλημα η εφαρμογή μετάδοσης του βίντεο, ή ακόμη αν παρουσιάζει πρόβλημα η δική του συσκευή. (Valerio, Passarella, Conti & Pagani, 2014).

Αυτό που ενδιαφέρει τον τελικό χρήστη, είναι η συνολική απόδοση της εφαρμογής και η δυνατότητα να δει αυτό που θέλει. Η σχέση των παραμέτρων ποιότητας της εφαρμογής με τις παραμέτρους ποιότητας του δικτύου εξαρτάται από τον τύπο της εφαρμογής και τον τύπο του σχετικού υλικού πολυμέσων.

3.2 Υποκειμενική αξιολόγηση Ποιότητας Βίντεο

Ο όρος QoE (**Quality of Experience**) «*ποιότητα της εμπειρίας*» είναι ένας υποκειμενικός άρα δύσκολα μετρήσιμος όρος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει το βαθμό ικανοποίησης του τελικού χρήστη. από μια υπηρεσία. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό ικανοποίησης για την ποιότητα του ψηφιακού βίντεο έχουν να κάνουν με την κατάσταση του δικτύου που είναι συνδεδεμένος ο χρήστης, την συσκευή που χρησιμοποιεί, το πρόγραμμα

κωδικοποίησης, η λήψη του αρχικού βίντεο, ακόμη και η συσκευή που ο ίδιος χρησιμοποιεί για την αναπαραγωγή του περιεχομένου.

Εκτός από τους τεχνικούς παράγοντες που αναφέρθηκαν, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, ειδικά από το επίπεδο ποιότητας που προσφέρουν οι συσκευές αναπαραγωγής όπως το μέγεθος της οθόνης, τα χρώματα, η οξύτητα ακόμη και ο ίδιος ο ήχος. Το ίδιο περιεχόμενο μπορεί να προκαλέσει διαφορετικές αντιδράσεις στον τελικό χρήστη αν παρουσιαστεί σε 2 συσκευές με διαφορετικό επίπεδο ποιότητας, ακόμη και από τον φωτισμό του περιβάλλοντος χώρου που υπάρχει την δεδομένη στιγμή, αλλά ακόμη και από την ψυχική διάθεση του χρήστη ή και το περιεχόμενο του βίντεο. Ένα διασκεδαστικό θέαμα σίγουρα προσφέρει μεγαλύτερη αποδοχή από ένα δραματικό, ή μια πολύ καλού επιπέδου παρουσίαση σε σχέση με μια άλλη χειρότερης ποιότητας περιεχομένου. Αναφέρονται επίσης και σαν παράγοντες εκτίμησης της ποιότητας η ηλικία, το φύλλο η προηγούμενη εμπειρία και σχέση με το θέμα κ.λπ. (Hoßfeld, Biedermann, Schatz, Platzer, Egger & Fiedler, 2011).

Πιο ολοκληρωμένα η Υποκειμενική αξιολόγηση ποιότητας βίντεο (Subjective Video Quality Assessment) sVQA είναι μια ψυχολογική δοκιμή βασισμένη στην προσωπική γνώμη, η οποία περιλαμβάνει τους ανθρώπους ως τους συμμετέχοντες (αξιολογητές) που υποθέτουν και δίνουν τις δικές τους απόψεις και κρίσεις σχετικά με την ποιότητα των βίντεο δοκιμών μετά την παρακολούθησή τους. Με δεδομένο ότι οι τελικοί χρήστες είναι άνθρωποι και παρόλο που υπάρχει το υποκειμενικό κριτήριο, οι μέθοδοι sVQA γενικά θεωρούνται ότι είναι περισσότερο ακριβείς και αξιόπιστες (καθώς υπεισέρχονται στην αξιολόγηση και ανθρώπινα ποιοτικά κριτήρια) από τις αντικειμενικές μεθόδους αξιολόγησης βίντεο και χρησιμοποιούνται συχνά ως βασικοί παράγοντες για την εξέταση και την βελτίωση της απόδοσης ή της ακρίβειας των μεθόδων αντικειμενικής αξιολόγησης ποιότητας Βίντεο (**Objective Video Quality Assessment**), oVQA.

Οι μέθοδοι oVQA έχουν πρόσφατα κερδίσει την υποστήριξη πολλών ερευνητών αλλά είχαν σχεδιαστεί για ακίνητες εικόνες και μπορούν να γίνουν

υπερβολικά ευαίσθητες σε ορισμένους τύπους στρεβλώσεων, είναι μηχανικές προσεγγίσεις οι οποίες έχουν ελάχιστη σχέση με την τελική ποιότητα και συνεπώς το αποτέλεσμά τους δεν σχετίζεται σημαντικά με τις εμπειρίες των τελικών χρηστών. Σε ορισμένες περιπτώσεις και μετρήσεις ακόμη και η μετατόπιση ενός εικονό-στοιχείου (pixel) μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική διακύμανση της βαθμολογίας αξιολόγησης. Το προηγούμενο παράδειγμα της μετατόπισης του εικονό-στοιχείου μπορεί να μην γίνεται όμως αντιληπτό από τους χρήστες ακόμη και υπό προσεκτική εξέταση. Επομένως, μόνο η υποκειμενική αξιολόγηση της ποιότητας του βίντεο (sVQA) θεωρείται ότι μπορεί να αποδώσει την πραγματική ποιότητα βίντεο που γίνεται αντιληπτή από τους τελικούς χρήστες. (Hoßfeld, Biedermann, Schatz, Platzer, Egger & Fiedler, 2011).

Παρόλα αυτά, οι μέθοδοι της υποκειμενικής αξιολόγησης της ποιότητας του βίντεο έχουν επίσης και αυτοί τους περιορισμούς τους. Αν και θεωρούνται από πολλούς ερευνητές ως αξιόπιστοι τρόποι μέτρησης της απόδοσης και ακρίβειας των αντικειμενικών μεθόδων αξιολόγησης, απαιτούν την δέσμευση σημαντικών πόρων (όπως χρόνο, εργασία και οικονομικό κόστος). Στην πραγματικότητα, οι διαθέσιμοι πόροι είναι συνήθως περιορισμένοι. Επιπλέον, μερικές μέθοδοι Υποκειμενικής αξιολόγησης παρουσιάζουν μειονεκτήματα που προκαλούνται από το σχεδιασμό τους.

Για παράδειγμα, η μέθοδος ACR (Absolute Category Rating)³ στηρίζεται στην μνήμη το οποίο σημαίνει ότι η τρέχουσα βαθμολογία βίντεο επηρεάζεται πάντοτε από την ποιότητα του προηγούμενου βίντεο που παρακολουθεί το υποκείμενο του τεστ (Hoßfeld, Biedermann, Schatz, Platzer, Egger & Fiedler, 2011).

³ <http://www.opticom.de/technology/assessing-quality.php> **absolute category rating test method (ACR)**. Πριν από μερικά χρόνια, λόγω της έλλειψης των διεθνών προτύπων για τα μέτρα της αντιληπτή ποιότητα ήχου, η μόνη ευρέως αποδεκτή διαδικασία αξιολόγησης για τον ήχο και την ομιλία codecs ήταν υποκειμενικές δοκιμές ακρόασης (ACR).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την υποκειμενική αξιολόγηση ποιότητας βίντεο μπορεί να είναι οι εξής:

- **Το περιβάλλον αξιολόγησης:** οι συνθήκες προβολής, ο φωτισμός της συσκευής προβολής, το επίπεδο θορύβου, η απόδοση του λογισμικού του αποκωδικοποιητή κλπ.
- **Οι ιδιότητες των ακολουθιών:** ο τύπος του περιεχομένου, ο κωδικοποιητής, διάφοροι παράμετροι κωδικοποίησης, frame rate, bit rat κλπ.
- **Οι συμμετέχοντες:** ψυχολογικοί παράγοντες, το ανθρώπινο οπτικό σύστημα (HVS), η εμπειρία, η προσωπική προτίμηση κλπ.

3.3 Μέθοδοι υποκειμενικής εκτίμησης ποιότητας βίντεο:⁴

Οι μέθοδοι της υποκειμενικής εκτίμησης ποιότητας βίντεο περιγράφουν ένα σύνολο από ορισμένες πτυχές που καθορίζουν λεπτομερώς τη διαδικασία και τη διεξαγωγή της δοκιμής.

Οι Single Stimulus Methods (SS) αποτελούνται από βασικά στοιχεία δοκιμής (BTC) με απλή δομή. Κάθε βασικό στοιχείο δοκιμής αποτελείται από μία δοκιμαστική συνθήκη, ακολουθούμενη από ένα σύνολο ψηφοφορίας που υποδεικνύει τον αριθμό του τρέχοντος βασικού στοιχείου. Με τη μέθοδο SS, εμφανίζεται ένα δείγμα βίντεο τη φορά. Μια άλλη κοινή, υποκειμενική μέθοδος αξιολόγησης της ποιότητας βίντεο είναι η μέθοδος DS (Double Stimulus). Στη μέθοδο του DS είναι ότι τα πρωτότυπα και δοκιμαστικά βίντεο εμφανίζονται ταυτόχρονα και ο παρατηρητής αξιολογεί την ποιότητα του δοκιμαστικού βίντεο σε σχέση με το αρχικό βίντεο.

Κάποιες από τις μεθόδους SS (Single Stimulus) για την υποκειμενική αξιολόγηση της ποιότητας είναι οι εξής:

- ACR (Absolute Category Rating)

⁴ <http://www.itu.int/en/ITU-R/Pages/default.aspx> ITU Radio communication Sector. (πρόσβαση 5.7.2017).

- ACR-HR (Absolute Category Rating with Hidden Reference)
- SSCQE (Continuous Quality Rating)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μια μέθοδος υποκειμενικής αξιολόγησης βίντεο είναι η μέθοδος ACR (Absolute Category Rating), όπου κάθε ακολουθία βαθμολογείται μεμονωμένα χρησιμοποιώντας την κλίμακα ACR. Οι ετικέτες της κλίμακας μπορεί να είναι κατηγοριοποιημένες αλλά και αριθμητικές. Μια παραλλαγή της μεθόδου ACR είναι η μέθοδος ACR-HR (Absolute Category Rating with Hidden Reference). Στη συγκεκριμένη μέθοδο, παρουσιάζεται σε κάθε τμήμα του βίντεο μια μη παραμορφωμένη αναφορά χωρίς να το γνωρίζει ο θεατής. Στη συνέχεια, για κάθε θεατή η βαθμολογία της κρυφής αναφοράς χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό μιας διαφορικής μέσης βαθμολογίας (DMOS) μεταξύ των παραπομπών και των αποτυχημένων εκδόσεων. Η διαφορική βαθμολογία ορίζεται ως η βαθμολογία του PVS (Processed Video Sequence) μείον τη βαθμολογία που δίνεται στην κρυφή αναφορά, συν τον αριθμό των σημείων στην κλίμακα. Για παράδειγμα, αν ένα PVS βαθμολογείται ως "κακή" και η αντίστοιχη κρυφή αναφορά του ως "καλή", τότε η βαθμολογία είναι $\{2-4 + 5 = 3\}$. Όταν αυτές οι αξιολογήσεις είναι κατά μέσον όρο, το αποτέλεσμα δεν είναι MOS, αλλά ένα διαφορικό MOS ("DMOS").

Η εργασία αυτή βασίζεται στην χρήση της μεθόδου ACR για την υποκειμενική αξιολόγησης της ποιότητας των ακολουθιών.

Τέλος, στη μέθοδο SSCQE (**Single Stimulus Continuous Quality Evaluation**) ένα μεγαλύτερης διάρκειας βίντεο, το οποίο έχει υποστεί κάποια επεξεργασία βαθμολογείται συνεχώς με την πάροδο του χρόνου χρησιμοποιώντας μια συσκευή ολίσθησης (μπάρα κύλισης), στην οποία οι χρήστες βαθμολογούν την τρέχουσα ποιότητα, καθώς η ποιότητα μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια της προβολής. Τα δείγματα λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μια καμπύλη ποιότητας με την πάροδο του χρόνου και όχι μια ενιαία αξιολόγηση ποιότητας.

Μέθοδοι **DS (Double Stimulus)** για την υποκειμενική αξιολόγηση βίντεο είναι

οι εξής:

- DCR (Degradation Category Rating)
- CCR (Comparison Category Rate)
- PC (Pair Comparison)
- DSCS (Double Stimulus Comparison Category Scale)
- DSIS (Double Stimulus Impairment Scale)
- DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale)

Degradation Category Rating (DCR): ο θεατής παρακολουθεί το αρχικό βίντεο, στη συνέχεια παρακολουθεί το βίντεο μετά από επεξεργασία και τέλος καλείται να αξιολογήσει το δεύτερο βίντεο χρησιμοποιώντας τη λεγόμενη impairment scale, μια κλίμακα 5 επιπέδων (από «ανεπαίσθητες βλάβες» έως «πολύ ενοχλητικές»).

Double Stimulus Impairment Scale (DSIS): Σε αυτή την περίπτωση, ο παρατηρητής γνωρίζει ποιο είναι το αρχικό υλικό και βαθμολογεί σε κλίμακα διάταξης από 1 έως 5 τον βαθμό της αλλοίωσης που παρατήρησε στο εξεταζόμενο υλικό (όπου 1 είναι πολύ ενοχλητικό και 5 ανεπαίσθητο). Εδώ δεν έχουμε επανάληψη της προβολής.

Μέθοδος CCR (Comparison Category Rate), όπως επίσης η μέθοδος **DSCS (Double Stimulus Comparison Category Scale)** όπου οι ακολουθίες βίντεο προβάλλονται με τυχαία σειρά και ο χρήστης αξιολογεί τη δεύτερη ακολουθία σε σχέση με την πρώτη σε μια κλίμακα 7 επιπέδων αξιολόγησης (από πολύ κακό έως και πολύ καλό).

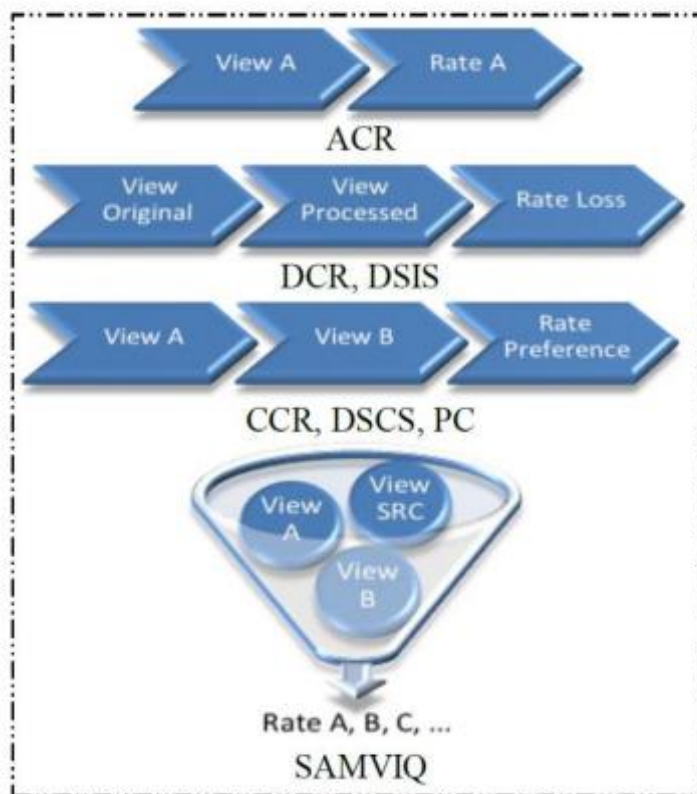
Pair Comparison (PC): Σε αυτή τη μέθοδο παρουσιάζονται όλοι οι συνδυασμοί ανά δύο, μεταξύ του αρχικού και των προς εξέταση βίντεο, και ο παρατηρητής καλείται να διαλέξει ποιο ζευγάρι πιστεύει πως έχει την καλύτερη ποιότητα.

Double Stimulus Continuous Quality Scale (DSCQS): Σε αυτή τη μέθοδο, παρουσιάζονται δύο φορές στον παρατηρητή το αρχικό αλλά και το

εξεταζόμενο υλικό σε τυχαία σειρά, χωρίς αυτός να γνωρίζει ποιο είναι το αρχικό και καλείται στο τέλος της προβολής να βαθμολογήσει κάθε ένα ξεχωριστά σε συνεχή κλίμακα από 1 έως 100.

Άλλοι μέθοδοι υποκειμενικής αξιολόγησης ποιότητας.

Για τη SSCQE, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, παρουσιάζεται μόνο η παραμορφωμένη ακολουθία βίντεο, ενώ για το SDSCE (Simultaneous Double Stimulus for Continuous Evaluation) παρουσιάζονται ταυτόχρονα τόσο η παραμορφωμένη όσο και η ακολουθία βίντεο αναφοράς σε μια κοινή οθόνη ή σε δύο διαφορετικές οθόνες. Η μέθοδος της υποκειμενικής αξιολόγησης της ποιότητας πολυμέσων Video SAMVIQ (Subjective Assessment of Multimedia Video Quality) που ορίστηκε στο ITU-RBT.1788 χρησιμοποιεί μια προσέγγιση πολλαπλών ερεθισμάτων και διαφέρει σημαντικά από τις παραδοσιακές μεθόδους υποκειμενικών δοκιμών σε διάφορες πτυχές. Στη μεθοδολογία SAMVIQ παρουσιάζονται σκηνές, διαθέσιμες σε ποικίλα επίπεδα ποιότητας (συμπεριλαμβανομένων των συνθηκών αναφοράς και κρυφών συνθηκών αναφοράς) για την αξιολόγηση της ποιότητας. Κάθε σκηνή παρουσιάζεται έτσι ώστε ο θεατής να μπορεί να συγκρίνει όλες τις επεξεργασμένες εκδοχές της σκηνής καθώς και την αναφορά, προσαρμόζοντας έτσι την βαθμολογία ποιότητας για κάθε ακολουθία βίντεο ανάλογα. Κάθε ακολουθία παρουσιάζεται από μόνη της. Ο θεατής έχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε κάθε ακολουθία βίντεο, να προσαρμόζει και να τροποποιεί την αξιολόγηση ποιότητας πολλές φορές. Όταν έχουν βαθμολογηθεί όλες οι ακολουθίες της ίδιας σκηνής από τον θεατή, παρουσιάζεται μια νέα σκηνή. Η βαθμολογία εκτελείται σε συνεχή κλίμακα ποιότητας με κατηγοριοποιημένες και αριθμητικές ετικέτες από 0-100.



Εικόνα 1. Μέθοδοι υποκειμενικής αξιολόγησης ποιότητας

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια δυσκολία στις μετρήσεις και της υποκειμενικής και της αντικειμενικής ποιότητας στην κινούμενη εικόνα. Οι καταγιστικές εξελίξεις στις συσκευές λήψης, τα αυτοματοποιημένα προγράμματα βελτίωσης της εικόνας και η ποιότητα της συσκευής παρουσίασης παίζουν μεγάλο ρόλο και καταργούν όλες τις μελέτες και μετρήσεις που έχουν γίνει μόλις 3 ή 5 χρόνια πριν. Η βελτίωση των οθονών (και των PC και των τηλεοράσεων) με απεικόνιση HD – υψηλής ανάλυσης 1920X1080 και ακόμη μεγαλύτερης ανάλυσης έδωσαν μια απίστευτη ποιότητα θέασης. Υπήρχε όμως το πρόβλημα της ποιότητας του αρχικού μέρους της λήψης. Και εδώ οι εξελίξεις υπήρξαν ραγδαίες με νέες καταναλωτικές συσκευές που η ποιότητά τους συγκρίνεται με επαγγελματικές συσκευές μεγάλης αξίας. Και ενώ θεωρήθηκε ότι η τελική ποιότητα θα έπαιζε καθοριστικό ρόλο, ήρθε η καταγιστική εξάπλωση των έξυπνων κινητών τηλεφώνων όπου μέσα από τα κοινωνικά δίκτυα μπορούν να μεταδώσουν ζωντανά κινούμενη εικόνα (βίντεο) και φωτογραφία με ήχο.

Οι περισσότεροι χρήστες και ειδικά στις νεαρές ηλικίες ενδιαφέρονται περισσότερο και την αμεσότητα της λήψης, μετάδοσης και διαμοιρασμού του βίντεο ή της φωτογραφίας που έχουν τραβήξει, ακόμη και με χαμηλότερη ποιότητα παρά για την ποιοτικότερη αλλά πιο χρονοβόρα επεξεργασία και αναμετάδοση του. Πολλές νέες συσκευές έχουν ήδη εγκατεστημένη ασύρματη σύνδεση με το διαδίκτυο και μπορούν να αναμεταδώσουν ζωντανά όπως τα κινητά τηλέφωνα το βίντεο. Στην υποκειμενική κατά κάποιο τρόπο αντιλαμβανόμενη ποιότητα του βίντεο σήμερα εξίσου σημαντικό ρόλο παίζει όχι τόσο η ποιότητα όσο η ταχύτητα αναμετάδοσης και φυσικά η σταθερότητα. Εκτός αυτού πολλές πλατφόρμες κοινωνικών δικτύων ήδη έχουν ή σχεδιάζουν να εγκαταστήσουν προγράμματα αυτόματης βελτίωσης των ληφθέντων αρχείων κινούμενης εικόνας, όπως ήδη κάνουν με τις φωτογραφίες, αν και αυτό είναι πολύ πιο δύσκολο, καθώς πάντα θα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα η αρχική ποιότητα λήψης του βίντεο. (Valerio, Passarella, Conti & Pagani, 2014).

Διάφοροι οργανισμοί προσπαθούν μέσα από μελέτες να καταλήξουν σε μια κοινά αποδεκτή μέθοδο μέτρησης της αντιλαμβανόμενης ποιότητας της κινούμενης εικόνας, αν και όπως αναφέρθηκε θα υπάρχουν πάντα οι αστάθμητοι παράγοντες (είτε υποκειμενικοί είτε αντικειμενικοί που θα αλλάζουν τα δεδομένα).

Η διεθνής **ITU-R (International Telecommunication Union, Radio communication Sector)** έχει μελετήσει και προτείνει μια σειρά από τεστ για την μέτρηση της αντιλαμβανόμενης ποιότητας σε κινούμενη εικόνα.⁵ (Valerio, L., Passarella, A., Conti, M., & Pagani, E., 2014).

⁵ <http://www.itu.int/en/ITU-R/Pages/default.aspx> ITU Radio communication Sector. (πρόσβαση 5.7.2017).

3.3.1 Πρωτόκολλο προβολής εμπειρογνωμόνων για την αξιολόγηση της ποιότητας του υλικού βίντεο

Εργαστηριακή διάταξη

- **Επιλογή και ρύθμιση εμφάνισης**

Η οθόνη που χρησιμοποιείται θα πρέπει να είναι επίπεδη οθόνη με χαρακτηριστικές επιδόσεις για επαγγελματικές Εφαρμογές (π.χ. στούντιο εκπομπής). Η διαγώνια διάσταση οθόνης μπορεί να διαφέρει από 22 '(ελάχιστο) έως 40' + (προτείνεται), αλλά μπορεί να εκτείνεται σε 50' ή υψηλότερα, όταν έχουμε συστήματα εικόνας με ανάλυση HDTV ή υψηλότερου επιπέδου

Επιτρέπεται η χρήση μειωμένου τμήματος της ενεργής περιοχής προβολής μιας οθόνης. Στην περίπτωση αυτή την περιοχή γύρω από το ενεργό μέρος της οθόνης πρέπει να ρυθμιστεί στο μέσο γκρι.

Η οθόνη πρέπει να επιτρέπει μια σωστή ρύθμιση και βαθμονόμηση για τη φωτεινότητα και το χρώμα. Η βαθμονόμηση της οθόνης πρέπει να είναι σύμφωνη με τις παραμέτρους που ορίζονται στη σχετική σύσταση για τη διεξαγωγή της δοκιμής.

- **Προβολή απόστασης**

Η απόσταση προβολής στην οποία βρίσκονται οι εμπειρογνώμονες θα πρέπει να επιλέγεται σύμφωνα με οθόνη και το ύψος του ενεργού μέρους της οθόνης, σύμφωνα με την απόσταση προβολής του σχεδίου Όπως περιγράφεται στη σύσταση ITU-R BT.2022 ή μικρότερη απόσταση προβολής σύμφωνα με το πρότυπο

Απαιτήσεις όσον αφορά τις συνθήκες κριτικής προβολής.

- **Συνθήκες προβολής**

Ένα πείραμα εμπειρογνώμονα προβολής πρωτοκόλλου (EVP) δεν πρέπει απαραίτητα να εκτελείται σε ένα εργαστήριο δοκιμών, αλλά είναι σημαντικό η θέση δοκιμής να προστατεύεται από ακουστικές ή ορατές διαταραχές (π.χ. ένα ήσυχο γραφείο ή μια αίθουσα συνεδριάσεων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν). (Λαζαρίνης, 2007).

Οποιαδήποτε άμεση ή ανακλώμενη πηγή φωτός που πέφτει στην οθόνη θα πρέπει να εξαιρεθεί. Τα φώτα περιβάλλοντος θα πρέπει να είναι χαμηλά, να διατηρείται στο ελάχιστο επίπεδο που μπορεί να επιτρέψει τη συμπλήρωση φύλλων βαθμολόγησης (εάν χρησιμοποιείται). (Pounton, 2012).

Ο αριθμός των εμπειρογνομόνων που κάθονται μπροστά στην οθόνη, μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος της οθόνης για να διασφαλιστεί η ίδια απόδοση εικόνας και η παρουσίαση ερεθισμάτων για όλους τους θεατές.

- **Προβολείς**

Οι θεατές που συμμετέχουν σε ένα πείραμα πρέπει να είναι ειδικοί στον τομέα της μελέτης. Οι θεατές δεν πρέπει απαραίτητα να εξετάζονται για οπτική οξύτητα δεδομένου ότι πρέπει να επιλέγονται μεταξύ ειδικευμένων ατόμων.

Για να επιτευχθεί ο ελάχιστος αριθμός θεατών, το ίδιο πείραμα μπορεί να διεξαχθεί ταυτόχρονα.

Οι συμμετέχοντες σε μια συνεδρία εξέτασης εμπειρογνομόνων μπορούν να υποβληθούν σε στατιστική επεξεργασία μαζί.

- **Δοκιμή σχεδιασμού και δημιουργία συνόδων**

Η σειρά παρουσίασης του BTC θα πρέπει να οριστεί σε τυχαία σειρά από τον σχεδιαστή δοκιμής, και ότι το ίδιο βίντεο δεν εμφανίζεται δύο συνεχόμενες φορές καθώς και το ίδιο μειωμένο κλιπ.

Οποιαδήποτε περίοδος προβολής θα πρέπει να ξεκινά με μια «φάση σταθεροποίησης» συμπεριλαμβανομένης της «καλύτερης», της «χειρότερης» και της «μέσης ποιότητας» BTC μεταξύ αυτών που περιλαμβάνονται σε κάθε δοκιμαστική περίοδο. Αυτό θα επιτρέψει στους θεατές να έχουν μια άμεση εντύπωση του εύρους ποιότητας, ήδη στην αρχή της δοκιμαστικής περιόδου. (Pounton, 2012).

Εάν η περίοδος προβολής είναι μεγαλύτερη από 20 λεπτά, ο σχεδιαστής δοκιμής θα πρέπει να το χωρίσει σε δύο (ή περισσότερα) ξεχωριστές συνεδρίες παρακολούθησης, κάθε μία από τις οποίες δεν θα υπερβαίνει τα 20 λεπτά. Σε αυτή την περίπτωση, η «φάση σταθεροποίησης» θα πρέπει να παρέχεται πριν από κάθε συνεδρία παρακολούθησης.

- **Εκπαίδευση**

Ακόμα και αν αυτή η διαδικασία προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί με τη συμμετοχή εμπειρογνομώνων, μια σύντομη κατάρτιση θα πρέπει κατά προτίμηση να οργανώνεται πριν από κάθε πείραμα. (Pounton, 2012).

Το υλικό βίντεο που χρησιμοποιείται στην εκπαιδευτική συνεδρία μπορεί να είναι το ίδιο που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της πραγματικής σειράς. Οι θεατές θα πρέπει να εκπαιδεύονται για τη χρήση της κλίμακας ζητώντας τους να εξετάσουν προσεκτικά τα βίντεο κλιπ που εμφανίζονται αμέσως μετά στην οθόνη.

- **Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων**

Οι βαθμολογίες πρέπει να συλλέγονται στο τέλος κάθε συνεδρίας και να καταγράφονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστικό φύλλο.

Όπως για την εκτίμηση της ποιότητας της κινούμενης εικόνας, η εκτίμηση της ποιότητας του ήχου μπορεί να γίνει με παρόμοιο τρόπο, δηλαδή με έρευνες σε ειδικά διαμορφωμένα εργαστήρια. Το υλικό προς εξέταση αλλά και οι συμμετέχοντες επιλέγονται προσεκτικά και βαθμολογούν το υλικό είτε απευθείας είτε συγκριτικά με κάποιο άλλο, και σε κάποιες περιπτώσεις είναι

γνωστό το ποιο είναι το αρχικό δείγμα ενώ σε άλλες όχι. Η βαθμολογία μπορεί να γίνει στο τέλος για τη συνολική εμπειρία ή κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η έρευνα μπορεί να γίνει και μέσω internet αντί σε εργαστήρια, όπου το υλικό προς αξιολόγηση μεταδίδεται με live streaming ή γίνεται πρώτα download και μετά αναπαραγωγή. (Pounton, 2012).

3.4 Αντικειμενικές Μέθοδοι μέτρησης Ποιότητας Ψηφιακού Βίντεο.

3.4.1 Το διαδίκτυο ως πλατφόρμα μεταφοράς δεδομένων βίντεο

Η διασύνδεση των υπολογιστών έχει ως στόχο την επικοινωνία τους για την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ χρηστών ή την πρόσβαση σε ηλεκτρονικά κέντρα πληροφορίας. Το ρόλο του παρόχου δυνατότητας επικοινωνίας, έχει σε μεγάλο μέρος επωμιστεί το Διαδίκτυο (Internet). Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι οι ευρέως χρησιμοποιούμενες εφαρμογές και υπηρεσίες είναι κατά κανόνα συμβατές με τους κανόνες του διαδικτύου. Η συμβατότητα του λογισμικού των εφαρμογών εγγυάται το ότι οι υπολογιστές μπορούν να επικοινωνήσουν, ανεξαρτήτως δικτυακής υποδομής, αφού συγκλίνουν σε επίπεδο Internet χωρίς όμως να εξασφαλίζει και την ποιότητα της επικοινωνίας. Η τελευταία αποτελεί δύσκολο πρόβλημα, ιδιαίτερα αν αναλογιστεί κανείς το συνεχώς αυξανόμενο όγκο πληροφορίας. Απάντηση σε αυτό το πρόβλημα δίνουν τα δίκτυα ευρείας ζώνης, δηλαδή οι ζεύξεις και οι μεταγωγές τηλεπικοινωνιακής κίνησης υψηλών ταχυτήτων, που αναλαμβάνουν την αξιόπιστη και χωρίς καθυστέρηση παράδοση των πακέτων πληροφορίας στα κέντρα διανομής του διαδικτύου και στους τερματικούς εξοπλισμούς. (Βενιάμης, 2012).

TCP / IP:

Το IP είναι στην πραγματικότητα μέρος μιας μακρύτερης συντομογραφίας - TCP / IP. Αυτό σημαίνει πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης / πρωτόκολλο Internet. Το IP σημαίνει «Πρωτόκολλο Διαδικτύου». Ένα πρωτόκολλο είναι μια κατευθυντήρια γραμμή που πρέπει να ακολουθηθεί με συγκεκριμένο τρόπο. Το IP είναι πραγματικά λογισμικό δικτύωσης. Έρχεται με τον υπολογιστή και δίνει τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσει με το Internet. Είναι η

γλώσσα του Διαδικτύου. Το λογισμικό δικτύωσης IP είναι πανομοιότυπο σε όλο τον κόσμο. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ένας υπολογιστής στην Ελλάδα μπορεί να επικοινωνήσει με έναν υπολογιστή στο Μεξικό ή στην Ιαπωνία.

Το IP είναι καθολικό. Ανεξάρτητα από το είδος του υπολογιστή ή του υλικού δικτύου που χρησιμοποιείτε, οι διεργασίες IP λειτουργούν το ίδιο. Το IP είναι ευπροσάρμοστο. Οποιοσδήποτε υπολογιστής, φορητός υπολογιστής ή επιφάνεια εργασίας ή εκτυπωτής σε δίκτυο διαθέτει λογισμικό IP (και κατά συνέπεια διεύθυνση IP). (Stallings, 2014). Τα πρωτόκολλα TCP / IP είναι στην πραγματικότητα ένα σύνολο (ή στοίβα) πρωτοκόλλων που λειτουργούν σε σειρά που διαχειρίζονται και αποθηκεύουν δεδομένα. Το πρωτόκολλο Internet βρίσκεται στο επίκεντρο της συνδεσιμότητας του δικτύου. Είναι επίσης όπου η δραστηριότητα διεύθυνσης IP γίνεται επεξεργασία. Κάθε συσκευή σε δίκτυο διαθέτει και χρειάζεται διεύθυνση IP. Οι υπολογιστές αναγνωρίζουν ιστότοπους με βάση τις διευθύνσεις IP τους.

Αυτές είναι οι απαραίτητες υπηρεσίες και τα λογισμικά που απαιτούνται να υπάρχουν για την αναμετάδοση πλέον κινούμενης εικόνας στο διαδίκτυο. Μία συσκευή (υπολογιστής ή tablet (υπολογιστής γραφίδας) ή smart phone – κινητό τηλέφωνο), μια TCP/IP μέσω μιας σύνδεσης από έναν πάροχο, και μια εφαρμογή ή πλατφόρμα (π.χ. ένα κοινωνικό δίκτυο όπως το instagram για την αναμετάδοση).

3.4.2 Ποιότητα υπηρεσίας - QoS (Quality of Service)

Ο όρος QoS (Quality of Service) χρησιμοποιείται καθαρά για να οριστεί γενικά η ποιότητα της υπηρεσίας σε επίπεδο δικτύου και να γίνεται σωστότερη διαχείριση και αξιοποίηση των πόρων του δικτύου. (Βενιέρης, 2012).

Μια ομάδα πακέτων από μια προέλευση προς έναν προορισμό, ονομάζεται ροή (flow). Τα πακέτα μπορεί να ακολουθούν το ίδιο ή διαφορετικό δρομολόγιο. Οι παράμετροι που έχουν σχέση άμεσα με την ποιότητα της υπηρεσίας είναι τέσσερις : (Barakovic & Skorin-Karpon, 2013).

Bandwidth: Ένα μετρήσιμο μέγεθος που με το οποίο δείχνει τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων μέσω των καλωδίων του δικτύου. Μετριέται σε **bits/sec**. Υπάρχουν τρεις συχνά χρησιμοποιούμενοι ορισμοί του εύρους ζώνης στο πλαίσιο της πληροφορικής (IT) και της γενικής επιχείρησης.

1) Στα δίκτυα υπολογιστών, το εύρος ζώνης χρησιμοποιείται ως συνώνυμο για το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, το ποσό των δεδομένων που μπορούν να μεταφερθούν από ένα σημείο στο άλλο σε μια δεδομένη χρονική περίοδο (συνήθως ένα δευτερόλεπτο). Το εύρος ζώνης δικτύου εκφράζεται συνήθως σε δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο (bps). Τα σύγχρονα δίκτυα έχουν συνήθως ταχύτητες που μετριοούνται στα εκατομμύρια bits ανά δευτερόλεπτο (megabits ανά δευτερόλεπτο ή **Mbps**) ή δισεκατομμύρια δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο (gigabits ανά δευτερόλεπτο ή **Gbps**).

Να σημειωθεί ότι το εύρος ζώνης δεν είναι ο μόνος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση του δικτύου: Υπάρχει επίσης **απώλεια πακέτων**, **λανθάνουσα κατάσταση** και **jitter**, τα οποία υποβαθμίζουν τη διακίνηση δικτύου και κάνουν έναν σύνδεσμο να λειτουργεί σαν ένα με χαμηλότερο εύρος ζώνης. Μια διαδρομή δικτύου συνήθως αποτελείται από μια διαδοχή συνδέσεων, η κάθε μία με το δικό της εύρος ζώνης, έτσι ώστε το εύρος ζώνης από άκρο σε άκρο να περιορίζεται στο εύρος ζώνης της γραμμής χαμηλότερης ταχύτητας (η συμφόρηση).

Οι διαφορετικές εφαρμογές απαιτούν διαφορετικά εύρη ζώνης. Το βίντεο τυπικής ευκρίνειας (480p) λειτουργεί σε 1 **megabit ανά δευτερόλεπτο** (Mbps), αλλά το βίντεο HD (720p) θέλει περίπου 4 **Mbps** και HDX (1080p), περισσότερα από 7 **Mbps**.

Το αποτελεσματικό εύρος ζώνης - ο υψηλότερος αξιόπιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να προσφέρει μια διαδρομή - μετράται με δοκιμή εύρους ζώνης. Αυτός ο ρυθμός μπορεί να προσδιοριστεί με επανειλημμένη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για ένα

συγκεκριμένο αρχείο να εγκαταλείψει το σημείο προέλευσης του και να κατεβάσει με επιτυχία στον προορισμό του. (Βενιέρης, 2012).

2) Το εύρος ζώνης είναι το εύρος συχνοτήτων - η διαφορά μεταξύ της συνιστώσας σήματος υψηλότερης συχνότητας και της συνιστώσας σήματος χαμηλότερης συχνότητας - χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρονικό σήμα σε ένα δεδομένο μέσο μετάδοσης. Όπως και η συχνότητα ενός σήματος, το εύρος ζώνης μετράται σε **hertz (κύκλοι ανά δευτερόλεπτο)**. Αυτή είναι η αρχική έννοια του εύρους ζώνης, αν και τώρα χρησιμοποιείται κυρίως σε συζητήσεις για τα κυψελοειδή δίκτυα και το φάσμα συχνοτήτων που οι φορείς εκμετάλλευσης διαθέτουν άδεια από διάφορες κυβερνήσεις για χρήση σε κινητές υπηρεσίες.

Latency: Είναι η καθυστέρηση από τη στιγμή της αποστολής ενός πακέτου δεδομένων μέχρι να φτάσει στον προορισμό του και μετριέται σε ms (millisecond). Ο όρος κατανοείται ελαφρώς διαφορετικά σε διάφορα πλαίσια και τα θέματα λανθάνουσας διαφοράς ποικίλλουν επίσης από το ένα σύστημα στο άλλο. Η καθυστέρηση επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις ηλεκτρονικές και μηχανικές συσκευές, τις επικοινωνίες, την κατάσταση του δικτύου, την διαδρομή κ.λπ.

Jitter: η χρονική καθυστέρηση μεταξύ των πακέτων μπορεί λόγω των συνθηκών του δικτύου να διαφέρει. Αυτή η διαφορά του χρόνου ανάμεσα στην αναμενόμενη λήψη και την πραγματική, η διακύμανση δηλαδή της καθυστέρησης ονομάζεται jitter. Το jitter είναι οποιαδήποτε **απόκλιση ή μετατόπιση των παλμών σήματος** σε ένα ψηφιακό σήμα υψηλής συχνότητας. Η απόκλιση μπορεί να είναι από την άποψη του πλάτους, του συγχρονισμού φάσης ή του πλάτους του παλμού σήματος. Μεταξύ των αιτιών του jitter είναι **οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI)** και οι παρεμβολές με άλλα σήματα. Το Jitter μπορεί να προκαλέσει το τρεμό-παίξιμο μιας οθόνης, να επηρεάσει τη δυνατότητα του επεξεργαστή σε έναν επιτραπέζιο υπολογιστή ή διακομιστή να εκτελέσει την εργασία, να εισαγάγει κλικ ή άλλα ανεπιθύμητα εφέ στα ηχητικά σήματα και απώλεια μεταδιδόμενων δεδομένων μεταξύ συσκευών δικτύου. Η ποσότητα επιτρεπόμενου jitter εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμογή.

Το Jitter σε δίκτυα IP είναι η παραλλαγή της καθυστέρησης σε μια ροή πακέτων μεταξύ δύο συστημάτων, όταν κάποια πακέτα χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να ταξιδέψουν από το ένα σύστημα στο άλλο. Το φαινόμενο Jitter προκύπτει από συμφόρηση δικτύου, μετατόπιση χρονισμού και αλλαγές διαδρομής. Το Jitter είναι ιδιαίτερα προβληματικό **σε επικοινωνίες σε πραγματικό χρόνο όπως τηλεφωνία IP και τηλεδιάσκεψη**. (Barakovic & Skorin-Karpon, 2013).

Ένα buffer μπορεί να μετριάσει τις επιπτώσεις του jitter, είτε στο δίκτυο σε δρομολογητή ή διακόπτη, είτε σε υπολογιστή. Η εφαρμογή που καταναλώνει τα πακέτα δικτύου τις λαμβάνει βασικά από το buffer αντί απευθείας. Τροφοδοτούνται από το buffer με κανονικό ρυθμό, εξομαλύνοντας τις παραλλαγές του χρονισμού των πακέτων που εισέρχονται στο buffer. (σε όλες τις ψηφιακές συσκευές από υπολογιστές μέχρι και μηχανές λήψης βίντεο ή φωτογραφικές μηχανές η έννοια του **buffer – (ενδιάμεση μνήμη)** χρησιμοποιείται σαν ένας προσωρινός αποθηκευτικός χώρος δεδομένων που έρχονται και δεν προλαβαίνουν να χρησιμοποιηθούν από την κανονική μνήμη προκειμένου να γίνει η επεξεργασία τους από το σύστημα). Όσο μεγαλύτερη μνήμη buffer έχει η συσκευή τόσο πιο απρόσκοπτα δουλεύει.

Packet-loss: Η απώλεια πακέτων είναι η αποτυχία ενός ή περισσότερων μεταδιδόμενων πακέτων να φθάσουν στον προορισμό τους. Αυτό το συμβάν μπορεί να προκαλέσει αξιοσημείωτα αποτελέσματα σε όλους τους τύπους ψηφιακών επικοινωνιών. Κατά τη μεταφορά των πακέτων μπορεί να υπάρξουν απώλειες (packet loss) που μπορεί να οφείλονται είτε στο jitter, αν έχουμε υπηρεσία πραγματικού χρόνου (αφού σε αυτή την περίπτωση αν κάποιο πακέτο αργήσει πάνω από ένα επιτρεπτό όριο θεωρείται χαμένο και απορρίπτεται), είτε σε υπερφόρτωση του δικτύου κτλ. Μεγάλο ρόλο διαδραματίζει η κωδικοποίηση που γίνεται αλλά και το υλικό των συσκευών που χρησιμοποιείται. (Akramullah, 2014).

Τα αποτελέσματα της απώλειας πακέτων συνοψίζονται:

- Στα δεδομένα, η απώλεια πακέτων προκαλεί σφάλματα.
- Σε περιβάλλοντα βίντεο-διάσκεψης μπορεί να δημιουργήσει jitter.

- Σε καθαρές επικοινωνίες ήχου, όπως το VoIP, μπορεί να προκαλέσει jitter και συχνά κενά στην λήψη ομιλίας.
- Στις χειρότερες περιπτώσεις, η απώλεια πακέτων μπορεί να προκαλέσει σοβαρά σφάλματα των ληφθέντων δεδομένων, διαλυμένες εικόνες, ακατανόητη ομιλία ή ακόμα και την πλήρη απουσία ενός ληφθέντος σήματος.
- Οι αιτίες της απώλειας πακέτων περιλαμβάνουν την ανεπαρκή ισχύ σήματος στον προορισμό, τις φυσικές ή ανθρωπογενείς παρεμβολές, τον υπερβολικό θόρυβο του συστήματος, την αποτυχία υλικού, τη διαφθορά λογισμικού ή τους υπερφορτωμένους κόμβους δικτύου. Συχνά, περισσότεροι από ένας από αυτούς τους παράγοντες εμπλέκονται.
- Σε μια περίπτωση όπου η αιτία δεν μπορεί να αποκατασταθεί, η απόκρυψη πακέτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των χαμένων πακέτων.

Οι παράγοντες που αναφέρθηκαν επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την τελική ποιότητα του περιεχομένου που αποστέλλεται και με αυτό τον τρόπο έχουμε μείωση της ποιότητας της εμπειρίας. Μπορούν να μεταφραστούν σε μείωση του QoE. Σε περιπτώσεις που έχουμε μετάδοση κινούμενης εικόνας, μπορεί να υπάρχουν περιοχές της εικόνας που να έχουν πρόβλημα με το ίδιο χρώμα, κάτι που οφείλεται στην κωδικοποίηση, θόλωμα ή και πάγωμα στην εικόνα, για το οποίο πιθανότατα να προέρχεται από το packet loss και να ευθύνεται η σύνδεση. Ακόμα, υπάρχει περίπτωση να μην έχουμε ομαλή ροή του βίντεο αν έχουμε υψηλό jitter. Σε περίπτωση που έχουμε μετάδοση φωνής (VOIP), μπορεί να έχουμε μικρά κενά κατά την αναπαραγωγή του ήχου. Ο χρήστης δεν αντιλαμβάνεται τις λεπτομέρειες αυτών των παραγόντων, αλλά θα αντιληφθεί τα παράσιτα στην μετάδοση και στην εικόνα ή την καθυστέρηση ήχου. Σε περίπτωση συνομιλίας, είναι σημαντικό να μην υπάρχει καθυστέρηση και επιστροφή ήχου αφού κάτι τέτοιο προκαλεί σύγχυση και δεν μπορεί να γίνει αποτελεσματική χρήση της υπηρεσίας. Σε ταυτόχρονη μεταφορά εικόνας – ήχου (πχ video-conference) για να έχουμε σωστή μετάδοση και ικανοποιητική απόδοση εκτός από την ομαλή ροή, να

υπάρχει και σωστός συγχρονισμός, καθώς τα πακέτα ήχου και εικόνας μεταφέρονται ξεχωριστά και σε διαφορετική περίπτωση δεν θα μπορεί να εκτελεστεί η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών. (Barakovic & Skorin-Karpon, 2013).

3.4.3 Μέθοδοι αντικειμενικής αξιολόγησης βίντεο

Η αντικειμενική αξιολόγηση συνίσταται στη χρήση υπολογιστικών μεθόδων που ονομάζονται "μετρήσεις" οι οποίες παράγουν τιμές που βαθμολογούν την ποιότητα του βίντεο. Μετρούν τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός σήματος βίντεο, όπως το εύρος σήματος, το χρονισμό, το λόγο σήματος προς θόρυβο. Είναι επαναλαμβανόμενα. Οι γνωστές και πιο χρησιμοποιούμενες αντικειμενικές μετρήσεις είναι ο λόγος κορυφής σήματος προς θόρυβο (PSNR), ο δείκτης ποιότητας βίντεο (VQM) και ο δείκτης διαθρωπτικής ομοιότητας (SSIM).

Η αντικειμενική αξιολόγηση ποιότητας του βίντεο (οVQA), χρησιμοποιείται για την αυτόματη μέτρηση της ποιότητας των βίντεο ανιχνεύοντας και συγκρίνοντας την ποσότητα των στρεβλώσεων που προκύπτουν από την κωδικοποίηση και τη μετάδοση χωρίς την ανθρώπινη παρεμβολή. Οι αντικειμενικές προσεγγίσεις προσπαθούν να παρέχουν ένα βίντεο υψηλής ποιότητας στον χρήστη με την χρήση αντικειμενικών μετρήσεων για τον υπολογισμό της ποιότητας. Το οVQA συγκρίνει την κωδικοποιημένη ακολουθία βίντεο με την ακατέργαστη ακολουθία για να δημιουργήσει μια βαθμολογία. Οι κωδικοποιημένες και παραμορφωμένες ακολουθίες βίντεο πρέπει να αποκωδικοποιηθούν σε μορφή YUV για οVQA. (Hore & Ziou, 2010).

Το YUV είναι ένας χρωματικός χώρος που τυπικά χρησιμοποιείται ως τμήμα ενός αγωγού έγχρωμης εικόνας . Κωδικοποιεί μια έγχρωμη εικόνα ή βίντεο λαμβάνοντας υπόψη την ανθρώπινη αντίληψη , επιτρέποντας το μειωμένο εύρος ζώνης για τα συστατικά χρωματισμού, επιτρέποντας έτσι τα σφάλματα μετάδοσης ή τα αντικείμενα συμπίεσης να καλύπτονται πιο αποτελεσματικά από την ανθρώπινη αντίληψη από τη χρήση μιας "άμεσης" αντιπροσώπευσης RGB. Άλλοι χρωματικοί χώροι έχουν παρόμοιες ιδιότητες και ο κύριος λόγος

για την υλοποίηση ή διερεύνηση ιδιοτήτων του YUV θα ήταν η διασύνδεση με αναλογική ή ψηφιακή τηλεόραση ή φωτογραφικό εξοπλισμό που συμμορφώνεται με ορισμένα πρότυπα YUV.

Υπάρχουν 3 λόγοι για να γίνει μια οVQA:

- Ο μηχανισμός ελέγχου ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιήσει οVQA για σκοπούς ελέγχου ποιότητας. Για παράδειγμα, οι διανομείς περιεχομένου βίντεο μπορούν να χρησιμοποιήσουν το οVQA για να εξασφαλίσουν την Ποιότητα της Εμπειρίας από τους τελικούς χρήστες χωρίς να δεσμεύσουν τους πόρους χρησιμοποιώντας προσαρμοστική ροή βασισμένη στο οVQA.
- Μέτρηση της απόδοσης του συστήματος κωδικοποίησης βίντεο και των αλγορίθμων. Εάν υπάρχουν διαφορετικές επιλογές για μια συγκεκριμένη εργασία, το οVQA θα είναι σε θέση να καθορίσει ποια επιλογή είναι η πλέον συμφέρουσα.
- Λειτουργεί ως βάση για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος κωδικοποίησης βίντεο.

Οι μέθοδοι οVQA μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις τύπους βάσει του τρόπου λειτουργίας τους:

- Αλγόριθμοι Μη Αναφοράς (NR - No Reference)
- Αλγόριθμοι Μειωμένης Αναφοράς (RR - Reduced Reference)
- Αλγόριθμοι Πλήρους Αναφοράς (FR - Full Reference)

Οι περισσότερες από τις μεθόδους οVQA απαιτούν το αρχικό σήμα αναφοράς για σύγκριση με τις παραμορφωμένες, δηλαδή τις μεθόδους πλήρους αναφοράς (FR). Οι πλήρεις μετρήσεις αναφοράς μετρούν την υποβάθμιση της οπτικής ποιότητας σε ένα παραμορφωμένο βίντεο σε σχέση με ένα βίντεο αναφοράς. Οι μέθοδοι αξιολόγησης ποιότητας FR προσπαθούν να επιτύχουν συνέπεια στην πρόβλεψη της ποιότητας, μοντελοποιώντας τα σημαντικά

φυσιολογικά χαρακτηριστικά του HVS και χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο για την αξιολόγηση της πιστότητας του σήματος. Καθώς αυξάνεται η πιστότητα, η αντιληπτή ποιότητα του περιεχομένου αυξάνεται επίσης. Οι μετρήσεις FR είναι πολύ αποτελεσματικές στην ανάλυση της ποιότητας του βίντεο και χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανάλυση και τη συγκριτική αξιολόγηση των απαιτήσεων των μετρήσεων FR. (Shahriar Akramullah, 2014)

Στους αλγορίθμους Μη Αναφοράς (NR) δεν υπάρχει εικόνα αναφοράς. Η μέθοδος Μη Αναφοράς αφορά την αυτόματη αξιολόγηση της ποιότητας χρησιμοποιώντας ένα αλγόριθμο. Ως πληροφορία ο αλγόριθμος λαμβάνει μόνο τη παραμορφωμένη ακολουθία και στην συνέχεια αξιολογείται από τους χρήστες. Αναλύει μόνο το διαστρεβλωμένο δοκιμαστικό βίντεο χωρίς να εξαρτάται από ένα βίντεο αναφοράς. Οι κύριες προκλήσεις στις προσεγγίσεις του NR, ωστόσο, είναι να γίνει διάκριση μεταξύ του παραμορφωμένου και του πραγματικού σήματος. Συνεπώς, οι μετρήσεις NR πρέπει να κάνουν υποθέσεις σχετικά με το βίντεο και τους τύπους στρεβλώσεων. (Shahriar Akramullah, 2014).

Οι μετρήσεις ποιότητας εικόνας μειωμένης αναφοράς (RR) παρέχουν μια λύση που βρίσκεται ανάμεσα στα μοντέλα FR και NR. Έχουν σχεδιαστεί για να προβλέπουν την αντιληπτική ποιότητα παραμορφωμένων εικόνων με μερικές μόνο πληροφορίες σχετικά με τις εικόνες αναφοράς.

Κάθε μοντέλο οVQA σχεδιάζεται με ελαφρώς διαφορετικές παραδοχές, έχουν το δικό τους πλεονέκτημα και μειονεκτήματα. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα λήψης αναξιόπιστων δεδομένων που προκαλούνται από τη φύση διαφορετικών μοντέλων, χρησιμοποιούνται συχνά τουλάχιστον δύο μέθοδοι αξιολόγησης με διαφορετικά σχέδια για τη μελέτη οVQA.

Δεδομένου ότι και οι δύο μέθοδοι οVQA και sVQA έχουν ελλείψεις, οι ερευνητές συχνά χρησιμοποιούν και τις δύο μεθόδους αξιολόγησης της απόδοσης των κωδικοποιητών βίντεο. Η συσχέτιση μεταξύ των δύο συνόλων μεθόδων πρέπει να καθοριστεί για να αποδειχθεί η αξιοπιστία των δεδομένων χρησιμοποιώντας συσχετισμό.

Με δεδομένο ότι ο άνθρωπος είναι ο παραλήπτης κάθε οπτικού μέσου, η απόδοση κάθε προσέγγισης θα πρέπει να σχετίζεται με την υποκειμενική αξιολόγησης της ποιότητας. Οι υποκειμενικές αξιολογήσεις της ποιότητας της ακολουθίας λαμβάνονται με την διεξαγωγή ευρείας κλίμακας μελετών, και κατά τις οποίες οι παρατηρητές βαθμολογούν έναν μεγάλο αριθμό παραμορφωμένων ακολουθιών.

Όταν συγκεντρώνονται οι αξιολογήσεις για κάθε βίντεο, ένας μέσος όρος γνωμοδότησης (MOS) ή ένας μέσος όρος διαφορικής γνωμοδότησης (DMOS) προκύπτει για την κάθε ακολουθία της μελέτης. Ο στόχος του αλγορίθμου αντικειμενικής αξιολόγησης ποιότητας είναι να προβλέψει τα αποτελέσματα των τιμών ποιότητας, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον αλγόριθμο να συσχετίζονται όσο το δυνατόν καλύτερα με τις τιμές MOS/DMOS. Η πρακτική εφαρμογή αυτών των αλγορίθμων προϋποθέτει ότι υπολογίζουν την αντιληπτή ποιότητα της εικόνας αποτελεσματικά.

Οι αυτοματοποιημένοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται αποτελούν βάση για την πρόβλεψη και τον προσδιορισμό της αντιλαμβανόμενης ποιότητας βίντεο. Οι μέθοδοι οVQA είναι αποτελεσματικά μέσα για την ποσοτικοποίηση του ποσοστού της παραμόρφωσης αυτόματα. Παρόλο που σχεδόν όλα τα μοντέλα ποιότητας βίντεο που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι γρήγορα και οικονομικά αποδοτικά, δεν έχουν λάβει υπόψη το ανθρώπινο οπτικό σύστημα (HVS) και τις συνθήκες προβολής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κακή συσχέτιση με την ποιότητα του βίντεο που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. (Guo & Meng, 2006).

Οι τεχνολογίες πίσω από τις μεθόδους οVQA μπορούν να ταξινομηθούν σε 5 τύπους:

- Media-Layer
- Parametric Packet-Layer model,
- Bit-Stream Layer,
- Hybrid και

- Parametric planning.

Τα μοντέλα Media-Layer χρησιμοποιούν μόνο ακατέργαστο σήμα βίντεο για να υπολογίζουν την ποιότητα του βίντεο χωρίς να λαμβάνουν υπόψη άλλους παράγοντες όπως τον τύπο συσκευής και την κατάσταση του δικτύου. Επομένως, αυτός ο τύπος αντικειμενικής μέτρησης είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για τη σύγκριση των επιδόσεων διαφορετικών κωδικοποιητών βίντεο.

Αντίθετα, τα μοντέλα πακέτων χρησιμοποιούν πληροφορίες packet-header για την εκτίμηση της ποιότητας βίντεο χωρίς να αξιολογούν πραγματικά το περιεχόμενο βίντεο. Αν και αυτή η κατηγορία μεθόδων είναι εύκολη και βολική για να πραγματοποιηθεί, η ακρίβειά τους, είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με άλλους τύπους μεθόδων. (Akramullah, 2014).

Στα μοντέλα παραμετρικού σχεδιασμού, οι προβλεπόμενες βαθμολογίες ποιότητας βίντεο εξαρτώνται από τις παραμέτρους σχεδιασμού ποιότητας του δικτύου και επομένως απαιτούνται προηγούμενες γνώσεις και λεπτομέρειες σχετικά με το περιβάλλον του πειράματος. (Anegekuh, Sun, & Ifeachor, 2013). Τα μοντέλα bitstream layer χρησιμοποιούν τις κωδικοποιημένες πληροφορίες bitstream και πακέτων για την αξιολόγηση της ποιότητας. Ενώ τα Hybrid μοντέλα αποτελούν μια σύνθεση από δύο ή περισσότερα μοντέλα που αναφέρθηκαν νωρίτερα.

Ο απώτερος στόχος του οVQA είναι να επιτυγχάνει το αποτέλεσμα του όσο το δυνατόν καλύτερα σε σχέση με την ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης. Επομένως, οι νεώτερες γενιές των μεθόδων οVQA λαμβάνουν υπόψη τον τρόπο με τον οποίο εργάζεται ο HSV. Αυτή η φιλοσοφία επέτρεψε την ανάπτυξη αλγορίθμων βασισμένων σε ευαισθησία σε οπτικό σφάλμα, που χρησιμοποιούνται από πολλές μεθόδους αντικειμενικής αξιολόγησης, όπως π.χ.

- SSIM (Διαρθρωτική Ομοιότητα),
- MOVIE (Βελτίωση Ακεραιότητας Βίντεο) και
- VQM (Μετρητής Ποιότητας Βίντεο).

Οι γνωστές και πιο χρησιμοποιούμενες αντικειμενικές μετρήσεις είναι PSNR,

VQM και SSIM.

Όλοι αυτοί οι οπτικοί αλγόριθμοι βασίζονται στην ευαισθησία λόγω σφάλματος, προσπαθούν να μιμηθούν τον τρόπο λειτουργίας του HVS και να υπολογίσουν την αντιληπτή ποιότητα. Ωστόσο, το ίδιο το HVS είναι υπερβολικά περίπλοκο και δεν είναι πλήρως κατανοητό από τους σύγχρονους επιστήμονες και ως εκ τούτου υποστηρίζεται ότι όλη η αριθμητική που βασίζεται σε αυτό δεν θα είναι ισχυρή δεδομένου ότι γίνονται αριθμοί παραδοχών. Για παράδειγμα, οι SSIM και MS-SSIM υποθέτουν ότι το HVS έχει προσαρμοσθεί για να εξαγάγει τις δομικές πληροφορίες, συγκρίνοντας τη δομική παραμόρφωση της εικόνας αντί του σφάλματος. (Λαζαρίνης, 2007).

Η μέτρηση SSIM μετρά τρία συστατικά - την ομοιότητα φωτεινότητας, την ομοιότητα αντίθεσης και την ομοιότητα κατασκευής και τα συνδυάζει σε μία τελική τιμή, η οποία καθορίζει την ποιότητα της ακολουθίας. Αυτή η μέθοδος διαφέρει από τις μεθόδους PSNR και MSE, από τις οποίες όλες βασίζονται σε σφάλματα, χρησιμοποιώντας τη μέτρηση της δομικής παραμόρφωσης αντί του σφάλματος. Αυτό οφείλεται στο ότι το σύστημα ανθρώπινης όρασης είναι εξειδικευμένο στην εξαγωγή διαρθρωτικών πληροφοριών από τον τομέα της προβολής και δεν εξειδικεύεται στην εξαγωγή των σφαλμάτων. Λόγω αυτού του παράγοντα, η μέτρηση SSIM επιτυγχάνει καλή συσχέτιση με την υποκειμενική εκτίμηση. Τα αποτελέσματα είναι σε διάστημα $[0,1]$, όπου το 0 είναι για το χειρότερο και το 1 για την καλύτερη ποιότητα.

Σε αντίθεση με τις μεθόδους οVQA που σχετίζονται με HVS, τα MSE και PSNR είναι οι συμβατικές κλασσικές μεθόδους οVQA που χρησιμοποιούνται ευρύτερα. Τα MSE και PSNR είναι πολύ παρόμοια, καθώς το MSE είναι απλώς μια συνάρτηση του PSNR. Αναμένεται ότι θα έχουν την ίδια απόδοση. Τόσο το MSE όσο και το PSNR είναι κλασσικά μοντέλα βασισμένα σε ευαισθησία σφάλματος που παράγουν μετρικές τιμές συγκρίνοντας το σήμα (δεδομένα) και το σφάλμα (παραμόρφωση) που προκαλείται από τη συμπίεση του κωδικοποιητή. Όσο πλησιέστερα η κωδικοποιημένη ακολουθία μοιάζει με την αρχική αλληλουχία της, τόσο υψηλότερη είναι η βαθμολογία PSNR που θα λάβει η δοκιμαστική ακολουθία βίντεο. (Chikkerur, Sundaram, Reisslein, & Karam, 2011).

Το PSNR και το MSE συχνά επικρίνονται για την αμφισβητήσιμη συσχέτιση τους με την ποιότητα βίντεο που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Επειδή το PSNR αντιμετωπίζει οποιαδήποτε μορφή τροποποίησης που έγινε στην αρχική εικόνα ως παραμόρφωση ή σφάλμα, το αποτέλεσμά του μπορεί να μην ευθυγραμμίζεται με την ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο χρήστης κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι βελτιωμένες εικόνες είναι πιο ελκυστικές για τους ανθρώπινους παρατηρητές, αν και η αρχική εικόνα έχει παραμορφωθεί σε μεγάλο βαθμό και ως εκ τούτου έλαβε χαμηλές βαθμολογίες PSNR και MSE. Όσο δεν βελτιώνονται σε μεγάλο βαθμό που τους προκαλεί να χάσουν την φυσικότητα, η τροποποίηση των αρχικών δεδομένων παραμένει ως μέσο ενίσχυσης.

Οι υπάρχουσες μελέτες δείχνουν ότι η χρωματικότητα και η ευκρίνεια είναι πιο σημαντικοί παράγοντες από τον θόρυβο και την εικονογράφηση, από την άποψη της ποιότητας του βίντεο που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Ως εκ τούτου, το PSNR μπορεί να είναι ανακριβές σε ορισμένες περιπτώσεις. Εκτός αυτού, το PSNR υποβαθμίζει τις διαρθρωτικές πληροφορίες των βίντεο. Όταν εφαρμόζονται διαφορετικοί τύποι και επίπεδα διαστρεβλώσεων σε μια συγκεκριμένη ακολουθία βίντεο αναφοράς σε ακολουθίες δοκιμών, παρόμοιες βαθμολογίες PSNR παράγονται για διαφορετικές ακολουθίες δοκιμών σε ορισμένες περιπτώσεις. Επιπλέον, τα μοντέλα PSNR και MSE δεν σχεδιάστηκαν αρχικά για οVQA. Αντίθετα, είχαν σχεδιαστεί για δοκιμές ακίνητων εικόνων πριν από δεκαετίες. (Vaughan, 2014). Ορισμένα μοντέλα δεν λαμβάνουν υπόψη το HVS, υποθέτουν ότι η ανθρώπινη οπτική αντίληψη είναι εξαιρετικά καλή στην παραλαβή δομικών πληροφοριών από τις ακολουθίες βίντεο. Τέτοια μοντέλα περιλαμβάνουν τα MOVIE, SSIM, SS-SSIM και VQM. Αυτές οι μέθοδοι οVQA είναι πλήρεις μέθοδοι αναφοράς που απαιτούν την παρουσία αλληλουχίας αναφοράς. Οι μελέτες που διεξήχθησαν από τους δημιουργούς SSIM, SS-SSIM και VQM, αποκάλυψαν ότι αυτές οι μέθοδοι ξεπερνούν τις συμβατικές μεθόδους όπως οι MSE και PSNR. Αντίστοιχα, μελέτες που διεξήχθησαν από άλλους ερευνητές αποκάλυψαν ότι τα καλύτερα μοντέλα οVQA είναι SS-SSIM, VQM και MOVIE (Chikkerur et al., 2011)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Μεθοδολογία Πειράματος

Αυτή η μελέτη έχει ως στόχο τη δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης ποιότητας βίντεο για να προσδιορίσει την ποιότητα βίντεο που αντιλαμβάνεται ο χρήστης, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που συλλέγονται από έναν τύπο μεθόδου αξιολόγησης της ποιότητας των βίντεο την ACR, μελετώντας τους κωδικοποιητές H.264 και H.265/HEVC. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την διαδικασία της αξιολόγησης της ποιότητας βίντεο στην υποκειμενική και στην αντικειμενική μέθοδο.

4.1 Σχεδιασμός μετρήσεων

Πρώτα απ' όλα, επιλέχθηκε ένα σύνολο ακολουθιών βίντεο, όπου στην συνέχεια επεξεργάστηκαν με βάσει κάποιες παραμέτρους, για να συλλεχθούν τόσο υποκειμενικά όσο και αντικειμενικά δεδομένα.

Συνθήκες κωδικοποίησης των ακολουθιών

Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δύο ακολουθίες δοκιμής. Και οι δύο ακολουθίες ήταν σε ανάλυση με 30 fps (καρέ ανά δευτερόλεπτο). Η διαδικασία μέτρησης αποτελείται από τέσσερα βήματα. Αρχικά, οι δύο ακολουθίες λήφθηκαν σε μη συμπιεσμένη μορφή (* .y4m) και χρησιμοποιήθηκαν ως ακολουθίες αναφοράς. Στη συνέχεια, κωδικοποιήθηκαν σε διαφορετικά πρότυπα συμπίεσης H.264 / AVC και H.265 χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα FFmpeg και ρυθμίζοντας διαφορετικές παραμέτρους των κωδικοποιημένων ακολουθιών που παρουσιάζονται παρακάτω. Στη συνέχεια, οι ακολουθίες αποκωδικοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το ίδιο πρόγραμμα FFmpeg πίσω στη μορφή (* .y4m). Στο τέλος, η ποιότητα μεταξύ αυτών των ακολουθιών και της αναφοράς (μη συμπιεσμένης) ακολουθίας συγκρίθηκε και αξιολογήθηκε.

Οι ακολουθίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

VIDEO,VIDEONAME,RATING,RATINGTIME
0,SRC001_SCN7_C1_BR4000k_RES1280x544.mp4,4,1499034019883
1,SRC001_SCN0_C0_BR500k_RES1024x436.mp4,3,1499034082829
2,SRC002_SCN8_C1_BR500k_RES1024x430.mp4,4,1499034152394
3,SRC002_SCN6_C1_BR4000k_RES1280x536.mp4,3,1499034221571
4,SRC004_SCN0_C1_BR1500k_RES1920x1012.mp4,3,1499034231488
5,SRC002_SCN5_C0_BR900k_RES1024x430.mp4,5,1499034304159
6,SRC001_SCN2_C1_BR15000k_RES2560x1090.mp4,5,1499034374408
7,SRC001_SCN1_C1_BR500k_RES1280x544.mp4,4,1499034440089
8,SRC001_SCN4_C1_BR2600k_RES1280x544.mp4,3,1499034508645
9,SRC002_SCN4_C0_BR250k_RES640x268.mp4,3,1499034562704
10,SRC001_SCN7_C1_BR4000k_RES2560x1090.mp4,4,1499034625377
11,SRC001_SCN9_C1_BR4000k_RES2560x1090.mp4,5,1499034690918
12,SRC001_SCN3_C1_BR10000k_RES1920x818.mp4,5,1499034756949
13,SRC001_SCN10_C0_BR2600k_RES1280x544.mp4,4,1499034824013
14,SRC002_SCN7_C1_BR25000k_RES2560x1072.mp4,5,1499034892479
15,SRC001_SCN8_C0_BR6000k_RES2560x1090.mp4,5,1499034958034
16,SRC002_SCN3_C0_BR2600k_RES1920x804.mp4,5,1499035027005
17,SRC002_SCN0_C0_BR10000k_RES2560x1072.mp4,4,1499035100872
18,SRC002_SCN5_C0_BR900k_RES1280x536.mp4,5,1499035169949
19,SRC001_SCN4_C0_BR2600k_RES2560x1090.mp4,5,1499035237194

Πίνακας 1. Ονόματα Ακολουθιών

Οι ακολουθίες με C0 είναι οι ακολουθίες για τις οποίες χρησιμοποιήθηκε H.264/AVC codec ενώ με C1 H.265/HEVC.

Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα FFmpeg, ένα εργαλείο ανοιχτού κώδικα που παρέχει κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση οποιασδήποτε μορφής βίντεο. Υποστηρίζει σχεδόν όλους τους κωδικοποιητές ήχου / βίντεο (h264, h265, vr8, vr9, aac, opus κ.λπ.) και μορφές αρχείων (mp4, flv, mkv, ts, webm, mp3 κλπ.). Επιπλέον υποστηρίζει όλα τα πρωτόκολλα streaming (http, rtmp, rtsp, hls, κλπ.).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε πρότυπο συμπίεσης στο ffmpeg.

H.264/AVC	<code>-preset fast -c:v libx264 -x264-params:\ "keyint=120:min-keyint=120:no-scenecut\ " -r 24</code>
H.265/HEVC	<code>"-preset fast -c:v libx265 -x265-params \ "keyint= 120:min-keyint=120:no-scenecut\ " -r 24 "</code>

Πίνακας 2. Παράμετροι κωδικοποίησης

Τα πρότυπα συμπίεσης H.264 και H.265 αποτελούνται από πλαίσια διαφορετικών τύπων: I- (λιγότερο συμπιεσμένο , πλαίσια P- και B- (πιο συμπιεσμένο). Λόγων των δύο κωδικοποιητών και του διαφορετικού σχεδιασμού τους, ο αριθμός των πλαισίων B και P δεν γίνεται να διατηρηθεί σταθερός. Καθορίσαμε τη μέγιστη περίοδο πλαισίου I για τους δύο κωδικοποιητές, αλλά και το ελάχιστο μέγεθος GOP (Group Of Pictures). Με την εντολή “no –scenecut” δηλώσαμε να χρησιμοποιεί σταθερό μήκος GOP για τους δύο κωδικοποιητές. Ωστόσο, κάθε μία από τις ακολουθίες περιέχει μόνο μία σκηνή και έτσι πιθανώς μόνο ένα I-πλαίσιο κωδικοποιείται σε κάθε μία από τις παραμορφωμένες ακολουθίες.

Η ταχύτητα συμπίεσης ορίστηκε ως γρήγορη ενώ επιλέχθηκαν συνδυασμοί bitrate και ανάλυσης στις ρυθμίσεις κωδικοποίησης, όπως περιγράφονται παρακάτω στον Πίνακα 3.

Για τη διεξαγωγή VQA, οι διαμορφώσεις bitrate κωδικοποιητή θα πρέπει να διερευνηθούν επειδή έχουν άμεση επίδραση τόσο στην ποιότητα βίντεο που αντιλαμβάνονται οι χρήστες όσο και στις αντικειμενικές βαθμολογίες

αξιολόγησης. Επομένως, τα κατάλληλα ανώτατα και χαμηλότερα όρια bitrate κωδικοποιητή και τα διαστήματα bitrate καθορίζονται συνήθως με προσοχή όπως και σε προηγούμενες μελέτες.

H.264/AVC		H365/HEVC	
Bitrate	Resolution	Bitrate	Resolution
2600k	2560x1090	500k	1280x544
900k	1024x430	4000k	1280x544
2600k	1280x544	10000k	1920x818
2600k	1920x804	4000k	2560x1090
10000k	2560x1072	2600k	1280x544
900k	1280x536	500k	1024x430
6000k	2560x1090	25000k	2560x1072
500k	1024x436	4000k	1280x536
250k	640x268	1500k	1920x1012
		15000k	2560x1090

Πίνακας 3. Bitrate & Resolution για τα πρότυπα συμπίεσης H.264 και H.265

Τέλος, για την κωδικοποίηση του ήχου στο ffmpeg χρησιμοποιήθηκαν οι εξής παράμετροι και για τα δύο πρότυπα συμπίεσης:

"-c:a aac -b:a 192k -strict -2"

4.2 Υποκειμενικές Μετρήσεις

Σε αυτή τη μελέτη, για την διερεύνηση της επίδρασης των κλιμάκων αξιολόγησης για τις υποκειμενικές βαθμολογίες που συλλέχθηκαν, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ACR (Absolute Category Rate). Η ACR επιλέχθηκε για την αξιολόγηση της υποκειμενικής ποιότητας των ακολουθιών με κλίμακα 5 σημείων. Με αυτή τη μέθοδο, οι χρήστες καλούνται να αξιολογήσουν μια σειρά από ακολουθίες με βάση μια κλίμακα χωρίς να έχουν

δει την αρχική ακολουθία βίντεο. Στη συνέχεια προκύπτει ένα βαθμός από τον μέσο όρο των αξιολογήσεων.

Μέσος Δείκτης Γνώμης (MOS)

Τα υποκειμενικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αξιολογήσεις εκφράζονται σε μέσους όρους της βαθμολογίας της ποιότητας για κάθε επεξεργασμένη ακολουθία ή ομάδα ακολουθιών κάτω από τις ίδιες πειραματικές ακολουθίες (πχ χαμηλό θόρυβο δωματίου, φωτεινότητα κλπ). Ο μέσος όρος αυτός ονομάζεται Μέσος Δείκτης Γνώμης (MOS) και μας παρέχει μια αριθμητική ένδειξη της αντιλαμβανόμενης ποιότητας των ακολουθιών. Ο MOS έχει κλίμακα από 1 έως 5, όπου 1 είναι η χαμηλότερη μέτρηση της αντιλαμβανόμενης ποιότητας και 5 η χειρότερη (Σχ.1), όπως χρησιμοποιήθηκε και στο πείραμα. Ωστόσο θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι, ο MOS προκύπτει από την χρήση μιας τακτικής ποιοτικής κλίμακας και όχι ποσοτικής. Με άλλα λόγια, αν και οι 5 βαθμοί της κλίμακας είναι αριθμημένοι, αυτοί οι αριθμοί δεν αντιπροσωπεύουν την απόσταση μεταξύ των βαθμών της κλίμακας.

MOS (Mean Opinion Score)	QUALITY
5	Excellent
4	Good
3	Fair
2	Poor
1	Bad

Πίνακας 4. Κλίμακες Αξιολόγησης για τη μέθοδο ACR

Συμμετέχοντες:

Στην αξιολόγηση της υποκειμενικής ποιότητας των ακολουθιών έλαβαν μέρος 15 συμμετέχοντες. Οι συμμετέχοντες δεν είχαν την κατάλληλη τεχνογνωσία για την επεξεργασία βίντεο καθώς και για την αξιολόγηση της ποιότητας των βίντεο. Επίσης, δεν είχαν συμμετάσχει στο παρελθόν σε πειράματα υποκειμενικής αξιολόγησης ποιότητας βίντεο. Οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν για τους εξεταζόμενους είναι το φύλλο, η ηλικία, αν παρακολουθούν βίντεο με HD ανάλυση (High Definition) και αν είναι εγγεγραμμένοι σε κάποια υπηρεσία μετάδοσης βίντεο όπως Vimeo, YouTube κλπ. Από τους 15 συμμετέχοντες οι 8 ήταν γυναίκες, από τις οποίες οι 6 δήλωσαν ότι δεν είναι εγγεγραμμένες σε κάποια υπηρεσία μετάδοσης βίντεο ενώ οι 2 είναι εγγεγραμμένες. Οι υπόλοιποι 7 ήταν άνδρες, από τους οποίους οι 4 δήλωσαν ότι είναι εγγεγραμμένοι σε κάποια υπηρεσία μετάδοσης βίντεο ενώ οι 3 δήλωσαν πως δεν είναι. Τέλος, να αναφέρουμε ότι και οι 15 συμμετέχοντες δήλωσαν ότι έχουν παρακολουθήσει βίντεο με HD ανάλυση (High Definition). Οι ηλικίες κυμάνθηκαν από 21 έως 28.

Για την αναπαραγωγή αρχείων και την αξιολόγηση των ακολουθιών χρησιμοποιήθηκε εφαρμογή, η οποία εγκαταστάθηκε σε κινητή συσκευή LG G5 SE Android 6.0 με ανάλυση QHD (2560x1440).

Οδηγίες συμμετεχόντων:

Στους συμμετέχοντες δόθηκαν οδηγίες όσον αφορά τις ακολουθίες και την διαδικασία αξιολόγησης τους, οποιαδήποτε ασάφεια διασαφηνίστηκε και δόθηκε χρόνος για ερωτήσεις. Ζητήσαμε από τους συμμετέχοντες να παρακολουθήσουν 20 βίντεο διάρκειας ενός λεπτού μέσω μιας κινητής συσκευής. Στη συνέχεια, στο τέλος κάθε ακολουθίας τους ζητήθηκε να αξιολογήσουν την ποιότητα του βίντεο. Πριν την έναρξη της διαδικασίας, πραγματοποιήθηκε παράδειγμα όπου οι χρήστες αξιολόγησαν 5 ακολουθίες δοκιμαστικά, ώστε οι να κατανοήσουν την διαδικασία της αξιολόγησης των ακολουθιών. Κατά τη διαδικασία των δοκιμών υποκειμενικής αξιολόγησης βίντεο, το επίπεδο φωτεινότητας στον χώρο ρυθμίστηκε σταθερά και η

φωτεινότητα της οθόνης της συσκευής ρυθμίστηκε σε αυτόματη.

VIDEO	VIDEONAME	RATING	RATINGTIME
0	SRC002_SCN1_C1_BR25000k_RES2560x1072.mp4	4	1499033639225
1	SRC001_SCN6_C0_BR900k_RES1024x436.mp4	5	1499033707550
2	SRC002_SCN6_C1_BR4000k_RES2560x1072.mp4	4	1499033779842
3	SRC001_SCN5_C0_BR250k_RES640x272.mp4	1	1499033869898
4	SRC002_SCN2_C1_BR10000k_RES1920x804.mp4	5	1499033947536

Πίνακας 5 Ακολουθίες δοκιμαστικής διαδικασίας

4.3 Αντικειμενική Μέθοδος

Στην αντικειμενική μέθοδο, χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες ακολουθίες και η ίδια διαδικασία κωδικοποίησης. Υπολογίστηκε ο Μέσος Δείκτης Γνώμης για την αντικειμενική αξιολόγηση της ποιότητας των ακολουθιών. Η ποιότητα των ακολουθιών συγκρίθηκε και αξιολογήθηκε με τη χρήση των μετρήσεων MSE (Mean Square Error).

Για την αντικειμενική μέθοδο αξιολόγησης μελετήθηκε ο αλγόριθμός ITU-T G.1071, ο οποίος έχει σχεδιαστεί για ακολουθίες υψηλής ανάλυσης QHD (Quad High Definition). Το QHD (Quad High Definition) είναι ένα πρότυπο ανάλυσης για οθόνες υψηλής ευκρίνειας, τηλεοράσεις και κινητές συσκευές. Το QHD καθορίζεται ως 2560x1440 pixels σε αναλογία διαστάσεων 16x9, τέσσερις φορές υψηλότερο από το 720p standard high definition.

4.3.1 Αλγόριθμος G.1071

Ο αλγόριθμος G.1071 παρέχει αλγοριθμικά μοντέλα για τον σχεδιασμό δικτύων με βάση την IP των υπηρεσιών βίντεο. Παρέχουν εκτιμήσεις των προβλημάτων του τυπικού δικτύου IP στην ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης σε εφαρμογές πολυμέσων κινητής τηλεφωνίας και IPTV (Internet Protocol Television). Τα μοντέλα αυτά λαμβάνουν ως είσοδο την

ανάλυση βίντεο, τους τύπους των κωδικοποιητών ήχου και βίντεο, τα bitrates, τον ρυθμό απώλειας πακέτων. Ως έξοδο, παρέχουν μεμονωμένες εκτιμήσεις για την ποιότητα του βίντεο και του ήχου, καθώς επίσης μπορούν να δώσουν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τα αίτια υποβάθμισης της ποιότητας. Τέλος, καλύπτει υψηλότερες αναλύσεις (HR) ώστε να συμπεριλάβει την κωδικοποίηση βίντεο υψηλής απόδοσης (H.265/HEVC).

Το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζα (RMSE) και η συσχέτιση Pearson χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την απόδοση.

Οι μαθηματικές σχέσεις του αλγορίθμου G. 1071 που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του objective MOS, περιγράφονται παρακάτω:

$$Q = 100 - a1 \times e^{a2 \times \text{BitPerPixel}} - a3 \times \text{ContentComplexity} - a4$$

Όπου:

Q: είναι η συνολική εκτιμώμενη ποιότητα βίντεο, η οποία εκφράζεται σε κλίμακα 100 σημείων [0,100], όπου η 0 είναι η χειρότερη ποιότητα και 100 η καλύτερη ποιότητα.

BitPerPixel: είναι ο μέσος αριθμός bits ανά pixel

Bitrate: είναι το bitrate για κάθε ακολουθία σε Mbps και υπολογίζεται με την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$\text{BitPerPixel} = \frac{\text{Bitrate} \times 10^6}{\text{NumPixelPerFrame} \times \text{Frame Rate}}$$

NumPixelPerFrame: είναι ο αριθμός των pixel ανά το frame της ακολουθίας, προκύπτει από την ανάλυση στην οποία έχει κωδικοποιηθεί κάθε frame.

Frame Rate: είναι ο αριθμός των πλαισίων που προβάλλονται ανά δευτερόλεπτο. Το Framerate για τις ακολουθίες των δοκιμών που υλοποιούμε είναι 30 fps.

ContentComplexity: εκφράζει την πολυπλοκότητα του περιεχομένου, καταγράφει την χωροχρονική πολυπλοκότητα της ακολουθίας βίντεο. Υπολογίζεται με την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$\text{ContentComplexity} = a_{31} \times e^{a_{32} \times \text{BitPerPixel}} + a_{33}$$

Οι τιμές συντελεστών a_1 , a_2 , a_4 , a_{31} , a_{32} και a_{33} εξαρτώνται από την ανάλυση βίντεο. Παρέχονται στον παρακάτω πίνακα.

Video Resolution	a_1	a_2	a_3	a_4	a_{31}	a_{32}	a_{33}
HD	51.28	-22.00	6.00	6.21	3.92	-27.54	0.26

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του Objective MOS για κάθε ακολουθία.

$$MOS = MOS_{min} + \frac{MOS_{max} - MOS_{min}}{100} \cdot Q + Q \cdot (Q - 60) \cdot (100 - Q) \cdot 7 \cdot 10^{-6}$$

Τέλος, για να εξεταστεί η απόδοση χρησιμοποιήθηκε ο υπολογισμός του σφάλματος μέσης τετραγωνικής ρίζας (MSE) των ακολουθιών και ο συντελεστής συσχέτισης Pearson, που περιγράφονται παρακάτω.

Mean Square Error (Σφάλμα Μέσης Τετραγωνικής Ρίζας)

Το Σφάλμα μέσης Τετραγωνικής ρίζας (MSE) είναι ένας προφανής τρόπος μέτρησης της ομοιότητας. Υπολογίζεται ένα σήμα σφάλματος αφαιρώντας το δοκιμαστικό σήμα από την αναφορά, και στη συνέχεια υπολογίζοντας το μέσο όρο ενέργειας του σήματος σφάλματος. Το MSE, ονομάζεται επίσης και απόκλιση μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMSD). Το MSE μετρά το μέσο μέγεθος σφάλματος, είναι πάντα μη αρνητικό και οι τιμές που βρίσκονται πιο κοντά στο μηδέν είναι καλύτερες.

Αυτός ο τρόπος μέτρησης χρησιμοποιείται συχνά στην επεξεργασία σήματος και ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$RMSE = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{(i,j)} - y_{(i,j)})^2$$

Όπου X και Y δύο πίνακες μεγέθους NxM, που αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα το πλαίσιο αναφοράς του καναλιού Y (δηλ. Το πρωτότυπο αντίγραφο) και το πλαίσιο καναλιού Y του κωδικοποιημένου αντιγράφου. Στη συγκεκριμένη μελέτη, υπολογίστηκε το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας μεταξύ των αποτελεσμάτων των αντικειμενικών και υποκειμενικών αξιολογήσεων.

Όσο περισσότερο το Y είναι παρόμοιο με το X, τόσο περισσότερο το MSE είναι μικρό. Προφανώς, η μεγαλύτερη ομοιότητα επιτυγχάνεται όταν το MSE ισούται με 0.

Συντελεστής συσχέτισης Pearson

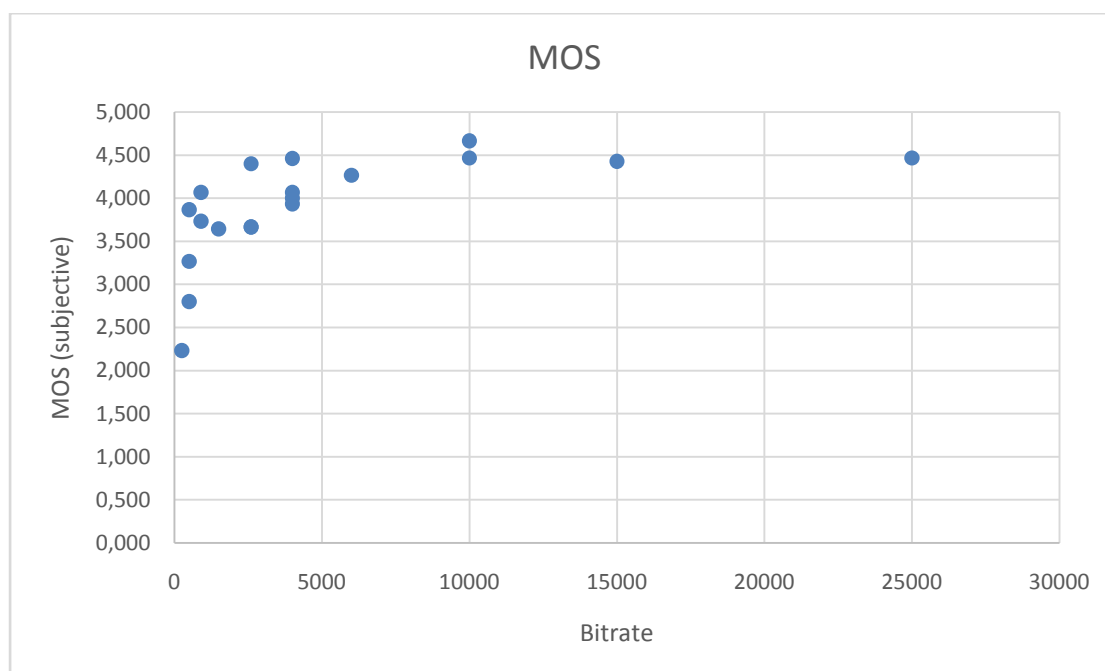
Ο συντελεστής συσχέτισης PCC είναι ο κοινώς χρησιμοποιούμενος όρος για τον πραγματικό όρο Pearson Product Moment Correlation (PPMCC). Είναι μέτρο του μεγέθους της συσχέτισης μεταξύ δυο συνόλων τιμών. Η τιμή PCC κυμαίνεται από -1 έως 1. Στη συγκεκριμένη μελέτη, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των αποτελεσμάτων των αντικειμενικών και των υποκειμενικών μετρήσεων ώστε να εξεταστεί η συσχέτιση των αποτελεσμάτων. Αν ανακαλυφθεί ένας ισχυρός θετικός γραμμικός συσχετισμός από τα δείγματα δεδομένων, το PCC κινείται πιο κοντά στο 1. εάν η τιμή PCC πλησιάσει στο -1, μπορεί να συμπεράνει ότι υπάρχει ισχυρός αρνητικός γραμμικός συσχετισμός στα δείγματα δεδομένων. Όταν η τιμή PCC πλησιάζει στο 0, δεν εντοπίστηκε γραμμική συσχέτιση. Το PCC υπολογίζεται ως εξής:

$$PCC = \frac{\sum(x_i - \tilde{x})(y_i - \tilde{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \tilde{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \tilde{y})^2}}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Ανάλυση αποτελεσμάτων

5.1 Υποκειμενικές Μετρήσεις

Για την υποκειμενική αξιολόγηση της ποιότητας των βίντεο που επιλέχθηκαν όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ACR και επιλέχθηκαν κάποιες βασικοί παράμετροι για την κωδικοποίηση τους όπως bitrate, resolution κλπ. Το παρακάτω γράφημα, λοιπόν απεικονίζει τις μέσες τιμές ACR των ακολουθιών που αξιολογήθηκαν σε σχέση με το bitrate. Βάσει του σχήματος, παρατηρείται ότι με την αύξηση του bitrate η ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο χρήστης αξιολογείται καλύτερα.



Σχήμα1. Διάγραμμα μέσων τιμών (MOS) υποκειμενικών αξιολογήσεων

Επιπλέον, η μέση υψηλότερη βαθμολογία ACR που λαμβάνεται από τα περιεχόμενα των βίντεο είναι περίπου 4 ακόμη και για τα βίντεο με το υψηλότερο bitrate των 25000kbps.

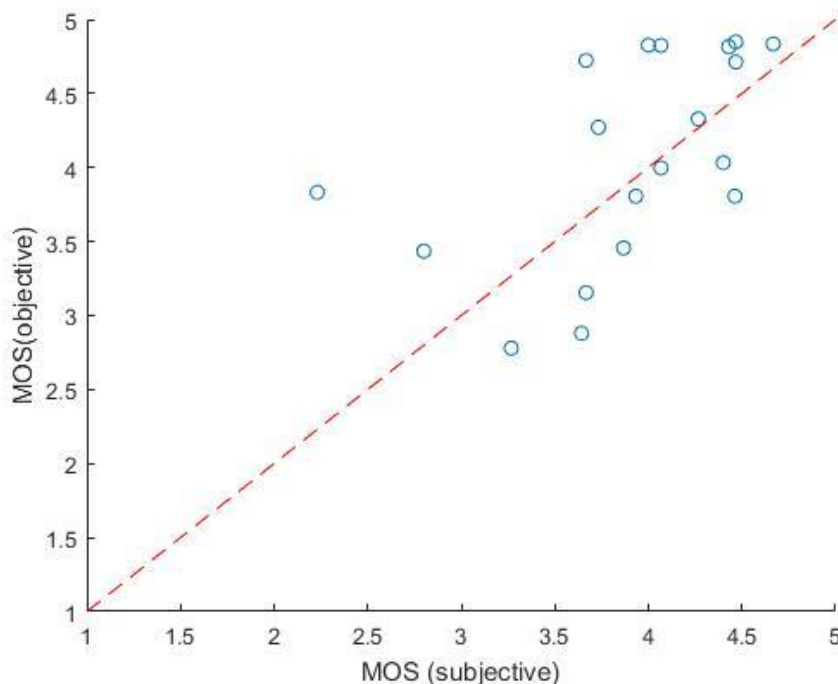
Η μέθοδος αξιολόγησης που εφαρμόστηκε ήταν ίδια για όλες τις ακολουθίες βίντεο. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περισσότεροι συμμετέχοντες τείνουν να αξιολογούν με ομοιόμορφο τρόπο τις ακολουθίες που παρακολούθησαν. Από την άλλη πλευρά οι βαθμολογίες ορισμένων χρηστών διαφέρουν μεταξύ τους. Αυτές οι αντιπαραβαλλόμενες

συμπεριφορές των χρηστών υποδεικνύουν την ύπαρξη ατομικών τρόπων απόκρισης της ποιότητας που αντιλαμβάνεται ο χρήστης.

5.2 Αντικειμενικές Μετρήσεις

Σύμφωνα με τα δεδομένα των υποκειμενικών και των αντικειμενικών αξιολογήσεων των ακολουθιών, με τη μέθοδο σφάλματος μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMSE) διαπιστώθηκε ότι οι ακολουθίες που εμφανίζουν το μεγαλύτερο σφάλμα είναι οι ακολουθίες με bitrate 2600k, ανάλυση 12800x544 και πρότυπο συμπίεσης H264 και H.265 και η ακολουθία με bitrate 250k, ανάλυση 1920x804 και πρότυπο συμπίεσης H264.

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ των αντικειμενικών και υποκειμενικών μετρήσεων για τις ακολουθίες που χρησιμοποιήθηκαν. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων MOS για τις δύο μεθόδους αξιολόγησης της ποιότητας ακολουθιών. Όσο πιο κοντά βρίσκονται τα σημεία ένωσης των δύο μεθόδων αξιολόγησης της ποιότητας για κάθε ακολουθία στην ευθεία γραμμή της γραφικής παράστασης τόσο η εκτίμηση της ποιότητας των βίντεο είναι καλύτερη.



Σχήμα 2. Διάγραμμα συσχέτισης υποκειμενικών και αντικειμενικών αξιολογήσεων

Στη συνέχεια, αξιολογήσαμε και αριθμητικά την συσχέτιση των μετρήσεων, υπολογίσαμε τον συντελεστή συσχέτισης Pearson μεταξύ αντικειμενικών σημείων και υποκειμενικών. Ο συντελεστής συσχέτισης ανήκει στο τμήμα από το -1 έως το 1 και αντικατοπτρίζει το βαθμό εξάρτησης μεταξύ των τιμών (όσο μεγαλύτερη είναι η απόλυτη τιμή, τόσο πιο ισχυρή είναι η εξάρτηση). Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης υπολογίστηκε ότι είναι 0,5049, δηλαδή κοντά στην τιμή 1 που δηλώνει θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεθόδων αξιολογήσεων ποιότητας των ακολουθιών.

5.3 Απόδοση Κωδικοποιητών

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η απόδοση των κωδικοποιητών H.264 και H.265. Ο πρώτος πίνακας αναφέρεται στον κωδικοποιητή H.264 ενώ ο δεύτερος πίνακας στον κωδικοποιητή HEVC. Για κάθε κωδικοποιητή έχει υπολογιστεί ο συντελεστής RMSE, το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας. Το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMSE) που παρουσιάζει ο κωδικοποιητής H.264 είναι μεγαλύτερο από εκείνο του κωδικοποιητή HEVC. Για τον H.264 το RMSE είναι 0,733025 ενώ για τον H.265 είναι 0,61260464. Από τον υπολογισμό του RMSE για κάθε κωδικοποιητή παρατηρούμε ότι ο κωδικοποιητής H.265 είναι αποδοτικότερος από τον H.264. Όσο πιο κοντά στο μηδέν βρίσκεται η τιμή του RMSE τόσο καλύτερη είναι η κωδικοποίηση.

Ακολουθίες	Bitrate (kbps)	MOS (subjective)	MOS (objective)	Error	SQR-Error
SRC001_SCN0_C0_BR500k_RES1024x436.mp4	500	2,800	3,435	0,635	0,403
SRC001_SCN10_C0_BR2600k_RES1280x544.mp4	2600	3,667	4,723	1,056	1,114
SRC001_SCN4_C0_BR2600k_RES2560x1090.mp4	2600	3,667	3,155	-0,512	0,262
SRC001_SCN8_C0_BR6000k_RES2560x1090.mp4	6000	4,267	4,328	0,061	0,004
SRC002_SCN0_C0_BR10000k_RES2560x1072.mp4	10000	4,467	4,713	0,246	0,060
SRC002_SCN3_C0_BR2600k_RES1920x804.mp4	2600	4,400	4,033	-0,367	0,134
SRC002_SCN4_C0_BR250k_RES640x268.mp4	250	2,231	3,832	1,601	2,562
SRC002_SCN5_C0_BR900k_RES1024x430.mp4	900	3,733	4,272	0,539	0,291
SRC002_SCN5_C0_BR900k_RES1280x536.mp4	900	4,067	3,997	-0,070	0,005
RMSE= 0,733025					

Πίνακας 6. RMSE κωδικοποιητή H.264

Ακολουθίες	Bitrate (kbps)	MOS (subjective)	MOS (objective)	Error	SQR-Error
SRC001_SCN1_C1_BR500k_RES128 0x544.mp4	500	3,267	2,780	-0,487	0,237
SRC001_SCN2_C1_BR15000k_RES2 560x1090.mp4	15000	4,429	4,816	0,387	0,150
SRC001_SCN3_C1_BR10000k_RES1 920x818.mp4	10000	4,667	4,835	0,168	0,028
SRC001_SCN4_C1_BR2600k_RES12 80x544.mp4	2600	3,667	4,723	1,056	1,114
SRC001_SCN7_C1_BR4000k_RES12 80x544.mp4	4000	4,067	4,825	0,758	0,574
SRC001_SCN7_C1_BR4000k_RES25 60x1090.mp4	4000	3,933	3,807	-0,126	0,016
SRC001_SCN9_C1_BR4000k_RES25 60x1090.mp4	4000	4,462	3,807	-0,655	0,429
SRC002_SCN6_C1_BR4000k_RES12 80x536.mp4	4000	4,000	4,826	0,826	0,683
SRC002_SCN7_C1_BR25000k_RES2 560x1072.mp4	25000	4,467	4,849	0,382	0,146
SRC002_SCN8_C1_BR500k_RES102 4x430.mp4	500	3,867	3,456	-0,411	0,169
SRC004_SCN0_C1_BR1500k_RES19 20x1012.mp4	1500	3,643	2,880	-0,763	0,582
RMSE= 0,61260464					

Πίνακας 7. RMSE κωδικοποιητή H.265

Επίσης, παρατηρούμε ότι οι ακολουθίες που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο σφάλμα και χρησιμοποιούν τον κωδικοποιητή H.264 είναι οι εξής:

- Η ακολουθία με bitrate 2600 kbps, ανάλυση 1280x544 και error 1,056
- Η ακολουθία με bitrate 250 kbps, ανάλυση 640x268 και error 1,601

Ενώ οι ακολουθίες που παρουσιάζουν μεγαλύτερο σφάλμα και χρησιμοποιούν τον κωδικοποιητή H.265 είναι οι εξής:

- Η ακολουθία με bitrate 2600 kbps, ανάλυση 1280x544 και error 1,056

Συμπεράσματα – Επίλογος

Στη συγκεκριμένη έρευνα, ο τελικός χρήστης αξιολόγησε την ποιότητα των βίντεο που αντιλαμβάνεται με την χρήση της υποκειμενικής μεθόδου ACR. Ο υπολογισμός του σφάλματος μέσης τετραγωνικής ρίζας αφορά τις αντικειμενικές προσεγγίσεις. Επίσης, υπολογίστηκε η συσχέτιση των αποτελεσμάτων των αξιολογήσεων μεταξύ των υποκειμενικών και αντικειμενικών μετρήσεων για τους δυο κωδικοποιητές, η οποία ήταν θετική.

Μελετώντας την υπάρχουσα βιβλιογραφία και τις εξελίξεις στο διαδίκτυο, συμπεραίνεται ότι οι περισσότερες μελέτες αφορούν μεγάλες αναλύσεις Full HD, ενώ όπως αναφέρθηκε και είναι ήδη γνωστό, τα τελευταία χρόνια είχαμε καταϊγιστικές εξελίξεις στον χώρο της μετάδοσης βίντεο μέσω διαδικτύου. Διάφορες μελέτες που έχουν να κάνουν ειδικά με την κινητή τηλεφωνία και τα έξυπνα τηλέφωνα, δείχνουν τους χρήστες να μετατοπίζονται στην χρησιμοποίηση των τηλεφώνων για τις περισσότερες ώρες ενασχόλησης τους. Δείχνουν να προτιμούν τα νέα κινητά τηλέφωνα που παρουσιάζονται με καταϊγιστικούς ρυθμούς, όπως θα δείτε και στην παρακάτω παράγραφο σχετικά με την αύξηση χρήσης κινητών τηλεφώνων κυρίως στην Ελλάδα. Έχοντας φτάσει στο ανώτερο επίπεδο, οι εταιρείες παραγωγής τους, έχουν ρίξει την προσοχή τους, στην αύξηση της ποιότητας της οθόνης και της λήψης βίντεο και φωτογραφιών.

Αυξημένη εμφανίζεται και η χρήση smart phone, με 7 στους 10 Έλληνες να έχουν στην κατοχή τους μια τέτοια συσκευή. Ταυτόχρονα, το smart phone αναδεικνύεται με βάση την έρευνα ως κύριο μέσο πρόσβασης στο Internet. Ειδικότερα, το 54% των Ελλήνων συνδέονται καθημερινά στο Internet από το κινητό τους τηλέφωνο, όμως, σχεδόν 9 στους 10 τέτοιους χρήστες είναι ηλικίας 13 - 24 ετών. Μάλιστα, το smart phone ως μέσο πρόσβασης στο Internet προηγείται και σε επίπεδο νοικοκυριού, σε ποσοστό 65,1%, με τις επόμενες δύο δημοφιλέστερες συσκευές να είναι το laptop 53,2% και ο σταθερός υπολογιστής 36,9%. Σε επίπεδο νοικοκυριών, 7 στα 10 νοικοκυριά 69,7% δηλώνει ότι έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Ακόμη, 1 στα 4 νοικοκυριά

965 χιλιάδες δηλώνει ότι έχει συνδρομητική τηλεόραση, ποσοστό που αυξάνεται στο 33,3% στα νοικοκυριά με 4 ή περισσότερα μέλη.⁶

Συνεπώς, οι διανομείς περιεχομένου βίντεο θα χρειαστούν τα μοντέλα πρόβλεψης ώστε να προσαρμοστούν στις νέες εξελίξεις που προκαλούνται από τις αλλαγές συμπεριφοράς των χρηστών. Τα μοντέλα πρόβλεψης είναι απαραίτητα για την κατασκευή της δομής και την ανάπτυξη των κωδικοποιητών βίντεο ώστε να προσφέρουν υψηλής ποιότητας περιεχόμενο βίντεο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της απόδοσης των κωδικοποιητών βίντεο και εικόνας. Ο προσδιορισμός μιας αξιόπιστης, υποκειμενικής μεθοδολογίας αξιολόγησης που παρέχει ένα επαναλαμβανόμενο και ακριβές αποτέλεσμα αποτελεί βασική απαίτηση για την ανάπτυξη αντικειμενικών μετρήσεων ποιότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών.

Οι διαφορετικές μέθοδοι sVQA έχουν διαφορετικές δυνάμεις και αδυναμίες. Αν και οι μέθοδοι διπλής διέγερσης sVQA είναι ελαφρώς ακριβέστερες, ο επιπλέον χρόνος, η εργασία, η πολυπλοκότητα στη ρύθμιση και το κόστος δεν δικαιολογούν τα πλεονεκτήματα ακρίβειας. Αντίθετα, οι μεμονωμένες μέθοδοι διέγερσης, όπως η ACR και η ACR-HR, είναι οικονομικά αποδοτικές και εύκολες στην εφαρμογή τους. Επιπλέον, όλες οι μέθοδοι sVQA παρέχονται από τα πρότυπα που καθορίζονται από την ITU: τα καθορισμένα βήματα της ITU για τη διεξαγωγή του sVQA. Λεπτομέρειες όπως ο αριθμός ή η ομάδα των επιθυμητών συμμετεχόντων και το περιβάλλον sVQA που έχουν οριστεί περιλαμβάνονται όλα στα έγγραφα της ITU.

Όσον αφορά το oVQA, οι διαθέσιμες μέθοδοι κυμαίνονται από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες συμβατικές που σχεδιάστηκαν από την εποχή που υπήρχαν οι τηλεοράσεις τεχνολογίας CRT όπως το PSNR και το MSE μέχρι τις νεοεμφανιζόμενες SSIM και VQA που λαμβάνουν υπόψη το HVS υπέρ πολλών ερευνητών τα τελευταία χρόνια. Οι συμβατικές μέθοδοι oVQA, όπως

⁶ <http://gr.pcmag.com/internet/26955/news/sto-diadiktuo-to-814-ton-ellenon> Στο Διαδίκτυο το 81,4% των Ελλήνων. (πρόσβαση 5.7.2017).

το PSNR, δεν λαμβάνουν υπόψη το HVS. Τα οποία συγκρίνουν το σήμα σφάλματος (θόρυβο) που παράγεται από την παραμορφωμένη ακολουθία βίντεο με την αρχική, οι μέθοδοι αυτές είναι επιρρεπείς σε ανακρίβεια και σφάλματα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Akramullah, S., (2014). *Digital Video Concepts, Methods and Metrics: Quality, Compression, Performance, and Power Trade-off Analysis*. New York, NY: Apress.
2. Anegekuh, L., Sun, L., & Ifeachor, E. (2013). *Encoding and Video Content Based HEVC Video Quality Prediction*. Multimedia Tools and Applications, 1-24.
3. Bankoski, J., Bultje, S., Grange, A., Gu, Q., Han, J., Koleszar, J., & Xu, Y. (2013). *Towards A Next Generation Open-Source Video Codec*. Paper presented at the IS&T/SPIE Electronic Imaging.
4. Barakovic, S & Skorin-Kapov, L., (2013). *Survey and Challenges of QoE Management Issues in Wireless Networks*, Journal of Computer Networks and Communications.
5. Bellard, F., & Niedermayer, M. (2012). *FFmpeg*.
6. Chikkerur, S., Sundaram, V., Reisslein, M., & Karam, L. J. (2011). *Objective Video Quality Assessment Methods: A Classification, Review, and Performance Comparison*. Broadcasting, IEEE Transactions,
7. Guo, L., & Meng, Y. (2006). *What is wrong and Right with MSE*. Paper presented at the Eighth IASTED International Conference on Signal and Image Processing.
8. WU, H. R. and K. R. RAO. *Digital Video Image Quality and Perceptual Coding (Signal Processing and Communications)*. Boca Raton: CRC Press, 2006. ISBN 978-0824727772.
9. Hanhart, P., Rerabek, M., Korshunov, P., & Ebrahimi, T. (2013). *[JCT-VC Contribution] Ahg4: Subjective Evaluation of HEVC Intra Coding For Still Image Compression: ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11*.

10. Henot, P., Ropert, M., Le Tanou, J., Kypreos, J., & Guionnet, T. (2013). *High Efficiency Video Coding (HEVC): replacing or complementing existing compression standards? Paper presented at the Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2013 IEEE International Symposium on.*
11. Hore, A., & Ziou, D. (2010). *Image Quality Metrics: PSNR Vs. SSIM.* Paper presented at the Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on.
12. Hoßfeld, T., Biedermann, S., Schatz, R., Platzer, A., Egger, S., & Fiedler, M. (2011). *The Memory Effect and Its Implications on Web QoE Modeling.* Paper presented at the Proceedings of the 23rd International Teletraffic Congress.
13. Pounton, C. (2012). *Digital video and HD: Algorithms and interfaces.* Massachusetts: Morgan Kaufmann.
14. Protalinski, E. (2013). *Google Adds Its Free And Open-Source VP9 Video Codec To Latest Chrome Build.*
15. Richardson, E. (2004). *H. 264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-Generation.* Multimedia: John Wiley & Sons.
16. Stallings, W., (2014). *Λειτουργικά συστήματα. Αρχές σχεδίασης.* Αθήνα: Τζιόλα
17. Shahriar Akramullah (2014) Digital video concepts, methods, and metrics : quality, compression, performance, and power trade-off analysis
18. Sullivan, J., Ohm, J., Han, W. J., & Wiegand, T. (2012). *Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard.* Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on.
19. Tanenbaum, A., (2009). *Σύγχρονα λειτουργικά συστήματα,* Εκδόσεις Κλειδάριθμος,

20. Valerio, L., Passarella, A., Conti, M., & Pagani, E., (2014). *Scalable data dissemination in opportunistic networks through cognitive methods*.
21. Vaughan, T., (2014). *Multimedia: Making it work*. Hoboken, NJ: Wiley.
22. Βενιέρης, Ι., (2012). *Δίκτυα ευρείας ζώνης. Τεχνολογίες και εφαρμογές με έμφαση στο διαδίκτυο*. Αθήνα: Τζιόλα.
23. Λαζαρίνης, Φ. (2007). *Τεχνολογίες Πολυμέσων: Θεωρία, Υλικό, Λογισμικό*. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
24. Πρέβες, Ν. (2008). *Ασύρματα δίκτυα υπολογιστών*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.

<https://ffmpeg.org/ffmpeg.html> ffmpeg Documentation. (Πρόσβαση 30.6.2017).

<http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html> Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper (πρόσβαση 30.6.2017).

<http://www.opticom.de/technology/assessing-quality.php> absolute category rating test method (ACR). Πριν από μερικά χρόνια, λόγω της έλλειψης των διεθνών προτύπων για τα μέτρα της αντιληπτή ποιότητα ήχου, η μόνη ευρέως αποδεκτή διαδικασία αξιολόγησης για τον ήχο και την ομιλία codecs ήταν υποκειμενικές δοκιμές ακρόασης (ACR). (Πρόσβαση 30.6.2017).

<http://www.itu.int/en/ITU-R/Pages/default.aspx> ITU Radio communication Sector. (πρόσβαση 5.7.2017).

<http://gr.pcmag.com/internet/26955/news/sto-diadiktuo-to-814-ton-ellenon> Στο Διαδίκτυο το 81,4% των Ελλήνων. (πρόσβαση 5.7.2017).