



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Πληροφορική»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Μέθοδοι εκτίμησης QoE κατά τη μετάδοση πολυμέσων Evaluation methods of QoE for multimedia services
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Κωνσταντίνος Φλουρής
Πατρώνυμο	Γεώργιος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΠΛ/ 09060
Επιβλέπων	Δημήτριος Βέργαδος Επικουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Ημερομηνία Παράδοσης **Φεβρουάριος 2015**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

Δημήτριος Βέργαδος
Επικουρος Καθηγητής,
Πανεπιστήμιο Πειραιώς

(υπογραφή)

Χρήστος Δουληγέρης Καθηγητής,
Πανεπιστήμιο Πειραιώς

(υπογραφή)

Άγγελος Μιχάλας
Αναπληρωτής
Καθηγητής, ΑΤΕΙ
Δυτικής Μακεδονίας

Περίληψη

Με την πάροδο της τεχνολογίας, όλο και περισσότερες ανάγκες για επικοινωνία και μετάδοση δεδομένων καλύπτονται, αλλά την ίδια στιγμή γεννούνται πολύ περισσότερες. Η μετάδοση κινούμενης εικόνας θεωρείται πλέον δεδομένη, και οι εξελίξεις σε όλους τους τομείς της τεχνολογίας, αυξάνουν τις ανάγκες προς αυτή την κατεύθυνση. Έτσι έχουμε συσκευές που μπορούν να βιντεοσκοπήσουν σε πολύ υψηλή ανάλυση, δημιουργώντας τεράστιους όγκους δεδομένων. Από την άλλη, έχουμε και συσκευές που μπορούν να αναπαράγουν βίντεο ακόμα πιο υψηλής ανάλυσης με μεγαλύτερες απαιτήσεις.

Η πρόοδος που έχει γίνει στον τομέα των τηλεπικοινωνιών μπορεί να είναι ραγδαία, αλλά δεν μπορεί να καλύψει τις συνεχόμενες αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών. Έτσι, κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη των κατάλληλων μηχανισμών που θα μπορεί να αποτυπώνουν την εμπειρία του χρήστη, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από παράγοντες, όπως την κατάσταση του δικτύου, τη χρήση της υπηρεσίας που θέλει να κάνει χρήση αλλά και φυσικά το προφίλ του χρήστη με όλους εκείνους τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν την τελική κρίση του.

Abstract

With all the technological progress, someone could argue that all the needs for in telecommunication sector are covered. This may be true, but at the same time new needs are emerge and the demands of the users are rising. Video transmission is now taken for granted, and the whole technological progress is leading towards this direction. New device are capable of capture High Definition context, producing enormous amount of data that needs to be transmitted.

It is crucial to have a way to understand the user's needs and furthermore to be able to estimate if they are feeling satisfied with the provided services. To be able to measure that, we must have in mind the network condition, the service that is being used, but also and the users profiles with their needs and their expectations, and all those factors that can influence their judgment

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή**

1.1 Εισαγωγή	10
1.2 Μετάδοση κινούμενης εικόνας – Video Streaming	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Σχέση QoE:- QoS

2.1 Ποιότητα εμπειρίας χρήστη QoE (Quality of Experience)	14
2.2 Ποιότητα υπηρεσίας QoS (Quality of Service)	15
2.3 Βαθμός υπηρεσίας GoS (Grade of Service) – Ποιότητα προσαρμοστικότητας QoR (Quality of Resilience)	18
2.4 Βασικές απαιτήσεις του χρήστη	19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μέθοδοι Εκτίμησης της Αντιλαμβανόμενης Ποιότητας

3.1 Εργαστηριακές – Υποκειμενικές Μέθοδοι μέτρησης της Αντιλαμβανόμενης Ποιότητας Ψηφιακού Βίντεο	21
3.2 Αντικειμενικές Μέθοδοι μέτρησης της Αντιλαμβανόμενης Ποιότητας Ψηφιακού Βίντεο	26

3.2.1 Μοντέλα επιπέδου μέσου (Media-layer models)	27
3.2.2 Μοντέλα παραμέτρου πακέτου (Parametric Packet-Layer models)	28
3.2.3 Μοντέλα παραμέτρου σχεδιασμού Parametric Planning Models	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
Εναλλακτικές μέθοδοι διαχείρισης της πληροφορίας	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
Εργαστηριακή Προσομοίωση	33
Συμπεράσματα	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	47

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Διάφοροι παράγοντες που σχετίζονται με το QoE.	17
Εικόνα 2: Παραδείγματα κάθετου handover	19
Εικόνα 3: Παράγοντες που επηρεάζουν το QoE	23
Εικόνα 4: Κατηγοριοποίηση των media – layer models	26
Εικόνα 5: Παράδειγμα ακολουθίας καρτέ GoP	29
Εικόνα 6: Γενική αποτύπωση για το QoE	38

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Εξίσωση 1. Mean Squared Error -MSE	25
Εξίσωση 2. Peak Signal-to-Noise Ratio - PSNR	25
Εξίσωση 3. Ομοιότητα (Similarity)	27
Εξίσωση 4. Σύγκριση Φωτεινότητας	27
Εξίσωση 5. Σύγκριση Αντίθεσης	27
Εξίσωση 6. Σύγκριση Δομής	27
Εξίσωση 7. Ειδική Περίπτωση Ομοιότητας SSIM	27
Εξίσωση 8. Ποιότητα υπηρεσίας - QoS	33
Εξίσωση 9. Ποιότητα εμπειρίας χρήστη QoE	33

Κεφάλαιο 1°

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια με της πρόοδο της τεχνολογίας και την αύξηση της ταχύτητας των δικτύων, έχει γίνει εφικτή η μετάδοση video σε υψηλές αναλύσεις, αλλά και η επικοινωνία με video μέσω φορητών συσκευών. Οι ανάγκες αλλά και οι απαιτήσεις των χρηστών αυξάνονται και αυτό φαίνεται όχι μόνο από τον αριθμό των χρηστών που πληθαίνει, αλλά και από την μέση χρήση δεδομένων που καταναλώνονται. Πλέον, η χρήση του διαδικτύου έχει επεκταθεί σε όλες τις πτυχές της ζωής του σύγχρονου ατόμου, από απλή ενημέρωση, διασκέδαση, αλλά και επικοινωνία. Επίσης, αποτελεί κύριο παράγοντα για ερευνητικούς και επαγγελματικούς σκοπούς, αφού η μετάδοση των πληροφοριών γίνεται άμεσα, γρήγορα και αποτελεσματικά. Η παροχή υπηρεσιών κινούμενης εικόνας σε πραγματικό χρόνο και η ταυτόχρονη πρόσβαση πολλαπλών χρηστών σε εξυπηρετητές πολυμέσων δημιουργεί πρόσθετες απαιτήσεις όσον αφορά στο χειρισμό της πληροφορίας στο δίκτυο [1]. Η τεχνολογική πρόοδος μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε δίκτυα νέας γενιάς κάνοντας χρήση οπτικών ινών συνδυάζοντας έτσι τεράστιο εύρος ζώνης, καλύτερες ποιότητες σήματος, μεγαλύτερη ασφάλεια και ευκολότερη εγκατάσταση και συντήρηση [2]. Με τις κατάλληλες μεθόδους κωδικοποίησης και τεχνικές πολυπλεξίας μας προσφέρονται τρόποι για ακόμα καλύτερη εκμετάλλευση του φυσικού υλικού και έτσι μπορούμε με μεταφέρουμε περισσότερη πληροφορία πάνω από το ίδιο κανάλι επικοινωνίας. Ακόμα, με νέες τεχνικές συμπίεσης δεδομένων εικόνας και ήχου, μειώνεται το μέγεθος του κάθε αρχείου και μας δίνεται τελικά η δυνατότητα να έχουμε ζωντανή μετάδοση βίντεο. Τέτοιες μεταδόσεις αξιοποιούνται τόσο για ενημέρωση (πχ. Online δελτία ειδήσεων), όσο και για αμφίδρομη επικοινωνία (πχ video conference για επαγγελματικούς σκοπούς, εφαρμογές τηλεϊατρικής κτλ).

Όπως είναι αναμενόμενο, ο τελικός χρήστης θα θελήσει να έχει πρόσβαση στις παρεχόμενες υπηρεσίες ανεξάρτητα από το που βρίσκεται, ανεξάρτητα από την ώρα και ανεξάρτητα από τη συσκευή που χρησιμοποιεί, όπως φορητούς υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, tablets. Έτσι, έχουμε ανάπτυξη τόσο στο hardware των συσκευών ώστε να μπορέσουν να διαχειριστούν το περιεχόμενο, όσο και στην τεχνολογία των ασύρματων δικτύων, όπου με τη χρησιμοποίηση νέων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας και διαμόρφωσης σήματος αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων.

Ανάλογα τον τρόπο μετάδοσης (ασύρματη – ενσύρματη) και το είδος της επικοινωνίας (μονόδρομη – αμφίδρομη), υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι προσέγγισης και διαφορετικές δυσκολίες. Υπάρχουν όμως κάποιοι κοινοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την τελική ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι εκτός από τις κλασικές μετρήσεις που μπορεί να γίνουν για την κατάσταση του δικτύου, θα πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην ανθρώπινη αντίληψη, αφού ο τελικός χρήστης είναι αυτός που θα κρίνει αν νιώθει ικανοποιημένος από τη χρήση της υπηρεσίας ή όχι. Η μεγάλη πρόκληση είναι στη διαχείριση των δυσκολιών που αναπόφευκτα θα προκύψουν κάποια στιγμή. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις live streaming μουσικής, ο χρήστης είναι πιθανόν να ‘συγχωρέσει’ μια πτώση στα kbps προκειμένου να έχει μια ομαλή μετάδοση. Από την άλλη, οι συνεχείς μικρές διακοπές θα καθιστούσαν την υπηρεσία μη ανεκτή. Όπως επίσης, σε περιπτώσεις κακής σύνδεσης με αμφίδρομη επικοινωνία μέσω βίντεο, είναι προτιμότερο να έχουμε απώλειες στην μετάδοση εικόνας παρά στη μετάδοση ήχου. Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι προσέγγισης, αλλά τον τελευταίο λόγο τον έχει πάντα ο τελικός χρήστης, αφού αυτός κρίνει πια τεχνολογία τον εξυπηρετεί περισσότερο, έχει χαμηλότερο κόστος και τελικά πια επικρατεί. Έτσι, δεν προκαλεί εντύπωση το γεγονός ότι έχει δοθεί μεγάλη βαρύτητα στην τελική εμπειρία του χρήστη (QoE Quality of Experience) και στους τρόπους με τους οποίους μπορεί να εκτιμηθεί.

1.2 Μετάδοση κινούμενης εικόνας - Video Streaming

Τα πολυμέσα χρησιμοποιούν εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και αυτό οφείλεται στη φύση των ηχητικών και οπτικών πληροφοριών. Το μάτι και το αυτί μπορούν να επεξεργαστούν τεράστιες ποσότητες πληροφοριών ανά δευτερόλεπτο και πρέπει να τροφοδοτούνται με αυτόν το ρυθμό ώστε η οπτικοακουστική εμπειρία να είναι αποδεκτή [3]. Για να διατηρηθεί αυτός ο ρυθμός, τα δεδομένα πρέπει να παραδίδονται σε πραγματικό χρόνο. Η συνεχής αυτή ροή (streaming), μπορεί να χωριστεί σε δυο γενικές κατηγορίες, on demand και Real – Time. Στην πρώτη περίπτωση ο δέκτης ζητά συγκεκριμένο περιεχόμενο από τον αποστολέα, π.χ. παρακολούθηση ενός video clip, ενώ η αποστολή θα γίνει αποκλειστικά για τη συγκεκριμένη συνεδρία. Στην περίπτωση που έχουμε Real – Time streaming, ο αποστολέας είναι αυτός που θα καθορίσει το περιεχόμενο και ο δέκτης απλά το αναπαράγει ενώ είναι δυνατή η ταυτόχρονη λήψη από πολλούς αποδέκτες, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση που έχουμε live iptv. Πάντως και στις δύο περιπτώσεις, είναι δυνατόν η μετάδοση να μπορεί να προσαρμοστεί στις υπάρχουσες συνθήκες. Έτσι ο αποστολέας ανταποκρίνεται στις δυνατότητες του δέκτη και μπορεί να μειώσει τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ανάλογα με την περίπτωση. Η διαφορά είναι ότι στην περίπτωση on demand, είναι πιθανόν να εφαρμοστεί αναγκαστική παύση της μετάδοσης για μικρό χρονικό διάστημα, φαινόμενο ενοχλητικό αλλά αποδεκτό από τον χρήστη αρκεί να μην συμβαίνει συχνά. Στην περίπτωση Real Time δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, καθώς η μετάδοση δεν μπορεί να σταματήσει. Έτσι είναι προτιμότερο να παραληφθούν κάποια πακέτα και ο χρήστης να το αντιληφτεί σαν ‘σπάσιμο’ της εικόνας. Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό, γίνεται η χρήση buffer, μιας προσωρινής μνήμης από τον δέκτη όπου εκεί μπορεί και επεξεργάζεται συνθέτει και αποκωδικοποιεί τα λαμβανόμενα πακέτα. Έτσι ακόμα και στην περίπτωση real time, υπάρχει μια μικρή καθυστέρηση προκειμένου να έχουμε ομαλή ροή και φυσική κίνηση.

Πέρα από την κατάσταση του δικτύου και τις συνεχείς προσπάθειες για τη βελτίωσή του, για να έχουμε το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα όσον αφορά το QoE, πρέπει να δοθεί βάση και στο αρχικό περιεχόμενο και στον βέλτιστο τρόπο κωδικοποίησής του. Με τους κατάλληλους αλγόριθμους επεξεργασίας της κινούμενης εικόνας, μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε τον όγκο δεδομένων προς αποστολή χωρίς να έχουμε σημαντική μείωση στην αντιλαμβανόμενη ποιότητα. Έτσι μειώνονται οι απαιτήσεις για το δίκτυο με αποτέλεσμα να μειωθούν κατ’ επέκταση και οι αρνητικοί παράγοντες του QoS που επηρεάζουν το QoE, όπως το jitter, το packet loss κτλ που θα εξετάσουμε σε επόμενη ενότητα. Μερικοί από τους παράγοντες που χαρακτηρίζουν το αρχικό περιεχόμενο κινούμενης εικόνας είναι οι εξής [4] [5] [7] [8] [10]:

- **Resolution:**

Πρόκειται για την ανάλυση της κάθε εικόνας, στην περίπτωση βίντεο την ανάλυση του κάθε καρέ. Είναι το πλήθος των εικονοστοιχείων (pixels) που αποτελούν το εικονιζόμενο καρέ και εκφράζεται ως το γινόμενο του οριζόντιου (πλάτος) με τον κάθετο άξονα (ύψος). Μεγαλύτερη ανάλυση ισοδυναμεί με μεγαλύτερη διάστασης εικόνα. Εδώ θα πρέπει να γίνει διαχωρισμός ανάμεσα στην διάσταση της εικόνας και στην τελική αντιλαμβανόμενη ποιότητα. Με μεγαλύτερο μέγεθος καρέ είναι δυνατόν να αποτυπωθεί περισσότερη πληροφορία και να έχει άμεσο αντίκτυπο στην διαύγεια και λεπτομέρεια της εικόνας, αλλά αυτό εξαρτάται άμεσα και από το μέσο προβολής που έχουμε στη διάθεσή μας. Συνήθως οι αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας διατρέχουν την επιφάνεια τμηματικά.

- **Frames Per Second (fps):**

Είναι ο ρυθμός ανανέωσης της εικόνας σε κάθε δευτερόλεπτο, το πλήθος δηλαδή των καρτέ που εναλλάσσονται. Μεγάλο fps έχει ως αποτέλεσμα την ομαλή ροή και σταθερή εικόνα βίντεο, ενώ χαμηλό fps είναι καθιστά την κίνηση μη φυσική. Ανάλογα με το περιεχόμενο έχουμε και διαφορετικές απαιτήσεις για το ελάχιστο fps. Σε περιπτώσεις έντονης κίνησης και γρήγορης εναλλαγής σκηνών, ο υψηλός ρυθμός ανανέωσης της εικόνας είναι απαραίτητος. Όπως είδαμε και προηγουμένως για την ανάλυση, και για το fps παίζει άμεσο ρόλο και η συσκευή προβολής αφού είναι ανούσιο να τροφοδοτείται με υψηλότερο fps από αυτό που τελικά μπορεί να αποδώσει.

- **Bit rate:**

Σε τελική ανάλυση, ο αριθμός των συνολικών pixels μιας εικόνας, σε συνδυασμό με τον ρυθμό ανανέωσης ανά δευτερόλεπτο μας δίνει το συνολικό πλήθος των δεδομένων του υλικού προς μετάδοση. Ανάλογα με τον τρόπο και τη μέθοδο κωδικοποίησης έχουμε και το τελικό bit rate, δηλαδή τον αριθμό των bit ανά δευτερόλεπτο.

- **Content:**

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το περιεχόμενο του βίντεο παίζει καθοριστικό ρόλο στις απαιτήσεις που έχουμε τόσο σε επίπεδο δικτύου, όσο και στο επίπεδο της συμπίεσης/κωδικοποίησης. Περιεχόμενο με γρήγορη κίνηση (πχ σκηνές με αθλήματα, δράση) απαιτεί υψηλότερο fps σε σχέση με βίντεο στατικού περιεχομένου (παρουσιάσεις slideshow, video conference κτλ).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, έχουν παρουσιαστεί μια σειρά από μελέτες στην προσπάθεια καθορισμού ενός βέλτιστου τρόπου κωδικοποίησης της κινούμενης εικόνας, δίνοντας βάση τόσο στον υποκειμενικό παράγοντα (ανθρώπινη αντίληψη) όσο και στον αντικειμενικό (σηματοδοσία κτλ). Στηρίζονται στο ότι η ακολουθία του σήματος (bitstream) μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω, όπως είδαμε, και να χωριστεί ανάλογα με το περιεχόμενό της, όπως για παράδειγμα το μέγεθος της εικόνας (spatial resolution), το ρυθμό ανανέωσης (temporal resolution) και την ποιότητα (SNR). Ο κάθε αλγόριθμος, ανάλογα την περίπτωση, δίνει προτεραιότητα σε ξεχωριστό στοιχείο. [8] Όπως θα δούμε και στη συνέχεια, κάθε καρτέ του βίντεο μπορεί να κωδικοποιηθεί ξεχωριστά. Είναι δυνατόν ανάλογα την ανάλυση της εικόνας και εξετάζοντας τα pixels, να εντοπιστούν περιοχές με μεγάλη ομοιογένεια και να αναπαρασταθούν με μικρότερη λεπτομέρεια, χωρίς η αλλαγή αυτή να γίνει αντιληπτή από τη χρήστη. Για να μειωθεί ο όγκος της πληροφορίας, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το γεγονός ότι υπάρχει μια αλληλουχία μεταξύ των καρτέ και από τη στιγμή που παρουσιάζουν κινούμενη εικόνα δεν μπορεί παρά να έχουν μεγάλες ομοιότητες. Έτσι έχουν προταθεί αλγόριθμοι συμπίεσης που αναλύουν τις διαφορές ανάμεσα σε διαδοχικά καρτέ [11].

Γενικότερα, γίνονται προσπάθειες για να μειωθεί το απαιτούμενο εύρος ζώνης αλλά και για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των πιθανών λαθών είτε κατά τη μεταφορά του περιεχομένου είτε κατά τη συμπίεση. Για να υπολογιστεί η αποτελεσματικότητα αυτών των προσπαθειών μπορούν να αξιοποιηθούν διάφορες μέθοδοι μέτρησης της αντιλαμβανόμενης ποιότητας ψηφιακού βίντεο οι οποίες μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις **υποκειμενικές** που στην ουσία πρόκειται για έρευνες που γίνονται σε ένα δείγμα ατόμων, και τις **αντικειμενικές** όπου οι έρευνες γίνονται πάνω στο μεταδιδόμενο σήμα.

Βάσει του υποκειμενικού παράγοντα, έχουν γίνει διάφορες μελέτες και το γενικό συμπέρασμα είναι ότι είναι απαραίτητο ένα ελάχιστο επίπεδο ποιότητας της εικόνας. Αυτό είναι λογικό ώστε να μπορεί ο θεατής να έχει πρόσβαση σε ολόκληρη την εικόνα και να αντιλαμβάνεται τί είναι αυτό που παρακολουθεί. Μόλις αυτό επιτευχθεί, η αίσθηση ικανοποίησης του θεατή θα είναι μεγαλύτερη εάν βελτιωθεί ο ρυθμός ανανέωσης και η ομαλή κίνηση, παρά αν δοθεί βάση σε επιπλέον βελτίωση της ποιότητας της εικόνας. Στη συνέχεια, πέρα από έναν επιθυμητό ρυθμό ανανέωσης, δίδεται ξανά περισσότερη έμφαση στην ανάλυση της εικόνας. Τα παραπάνω, όπως πάντα, εξαρτώνται και από το περιεχόμενο που προβάλλεται, όπως για παράδειγμα αν είναι κάποιο γρήγορα κινούμενο θέμα ή όχι [8].

Από την άλλη μεριά, βάσει του αντικειμενικού παράγοντα, μπορούν να γίνουν μετρήσεις ανάλογα με το αν έχουμε πλήρη πρόσβαση στο αρχικό σήμα (Full Reference), μερική (Reduced Reference) ή καθόλου (No Reference). Σε αυτή την περίπτωση λαμβάνουμε υπόψη την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά του σήματος, και όχι το περιεχόμενο που προβάλλεται. Έχει γίνει προσπάθεια να μοντελοποιηθούν διάφορα στοιχεία, όπως ο ρυθμός μετάδοσης, το SNR, η ανάλυση της οθόνης κ.α.. [4] [5] [6] [8] [11] [12] [13]

Κεφάλαιο 2ο: Σχέση QoE– QoS

2.1 Ποιότητα εμπειρίας χρήστη QoE (Quality of Experience)

Το ITU-T (International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector) έχει ορίσει το QoE ως την ‘συνολική αποδοχή μιας εφαρμογής ή μιας υπηρεσίας, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τον χρήστη με υποκειμενικό τρόπο’[4]. Από την άλλη, το ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ορίζει το QoE σαν ‘μια μέτρηση της απόδοσης του χρήστη, βασισμένη τόσο σε υποκειμενικές όσο και σε αντικειμενικές ψυχολογικές μετρήσεις, που προκύπτουν από τη χρήση μιας υπηρεσίας ή προϊόντος του ICT’, επεκτείνοντας έτσι το QoE πέρα από τα υποκειμενικά κριτήρια και στους αντικειμενικούς παράγοντες που επηρεάζουν το κάθε άτομο[5].

Γενικότερα, ο όρος QoE (Quality of Experience) χρησιμοποιείται για να εκφράσει το συνολικό βαθμό ικανοποίησης του τελικού χρήστη από μια υπηρεσία. Αυτό όπως αναφέραμε επηρεάζεται όχι μόνο από την κατάσταση του δικτύου, αλλά και από άλλους παράγοντες, όπως τις συσκευές που χρησιμοποιούνται ή το περιεχόμενο που προσφέρεται. Για παράδειγμα σε ιδανικές συνθήκες της κατάστασης του δικτύου, ο χρήστης μπορεί να βαθμολογήσει εντελώς διαφορετικά την εμπειρία του στην προβολή του ίδιου περιεχομένου, ανάλογα με τη συσκευή που έγινε η προβολή, το μέγεθος της οθόνης, την παρουσίαση των χρωμάτων κτλ. Αντίστροφα, η τελική αίσθηση που έχει ο χρήστης μπορεί να συνδέεται άμεσα με το θέμα του περιεχομένου που προβλήθηκε. Αν του είναι ευχάριστο και γνώριμο είναι πολύ πιθανό να αποκομίσει θετικότερες εντυπώσεις. Επίσης μπορεί να επηρεαστεί από την ευκολία χρήσης, τις απαιτήσεις που μπορεί να έχει ο ίδιος ο χρήστης, την αποτελεσματικότητα κ.α.. Τέλος, για την εκτίμηση του QoE πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και κριτήρια όπως φύλλο, ηλικία, προηγούμενη εμπειρία χρήσης κ.α.. [4] [5] [6].

Για την καλύτερη κατανόηση της τελικής εμπειρίας του χρήστη, χρειάζεται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις προϋποθέσεις που θέτει ο καθένας, δηλαδή να μπορεί να έχει πρόσβαση σε **οποιαδήποτε υπηρεσία, οποιαδήποτε ώρα, σε οποιοδήποτε μέρος και με οποιαδήποτε συσκευή**.

Από δίκτυο έχουμε περιορισμούς ανάλογα με το δίκτυο, τον εξοπλισμό, την κωδικοποίηση, τα τεμαχικά, τα πρωτόκολλα κτλ. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες δεν θα πρέπει να έχουν ως απαιτούμενο την τεχνολογία αιχμής, ώστε να είναι δυνατή η χρήση τους από το σύνολο των χρηστών και με χαμηλό κόστος. Όπως είναι αναμενόμενο, ένα πλήθος υπηρεσιών, από τις πλέον απλές σε απαιτήσεις μέχρι και τις πιο σύνθετες, θα πρέπει να είναι στη διάθεση του χρήστη ανεξάρτητα από τη θέση του ή τη σύνδεσή του.

2.2 Ποιότητα υπηρεσίας - QoS (Quality of Service)

Ο όρος QoS (Quality of Service) χρησιμοποιείται καθαρά για την αποτύπωση της ποιότητας της υπηρεσίας σε επίπεδο δικτύου και βάσει αυτού γίνεται καλύτερη διαχείριση και αξιοποίηση των πόρων του δικτύου. Ένα ρεύμα πακέτων από μια προέλευση προς έναν προορισμό, ονομάζεται ροή (flow). Τα πακέτα που ανήκουν σε μια ροή μπορεί να ακολουθούν το ίδιο ή διαφορετικό δρομολόγιο [7]. Οι ανάγκες της κάθε ροής μπορούν να χαρακτηριστούν από τέσσερις βασικές παραμέτρους οι οποίες σχετίζονται άμεσα με το QoS και θα πρέπει να εξεταστούν [3] [4] [7]:

- **Bandwidth:**

Ένα μέτρο του ρυθμού με τον οποίο μπορούν να μεταδοθούν δεδομένα μέσω ενός δικτύου σε δεδομένο χρόνο. Μετριέται συνήθως σε bits/sec.

- **Latency:**

Είναι η καθυστέρηση από τη στιγμή της αποστολής ενός πακέτου δεδομένων μέχρι να φτάσει στον προορισμό του και μετριέται σε ms. Η καθυστέρηση αυτή επηρεάζεται από την κατάσταση του δικτύου, τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα πακέτα κτλ.

- **Jitter:**

Από τη στιγμή που το κάθε πακέτο μπορεί να δρομολογείται ξεχωριστά, η καθυστέρηση μπορεί να έχει μεγάλη διακύμανση ανάμεσα στα πακέτα. Σε επικοινωνίες πραγματικού χρόνου, ο αποδέκτης περιμένει από τον αποστολέα να τηρεί ένα συγκεκριμένο ρυθμό κατά την αποστολή. Όμως, 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.

- **Packet-loss:**

Κατά τη μεταφορά των πακέτων μπορεί να υπάρξουν και 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. Φυσικά, μεγάλο ρόλο παίζει η κωδικοποίηση που γίνεται αλλά και το hardware που χρησιμοποιείται.

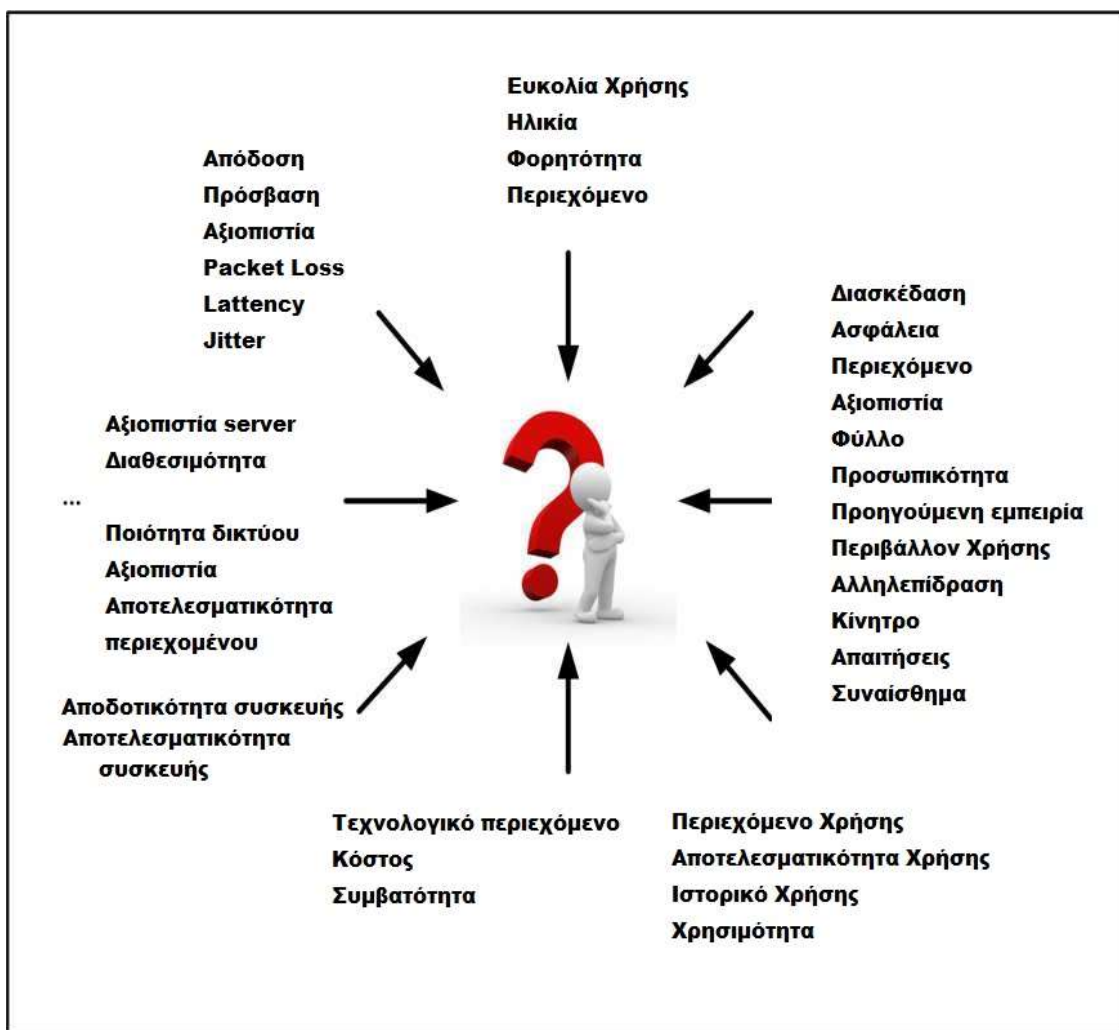
Οι παραπάνω παράγοντες μπορεί να έχουν αντίκτυπο στην τελική ποιότητα του περιεχομένου και μπορούν να μεταφραστούν σε μείωση του QoE. [3] [5] [7] [8] [9][15]. Σε περιπτώσεις που έχουμε μετάδοση κινούμενης εικόνας, μπορεί να παρατηρήσουμε περιοχές της εικόνας που να έχουν μικρά block με το ίδιο χρώμα και αυτό μπορεί να συμβεί λόγω κάποιου λάθους στην κωδικοποίηση. Επίσης μπορεί να παρατηρηθεί κάποιο θόλωμα ή 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 θα αντιληφθεί αν υπάρχει υψηλό packet loss ή jitter, αλλά θα εκφράσει τη δυσαρέσκειά του για τα παράσιτα που μπορεί να παρουσιαστούν 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, iptv) για να υπάρχει ικανοποίηση από τον χρήστη πρέπει, πέρα από την ομαλή ροή, να υπάρχει και σωστός συγχρονισμός, καθώς τα πακέτα ήχου και εικόνας μεταφέρονται ξεχωριστά.

Γενικότερα, κάθε εφαρμογή έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε bandwidth, και διαφορετική ανοχή σε καθυστέρηση, σε packet loss, στο jitter. Βάσει αυτών των απαιτήσεων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής [15]:

- Ελαστικές – μη διαδραστικές: Πρόκειται για εφαρμογές email και κατέβασμα αρχείων.
- Ελαστικές – διαδραστικές: πχ εφαρμογές περιήγησης στο ιντερνέτ
- Ανελαστικές – μη διαδραστικές: Εδώ συναντάμε μονόδρομη επικοινωνία, πχ μετάδοση βίντεο, ήχου, IPTV κλπ
- Ανελαστικές – διαδραστικές: Εδώ έχουμε αμφίδρομη επικοινωνία, για παράδειγμα Video Conference, Voip, online παιχνίδια όπου τυχόν καθυστέρηση θα καταστήσει ανέφικτη τη χρήση της υπηρεσίας.

Ωστόσο, η κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει και με άλλους τρόπους. Το ITU-T κάνει διαχωρισμό μεταξύ εφαρμογών μετάδοσης εικόνας, ήχου και δεδομένων. Για τις κατηγορίες εικόνας και ήχου γίνεται επιπλέον διαχωρισμός σε αυτές που πραγματοποιούνται σε ζωντανό χρόνο(real-time), αμφίδρομες ή μη, και σε αυτές που δεν γίνονται real-time. Οι εφαρμογές της ίδιας κατηγορίας έχουν κοινά χαρακτηριστικά, παρόμοια ευαισθησία στην διακύμανση της ποιότητας του δικτύου. Οι απαιτήσεις αυτές των εφαρμογών, μπορούν να μεταφραστούν σε παραμέτρους του δικτύου και του QoS γενικότερα, όπου μπορούμε να έχουμε διάφορες κλάσεις CoS (Class of Service) ανάλογα τον τύπο του QoS.

Όπως γίνεται αντιληπτό υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του QoS και του QoE και από μια γενικότερη άποψη, το QoS θα μπορούσε να θεωρηθεί υποσύνολο του QoE αφού το επηρεάζει άμεσα. Μια εικόνα από πιθανούς παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την τελική εμπειρία του χρήστη από μια υπηρεσία φαίνεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1: Διάφοροι παράγοντες που σχετίζονται με το QoE.[2]

2.3 Βαθμός υπηρεσίας GoS (Grade of Service) – Ποιότητα προσαρμοστικότητας QoR (Quality of Resilience)

Πέρα από το QoS, μπορεί να γίνει περαιτέρω διαχωρισμός σε επίπεδο δικτύου, ανάλογα με την χρονική στιγμή της μετάδοσης. Με τον όρο Grade of Service (GoS), περιγράφεται το στιγμιαίο συμβαίνει από την αρχή της σύνδεσης, τη διατήρηση αλλά και το κλείσιμό της. Αρχικά εφαρμοζόταν σε απλές αναλογικές τηλεφωνικές κλήσεις, αλλά επεκτάθηκε και στα δίκτυα της επόμενης γενιάς. Οι παράμετροι για το GoS περιλαμβάνουν τον χρόνο καθυστέρησης για τη δημιουργία της σύνδεσης, την πιθανότητα μη πραγματοποίησης σύνδεσης, την πιθανότητα να χαθεί μια σύνδεση κ.α. Όλα αυτά, μπορούν να παίξουν άμεσα καθοριστικό ρόλο στο τελικό QoE που λαμβάνει ο χρήστης, για παράδειγμα σε περίπτωση μετάδοσης βίντεο, έχουμε τον χρόνο καθυστέρησης για την έναρξη της αναπαραγωγής. Δυσανεμία από τον χρήστη θα έχουμε και στην περίπτωση που γίνεται χρήση υπηρεσιών IPTV και υπάρχει αναμονή κατά την εναλλαγή του τηλεοπτικού προγράμματος (zapping).

Το Quality of Resilience (QoR) περιγράφει την ικανότητα του δικτύου να παραμείνει ζωντανό, δηλαδή περιλαμβάνει τον χρόνο επανασύνδεσης μετά από τυχόν διακοπή, τη διαθεσιμότητα κτλ. Σε περίπτωση όπου έχουμε διακοπή και αποκατάσταση από διαφορετική διαδρομή, θα πρέπει να εξεταστεί αν η νέα διαδρομή προσφέρει το ίδιο επίπεδο QoS και QoE, καθώς επίσης και αν έχει επηρεαστεί μόνο η συγκεκριμένη μετάδοση ή έχει επέλθει κάποιο πρόβλημα από την επιπλέον κίνηση που έχει προστεθεί στους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Τέλος, θα πρέπει να υπολογιστεί και πόση πληροφορία έχει χαθεί κατά την όλη διαδικασία αποκατάστασης.

Η κατηγοριοποίηση του QoR με βάση τους μηχανισμούς επανασύνδεσης μπορεί να γίνει ως εξής [16]:

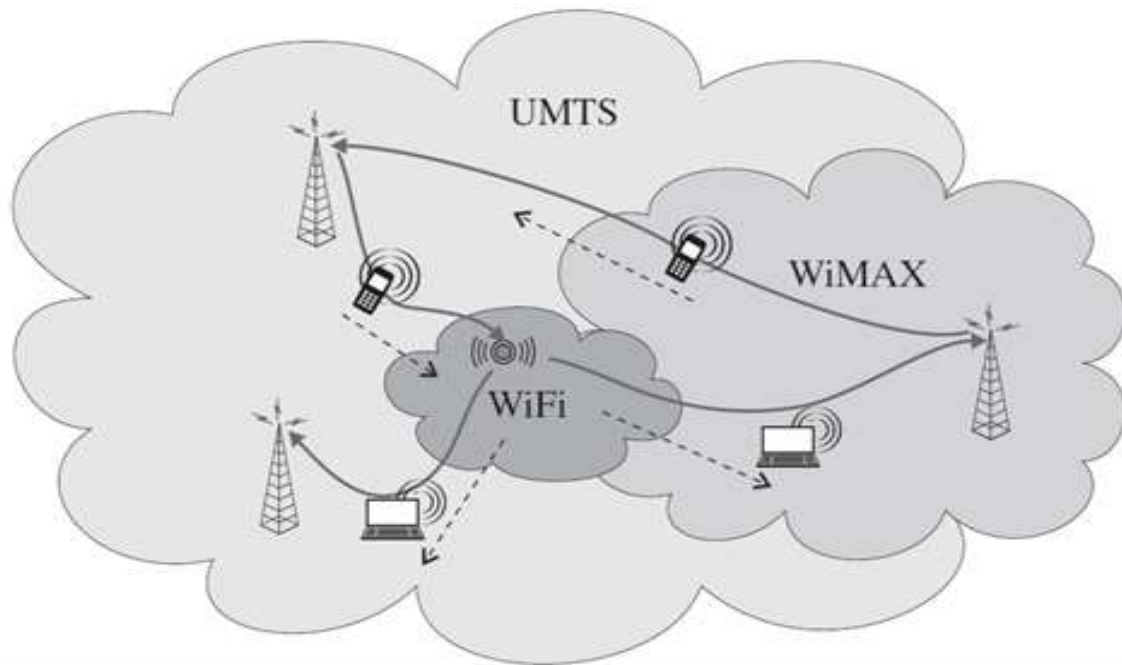
- Η μέθοδος επιλογής νέας διαδρομής μπορεί να έχει συμπεριληφθεί στο αρχικό σενάριο ή να υπολογιστεί εκείνη τη στιγμή
- Οι πόροι για την επανασύνδεση μπορεί να είναι δεσμευμένοι από την αρχή, να μοιράζονται ή μπορεί να μην υπάρχουν και καθόλου.
- Τα επίπεδα που μπορεί να έχει η διαδικασία της επανασύνδεσης.
- Η διαδικασία επανασύνδεσης μπορεί να λάβει χώρα με βάση ολόκληρο το δίκτυο, ή κάνοντας χρήση ενός μέρους του ή ακόμα και σε τοπικό επίπεδο.
- Τομείς όπου θα γίνει η επιχείρηση της επανασύνδεσης.

Γενικά, η διασφάλιση υψηλού QoR επηρεάζει το QoS και το GoS και κατ' επέκταση την τελική εμπειρία του χρήστη, το QoE. Αν δεν έχει μελετηθεί σωστά, έχει άμεσο αντίκτυπο, καθώς οι χρήστες θα παρατηρήσουν διακοπές στη σύνδεσή τους, οι ιστοσελίδες και τα e-mail δεν θα είναι προσβάσιμα και θα τερματίζονται οι μεταδόσεις πολυμέσων. Αν έχουμε αργή επανασύνδεση, το πρόβλημα θα περιοριστεί στις real-time εφαρμογές. Τέλος, ακόμα και στην περίπτωση ταχύτατης επανασύνδεσης, είναι πιθανό να παρουσιαστούν προβλήματα καθώς με το νέο μονοπάτι που θα ακολουθούν τα πακέτα, έχουμε αλλαγή και στις παραμέτρους των QoS και GoS.

2.4 Βασικές απαιτήσεις του χρήστη

Όπως αναφέραμε, οι απαιτήσεις του χρήστη επεκτείνονται σε όλες τις υπηρεσίες, από απλό browsing και χρήση email, μέχρι και μετάδοση IPTV, video conference ακόμα σε τηλειατρική. Οι υπηρεσίες πολυμέσων είναι αυτές που έχουν και τις περισσότερες απαιτήσεις σε πόρους δικτύου.

Σίγουρα θα υπάρχει η απαίτηση για πρόσβαση σε υπηρεσίες από οποιοδήποτε μέρος, είτε αυτό είναι σε χώρο εργασίας, στην οικία του κτλ ανεξάρτητα τον τρόπο σύνδεσης. Για τις περιπτώσεις ασύρματης σύνδεσης όμως, θα πρέπει να παρέχονται οι υπηρεσίες αδιάκοπτα ανεξάρτητα από το δίκτυο που χρησιμοποιείται. Αυτό από μόνο του αποτελεί πρόκληση, καθώς διάφορες τεχνολογίες δικτύου έχουν και διαφορετικούς μηχανισμούς QoS, και ανάλογα τον πάροχο υπάρχουν και διαφορετικά standards. Επίσης, για χρήστες που βρίσκονται σε κίνηση, η υποστήριξη του handover παίζει σημαντικό ρόλο. Για παράδειγμα, οι παλαιότερες τεχνολογίες WLAN (IEEE 802.11 a/b/g) δεν υποστηρίζουν το handover, καθώς για να γίνει η μετάβαση, θα πρέπει να έχουμε πρώτα διακοπή και μετά νέα σύνδεση, κάτι που θα έχει ως αποτέλεσμα την μερική απώλεια πακέτων δεδομένων. Αντίθετα, σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, GSM, 3G και LTE, το handover είναι κοινό χαρακτηριστικό, τόσο το οριζόντιο δηλαδή στην ίδια τεχνολογία δικτύου, όσο και στο κάθετο πχ μεταξύ 3G και GSM.



Εικόνα 2: Παραδείγματα κάθετου handover.[16]

Πέρα από το σημείο και τον τρόπο που θα συνδεθεί ο χρήστης, υπάρχει απαίτηση για πρόσβαση στις υπηρεσίες οποιαδήποτε ώρα. Θα πρέπει να έχουμε υπολογίσει την δυνατότητα σύνδεσης σε ώρες αιχμής, την πιθανότητα να χαθεί η σύνδεση αλλά και να γίνει μια νέα και γενικότερα να έχουν εξεταστεί όλοι οι τομείς που αφορά το QoR (Quality of Resilience). Απαιτείται η ύπαρξη εφεδρικών πόρων για το δίκτυο οι οποίοι θα μπορούν να αξιοποιηθούν κάθε στιγμή, αλλά και η σχεδίαση πιθανών εναλλακτικών διαδρομών για τα μεταφερόμενα πακέτα. Επίσης, θα πρέπει να έχει ληφθεί υπόψη ότι σε πιθανό πρόβλημα σε κόμβους που δεν

χρησιμοποιούνται από την συγκεκριμένη συνεδρία, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά, καθώς μπορεί να απαιτηθούν πόροι για την κάλυψη της έκτακτης αυτής ανάγκης.

Όπως έχουμε αναφέρει, πέρα από τις δυνατότητες και την ποιότητα του δικτύου, η αντίληψη της ποιότητας από τον χρήστη, θα γίνει μέσω της συσκευής από την οποία θα γίνει η χρήση της υπηρεσίας. Η συσκευή αυτή μπορεί να είναι οποιαδήποτε, από την τηλεόραση, τον σταθερό υπολογιστή μέχρι και κάποιο tablet ή κινητό τηλέφωνο. Όλες αυτές οι συσκευές διαφέρουν πολύ σε μέγεθος οθόνης, ανάλυσης, βάθος χρώματος, φωτεινότητα, αντίθεση, χρόνο απόκρισης κτλ. Ακόμα είναι διαφορετικές και οι δυνατότητες κάθε συσκευής σε επεξεργαστική ισχύ, μέγεθος μνήμης κατανάλωση ενέργειας κτλ. Όπως είναι λογικό, παίζουν καθοριστικό ρόλο στο τελικό QoE του χρήστη καθώς διαφορετικά θα αξιολογήσει το περιεχόμενο σε μία τηλεόραση 50 ιντσών τελευταίας τεχνολογίας με υψηλή ανάλυση σε σχέση με το ίδιο περιεχόμενο αν προβληθεί σε κινητό τηλέφωνο. Αυτό που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε είναι ότι η φορητή συσκευή πιθανόν να έχει χαμηλότερη ανάλυση, διαφορετικό βάθος χρώματος αλλά και εκτός αυτού να μην μπορεί να διαχειριστεί τέτοιο όγκο πληροφοριών. Για παράδειγμα, μια συσκευή που δεν υποστηρίζει υψηλής ανάλυσης βίντεο, θα πρέπει πρώτα να λάβει το περιεχόμενο, μετά να το επεξεργαστεί, να γίνει scale down στην ποιότητα και μετά να το προβάλει. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε σπατάλη και στον όγκο δεδομένων αφού τελικά δεν χρησιμοποιείται όλο το υλικό αλλά και σε επεξεργαστική ισχύ της συσκευής, αφού προκειμένου να κάνει την μετατροπή αυτή, με ότι αυτό συνεπάγεται (αυξημένη κατανάλωση, καθυστέρηση στην εκτέλεση παράλληλων εργασιών κτλ). Έτσι, με τον κατάλληλο προγραμματισμό και τους κατάλληλους μηχανισμούς μπορεί να γίνει οικονομία στη διαχείριση των πόρων αφού δεν είναι ανάγκη να μεταδίδεται το σύνολο της πληροφορία.

Κεφάλαιο 3^ο Μέθοδοι εκτίμησης της αντιλαμβανόμενη ποιότητας

3.1 Εργαστηριακές – Υποκειμενικές Μέθοδοι μέτρησης της Αντιλαμβανόμενης Ποιότητας Ψηφιακού Βίντεο

Όπως έχουμε αναφέρει, τα QoS, GoS και QoR απεικονίζουν διάφορα χαρακτηριστικά του δικτύου ενώ το QoE παρουσιάζει την εμπειρία του χρήστη. Παρόλο που είναι άμεσα συνδεδεμένα μεταξύ τους, είναι δύσκολο να καθοριστεί η μαθηματική σχέση που έχουν. Κάθε άνθρωπος έχει διαφορετικά κριτήρια εκτίμησης της ποιότητας, διαφορετικές αντιλήψεις και απαιτήσεις που μπορεί να επηρεάζουν την κρίση του. Οπότε πέρα από την κατάσταση του δικτύου, πρέπει να γνωρίζουμε και τι αντίκτυπο έχει στον τελικό χρήστη. Η εμπειρία του χρήστη μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες που μπορεί να οφείλονται στην ποιότητα του δικτύου, στην συμπίεση του περιεχομένου αλλά και στο υλικό μετάδοσης. Έχει παρατηρηθεί ότι σημαντικό ρόλο παίζει η απόσταση και η γωνία θέασης, το μέγεθος της εικόνας, η φωτεινότητα, η αντίθεση αλλά και το ίδιο το περιεχόμενο. Ακόμα εξωτερικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως υγρασία, ομίχλη, και η κίνηση επιβαρύνουν την τελική εμπειρία. Από την άλλη, όταν η κινούμενη εικόνα συνοδεύεται από υψηλής ποιότητας ήχο, δείχνει να επηρεάζει θετικά την κρίση του θεατή.

Για την καλύτερη προσέγγιση στο πως βιώνει την εμπειρία ο τελικός χρήστης, γίνονται ειδικές έρευνες ανάλυσης κοινού. Μέσω των αυτών των ερευνών συγκεντρώνονται τα απαραίτητα πρωτογενή στοιχεία που αποτυπώνουν τη σύνθεση του κοινού. Έτσι είναι δυνατή η διερεύνηση των βασικών χαρακτηριστικών, των ιδιαιτεροτήτων, των γνωρισμάτων και των απόψεων του κοινού και η σύνταξη αναλυτικού καταλόγου που θα συμπεριλαμβάνει τα άτομα, τις κοινωνικές ομάδες και τους οργανισμούς που το συνθέτουν, το οποίο θα αποτελέσει το δέκτη για τις πιθανές παρεχόμενες υπηρεσίες που θα είναι στη διάθεσή του. Εξετάζονται και κατηγοριοποιούνται οι ομάδες του κοινού, εντοπίζονται οι ιδιαιτερότητές κάθε ομάδας, οι προτιμήσεις, καθώς και τα βασικά της χαρακτηριστικά. Έτσι, οι ερευνητές μπορούν να συγκεντρώσουν τα στοιχεία που σκιαγραφούν το προφίλ του κοινού-δέκτη-πελάτη. Σε τέτοιες έρευνες κοινού συγκεντρώνονται και δημογραφικά και προσωπικά στοιχεία, όπως ο τόπος κατοικίας, το φύλο, η ηλικία, το επίπεδο εκπαίδευσης, η οικογενειακή κατάσταση, το επάγγελμα και το εισόδημα.

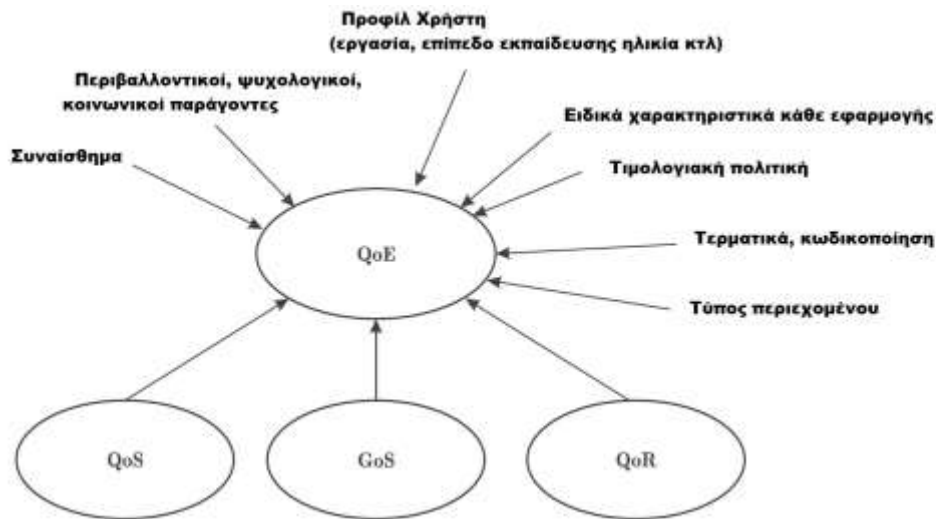
Οι έρευνες κοινού όπως αναφέραμε, αποτελούν πρωτογενείς έρευνες, καθώς επιδιώκουν τη συλλογή πρωτογενών στοιχείων. Οι μέθοδοι συλλογής πρωτογενών δεδομένων ποικίλουν. Για να αποτυπωθεί η αντιλαμβανόμενη ποιότητα, γίνονται έρευνες σε ειδικά διαμορφωμένα εργαστήρια, όπου δίνεται σε ένα μεγάλο αριθμό ατόμων μια σειρά από δείγματα κινούμενης εικόνας - ήχου. Τα άτομα αυτά, κρίνουν την ποιότητα με βάση την τελική αίσθηση που έχουν. Ανάλογα με τα τεστ που γίνονται, οι βαθμολογίες μπορεί να είναι σε ποσοτική ή ποιοτική κλίμακα, συνεχή ή διακριτή. [5] [14]. Οι έρευνες αυτές δίνουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης ακρίβειας στη μέτρηση αφού μπορούν να δοκιμαστούν διάφορα σενάρια και να έχουν άμεσα αποτελέσματα για το πώς τα αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης. Έχουν όμως το μειονέκτημα ότι είναι χρονοβόρες και έχουν υψηλό κόστος. Είναι όμως απαραίτητες αφού μπορούν να οριστούν ως σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση άλλων, αντικειμενικών μεθόδων εκτίμησης.

Το ITU-R (International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector) έχει μελετήσει και προτείνει μια σειρά από τεστ για την μέτρηση της αντιλαμβανόμενης ποιότητας σε κινούμενη εικόνα [5] [8] [13] [14]:

- i) 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.
- ii) 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.
- iii) Single Stimulus Continuous Quality Evaluation (SSCQE): Με αυτή την μέθοδο οι παρατηρητές καλούνται να παρακολουθήσουν ένα μεγαλύτερης διάρκειας βίντεο, το οποίο έχει υποστεί κάποια επεξεργασία. Κατά τη διάρκεια της προβολής μπορούν να βαθμολογούν συνεχώς με μια μπάρα κύλισης, καθώς η ποιότητα μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια της προβολής.
- iv) Absolute Category Rating (ACR): Εδώ οι παρατηρητές παρακολουθούν μόνο μια φορά το εξεταζόμενο βίντεο και δίνουν μια βαθμολογία από 1 έως 5 για την συνολική εμπειρία τους.
- v) 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.

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 [9].

Οι μετρήσεις αυτές για κινούμενη εικόνα και ήχο ανάγονται σε ξεχωριστά Mean Opinion Score (MOS) με εύρος τιμών από 1 έως 5 και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σημείο αναφοράς για μετέπειτα αντικειμενικές μετρήσεις. Στην περίπτωση των DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) γίνεται χρήση της διαφοράς του MOS του αρχικού περιεχομένου από το MOS του εξεταζόμενου. (Difference Mean Opinion Score (DMOS)). Βάσει αυτών των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει περαιτέρω ανάλυση και να εξεταστεί η συσχέτισή τους βάση του συντελεστή Pearson, Spearman, του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος και του OR (Outlier Ratio)[4] [5] [8] [10] [13].



Εικόνα 3: παράγοντες που επηρεάζουν το QoE [16]

3.2 Αντικειμενικές Μέθοδοι Μέτρησης της Ποιότητας Ψηφιακού Βίντεο

Οι εργαστηριακές έρευνες, παρόλο που είναι αποτελεσματικές, έχουν πολύ υψηλό κόστος και δεν μπορούν να αποτυπώσουν σε real time συνθήκες, την ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης. Γι αυτό το λόγο έχουν προταθεί μια σειρά από αντικειμενικές, αυτοματοποιημένες μεθόδους εκτίμησης της ποιότητας χρησιμοποιώντας διάφορους αλγορίθμους που μπορούν να εφαρμοστούν σε πραγματικές συνθήκες και να αποτυπώσουν την κατάσταση που επικρατεί στο δίκτυο την δεδομένη στιγμή. Ο σκοπός τους είναι να προσεγγίσουν όσο το δυνατόν περισσότερο τις εργαστηριακές – υποκειμενικές μετρήσεις και γι αυτό πρέπει πάντα να συνεξετάζονται τα αποτελέσματα και να προσαρμόζονται σε νέες καταστάσεις.

Το ITU έχει χωρίσει τις αντικειμενικές μεθόδους εκτίμησης της ποιότητας σε πέντε βασικές κατηγορίες, ανάλογα με το τι δεδομένα χρησιμοποιούνται για την μέτρηση ..[4] [5] [6] [8] [11] [12] [13]:

- i) Media-layer models: Σε αυτά τα μοντέλα γίνεται μια εκτίμηση της ποιότητας της κινούμενης εικόνας ή του ήχου, έχοντας σαν παράμετρο το σήμα και το περιεχόμενο που μεταδίδεται. Ανάλογα με το αν έχουμε πρόσβαση στο αρχικό σήμα για σύγκριση, έχουμε διαφορετικές προσεγγίσεις. Έτσι έχουμε τα Full Reference (FR) μοντέλα, όπου εκεί έχουμε πλήρη πρόσβαση στο αρχικό σήμα και μπορεί να γίνουν άμεσες συγκρίσεις, τα Reduce Reference (RR) όπου έχουμε πρόσβαση στο τελικό σήμα και περιορισμένες πληροφορίες για το αρχικό, και τέλος τα μοντέλα No-Reference (NR), όπου δεν έχουμε καθόλου πρόσβαση στο αρχικό σήμα, παρά μόνο στο τελικό. Τα μοντέλα αυτά δεν λαμβάνουν υπόψη την κατάσταση του δικτύου και το hardware το οποίο χρησιμοποιείται.
- ii) Parametric Packet-Layer models: Σε αυτό το μοντέλο, η εκτίμηση της ποιότητας γίνεται real - time διαβάζοντας μόνο τις επικεφαλίδες των πακέτων, ώστε να μην επιβαρύνεται η διαδικασία της επεξεργασίας του σήματος.
- iii) Parametric Planning Models: Σε αυτά τα μοντέλα η εκτίμηση της ποιότητας γίνεται βάσει των πληροφοριών που έχουμε από μόνο από το δίκτυο και το τερματικό στη φάση του σχεδιασμού. Είναι απαραίτητο δηλαδή να γνωρίζουμε από πριν το σύστημα στο οποίο θα γίνει η εξέταση και δεν γίνεται χρήση της μεταδιδόμενης πληροφορίας.
- iv) Bitstream Layer Models: Εδώ λαμβάνονται υπόψη και οι επικεφαλίδες των πακέτων αλλά και το μεταδιδόμενο σήμα. Συνδυάζει, δηλαδή, στοιχεία των Media-layer και Parametric Packet-Layer.
- v) Hybrid Models: Μπορεί να δίνει συνδυασμός των παραπάνω μοντέλων για καλύτερα αποτελέσματα και εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που έχει το καθένα.

3.2.1 Μοντέλα επιπέδου μέσου (Media-layer models)

Όπως έχουμε αναφέρει, στα Media-layer models έχουμε το υλικό (σήμα – κινούμενη εικόνα) που μεταδίδεται και έχει υποστεί κάποια επεξεργασία κατά τη μετάδοση (συμπίεση, πιθανές αλλοιώσεις κατά τη μετάδοση). Ανάλογα την πρόσβαση που έχουμε στο αρχικό υλικό, έχουμε Full Reference (FR), Reduce Reference (RR) και No-Reference (NR) μοντέλα. Οι πρώτες προσπάθειες εκτίμησης σε FR είναι παρόμοιες με τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ποιότητας ψηφιακής εικόνας, καθώς εξετάζουν κάθε καρέ ξεχωριστά. Ο δυο πιο γνωστές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι το Mean Squared Error -MSE και το PSNR Peak Signal-to-Noise Ratio και ορίζονται ως εξής [5]:

- Mean Squared Error – MSE:

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

Το MSE αναπαριστά το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που υπάρχει μεταξύ των pixels των 2 εικόνων. Οπου N ο συνολικός αριθμός των pixel στο καρέ. Τα x και y αντιστοιχούν στα pixel του αρχικού και του προς εξέταση καρέ.

- Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

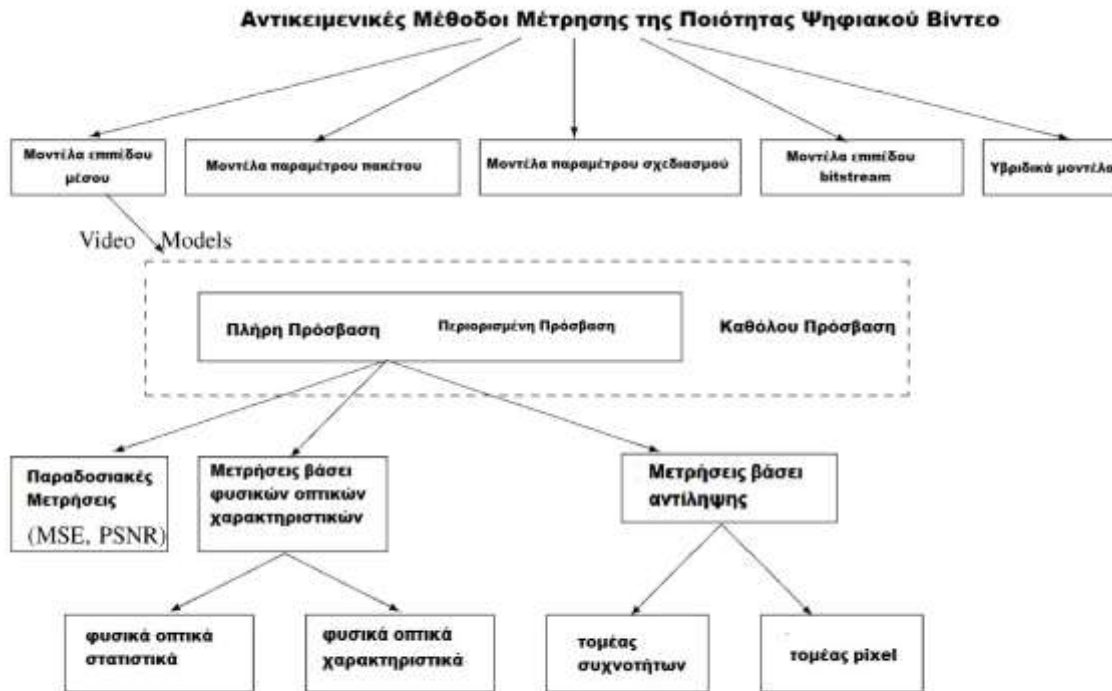
$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{L^2}{MSE}$$

Με PSNR το γίνεται μια μέτρηση της ποιότητας του σήματος σε σχέση με το αρχικό. Όσο μεγαλύτερο είναι το PSNR, τόσο καλύτερο αποτέλεσμα θα έχουμε. Με L συμβολίζουμε τη μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει η μεταβλητή για το κάθε pixel. Στην περίπτωση που έχουμε εύρος 8-bit, το L ισούται με 255.

Αυτές οι μετρήσεις, αν και είναι εύκολα πραγματοποιήσιμες δεν εκφράζουν την ανθρώπινη αντίληψη, αφού δεν λαμβάνουν υπόψη χαρακτηριστικά του ανθρώπινου οπτικού συστήματος, ούτε το περιεχόμενο που προβάλλουν. Για παράδειγμα, όταν έχουμε γρήγορο κινούμενο θέμα, η ευαισθησία της ανθρώπινης αντίληψης μειώνεται και ίσως δεν εντοπιστούν κάποιες αλλοιώσεις. Επίσης, περιοχές με χωρική ομοιότητα μπορούν να υποστούν υποβάθμιση της ποιότητας, χωρίς να έχει ανάλογο αντίκτυπο στον τελικό χρήστη. Από την άλλη, οι μέθοδοι αυτές μετράνε το βαθμό του σφάλματος. Μπορεί όμως δύο σήματα να έχουν τον ίδιο βαθμό σφάλματος, αλλά εντελώς διαφορετικά είδη λαθών.

Για τους παραπάνω λόγους έχουν προταθεί μετρήσεις βάσει των φυσικών οπτικών χαρακτηριστικών (Natural Visual Characteristics) αλλά και μετρήσεις βάσει της ανθρώπινης αντίληψης. Οι μετρήσεις βάσει φυσικών οπτικών χαρακτηριστικών (Natural Visual Characteristics) χωρίζονται σε Natural Visual Statistics (κάνουν στατιστικές αναλύσεις όπως μέσο, διακύμανση, κατανομές κ.α) και Natural Visual Features. Για τα Natural Visual Features προτείνεται η τμηματοποίηση της εικόνας σε περιοχές βάσει της επιφάνειας, των άκρων και της υφής (plane, edge, texture) καθώς έτσι μπορούν να γίνουν αντιληπτές διάφορες αλλοιώσεις στην εικόνα (πχ το θόλωμα της εικόνας είναι πιο εύκολα αντιληπτό σε πιο σύνθετες εικόνες). Έτσι για κάθε τμήμα ορίζεται ένας αλγόριθμος που θα κάνει μετρήσεις και στο τέλος ανάλογα και με τη 'βαρύτητα' του κάθε παράγοντα καθορίζεται και η τελική εκτιμώμενη ποιότητα. Επίσης είναι δυνατή η χρήση 'μάσκας' καθορισμένου μεγέθους όπου αναλύει την εικόνα και εντοπίζει τις διάφορες παραμορφώσεις. Οι μετρήσεις βάσει της αντίληψης (HVS - Human Visual Systems) χωρίζονται στον τομέα των συχνοτήτων που εκπέμπονται και μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος (χρησιμοποιούνται μετασχηματισμοί DCT κλπ) και των

pixel, όπου εκεί μετρούνται οι αλλαγές στην φωτεινότητα και στα άκρα που υπάρχουν μέσα στην εικόνα και μπορούν να γίνουν αντιληπτά. Η κατηγοριοποίηση των Media-layer models απεικονίζεται στην εικόνα 4 [5].



Εικόνα 4: Κατηγοριοποίηση των media – layer models .[5]

Μία μέθοδος Natural Visual Statistics έχει αναπτυχθεί από τον Zhou Wang (SSIM - Structural Similarity and Image Quality), όπου θεωρεί ότι η ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης έχει να κάνει με την παραμόρφωση που έχει η εικόνα στη δομή της [5]. Η ένταση της φωτεινότητας σε ένα αντικείμενο το οποίο απεικονίζεται, έχει να κάνει με το φωτισμό και τις αντανάκλασεις που μπορεί να υπάρχουν. Όμως η δομή (το σχήμα, δηλαδή, του αντικειμένου) είναι ανεξάρτητη από αυτό το φαινόμενο. Για να εξεταστεί σε βάθος η εικόνα πρέπει να διαχωρίσουμε την επιρροή της φωτεινότητας. Για αυτό το λόγο, ορίζει σαν πληροφορίες δομής μιας εικόνας (structural information), όλα εκείνα τα στοιχεία που αναπαριστούν το σχήμα ενός αντικειμένου σε μια εικόνα και τα οποία είναι ανεξάρτητα από τη φωτεινότητα και την αντίθεση. Από τη στιγμή που η φωτεινότητα και η αντίθεση μπορεί να διαφέρουν σε διάφορα σημεία της εικόνας, χρησιμοποιεί την τοπική φωτεινότητα και τοπική αντίθεση. Έτσι, μεταξύ της αρχικής και της εξεταζόμενης εικόνας γίνονται ξεχωριστές συγκρίσεις για τη φωτεινότητα, την αντίθεση και τη δομή και συνοψίζοντας έχουμε το τελικό αποτέλεσμα.

Η μαθηματική αποτύπωση για την ομοιότητα (Similarity) είναι η εξής:

$$S(x, y) = f(l(x, y), c(x, y), s(x, y))$$

Όπου $l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}$, είναι η σύγκριση της φωτεινότητας,

$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}$, είναι η σύγκριση της αντίθεσης

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

, είναι η σύγκριση της δομής

Και C_1, C_2, C_3 είναι μικρές σταθερές για να διασφαλιστεί η σταθερότητα, όταν οι παρονομαστές είναι πολύ κοντά στο μηδέν ($C_1 = (K1L)^2$), $L = 255$ όπου είναι το δυναμικό εύρος του pixel με 8-bit, και $K1 \ll 1$)

Ανάλογα με τον βαθμό επιρροής του κάθε παράγοντα, ορίζονται οι μεταβλητές $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $\gamma > 0$ και έτσι το μέτρο σύγκρισης γίνεται:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha * [c(x, y)]^\beta * [s(x, y)]^\gamma$$

Στην ειδική περίπτωση όπου $\alpha = \beta = \gamma = 1$ και $C_3 = C_2/2$ έχουμε:

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

Το SSIM έχει εύρος τιμών από 0 έως 1 με την τιμή 1 να είναι η καλύτερη δυνατή. Αυτή η μέθοδος έχει εξεταστεί πειραματικά και έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

3.2.2 Μοντέλα παραμέτρου πακέτου (Parametric Packet-Layer models)

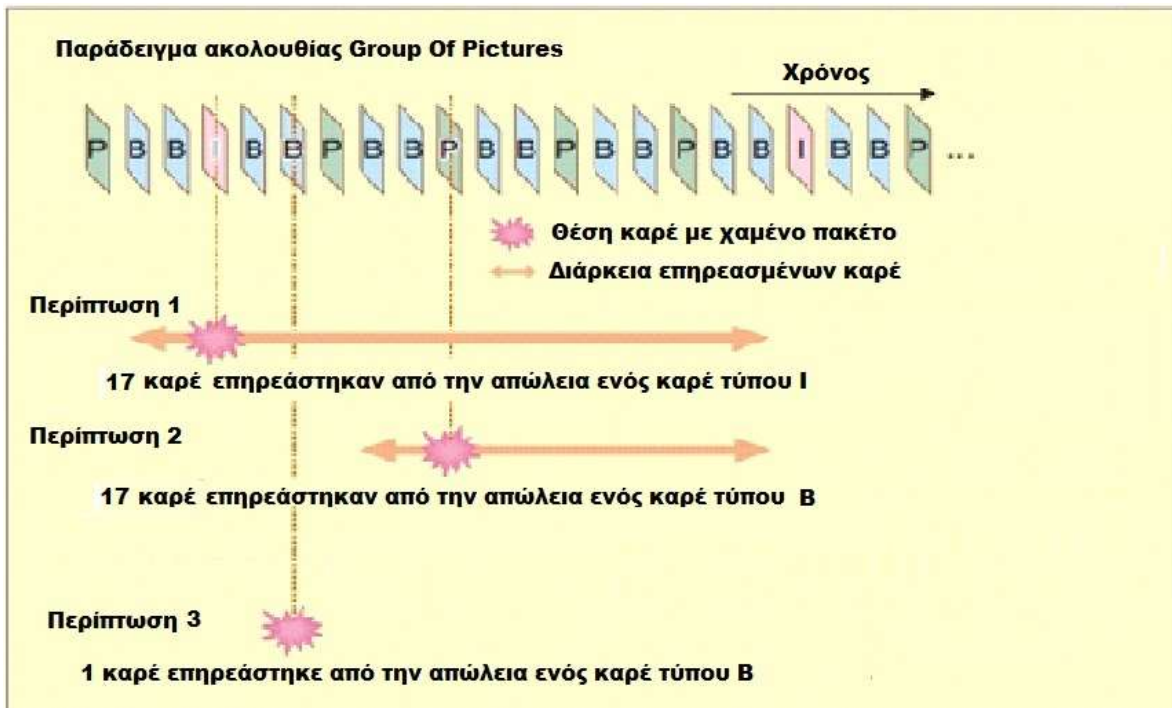
Τα μοντέλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ζωντανό χρόνο, κατά τη χρήση της υπηρεσίας και δεν επεμβαίνουν στο σήμα και το περιεχόμενο. Διαβάζουν μόνο τις επικεφαλίδες των πακέτων, ώστε να μην επιβαρύνεται η διαδικασία της επεξεργασίας του σήματος. Μια προσέγγιση που έχει προταθεί από το ITU-T Study Group 12 (SG12) αποτελείται από τρία μέρη και μια βάση δεδομένων. Στον πρώτο μέρος, εξάγονται οι παράμετροι (πχ πληροφορίες για το bit rate και το packet-loss) από τις επικεφαλίδες των πακέτων. Στη συνέχεια, γίνεται μια εκτίμηση για την ποιότητα του βίντεο από το bit rate και μετά το αποτέλεσμα αυτό συνεκτιμάται με την πληροφορία για το packet-loss. Τέλος, γίνεται μια σύγκριση με τη βάση δεδομένων που περιέχει τις βέλτιστες τιμές για κάθε υπηρεσία (πχ IPTV), ώστε να καθοριστεί το επίπεδο της ποιότητας.

Το NTT προτείνει μια μέθοδο μέσω της οποίας μπορούμε από την επικεφαλίδα των πακέτων να δούμε τον τύπο του κάθε frame (I, P, B). Κατά τη συμπίεση κινούμενης εικόνας, εκμεταλλευόμαστε το γεγονός ότι τα διαδοχικά καρέ έχουν παρόμοια πληροφορία και έτσι συγκρατούνται μόνο οι πληροφορίες για τις αλλαγές που έχει το επόμενο καρέ σε σχέση με το προηγούμενο [11].

Έτσι έχουμε τρία είδη frame:

- i) Intra-codec frame (I frame): Εδώ κωδικοποιείται ολόκληρο το frame
- ii) Predicatively coded frame (P frame): Κωδικοποιούνται μόνο οι διαφορές σε σχέση με το προηγούμενο frame.
- iii) Bi-directionally Predicted frame (B frame): Γίνεται κωδικοποίηση κάνοντας χρήση του προηγούμενου αλλά και του επόμενου frame.

Η ακολουθία των τριών αυτών ειδών καρέ ενός τμήματος βίντεο και το πλήθος μεταξύ δύο καρέ τύπου I ονομάζεται Group Of Pictures (GOP) εξαρτάται από τη μέθοδο συμπίεσης. Ανάλογα τον αριθμό των πακέτων που έχει το κάθε frame και σε συνδυασμό με την πληροφορία για το packet loss και το fps θα γνωρίζουμε τι frame θα λείπει στο τελικό βίντεο, άρα μπορούμε να έχουμε μια εκτίμηση για τον αντίκτυπο που θα έχει στην ποιότητα καθώς κάθε τύπος frame έχει και διαφορετική βαρύτητα. Στην εικόνα 5 μπορούμε να δούμε μια εφαρμογή αυτής της μεθόδου που ονομάζεται invalid frame ratio.



Εικόνα 5: Παράδειγμα ακολουθίας καρτέ GoP [11]

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι στη συγκεκριμένη ακολουθία καρτέ, αν έχουμε packet loss σε frame τύπου I, θα επηρεαστούν συνολικά 17 καρτέ. Στην περίπτωση που έχουμε packet loss σε frame τύπου P μπορούν να επηρεαστούν από 5 έως 14 καρτέ ενώ στην περίπτωση που παρουσιαστεί packet loss σε frame τύπου B επηρεάζεται μόνο ένα καρτέ. Οπότε γνωρίζοντας τη συγκεκριμένη ακολουθία (I BB P BB P BB P BB P BB) και γνωρίζοντας πόσα frames επηρεάζονται από το packet loss, σε σχέση με το σύνολο των frames, μπορούμε να έχουμε μια εκτίμηση για το Invalid frame ratio και τον αντίκτυπο που θα έχει στο περιεχόμενο του βίντεο.

3.2.3 Μοντέλα παραμέτρου σχεδιασμού (Parametric Planning Models):

Όπως αναφέραμε, σε αυτά τα μοντέλα η εκτίμηση της ποιότητας γίνεται στη φάση του σχεδιασμού, βάσει των πληροφοριών που έχουμε από το δίκτυο και το τερματικό. Λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως την κωδικοποίηση, την ανάλυση και το ρυθμό ανανέωσης της εικόνας, τις καθυστερήσεις, τα bitrates και τα packet-loss rates για την εικόνα και τον ήχο. Ειδικότερα, για υπηρεσίες VOIP έχει προταθεί από το ITU-T ένα μοντέλο το οποίο έχει ονομαστεί E-Model και λαμβάνει υπόψη 21 παραμέτρους και καταλήγει στον παράγοντα R που κυμαίνεται από 0 έως 100. Με $R < 50$ η ποιότητα θεωρείται φτωχή και ανεπαρκής, ενώ με $R > 90$ θεωρείται άριστη [9]. Τα μοντέλα αυτά, μπορούν να εκτιμήσουν αν είναι δυνατή η δημιουργία αλλά και η διατήρηση της σύνδεσης. Πχ, είναι αναμενόμενο πως αν επιχειρήσουμε να μεταφέρουμε υψηλής ανάλυσης βίντεο σε γραμμή με χαμηλή ταχύτητα, ή σε συσκευή με πολύ χαμηλά τεχνικά χαρακτηριστικά, το αποτέλεσμα δεν θα είναι το καλύτερο δυνατό.

Κεφάλαιο 4°

Εναλλακτικές μέθοδοι διαχείρισης της πληροφορίας

Από τη στιγμή που η αντιλαμβανόμενη ποιότητα από την πλευρά του χρήστη, εξαρτάται άμεσα και από το δίκτυο, για να βελτιστοποιηθεί η εμπειρία του, θα πρέπει να γίνει και καλύτερη διαχείριση στους πόρους, ώστε να ελαχιστοποιηθούν και οι παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά. Ένας τρόπος που προτείνεται στο [17], είναι να γίνει ο διαχωρισμός σε premium users και secondary users, χρήστες δηλαδή σε χρήστες πρώτης και δεύτερης κατηγορίας. Αυτό ήδη συμβαίνει σε περιπτώσεις εταιρικών γραμμών που χρεώνονται επιπλέον προκειμένου να έχουν πρόσβαση σε καλύτερους πόρους δικτύου και να εξυπηρετούνται με προτεραιότητα σε σχέση με τους απλούς, οικιακούς πελάτες. Η πρόταση λοιπόν που προτείνεται είναι σε περίπτωση συμφόρησης να έχουν πρόσβαση οι απλοί χρήστες στους πόρους των premium, με τη διαφορά ότι δεν θα υπάρχει μείωση της προσφερόμενης ποιότητας στους premium users. Έτσι το όφελος θα είναι διπλό, αφού και οι απλοί χρήστες που θα ‘αναβαθμιστούν’ προσωρινά θα έχουν ανώτερη εμπειρία χρήσης, αλλά και οι υπόλοιποι απλοί χρήστες, αφού πλέον θα έχει αποσυμφορηθεί το δίκτυο.

Δυο κύρια χαρακτηριστικά που θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του διαδικτύου, είναι το περιεχόμενο που διαμοιράζεται, αλλά και η φορητότητα των συσκευών. Μέσω των κινητών συσκευών, οι χρήστες παράγουν τεράστιο όγκο δεδομένων τον οποίο διαμοιράζουν. Προβλέπεται ότι τα προσεχή χρόνια ούτε τα 4G δίκτυα θα είναι ικανά για να καλύψουν τις απαιτήσεις για την κίνηση δεδομένων [15]. Από την άλλη, οι χρήστες αυτοί είναι πολύ πιθανό να παράγουν ένα εξατομικευμένες πληροφορίες, υλικό δηλαδή που να αφορά ένα συγκεκριμένο group χρηστών βάσει π.χ. περιεχομένου, γεωγραφικής τοποθεσίας κ.τ.λ.. Οπότε η ιδέα ότι οι χρήστες αυτοί θα μπορούν να μοιράζονται το περιεχόμενο απευθείας μεταξύ τους, διευκολύνει σημαντικά τον τρόπο διαμοιρασμού δεδομένων αφού δεν θα επιβαρύνεται το δίκτυο με πληροφορία που δεν θα ενδιαφέρει το υπόλοιπο, μεγαλύτερο ποσοστό των χρηστών.

Σε ένα τέτοιο σενάριο χρησιμοποιούνται τα λεγόμενα Opportunistic networks (OppNets). Σε μια τέτοια δομή, η σταθερή σύνδεση μεταξύ των κόμβων δεν πρέπει να θεωρείται σίγουρη. Αν συμπεριλάβουμε το γεγονός ότι το δίκτυο αποτελείται από τους ίδιους τους χρήστες, τότε θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και όλα όσα αυτό συνεπάγεται για τους πόρους του δικτύου όπως το hardware της κάθε συσκευής, η μπαταρία που μπορεί να έχει, η μνήμη, η μετακίνηση του χρήστη κ.τ.λ. οπότε οι αποσυνδέσεις θα πρέπει να θεωρούνται δεδομένες. Σε τέτοιο ρευστό περιβάλλον με δύσκολες συνθήκες, θα πρέπει να μπορεί να γίνει διαχωρισμός της κρίσιμης και απαραίτητης πληροφορίας που έχει ενδιαφέρον και μπορεί να διαμοιραστεί. Έχουν γίνει προτάσεις [15] για την ύπαρξη δικτύων που βασίζονται σε Γνωσιακά ευρετικά μοντέλα (cognitive heuristics) που θα μπορούσαν να προσομοιώσουν την ανθρώπινη συμπεριφορά και τη λήψη αποφάσεων και να εφαρμοστούν στα OppNets. Η προσομοίωση αυτή έγκειται στον εντοπισμό του υλικού που χρειάζεται ενίσχυση στη μετάδοσή του, αλλά και στο να αναγνωρίζουν το πότε το υλικό έχει μεταδοθεί ικανοποιητικά, οπότε και δεν απαιτείται περαιτέρω ‘βοήθεια’. Τέλος, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι μπορεί να αλλάξουν οι προτιμήσεις των χρηστών, να υπάρξουν νέες κατηγορίες περιεχομένων κ.τ.λ.

Για τα Γνωσιακά μοντέλα, οι αποφάσεις μπορούν να ληφθούν λαμβάνοντας υπόψη την μεϋξιανή θεωρία. Γενικά, ο άνθρωπος προτού πάρει κάποια απόφαση, κάνει μια εκτίμηση όλων των γεγονότων που έχουν συμβεί μέχρι τη δεδομένη στιγμή. Έτσι θα μπορούσαμε να πούμε ότι βάσει των εμπειριών του έχει γνώση της ‘εκ των προτέρων’ πιθανότητας, και αυτή η πιθανότητα υπολογίζεται εκ νέου καθώς έχουμε νέα δεδομένα.

Από την άλλη, τα ευρετικά μοντέλα περιγράφουν την λήψη αποφάσεων ως μια ευρετική διαδικασία (heuristic process)[15]έχοντας μια πιο απλή προσέγγιση. Στην ουσία υποστηρίζουν πως η πληροφορία που χρειάζεται ο άνθρωπος για να παίρνει αποφάσεις, περιορίζεται στον υπολογισμό των συχνοτήτων ενός επιθυμητού γεγονότος μέσα σε ένα πλήθος παρατηρήσεων. Αυτά τα μοντέλα προσπαθούν να προσομοιώσουν τη λειτουργία του εγκεφάλου όταν το άτομο καλείται να λάβει γρήγορες αποφάσεις χωρίς να έχει ολόκληρη την πληροφορία διαθέσιμη. Πρέπει να σημειωθεί πως δεν έχουν στόχο να αναπαράγουν την δομή του εγκεφάλου όπως κάνουν τα νευρωνικά δίκτυα, αλλά μόνο τη λειτουργικότητα. Πάντως παρόλο που αρχικά φαίνονται να έρχονται σε αντίθεση με τα μοντέλα της μπεϋζιανής θεωρίας, και τα δύο είναι στενά συνδεδεμένα. Από τη μία, με τη μέθοδο των πιθανοτήτων μπορεί να καθοριστεί το πρόβλημα και ποια πληροφορία είναι απαραίτητη για τη λύση, ενώ με την ευρετική διαδικασία (heuristic process) μπορούν να παρουσιαστούν οι αλγόριθμοι με τους οποίους ο άνθρωπος θα λειτουργήσει προκειμένου να βρει τη λύση.

Κεφάλαιο 5°

Εργαστηριακή Προσομοίωση

Για να εξετάσουμε το QoS σε εργαστηριακές συνθήκες, θα εφαρμόσουμε μια μέθοδο που έχει προταθεί στο [18]. Στην συγκεκριμένη πρόταση λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι κατά την μετάδοση video, η εμπειρία του χρήστη θα επηρεαστεί αρνητικά σε μεγαλύτερο βαθμό αν παρουσιαστούν διακοπές παρά αν υπάρχει μια γενικότερη μείωση της ποιότητας. Έτσι, προτείνεται μια μέθοδος όπου αν παρουσιαστεί κίνδυνος για μη ομαλή ροή, ο δέκτης στέλνει σήμα στον αποστολέα προκειμένου αυτός να μειώσει τον ρυθμό αποστολής, είτε μειώνοντας την ανάλυση, ή το frame rate του μεταδιδόμενου βίντεο.

Για να εξεταστεί αυτό, πρώτα υπολογίζεται το QoS μέσα από την εξής μαθηματική εξίσωση:

$$QoS = L * Wi + D * Wd + \frac{Wt}{T}$$

Όπου:

L = Το ποσοστό χαμένων πακέτων (packet Loss)

D = Η καθυστέρηση (Delay)

T = Ο ρυθμός μετάδοσης (Throughput)

Wi, Wd, Wt = Τα αντίστοιχα βάρη για τα L, D και T

Στη συνέχεια, η τιμή του QoS χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί και το QoE μέσα από την εξίσωση:

$$QoE = Qr * (1 - QoS(X))^{\frac{QoS(X) * A}{R}}$$

Όπου:

Qr = Ένας συντελεστής που σχετίζει την αντιλαμβανόμενη ποιότητα από την πλευρά του χρήστη σε σχέση με το μέγεθος της οθόνης/ ανάλυσης της συσκευής.

A = Αναφέρεται στο Class Of Service, ανάλογα με την κατηγοριοποίηση της εφαρμογής, όπως είδαμε και στην ενότητα 2.2

R = Είναι ο αριθμός διαδοχικών καρέ μεταξύ δύο καρέ τύπου I, που όπως αναφέραμε στην ενότητα 3.2.2 και ονομάζεται Group Of Pictures (GOP)

Αυτούς τους τύπους θα χρησιμοποιήσουμε και εμείς στο παράδειγμα μας προκειμένου να εκτιμήσουμε το QoE ανάμεσα σε βίντεο ίδιας ανάλυσης αλλά διαφορετικό frame rate και διαφορετικό περιεχόμενο.

Τα αρχικά δεδομένα, δηλαδή το packet loss (L), την καθυστέρηση (D), και το Throughput (T) θα τα λάβουμε μέσω προσομοίωσης. Με τη βοήθεια εργαλείου Network Simulator (NS3) κατασκευάζουμε ίδια τοπολογία που αποτελείται από 6 κόμβους ενώ η προσομοίωση θα διαρκέσει 7 δευτερόλεπτα.

Για να είναι πιο εύκολη η εξαγωγή των αποτελεσμάτων, θα χρειαστούμε τη βοήθεια του αρχείου analysis.awk, καθώς το αρχικό αποτέλεσμα έχει την ακόλουθη μορφή:

TraceDelay: RX 1024 bytes from 10.1.7.6 Sequence Number: 0 Uid: 0 TXtime: +2000000000.0ns RXtime: +2008954222.0ns Delay: +8954222.0ns Bearer: NotAvailable
 Sent 1024 bytes to 10.1.7.1 TxApplication NotAvailable Sequence Number: 4
 TraceDelay: RX 1024 bytes from 10.1.7.6 Sequence Number: 1 Uid: 1 TXtime: +2001000000.0ns RXtime: +2010533370.0ns Delay: +9533370.0ns Bearer: NotAvailable
 TraceDelay: RX 1024 bytes from 10.1.7.6 Sequence Number: 2 Uid: 2 TXtime: +2003000000.0ns RXtime: +2012148518.0ns Delay: +9148518.0ns Bearer: NotAvailable
 TraceDelay: RX 1024 bytes from 10.1.7.6 Sequence Number: 4 Uid: 8 TXtime: +2010000000.0ns RXtime: +2013844666.0ns Delay: +3844666.0ns Bearer: NotAvailable
 Sent 1024 bytes to 10.1.7.1 TxApplication NotAvailable Sequence Number: 5
 TraceDelay: RX 1024 bytes from 10.1.7.6 Sequence Number: 5 Uid: 12 TXtime: +2015000000.0ns RXtime: +2016476074.0ns Delay: +1476074.0ns Bearer: NotAvailable
 Sent 1024 bytes to 10.1.7.1 TxApplication NotAvailable Sequence Number: 6
 TraceDelay: RX 1024 bytes from 10.1.7.6 Sequence Number: 6 Uid: 14 TXtime: +2021000000.0ns RXtime: +2022476074.0ns Delay: +1476074.0ns Bearer: NotAvailable
 .
 .
 .

Έτσι λοιπόν, βοήθεια του αρχείου analysis.awk, έχουμε τα εξής αποτελέσματα:|

Για το βίντεο lordoftherings3 με ανάλυση (resolution) 352x288 και ρυθμό ανανέωσης πλαισίων (frame rate) 25 frames per second (fps), έχουμε ποσοστό χαμένων πακέτων (packet loss) 0% , καθυστέρηση (delay) 0.000509415 ms, ενώ η μετάδοση (throughput) είναι 385406 bps

Αντίστοιχα, για το βίντεο tokyoolympics με ανάλυση (resolution) 352x288 και ρυθμό ανανέωσης πλαισίων (frame rate) 30 frames per second (fps), έχουμε ποσοστό χαμένων πακέτων packet loss 0% , καθυστέρηση (delay) 0.000374221 ms , ενώ η μετάδοση (throughput) είναι 693248 bps

Όπως βλέπουμε, στο παράδειγμά μας δεν έχουμε κανένα απολύτως πακέτο χαμένο, ενώ όπως είναι λογικό το throughput είναι μεγαλύτερο κατά την δεύτερη μετάδοση αφού ανά δευτερόλεπτο αποστέλλονται περισσότερα καρέ και κατ επέκταση περισσότερη πληροφορία

Για τα βάρη, θα χρησιμοποιήσουμε την ιεραρχική ανάλυση Αποφάσεων (AHP - Analytic Hierarchy Process) βάσει του παρακάτω πίνακα [19]

Ένταση της Σχετικής Σημασίας	Ορισμός
1	Ιδίας σημασίας
3	Μέτρια υψηλότερη σημασία του ενός στοιχείου ως προς ένα άλλο
5	Αρκετά υψηλότερη σημασία του ενός στοιχείου ως προς ένα άλλο
7	Πάρα πολύ υψηλότερη σημασία του ενός στοιχείου ως προς ένα άλλο
9	Εξαιρετικά υψηλότερη σημασία του ενός στοιχείου ως προς ένα άλλο
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές

Για το σενάριό μας τα βάρη είναι $W_l = 0.2$, $W_d = 0.5$, $W_t = 0.3$

Οπότε βάσει του τύπου έχουμε:

$$QoS = L * W_l + D * W_d + \frac{W_t}{T}$$

Για το πρώτο βίντεο lordoftherings3 το QoS υπολογίζεται σε 0,000255486

ενώ για το δεύτερο βίντεο tokyoolympics το QoS είναι 0,000187543

Στη συνέχεια, θα υπολογίσουμε το QoE για κάθε μία από τις μεταδόσεις.

Για το Qr και το A θεωρούμε ότι το υλικό παρουσιάζεται στην ίδια συσκευή, και προφανώς πρόκειται για την ίδια υπηρεσία, δηλαδή μετάδοση μιας κατεύθυνσης βίντεο. Οπότε και στις δυο μεταδόσεις θα έχουμε το ίδιο Qr και A, έστω στην περίπτωση μας $Qr = 4,5$ και $A=4$

Εξετάζοντας το αρχείο trace για κάθε βίντεο, βλέπουμε ότι στο lordoftherings3 έχουμε $R=12$ ενώ στο tokyoolympics ο αριθμός διαδοχικών καρέ μεταξύ δύο καρέ τύπου I είναι $R=16$

lordoftherings3.trace

12	I	480	8808
10	B	400	3232
11	B	440	3232
15	P	600	456
13	B	520	64
14	B	560	64
18	P	720	456
16	B	640	64
17	B	680	64
21	P	840	456
19	B	760	64
20	B	800	64
24	I	960	8808

tokyoolympics.trace

16	I	533.3	25544
15	B	500	29568
18	P	600	34744
17	B	566.7	27656
20	P	666.7	27624
19	B	633.3	24648
22	P	733.3	36360
21	B	700	27784
24	P	800	39752
23	B	766.7	27656
26	P	866.7	34896
25	B	833.3	29248
28	P	933.3	44120
27	B	900	29456
30	P	1000	56112
29	B	966.7	31936
32	I	1066.7	36200

Κάνουμε τη χρήση του τύπου:

$$QoE = Qr * (1 - QoS(X)) \frac{QoS(X) * A}{R}$$

Έτσι, για την προβολή του βίντεο lordoftherings3 έχουμε QoE= 1,000128077

Ενώ για το βίντεο tokyoolympics έχουμε QoE= 1,000070514

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση του lordoftherings3 το QoE είναι υψηλότερο, πράγμα που σημαίνει ότι ο χρήστης θα το προτιμήσει

Το ίδιο αποτέλεσμα θα έχουμε και αν αντιστρέψουμε τα βάρη, δηλαδή με
W1 = 0.2, Wd = 0,3, Wt = 0,5

για την προβολή του βίντεο lordoftherings3 έχουμε QoE= 1,000077265

Για το βίντεο tokyoolympics έχουμε QoE= 1,000042483

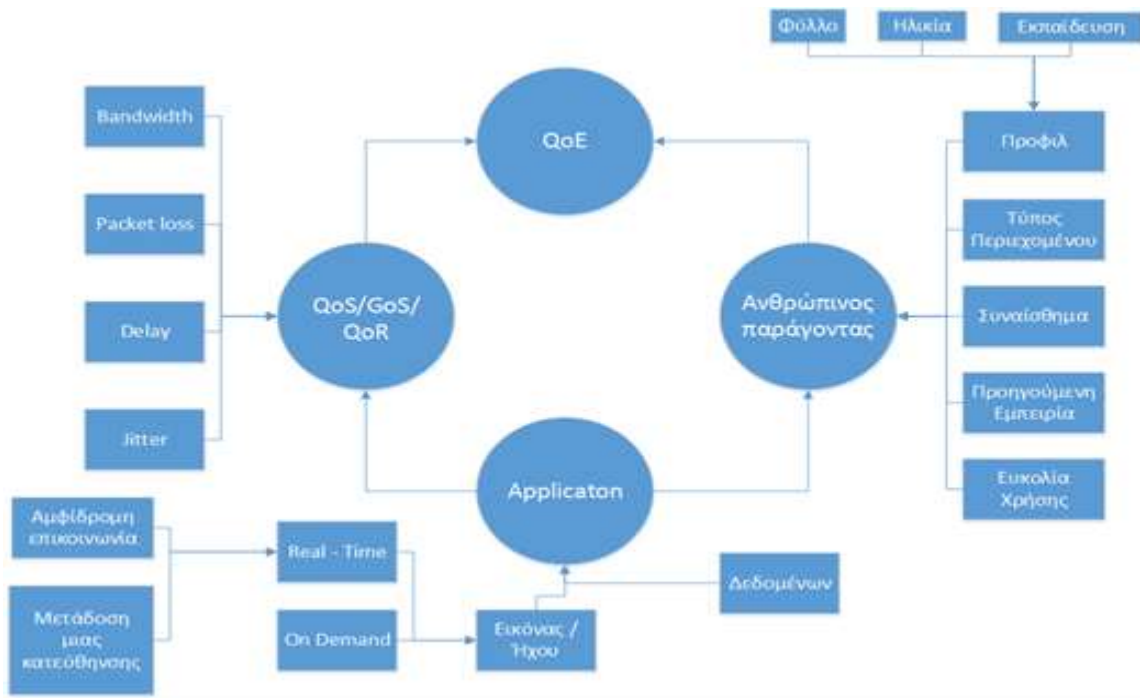
Και σε αυτή την περίπτωση λοιπόν, το βίντεο με το λιγότερο fps έχει καλύτερα αποτελέσματα στην τελική κρίση του θεατή, πράγμα που επιβεβαιώνει το γεγονός ότι η ομαλή ροή σε ένα βίντεο παίζει καθοριστικό ρόλο.

Βέβαια, αυτό που δεν μπορεί να αποτυπωθεί είναι το περιεχόμενο και το θέμα του κάθε βίντεο καθώς και το τι αντίτυπο θα είχε σε ξεχωριστές ομάδες θεατών. Αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό, αν αναλογιστεί κανείς και το πόσο διαφορετικά είναι μεταξύ τους τα βίντεο, αφού το ένα παρουσιάζει σκηνή από ταινία φαντασίας, ενώ το άλλο σκηνές από τους ολυμπιακούς αγώνες στο Τόκιο. Αυτό σίγουρα θα παίζει καθοριστικό ρόλο, αφού δεν μπορεί να αποτυπωθεί το πόσο θα επηρέασε τον τελικό χρήστη αν πχ είχε παρακολουθήσει τους αγώνες από κοντά, αν ήταν στην πατρίδα του ή από την άλλη αν είχε διαβάσει το βιβλίο ή οι σκηνές του έργου του ήταν γνώριμες ή μη.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως είδαμε, η μέτρηση τη αντιλαμβανόμενης ποιότητας από την πλευρά του χρήστη, είναι μια διαδικασία που επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σίγουρα θα παίζει ρόλο η κατάσταση του δικτύου, αλλά δεν σημαίνει ότι σε ιδανικές συνθήκες, ότι το αποτέλεσμα θα είναι το ιδανικό. Πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη ο ανθρώπινος παράγοντας, σε σχέση με την κατάσταση του δικτύου αλλά και σε σχέση με την υπηρεσία στην οποία επιθυμεί να έχει πρόσβαση. Διαφορετικές ηλικίες θα έχουν διαφορετικές απαιτήσεις και διαφορετικά standards. Επίσης θα κάνουν διαφορετική χρήση της υπηρεσίας, ενώ θα επηρεαστούν με ξεχωριστό τρόπο στην παρουσίαση του οποιοδήποτε προβλήματος. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και η ευκολία χρήσης, σε κάθε συσκευή ή και υπηρεσία.

Από την άλλη, μια αστοχία στο δίκτυο, μια συμφόρηση κ.τ.λ. μπορεί να επηρεάσει διαφορετικά την κάθε εφαρμογή, και κατ' επέκταση διαφορετικούς χρήστες που έχουν άλλες απαιτήσεις από κάθε εφαρμογή. Όπως είδαμε, υπάρχουν ελαστικές και ανελαστικές εφαρμογές, και το ίδιο θα μπορούσαμε να πούμε και για τους χρήστες, ανάλογα σε ποιο group ανήκουν. Μια γενικότερη αποτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν το QoE παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 6:Γενική αποτύπωση για το QoE

Συνοψίζοντας λοιπόν, θα μπορούσε να γίνει μία τυποποίηση- αντιστοίχιση των παραγόντων που επηρεάζουν το QoE και μια πιθανή μαθηματική μεταξύ τους σύνδεση. Για παράδειγμα, έχοντας την πληροφορία από τις παραμέτρους το QoS για το packet loss και το Jitter, σε συνδυασμό με το ότι έχουμε να κάνουμε με μία υπηρεσία Video on demand σε μια φορητή συσκευή με μεγάλη επεξεργαστική ισχύ, αλλά και σε συνδυασμό με το προφίλ του χρήστη (νεαρή ηλικία, γνώστης τεχνολογίας) μπορούμε να εξάγουμε ασφαλέστερα συμπεράσματα για το πως θα το αντιληφθεί ο τελικός χρήστης. Στο παράδειγμά μας, μπορούμε να περιμένουμε πως ο συγκεκριμένος χρήστης θα δείξει περισσότερη 'επιείκεια' και υπομονή, αφού θα το αποτέλεσμα για αυτόν, πιθανόν να αξίζει την όποια αναμονή.

Η συνεχής αναζήτηση νέων τρόπων εκτίμησης της αντιλαμβανόμενης ποιότητας του τελικού χρήστη, κρίνεται αναγκαία. Και αυτό γιατί οι απαιτήσεις και οι ανάγκες συνεχώς αυξάνονται. Οι συνεχείς βελτιώσεις σε όλους τους τομείς της τεχνολογίας, και ο σύγχρονος τρόπος ζωής, γεννά την απαίτηση για νέες εφαρμογές και υπηρεσίες. Ακόμα και στο ιδανικό σενάριο, δηλαδή να έχουν καλυφθεί όλες οι απαιτήσεις του χρήστη, είναι πολύ πιθανό αυτό να προσεγγίσει νέους χρήστες και να πολλαπλασιάσει τις ανάγκες για καλύτερες υποδομές δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αρχείο traffic.cc

```
#include "ns3/core-module.h"
#include "ns3/point-to-point-module.h"
#include "ns3/network-module.h"
#include "ns3/applications-module.h"
#include "ns3/wifi-module.h"
#include "ns3/mobility-module.h"
#include "ns3/csma-module.h"
#include "ns3/internet-module.h"

using namespace ns3;

NS_LOG_COMPONENT_DEFINE ("Lab5");

int
main (int argc, char *argv[])
{
    uint32_t nWifi = 6;
    double dist = 10;

    CommandLine cmd;
    cmd.AddValue ("nWifi", "Number of wifi STA devices", nWifi);

    cmd.Parse (argc,argv);

    LogComponentEnable ("UdpTraceClient", LOG_LEVEL_INFO);
    LogComponentEnable ("UdpServer", LOG_LEVEL_INFO);

    NodeContainer wifiStaNodes;
    wifiStaNodes.Create (nWifi);

    YansWifiChannelHelper channel = YansWifiChannelHelper::Default ();
    YansWifiPhyHelper phy = YansWifiPhyHelper::Default ();

    Μέθοδοι εκτίμησης QoE κατά τη μετάδοση πολυμέσων
```

```
phy.SetChannel (channel.Create ());

WifiHelper wifi = WifiHelper::Default ();
wifi.SetRemoteStationManager ("ns3::AarfWifiManager");

NqosWifiMacHelper mac = NqosWifiMacHelper::Default ();

NetDeviceContainer staDevices;
staDevices = wifi.Install (phy, mac, wifiStaNodes);

MobilityHelper mobility;
mobility.SetPositionAllocator ("ns3::GridPositionAllocator",
    "MinX", DoubleValue (0.0),
    "MinY", DoubleValue (0.0),
    "DeltaX", DoubleValue (dist),
    "DeltaY", DoubleValue (10.0),
    "GridWidth", UIntegerValue (3),
    "LayoutType", StringValue ("RowFirst"));

mobility.SetMobilityModel ("ns3::ConstantPositionMobilityModel");

mobility.Install (wifiStaNodes);

InternetStackHelper stack;
stack.Install (wifiStaNodes);

Ipv4AddressHelper address;
address.SetBase ("10.1.7.0", "255.255.255.0");
address.Assign (staDevices);
Ipv4InterfaceContainer interfaces = address.Assign(staDevices);

UdpServerHelper server (49000);

ApplicationContainer serverApps = server.Install (wifiStaNodes.Get (0));
```

```
serverApps.Start (Seconds (1.0));
serverApps.Stop (Seconds (6.0));

//Send MPEG4 traffic
UdpTraceClientHelper mpeg4Client (interfaces.GetAddress (0), 49000,"lordoftherings3.trace");
//UdpTraceClientHelper mpeg4Client (interfaces.GetAddress (0), 49000,"tokyoolympics.trace");
ApplicationContainer mpeg4App;
mpeg4App = mpeg4Client.Install (wifiStaNodes.Get (5));
mpeg4App.Start (Seconds (2.0));
mpeg4App.Stop (Seconds (5.0));

Simulator::Stop (Seconds (7.0));
Simulator::Run ();
Simulator::Destroy ();
return 0;
}
```

Βοηθητικό Αρχείο helpawk.awk

```
#!/usr/bin/awk -f
```

```
BEGIN {
```

```
    sum = 0;
```

```
    count = 0;
```

```
    sent = 0;
```

```
    starttime = -1;
```

```
    stoptime = -1;
```

```
    bytes = 0;
```

```
    started= 0;
```

```
}
```

```
/TraceDelay TX/ {
```

```
    if ($10 > 1.0) {
```

```
        started = 1;
```

```
    }
```

```
    if (started == 1) {
```

```
        sent++;
```

```
    }
```

```
}
```

```
/RXtime/ {
```

```
    split($13, tmp, ".");
```

```
    timesent = tmp[1];
```

```
    if (timesent > 1e9) {
```

```
        count++;
```

```
        split($17,tmp, ".")
```

```
        sum += tmp[1];
```

```
    }
```

```
# print starttime
```

```
#     print tmp[1]
```

```
    if ( started == 1) {
```

```
        split($15, tmp, ".")
```

```
        if (starttime < 0) {
```

```
        starttime = tmp[1];
    }
    stoptime = tmp[1];
    bytes += $3;
}
}

END {
#   print sent, count
    print "sent", sent, "   rcv" , count, "   pl  ", (1.0*(sent - count)/sent),"delay",(1e-
9*sum)/count,"throughput", 1e9*8*bytes/(1.0*stoptime - starttime);
}
```

Απόσπασμα αρχείου lordoftherings3.trace

0	I	0	8808	32	B	1280	64
3	P	120	456	36	I	1440	8808
1	B	40	64	34	B	1360	3232
2	B	80	64	35	B	1400	3232
6	P	240	456	39	P	1560	456
4	B	160	64	37	B	1480	64
5	B	200	64	38	B	1520	64
9	P	360	456	42	P	1680	456
7	B	280	64	40	B	1600	64
8	B	320	64	41	B	1640	64
12	I	480	8808	45	P	1800	456
10	B	400	3232	43	B	1720	64
11	B	440	3232	44	B	1760	64
15	P	600	456	48	I	1920	8808
13	B	520	64	46	B	1840	3232
14	B	560	64	47	B	1880	3232
18	P	720	456	51	P	2040	456
16	B	640	64	49	B	1960	64
17	B	680	64	50	B	2000	64
21	P	840	456	54	P	2160	9880
19	B	760	64	52	B	2080	3776
20	B	800	64	53	B	2120	4656
24	I	960	8808	57	P	2280	7368
22	B	880	3232	55	B	2200	5264
23	B	920	3232	56	B	2240	5632
27	P	1080	456	60	I	2400	9104
25	B	1000	64	58	B	2320	7736
26	B	1040	64	59	B	2360	7888
30	P	1200	456	63	P	2520	8568
28	B	1120	64	61	B	2440	6080
29	B	1160	64	62	B	2480	6160
33	P	1320	456	66	P	2640	7304
31	B	1240	64	64	B	2560	6008

Απόσπασμα αρχείου tokyoolympics.trace

0	I	0	8776	31	B	1033.3	30856
2	P	66.7	456	34	P	1133.3	36144
1	B	33.3	64	33	B	1100	29064
4	P	133.3	488	36	P	1200	35384
3	B	100	80	35	B	1166.7	27648
6	P	200	608	38	P	1266.7	30816
5	B	166.7	184	37	B	1233.3	28176
8	P	266.7	584	40	P	1333.3	38872
7	B	233.3	408	39	B	1300	29448
10	P	333.3	20208	42	P	1400	39008
9	B	300	20976	41	B	1366.7	29712
12	P	400	29536	44	P	1466.7	37584
11	B	366.7	20840	43	B	1433.3	30840
14	P	466.7	31104	46	P	1533.3	56480
13	B	433.3	28808	45	B	1500	32968
16	I	533.3	25544	48	I	1600	37896
15	B	500	29568	47	B	1566.7	29920
18	P	600	34744	50	P	1666.7	27728
17	B	566.7	27656	49	B	1633.3	26856
20	P	666.7	27624	52	P	1733.3	30672
19	B	633.3	24648	51	B	1700	27296
22	P	733.3	36360	54	P	1800	31768
21	B	700	27784	53	B	1766.7	26728
24	P	800	39752	56	P	1866.7	28688
23	B	766.7	27656	55	B	1833.3	26320
26	P	866.7	34896	58	P	1933.3	35192
25	B	833.3	29248	57	B	1900	27936
28	P	933.3	44120	60	P	2000	48112
27	B	900	29456	59	B	1966.7	29904
30	P	1000	56112	62	P	2066.7	41168
29	B	966.7	31936	61	B	2033.3	33400
32	I	1066.7	36200	64	I	2133.3	38736

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βενιέρης Στ. Ιάκωβος, *Δίκτυα Ευρείας Ζώνης*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2007
- [2] G. I. Papadimitriou, P. A. Tsimoulas, M. S. Obaidat, A. S. Pomportsis, *Οπτικά δίκτυα τεχνολογίας WDM*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2005
- [3] Andrew S. Tanenbaum, *Σύγχρονα λειτουργικά συστήματα*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2009 (pp 559)
- [4] Sabina Baraković and Lea Skorin-Kapov, *Survey and Challenges of QoE Management Issues in Wireless Networks*, Journal of Computer Networks and Communications, 2013 (p 2, 5)
- [5] Shyamprasad Chikkerur, Vijay Sundaram, Member, IEEE, Martin Reisslein, and Lina J. Karam, *Objective Video Quality Assessment Methods: A Classification, Review, and Performance Comparison*, IEEE transactions on broadcasting, vol. 57, no. 2, june 2011 (p167)
- [6] Vlado Menkovski, Georgios Exarchakos, Antonio Liotta, *Online QoE Prediction*, Second International Workshop on Quality of Multimedia Experience, 2010 [p 1]
- [7] Andrew S. Tanenbaum, *Δίκτυα υπολογιστών*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2005 (p 464)
- [8] Jong-Seok Lee, Francesca De Simone and Touradj Ebrahimi, Naeem Ramzan and Ebroul Izquierdo, *Quality Assessment of Multidimensional Video Scalability*, IEEE Communications Magazine, April 2011
- [9] Sofiene Jelassi, Gerardo Rubino, Hugh Melvin, Habib Youssef, and Guy Pujolle, *Quality of Experience of VoIP Service: A Survey of Assessment Approaches and Open Issues*, IEEE communications Surveys & Tutorials, vol. 14, no. 2, second quarter 2012
- [10] Akira Takahashi†, Kazuhisa Yamagishi, and Ginga Kawaguti, *Recent Activities of QoS/QoE Standardization in ITU-T SG12*, NTT Technical Review, Vol. 6 No. 9 Sep. 2008
- [11] Kazuhisa Yamagishi†, Kazunari Ushiki, Takanori Hayashi, and Akira Takahashi, *Packet-layer Model for End-user QoE Management*, NTT Technical Review, Vol. 7 No. 4 Apr. 2009
- [12] Akira Takahashi, *Framework and Standardization of Quality of Experience (QoE) Design and Management for Audiovisual Communication Services*, NTT Technical Review, Vol. 7 No. 4 Apr. 2009

[13] Mylène C. Q. Farias, *Video Quality Metrics*, Digital Video, Book edited by: Floriano De Rango, ISBN 978-953-7619-70-1, pp. 500, February 2010, INTECH, Croatia

[14] Recommendation ITU-R BT.1788, *Methodology for the subjective assessment of video quality in multimedia applications*, Question ITU-R 102/6, 2007

[15] Lorenzo Valerio, Andrea Passarella a, Marco Conti a, Elena Pagani, Scalable data dissemination in opportunistic networks through cognitive methods, May 2014

[16] R. Stankiewicz, A. Jajszczyk, A survey of QoE assurance in converged networks, February 2011

[17] Reema Imran a, Maha Odeh b, Nizar Zorba c,†, Christos Verikoukis, Spatial opportunistic transmission for Quality of Experience satisfaction, September 2013

[18] Dimitrios J. Vergados¹, Aggeliki Sgora^{2;4}, Angelos Michalas³, Dimitrios D. Vergados⁴, J.-P. Laulajainen *A QoE-Driven Adaptation Scheme for Video Content Delivery in LTE Networks*

[19] T. L. Saaty, Multicriteria decision making: the analytic hierarchy process: planning, priority setting resource allocation. RWS publications, 1990.