



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Αυτοδιαχειριζόμενα συστήματα παράδοσης πολυμεσικού
περιεχομένου σε ασύρματα δίκτυα τύπου IPv6 που
βελτιστοποιούν την ποιότητα εμπειρίας χρήστη**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

του

Βασίλειου Στ. Καλδάνη

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Αυτοδιαχειριζόμενα συστήματα παράδοσης πολυμεσικού
περιεχομένου σε ασύρματα δίκτυα τύπου IPν6 που
βελτιστοποιούν την ποιότητα εμπειρίας χρήστη**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

του

Βασίλειου Στ. Καλδάνη

Συμβουλευτική Επιτροπή: Πρωτονοτάριος Εμμανουήλ, Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ

Στασινόπουλος Γεώργιος, Καθηγητής ΕΜΠ

Θεολόγου Μιχαήλ, Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την Σεπτεμβρίου 2016

.....
Εμμανουήλ. Πρωτονοτάριος	Μιχαήλ Θεολόγου	Γεώργιος Στασινόπουλος
Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ	Καθηγητής ΕΜΠ	Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Συμεών Παπαβασιλείου	Νικόλαος Δουλάμης	Ιάκωβος Βενιέρης
Καθηγητής ΕΜΠ	Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ	Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Χαράλαμπος Πατρικάκης
Αναπλ Καθηγητής ΤΕΙ Πειραιά

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016

.....
Βασίλειος Σ. Καλδάνης,

MBA Τεχνο-Οικονομικά Συστήματα ΕΜΠ, 2006,

MSc by Research/MPhil, King's College London, 2001

Πτυχιούχος Φυσικής Α.Π.Θ., 1998

Copyright © Βασίλειος Σ. Καλδάνης, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής μελετάται το πρόβλημα της παροχής και διαχείρισης ποιότητας υπηρεσιών και εφαρμογών πολυμεσικού περιεχομένου τελευταίας γενιάς που παρέχονται μέσω προηγμένων αυτόνομων ευρυζωνικών ασύρματων δικτύων πρόσβασης, διανομής και παράδοσης, βασισμένα στο διαδικτυακό πρωτόκολλο τύπου IPv6, με τη χρήση κριτηρίων ποιότητας υπηρεσίας που καθορίζονται μεταξύ άλλων και από την αποτίμηση εμπειρίας του τελικού χρήστη.

Πιο συγκεκριμένα το εν λόγω πρόβλημα παροχής, διαχείρισης ποιότητας υπηρεσίας και αποτίμησης εμπειρίας χρήστη εμφανίζεται στη πράξη πολυσύνθετο διότι αναφέρεται τόσο σε θέματα δυναμικού ελέγχου πόρων ενδιάμεσων διανεμητικών συστημάτων επικοινωνίας, υπηρεσιών δραστηριοποίησης (enabling services) και τεχνικών παραμέτρων συστήματος επικοινωνίας σε διάφορα επίπεδα (πρόσβασης, κορμού), όσο και σε θέματα διαχείρισης εξειδικευμένων παραμέτρων ποιότητας του εκάστοτε τύπου χρησιμοποιούμενης υπηρεσίας αυτής καθ' αυτής που παρέχεται μέσω δικτύων πρόσβασης τύπου IPv6. Τα συστήματα αυτά είναι αναγκαίο να επιτυγχάνουν τη παροχή αποδεκτών υπηρεσιών επικοινωνίας αυξημένης ποιότητας και εμπειρίας χρήστη, εφαρμόζοντας προηγμένες λειτουργίες δικτύωσης και διανομής περιεχομένου αλλά και αντιμετωπίζοντας αποτελεσματικά την επίδραση των συνηθισμένων παραγόντων υποβάθμισης ποιότητας όπως απώλεια πακέτων (packet loss) και καθυστέρηση (delay) ειδικά σε ασύρματα δίκτυα.

Οι παράγοντες αυτοί επιδρούν διαφορετικά στη συμπεριφορά κάθε υπηρεσίας ανάλογα το τύπο της, υποβαθμίζουν σημαντικά την εκπλήρωση του συστήματος διανομής πακέτων δεδομένων πολυμεσικού περιεχομένου και κατ' επέκταση συνολικά την εμπειρία του τελικού χρήστη. Οι υφιστάμενοι μηχανισμοί δικτύωσης σήμερα προσφέρουν ικανοποιητική εκπλήρωση σε θέματα συμφόρησης, αναδιανομής της κίνησης και διαχείριση πόρων για

ανακατανομή εύρους ζώνης καναλιών διανομής πακέτων δεδομένων, τόσο σε δίκτυα κορμού όσο και πρόσβασης ειδικά μέσω τη χρήσης του πρωτοκόλλου IPv6, επιλύοντας το πρόβλημα της παροχής και διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσίας στη στάθμη δικτύου (Network-layer QoS). Αντίστοιχα τα υφιστάμενα πρωτόκολλα σε ανώτερες στάθμες (π.χ. RTSP) ενώ εκμεταλλεύονται εν μέρει τις συνήθως εξασφαλισμένες συνθήκες ποιότητας της στάθμης δικτύου, εντούτοις παρουσιάζουν αξιοπρόσεκτες δυσκολίες στο να αφομοιώσουν αποδοτικά μεταβολές στις συνθήκες παράδοσης και παραμέτρους πρόσβασης ασύρματων καναλιών (π.χ. απότομη μείωση εύρους ζώνης ή αύξηση καθυστέρησης) αλλά και να προσαρμοστούν σε αυτές χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά η εμπειρία χρήστη. Με άλλα λόγια η εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας ανώτερης στάθμης ή στάθμης εφαρμογής (Application-layer QoS) μέσω των υφιστάμενων μηχανισμών διανομής και παράδοσης περιεχομένου, σε αρκετές περιπτώσεις αποδεικνύεται μη προφανής και μάλλον περίπλοκη παραμένοντας ακόμα και σήμερα ένα ενδιαφέρον πεδίο έρευνας στο χώρο των δικτυωμένων πολυμέσων (networked media).

Για τους παραπάνω λόγους, η συγκεκριμένη μελέτη μέσω διεξοδικής ανάλυσης προτείνει προηγμένες μεθόδους ελέγχου ποιότητας στις ανώτερες στάθμες εφαρμογής (συνεδρίας, παρουσίασης και εφαρμογής) οι οποίες ενσωματώνουν και λαμβάνουν υπόψη εκτός των αλγορίθμων και μηχανισμών παροχής ποιότητας της υπηρεσίας στο ασύρματο μέσο, και πληροφορία σχετικά με τη ποιότητα της εμπειρίας (Quality of Experience ή QoE) που αντιλαμβάνεται ο χρήστης ως μετρήσιμο μέγεθος που παρακολουθείται συνεχώς και αξιολογείται δυναμικά σε πραγματικό χρόνο το οποίο και επηρεάζει τις υφιστάμενες λειτουργίες προσαρμογής κατά τη διάρκεια της ίδιας συνεδρίας εφαρμογών.

Βάσει συγκεκριμένων απαιτήσεων, η παρούσα μελέτη αποσκοπεί μέσω κατάλληλης μεθοδολογίας να παράσχει ένα προηγμένο περιβάλλον διαχείρισης σε υφιστάμενα συστήματα διανομής και παράδοσης υπηρεσιών, μέσω δυναμικής αλληλεπίδρασης

συστήματος επικοινωνίας – χρήστη, όπου το σύστημα επικοινωνίας ως ολότητα είναι σε θέση να διαχειρίζεται ανεξάρτητα τους πόρους του τμηματικά ενώ ταυτόχρονα ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να παίρνει αποφάσεις για το επίπεδο της ποιότητας υπηρεσίας που επιθυμεί να απολαμβάνει για σε κάθε περίπτωση χρήσης και εμπειρίας εφαρμογής. Η επιλογή του χρήστη στηρίζεται σε κριτήρια εμπειρίας χρήσης (κατανάλωση περιεχομένου και χαρακτηριστικών της εφαρμογής που εκτελείται) και ποιότητας υπηρεσίας που αντικειμενικά «αντιλαμβάνεται» αλλά και σε οικονομικά κριτήρια (κοστολόγιο χρήσης του εκάστοτε επιπέδου ποιότητας που μπορεί δυναμικά να του παρέχει το σύστημα).

Το προτεινόμενο σύστημα είναι σε θέση να αυτό-διαχειρίζεται σε επίπεδο πόρων και εκπλήρωσης ώστε δυναμικά και κατ' απαίτηση (χρήστη, για υψηλότερη ποιότητα και απαιτήσεων εφαρμογής) να αναδιοργανώνεται και να προσαρμόζεται αυτόνομα σε κάθε αναγνωριζόμενη κατάσταση (προβληματική ή μη) δρώντας προληπτικά (proactive) ή αντιδραστικά (reactive) αναλόγως της περίπτωσης με τις ελάχιστες δυνατές συνέπειες για τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος. Προς αυτή τη κατεύθυνση η μελέτη εμβαθύνει σε σημαντικά θέματα σχεδίασης ενοποιημένης αρχιτεκτονικής, χαρακτηριστικά πρωτοκόλλων ποιότητας μεσαίων και ανώτερων σταθμών (network-, transport-, application-layer) και αλληλεπίδρασης μεταξύ αυτών, σε θέματα προηγμένης παρακολούθησης πόρων συστήματος ενώ προτείνει λύσεις μέσω επεκτάσεων υφιστάμενων πρωτοκόλλων ελέγχου ποιότητας εφαρμογής αλλά και σχεδίασης «έξυπνων» διεπαφών χρήστη που επιτρέπουν κατάλληλη αλληλεπίδραση για παροχή πληροφορίας ανάδρασης στο σύστημα ελέγχου ποιότητας και εμπειρίας.

Σε επιχειρησιακό επίπεδο η συγκεκριμένη μελέτη έχει σαν σκοπό να τεκμηριώσει, να αξιολογήσει αλλά και να καταδείξει στη πράξη τα οφέλη της εκμετάλλευσης ενός τέτοιου ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης για τον πάροχο ενοποιημένων πολλαπλών-υπηρεσιών τελευταίας γενιάς (multiple-play Service Provider) που επιθυμεί να επενδύσει σε

ενοποιημένα και καινοτόμα περιβάλλοντα πρόσβασης για τη διανομή και παράδοση προηγμένων εφαρμογών εμπλουτισμένου πολυμεσικού περιεχόμενου (rich media applications) σε τερματικά χρηστών τελευταίας γενιάς (π.χ. smartphones, tablets, κλπ).

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αποδεικνύουν ότι μέσω της εφαρμογής των προτεινόμενων λύσεων το υπό μελέτη σύστημα επιτυγχάνει τελικώς το επιθυμητό αποτέλεσμα δηλαδή να διατηρεί την ικανότητα υποστήριξης, με αυτόνομο και αρμονικό τρόπο, βέλτιστης δυνατής ποιότητας υπηρεσίας προσφέροντας μεγάλη ευελιξία τόσο σε επίπεδο πρόσβασης και παραμονής στην υπηρεσία όσο και διατήρησης συγκεκριμένων ορίων διακύμανσης στη παρεχόμενη ποιότητα διατηρώντας ικανοποιητικά επίπεδα εμπειρίας χρήστη. Αντίστοιχα βελτιωμένα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε θέματα κλιμακοσιμότητας (scalability) και σταθερότητας (stability) συστήματος σε σχέση με υφιστάμενες λύσεις μη δυναμικών συστημάτων, οι οποίες εξαρτώνται ισχυρά από τα χαρακτηριστικά κεντροποιημένων συστημάτων διαχείρισης ποιότητας υπηρεσίας (π.χ. MPLS), αποδεικνύοντας την εφαρμοσιμότητα των προτεινόμενων μηχανισμών σε συστήματα μεγάλης κλίμακας.

Λέξεις κλειδιά: ποιότητα της εμπειρίας, ποιότητα της υπηρεσίας, αυτονομία, πολυμεσικό περιεχόμενο, υπηρεσίες βίντεο, ετερογενή ασύρματα δίκτυα, επιχειρηματικά μοντέλα.

ABSTRACT

This thesis addresses the problem of next-generation multimedia content management and delivery over advanced heterogeneous wireless networks based on IPv6, while also satisfying the multiple and often diverse objective quality of service requirements set by the end user towards satisfying this overall viewing experience.

Specifically, the joint problem of quality of service provisioning and user experience optimization proves in practice multivariate, relying not only on dynamic resource allocation mechanisms of multiple delivery systems, enabling services and access and infrastructure communication networks, but also on the management of specialized quality evaluation parameters of each specific service delivered over an IPv6 network. Such complex environments should provide enhanced service quality and user experience optimized multimedia services, realizing advanced networking and content delivery functionalities, while also efficiently tackling common service deteriorating factors like packet loss, delay and jitter, especially over wireless networks.

Such influencing factors have multiple impact over each specific service depending on its type, significantly downgrading however, the overall efficacy of the complete delivery system and thus users' experience. Current state of the art communication and delivery mechanisms offer satisfactory gains over congestion issues, traffic rerouting and resource allocation both in IPv6-enabled wired and wireless networks, successfully mitigating the problem of efficient resource allocation and quality of service provisioning at the Network-layer. On the other hand, higher layer protocols like RTSP, while partially take advantage of the guaranteed network quality levels on wired networks, they fail to efficiently address rapid changes in the wireless medium, (e.g. sharp bandwidth reduction, increased latency), and thus proficiently adapting without affecting the overall user experience. Summarizing,

securing high quality of service levels on the application layer through existing content delivery protocols and mechanisms, proves to be not self-evident and often complex-enough, signifying a yet open research subject on the networked media environment.

Attempting to address the aforementioned issues, this thesis through exhausted analysis suggests advanced methodologies enabling quality of service management over upper application layers, which integrate not only efficient wireless resource allocation mechanisms, but also objective information related to users' overall quality of experience, which is dynamically and autonomically evaluated and processed in real-time, enabling the dynamic alteration and adaptation of the underlying resource allocation and content delivery mechanisms.

Taking into consideration specific requirements, this thesis aims at providing an enhanced content provisioning and delivery environment, which, through the dynamic user-system interaction, enables the system as a whole to independently manage its wireless resources and the user to individually decide on his service quality, satisfying his needs and requirements in any usage scenario case. Users' decisions are based on usage experience criteria (content consumption and service utilization characteristics), on the objectively perceived quality of service, as well as on economic aspects (system and service pricing).

The proposed system is capable of autonomically self-configuring and self-adopting to dynamic environmental changes or to user actions (requests for higher/lower service quality levels), acting either proactively or reactively imposing the minimum impact to the rest of the system. Towards this goal, the thesis closely examines unified autonomic architectural design issues, middle and higher level protocols and mechanisms (network-, transport-, application-layer) and their interconnections. It also proposes efficient solutions through protocol extensions and intuitive graphical user interfaces that facilitate effective interaction

and user feedback to the quality of service and experience through monitoring and control of systems.

On the business domain the thesis aims at documenting, evaluating and demonstrating the benefits of commercially exploiting such a complete system for any multiple-play Service Provider, that aims to invest on advanced integrated unified and innovative access environments, facilitating the delivery and provisioning on of rich media applications on high end terminals (e.g. smartphones, tablets, etc).

The provided results illustrate that through the adoption of the proposed solutions and mechanisms the integrated system under consideration achieves the expected behavior, providing advanced flexibility not only in service access and delivery, but also in maintaining the requested service quality levels thus optimizing users' experience. Respectively, results on system scalability and stability verify the applicability and efficacy of the proposed mechanisms, proving its independency of the system size.

Keywords: quality of experience, quality of service, autonomicity, multimedia content, video on demand, heterogeneous wireless networks, business models.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εμπιστοσύνη, η καθοδήγηση και η στήριξη που έλαβα από τον επιβλέποντα μου Ομότιμο Καθηγητή κο Εμμανουήλ Πρωτονοτάριο αποτέλεσαν τα σημαντικότερα εφόδια για την εκπόνηση και ολοκλήρωση των διδακτορικών σπουδών μου. Οι ανεκτίμητες εμπειρίες και γνώσεις που αποκόμισα δίπλα του με έκαναν πιο μεθοδικό, υπομονετικό και σίγουρα καλύτερο άνθρωπο. Για τους παραπάνω λόγους θα ήθελα να του εκφράσω τις από καρδιάς ευχαριστίες μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή κο Συμεών Παπαβασιλείου και την ομάδα του για την απεριόριστη υποστήριξη και παροχή τεχνογνωσίας όπως και την ευγενική φιλοξενία στα εργαστήρια του NETMODE για τη διεξαγωγή των πειραμάτων της μελέτης όλα αυτά τα χρόνια.

Τις πιο θερμές ευχαριστίες μου σε όλα τα παιδιά της ομάδας μου από το εργαστήριο, που για όλο αυτό το διάστημα συνεργάστηκαν μαζί μου σε όλα τα έργα, με ομαδικό πνεύμα και επικοινωνιακή διάθεση, για όλες τις ιδέες που μοιραστήκαμε και τη συνεχή υποστήριξή τους σε θέματα υλοποίησης, αξιολόγησης και εξαγωγής αποτελεσμάτων. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον φίλο και συνεργάτη Γεώργιο Αριστομενόπουλο για την συνολική συνεισφορά του στο ποιοτικό αποτέλεσμα της εν λόγω μελέτης και των δημοσιεύσεων.

Τέλος θα ήθελα από καρδιάς να εκφράσω την απεριόριστη ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, τους αξιαγάπητους γονείς μου, τη σύζυγο και το γιό μου, που με ανέχτηκαν και στάθηκαν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια, τους οφείλω αυτό που είμαι και φυσικά τους αφιερώνω αυτή τη διατριβή.

...ευχαριστώ το Θεό που με κρατά γερό και μου δίνει ακόμα δύναμη να φτάνω όλο και ψηλότερα...

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
1.1.	Αυτόνομη Υπολογιστική και Αυτόνομη Δικτύωση	22
1.2.	Δίκτυα νέας γενιάς και IPv6	25
1.3.	Τι σημαίνει «ποιότητα υπηρεσίας» και τι «εμπειρία χρήστη»	27
1.3.1.	Η Ποιότητα της Υπηρεσίας	27
1.3.2.	Η Ποιότητα της Εμπειρίας.....	28
1.3.3.	Χρηστικότητα και Εμπειρία Χρήστη	29
1.3.4.	Η συνύπαρξη των ΠτΥ και ΠτΕ.....	31
1.4.	Συμβολή της διατριβής	34
1.5.	Διάρθρωση της διατριβής.....	38
2.	Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΧΡΗΣΤΗ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	42
2.1.	Εισαγωγή	42
2.2.	Ανάλυση εννοιών.....	43
2.2.1.	Η έννοια της ποιότητας.....	43
2.2.2.	Εμπειρία του χρήστη	45
2.2.3.	Ποιότητα της υπηρεσίας	47
2.2.4.	Ποιότητα της εμπειρίας	48
2.2.5.	Σχέση ποιότητας της υπηρεσίας και ποιότητας της εμπειρίας	50
2.3.	Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της εμπειρίας	51
2.3.1.	Εξάρτηση από το χρήστη.....	52
2.3.2.	Εξάρτηση από τα χαρακτηριστικά και το περιεχόμενο της υπηρεσίας.....	53
2.3.3.	Εξάρτηση από τον τύπο της παρεχόμενης υπηρεσίας	54
2.3.4.	Εξάρτηση από το τερματικό που χρησιμοποιεί ο χρήστης.....	57
2.3.5.	Εξάρτηση από την ευρωστία του συστήματος	59
2.3.6.	Εξάρτηση από το βαθμό εξυπηρέτησης του χρήστη	61
2.3.7.	Εξάρτηση από τη πολιτική κοστολόγησης.....	63
2.4.	Προκλήσεις για την εξασφάλιση της από άκρη σε άκρη ποιότητα της εμπειρίας ..	66
2.4.1.	Μέτρηση της ποιότητας της εμπειρίας	67
2.4.2.	Έλεγχος και ανάδραση της ποιότητας της εμπειρίας	68
2.4.3.	Διάγνωση της ποιότητας της εμπειρίας	69

2.4.4. Διαχείριση της ποιότητας της εμπειρίας.....	70
2.5. Σχετικές εργασίες.....	71
2.5.1. Γενική κατηγοριοποίηση	71
2.5.2. Παροχή ποιότητας της εμπειρίας μέσα από τη βελτιστοποίηση της από άκρη σε άκρη Ποιότητας της Υπηρεσίας.....	72
2.5.3. Παροχή ΠτΕ μέσα από τη βελτιστοποίηση του MOS.....	74
2.5.4. Παροχή ΠτΕ μέσα από δυναμική προσαρμογή στη λειτουργία του δικτύου .	75
3. ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΤΥΠΟΥ IPV6.....	78
3.1. Εισαγωγή	78
3.2. Μοντέλο αυτόνομης δικτύωσης τύπου GANA	80
3.3. Αρχιτεκτονική λειτουργιών αυτόνομης δικτύωσης κατά GANA	83
4. ΑΥΤΟΝΟΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ	88
4.1. Εισαγωγή	88
4.2. Αυτόνομη παράδοση πολυμέσων	90
4.3. Αυτο-Διαχείριση και Διαλειτουργικότητα	94
4.4. Χαρακτηριστικά Αυτονομίας υπό το πρίσμα της παράδοσης πολυμέσων.....	96
4.5. Διαχείριση Υπηρεσίας βάσει GANA σε συνεχή ροή πολυμέσων	98
4.5.1. Απαιτήσεις.....	98
4.5.2. Προτεινόμενο πλαίσιο διαχείρισης υπηρεσίας	99
4.6. Συμπεράσματα.....	101
5. ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ.....	102
5.1. Εισαγωγή	102
5.2. Μηχανισμοί αυτόνομης παροχής ΠτΥ	105
5.2.1. Παροχή ΠτΥ σε κυψελωτά CDMA δίκτυα	107
5.2.2. Παροχή ΠτΥ σε τοπικά ασύρματα WLAN δίκτυα.....	108
5.2.3. Παροχή ΠτΥ σε πολυμεσικές υπηρεσίες συνεχούς ροής.....	108
5.3. Δυναμική Παροχή Ποιότητας της Εμπειρίας	109
5.3.1. Αλγόριθμος Παροχής ΠτΕ.....	112
5.4. Παροχή ΠτΕ στην Αρχιτεκτονική GANA.....	113
5.5. Αριθμητικά Αποτελέσματα.....	116

5.6. Συμπεράσματα	121
6. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ	123
6.1. Εισαγωγή	123
6.2. Τεχνικές προδιαγραφές.....	124
6.3. Επεξήγηση της εφαρμογής	129
6.4. Αναλύοντας τη συμπεριφορά πραγματικών χρηστών	138
6.4.1. Επίδραση των περιβαλλοντικών και ψυχολογικών παραμέτρων στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα.....	139
6.4.2. Επίδραση της κίνησης αντικειμένων του βίντεο στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα	143
6.4.3. Επίδραση των διαφόρων σχημάτων (οικονομικής) αποτίμησης στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα.....	144
6.4.4. Υποκειμενική βαθμολόγηση ποιότητας βίντεο	146
6.5. Επιλέγοντας ποιότητες βίντεο συνεχούς ροής.....	148
7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΧΡΗΣΤΗ (DUE)	150
7.1. Εισαγωγή	150
7.2. Χαρακτηριστικά πειραματικού περιβάλλοντος.....	150
7.3. Πειραματικά αποτελέσματα	154
7.3.1. ΣΕΝΑΡΙΟ #1: Επιβεβαίωση Λειτουργίας και Λειτουργικότητας.....	154
7.3.2. ΣΕΝΑΡΙΟ #2: Υποστήριξη Ετερογενών Δικτύων	156
7.3.3. ΣΕΝΑΡΙΟ #3: Επιβάλλοντας πολιτικές ανάθεσης.....	158
7.4. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα	162
8. ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΧΡΗΣΤΗ	163
8.1. Εισαγωγή	163
8.2. Αρχιτεκτονική Πειραματικής Αξιολόγησης.....	164
8.3. Σχεδιασμός Εφαρμογής	168
8.3.1. Πολυμεσικό Περιεχόμενο και Σχήματα Κωδικοποίησης.....	169
8.3.2. Μοναδικότητα των Χρηστών	171
8.3.3. Δυναμική Αναπροσαρμογή Πολυμεσικού Περιεχομένου Συνεχούς Ροής.....	171
8.3.4. Διακομιστής Πολυμεσικού Περιεχομένου	174

8.3.5.	Λειτουργία του πρόσθετου ΠτΕ στην εφαρμογή	180
8.3.6.	Θέματα Επιχειρησιακών Μοντέλων	182
8.3.7.	Σχόλια και Απόψεις Χρηστών	183
8.4.	Επεξήγηση της Εφαρμογής.....	185
8.5.	Παρουσιάζοντας τα Οφέλη της Δυναμικής Αναπροσαρμογής ΠτΕ	190
8.6.	Αξιολόγηση Δυναμικής Αναπροσαρμογής Ποιότητας από Πραγματικούς Χρήστες 191	
8.6.1.	Διαδικασία Εκτέλεσης Δοκιμασίας	192
8.6.2.	Επαλήθευση Αποτελεσμάτων Χρηστών	194
9.	ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	202
9.1.	Εισαγωγή	202
9.2.	Στοιχεία Αγοράς Στόχου.....	202
9.2.1.	Σύνοψη αγοράς διασυνδεδεμένου βίντεο (Online Video Market)	203
9.2.2.	Σύνοψη αγοράς ηλεκτρονικής διαφήμισης μέσω διασυνδεδεμένου βίντεο (online video advertising).....	209
9.3.	Επιχειρησιακή Προοπτική	211
9.3.1.	Επιχειρησιακοί Παίχτες και Συμφεροντούχοι	212
9.3.2.	Επιχειρησιακές Απαιτήσεις και Οφέλη	214
9.3.3.	Ο Ρόλος της Ποιότητας στη Βιομηχανία Διασυνδεδεμένου Βίντεο	216
9.3.4.	Υλοποίηση Διαφήμισης μέσω Διασυνδεδεμένου Βίντεο	222
9.4.	Προτεινόμενα Επιχειρησιακά Μοντέλα	227
9.5.	Επιχειρησιακή Επαλήθευση – Ανάπτυξη Προϊόντος πλαισίου ΠτΕ.....	229
9.5.1.	Πλαίσιο ΠτΕ ως μέρος πλατφόρμας κινητού κατ’ απαίτηση βίντεο (VoD) ..	231
9.5.2.	Πλαίσιο ΠτΕ ολοκληρωμένο με πλατφόρμα παροχής βίντεο πάνω από IMS	233
9.5.3.	Πλαίσιο ΠτΕ ολοκληρωμένο με πλατφόρμα παροχής βίντεο διαφήμισης.....	235
9.5.4.	Επεκτάσεις πλαισίου δυναμικής ΠτΕ και πλαίσιο-ενήμερη υπηρεσία	237
10.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	239
11.	ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ.....	246
12.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	250

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Βρόχος ελέγχου αυτόνομου συστήματος (μακροσκοπικά και μικροσκοπικά) ..	24
Εικόνα 2. Αρχές υλοποίησης εφαρμογών και υπηρεσιών επικεντρωμένες στο χρήστη	31
Εικόνα 3. Γενική αυτόνομη αρχιτεκτονική παροχής πολυμεσικών εφαρμογών	37
Εικόνα 4: Χαρακτηριστικά της ποιότητας σύμφωνα με το μοντέλο ISO 9126	45
Εικόνα 5: Η έννοια της ποιότητας της εμπειρίας	50
Εικόνα 6: Χαρακτηριστικά προϊόντος/υπηρεσίας που επηρεάζουν την ποιότητα εμπειρίας	54
Εικόνα 7: Τεχνολογίες δικτύων επόμενης γενιάς (NGN).....	67
Εικόνα 8: Εξασφάλιση ΠτΕ μέσω της δυναμικής προσαρμογής του δικτύου [49]	75
Εικόνα 9. Γενικό μοντέλο ενός αφαιρετικού συστήματος αυτόνομης δικτύωσης	81
Εικόνα 10: Ιεραρχικές, ομότιμες-συγγενικές σχέσεις και διεπαφές μοντέλου GANA	82
Εικόνα 11: Μοντέλο διεπαφών DE σύμφωνα με τις αρχές σχεδίασης GANA (πηγή [58])	84
Εικόνα 12. GANA μοντέλο διεπαφών ME βάσει μοντέλου DE (πηγή [58]).....	86
Εικόνα 13. Αρχιτεκτονική κόμβου GANA με προσθήκη επεκτάσεων για αυτόνομη Διαχείριση Υπηρεσίας	95
Εικόνα 14: Οικοσύστημα Διαχείρισης Υπηρεσίας στη GANA	100
Εικόνα 15: Παραδείγματα συναρτήσεων χρησιμότητας ως προς το εύρος ζώνης.....	103
Εικόνα 16: Παροχή Ποιότητας της Εμπειρίας στην αρχιτεκτονική GANA.....	115
Εικόνα 17: Επιτυχανόμενος ρυθμός λήψης περιεχομένου των χρηστών 16, 17, και 18	119
Εικόνα 18: Συνολικός ρυθμός εκπομπής δεδομένων της κυψέλης	120
Εικόνα 19: Μέσος ωφέλιμος ρυθμός λήψης δεδομένων των χρηστών	121
Εικόνα 20: Ηλιολούλουδο – Τύπος 1: μικρή κινούμενη περιοχή σε στατικό υπόβαθρο	125
Εικόνα 21: Τοπίο – Τύπος 2: κλιπ ευρείας γωνίας	126
Εικόνα 22: Πλήθος που τρέχει – Τύπος 3: γρήγορη κίνηση.....	126
Εικόνα 23: Πέταγμα παπιών – Μείξη τύπων 2-3	126
Εικόνα 24: Ασπίδες – Μείξη τύπων 1-2.....	127
Εικόνα 25: Οθόνη Καλωσορίσματος.....	129
Εικόνα 26: Συνοπτικό εγχειρίδιο λειτουργικότητας – Σκοπός και διαγωνισμός.....	130
Εικόνα 27: Συνοπτικό εγχειρίδιο – Επεξήγηση Περιβάλλοντος	130
Εικόνα 28: Συνοπτικό εγχειρίδιο – Δυναμική Αλλαγή Ποιότητας.....	131

Εικόνα 29: Συνοπτικό εγχειρίδιο – Βαθμολόγηση και Τιμολόγηση	131
Εικόνα 30: Στιγμιότυπο πληροφορίας πλαισίου λειτουργίας της εφαρμογής.....	132
Εικόνα 31: Αναπαραγωγή βίντεο: Επί-πληρωμή	135
Εικόνα 32: Αναπαραγωγή βίντεο: Ελεύθερη με διαφημίσεις.....	135
Εικόνα 33: Οθόνη βαθμολόγησης ποιότητας βίντεο	136
Εικόνα 34: Τελικό Ερωτηματολόγιο – Βαθμολόγηση μενού ΠτΕ.....	137
Εικόνα 35: Τελικό Ερωτηματολόγιο – Τιμολόγηση και Διαγωνισμός.....	137
Εικόνα 36: Επίδραση τύπου σύνδεσης στην αντίληψη ποιότητας του χρήστη	140
Εικόνα 37: Επίδραση του θορύβου περιβάλλοντος στην αντίληψη ποιότητας του χρήστη	141
Εικόνα 38: Επίδραση του ενδιαφέροντος ως προς το περιεχόμενο στην αντίληψη ποιότητας του χρήστη.....	142
Εικόνα 39: Επίδραση περιβαλλοντικών και ψυχολογικών παραμέτρων στην αντίληψη ποιότητας από τους χρήστες.....	143
Εικόνα 40: Επίδραση κίνησης (αντικειμένων) βίντεο στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα.....	144
Εικόνα 41: Επίδραση των σχημάτων οικονομικής αποτίμησης (monetization) στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα (Α)	145
Εικόνα 42: Επίδραση των σχημάτων οικονομικής αποτίμησης (monetization) στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα (Β).....	146
Εικόνα 43: Υποκειμενική βαθμολόγηση ποιότητας βίντεο από τους χρήστες.....	147
Εικόνα 44: Αναλογία βαθμολόγησης χρηστών και bitrate βίντεο.....	148
Εικόνα 45: Περιβάλλον εξομοίωσης λειτουργιών δικτύου PlanetLab	151
Εικόνα 46: Ακολουθιακό διάγραμμα ΠτΕ-ετήμερης δυναμικής παροχής υπηρεσίας	153
Εικόνα 47: Σενάριο #1: Δυναμική ανάθεση πόρων με βάση την ΠτΕ.....	156
Εικόνα 48: ΣΕΝΑΡΙΟ #2: Υποστήριξη ετερογενούς δικτύου.....	158
Εικόνα 49: ΣΕΝΑΡΙΟ #3: Επιβάλλοντας πολιτικές ανάθεσης πόρων	160
Εικόνα 50: Παροχή ποιότητας εμπειρίας μέσω της μεθοδολογίας ΜΧΔ.....	165
Εικόνα 51: Αρχιτεκτονική VELTI mGage	175
Εικόνα 52: Ροή Αίτησης/Παράδοσης Περιεχομένου mGage.....	176
Εικόνα 53: Σύστημα Διαχείρισης Πόρων Περιεχομένου mGage.....	178
Εικόνα 54: Μηχανή Κωδικοποίησης mGage	179
Εικόνα 55: Βάση Δεδομένων mGage	180
Εικόνα 56: Συνολική Εμπειρία Χρήστη στις δύο εκδόσεις εφαρμογής TEFIS.....	195

Εικόνα 57: Μέση βαθμολόγηση ανά χρήστη προβεβλημένου και μη περιεχόμενου βίντεο	197
Εικόνα 58: Γνώμη χρηστών για τη χειροκίνητη (αριστερά) και αυτόματη (δεξιά) προσαρμογή ποιότητας.....	199
Εικόνα 59: Γνώμη χρηστών στο πρόσθετο χαρακτηριστικό της εφαρμογής Video Pro..	200
Εικόνα 60: Εκτίμηση διακύμανσης ετήσιας δαπάνης για διαφήμιση μεταξύ 2013 και 2019	204
Εικόνα 61: Αύξηση κινητού βίντεο	207
Εικόνα 62: Κατανομή χρόνου προβολής ανά είδος διασυνδεδεμένης συσκευής [88].....	208
Εικόνα 63: Εκτιμώμενα έσοδα από διαφήμιση σε online βίντεο [90].....	210
Εικόνα 64: Γενικό σχήμα αλληλεπίδρασης συμφεροντούχων πολυμέσων	214
Εικόνα 65: Βαθμολογίες και προτιμήσεις γραφικής διεπαφής χρήστη	215
Εικόνα 66: Συμφεροντούχοι και Αλυσίδα Αξίας βίντεο με Ποιότητα.....	219
Εικόνα 67: Διάκριση μεταξύ διαφορετικών ειδών βίντεο [91]	223
Εικόνα 68: Διαφήμιση μέσω βίντεο & διαχωρισμός οντοτήτων στη χοάνη αγοράς.....	225
Εικόνα 69: Σύγκριση μεταξύ διαφημίσεων online και τηλεόρασης [95]	226

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Εισαχθέντα DE σύμφωνα με την αρχιτεκτονική GANA.....	116
Πίνακας 2. Προδιαγραφές Συστήματος.....	125
Πίνακας 3. Παράμετροι κωδικοποίησης βίντεο	128
Πίνακας 4. Σύνοψη των πειραματικών παραμέτρων.....	138
Πίνακας 5. ΣΕΝΑΡΙΟ #1: Συμπεριφορά χρηστών.....	155
Πίνακας 6. ΣΕΝΑΡΙΟ #2: Συμπεριφορά χρηστών.....	157
Πίνακας 7. ΣΕΝΑΡΙΟ #3: Συμπεριφορά χρηστών.....	159

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξελικτική πορεία των μηχανισμών παροχής και παράδοσης υπηρεσιών πολυμεσικού περιεχομένου σε κινητούς και ασύρματους κόμβους έχει επηρεαστεί σημαντικά κατά την πάροδο των χρόνων από τρεις βασικούς παράγοντες λειτουργίας του δικτύου. Συγκεκριμένα, από το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών του δικτύου, τον τρόπο με τον οποίο αυτές οργανώνονται και διαλειτουργούν, και τα κριτήρια που η εκάστοτε χρησιμοποιούμενη υπηρεσία πρέπει να καλύπτει.

Στη συγκεκριμένη διατριβή ενεργούμε υπό το πρίσμα των τελευταίων εξελίξεων που προτάσσουν τη χρήση πρωτοκόλλου IPv6 για την από άκρη σε άκρη (end-to-end) επικοινωνία μεταξύ συσκευών και την ενσωμάτωση διαδικασιών αυτό-οργάνωσης και αυτό-βελτιστοποίησης των λειτουργιών τους, με απώτερο στόχο την ικανοποίηση των κριτηρίων ποιότητας που θέτουν οι χρήστες για τις υπηρεσίες τους.

Συνεπώς, το θεμελιώδες ερώτημα που προσπαθούμε να επιλύσουμε εδώ συνοψίζεται στην εύρεση, ανάλυση, υλοποίηση και αξιολόγηση των μηχανισμών και τεχνικών που επιτρέπουν την μεγιστοποίηση των υποκειμενικών κριτηρίων ποιότητας της λαμβανόμενης από το χρήστη υπηρεσίας πολυμεσικού περιεχομένου σε αυτό-οργανούμενα δίκτυα IPv6.

Στα επόμενα περιγράφονται μεμονωμένα τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και λειτουργίες των βασικών δομικών εννοιών και στοιχείων του μοντέλου μας, με πρωταρχικό στόχο να αναγνωρισθεί και σκιαγραφηθεί το συνολικό περιβάλλον εργασίας, ώστε στη συνέχεια να γίνει επικέντρωση στην περαιτέρω θεώρηση του συστήματος.

1.1. Αυτόνομη Υπολογιστική και Αυτόνομη Δικτύωση

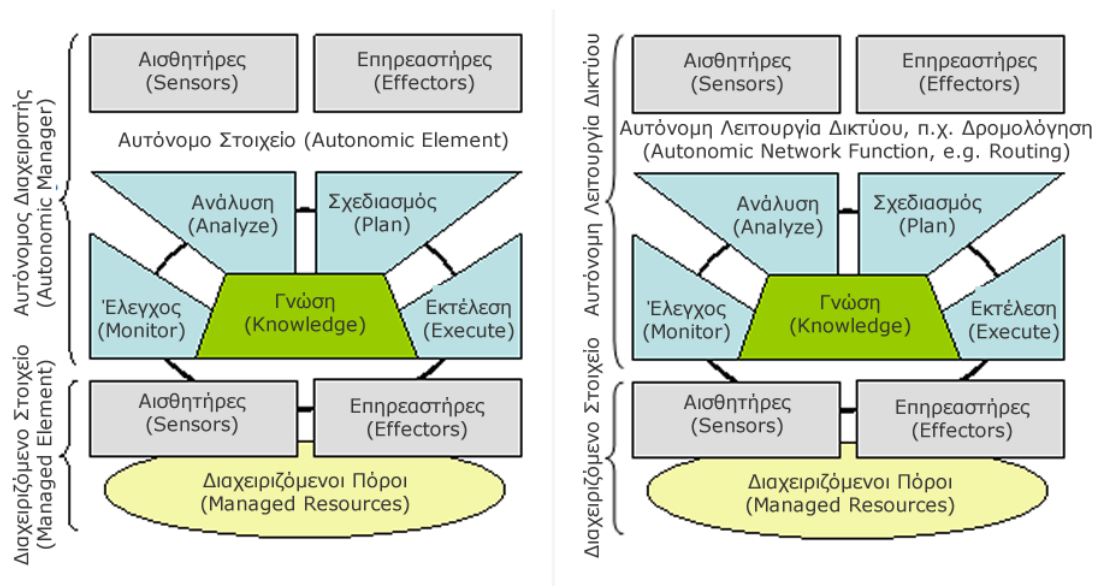
Σύμφωνα με τις αναφορές [1] και [2] η αυτόνομη υπολογιστική (autonomic computing) αποτελεί σήμερα ανεξάρτητο και εξειδικευμένο επιστημονικό χώρο της πληροφορικής και γενικότερα της υψηλής τεχνολογίας, με απώτερο σκοπό τη προσφορά υπηρεσιών προηγμένης λειτουργικότητας σε μία συνήθη υπολογιστική υποδομή. Πιο συγκεκριμένα το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των επιμέρους προηγμένων υπηρεσιών είναι ότι προσφέρουν κυρίως αυτοματοποιημένη διαχείριση των υπολογιστικών πόρων συμπεριλαμβανομένου χαρακτηριστικά και λειτουργίες όπως αυτο-διαμόρφωση (self-configuration), αυτο-βελτιστοποίηση (self-optimization), αυτό-επούλωση (self-healing) και αυτό-προστασία (self-protection).

Η αναζήτηση λοιπόν χώρου για αυτο-διαχειριζόμενα και αυτο-οργανούμενα δίκτυα ή αλλιώς αυτόνομα δίκτυα απαιτεί τη συνολική επανεξέταση των ισχύων δικτυακών μοντέλων και αρχιτεκτονικών, χωρίζοντας με αυτό τον τρόπο την ακαδημαϊκή και ερευνητική κοινότητα σε δύο στρατόπεδα. Αυτούς που θεωρούν τη «δικτυακή εξέλιξη» (network evolution) ως το μέσο για την αυτό-διαχείριση των δικτύων, και αυτούς που θεωρούν τη προσέγγιση «δικτυακός επαναπροσδιορισμός / νέα αρχή» (network revolution/clean-state) ως το μέσο για την αυτό-διαχείριση των δικτύων. Σε κάθε περίπτωση είναι ασφαλές να τονίσουμε πως η αυτονομία είναι το βασικό μέσο για την αυτό-διαχείριση των δικτύων, θεμελιώδης θεώρηση που θα στηρίξει το σύνολο της μελέτης μας.

Το επιδιωκόμενο συνεπώς είναι η εφαρμογή των βασικών αρχών αυτόνομης διαχείρισης με σκοπό την εξασφάλιση της παράδοσης τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών σε δίκτυα IP το οποίο αποτελεί μέχρι και σήμερα πεδίο εκτεταμένης έρευνας. Στη συνέχεια της παρούσας μελέτης αρκετές φορές θα συνοψίσουμε τις προαναφερθείσες αρχές με τον όρο «αυτό-διαχειριζόμενες» (self-managed ή self-management) ιδιότητες ή αναλυτικά θα αναφέρονται

σαν «**Αυτό-X**» όπου ο μπαλαντέρ **X** θα συμβολίζει μία εκ των συνθετικών όπως παραπάνω (-διαμόρφωση, -βελτιστοποίηση, κλπ).

Επιστρέφοντας στο αρχικό πρόβλημα αντιμετώπισης της ολοένα αυξανόμενης πολυπλοκότητας του συστήματος (δίκτυα και υπηρεσίες που διανέμονται και παρέχονται μέσω αυτών) η επέκταση της αυτόνομης υπολογιστικής στα δίκτυα δεδομένων ονομάζεται αυτόνομη δικτύωση (autonomic networking) και καλείται να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τις εν λόγω πολυπλοκότητες των μηχανισμών διαχείρισης οι οποίες υπό τις παρούσες συνθήκες καθίσταται από πολύ δύσκολες έως αδύνατες να αντιμετωπιστούν από τον ανθρώπινο παράγοντα δηλ. εξειδικευμένο προσωπικό (π.χ. μηχανικούς δικτύων και συστημάτων). Ο όρος «αυτονομία» ή autonomies δεν αναφέρεται μόνο στις αυτο-X βασικές λειτουργίες οι οποίες συμβάλλουν στο να απαλλαγεί το προσωπικό διατήρησης δικτύου από τέτοια βάρη αλλά έχει να κάνει επίσης με την υλοποίηση αυτό-X λειτουργιών συγκεκριμένου σκοπού. Τέτοιες λειτουργίες εγγυώνται αποτελεσματικά τη παροχή αυτό-προσαρμογής (self-adaptability) σε περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση του πλαισίου χρήσης μίας υπηρεσίας (context) ή σε εφαρμογές τύπου επίγνωσης πλαισίου χρήσης υπηρεσίας (context-awareness) οι οποίες στηρίζονται σε αλλαγές συμπεριφοράς της υπηρεσίας βάσει κατάστασης (situation driven) ή όπου λαμβάνεται υπόψη το ιστορικό παρελθοντικών αποφάσεων ή καταστάσεων κατά την διαδικασία λήψης μιας νέας επικείμενης αυτόνομης απόφασης. Βασικό στοιχείο κάθε μορφής αυτόνομης λειτουργίας ή συμπεριφοράς είναι ο επονομαζόμενος **βρόχου ελέγχου** (control loop ή CL) ο οποίος απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα στη γενική του μορφή.



(α) Μακροσκοπική έννοια του βρόχου ελέγχου για διαδικτυακό κόμβο (β) Μικροσκοπική έννοια σχετιζόμενη με δικτυακή λειτουργία (π.χ. δρομολόγηση)

Εικόνα 1. Βρόχος ελέγχου αυτόνομου συστήματος (μακροσκοπικά και μικροσκοπικά)

Στη προκειμένη περίπτωση ο βρόχος ελέγχου CL εμφανίζεται είτε μακροσκοπικά σαν ένας δικτυακός κόμβος (network node), σαν ολόκληρη οντότητα (σχήμα αριστερά), είτε μικροσκοπικά σαν μία αυτο-X λειτουργία (σχήμα δεξιά). Η αναφορά [1] παρέχει περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τον πλήρη ορισμό της έννοιας του βρόχου ελέγχου στην αυτόνομη δικτύωση κατά Strassner.

Στη συνέχεια της μελέτης οι έννοιες «αυτονομία» και «αυτόνομη συμπεριφορά» θεωρούνται ταυτόσημες και πάντοτε συνυφασμένες με τη παρουσία κάποιου είδους βρόχου ελέγχου κάπου στο σύστημα είτε με τη μορφή ενός συνιστώντος μέρους (component) είτε με τη μορφή λογικής ενός συγκεκριμένης λειτουργικής περιοχής (π.χ. μία λειτουργία δρομολόγησης), κλπ. Η βασική φιλοσοφία είναι ότι οποιοσδήποτε βρόχος ελέγχου επιδρά πάνω σε μία υφιστάμενη λειτουργία είτε μικροσκοπικά (π.χ. πρωτόκολλο) είτε μακροσκοπικά (δικτυακός κόμβος ή δίκτυο σαν όλο) ή ακόμα και μικρο-μακροσκοπικά (π.χ. δρομολόγηση) όταν πρέπει το σύστημα να λάβει αυτόνομα αποφάσεις για την εξέλιξη της

εν λόγω λειτουργίας. Η διαδικασία λήψης αυτόνομης απόφασης εξαρτάται από πληροφορία που λαμβάνεται δυναμικά από το σύστημα κατά τη διάρκεια των βασικών λειτουργιών: παρακολούθηση (monitoring), ανάλυση (analyze), σχεδιασμός (planning) και εκτέλεση (execution).

1.2. Δίκτυα νέας γενιάς και IPv6

Τα τελευταία χρόνια και πιο συγκεκριμένα μετά τη πλήρη και επιτυχή ενσωμάτωση των κλασικών τεχνολογιών κυκλωματο-μεταγωγής (circuit switched) σε κινητά και δίκτυα όπως GSM, CDMA, κλπ. σε ευρεία κλίμακα τόσο σε επίπεδο δικτύου κορμού (core network) όσο και δικτύου πρόσβασης (access network) το ενδιαφέρον των φορέων παροχής και εκμετάλλευσης υπηρεσιών επικοινωνίας (operators) στρέφεται πλέον ολοένα και αυξανόμενα σε λύσεις απανταχού διαδικτυακού πρωτοκόλλου (all-IP) ή συγκεκλιμένων (converged) δικτύων και υποδομών επομένης γενιάς (NGNs ή Next Generation Networks).

Με την άφιξη καινοτόμων υπηρεσιών και εφαρμογών όπως VoIP (Voice over IP) αλλά και ολοκληρωμένων συστημάτων όπως IMS (IP Multimedia Subsystem), DiffServ/MPLS, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) που εφαρμόζουν κωδικοποιήσιμες δικτυώσεις (programmable networking) καθώς και άλλων συναφών καινοτόμων τεχνολογιών η ανάγκη αυτή έγινε ακόμα πιο επιτακτική αποδεικνύοντας επιπλέον και στη πράξη την ανάγκη για στροφή από τη χρήση του πρωτοκόλλου Ίντερνετ έκδοσης 4 (IPv4) σε αυτό έκδοσης 6 (IPv6) αποκλειστικά και όχι υβριδικά ή συνδυαστικά (IPv6 over IPv4). Προς αυτή τη κατεύθυνση συνέτεινε επίσης το γεγονός ότι μετά το τέλος της περασμένη δεκαετίας ('90) τα δίκτυα δεδομένων πρωτοκόλλου Ίντερνετ (IP networks) μεγάλωσαν δραματικά τόσο σε μέγεθος (αριθμός διευθύνσεων) όσο και σε λειτουργίες και εξελίσσονται πλέον σε μία καθολική υποδομή υπηρεσιών επικοινωνίας.

Επιπρόσθετα η συνεχής εξέλιξη των δικτύων Ίντερνετ αλλά και των προσφερόμενων υπηρεσιών μέσα από αυτά δημιουργεί αυξανόμενες απαιτήσεις για έλεγχο και διαχείριση αυξάνοντας ουσιαστικά τη πολυπλοκότητά τους κάνοντας προφανή την ανάγκη για εισαγωγή αυτοματοποιημένων λειτουργιών με την ελάχιστη δυνατή ανθρώπινη παρέμβαση. Με άλλα λόγια σε ένα τέτοιο εξελιγμένο περιβάλλον η εκάστοτε δημιουργία και διαχείριση οποιουδήποτε τύπου υπηρεσίας βασισμένη στο πρωτόκολλο IP πρέπει να κάνει αποτελεσματική χρήση των πόρων του συστήματος με ένα κλιμακοθετίσιμο (scalable), ευέλικτο και αυτόματο τρόπο. Ίσως το πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα στο σημείο αυτό είναι η υπηρεσία παροχής πολυμεσικού περιεχομένου η οποία εμφανίζεται πολύ ευαίσθητη σε συγκεκριμένες δικτυακές παραμέτρους ή μετρικές εκπλήρωσης (π.χ. καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων) και για το λόγο αυτό η υποστήριξή της σε εξελιγμένα δίκτυα IP επιβάλλει τη χρήση αυτοματοποιημένων τρόπων διαχείρισης πόρων συστήματος που εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας. Μόνο με τη χρήση αυτοματοποιημένων μηχανισμών διαχείρισης πόρων και κυρίως παραμέτρων ποιότητας του συστήματος διανομής των υφιστάμενων υπηρεσιών είναι δυνατό σε επιχειρησιακό επίπεδο να μειωθεί ο χρόνος εισαγωγής τους στην αγορά (time-to-market), να μειωθούν σημαντικά τα κόστη υλοποίησης, λειτουργίας και συνολικής επένδυσης για τους παρόχους (service providers ή SPs), κρίσιμοι παράγοντες οι οποίοι θα επιτρέψουν τη σχεδίαση ενός νέου αποτελεσματικού και βιώσιμου πλαισίου παράδοσης (delivery) υπηρεσιών στο τελικό χρήστη.

Ωστόσο, μόνον η αυτόνομη διαχείριση των παραμέτρων ποιότητας του συστήματος διανομής δεν είναι ικανή να εγγυηθεί τη συνολική αποδοχή της υπηρεσίας από το χρήστη. Είναι αναγκαίο το νέο αυτό πλαίσιο παράδοσης πολυμεσικών υπηρεσιών να ενσωματώνει, αξιολογεί και βελτιστοποιεί τη προσφερόμενη υπηρεσία σε ολόκληρη τη διαδρομή της από τη πηγή μέχρι το τερματικό του χρήστη. Αυτό υπονοεί όχι μόνον την ανάπτυξη μηχανισμών

διαχείρισης και εξασφάλισης της ποιότητας υπηρεσίας, αλλά κυρίως τη δημιουργία μηχανισμών που θα διασφαλίζουν την εκπλήρωση των υποκειμενικών κριτηρίων ποιότητας υπηρεσίας ή αλλιώς ποιότητας εμπειρίας που εισάγει ο χρήστης όπως υποκειμενικά (objectively) αξιολογούνται από αυτόν.

1.3. Τι σημαίνει «ποιότητα υπηρεσίας» και τι «εμπειρία χρήστη»

1.3.1. Η Ποιότητα της Υπηρεσίας

Η ITU (International Telecommunications Union) στην αναφορά ITU-Recommendation E.800 [3] όρισε το 2008 την Ποιότητα της Υπηρεσίας ΠτΥ (Quality of Service – QoS) ως:

«Η πληρότητα των χαρακτηριστικών μίας τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας η οποία φέρει σε πέρας την ικανότητά της να υποστηρίζει ρητές αλλά και σιωπηρές απαιτήσεις του χρήστη της υπηρεσίας».

Παρόλο που ο ορισμός κατά ITU αναφέρεται στην ικανοποίηση του χρήστη και σκιαγραφεί την υποκειμενικότητα που εισάγεται, ο ορισμός της έχει καθιερωθεί να περιορίζεται στο βαθμό τον οποίο τα χαρακτηριστικά μιας παρεχόμενης υπηρεσίας ανταποκρίνονται σε προκαθορισμένες απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αυτές χαρακτηρίζονται από τρεις γενικές μετρικές επίδοσης, οι οποίες είναι:

- **Λειτουργικότητα της υπηρεσίας**, δηλαδή, η ευκολία με την οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπηρεσία, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών του τερματικού εξοπλισμού, την ευκρίνεια των μηνυμάτων, κλπ .;
- **Αποδοτικότητα της υπηρεσίας**, δηλαδή η ικανότητα μιας υπηρεσίας να παραμένει για όσο διάστημα απαιτείται μέσα στα προδιαγεγραμμένα όρια των χαρακτηριστικών της.

- **Αποτελεσματικότητα της υπηρεσίας**, ο βαθμός στον οποίο παρέχεται η υπηρεσία, χωρίς σοβαρές βλάβες, άπαξ και ενεργοποιηθεί.

Τα παραπάνω αναλύονται σε πολλαπλές μετρικές απόδοσης, όπως δικτυακή καθυστέρηση (network delay) ή απώλεια πακέτων (packet loss) ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας και τις ανάγκες του χρήστη. Για παράδειγμα, άλλες μετρήσεις περιλαμβάνουν το χρόνο που απαιτείται για την εκπλήρωση μίας διεργασίας επικοινωνίας (ως μέτρο αποδοτικότητας) και την ακρίβεια με την οποία μία διεργασία ολοκληρώνεται (μέτρο αποτελεσματικότητας).

1.3.2. Η Ποιότητα της Εμπειρίας

Η έννοια της Ποιότητας της Εμπειρίας ΠτΕ (Quality of Experience - QoE) τυγχάνει αυξανόμενης προσοχής τα τελευταία χρόνια και συνδέεται απευθείας με την εμπειρία χρήστη κατά τη διάρκεια χρήσης μιας υπηρεσίας ή εφαρμογής που βασίζει τη λειτουργία της σε αυτή την υπηρεσία. Λόγω του ότι η έννοια της ΠτΕ είναι σχετικά νέα και συνεχώς εξελισσόμενη μπορεί να βρει κανείς διάφορες ερμηνείες και ορισμούς αυτής στη διεθνή βιβλιογραφία.

Ο ορισμός της ΠτΕ κατά ITU-T [4] είναι:

«Η συνολική – υποκειμενική και αντικειμενική - αποδοχή μιας εφαρμογής ή υπηρεσίας, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τον τελικό χρήστη»

Ωστόσο ένας πιο ευκρινής και αναλυτικός ορισμός από την κοινότητα του EU NoE Qualinet [5] ορίζει την ΠτΕ ως

«το βαθμό της απόλαυσης ή ενόχλησης του χρήστη μιας εφαρμογής ή υπηρεσίας. Αποτελεί συνδυασμό της εκπλήρωσης των προσδοκιών του σε σχέση με τη χρησιμότητα ή / και την

απόλαυση της εφαρμογής ή της υπηρεσίας υπό το φως της προσωπικότητας του χρήστη και τη τρέχουσα κατάσταση του. Στο πλαίσιο των υπηρεσιών επικοινωνίας, η ΠτΕ επηρεάζεται από την υπηρεσία, το περιεχόμενο, το δίκτυο, τη συσκευή, την εφαρμογή, και το πλαίσιο χρήσης".

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ΠτΕ λαμβάνει υπόψη τόσο τις τεχνικές παραμέτρους (ΠτΥ), όσο και τις μεταβλητές του περιβάλλοντος χρήσης, και αξιολογεί τόσο τη διαδικασία όσο και τα αποτελέσματα της επικοινωνίας (π.χ. αποτελεσματικότητα υπηρεσίας, την αποδοτικότητα, την ικανοποίηση και την απόλαυση).

1.3.3. Χρηστικότητα και Εμπειρία Χρήστη

Από προγενέστερα και στη διάρκεια των προηγούμενων δεκαετιών 1980 και 1990 η πλειονότητα των χρηστικο-κεντρικών μελετών είχαν επικεντρωθεί στην έννοια της χρηστικότητας (usability) των πληροφοριακο-επικοινωνιακών συστημάτων (ICT) ως κριτήριο αξιολόγησης για το κατά πόσο ένα προϊόν το οποίο χρησιμοποιείται από συγκεκριμένους χρήστες επιτυγχάνει συγκεκριμένους στόχους αποτελεσματικότητας, απόδοσης και ικανοποίησης μέσα σε ένα προκαθορισμένο πλαίσιο χρήσης του.

Ειδικότερα τα τελευταία χρόνια η χρήση των πληροφοριακο-επικοινωνιακών συστημάτων (ICT) έχει επεκταθεί από τους επαγγελματικούς χώρους εργασίας στους ιδιωτικούς χώρους (οικίες) χρηστών υποστηρίζοντας ακόμη και εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στον ελεύθερο χρόνο του χρήστη (π.χ. μέσα ηλεκτρονικής κοινωνικής δικτύωσης) επιπρόσθετα της εργασίας του. Συνεπώς το πεδίο ενδιαφέροντος σε ότι αφορά την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή (human-computer interaction) έχει πλέον μετατοπιστεί από θέματα αποτελεσματικότητας και αποδοτικότητας συστημάτων σε ζητήματα εμπειρίας χρήστη όπως ικανοποίηση, απολαυστικότητα (enjoyment), δέσμευση

(engagement) αλλά και έφεση για χρήση και απόκτηση ICT υπηρεσιών και αντίστοιχων προϊόντων.

Παρόλο που μεγάλη έκταση της μελέτης σε θέματα εμπειρίας χρήστη αφιερώνεται στη σχέση του ίδιου του χρήστη με υπολογιστικές εφαρμογές (computer application), υπάρχει διάχυτη η ανάγκη να μελετηθούν και αξιολογηθούν οι επιπτώσεις της χρηστικο-κεντρικής θεώρησης των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Οι τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες είναι παρόμοιες με τις υπολογιστικές εφαρμογές υπό την έννοια ότι προϋποθέτουν την ύπαρξη χρηστών οι οποίοι αλληλεπιδρούν με συσκευές και εφαρμογές μέσω διεπαφών υλικού και λογισμικού. Επιπρόσθετα όμως με τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες οι χρήστες επιδιώκουν να επικοινωνούν με άλλους χρήστες που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση. Αυτή η επικοινωνία γίνεται είτε απευθείας προς άλλους χρήστες μέσω κάποιας τεχνολογίας πρόσβασης (π.χ. τηλέφωνο ή βιντεοκάμερα) ή προϋποθέτει αλληλεπίδραση με μηχανή παρά με άνθρωπο (π.χ. για πρόσβαση σε διαδικτυακό περιεχόμενο, για τη παρακολούθηση βίντεο από μια διαδικτυακή κάμερα).

Επομένως στο πλαίσιο αυτό ορίζονται δύο είδους επικοινωνίες: (α) αμφίδρομη επικοινωνία άτομο-προς-άτομο (two way person-to-person communication) και (β) μονόδρομη επικοινωνία άτομο-προς-μηχανή (one way person-to-machine communication). Η πρώτη αναφέρεται στην κλασσική επικοινωνία (π.χ. μέσω τηλεφώνου ή βιντεοκάμερας) ενώ η δεύτερη αναφέρεται σε αλληλεπίδραση με μία υπηρεσία με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τα οποία όποτε διαφοροποιηθούν έχουν απευθείας επίπτωση στη συμπεριφορά του χρήστη. Για παράδειγμα, η καθυστέρηση (delay) μεταξύ της άφιξης ακουστικής (audio) και οπτικής (video) πληροφορίας μπορεί να έχει σαν συνέπεια την υστέρηση του χρονισμού των χειλιών ενός ομιλητή όπως γίνεται αντιληπτή από τον ακροατή. Χαρακτηριστικά όπως οπτικο-ακουστική ασynchρονία (audio-video asynchrony), καθυστέρηση μετάδοσης (transmission delay), ρυθμός βιντεο-πλασιού (video frame rate)

και ανάλυση (resolution) έχουν άμεση θετική ή αρνητική επίδραση στη ποιότητα επικοινωνίας και είναι άμεσα συνδεδεμένα με τη ΠτΕ του χρήστη.

Όπως επεξηγείται παρακάτω παρόλο που η ΠτΥ προσδίδει μία κυρίως τεχνολογικο-κεντρική προσέγγιση στην έννοια της ποιότητας επικοινωνίας, η ΠτΕ εμπειρίας αποτελεί τη χρηστικο-κεντρική προσέγγιση της ολοκληρωμένης ικανοποίησης του χρήστη (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Αρχές υλοποίησης εφαρμογών και υπηρεσιών επικεντρωμένες στο χρήστη

1.3.4. Η συνύπαρξη των ΠτΥ και ΠτΕ

Σύμφωνα με τα παραπάνω η ΠτΥ χρησιμοποιείται επί μακρόν, μεταξύ κυρίως των παρόχων υπηρεσιών (service providers), φορέων λειτουργίας δικτύων (network operators) και κατασκευαστών εξοπλισμού (vendors), με ευρεία αποδοχή και κοινή κατανόηση. Η χρησιμότητα της ΠτΥ βασίστηκε στη περιγραφή θεμάτων τεχνικής εκπλήρωσης και απόδοσης (είναι κυρίως τεχνολογικο-κεντρική) σε αντίθεση με τη ΠτΕ η οποία βασίζεται στην συμπεριφορά του τελικού χρήστη (είναι χρηστικο-κεντρική).

Αποτελεί γενική παραδοχή ότι η λειτουργία συστήματος βασισμένη στη ΠτΥ θεωρείται κρίσιμη αλλά όχι επαρκής για τη μέτρηση της εμπειρίας χρήστη ή διαφορετικά *οι έννοιες ΠτΥ και ΠτΕ είναι και οι δύο πολύ σημαντικές αλλά και δύο απόλυτα διακριτές έννοιες.*

Ο Wu et al. [6] προσδιόρισαν την ΠτΕ στο επίπεδο χρήστη, όπου τοποθετείται πάνω από τα επίπεδα πρωτοκόλλου, συστήματος και εφαρμογής, με το καθένα να εξαρτάται από τις δικές του μετρικές απόδοσης. Ως εκ τούτου, μετρικές ΠτΥ επίπεδου εφαρμογής μετρικές (π.χ., ρυθμός αναπαραγωγής καρέ βίντεο, ανταπόκριση κλπ.) επηρεάζονται από την ΠτΥ του δικτύου και του συστήματος, και άρα μεταβάλλουν άμεσα την ΠτΕ, σημειώνοντας ωστόσο ότι η ΠτΕ δεν μπορεί να συναχθεί μόνο από μετρήσεις ΠτΥ. Εντούτοις, ο στόχος της μεγιστοποίησης της ΠτΕ των χρηστών αν και ιδανικός, δεν είναι εύκολος και άμεσος στην πράξη. Για παράδειγμα, ενώ υπάρχει μια προφανής σχέση μεταξύ της απώλειας πακέτων και της ΠτΕ [7], καθώς και της καθυστέρησης και του τρέμουλου (jitter) με την ΠτΕ [8], οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι δεν μπορεί να υπάρξει σαφής αντιστοίχιση λόγω της πολυπλοκότητας της συμπίεσης και παράδοσης των υπηρεσιών. Επιπλέον, η εργασία στο [9] δείχνει ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ ΠτΥ και ΠτΕ αλλά μάλλον μια εκθετική εξάρτηση ιδιαίτερα σχετιζόμενη με τον τύπο των δεδομένων και του περιεχομένου.

Γενικότερα οι προγενέστερες ερευνητικές μελέτες με στόχο την παροχή ΠτΕ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε:

Α) *Από άκρο-σε άκρο ΠτΥ (End-2-End QoS)*, όπου η ΠτΕ εφαρμόζεται με ένα σετ μονάδων αναφοράς και διαχείρισης ΠτΥ που εγκαθίστανται στα τερματικά των χρηστών και εσωτερικά στον δικτυακό εξοπλισμό διευκολύνοντας την μεγιστοποίηση της ΠτΕ ξεχωριστά σε κάθε υποδίκτυο [10]-[11]. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με χρήση ενός υπερκείμενου Peer-to-Peer (P2P) δικτύου που εξασφαλίζει την εξισορρόπηση φόρτου [12], ή με τη δημιουργία πολλαπλών σετ βέλτιστων και μη κανόνων διαμόρφωσης δικτύου που σχηματίζουν ένα Μονοπάτι Εκφυλισμού Υπηρεσίας (Media Degradation Path - MDP), και

εφαρμόζονται αναλόγως επιτρέποντας την ελεγχόμενη προσαρμογή της υπηρεσίας, εξασφαλίζοντας βέλτιστη χρησιμοποίηση σε δυναμικές καταστάσεις [13].

Β) *Αντιστοιχιζόμενη ΠτΕ (Mapping-based QoE)*, όπου η ΠτΕ εφαρμόζεται με την αντιστοίχιση υποκειμενικών απόψεων χρηστών της αντιλαμβανόμενης ΠτΥ (με έναν κανονικοποιημένο τρόπο, π.χ. Mean Opinion Score - MOS) με συγκεκριμένες μετρικές δικτύου, βασιζόμενο σε υπάρχουσες τεχνικές παροχής ΠτΥ (προληπτική μέθοδος) [14]-[15]-[16].

Γ) *Δυναμική ΠτΕ (Dynamic QoE)*, όπου η ΠτΕ επιτυγχάνεται μέσω της δυναμικής μετατροπής της λειτουργίας και απόδοσης του δικτύου, σύμφωνα με τεχνικές αυτό-βελτιστοποίησης του δικτύου [17], ή με τεχνικές δυναμικής παροχής πόρων [18], ή με τεχνικές άμεσης ανάδρασης από το τερματικό του χρήστη [19]-[20] και Δ) *ΠτΕ με σημεία αναφοράς (Benchmarking QoE)*, όπου η ΠτΕ χρησιμοποιείται αντιστρόφως ώστε να αξιολογήσει τους μηχανισμούς παροχής πόρων [21]-[22].

Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η εμπειρία ποιότητας είναι άμεσα συνδεδεμένη με διάφορες υποκειμενικές μετρικές, συμπεριλαμβανομένων και ψυχολογικών παραγόντων όπως η διάθεση, η σημαντικότητα του περιεχομένου προς το χρήστη, ο θόρυβος κτλ. Αυτό υπονοεί πως κανένας αυτόματος μηχανισμός, ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα και ευελιξία του, δεν είναι ικανός να αντιμετωπίσει τόσο αόριστους και συχνά αλληλοσυγκρουόμενους παράγοντες, ειδικότερα εάν θεωρήσουμε την ύπαρξη ενός κινητού περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, η παρουσία οπτικών παραγόντων σε συνδυασμό με την ανθρώπινη ομιλία επιτρέπει στους ανθρώπους μεγαλύτερη ανοχή σε παρεμβολές, σε σχέση την απουσία τους [23]. Αυτό όχι μόνο υπογραμμίζει τη σημασία και σημαντικότητα της ΠτΕ, αλλά τονίζει επίσης την υποκειμενικότητα που εισάγεται στην αξιολόγηση συστημάτων, δικτύων και αρχιτεκτονικών.

Προς την κατεύθυνση αυτή, διάφορες ερευνητικές προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί σε off-line μεθόδους δίνοντας έμφαση στον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τη ΠτΕ, τη μέτρηση και την αξιολόγηση των αντίστοιχων επιπέδων ΠτΕ και στη συνέχεια, την αντιστοίχιση τους σε συγκεκριμένες μετρικές του δικτύου. Μία τυπική μετρική χρήση που σχετίζεται με τη μέτρηση ΠτΕ είναι η Μέση Βαθμολόγηση της Κοινής Γνώμης (Mean Opinion Score - MOS) [24], η οποία καθορίζεται σε γενικές γραμμές από την υποκειμενική (subjective) βαθμολόγηση του εν λόγω περιεχομένου από πραγματικούς χρήστες. Δεδομένου πως οι υποκειμενικές μεθοδολογίες αξιολόγησης της ποιότητας είναι χρονοβόρες και δαπανηρές, αντίστοιχα πολλές αντικειμενικές μέθοδοι έχουν επινοηθεί με σκοπό την παροχή εκτιμήσεων ποιότητας [25]. Ωστόσο, οι εκτιμήσεις που βασίζονται αποκλειστικά σε μετρήσεις, όπως για παράδειγμα στο λόγο σήματος προς θόρυβο (PSNR), δεν συσχετίζονται απόλυτα με την αντιληπτή ποιότητα, π.χ., στην περίπτωση αξιολόγησης της ποιότητας βίντεο, λόγω της μη γραμμικής συμπεριφοράς του ανθρώπινου οπτικού συστήματος.

1.4. Συμβολή της διατριβής

Σε αυτή τη διατριβή, μελετώντας διεξοδικά την υποστήριξη ΠτΕ και ΠτΥ σε εμπλουτισμένο πολυμεσικό περιεχόμενο, προσπαθούμε να ξεφύγουμε από τα στενά όρια της επιστήμης μηχανολογίας δικτύων και να στηριχθούμε πάνω στη μοναδικότητα και την υποκειμενικότητα των χρηστών. Επομένως μέσω ανάλυσης, πειραματισμών και τεκμηρίωσης αναζητούμε κατάλληλες λύσεις που απαντούν στα ακόλουθα ερωτήματα:

α) Πως θα παρασχεθεί και εξασφαλιστεί η ΠτΕ σε αυτόνομα κινητά και ασύρματα δίκτυα επόμενης γενιάς.

Εκμεταλλεούμενοι την αυτόνομη αρχιτεκτονική GANA (Generic Autonomic Network Architecture) αναπτύχθηκαν αυτόνομοι μέθοδοι παροχής ΠτΕ σε ασύρματα δίκτυα νέας γενιάς. Οι μηχανισμοί αυτοί βασίζονται πάνω σε ένα γενικευμένο μαθηματικό πλαίσιο συναρτήσεων χρησιμότητας και επιτρέπουν την αυτόνομη δυναμική μετατροπή των χαρακτηριστικών τους, επιτρέποντας όχι μόνο τη μεγιστοποίηση των κριτηρίων ΠτΕ του χρήστη, αλλά και τη βελτιστοποίηση του συνολικού ασύρματου δικτύου.

β) Πώς να αντιστοιχηθεί αποδοτικά η ΠτΕ σε ΠτΥ.

Υλοποιήθηκε μία Android εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα ικανή να συλλέγει την συμπεριφορά των χρηστών σε σχέση με τη λαμβανόμενη υποκειμενική αντίληψη της ποιότητας και των κινήτρων τους. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν δημιούργησαν γνώση και επίγνωση αναφορικά με τον τρόπο που ψυχολογικοί και παράγοντες περιβάλλοντος επηρεάζουν την αντίληψη της ποιότητας στους χρήστες, ενώ ταυτόχρονα καθιέρωσαν μία αποτελεσματική και συμπαγή αντιστοίχιση μεταξύ της αντίληψης της ποιότητας πολυμεσικών εφαρμογών από κινητούς χρήστες και τις υποκείμενες μετρικές και χαρακτηριστικά απόδοσης της εφαρμογής. Επιπλέον, τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό κατάλληλων συναρτήσεων χρησιμότητας για πολυμεσικό περιεχόμενο λαμβάνοντας υπόψη τη ΠτΕ.

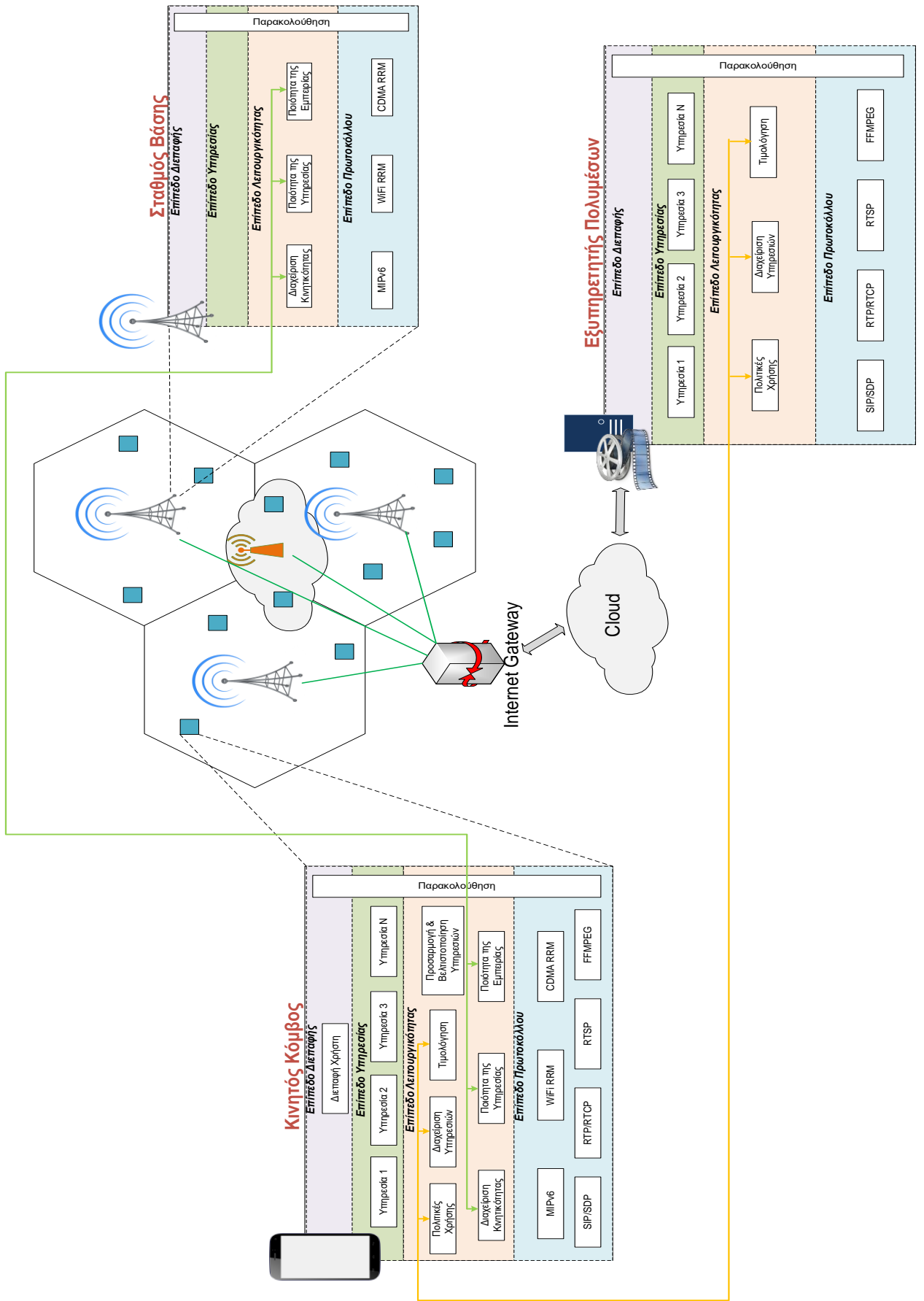
γ) Πως θα αποτιμηθεί και αξιολογηθεί το προτεινόμενο δυναμικό πλαίσιο παροχής ΠτΕ.

Πειράματα με πραγματικούς χρήστες από τα Botnia Living Labs στη Σουηδία και χρήστες του ΕΜΠ έλαβαν χώρα ώστε να αναγνωριστούν και αξιολογηθούν οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την ΠτΕ σε υπηρεσίες πολυμεσικού περιεχομένου. Επίσης χρησιμοποιώντας την δικτυακή υποδομή του περιβάλλοντος PlanetLab, σε μελέτες και πειράματα μεγάλης κλίμακας αποδείχθηκε στη πράξη η επιτευξιμότητα και κλιμακοθετησιμότητα του προτεινόμενου μηχανισμού.

δ) Πως θα αξιοποιηθεί επιχειρησιακά η προτεινόμενη λύση στην υφιστάμενη αγοράς κινητής τηλεφωνίας και πολυμέσων.

Στα πλαίσια αυτού έγινε ανάπτυξη των επιχειρησιακών πτυχών της προτεινόμενης λύσης με σκοπό την άμεση εκμετάλλευση και υιοθέτηση αυτής στην υφιστάμενη και μελλοντική αγορά κινητής τηλεφωνίας και πολυμέσων. Για το σκοπό αυτό και υιοθετώντας πλήρως τις αρχές του κατακερματισμένου μοντέλου αγοράς (fragmented model), μελετήθηκαν οι πιο σημαντικές επιχειρησιακές απαιτήσεις, αναγνωρίστηκαν οι κύριοι συμφεροντούχοι (stakeholders) και τα αναμενόμενα οφέλη αυτών κατά περίπτωση, ακολουθώντας ένα χρηστο-κεντρικό (user-centric) μοντέλο προσέγγισης σε πλήρη συμφωνία με τις εμπειρίες που αποκτήθηκαν από την υλοποίηση του προτύπου κινητής εφαρμογής. Τέλος αναπτύχθηκε ένα πλήθος επιχειρησιακών μοντέλων τα οποία και προτείνονται στους δυνητικούς συμφεροντούχους με σκοπό την απευθείας εκμετάλλευση της λύσης συνολικά βάσει συγκεκριμένων πολιτικών χρήσης, τιμολόγησης και διασφάλισης αξίας.

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται η συνοπτική αρχιτεκτονική θεώρηση του υπό εξέταση συστήματος. Η γενικότερη έρευνα μας περιορίζεται στην ανάπτυξη μηχανισμών και τεχνικών στο επίπεδο λειτουργικότητας, αξίζει ωστόσο να τονίσουμε πως οι προτεινόμενοι μηχανισμοί δεν επηρεάζουν τη λειτουργία των εκάστοτε υφιστάμενων πρωτοκόλλων αλλά δρουν επικουρικά, σε υψηλότερο επίπεδο οργανώνοντας και βελτιστοποιώντας τη λειτουργία τους.



Εικόνα 3. Γενική αυτόνομη αρχιτεκτονική παροχής πολυμεσικών εφαρμογών

1.5. Διάρθρωση της διατριβής

Το υπόλοιπο της παρούσας μελέτης δομείται ως εξής.

Στο κεφάλαιο 2, παρατίθενται αναλυτικά οι ορισμοί, φορμαλιστικοί αλλά και διαισθητικοί, των βασικών εννοιών γύρω από την ΠτΥ και τη ΠτΕ, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στους παράγοντες που επηρεάζουν τη ΠτΕ αλλά και τις προκλήσεις που εισάγονται στο πρόβλημα της εξασφάλισης ΠτΥ σε πολυμεσικές εφαρμογές. Επιπλέον, παρουσιάζεται μια εκτεταμένη βιβλιογραφική αναφορά επιστημονικών ερευνών που μελετούν το πρόβλημα, τονίζοντας την σημαντικότητα του θέματος, αλλά και αναδεικνύοντας τα ανοιχτά ερευνητικά θέματα.

Το κεφάλαιο 3 περιγράφει συνοπτικά τις βασικές έννοιες και χαρακτηριστικά του γενικευμένου πλαισίου αυτόνομης αρχιτεκτονικής GANA, ένα προτυποποιημένο μοντέλο αυτόνομης δικτύωσης που θέτει τις βάσεις για τον καθορισμό του προτεινόμενου αυτόνομου πλαισίου παροχής ποιότητας της εμπειρίας τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και εφαρμογής.

Το κεφάλαιο 4 μελετά το πρόβλημα της παράδοσης πολυμέσων μέσω αυτόνομων εφαρμογών παροχής πολυμεσικού περιεχομένου. Αρχικά παρουσιάζονται όλα εκείνα τα δομικά στοιχεία – πρωτόκολλα και λειτουργίες - που συνθέτουν την παροχή πολυμεσικών εφαρμογών στο δίκτυο και μέχρι το τερματικό τελικού χρήστη. Στη συνέχεια αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά αυτονομίας που επιτρέπουν τη δημιουργία αυτό-διαχειριζόμενων και διαλειτουργικών μηχανισμών παροχής πολυμεσικού περιεχομένου, διατυπώνοντας τελικώς τις απαιτήσεις αλλά και το προτεινόμενο πλαίσιο διαχείρισης υπηρεσιών συνεχής ροής πολυμέσων πλήρως συμβατό με την αυτόνομη αρχιτεκτονική GANA.

Το κεφάλαιο 5 διαπραγματεύεται το πρόβλημα της αυτόνομης παροχής ΠτΕ στο επίπεδο δικτύου επικεντρωνόμενο σε ετερογενή ασύρματα δίκτυα νέας και επόμενης γενιάς. Πιο συγκεκριμένα αναλύεται αρχικά το γενικό πρόβλημα περιγράφοντας τη συνολική λύση και

τονίζοντας την άμεση σχέση του με το πρόβλημα της παροχής ΠτΥ. Επιπλέον περιγράφονται συνοπτικά λύσεις της βιβλιογραφίας για τη μοντελοποίηση υπηρεσιών συνεχούς ροής δεδομένων καθώς και διασφάλιση της ΠτΥ σε κυβελωτά και τοπικά ασύρματα δίκτυα που θα χρησιμοποιηθούν από το προτεινόμενο πλαίσιο αυτόνομης παροχής ΠτΕ. Στη συνέχεια περιγράφεται ο προτεινόμενος μηχανισμός και ο αντίστοιχος αλγόριθμος δυναμικής παροχής ΠτΕ, καθώς και πως αυτός ενσωματώνεται πλήρως στην αυτόνομη γενικευμένη αρχιτεκτονική GANA. Τέλος για την επαλήθευση του προτεινόμενου μηχανισμού παρουσιάζονται οι σχετικές προσομοιώσεις και αριθμητικά αποτελέσματα που αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητά του.

Στο κεφάλαιο 6 μελετώνται και προτείνονται μηχανισμοί που επιτυγχάνουν την αποδοτική αντιστοίχιση και απεικόνιση της ΠτΕ σε συναρτήσεις χρησιμότητας. Συγκεκριμένα περιγράφεται η λειτουργία μιας Android εφαρμογής, ικανή να συλλέγει την συμπεριφορά των χρηστών σε σχέση με την λαμβανόμενη υποκειμενική αντίληψη της ποιότητας και των κινήτρων τους. Τα δεδομένα που συλλέγονται στη συνέχεια αναλύονται και δημιουργούν γνώση και επίγνωση αναφορικά με τον τρόπο που ψυχολογικοί και παράγοντες περιβάλλοντος επηρεάζουν την αντίληψη της ποιότητας στους χρήστες, ενώ ταυτόχρονα καθιερώνουν μία αποτελεσματική και συμπαγής αντιστοίχιση μεταξύ της αντίληψης της ποιότητας πολυμεσικών εφαρμογών από κινητούς χρήστες και τις υποκείμενες μετρικές και χαρακτηριστικά απόδοσης της εφαρμογής. Τέλος, σε συνδυασμό με την ανάλυση του κεφαλαίου 5, επιτυγχάνεται ο ορισμός των κατάλληλων συναρτήσεων χρησιμότητας για πολυμεσικό περιεχόμενο, ολοκληρώνοντας τη περιγραφή και διατύπωση του συνολικού προτεινόμενου πλαισίου παροχής δυναμικής εμπειρίας χρήστη.

Στο κεφάλαιο 7 παρατίθεται η πειραματική επαλήθευση του προτεινόμενου πλαισίου δυναμικής εμπειρίας χρήστη πάνω από ολοκληρωμένο ετερογενές ασύρματο δικτυακό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα αξιοποιώντας όλη την αποκτηθείσα γνώση και υποδομή του

εργαστηρίου Planetlab εκτελούμε πειράματα μεγάλης κλίμακας εξομοιώνοντας και προσομοιώνοντας στοιχεία ενός ετερογενούς ασύρματου δικτύου ενώ αποφαινόμεστε περί θεμάτων αποτελεσματικότητας, εφαρμοσιμότητας, κλιμακοθετησιμότητας και σταθερότητας της προτεινόμενης λύσης.

Το κεφάλαιο 8 ολοκληρώνει την επαλήθευση του προτεινόμενου πλαισίου από πραγματικούς χρήστες μέσω μιας κινητής εφαρμογής προβολής πολυμεσικού περιεχομένου πραγματικού χρόνου που ενσωματώνει δυνατότητες ικανοποίησης κριτηρίων ΠτΕ. Συγκεκριμένα, η υλοποιηθείσα κινητή εφαρμογή βασιζόμενη στις τρέχουσες τεχνολογίες και διεθνή πρότυπα ενσωματώνει το προτεινόμενο πλαίσιο παροχής δυναμικής ΠτΕ σαν μία επιπρόσθετη μονάδα, παρέχοντας νέες δυνατότητες προβολής και θέασης περιεχομένου. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά όλα τα χαρακτηριστικά αρχιτεκτονικής και σχεδιασμού της εφαρμογής, αναδεικνύοντας τα οφέλη χρήσης της, ενώ στο τέλος παρατίθενται τα αποτελέσματα αξιολόγησης από πραγματικούς χρήστες των Botnia Living Labs της Σουηδίας και φοιτητών του ΕΜΠ που αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου πλαισίου.

Το κεφάλαιο 9 καταγράφει θέματα επιχειρησιακής αξιοποίησης της προτεινόμενης λύσης στη τρέχουσα αγορά κινητών πολυμέσων. Παρέχει μια αναλυτική καταγραφή του επιχειρηματικού περιβάλλοντος μέσω ανάλυσης επιχειρησιακών απαιτήσεων σε χρηστοκεντρικό μοντέλο δραστηριοποίησης ενώ ταυτόχρονα αναλύει τα αναμενόμενα οφέλη και τα προνόμια των συμφεροντούχων στο κατακερματισμένο μοντέλο αγοράς. Τέλος, αναπτύσσονται επιχειρησιακά μοντέλα στο διατεινόμενο μοντέλο αγοράς για την απευθείας εκμετάλλευσης της λύσης συνολικά βάσει συγκεκριμένων πολιτικών χρήσης, τιμολόγησης και διασφάλισης αξίας.

Τέλος, το κεφάλαιο 10 συνοψίζει το σύνολο της διατριβής, επιχειρηματολογώντας για τη σπουδαιότητα του εξεταζόμενου ερευνητικού προβλήματος και των μεθόδων που

επιλέχτηκαν για την επίλυση τους, ενώ παράλληλα παραθέτει συγκεντρωμένα τα κύρια συμπεράσματα που ανέκυψαν. Προτείνονται επίσης ανοιχτά ερευνητικά θέματα για μελλοντική εργασία εκμεταλλευόμενα την αποκτημένη γνώση προκειμένου να την εφαρμόσουν σε νέους τομείς και δραστηριότητες.

2. Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΧΡΗΣΤΗ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

2.1. Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή περιγράφουμε αναλυτικά τις έννοιες της ΠτΥ και ΠτΕ σε συστήματα επικοινωνίας, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στη σχέση ανάμεσά τους. Επί πλέον γίνεται αναφορά στους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ΠτΕ και αναφέρονται οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές των δικτύων για να παρέχουν όσο το δυνατό υψηλότερο επίπεδο ΠτΕ στα σύγχρονα ετερογενή ασύρματα δίκτυα.

Στη συνέχεια, οδηγούμενοι προς τον κεντρικό στόχο του σχεδιασμού ενός ευέλικτου αυτόνομου μηχανισμού παροχής ΠτΕ, αναλύουμε πληθώρα ερευνητικών εργασιών που εστίασαν στο πρόβλημα παροχής ΠτΕ κατά το παρελθόν. Οι εργασίες αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά εργασίες που επιχειρούν να παρέχουν υψηλό επίπεδο ΠτΕ μέσα από τη βελτιστοποίηση της απ' άκρη σε άκρη ποιότητας της υπηρεσίας.

Τα παραπάνω όχι μόνο θα επιτρέψουν μία βαθύτερη κατανόηση του προβλήματος αλλά και θα καταδείξουν την ανάγκη για εισαγωγή αυτόνομων μηχανισμών διαχείρισης, ελέγχου ποιότητας και εμπειρίας χρήστη βελτιστοποιώντας τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων μηχανισμών ΠτΥ.

2.2. Ανάλυση εννοιών

2.2.1. Η έννοια της ποιότητας

Η ποιότητα ορίζεται στο [26] ως «το σύνολο των χαρακτηριστικών μιας ολότητας που έχει την ικανότητα να ικανοποιήσει τόσο τις ανάγκες που ο χρήστης δηλώνει (stated) όσο και αυτές που υπαινίσσονται (implied)». Στο [27] η ποιότητα ορίζεται ως μια αξία για ένα συγκεκριμένο πρόσωπο. Αυτός ο ορισμός τονίζει την υποκειμενικότητα στην έννοια της ποιότητας. Σημαίνει ότι ο κάθε άνθρωπος θα αντιληφθεί διαφορετικά την ποιότητα ενός συγκεκριμένου προϊόντος [28]. Επίσης, στο [29] η ποιότητα ορίζεται ως μια «πολύπλοκη και πολυδιάστατη έννοια» που γίνεται αντιληπτή μέσα από πέντε οπτικές γωνίες:

- Έχει υπερβατική έννοια. Αυτό σημαίνει ότι η ποιότητα είναι κάτι που μπορεί να αναγνωριστεί αλλά δεν μπορεί να οριστεί επακριβώς.
- Από την πλευρά του χρήστη, η ποιότητα ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας γίνεται αντιληπτή μέσα από την καταλληλότητα χρήστης του-της.
- Από την πλευρά των κατασκευαστών, η ποιότητα ορίζεται μέσα από τη συμμόρφωση του προϊόντος ή της υπηρεσίας στις σχεδιαστικές απαιτήσεις.
- Σχετικά με τα προϊόντα, η ποιότητα ενός προϊόντος αξιολογείται με βάση τα εγγενή χαρακτηριστικά του.
- Από οικονομική άποψη, η ποιότητα ορίζεται με βάση την αξία που δίνει ο χρήστης στο προϊόν δηλαδή εξαρτάται από το αν ο πελάτης προθυμοποιείται να πληρώσει για το προϊόν ή την υπηρεσία.

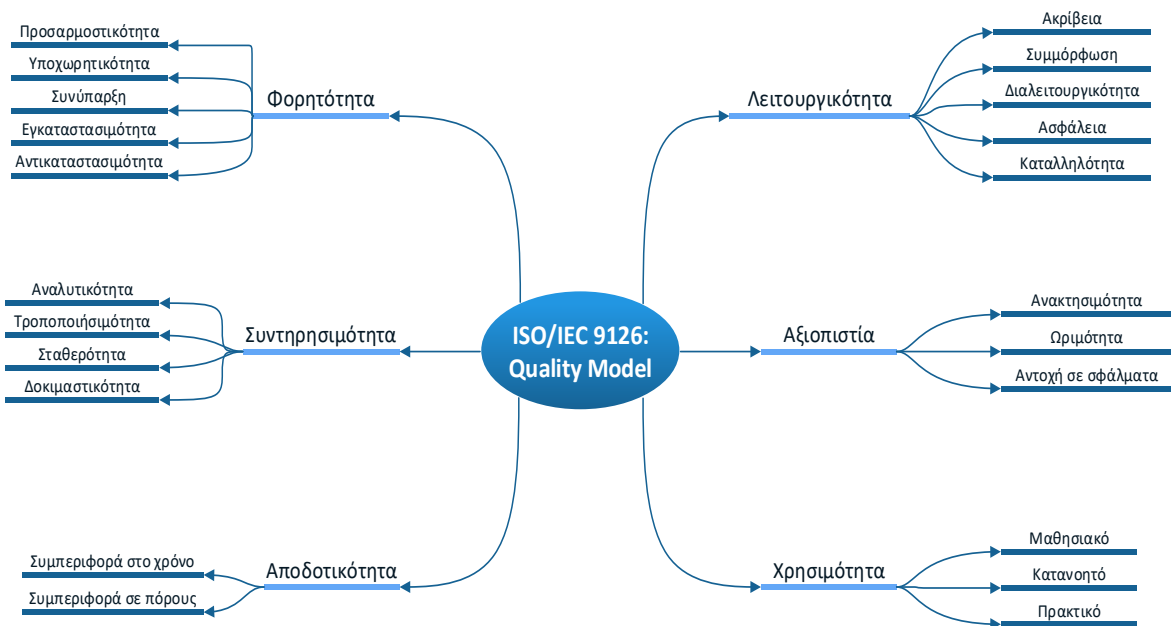
Η ποιότητα ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, σύμφωνα με το πρότυπο ISO [30], εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Συνοπτικά αναφέρονται ως εξής:

- Η ποιότητα εξαρτάται από τη λειτουργικότητα του προϊόντος ή της υπηρεσίας, δηλαδή το σύνολο των χαρακτηριστικών που σχετίζεται με την ύπαρξη συναρτήσεων οι οποίες

εκφράζουν τις ανάγκες των χρηστών. Η λειτουργικότητα περιλαμβάνει και άλλα χαρακτηριστικά όπως την ακρίβεια, τη διαλειτουργικότητα, την ασφάλεια και την καταλληλότητα του προϊόντος ή της υπηρεσίας.

- Η ποιότητα εξαρτάται από την αξιοπιστία του προϊόντος ή της υπηρεσίας. Αξιοπιστία είναι το σύνολο των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την ικανότητα του προϊόντος να διατηρεί το επίπεδο απόδοσης υπό συγκεκριμένες συνθήκες ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η αξιοπιστία περιλαμβάνει επίσης τη δυνατότητα ανάκτησης και την ανοχή σε σφάλματα.
- Η ποιότητα εξαρτάται από τη χρηστικότητα του προϊόντος, δηλαδή το σύνολο των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την ποσότητα προσπάθειας που πρέπει να καταβάλλουν οι χρήστες για να χρησιμοποιήσουν το προϊόν. Η χρηστικότητα περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως η ευκολία στο να καταλάβει και να μάθει να χρησιμοποιεί το προϊόν ο χρήστης.
- Η ποιότητα εξαρτάται από την αποδοτικότητα του προϊόντος δηλαδή από το σύνολο των χαρακτηριστικών που δείχνουν τη σχέση ανάμεσα στο επίπεδο ποιότητας του προϊόντος ή της υπηρεσίας και της ποσότητας των πόρων που χρησιμοποιήθηκαν υπό καθορισμένες συνθήκες.
- Η ποιότητα εξαρτάται από τη δυνατότητα συντήρησης, δηλαδή τη προσπάθεια που πρέπει να καταβληθεί για να γίνουν συγκεκριμένες αλλαγές και τροποποιήσεις με σκοπό τη διατήρηση της κανονικής κατάστασής του.
- Η ποιότητα εξαρτάται και από τη φορητότητα του προϊόντος. Η φορητότητα περιλαμβάνει την ικανότητα ενός προϊόντος να προσαρμόζεται, να εγκαθίσταται και να λειτουργεί σε πολλαπλά περιβάλλοντα.

Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 4) απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά της ποιότητας, όπως περιγράφονται από το πρότυπο ISO [30].



Εικόνα 4: Χαρακτηριστικά της ποιότητας σύμφωνα με το μοντέλο ISO 9126

2.2.2. Εμπειρία του χρήστη

Εμπειρία είναι οτιδήποτε μας συμβαίνει από το οποίο αποκτούμε γνώση, συναισθήματα και δεξιότητες [31]. Σύμφωνα με μια χρονολογική προσέγγιση, οι εμπειρίες κατατάσσονται ανάλογα με το αν ανήκουν στο παρελθόν, στο παρόν ή στο μέλλον. Καθώς οι εμπειρίες του παρελθόντος επηρεάζουν τις εμπειρίες του παρόντος και εκείνες με τη σειρά τους τις μελλοντικές εμπειρίες, οι ερευνητές εστιάζουν περισσότερο στο παρόν. Οι ερευνητές επικεντρώνονται περισσότερο στην παρούσα εμπειρία που λαμβάνει ο χρήστης μέσα από ένα προϊόν ή μια υπηρεσία που χρησιμοποιεί (product experience) [32]-[33].

Πολλοί παράγοντες καθορίζουν την εμπειρία του χρήστη από το προϊόν που χρησιμοποιεί. Ένας βασικός παράγοντας είναι και η χρησιμότητα του προϊόντος. Αρχικά, η χρησιμότητα οριζόταν ως η αποτελεσματικότητα και η αποδοτικότητα ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας που επιτρέπουν στο χρήστη να πετύχει συγκεκριμένους στόχους σε ένα καθορισμένο περιβάλλον [34]. Στις μέρες μας οι διαστάσεις της χρησιμότητας

περιλαμβάνουν μια ευρεία γκάμα παραμέτρων [31]. Μερικές από τις παραμέτρους αυτές είναι η απλότητα του προϊόντος ή της υπηρεσίας, η ευκολία πρόσβασης του προϊόντος από το χρήστη, η αποτελεσματική λειτουργία του, η ευελιξία της χρήσης του, δηλαδή το να μπορεί να χρησιμοποιηθεί το προϊόν σε οποιεσδήποτε συνθήκες και το να παρέχει δυνατότητα συνδυασμού και διαλειτουργικότητας με άλλα προϊόντα ή υπηρεσίες. Επίσης, η χρησιμότητα ενός προϊόντος επηρεάζεται από το πόσο κατανοητό είναι και από την υποστήριξη που παρέχει στο χρήστη (ευκολία εγκατάστασης, πρόληψη λαθών, ανάδραση)

Ο επόμενος παράγοντας είναι η επιρροή (affect) [31], χαρακτηριστικό που σχετίζεται κυρίως με τα χαρακτηριστικά του προϊόντος τα οποία προκαλούν συναισθήματα στο χρήστη, όπως για παράδειγμα η ελκυστικότητά του, η απλότητα, η υφή, το χρώμα, η πολυτέλεια.

Τελευταίος παράγοντας είναι η αξία που έχει το προϊόν για το χρήστη (user value) [31] η οποία και αντανακλά την υποκειμενική αξιολόγηση από αυτόν και σχετίζεται με το πως ο χρήστης πιστεύει ότι το εν λόγω προϊόν ή η υπηρεσία είναι σημαντικά για τη ζωή του. Προσδιορίζεται από το τί συμβολίζει το προϊόν για το χρήστη και το κοινωνικοπολιτισμικό πλαίσιο μέσα στο οποίο κινείται. Περιλαμβάνει στοιχεία όπως η ικανοποίηση που παρέχει στο χρήστη δηλαδή το βαθμό στον οποίο το προϊόν ή η υπηρεσία κάνει το χρήστη να αισθάνεται ευχαριστημένος με τον εαυτό του και τις επιτεύξεις του, την ευχαρίστηση που του παρέχει (συναισθήματα χαράς, ξεκούρασης, ανανέωσης), το κατά πόσο το προϊόν τονώνει την κοινωνικότητά του υπό την έννοια του ότι κάνει το χρήστη να αισθάνεται πιο αποδεκτός από το κοινωνικό σύνολο. Επίσης, σχετίζεται με το βαθμό που το προϊόν ανταποκρίνεται στις ανάγκες και στις προσδοκίες του χρήστη αλλά και τη συναισθηματική σύνδεση του χρήστη με το προϊόν, δηλαδή το κατά πόσο καινοτόμο, πολύτιμο ή αξιόπιστο το θεωρεί.

2.2.3. Ποιότητα της υπηρεσίας

Ο όρος ποιότητα της υπηρεσίας είναι ευρείας σημασίας [35], ποικίλει ανάλογα με τα εγγενή χαρακτηριστικά του δικτύου ή τα χαρακτηριστικά της αντίληψης του χρήστη ως προς την υπηρεσία που λαμβάνει και την εμπειρία του. Αρχικά, οριζόταν ως η ικανότητα του δικτύου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των χρηστών και των εφαρμογών [36] ή ως η συνολική επίδραση της απόδοσης του δικτύου στο βαθμό ικανοποίησης του χρήστη [37].

Ο επίσημος ορισμός της ΠτΥ ωστόσο παρέχεται από την ITU (International Telecommunications Union) με την αναφορά ITU-Recommendation E.800 [3] όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω ως:

«Η πληρότητα των χαρακτηριστικών μίας τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας η οποία φέρει σε πέρας την ικανότητά της να υποστηρίζει ρητές αλλά και σιωπηρές απαιτήσεις του χρήστη της υπηρεσίας».

Οι μηχανισμοί παροχής ΠτΥ θεωρούνται ότι λαμβάνουν χώρα σε 2 στρώματα: στο στρώμα εφαρμογής και στο στρώμα δικτύου [38]. Το στρώμα εφαρμογής αποτελείται από παραμέτρους που σχετίζονται με τις εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η ευκρίνεια της εικόνας, ο ρυθμός πλαισίων, το χρώμα, η κωδικοποίηση, κλπ. Οι παράμετροι του στρώματος δικτύου περιλαμβάνουν το τρέμουλο, τη καθυστέρηση, την απώλεια πακέτων, κλπ, και σχετίζονται με την απόδοση του δικτύου.

Μέσα από τη χρήση τεχνολογιών παροχής ΠτΥ, καθίσταται δυνατή η μέτρηση του εύρους ζώνης αλλά και ο εντοπισμός μεταβολών των συνθηκών του δικτύου (για παράδειγμα η διαθεσιμότητα του δικτύου ή η συμφόρηση). Επίσης είναι πιθανό να δοθεί προτεραιότητα σε συγκεκριμένο τύπο κίνησης, όπως για παράδειγμα σε εφαρμογές που παρουσιάζουν μικρή ανεκτικότητα στις καθυστερήσεις. Τέτοιες εφαρμογές είναι οι εφαρμογές φωνής (voice) και οι εφαρμογές βίντεο.

Πολλές υπηρεσίες παρέχονται από το επίπεδο εφαρμογής για να πετύχουν το απαιτούμενο επίπεδο και αφορούν ποικίλες δικτυακές συσκευές όπως για παράδειγμα μεταγωγείς (switches) και δρομολογητές (routers) [38]. Στην κορυφή αυτών των στρωμάτων, υπάρχει ένα «ψευδοστρώμα» που είναι η εμπειρία του χρήστη, η οποία ορίζεται σαν μια επέκταση του στρώματος εφαρμογής όπως ορίζεται από το μοντέλο του OSI. Η μετρική που χρησιμοποιείται για να μετρήσει την απόδοση του παραπάνω στρώματος, είναι η ποιότητα της εμπειρίας όπως ορίζεται παρακάτω.

2.2.4. Ποιότητα της εμπειρίας

Ο επίσημος ορισμός της ΠτΕ κατά την ITU-T [4] είναι:

«Η συνολική – υποκειμενική και αντικειμενική - αποδοχή μιας εφαρμογής ή μιας υπηρεσίας, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τον τελικό χρήστη»

Ωστόσο, δεδομένης της λεπτής φύσης του ορισμού, είναι απαραίτητη η περαιτέρω μελέτη της βιβλιογραφίας προκειμένου να ανακαλύψουμε και να παραθέσουμε τον τρόπο με τον οποίο η επιστημονική κοινότητα αντιμετωπίζει την ΠτΕ. Στο [39] η ποιότητα της εμπειρίας ορίζεται ως επέκταση της ΠτΥ με την έννοια ότι παρέχει πληροφορίες λαμβάνοντας υπόψιν την υποκειμενική πλευρά του χρήστη. Ακόμα, στο [40] ορίζεται ως η μετρική χρησιμότητας μιας υπηρεσίας καθώς εκφράζει την ικανοποίηση που λαμβάνει ο χρήστης από διάφορα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας όπως την αξιοπιστία της, τη χρησιμότητα και την προσβασιμότητά της. Στο [41] η ΠτΕ ορίζεται ως το σύνολο των χαρακτηριστικών των αισθήσεων, αντιλήψεων και απόψεων των ανθρώπων καθώς αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να είναι ευχάριστα ή δυσάρεστα. Πολλοί παράγοντες συντελούν στην ΠτΕ που λαμβάνει ένας χρήστης από μια συγκεκριμένη συσκευή, μια υπηρεσία ή ένα λογισμικό και περιλαμβάνει την

καταλληλότητα, την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία και την κατανοησιμότητά του [38]. Στο [42] η ΠτΕ περιγράφεται ως η συνολική απόδοση του συστήματος από την πλευρά του χρήστη. Η ΠτΕ δηλαδή μετρά τα επίπεδα της από άκρη σε άκρη απόδοσης του δικτύου κατά τη γνώμη του χρήστη και είναι μια ένδειξη του κατά πόσο καλά το σύστημα ανταποκρίνεται στις ανάγκες του χρήστη. Επίσης, έχει χαρακτηριστεί ως ο βαθμός ικανοποίησης του χρήστη από τη χρήση μιας υπηρεσίας επηρεαζόμενος από το περιεχόμενο, το δίκτυο, τη συσκευή, την εφαρμογή, τις προσδοκίες και τους στόχους του [43].

Μέχρι την προηγούμενη δεκαετία, η ΠτΕ συσχετιζόταν άμεσα με την ΠτΥ, δηλαδή είχε σχέση με τις καθυστερήσεις στη μετάδοση δεδομένων, το τρέμουλο, την απώλεια πακέτων, το ρυθμό δεδομένων, τη μετάδοση λαθών (packet errors) και άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής και πρόσβασης [44]. Γενικότερα δηλαδή, η ΠτΕ θεωρούταν ότι εξασφαλίζεται μέσα από την ικανότητα του δικτύου να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των χρηστών και των εφαρμογών. Όμως, διαπιστώθηκε ότι τόσο η ΠτΥ όσο και η ΠτΕ προσδιορίζονται από διαφορετικούς παράγοντες, επομένως η ΠτΥ περιορίστηκε στο να περιλαμβάνει τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά και την απόδοση του δικτύου ενώ η ΠτΕ να επικεντρώνεται στην επίδραση όλων αυτών των χαρακτηριστικών στην αντίληψη του και στην ικανοποίηση του χρήστη και να περιλαμβάνει το στοιχείο της υποκειμενικότητας.

Στις μέρες μας, η ΠτΕ ορίζεται ως «η συνολική αποδοχή μιας εφαρμογής ή μιας υπηρεσίας όπως την αντιλαμβάνεται υποκειμενικά ο τελικός χρήστης» [45]. Λαμβάνει υπόψη της τα συνολικά χαρακτηριστικά του συστήματος που καθορίζεται από το περιβάλλον κωδικοποίησης του (κωδικοποίηση περιεχομένου), τα χαρακτηριστικά της συσκευής που χρησιμοποιεί ο χρήστης, το δίκτυο μετάδοσης και την εφαρμογή. Επηρεάζεται από την κατάσταση ή προφίλ χρήστη που διαμορφώνεται από το ιστορικό του, το δημογραφικό του παρελθόν, τις προσδοκίες καθώς και από το περιεχόμενο του δηλαδή τα χαρακτηριστικά της αντιληπτικότητάς του, το φύλο του αλλά και το πλαίσιο ύπαρξης του

(context) σε φυσικό, κοινωνικό, πολιτισμικό και επίπεδο καθηκόντων του. Πλέον ο ορισμός της ΠτΥ είναι επικεντρωμένος στο χρήστη και τις εξατομικευμένες του ανάγκες και προσδοκίες [44] και συνοψίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5: Η έννοια της ποιότητας της εμπειρίας

2.2.5. Σχέση ποιότητας της υπηρεσίας και ποιότητας της εμπειρίας

Η αντίληψη της ΠτΕ όπως την αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης αποτελεί πάντα κρίσιμη παράμετρο ώστε να γίνει αντιληπτό τι πραγματικά χρειάζεται ο πελάτης. Ως εκ τούτου, καθίσταται προφανής η σχέση μεταξύ ΠτΥ και ΠτΕ καθώς ο συνδυασμός των δύο δίνει στο πάροχο υπηρεσιών τη δυνατότητα να εντοπίσει πως να εξασφαλίσει ή και να βελτιώσει την εμπειρία των πελατών. Στο [46] αναφέρεται ότι οι βασικές διαφορές ανάμεσα στην ΠτΥ και ΠτΕ είναι ότι η πρώτη αφορά κυρίως τα χαρακτηριστικά του δικτύου ενώ η

δεύτερη την αντίληψη του χρήστη. Οι ορισμοί καταδεικνύουν ότι η ΠτΕ ανήκει σε ένα υψηλότερο και πιο αφηρημένο «ψευδοεπίπεδο». Αυτό το ψευδοεπίπεδο αφορά την εμπειρία του τελικού χρήστη και μπορεί να είναι μια επέκταση μέσα στο επίπεδο εφαρμογής, όπως ορίζεται στο [47]. Έτσι η ΠτΕ γίνεται αντιληπτή σαν μια επέκταση της ΠτΥ [39].

Η ΠτΕ είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό πολυμεσικών εφαρμογών και για το λόγο αυτό οι σχεδιαστές επιβάλλεται να λαμβάνουν υπόψιν τους όχι μόνο τις μετρικές της ΠτΥ (όπως καθυστέρηση, η ευκρίνεια της εικόνας και άλλα) αλλά και την υποκειμενικότητα των χρηστών. Δηλαδή χρειάζεται να μελετηθεί το κατά πόσο η ΠτΥ που παρέχει η πολυμεσική εφαρμογή εξασφαλίζει ικανοποιητικό επίπεδο ΠτΕ, μιας και αυτό που ενδιαφέρει τελικά το χρήστη είναι το κατά πόσο η υπηρεσία που χρησιμοποιεί ανταποκρίνεται στις ανάγκες του και θα του παρέχει ικανοποίηση. Συνήθως δεν είναι εύκολο να βρεθούν αυτοί οι παράγοντες, διότι η εμπειρία χρήστη έχει υποκειμενικό χαρακτήρα. Όπως αναφέρεται στο [48] «το πολιτισμικό υπόβαθρο, η κοινωνικοοικονομική κατάσταση και οι προσωπικές εμπειρίες διαμορφώνουν τον τρόπο που ένας άνθρωπος αντιδρά σε ένα προϊόν». Συνεπώς, είναι δύσκολος ο προσδιορισμός των παραμέτρων που θα εξασφαλίσουν μια υπηρεσία με υψηλό δείκτη ΠτΥ και ταυτόχρονα θα παρέχουν υψηλό επίπεδο ΠτΕ στους χρήστες.

2.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της εμπειρίας

Σε αυτή την παράγραφο, περιγράφονται αναλυτικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την ΠτΕ όπως ορίστηκε παραπάνω. Μέσα από αυτή την εν λόγω περιγραφή, γίνεται φανερή η σημασία της ΠτΕ για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των σύγχρονων ετερογενών ασυρμάτων δικτύων. Η ποιότητα της εμπειρίας καθορίζεται τόσο από υποκειμενικούς παράγοντες που τις περισσότερες φορές είναι μη ελέγξιμοι όσο και από αντικειμενικούς

παράγοντες που αφορούν κυρίως στα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου. Στους υποκειμενικούς παράγοντες, περιλαμβάνεται η κατάσταση του χρήστη δηλαδή τα συναισθήματα, η κοινωνική του θέση, οι προσδοκίες του. Στους αντικειμενικούς παράγοντες περιλαμβάνονται κυρίως τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας αλλά και του συστήματος όπως τα χαρακτηριστικά του προϊόντος, το είδος της υπηρεσίας, η ευρωστία του συστήματος, η εφαρμογή και το τερματικό που χρησιμοποιεί ο χρήστης. Επίσης, σημαντικό ρόλο στο επίπεδο ΠτΕ που λαμβάνει ο χρήστης παίζει η πολιτική κοστολόγησης που ακολουθεί ο πάροχος της υπηρεσίας. Τα συγκεκριμένα συστατικά που συνιστούν την ποιότητα της εμπειρίας του χρήστη αναλύονται παρακάτω.

2.3.1. Εξάρτηση από το χρήστη

Η κατάσταση του χρήστη είναι θεμελιώδης παράγοντας προσδιορισμού της ΠτΕ. Κατ' αρχήν, επηρεάζεται από την ηλικία, το επίπεδο εκπαίδευσης καθώς και την επαγγελματική απασχόληση του χρήστη [49]. Δεύτερον, καθορίζεται από ψυχολογικούς και κοινωνικούς παράγοντες και το περιβάλλον δραστηριοποίησης του χρήστη. Επίσης, η ΠτΕ επηρεάζεται από τα συναισθήματα, τις προηγούμενες εμπειρίες και τις προσδοκίες του χρήστη τη στιγμή που λαμβάνει μια υπηρεσία. Ακόμα, η εμπειρία του χρήστη επηρεάζεται και από τις γνώμες άλλων που έχουν χρησιμοποιήσει την υπηρεσία και έχουν κατά κάποιον τρόπο προδιαθέσει το χρήστη. Ως εκ τούτου, ακόμα κι αν ένας αριθμός χρηστών λάβει την ίδια υπηρεσία με τα ίδια χαρακτηριστικά ποιότητας, το επίπεδο ΠτΕ θα είναι διαφορετικό από χρήστη σε χρήστη εξ αιτίας όλων των υποκειμενικών χαρακτηριστικών που περιγράψαμε προηγουμένως [35]. Βέβαια, τα συναισθήματα, οι προτιμήσεις αλλά και οι προσδοκίες των χρηστών δεν είναι στατικά χαρακτηριστικά αλλά μεταβάλλονται με το χρόνο. Συμπερασματικά, οι προτιμήσεις των χρηστών αλλά και οι απαιτήσεις είναι βασικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν για το σχεδιασμό μιας υπηρεσίας και δύσκολα μπορούν να προβλεφθούν με

ακρίβεια. Η πρόβλεψη αυτή είναι ακόμα πιο δύσκολη αν σκεφτούμε ότι ακόμα και εντός ενός δικτύου οι χρήστες ενδέχεται να έχουν διαφορετικές προτιμήσεις. Για παράδειγμα οι οικιακοί συνδρομητές έχουν διαφορετικό επίπεδο ενδιαφέροντος περιεχομένου ή υπηρεσίας όσον αφορά στα παιχνίδια on line αλλά και τη μεταφορά αρχείων σε σχέση με τους συνδρομητές μιας επιχείρησης.

2.3.2. Εξάρτηση από τα χαρακτηριστικά και το περιεχόμενο της υπηρεσίας

Η ποιότητα της εμπειρίας εξαρτάται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του προϊόντος ή της υπηρεσίας που χρησιμοποιεί ο χρήστης [32]. Αυτά τα χαρακτηριστικά απεικονίζονται στην Εικόνα 6 και περιλαμβάνουν τα εξής:

- Το βαθμό κατανόησης του προϊόντος, δηλαδή το κατά πόσο οι σχεδιαστές δημιούργησαν ένα προϊόν που είναι κατανοητό στο χρήστη και ανταποκρίνεται στο περιβάλλον του.
- Τη διαδικασία αποτελεσματικού σχεδιασμού, δηλαδή τη μεθοδολογία σχεδιασμού του προκειμένου το προϊόν να λειτουργεί αποδοτικά και να ικανοποιεί τις ανάγκες των χρηστών εξασφαλίζοντάς τους ικανοποίηση από τη χρήση του.
- Τη χρησιμότητα του προϊόντος, δηλαδή το κατά πόσο το προϊόν έχει μια σημαντική συνεισφορά σε κοινωνικό, οικονομικό ή περιβαλλοντικό επίπεδο και η ευκολία στη χρήση του δηλαδή το πόσο εύκολο είναι για το χρήστη να χρησιμοποιήσει το συγκεκριμένο προϊόν.
- Την καταλληλότητα του προϊόντος δηλαδή πως το προϊόν λύνει το πρόβλημα σε διαφορετικά επίπεδα και αν συνολικά το προϊόν εξυπηρετεί τους πελάτες με αποδοτικό και πρακτικό τρόπο,

- Το αισθητικό αποτέλεσμα, δηλαδή χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τα γραφικά στοιχεία του προϊόντος, το βιομηχανικό του σχεδιασμό και την αλληλεπίδρασή του με το χρήστη. Περιλαμβάνει ακόμα και το κατά πόσο συμβαδίζει με τις τρέχουσες τεχνολογίες.
- Την ευκολία στη διαχείριση και την επεκτασιμότητά του.
- Την ευμεταβλητότητά του ανάλογα με το αν απαιτείται ή όχι και το κατά πόσο το προϊόν προσαρμόζει τη λειτουργία του στις ανάγκες του χρήστη.



Εικόνα 6: Χαρακτηριστικά προϊόντος/υπηρεσίας που επηρεάζουν την ποιότητα εμπειρίας

2.3.3. Εξάρτηση από τον τύπο της παρεχόμενης υπηρεσίας

Στο Διαδίκτυο τίθεται σε διαθεσιμότητα μια τεράστια ποικιλία εφαρμογών και υπηρεσιών. Τα δίκτυα επόμενης γενιάς (NGN-next generation networks) θα παρέχουν όλες αυτές τις υπηρεσίες και εφαρμογές στις οποίες περιλαμβάνονται η πλοήγηση στο Διαδίκτυο (web browsing), το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (email), ηλεκτρονικές υπηρεσίες εκπαίδευσης

(e-learning), τραπεζικές υπηρεσίες(e-banking), παιχνίδια (online gaming), εφαρμογές p2p (δεδομένων,φωνής και βίντεο), τηλεφωνία, τηλεσυνδιαλέξεις, υπηρεσίες ράδιο, υπηρεσίες Video on Demand (VoD), και πολλές άλλες. Επίσης, σαν τύποι διαδικτυακών εφαρμογών (Internet Apps) θεωρούνται τα ιδιωτικά εικονικά δίκτυα (virtual private networks-VPN) και τα προσωπικά δίκτυα (personal networks-PN). Όπως γίνεται αντιληπτό, οι διαφορετικοί τύποι υπηρεσιών έχουν και διαφορετικές απαιτήσεις από το δίκτυο και κατά συνέπεια διαφορετική επίδραση στη ΠτΕ του χρήστη. Καθώς ο τύπος της υπηρεσίας ή της εφαρμογής παίζει σημαντικό ρόλο στην ΠτΕ του χρήστη, στη βιβλιογραφία αναφέρεται ο όρος «τύπος της υπηρεσίας» (Class of Service). Ο επίσημος ορισμός που έχει δώσει ο οργανισμός προτυποποίησης ITU-T είναι «τα χαρακτηριστικά μιας υπηρεσίας όπως περιγράφονται από την ταυτότητα της υπηρεσίας (service identity), το εικονικό δίκτυο (virtual network), τις απαιτήσεις από την ικανότητα της σύνδεσης (link capability requirements), τις παραμέτρους που ορίζουν το κατώφλι της κίνησης (threshold) και της ποιότητας της υπηρεσίας» [50]. Η IETF ορίζει το είδος της υπηρεσίας ως «οι ορισμοί των παραμέτρων και των σημασιολογιών (semantics) ενός συγκεκριμένου τύπου ποιότητας υπηρεσίας» [37].

Οι διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες ασκούν διαφορετική επίδραση στη ΠτΕ που λαμβάνει ο χρήστης [49]. Κατ' αρχήν, από την πλευρά του χρήστη, κάθε εφαρμογή ή κάθε υπηρεσία έχει διαφορετική σημασία για αυτόν. Δεύτερον, οι διαφορετικοί τύποι υπηρεσιών και εφαρμογών έχουν και διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά τις παραμέτρους ποιότητας που παρέχονται από το δίκτυο. Συνήθως κατηγοριοποιούνται με βάση τις απαιτήσεις τους σε εύρος ζώνης, την ανεκτικότητα σε καθυστέρηση (tolerance to delay), το τρέμουλο, την απώλεια πακέτων και το βαθμό που επιδρούν αυτές οι παράμετροι στο επίπεδο της ΠτΕ.

Μια συνήθης κατηγοριοποίηση των εφαρμογών έχει ως εξής:

α) ελαστικές μη αλληλεπιδραστικές (elastic non-interactive) όπως κατέβασμα αρχείων (file download), ηλεκτρονικά μηνύματα(e-mail),

β) ελαστικές αλληλεπιδραστικές (elastic interactive) όπως η πλοήγηση ιστού (web browsing),

γ) μη ελαστικές μη αλληλεπιδραστικές (non-elastic non-interactive) όπως ζωντανή τηλεόραση (live TV), ράδιο, βίντεο κατά παραγγελία (video on demand-VoD),

δ) μη ελαστικές αλληλεπιδραστικές (non-elastic interactive) όπως τηλεφωνία, Voice over IP (VoIP), συνδιάλεξη μέσω βίντεο (video conference), online παιχνίδια [35].

Μια γενικότερη κατηγοριοποίηση των εφαρμογών που προτείνει ο τομέας ITU-T είναι σε εφαρμογές ήχου, βίντεο και δεδομένων [50]. Οι εφαρμογές που ανήκουν σε μία κατηγορία έχουν συχνά κοινά χαρακτηριστικά, συγκεκριμένες απαιτήσεις από το δίκτυο και παρόμοια ευαισθησία σε παραμέτρους ποιότητας της υπηρεσίας. Για παράδειγμα, οι υπηρεσίες φωνής παρουσιάζουν μηδενική ανεκτικότητα στις καθυστερήσεις και στο τρέμουλο. Αντίστοιχα, οι υπηρεσίες βίντεο παρουσιάζουν ευαισθησία τόσο στην απώλεια πακέτων όσο και στις καθυστερήσεις και αυτή τους η ευαισθησία εξαρτάται από την ποιότητα του βίντεο, την ευκρίνεια της εικόνας (resolution) και την κωδικοποίηση του (codec). Όσον αφορά τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, αυτές σχετίζονται με τη μέθοδο συμπίεσης και την ανάλυση του βίντεο. Μάλιστα, οι νέες αναδυόμενες εφαρμογές όπως τα τρισδιάστατα βίντεο (3D video) επιβάλλουν νέες αυξημένες απαιτήσεις. Βέβαια, ακόμα και δυο εφαρμογές που ανήκουν στην ίδια κατηγορία έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε παραμέτρους ποιότητας από το δίκτυο. Για παράδειγμα, στην κατηγορία υπηρεσιών βίντεο ανήκουν τόσο οι υπηρεσίες τηλεόρασης όσο και οι συνδιαλέξεις μέσω βίντεο. Όμως, οι χρήστες που βλέπουν τηλεόραση έχουν πολύ μεγαλύτερες απαιτήσεις όσον αφορά την ευκρίνεια της εικόνας, το ρυθμό μετάδοσης και τις καθυστερήσεις από τους συμμετέχοντες μιας βιντεο-συνδιάλεξης [35]. Τρίτον, κάθε εφαρμογή χρησιμοποιεί τις δικές της

παραμέτρους για την ποσοτικοποίηση του επιπέδου ποιότητας που παρέχει [49]. Οι παράμετροι αυτοί μπορούν να εκφραστούν είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά. Συνήθως, οι παράμετροι ενός είδους υπηρεσίας ή εφαρμογής δεν ορίζονται αυστηρά αλλά κυμαίνονται εντός κάποιων ορίων (bounded) μέσα στα οποία η ποιότητά τους παραμένει αποδεκτή. Για παράδειγμα, η ευκρίνεια της εικόνας, ο ρυθμός πλαισίων, το χρώμα και το θέμα κωδικοποίησης είναι τυπικές παράμετροι ποιότητας για τις εφαρμογές βίντεο. Η ρυθμαπόδοση και ο χρόνος ανάκτησης των html αρχείων είναι βασικές παράμετροι για τις εφαρμογές πρόσβασης του ιστού (web access).

2.3.4. Εξάρτηση από το τερματικό που χρησιμοποιεί ο χρήστης

Στις μέρες μας, υπάρχει μεγάλη ποικιλία συσκευών από πληθώρα κατασκευαστών που μπορούν να φιλοξενήσουν μια εφαρμογή. Για τους σκοπούς της μελέτης μας θα επικεντρωθούμε κυρίως σε εφαρμογές βίντεο αφού είναι και οι πιο απαιτητικές σε πόρους σε επίπεδο εξοπλισμού. Για παράδειγμα, για μια εφαρμογή βίντεο, η συσκευή μπορεί να είναι ένα κινητό τηλέφωνο, ένας υπολογιστής τσέπης (PDA) ή τύπου ταμπλέτας (Tablet PC), ένας φορητός ή επιτραπέζιος υπολογιστής, μια τηλεόραση. Η επεξεργασία του μέσου, οι δυνατότητες του όπως η ευκρίνεια της εικόνας, το χρώμα, το μέγεθος και η φωτεινότητα της οθόνης, η κωδικοποίηση, το βάθος των χρωμάτων, ο χώρος αποθήκευσης, το μέγεθος της μνήμης, η υπολογιστική ισχύς, η ενέργεια που καταναλώνουν και η ευαισθησία του δέκτη διαφέρουν από συσκευή σε συσκευή. Ο τερματικός εξοπλισμός (TE-terminal equipment) επιδρά στην ΠτΕ του χρήστη με τρεις διαφορετικούς τρόπους [49]. Πρώτον, εξ αιτίας της διαφορετικής επεξεργασίας και διαφορετικής χωρητικότητας αποθήκευσης των συσκευών, οι χρήστες που έχουν καλύτερες συσκευές έχουν υψηλότερη ΠτΕ ακόμα και εάν η δικτυακή υπηρεσία που τους παρέχεται έχει το ίδιο επίπεδο ποιότητας. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε δύο πελάτη που χρησιμοποιούν μια εφαρμογή VoD ή live TV. Ο ένας

λαμβάνει αυτή την υπηρεσία στο σπίτι, σε μια μεγάλη οθόνη με υψηλή ευκρίνεια ενώ ο άλλος επιθυμεί να λάβει την ίδια υπηρεσία κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του στο κινητό του τηλέφωνο. Ωστόσο, η ευκρίνεια και το βάθος χρωμάτων μιας οθόνης ενός κινητού τηλεφώνου δεν είναι δυνατό να είναι ίδια με εκείνα της τηλεόρασης. Αυτό φυσικά οφείλεται στο ότι οι υπολογιστές τσέπης και τα κινητά τηλέφωνα δε διαθέτουν αρκετούς υπολογιστικούς πόρους αλλά ακόμα και αν υπήρχε η δυνατότητα θα ήταν σπατάλη των δικτυακών πόρων [35]. Συνεπώς, ο πάροχος της υπηρεσίας πρέπει να προσφέρει την ίδια ταινία σε διαφορετικά επίπεδα ποιότητας προσαρμοσμένα στα χαρακτηριστικά της εκάστοτε συσκευή αναπαραγωγής. Παραδείγματα λύσεων σε αυτό το πρόβλημα αποτελούν οι προηγμένες τεχνολογίες MDC (Multiple Description Coding) και το SVC (Scalable Video Coding) [35]. Και οι δύο τεχνικές μεταβάλλουν δυναμικά το ρυθμό πλαισίου και την ανάλυση του βίντεο με σκοπό τη βελτίωση της εμπειρίας χρήστη. Δεύτερον, οι χρήστες με καλύτερες συσκευές απαιτούν από το δίκτυο αναβαθμισμένη ποιότητα στην υπηρεσία τους. Για παράδειγμα, οι χρήστες μιας τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας έχουν μεγαλύτερες προσδοκίες ποιότητας και πιθανόν να επιθυμούν υψηλότερο ρυθμό δεδομένων και χαμηλότερη απώλεια δεδομένων στη μετάδοση του σήματος [49]. Τρίτον, η ΠτΕ του χρήστη εξαρτάται και από την απόδοση της τερματικής συσκευής, για παράδειγμα από την ενέργεια που καταναλώνει ένα κινητό τηλέφωνο ή ένας υπολογιστής τσέπης.

Λόγω της ετερογένειας των συσκευών χρειάζεται να βρεθούν λύσεις για την πολυεκπομπή βίντεο. Οι λύσεις αυτές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: την επαναλαμβανόμενη ροή, τη συσσωρευτική διαστρωμάτωση και τη μη συσσωρευτική διαστρωμάτωση [35]. Στην επαναλαμβανόμενη ροή, έχουμε ταυτόχρονη πολυεκπομπή διαφορετικών ροών σε διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων. Στη συσσωρευτική και μη συσσωρευτική διαστρωμάτωση υπάρχει μόνο μία ροή πολυεκπομπής αλλά το βίντεο κωδικοποιείται σε ένα ή περισσότερα στρώματα. Στη συσσωρευτική διαστρωμάτωση, το

βίντεο κωδικοποιείται σε ένα βασικό στρώμα που είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα και σε άλλο ένα ή περισσότερα βελτιωτικά στρώματα που αποκωδικοποιούνται συσσωρευτικά ενώ στη μη συσσωρευτική το βίντεο κωδικοποιείται σε δύο ή περισσότερα στρώματα που είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Συμπερασματικά, απαιτούνται βελτιωμένα και ισχυρότερα τερματικά για να ανταποκριθούν στις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των εφαρμογών και τις προσδοκίες του χρήστη ως προς την κατανάλωση ενέργειας, την ισχύ λειτουργίας, την ευκρίνεια της οθόνης και τη δυνατότητα αποθήκευσης.

2.3.5. Εξάρτηση από την ευρωστία του συστήματος

Η ευρωστία του συστήματος αναφέρεται κυρίως στην επιβιωσιμότητα (survivability) του δικτύου. Περιλαμβάνει δηλαδή το χρόνο ανάκτησης μετά από μια ανεπιτυχή σύνδεση, τη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας καθώς και τη πιθανότητα που έχει μια υπηρεσία να παραμένει λειτουργική για μεγάλο χρονικό διάστημα [35]. Παραδοσιακά, η διαθεσιμότητα του δικτύου γίνεται αντιληπτή μέσα από τις παραμέτρους ποιότητας του συστήματος. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η αποτυχία μιας σύνδεσης δε συνδέεται μόνο με την αποτυχία του εξοπλισμού του παρόχου. Μια υπηρεσία ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμη εξ αιτίας για παράδειγμα υψηλής συμφόρησης σε ορισμένα τμήματα του δικτύου. Επίσης, ακόμα και η αποτυχία σε μία σύνδεση που λαμβάνει χώρα σε ένα μέρος του εξοπλισμού που δεν περιλαμβάνεται στην κίνηση της υπηρεσίας, ενδέχεται να επηρεάσει τη διαθεσιμότητά της.

Προκειμένου να οριστεί μια εγγύηση διαθεσιμότητας του δικτύου, ορίζεται ένα συμφωνητικό παροχής υπηρεσιών (Service Level Agreement-SLA) μεταξύ του παρόχου και του πελάτη. Συνήθως σε αυτό ορίζεται ότι το δίκτυο θα είναι διαθέσιμο και λειτουργικό για το 99.99% του χρόνου. Όμως, αυτό το ποσοστό έχει προκύψει κατόπιν μακροσκελών

μετρήσεων, οπότε σε βραχύχρονες περιόδους δεν είναι αντιπροσωπευτικό της διαθεσιμότητας του δικτύου και συνεπώς δεν είναι ικανοποιητικό ούτε για το χρήστη. Για αυτό το λόγο απαιτούνται παράμετροι που δίνουν σαφέστερη εικόνα της διαθεσιμότητας του δικτύου, όπως για παράδειγμα η μέγιστη χρονική διάρκεια που μια σύνδεση δεν είναι επιτυχής αλλά και ο μέσος χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο ανεπιτυχών συνδέσεων. Γενικότερα, η αξιοπιστία μιας σύνδεσης συνδέεται με παραμέτρους όπως η συνοχή (continuity), ο χρόνος μη διαθεσιμότητας (downtime) και η διαθεσιμότητα (availability). Επίσης, άλλα θέματα που απασχολούν τον πάροχο προκύπτουν όταν για παράδειγμα αποτύχει η σύνδεση του δικτύου και αντ' αυτού εξασφαλιστεί από ένα εναλλακτικό μονοπάτι ανάκτησης (recovery path) [35]. Ενδιαφέρει αν αυτό το μονοπάτι ανταποκριθεί στο βαθμό και στην ποιότητα της υπηρεσίας του προηγούμενου και αν και κατά πόσο το ελαττωματικό μονοπάτι επηρεάσει τα υπόλοιπα μέρη του δικτύου λόγω, παραδείγματος χάριν, συμφόρησης. Επίσης ενδιαφέρει και η ποσότητα της κίνησης που χάνεται κατά τη διάρκεια μιας αποτυχημένης σύνδεσης. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ευρωστία του συστήματος είναι η ανθεκτικότητα στις πολλαπλές και συχνές αποτυχίες, η δυνατότητα κάλυψης μιας αποτυχίας καθώς και χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το σενάριο ανάκτησης και τις υπόλοιπες λειτουργίες όπως η επεκτασιμότητα, η ευελιξία, οι απαιτήσεις παραμετροποίησης αλλά και το φορτίο που απαιτεί το δίκτυο.

Γενικά έχουν αναπτυχθεί ξεχωριστοί μηχανισμοί για την παροχή ευρωστίας σε ένα δίκτυο. Αυτοί οι μηχανισμοί μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια [35]. Για παράδειγμα, ενδιαφέρει αν το μονοπάτι ανάκτησης υπολογίζεται από πριν ή όχι καθώς επίσης και ο τρόπος χρήσης των πόρων ανάκτησης δηλαδή αν θα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για ανάκτηση (dedicated) ή αν θα χρησιμοποιούνται και σε άλλα μέρη του δικτύου (shared) ή για το αν θα χρησιμοποιούνται συγκεκριμένοι πόροι του δικτύου σε περίπτωση ανάκτησης. Επίσης, οι μηχανισμοί ανάκτησης ταξινομούνται με βάση το πεδίο

δράσης της διαδικασίας ανάκτησης δηλαδή σε πόσα επίπεδα και σε πόσους τομείς λαμβάνει χώρα.

Η εξασφάλιση ποιότητας της ευρωστίας επηρεάζει το βαθμό και τη ποιότητα της υπηρεσίας και εντέλει το πως ο χρήστης αντιλαμβάνεται την υπηρεσία του, δηλαδή την ΠτΕ. Η απουσία μηχανισμών ανάκτησης γίνεται αντιληπτή από την εμφάνιση διακοπών συνδέσεων και άρα έχουν άμεση επίδραση στην εμπειρία του χρήστη. Αντίστοιχα, αργοί μηχανισμοί ανάκτησης ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά την εμπειρία του χρήστη κυρίως όσον αφορά εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Από την άλλη ενδέχεται ταχείς μηχανισμοί ανάκτησης από διάσπαρτους πόρους να προκαλέσουν συμφόρηση σε μερικά μέρη του δικτύου καθώς θα απαιτήσουν πολλούς πόρους, καθυστερήσεις σε άλλα μέρη, προσωρινή αταξία στη ροή μετάδοσης των δεδομένων ή και αλλαγές στις παραμέτρους καθυστερήσεων κατά μήκος των μονοπατιών. Συνεπώς, λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων σε ΠτΕ αλλά και της αυξανόμενης ζήτησης εφαρμογών πραγματικού χρόνου χρειάζονται αποτελεσματικοί μηχανισμοί που να εξασφαλίζουν ευρωστία στο δίκτυο.

Συμπερασματικά, η παροχή ευρωστίας στα μελλοντικά διαλειτουργικά δίκτυα θεωρείται ένα σημαντικό πεδίο μελέτης προκειμένου να εξασφαλιστεί υψηλό επίπεδο ΠτΕ στους χρήστες και για αυτό το λόγο απαιτείται η ανάπτυξη συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων τομέων του δικτύου αλλά και η θέσπιση συγκεκριμένων στόχων ευρωστίας.

2.3.6. Εξάρτηση από το βαθμό εξυπηρέτησης του χρήστη

Ο βαθμός εξυπηρέτησης περιλαμβάνει οτιδήποτε συμβαίνει κατά την έναρξη (setup), την απόλυση (release) και τη συντήρηση (maintenance) μιας σύνδεσης [35]. Οι βασικές παράμετροι του είναι η καθυστέρηση για την έναρξη της κλήσης, η πιθανότητα αποτυχίας έναρξης της κλήσης, η καθυστέρηση στην επιβεβαίωση γνησιότητας (authentication), η

πιθανότητα ξαφνικής διακοπής της σύνδεσης (εξαναγκασμένης ή απρόβλεπτης). Εάν θεωρήσουμε μηχανισμούς ελέγχου εισόδου στα δίκτυα επόμενης γενιάς για παράδειγμα, μια παράμετρος του βαθμού εξυπηρέτησης θα μπορούσε να είναι η πιθανότητα απόρριψης της αίτησης (request rejection propability). Επίσης, στα ασύρματα κινητά δίκτυα η πιθανότητα κατάρρευσης μιας σύνδεσης λόγω ανεπιτυχούς μεταπομπής (handover) είναι μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το βαθμό εξυπηρέτησης του χρήστη καθώς και την εμπειρία του.

Όσον αφορά στη μεταπομπή, είναι φανερό ότι στα σύγχρονα δίκτυα οι χρήστες έχουν την απαίτηση να λαμβάνουν την υπηρεσία που επιθυμούν απρόσκοπτα και οπουδήποτε. Αυτή η απαίτηση τους μεταφράζεται σε δύο κυρίαρχα θέματα: (α) στο να έχει ο χρήστης πρόσβαση στην αγαπημένη του υπηρεσία οπουδήποτε στον κόσμο και (β) στο να έχει ο χρήστης συνεχόμενη πρόσβαση σε μία υπηρεσία χωρίς διακοπές και χωρίς να χειροτερεύουν οι παράμετροι ποιότητας της υπηρεσίας που λαμβάνουν οι υπόλοιποι χρήστες, ενώ ο χρήστης βρίσκεται σε κίνηση [35]. Το θέμα (α) σημαίνει ότι ένας χρήστης επιθυμεί να χρησιμοποιεί τις ίδιες υπηρεσίες οπουδήποτε βρίσκεται ανεξάρτητα από το αν συνδέεται σε κάποιο σταθερό ή ένα κινητό δίκτυο και ανεξάρτητα από το διαχειριστή του δικτύου πρόσβασης. Συνεπώς, οι πάροχοι δικτυακών υπηρεσιών απαιτείται να παρέχουν υπηρεσίες με υψηλό δείκτη ΠτΕ ανεξάρτητα από την απόσταση, τις διάφορες διαδικτυακές τεχνολογίες και τον αριθμό των διαχειριστών που εξυπηρετούν τη συνολική περιοχή. Το θέμα (β) αφορά κατά κύριο λόγο τις ασύρματες τεχνολογίες. Βέβαια, από τη μία η κάλυψη ενός ασυρμάτου δικτύου είναι πάντοτε περιορισμένη ενώ από την άλλη, υπάρχουν διάφορα ασύρματα πρότυπα και διάφορες υπηρεσίες που διατίθενται στους χρήστες οι οποίες δεν υποστηρίζουν απαραίτητα όλα αυτά. Για παράδειγμα, οι χρήστες υπηρεσιών περιαγωγής (roaming) θα χρειαστεί να συνδεθούν προσωρινά σε διαφορετικά δίκτυα που υποστηρίζονται από διαφορετικούς διαχειριστές. Έτσι όμως προκύπτει η ανάγκη ύπαρξης κάποιας αντιπροσωπευτικής επιχειρησιακής συμφωνίας μεταξύ των διαχειριστών. Το κόστος όμως

που προκύπτει το αναλαμβάνει ο χρήστης. Στις μέρες μας, η περιαγωγή μεταξύ των διαχειριστών εντός της ίδιας χώρας δεν είναι πάντα εφικτή ενώ η διεθνής περιαγωγή κοστίζει ακριβά. Συνεπώς, στα μελλοντικά διαλειτουργικά δίκτυα είναι απαραίτητη η παροχή δυνατότητας μεταπομπής.

2.3.7. Εξάρτηση από τη πολιτική κοστολόγησης

Τα μελλοντικά συστήματα τηλεπικοινωνιών προβλέπεται να ενσωματώνουν ποικίλες δικτυακές τεχνολογίες ώστε να υποστηρίζουν τη παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών υψηλών ταχυτήτων και υψηλής ποιότητας με συνεχή και αδιάκοπο τρόπο. Η κοστολόγηση αποτελεί ένα από τα βασικά θέματα σε ένα ετερογενές δίκτυο που επηρεάζει καταλυτικά την ΠτΕ. Από οικονομική άποψη, η κοστολόγηση παίζει σημαντικό ρόλο στη διακίνηση οποιασδήποτε υπηρεσίας και οποιουδήποτε πόρου [52]. Ο βασικός στόχος της κοστολόγησης είναι να παρέχει οφέλη τόσο στους πωλητές όσο και στους αγοραστές. Συνεπώς, η κοστολόγηση πρέπει πάντα να καταστρώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το κέρδος των παρόχων να μεγιστοποιείται ενώ παράλληλα οι πελάτες να λαμβάνουν τη μεγαλύτερη δυνατή ικανοποίηση. Στη ρύθμιση του κόστους δύο είναι οι βασικοί παράγοντες που παίζουν ρόλο: η ζήτηση από την πλευρά των χρηστών και ο ανταγωνισμός ανάμεσα στους παρόχους. Εάν η ζήτηση είναι υψηλή τότε οι πάροχοι μπορούν να αυξήσουν το κόστος της υπηρεσίας προκειμένου να αυξήσουν το κέρδος τους. Όσον αφορά στους παρόχους αυτοί ανταγωνίζονται μεταξύ τους προκειμένου να προσφέρουν πρόσβαση σε ασύρματες υπηρεσίες μέσα από τη ρύθμιση του κόστους. Αυτό σημαίνει μεταξύ δύο παρόμοιων υπηρεσιών ο χρήστης θα προτιμήσει την υπηρεσία που του προσφέρεται στο χαμηλότερο κόστος. Επειδή τα σύγχρονα καθώς και τα μελλοντικά δίκτυα αφορούν ετερογενή περιβάλλοντα θα επικεντρωθούμε στη μελέτη της κοστολόγησης κυρίως σε ετερογενή δίκτυα.

Για να καταστρωθεί μια πολιτική κοστολόγησης πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι παρακάτω παράγοντες [52]:

- **Η ετερογένεια του δικτύου πρόσβασης:** Η χωρητικότητα, η περιοχή κάλυψης, η ζώνη συχνοτήτων λειτουργίας και οι μηχανισμοί πρόβλεψης ποιότητας των υπηρεσιών διαφέρουν στα διάφορα συστήματα ασύρματης πρόσβασης.
- **Ο ανταγωνισμός ανάμεσα στους παρόχους υπηρεσιών:** τα διάφορα δίκτυα πρόσβασης εξυπηρετούνται από διαφορετικούς παρόχους, καθένας από τους οποίους επιθυμεί να μεγιστοποιήσει τα οφέλη του.
- **Υποκατάσταση υπηρεσίας:** Οι ασύρματες υπηρεσίες δεν μπορούν να παρέχονται από όλα τα δίκτυα πρόσβασης. Αυτό οφείλεται στο ότι μερικά κινητά τερματικά δεν είναι εξοπλισμένα με όλες τις διεπαφές που υποστηρίζονται από το σύστημα. Επίσης, λόγω εξοικονόμησης ενέργειας οι χρήστες ενδεχομένως να προτιμούν πρόσβαση μικρής εμβέλειας.
- **Κάθετη μεταπομπή:** Ενδέχεται να υπάρχει μεταπομπή ενός κινητού χρήστη ανάμεσα σε διαφορετικούς τύπους δικτύων κατά τη μετακίνησή του. Αυτή η περίπτωση πρέπει να συμπεριληφθεί στην κατάστρωση της κοστολόγησης.
- **Τρόπος κοστολόγησης υπηρεσιών:** Ένας σημαντικός παράγοντας για το σχεδιασμό της πολιτικής κοστολόγησης είναι το αν η υπηρεσία θα πρέπει να παρέχεται με συνδρομή (registration) ή κατόπιν αίτησης (on-demand). Στην πρώτη περίπτωση, η υπηρεσία χρεώνεται σε συνδρομητική βάση και εφαρμόζεται ενιαίο τιμολογιακό σύστημα. Εδώ ο συνδρομητής πληρώνει ξεχωριστά για τη πρόσβασή του στο Internet και επομένως για τις υπηρεσίες που του παρέχονται. Βέβαια, καθώς ο πελάτης πληρώνει παραπάνω χρήματα για την υπηρεσία θα πρέπει να γίνεται σαφές το όφελος που απολαμβάνει. Όμως, αυτό το όφελος δεν είναι πάντα ορατό, για παράδειγμα σε χρήστες ευρυζωνικής πρόσβασης. Σε μια τέτοια περίπτωση, οι πελάτες δε θα αντιληφθούν

κάποια αισθητή διαφορά στην υπηρεσία που τους παρέχεται και επομένως δε θα είναι πρόθυμοι να πληρώσουν παραπάνω χρήματα. Επιπλέον, οι πελάτες που σπάνια χρησιμοποιούν υπηρεσίες που απαιτούν ειδικούς μηχανισμούς ποιότητας, ενδέχεται να επιθυμούν ΠτΥ κατόπιν αίτησης ώστε να αποφύγουν να πληρώσουν για ένα προϊόν το οποίο κατ' ουσία δε χρησιμοποιούν. Η παροχή της υπηρεσίας κατόπιν αίτησης θα έπρεπε είτε να πωλείται σαν μια ξεχωριστή υπηρεσία από τον ISP (ο πελάτης πληρώνει τον πάροχο) είτε να συμπεριλαμβάνεται στην τιμή της υπηρεσίας (ο πελάτης πληρώνει τον πάροχο υπηρεσίας ο οποίος αντίστοιχα πληρώνει το δικτυακό του πάροχο για πρόβλεψη της ΠτΥ). Σε μια τέτοια περίπτωση, ο πελάτης έχει συνήθως να επιλέξει στο αν θα αγοράσει μια υπηρεσία με ή χωρίς εγγύηση ποιότητας. Εάν η διαφορά στην υπηρεσία που θα αντιληφθεί ο χρήστης δεν είναι σημαντική, οι χρήστες δε θα αγοράσουν εγγυήσεις ποιότητας και θα διαλέξουν μια φτηνότερη υπηρεσία χωρίς συγκεκριμένες εγγυήσεις ΠτΥ.

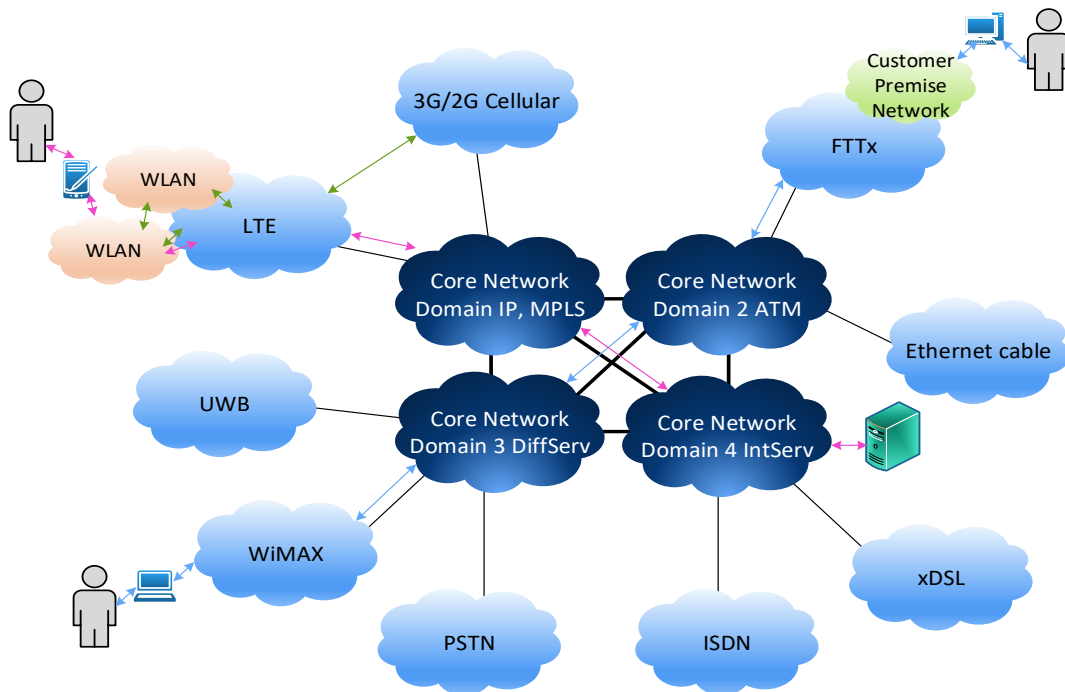
- **Συμπερίληψη της αρχής της ουδετερότητας:** Ένα άλλο σημαντικό θέμα αφορά στο ποιοι πρέπει να λάβουν καλύτερη υπηρεσία: αυτοί που πληρώνουν για αυτή ή αυτοί που τη χρειάζονται [35]. Η απάντηση εδώ δεν είναι αμφίδρομη λαμβάνοντας υπόψιν την αρχή της ουδετερότητας που θέτει μια πρόκληση στην πολιτική κοστολόγησης. Μια από τις βασικές ιδέες αυτής της αρχής είναι ότι πρέπει να αποφεύγονται οι διακρίσεις στην κυκλοφορία στο διαδίκτυο στους διάφορους χρήστες και στις διάφορες εφαρμογές. Ειδικότερα, οι διαδικτυακοί πάροχοι δεν πρέπει να ευνοούν τους πελάτες που πληρώνουν για εγγυήσεις ποιότητας των υπηρεσιών εις βάρος των υπολοίπων. Η αρχή της ουδετερότητας προσεγγίζεται με δυο διαφορετικούς τρόπους. Στην αυστηρή της προσέγγιση όπου απαγορεύεται οποιαδήποτε προτεραιότητα. Για παράδειγμα, το κάθε είδους κίνηση (για παράδειγμα VoIP) θα έχει σε όλο το δίκτυο την ίδια ακριβώς αντιμετώπιση ανεξάρτητα ποιος την παρήγαγε και σε ποιον πάροχο ανήκει. Με αυτό

τον τρόπο υπάρχει ισότητα μεταξύ παρόχων. Στη δεύτερη προσέγγιση, οι διαδικτυακοί πάροχοι μπορούν να χρησιμοποιούν συγκεκριμένους μηχανισμούς παροχής ΠτΥ αλλά επιτρέπεται η εφαρμογή προτεραιότητας μόνο σχετικά με τον τύπο της κίνησης. Αυτά τα θέματα επηρεάζουν σημαντικά τα επιχειρηματικά μοντέλα που σχετίζονται με την παροχή ποιότητας της εμπειρίας.

2.4. Προκλήσεις για την εξασφάλιση της από άκρη σε άκρη ποιότητα της εμπειρίας

Είναι προφανές ότι τα δίκτυα επόμενης γενιάς (NGN) καλούνται (μεταξύ άλλων) να εξασφαλίσουν την από άκρη σε άκρη ποιότητα της εμπειρίας στους χρήστες (E2E QoE) [49]. Η Εικόνα 7 παρουσιάζει τα βασικά συστατικά ενός περιβάλλοντος NGN. Ο κορμός του δικτύου αποτελείται τις εξής τεχνολογίες μεταφοράς: ATM (Asynchronous Transfer Mode), Ethernet, IP και IP/MPLS, ενώ παράλληλα υποστηρίζουν δύο βασικές αρχιτεκτονικές την αρχιτεκτονική διαφοροποιημένων υπηρεσιών (DiffServ- Differentiated Services) και την αρχιτεκτονική ενοποιημένων υπηρεσιών (IntServ- Integrated Services), όπως ορίζονται από την IETF [49]. Το δίκτυο πρόσβασης παρέχει διάφορες ασύρματες και ενσύρματες τεχνολογίες για τη παροχή ποιοτικών υπηρεσιών στους χρήστες. Για την επίτευξη της από άκρη σε άκρη επικοινωνίας ανάμεσα στους χρήστες ή ανάμεσα σε ένα χρήστη και το διαχειριστή μιας εφαρμογής απαιτείται ο συντονισμός δικτύων που ανήκουν σε διαφορετικούς διαχειριστές, που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες και έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά (κατηγορία υπηρεσιών, ρυθμό δεδομένων, υποστήριξη κινητικότητας). Η ποικιλία των τομέων (domains) των παρόχων και των τεχνολογιών μεταφοράς θέτουν προκλήσεις για την επιτυχή διασύνδεση των δικτύων, τη διαλειτουργικότητα, τη συνεργασία μεταξύ τους και επομένως την από άκρη σε άκρη

ποιότητα της εμπειρίας. Επομένως, τα δίκτυα επόμενης γενιάς έχουν να αντιμετωπίσουν διάφορες προκλήσεις για να εξασφαλίσουν σταθερή ποιότητα της εμπειρίας πραγματικού χρόνου στους χρήστες.



Εικόνα 7: Τεχνολογίες δικτύων επόμενης γενιάς (NGN)

2.4.1. Μέτρηση της ποιότητας της εμπειρίας

Για τη μέτρηση της ΠτΕ υπάρχουν δυο διαφορετικές προσεγγίσεις η υποκειμενική (subjective) και η αντικειμενική (objective) [49]. Με την υποκειμενική προσέγγιση οι χρήστες αξιολογούν και βαθμολογούν με προσωπικά κριτήρια την εμπειρία από την υπηρεσία που έλαβαν σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, προκύπτουν ακριβή αποτελέσματα μιας και η ΠτΕ αντανακλά την υποκειμενική άποψη του χρήστη για την υπηρεσία. Παρόλα αυτά, οι χρήστες συχνά δείχνουν απροθυμία να βαθμολογήσουν μια υπηρεσία και ακόμα μεγαλύτερη στο να εξηγήσουν τους λόγους για τη δυσαρέσκειά τους από την ποιότητα μιας υπηρεσίας. Από την άλλη, ενδεχομένως, οι χρήστες να επωφεληθούν από τη δυνατότητα

μέτρησης και να ζητήσουν καλύτερη ποιότητα ακόμα κι αν είναι ευχαριστημένοι από την υπηρεσία που έλαβαν και έτσι να καταναλωθούν άσκοπα δικτυακοί πόροι.

Η αντικειμενική προσέγγιση στηρίζεται σε αλγορίθμους και τύπους που βασίζονται στις αντικειμενικές παραμέτρους του δικτύου, των εφαρμογών, των τερματικών, του περιβάλλοντος και των χρηστών. Αυτή η μέθοδος παρουσιάζει το μοντέλο της ΠτΕ μέσα από συναρτήσεις του επιπέδου δικτύου και του επιπέδου εφαρμογών και βελτιώνει το μοντέλο αυτό με θεωρητικούς υπολογισμούς και ελέγχους της υποκειμενικής ΠτΕ (testing subjective QoE) [38]. Η εκμάθηση μηχανών ή η υπολογιστική νοημοσύνη που παρέχουν για παράδειγμα τα νευρωνικά δίκτυα και οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για να εξάγουν συμπεράσματα για το πως ο χρήστης αντιλαμβάνεται την υπηρεσία, βασιζόμενα σε πληροφορίες ΠτΕ. Τελευταία αρκετές ερευνητικές προσπάθειες έχουν γίνει με σκοπό τη βελτίωση της αντικειμενικής μέτρησης. Ωστόσο, δεν υπάρχει ακόμα συγκεκριμένη και καθολικά αποδεκτή τεχνολογία για να χαρτογραφήσει τις αντικειμενικές παραμέτρους ποιότητας τις εμπειρίας και να αφορά όλες τις εφαρμογές, όλες τις συσκευές και όλους τους υποκειμενικούς παράγοντες.

2.4.2. Έλεγχος και ανάδραση της ποιότητας της εμπειρίας

Εφόσον η ποιότητα της εμπειρίας χαρακτηρίζει την αντίληψη του χρήστη ως προς μια υπηρεσία η ακριβής απόδοση της πρέπει να μετρηθεί και να ελέγχεται στους τελικούς χρήστες και να ανατροφοδοτείται στο δίκτυο [49].

Για να ανταποκριθεί με ακρίβεια ένα NGN σε χαμηλή ΠτΕ, το δίκτυο πρέπει να ενημερωθεί σε πραγματικό χρόνο για τη χαμηλή ΠτΕ που έλαβαν οι χρήστες. Παρόλα αυτά απαιτείται κάποιος χρόνος ώστε η τιμή αυτή να φτάσει στο δίκτυο και την πηγή που μπορεί να είναι είτε ο χρήστης είτε ο εξυπηρετητής της εφαρμογής. Επομένως, οι τιμές της ΠτΕ

υπάρχει περίπτωση να φτάσουν αργοπορημένα εξ αιτίας των καθυστερήσεων μετάδοσης όπως και ενδέχεται να αποπροσανατολίσουν την προσαρμογή των συναρτήσεων μεταφοράς αλλά και τη διαμόρφωση των παραμέτρων του επιπέδου εφαρμογής. Από την άλλη, οι συχνές ενημερώσεις των παραμέτρων της ΠτΕ και της ΠτΥ έχουν ως αποτέλεσμα την ακριβέστερη καταγραφή της κατάστασης του χρήστη, επιφέρουν όμως επιπλέον φορτίο στο δίκτυο.

Για να προφυλάξουμε το δίκτυο από την υποβάθμιση της ΠτΕ, είναι απαραίτητο να ελέγξουμε την κατάσταση κάθε κομβικού στοιχείου του δικτύου που συμμετέχει στο από άκρη σε άκρη μονοπάτι (end to end path) της συνεδρίας ενός χρήστη [49]. Κομβικά στοιχεία του δικτύου αποτελούν οι δρομολογητές πυρήνα (core routers), οι δρομολογητές στα άκρα του δικτύου (edge routers), οι κόμβοι πρόσβασης και τα ασύρματα κανάλια. Παρόλα αυτά, είναι δύσκολο να αντιληφθούμε την επίδραση της απόδοσης ενός δικτυακού στοιχείου στην απ άκρη σε άκρη ποιότητα της εμπειρίας (end to end QoE) , χωρίς να έχουμε πληροφορίες για την απόδοση των υπολοίπων στοιχείων. Για αυτό το λόγο ιδεατά, θα πρέπει να ελέγχεται κάθε στοιχείο του δικτύου σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα την επιβάρυνση με υψηλό φορτίο ελέγχου. Στη συνέχεια θα πρέπει να συσχετιστούν οι αποδόσεις όλων των στοιχείων του δικτύου για να βρούμε την συνολική επίδρασή τους στη ΠτΕ. Αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολο σε ένα NGN διότι αποτελείται από κατανεμημένα και ετερογενή δίκτυα.

2.4.3. Διάγνωση της ποιότητας της εμπειρίας

Όταν διαπιστώνεται χαμηλή ΠτΕ, πρέπει να εντοπιστεί η αιτία έτσι ώστε να βελτιωθεί. Παρόλα αυτά ενδεχομένως αυτό να μην είναι εύκολο για τρεις λόγους [49]. Πρώτον, εφόσον οι υποκειμενικοί παράγοντες διαμορφώνονται δυναμικά δύσκολα μπορούν να μετρηθούν και δεν είναι εύκολο να διακρίνουμε εάν το χαμηλό επίπεδο ΠτΕ οφείλεται σε

υποκειμενικούς παράγοντες ή αν είναι εξ αιτίας αντικειμενικών παραγόντων που σχετίζονται με τη ΠτΥ. Δεύτερον, η ΠτΕ επηρεάζεται από μη τεχνικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών που ενδεχομένως δεν είναι διαθέσιμα προς διάγνωση. Ελλιπής γνώση για όλους τους παράγοντες που συντελούν στη ΠτΕ ενδέχεται να καταλήξει και σε διάγνωση περιορισμένης ακρίβειας. Τρίτον, η απόδοση της ΠτΥ σε επίπεδο δικτύου προσδιορίζεται από δίκτυα που μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικούς τομείς και να μην είναι εφικτό να ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους. Ως αποτέλεσμα καθίσταται δύσκολο ενδεχομένως να εντοπιστεί ποιο στοιχείο του δικτύου ευθύνεται για την υποβάθμιση του ΠτΕ.

2.4.4. Διαχείριση της ποιότητας της εμπειρίας

Αρχικά, στα NGN συμμετέχουν όλο και περισσότεροι χρήστες που χρησιμοποιούν μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών και συσκευών [49]. Επομένως, η διαχείριση της ΠτΕ ανά χρήστη, ανά εφαρμογή και ανά τερματικό είναι απαραίτητη για την κλιματοθετησιμότητα του δικτύου. Δεύτερον, η επίτευξη μιας επιθυμητής ΠτΕ απαιτεί κάθε μετρική απόδοσης της ΠτΥ να ικανοποιεί συγκεκριμένες ποσοτικοποιημένες απαιτήσεις. Παρόλα αυτά, η εξασφάλιση ποσοτικοποιημένης ΠτΥ αποτελεί μια πρόκληση σε δίκτυα των οποίων η αρχιτεκτονική επιτρέπει ποιοτικούς ελέγχους (για παράδειγμα η αρχιτεκτονική DiffServ). Τρίτον, η επίτευξη επιθυμητής ΠτΥ απαιτεί την κατάλληλη ρύθμιση των συναρτήσεων μεταφοράς όπως για παράδειγμα κατάλληλη επιλογή δικτύου πρόσβασης, δρομολόγησης, κατάλληλο προγραμματισμό παροχής ΠτΥ, εκχώρηση πόρων, έλεγχο εισόδου, προγραμματισμό και έλεγχο μετάδοσης. Βέβαια όλες αυτές οι συναρτήσεις δεν είναι εύκολο να διατυπωθούν.

2.5. Σχετικές εργασίες

2.5.1. Γενική κατηγοριοποίηση

Κεντρικό στόχο του σχεδιασμού οποιουδήποτε δικτύου αποτελεί η ικανοποίηση του χρήστη. Συνεπώς, πληθώρα ερευνητικών εργασιών εστίασαν στο πρόβλημα παροχής ΠτΕ με στόχο το σχεδιασμό μηχανισμών και υπηρεσιών με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίσουν υψηλού επιπέδου ΠτΕ στους χρήστες. Οι εργασίες αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά εργασίες που επιχειρούν να παρέχουν υψηλό επίπεδο ποιότητας της εμπειρίας μέσα από τη βελτιστοποίηση της από άκρη σε άκρη ποιότητας της υπηρεσίας. Σε αυτές τις εργασίες, θεωρείται ότι η ΠτΕ εξαρτάται κυρίως από τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά ποιότητας που παρέχει το δίκτυο και συνεπώς, επικεντρώνονται στη βελτιστοποίηση αυτών των χαρακτηριστικών όπως για παράδειγμα στη βέλτιστη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης [50]-[51]. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει εργασίες στις οποίες οι χρήστες εκφράζουν τη γνώμη τους για την υπηρεσία που λαμβάνουν μέσα από το μέσο όρο βαθμολογιών γνώμης (MOS-Mean Opinion Score). Το MOS προκύπτει μέσα από βαθμολογημένα τεστ που δίνουν οι χρήστες εκφράζοντας το επίπεδο ευχαρίστησής τους από την υπηρεσία που λαμβάνουν. Το MOS αποτελεί το μέσο όρο των αποτελεσμάτων των χρηστών. Επομένως, αυτή η κατηγορία εργασιών παρέχει ΠτΕ υψηλού επιπέδου στους χρήστες μέσα από τη βελτιστοποίηση του MOS [52]. Στην τρίτη κατηγορία, περιλαμβάνονται οι εργασίες όπου η ΠτΕ παρέχεται μέσα από τη δυναμική προσαρμογή της λειτουργίας και της απόδοσης του δικτύου σύμφωνα με αποφάσεις βελτιστοποίησης που παίρνει το ίδιο το δίκτυο, επινοώντας για παράδειγμα μεθόδους για προσαρμοσμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων [44]. Στη συνέχεια για κάθε μία από τις τρεις παραπάνω κατηγορίες αναφέρουμε και περιγράφουμε συνοπτικά σχετικές έρευνες της διεθνής βιβλιογραφίας.

2.5.2. Παροχή ποιότητας της εμπειρίας μέσα από τη βελτιστοποίηση της από άκρη σε άκρη Ποιότητας της Υπηρεσίας

Κύριος στόχος αυτής της κατηγορίας μελετών αποτελεί η μελέτη των αντικειμενικών χαρακτηριστικών του δικτύου όπως το εύρος ζώνης, ο χρόνος απόκρισης, η καθυστέρηση, το τρέμουλο, η απώλεια δεδομένων καθώς η επίδρασή τους στην ποιότητα της εμπειρίας που λαμβάνει ο χρήστης.

Παρόλο που δαπανούνται τεράστια ποσά για την εξασφάλιση επιπλέον πόρων στους χρήστες με απώτερο στόχο τη βελτίωση του επιπέδου ικανοποίησης των χρηστών, η ποσοτικοποίηση της σχέσης ανάμεσα στους παρεχόμενους πόρους και στην ικανοποίηση των χρηστών τους δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί. Στο [53] πραγματοποιείται μια αναλυτική μελέτη που επικεντρώνεται στην εξεύρεση συσχέτισης μεταξύ του εύρους ζώνης παράδοσης (delivery bandwidth), της καθυστέρησης (latency) μιας απλής διαδικτυακής υπηρεσίας (web browsing) και της ανθρώπινης ικανοποίησης. Ο στόχος είναι να μετρηθεί το επίπεδο της δυσαρέσκειας του χρήστη σε σχέση με τη ποιότητα του περιεχομένου ιστού (web-content), να βρεθούν οι βασικοί λόγοι που συντελούν σε αυτή τη δυσαρέσκεια και να δοθούν λύσεις λαμβάνοντας υπόψιν πιθανούς τρόπους βελτίωσης των υπηρεσιών του διαδικτύου. Συγκεκριμένα, κρατώντας αρχεία αναλυτικού ιστορικού (Logs) της ροής μιας HTTP υπηρεσίας (πραγματικό μέγεθος αντικειμένου παράδοσης, χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ του πρώτου αιτήματος και του πρώτου πακέτου απόκρισης (response packet) και χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου πακέτου που φτάνει στον πελάτη) μετρώνται και αναλύονται ποσοτικά και ποιοτικά οι επιδράσεις τους στην ικανοποίηση του χρήστη.

Από τα δεδομένα που αντλήθηκαν προκύπτει μια μη γραμμική σχέση ανάμεσα στην ΠτΥ και την ΠτΕ [53]. Συγκεκριμένα μεταβολές σε μικρές ταχύτητες πλοήγησης (ενεργό εύρος ζώνης δικτύου) επιδρούν σημαντικά στην ικανοποίηση του χρήστη ενώ αντίθετα περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας πέραν ενός ορίου δεν επιδρά σημαντικά στη ΠτΕ, καθώς ο ρυθμός ακύρωσης διατηρείται σχεδόν σταθερός. Σε αντίστοιχα πειράματα με μελέτη του χρόνου απόκρισης της υπηρεσίας, αποδείχτηκε πως ο ρυθμός ακύρωσης εμφανίζει μικρές διακυμάνσεις της τάξης του 3% για χρόνους απόκρισης 50-500 msec, επομένως η επίδραση των καθυστερήσεων δεν είναι σημαντική. Ωστόσο, η μείωση του χρόνου απόκρισης κάτω από 50 msec επιφέρει σημαντική βελτίωση στη ΠτΕ του χρήστη.

Εξετάζοντας επιπλέον μεταβλητές στην από άκρο-σε-άκρο επικοινωνία στο [54] γίνεται προσπάθεια συσχέτισης των αντικειμενικών συνθηκών του δικτύου με την αντίληψη του χρήστη για τη ΠτΥ όπου λαμβάνονται υπόψη: η *καθυστέρηση* που συμπεριλαμβάνει καθυστερήσεις στο τερματικό, στο δίκτυο και στους εξυπηρετητές, η *διακύμανση της καθυστέρησης* συμπεριλαμβάνοντας θέματα δρομολόγησης και προσωρινής αποθήκευσης (buffering) και τέλος η *απώλεια της πληροφορίας* συμπεριλαμβάνοντας θέματα μετάδοσης λαθών (bit errors), απώλειας πακέτων και κωδικοποίησης. Οι συγγραφείς μοντελοποίησαν το παραπάνω πρόβλημα μέσω μιας κανονικοποιημένης σταθμισμένης συνάρτησης που με χρήση κατάλληλων βαρών ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας υπολογίζει την εκτιμώμενη ΠτΕ στον τελικό χρήστη.

Συγκριτικά με τα παραπάνω, οι μελέτες της βιβλιογραφίας για την από άκρο σε άκρο παροχή ΠτΕ είτε λαμβάνουν υπόψη την υποκειμενικότητα των χρηστών αλλά θεωρούν απλοϊκές υπηρεσίες που δεν διαθέτουν τη δυναμική των πολυμεσικών [53], είτε παράγουν γενικευμένους στατικούς συσχετισμούς για πληθώρα υπηρεσιών, αγνοώντας ωστόσο την υποκειμενικότητα των χρηστών [54].

2.5.3. Παροχή ΠτΕ μέσα από τη βελτιστοποίηση του MOS

Στη συνέχεια εξετάζουμε προσεγγίσεις παροχής ΠτΕ που στοχεύουν στη συνεργασία, προσαρμογή και βελτιστοποίηση της λειτουργίας πολλαπλών στρωμάτων της στοίβας των πρωτοκόλλων OSI με σκοπό να παρέχουν υψηλή ΠτΕ στους χρήστες, χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό βέλτιστης εκχώρησης πόρων. Σαν ένδειξη της ευχαρίστησης ή της δυσαρέσκειας των χρηστών χρησιμοποιείται ο δείκτης MOS.

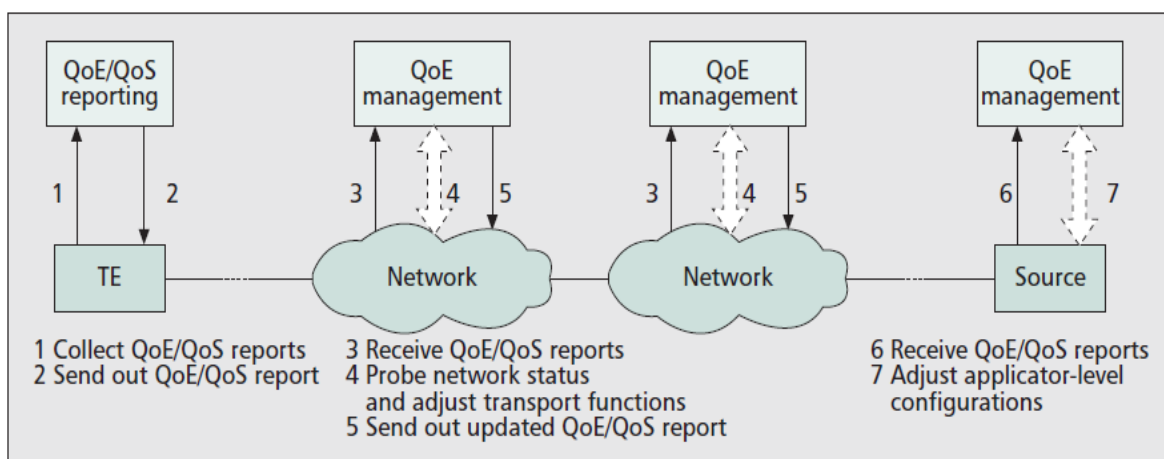
Το [55] εξετάζει την αποτελεσματική εκχώρηση πόρων σε ασύρματα δίκτυα σε ποικίλες εφαρμογές που τρέχουν διαφορετικοί χρήστες, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η χρησιμότητα των πόρων και να βελτιστοποιηθεί η αντίληψη των χρηστών για τη ΠτΥ που λαμβάνουν. Το σύστημα επιλύει ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης με στόχο την εξεύρεση του μέγιστου MOS των χρηστών, ενώ στη συνέχεια η πληροφορία αυτή μοιράζεται στα διαφορετικά στρώματα με απώτερο στόχο την αυτό-προσαρμογή του τρόπου λειτουργίας κάθε ενός και την συνολική βελτιστοποίηση του συστήματος σε σχέση με το ρυθμό μετάδοσης και τη πιθανότητα λανθασμένων πακέτων. Ωστόσο, παρόλο που γίνεται εφικτή η δυναμική βελτιστοποίηση της χρησιμότητας των πόρων και επομένως και η ικανοποίηση του χρήστη σε ένα περιβάλλον στο οποίο πολλοί χρήστες τρέχουν πολλές εφαρμογές, το [55] χρησιμοποιεί το MOS σαν μετρική του επιπέδου ικανοποίησης των χρηστών χωρίς όμως να κάνει παροχή ΠτΕ στους χρήστες σε πραγματικό χρόνο.

Στο [56] προτείνεται μια αρχιτεκτονική πολλαπλών στρωμάτων (cross layer design) για εκχώρηση πόρων σε δίκτυα πρόσβασης πακέτων με υψηλές ταχύτητες στην κάτω ζεύξη (HSDPA-High Speed Downlink Packet Access) με στόχο τη μεγιστοποίηση της ποιότητας της εμπειρίας. Στο πλαίσιο αυτό, λαμβάνοντας περιοδικά παραμέτρους από το στρώμα ζεύξης και το στρώμα εφαρμογής, αναθεωρούνται οι συνολικοί πόροι του συστήματος και γίνεται μια εκτίμηση του χρονομεριδίου (time-share) που χρειάζεται ο κάθε χρήστης για κάθε πιθανή ταχύτητα του στρώματος εφαρμογής. Η αναπροσαρμογή επιτυγχάνεται από την

επίλυση ενός προβλήματος μεγιστοποίησης του MOS των χρηστών μέσω δύο κύριων στρατηγικών. Αρχικά μέσω του ελέγχου εισόδου (admission control) επιτρέποντας μόνο σε ικανό αριθμό χρηστών να λάβουν πόρους, και τέλος μέσω της επανακωδικοποίησης (transcoding) πακέτων. Ωστόσο, σε αυτή τη προσέγγιση η υποκειμενικότητα των χρηστών δεν λαμβάνεται καθόλου υπόψη.

2.5.4. Παροχή ΠτΕ μέσα από δυναμική προσαρμογή στη λειτουργία του δικτύου

Η πολυπλοκότητα και ετερογένεια των δικτυακών συστημάτων εμφανίζεται ολοένα αυξανόμενη δεδομένης της πληθώρας των διαθέσιμων εφαρμογών. Στο [49] προτείνεται ένα μοντέλο εξασφάλισης της από άκρη σε άκρη ποιότητας της εμπειρίας σε ένα NGN, βασισμένο σε δύο υποθέσεις: α) οι χρήστες είναι διατεθειμένοι να χρησιμοποιήσουν συσκευές που επεξεργάζονται τις αποδόσεις της ΠτΥ και ΠτΕ (μέσω ειδικού λογισμικού) προκειμένου να βελτιώσουν την εμπειρία τους, και β) οι πάροχοι ενδιαφέρονται για τη μεγιστοποίηση της ΠτΕ του χρήστη.



Εικόνα 8: Εξασφάλιση ΠτΕ μέσω της δυναμικής προσαρμογής του δικτύου [49]

Συνεπώς μέσω του ειδικού λογισμικού που είναι εγκατεστημένο στις τερματικές συσκευές μετρούνται οι παράμετροι ΠτΥ του δικτύου και της εφαρμογής, ενώ ταυτόχρονα καταγράφεται η αλληλεπίδραση των χρηστών με το τερματικό. Αντίστοιχα μέσω ειδικού λογισμικού στο κυρίως δίκτυο λαμβάνοντας την παραπάνω πληροφορία (καθυστέρηση, τρέμουλο, ρυθμαπόδοση, ευκρίνεια εικόνας, συμπεριφορά χρηστών κτλ.), αναγνωρίζει την πιθανότερη παράμετρο που μπορεί να επηρεάζει τη ΠτΥ και κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις στο επίπεδο δικτύου και μεταφοράς μέσω της προσαρμογής των συναρτήσεων κίνησης του στρώματος μεταφοράς (NACF –Network Attachment Control Function και RACF- Resource Attachment Control Function) ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των χρηστών και να μεγιστοποιήσει την ΠτΕ των χρηστών. Θεωρητικά, η συνολική θεώρηση αποτελεί ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου η έξοδος του οποίου είναι η ΠτΕ του χρήστη και οι παράμετροι που σχετίζονται με τη πηγή και το δίκτυο είναι οι μεταβλητές ελέγχου. Συμπερασματικά, εφόσον κάθε δίκτυο ανεξάρτητα μεγιστοποιεί τοπικά τη ΠτΕ των χρηστών του, η προτεινόμενη λύση μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε NGN το οποίο εκ φύσεως είναι κατανεμημένο και ετερογενές. Ωστόσο, στο χρήστη δεν δίνεται η δυνατότητα να εκφράσει άμεσα το επίπεδο ικανοποίησής του από την υπηρεσία που λαμβάνει, ενώ τα συμπεράσματα για την χρησιμότητα ή τη δυσαρέσκεία του εξάγονται από ενδεχόμενη αλληλεπίδρασή του με το τερματικό που χρησιμοποιεί και σχετίζεται άμεσα με τιμές κατωφλίων ΠτΥ.

Στοχεύοντας επίσης στην αυτό-βελτιστοποίηση του συνολικού δικτύου μέσω της μεγιστοποίησης της χρησιμότητας των πόρων, στο [57] προτείνεται ένα αναλυτικό μοντέλο ικανό να εκτιμήσει την ποιότητα της εμπειρίας σε ένα IP δίκτυο και να τη βελτιστοποιήσει. Η βασική ιδέα συνίσταται στο διαμοιρασμό του διαθέσιμου εύρους ζώνης στις υπηρεσίες ανάλογα με τη σημασία που έχουν για τον εκάστοτε χρήστη. Στοχεύοντας ταυτόχρονα στη βελτιστοποίηση της ευχαρίστησης όπως την αντιλαμβάνεται ο χρήστης, και της

χρησιμότητας των υπηρεσιών που παρέχει το δίκτυο, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να καθορίσει μέσω κατάλληλου λογισμικού την προτεραιότητα που έχουν για αυτόν οι υπηρεσίες που λαμβάνει. Ελέγχοντας διαρκώς τη συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις του χρήστη υπολογίζεται άμεσα η βέλτιστη εκχώρηση εύρους ζώνης στο σύστημα, λαμβάνοντας υπόψη την υπηρεσία που προτιμά περισσότερο ο χρήστης, μεταβάλλοντας ταυτόχρονα τα χαρακτηριστικά των υπόλοιπων υπηρεσιών. Ωστόσο, η αυτόματη αναπροσαρμογή των προτεραιοτήτων των υπόλοιπων υπηρεσιών που επιβάλλεται μετά από κάθε αλλαγή επιφέρει στις υπόλοιπες υπηρεσίες μειώσεις στην ΠτΥ αναδιανέμοντας τους διαθέσιμους πόρους μετατρέποντας τες σε υπηρεσίες καλύτερης προσπάθειας (best effort).

3. ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΤΥΠΟΥ IPV6

3.1. Εισαγωγή

Η Αυτόνομη Υπολογιστική (autonomic computing) αναφέρεται γενικά στην αέναη διαδικασία ελαχιστοποίησης του λειτουργικού κόστους του διαχειριστή κατά την εκτέλεση ενός μεγάλου πλήθους εργασιών στο δίκτυο, μεταφέροντας την υπευθυνότητα από τον διαχειριστή στο ίδιο το δίκτυο και τις εφαρμογές του. Παραδείγματος χάριν στο πλαίσιο της παρακολούθησης της λειτουργίας ενός δικτύου, η διαμόρφωση, εγκατάσταση και διαχείριση υπηρεσιών παρακολούθησης είναι όχι μόνο κοστοβόρα αλλά και χρονοβόρα. Ένας αυτόνομος υπολογιστικός μηχανισμός θα μπορούσε να αναλάβει τη συγκέντρωση και ανάλυση μόνον της ελάχιστης απαραίτητης πληροφορίας καθώς και τον διαμοιρασμό μόνο στα αναγκαία συστήματα ελαχιστοποιώντας το κόστος για τον διαχειριστή. Συνεπώς στο παράδειγμα μας απαιτούνται συστήματα ικανά να αυτό-διαχειριστούν τις απαιτήσεις των εφαρμογών και υπηρεσιών και στη συνέχεια να τις ικανοποιήσουν.

Σε αυτή τη διατριβή υιοθετούμε τους ορισμούς της *Αυτονομίας* ή *Αυτονόμησης* (Autonomicity) καθώς και τη συνολική προσέγγιση της πειραματικής **αρχιτεκτονικής GANA – Generic Autonomic Network Architecture** [58] αναπτύχθηκε στα πλαίσια του έργου EFIPSANS [59]. Σύμφωνα με τη GANA η αυτονομία υλοποιείται μέσω της χρήσης δομών ελέγχου κλειστού βρόχου (control loop) (τις οποίες στη συνέχεια της ανάλυσης θα συμβολίζουμε με CL) οι οποίες λειτουργούν στο εσωτερικό των κόμβων/συσκευών χρήστη (nodes) του δικτύου καθώς και του δικτύου σαν ολότητα, και δίνουν την δυνατότητα για προηγμένη και εμπλουτισμένη διαχείριση του δικτύου όπως και των συσκευών αυτού. Σαν αυτόνομη ή αυτονομημένη συμπεριφορά (autonomic behavior) ορίζουμε εκείνη τη

συμπεριφορά ή δράση της οποίας αποτελείται από ένα πλήθος υπό-συμπεριφορών (sub-behaviors) και ενεργοποιείται από δύο ισοδύναμες πραγματικές οντότητες σαν εναύσματα που ονομάζονται **Στοιχείο Λήψης Απόφασης (Decision Making Element, DME)** ή **Στοιχείο Απόφασης (Decision Element, DE)** στη προσπάθεια να επιτευχθεί ο στόχος του «πως το DME ή το DE διαχειρίζεται μία ή περισσότερες **υπό-διαχείριση οντότητες (Managed Entity, ME)** που έχει υπό τον έλεγχό της». Η αυτόνομη συμπεριφορά συνολικά θεωρείται σαν μία συνδυασμένη συμπεριφορά, ενός ή περισσότερων οντοτήτων DEs ή DMEs, που ενεργοποιείται σαν αποτέλεσμα υποδοχής πληροφορίας από τους τροφοδότες πληροφορίας της όπως τις συνδεδεμένες με αυτή οντότητες ME, στη προσπάθεια να ρυθμιστεί ή να αναδιαμορφωθεί η συμπεριφορά των οντοτήτων διαχείρισης ME.

Ένα παράδειγμα αυτόνομης ή αυτονομημένης συμπεριφοράς είναι: αυτό-περιγραφή (self-description) και αυτο-διαφήμιση (self-advertisement), αυτό-επούλωση (self-healing), αυτό-διαμόρφωση (self-configuration), οι οποίες όλες ενεργοποιούνται από ένα στοιχείο DME. Επομένως είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι μία αυτόνομη συμπεριφορά συνδέεται πάντα με ένα ή περισσότερα στοιχεία DME και πιθανώς (όχι απαραίτητα) με τους τροφοδότες πληροφορίας ως συστατικά μέρη του ελέγχου κλειστού βρόχου CL που υλοποιεί το DME μαζί με τις οντότητες διαχείρισης ME που βρίσκονται κάτω από τον έλεγχο του εν λόγω DME. Ένα στοιχείο DME μπορεί να εισαχθεί σαν ανεξάρτητη οντότητα μέσα σε ένα κόμβο (node) ή σαν μέρος μιας λειτουργικής οντότητας όπως ένα πρωτόκολλο ή μία εφαρμογή.

Οι προηγούμενοι συλλογισμοί υιοθετούνται εν μέρει ή και στο σύνολο τους από τα πιο σημαντικά πεδία έρευνας και ανάπτυξης στο χώρο των δικτυωμένων πολυμέσων (networked media), του “Future Internet” και του “Internet of Things” σε Ευρωπαϊκό επίπεδο αλλά και παγκοσμίως όπως επίσης και αντικείμενο μελέτης τελευταία ως εφαρμογές

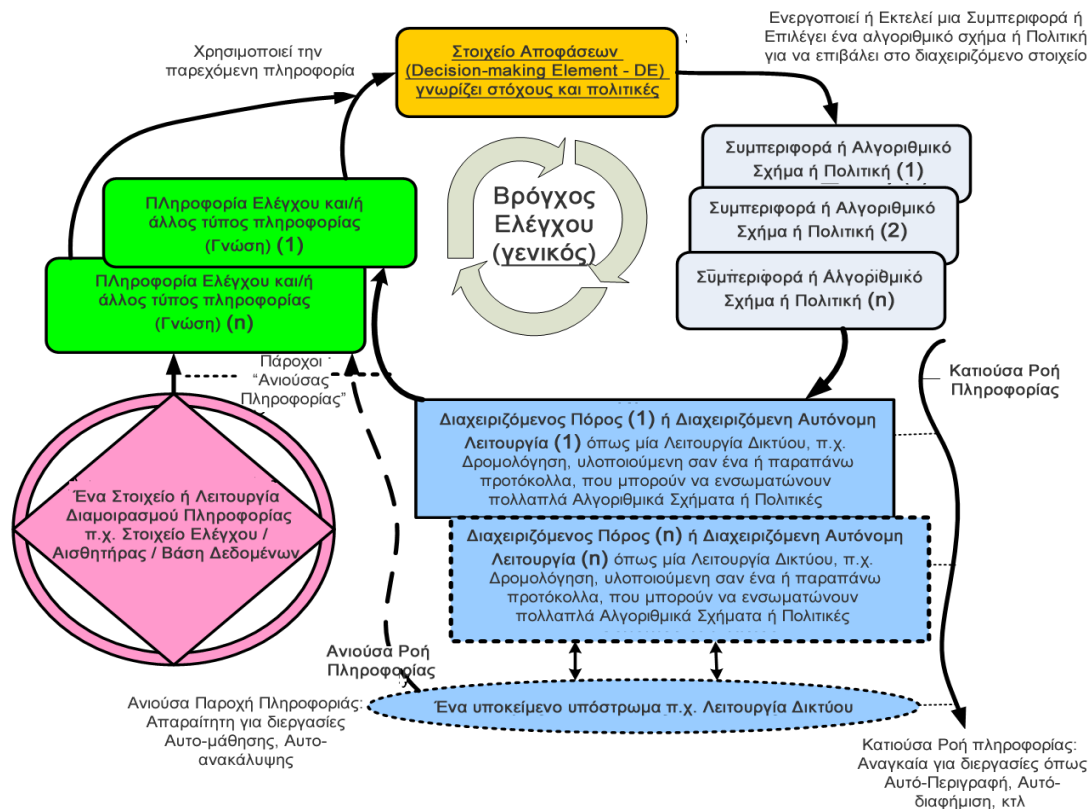
στο χώρο της αυτόνομης υπολογιστικής (autonomic computing) και δικτύωσης (autonomic networking) που θεμελιώθηκε από την IBM ([1], [2]).

Ο σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι να περιγράψει συνοπτικά τη μεθοδολογία με την οποία έχουν αποτυπωθεί οι έννοιες του ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας ΠτΥ και εμπειρίας χρήστη ΠτΕ σε όλα τα επίπεδα OSI πάνω στο μοντέλο αυτονομημένης υπολογιστικής και δικτύωσης σύμφωνα με την γενικευμένη αρχιτεκτονική GANA. Το παρόν κεφάλαιο παρέχει το απαραίτητο υπόβαθρο για τη μύηση του αναγνώστη σε θέματα αυτονομημένης δικτύωσης, διαλειτουργικότητας και διανομής υπηρεσίας εμβαθύνοντας κυρίως στους μηχανισμούς ελέγχου ποιότητας και εμπειρίας χρήστη έτσι ώστε να διευκολύνει την κατανόηση των προτεινόμενων επεκτάσεων και προτύπων που αναπτύσσονται στο επόμενο κεφάλαιο.

3.2. Μοντέλο αυτόνομης δικτύωσης τύπου GANA

Βασιζόμενοι στο μοντέλο αυτόνομης δικτύωσης IBM-MAPE [2] η Εικόνα 9 απεικονίζεται το μοντέλο ενός αυτόνομου συστήματος δικτύωσης καθώς και τους συνδεδεμένους βρόγχους ελέγχου CL. Παρόλη τη γενική φύση του μοντέλου και σε αντιδιαστολή με το μοντέλο IMB-MAPE περιγράφονται επίσης οι κατανεμημένες λειτουργίες που παρέχουν σε ένα Σημείο Απόφασης DME την απαραίτητη πληροφορία και γνώση που απαιτείται ώστε να είναι ικανό να διαχειριστεί τις υποκείμενες υπο-οντότητες, μηχανισμούς ή πόρους. Στο μοντέλο μας υιοθετούμε την ιδέα του Σημείου Απόφασης (DE) σαν ένα αυτόνομο στοιχείο, σε συμφωνία με τον ρόλο ενός Αυτόνομου Διαχειριστή (Autonomic Manager) στο μοντέλο IBM-MAPE. Υιοθετούμε επίσης τον όρο της Διαχειριζόμενης Οντότητας (ME) υπονοώντας κάθε διαχειριζόμενο πόρο ή αυτοματοποιημένη διαδικασία, αντί του όρου Αυτόνομο Στοιχείο, προκειμένου να είμαστε

ποιο γενικοί και να αποφύγουμε τη σύγχυση που εισάγετε όταν θεωρήσουμε τον όρο Στοιχείο άμεσα συνδεδεμένο με μία πραγματική συσκευή. Επιπλέον, αυτό τονίζει το γεγονός πως συμπεριφορές και ενέργειες που λαμβάνονται από DE δεν έχουν κατ' ανάγκη να κάνουν με τη πυροδότηση κάποιας συμπεριφοράς ή την επιβολή μιας πολιτικής σε ένα διαχειριζόμενο πόρο, αλλά με το γεγονός πως κάποιες συμπεριφορές που εκτελούνται από DE αναφέρονται στην επικοινωνία μεταξύ DE και άλλων οντοτήτων, πχ. Άλλων DE στο σύστημα ή στο δίκτυο. Αυτό απεικονίζεται από το εκτεταμένο βέλος της «Κατιούσας ροής δεδομένων».

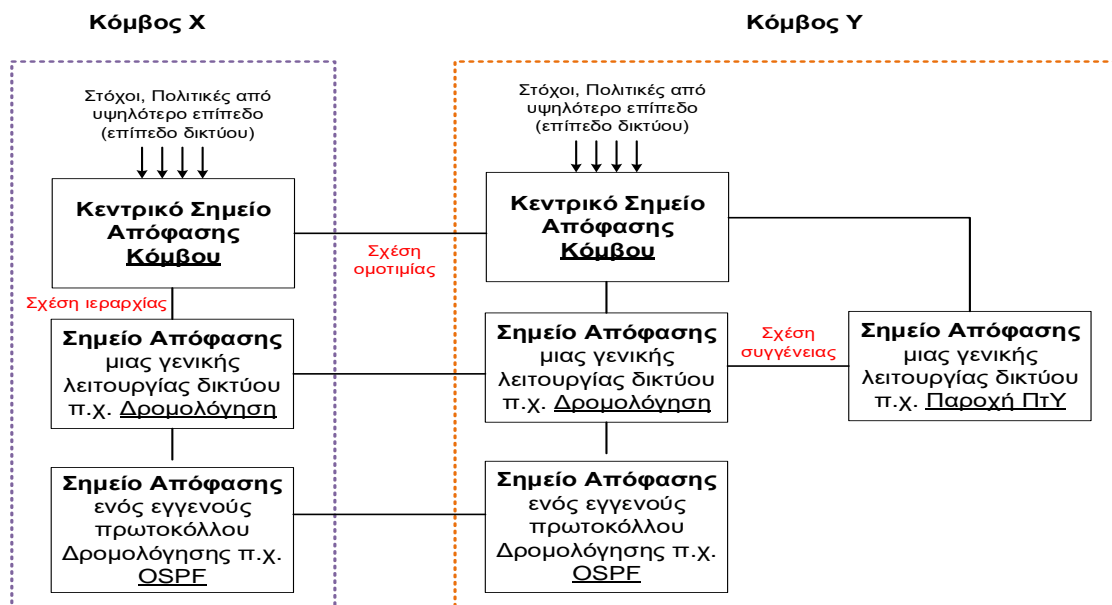


Εικόνα 9. Γενικό μοντέλο ενός αφαιρετικού συστήματος αυτόνομης δικτύωσης

Παραδείγματος χάριν, το DE πιθανώς να χρειάζεται να αυτό-περιγραφεί και να αυτό-διαφημιστεί σε άλλα DE προκειμένου να ανακαλύψει ή να ανακαλυφθεί από άλλα DE και με απώτερο στόχο να επικοινωνήσει και να αποκτήσει πληροφορίες και γνώση από άλλα

DE. Στην εικόνα περιγράφεται επίσης το γεγονός πως μια διαχειριζόμενη οντότητα ME μπορεί να είναι ένα φυσικό αντικείμενο, πχ. μια συσκευή ή μια μνήμη, ή μπορεί να είναι μια αυτοματοποιημένη διαδικασία (στη γενική της μορφή) που υλοποιείται είτε από λειτουργίες του συστήματος είτε από δικτυακές λειτουργίες που ενσωματώνονται σε ένα ή παραπάνω πρωτοκόλλα που ενδεχομένως φέρουν επίσης και αλγοριθμικά σχήματα ή πολιτικές.

Συνοψίζοντας, με βάση τα παραπάνω στην αρχιτεκτονική GANA, τα DE σχεδιάζονται ακολουθώντας τις αρχές των σχέσεων "ιεραρχίας", "ομοτιμίας" και "συγγένειας" μεταξύ DE του ίδιου ή διαφορετικών κόμβων όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 11: (δηλαδή η GANA εισάγει φορμαλισμό στον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η επικοινωνία και η συνεργασία των DE). Με αυτό τον τρόπο οι σχεδιαστικές ιδιότητες της GANA οδηγούν σε μία ιεραρχική δομή DE (δηλαδή βρόχων ελέγχου) που διευκολύνει τον αποδοτικό σχεδιασμό περίπλοκων αυτόνομων δικτύων μεγάλης κλίμακας λόγω α) του λογικού διαχωρισμού των περίπλοκων διαδικασιών λήψεων αποφάσεων, β) την ικανότητα να επιλύονται «διαμάχες» (conflicts) μεταξύ DE και γ) των εσωτερικών ιδιοτήτων ευστάθειας και κλιμακοθετησιμότητας.



Εικόνα 10: Ιεραρχικές, ομοτιμες-συγγενικές σχέσεις και διεπαφές μοντέλου GANA

Για κάθε είδος λειτουργικότητας εισάγονται τέσσερις τύποι DE, σε διάφορα επίπεδα.:

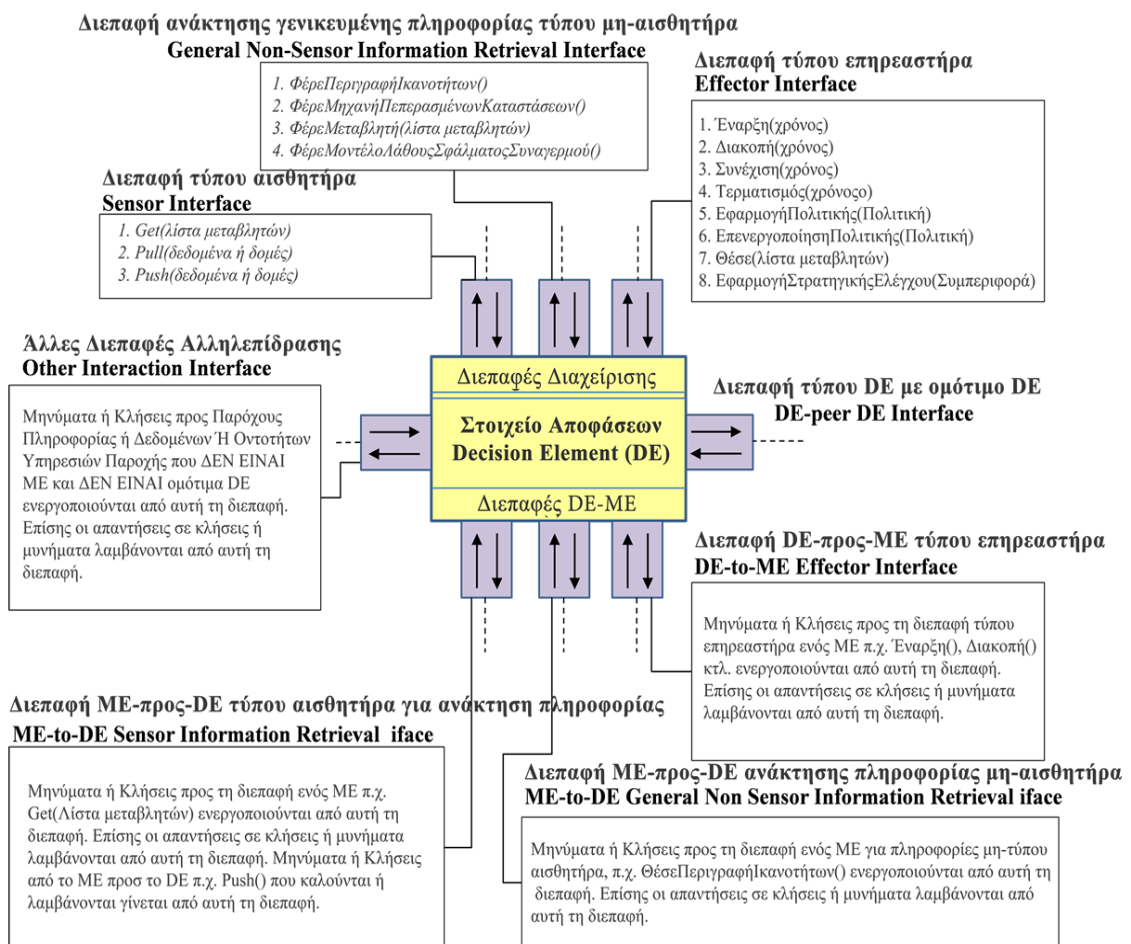
- *DE Επιπέδου Πρωτοκόλλου (Protocol Level DE)*: Το χαμηλότερο επίπεδο στην ιεραρχία της GANA, όπου η αυτονομία σχεδιάζεται εσωτερικά και σχετίζεται ουσιαστικά με τη λειτουργία του ίδιου του πρωτοκόλλου (είτε πρόκειται για μονολιθικό, είτε για αρθρωτό τύπο πρωτοκόλλου).
- *DE Επιπέδου Λειτουργίας (Function Level DE)*: Είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο και συντονισμό των συνολικών λειτουργιών που απαιτούν την συνεργασία πολλαπλών DE του χαμηλότερου επιπέδου πρωτοκόλλου. Τα DE επιπέδου λειτουργίας παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην συνολική αρχιτεκτονική, λόγω του ότι η επικοινωνία και συνεργασία τους (εσωτερικά είτε μεταξύ κόμβων) εξασφαλίζει την αρραγή και βέλτιστη λειτουργία όλων των συστημάτων και λειτουργιών του συστήματος.
- *DE Επιπέδου Δικτύου (Network Level DE)*: Είναι υπεύθυνα για τη συγκέντρωση πολιτικών δικτύου (π.χ. που επιβάλλουν οι πάροχοι) και για την κατάλληλη μετάφραση και επικοινωνία τους στα αντίστοιχα στοιχεία χαμηλότερα στην ιεραρχία. Με μια τέτοια προσέγγιση ο πάροχος είναι ικανός να ελέγξει και να καθοδηγήσει τη συμπεριφορά του αυτόνομου δικτύου.
- *Κύριο DE Κόμβου (Main Node DE)*: Λαμβάνοντας τις πολιτικές που εισάγονται από το δίκτυο, το προφίλ του αυτόνομου χρήστη, καθώς και επιπλέον μετρικών (π.χ. κατάσταση μπαταρίας κτλ) οργανώνει και συντονίζει την συνολικής

3.3. Αρχιτεκτονική λειτουργιών αυτόνομης δικτύωσης κατά GANA

Στη συνέχεια περιγράφουμε συνοπτικά το εφαρμοζόμενο μοντέλο και τις σχετικές οντότητες της αρχιτεκτονικής λειτουργιών (functional architecture) χαμηλότερου επιπέδου σύμφωνα με τις αρχές σχεδίασης του μοντέλου GANA. Αναλυτικά αφού πρώτα δοθεί μία

περιγραφή του πρωτογενούς μοντέλου λειτουργιών της πρωταρχικής και αδιαίρετης οντότητας DE που χρησιμοποιείται καθολικά στην αρχιτεκτονική GANA, περιγράφονται τα εμπλεκόμενα στοιχεία αποφάσεων DEs που υλοποιούν στη πράξη τις αυτόνομες λειτουργίες ελέγχου αυτές καθ' αυτές, καθώς και τον τρόπο διασύνδεσης μεταξύ τους.

Μία πλήρης μορφή του πρωτογενούς μοντέλου λειτουργικής αρχιτεκτονικής του στοιχείου απόφασης DE που υλοποιεί στη πράξη τις προβλεπόμενες αυτόνομες λειτουργίες κατά GANA φαίνεται στην Εικόνα 11: . Το συγκεκριμένο μοντέλο λειτουργίας θεωρείται πλήρες υπό την έννοια ότι περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες διεπαφές για την υλοποίηση των βασικών λειτουργιών αυτονομημένης υπολογιστικής όπως φαίνονται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 11: Μοντέλο διεπαφών DE σύμφωνα με τις αρχές σχεδίασης GANA (πηγή [58])

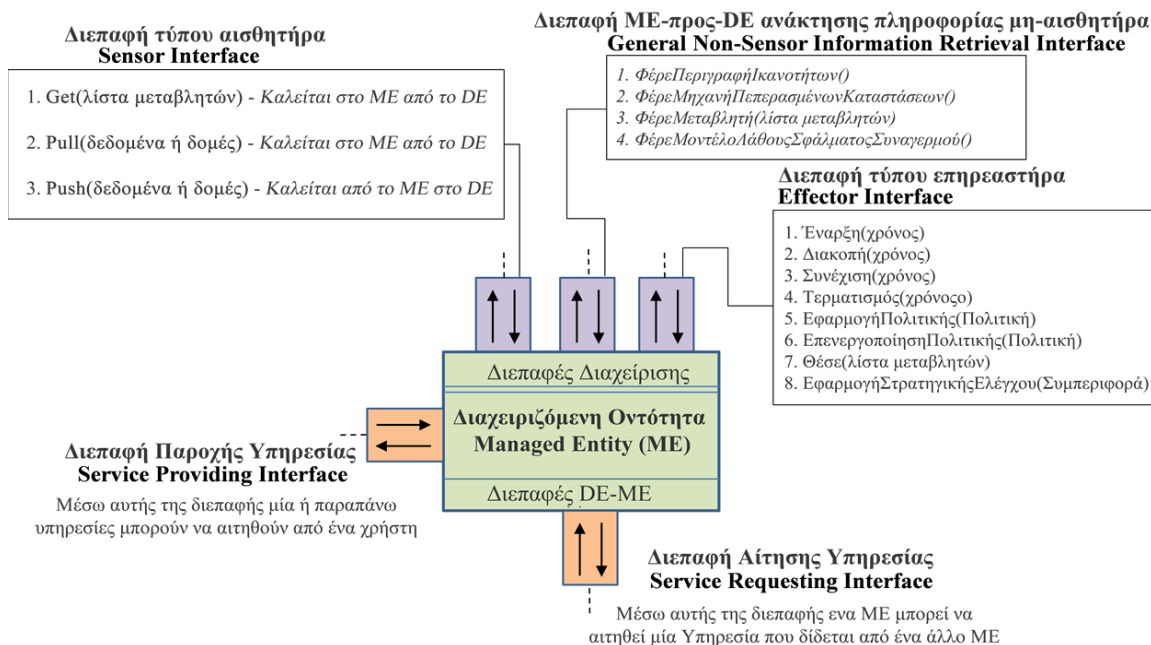
Οι διεπαφές συμβολίζονται μέσα σε κουτάκια με αντίθετα βελάκια όπως φαίνεται στην Εικόνα 11 και αντιπροσωπεύουν μηχανισμούς ανταλλαγής πληροφορίας και σηματοδότησης (signaling) ενώ διακρίνονται σε διαφορετικά είδη ανάλογα τη χρήση τους όπως:

- **Διεπαφή τύπου αισθητήρα (Sensor Interface):** χρησιμοποιείται για τη προώθηση ή αποστολή πληροφορίας σε DE υψηλότερων επιπέδων
- **Διεπαφή τύπου επηρεαστήρα (Effector Interface):** χρησιμοποιείται ως δέκτης πληροφορίας για λογαριασμό του συγκεκριμένου DE προερχόμενης από ανώτερα DE
- **Διεπαφή ανάκτησης γενικευμένης πληροφορίας τύπου μη-αισθητήρα (General Non Sensor Information Retrieval Interface):** χρησιμοποιείται για την ανάκτηση γενικευμένης πληροφορίας τύπου μη-αισθητήρα που ανταλλάσσεται μεταξύ του συγκεκριμένου και των ανωτέρων αυτού DE.
- **Διεπαφή τύπου DE με ομότιμο DE (DE-to-peer DE Interface):** χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή πληροφορίας από και προς το γειτονικό ομότιμο ή αδελφικό DE για λογαριασμό του συγκεκριμένου DE.
- **Διεπαφή DE-προς-ME τύπου επηρεαστήρα (DE-to-ME Effector Interface):** χρησιμοποιείται για την αποστολή εντολών και ενεργειών από το DE προς το ME, όπως π.χ. Ξεκίνα(), Εφάρμοσε_Πολιτική(), Τερμάτισε() κτλ. Επίσης χρησιμοποιείται για την αποδοχή των μηνυμάτων απάντησης που αποστέλλουν τα ME στα DE, σε συνέχεια των εντολών εφαρμογής.
- **Διεπαφή ME-προς-DE τύπου αισθητήρα για ανάκτηση πληροφορίας (DE-to-ME Sensor Information Retrieval Interface):** χρησιμοποιείται για την αποστολή μηνυμάτων ή κλήσεων ενεργοποίησης συλλογής πληροφοριών αισθητήρα. Η ίδια διεπαφή χρησιμοποιείται επίσης όσο και για την αποστολή μηνυμάτων επιβεβαίωσης

των εντολών όσο και για την αυτή κάθε αυτή μεταφορά των μηνυμάτων τύπου αισθητήρα από το άμεσα ελεγχόμενο ME στο DE.

- **Διεπαφή ME-προς-DE ανάκτησης γενικευμένης πληροφορίας τύπου μη-αισθητήρα (General Non Sensor Information Retrieval Interface):** χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή γενικευμένης πληροφορίας τύπου μη-αισθητήρα μεταξύ του συγκεκριμένου DE και του άμεσα ελεγχόμενου ME, όπως επίσης και για τις απαντήσεις των μηνυμάτων και εντολών.
- **Άλλες Διεπαφές Αλληλεπίδρασης:** Πρόκειται για τύπο υπο-διεπαφών μέσω των οποίων πληροφορία αιτείται ή παρέχεται στα συνεργαζόμενα αντικείμενα τα οποία δεν είναι ούτε ME, ούτε ομότιμα DE.

Ομοίως οι διεπαφές των ME φαίνονται στο παρακάτω σχήμα ενώ η αντιστοίχιση τους με αυτές των DE είναι προφανής.



Εικόνα 12. GANA μοντέλο διεπαφών ME βάσει μοντέλου DE (πηγή [58])

Όλα τα είδη επαφών που παρουσιάστηκαν παραπάνω για τη βασική οντότητα DE απαντώνται κατά τον ίδιο τρόπο σε όλα τα διαφορετικά είδη DE (π.χ. Mobility Management DE ή MM_DE ή στοιχείο απόφασης για τη διαχείριση κινητικότητας).

Η λεπτομερής ανάλυση της ολοκληρωμένης αυτόνομης αρχιτεκτονικής δεν αποτελεί στόχο της παρούσας διατριβής, δεδομένου πως είναι αρκετά πολύπλοκη, απαιτώντας κατ' ελάχιστο την ύπαρξη ενός αυτόνομου μηχανισμού για κάθε πρωτόκολλο ανά επίπεδο στο μοντέλο OSI το οποίο διαχειρίζεται με τη σειρά του μία ή περισσότερες οντότητες ME.

Υπό αυτή τη σκοπιά ο στόχος είναι η μελέτη αποκλειστικά των στοιχείων αυτόνομης δικτύωσης που σχετίζονται με:

- Τη παροχή πολυμεσικού περιεχομένου συνεχούς ροής
- Τη παροχή και διαχείριση της ΠτΥ, τον τρόπο διαχείρισης των πόρων που την εξασφαλίζουν,
- Τους μηχανισμούς αυτό-προσαρμογής του συστήματος σε καταστάσεις υποβάθμισης ή εξομάλυνσης παραμέτρων ποιότητας και τέλος
- Τον αυτόνομο μηχανισμό ελέγχου της εμπειρίας χρήστη τόσο σε επίπεδο (α) δικτυακού κόμβου (σταθερού ή κινητού) και (β) δικτύου.

Στις επόμενες παραγράφους συνεπώς αναλύονται και αναπτύσσονται αναλυτικά εκείνα τα κομμάτια της αρχιτεκτονικής που σχετίζονται με την παροχή ΠτΥ και ΠτΕ.

4. ΑΥΤΟΝΟΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ

4.1. Εισαγωγή

Στη συνέχεια επιχειρούμε, μέσα από ανάλυση υψηλού επιπέδου, να αναγνωρίσουμε τα σημαντικότερα ζητήματα και να προσεγγίσουμε το θέμα της παράδοσης υπηρεσιών και περιεχομένου πολυμέσων, τόσο σε ασύρματα όσο και κινητά περιβάλλοντα πρόσβασης ώστε να ληφθούν υπόψη στη σχεδίαση αυτόνομων αυτό-διαχειριζόμενων και αυτό-διαμορφούμενων καινοτόμων συστημάτων. Προς τη κατεύθυνση αυτή, προτείνουμε ένα αυτόνομο μηχανισμό αποτελεσματικής αυτό-διαχείρισης πολυμεσικών υπηρεσιών και εφαρμογών που εκμεταλλεύεται στο μέγιστο βαθμό τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του υφιστάμενου υποκείμενου περιβάλλοντος αυτόνομης δικτύωσης.

Σημαντικά θέματα από το στρώμα εφαρμογής μέχρι το στρώμα μεταφοράς (transport layer) όπως προσαρμογή περιεχομένου και δικτύου (media & network adaptation), χρησιμοποίηση πόρων (network utilization), και έλεγχος συμφόρησης (congestion control) εξετάζονται σε βάθος όπως εμφανίζονται σήμερα σε αρχιτεκτονικές εγκάρσιας διαστρωμάτωσης (cross layered). Σκοπός της μελέτης είναι η παροχή ενός καινοτόμου πλαισίου το οποίο καινοτόμα θα διαχειρίζεται με αυτόνομο τρόπο δημοφιλή πρωτόκολλα όπως SIP/SDP, RTP/RTCP και RTSP ενώ την ίδια στιγμή θα παραμένει στενά συνδεδεμένο με τα οφέλη και τις δυνατότητες ενός περιβάλλοντος αυτόνομης δικτύωσης.

Οι τελικοί χρήστες ενός τέτοιου συστήματος, θα μπορούν να απολαμβάνουν διεισδυτικές (pervasive) υπηρεσίες και εφαρμογές στην κορυφή ενός IPv6/IPv6++ αυτόνομου και ετερογενές δικτύου, το οποίο αναμένεται να είναι σε θέση να παρέχει

απρόσκοπτα και με υψηλή διαθεσιμότητα, συγκεκριμένα επίπεδα υπηρεσίας και εμπειρίας χρήστη.

Η προσέγγιση της παρούσας μελέτης αποσκοπεί στο να εμβαθύνει σε όλα τα σχετικά και πολύπλοκα θέματα διαχείρισης και ελέγχου δικτύου ώστε να παρουσιάσει ένα αξιόπιστο, αποτελεσματικό και διαχειρίσιμο πλαίσιο έρευνας για το στρώμα μεταφοράς (transport layer) το οποίο με διαφανή τρόπο θα είναι σε θέση να υποστηρίξει μία ευρεία κλίμακα εφαρμογών τελικού χρήστη. Η απομόνωση του τελικού χρήστη από οποιαδήποτε μορφή ή διαδικασία διαχείρισης δικτύου, αποτελεί τη πιο σημαντική απαίτηση η οποία και θα επιτρέψει την χρήση διεισδυτικών υπηρεσιών πολυμέσων σε εφαρμογές ενήμερων του περιβάλλοντος (context aware).

Το πεδίο τεχνολογίας των αυτόνομων συστημάτων αναμένεται να επιδράσει σημαντικά το αποτελεσματικό πάντρεμα μεταξύ των πεδίων διαχείρισης υπηρεσίας και διαχείρισης δικτύου μαζί σε ένα αυτο-συντονίσιμο (self-tuned) και αυτο-διαχειρίσιμο σύστημα. Ο προτεινόμενος μηχανισμός αποσκοπεί σε πρώτο στάδιο να διευθετήσει όλα τα απαιτούμενα θέματα διαχείρισης αυτόνομης δικτύωσης γύρω από τη παροχή ΠτΥ και διαθεσιμότητας πόρων καθώς επίσης θέματα χαμηλότερης διαστρωμάτωσης όπως συνδεσιμότητα, δρομολόγηση κλπ.. Το πλαίσιο παρέχει επίσης ένα προηγμένο μηχανισμό παρακολούθησης εκπλήρωσης (performance monitoring) ικανό να μετράει ένα πλήθος αυτόνομα προσανατολισμένων μετρικών και παραμέτρων τόσο στη μεριά του δικτύου όσο και στη μεριά της υπηρεσίας/εφαρμογής. Η εφαρμογή που εκτελείται στη κορυφή του αυτόνομου κόμβου στηρίζεται ισχυρά στα συλλεγόμενα δεδομένα εκπλήρωσης που ανατροφοδοτούν τους αντίστοιχους αυτόνομους μηχανισμούς με στόχο να:

- Αυτό-προσαρμοστεί στις συνεχώς μεταβαλλόμενες δικτυακές συνθήκες
- Αυτό-διαχειριστεί την τρέχουσα συνεδρία της εφαρμογής (πολυμέσου)
- Αυτο-επουλωθεί (self-heal) από δριμείς συνθήκες δικτύου (π.χ. συμφόρηση)

Τέλος η μελέτη παρέχει μία ενοποιημένη μεθοδολογία για την αξιολόγηση και αποτίμηση της επίδρασης των αυτόνομων συμπεριφορών συνολικά πάνω στην εκπλήρωση της εφαρμογής, παρέχοντας ένα μηχανισμό από άκρη-σε-άκρη (end-to-end) συλλογής δεδομένων εκπλήρωσης της εφαρμογής καθώς και τη μεταφορά αυτών των μετρικών εκπλήρωσης απευθείας στον αυτόνομο κόμβο για τη προσαρμογή της εφαρμογής. Το βασισμένο στο GANA πλαίσιο αυτόνομης διαχείρισης υπηρεσίας, σε συνδυασμό με την προαναφερθείσα στρατηγική εκτίμησης της εκπλήρωσης, αποτελούν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την συνολική αξιολόγηση των αυτόνομων συστημάτων επικοινωνιών.

Για λόγους σύγκρισης στην [60] μία παρόμοια μελέτη παρουσιάζεται επίσης σαν μία πρώιμη προσπάθεια να προσδιοριστεί η έννοια της αυτόνομης διαχείρισης υπηρεσίας, όπου η προτεινόμενη αρχιτεκτονική εξασφαλίζει την παράδοση των υπηρεσιών σύμφωνα με συγκεκριμένες συμφωνίες επιπέδου υπηρεσίας (SLAs) μεταξύ πελατών και παρόχων υπηρεσίας.

Η προσέγγιση της διατριβής ακολουθεί μία πιο ρεαλιστική άποψη υποστηρίζοντας την διάκριση μεταξύ των στρωμάτων υπηρεσίας και δικτύου και ταυτόχρονα συλλαμβάνοντας τις απαραίτητες διεπαφές και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αυτόνομων οντοτήτων που προτείνονται καθώς και των υποκείμενων πρωτοκόλλων υπό τη μορφή των διαχειριζόμενων οντοτήτων (managed entities).

4.2. Αυτόνομη παράδοση πολυμέσων

Η παράδοση πολυμέσων (περιεχομένου και υπηρεσιών) μέσω Διαδικτύου παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον γιατί παρουσιάζει εξειδικευμένες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιηθούν σε διαφορετικά μέρη του δικτύου, το πιο σημαντικό από όλα είναι εκείνο της εκπομπής δηλαδή της πρόσβασης δικτύου και μεταφοράς. Η επιτυχημένη παράδοση

τυπικά επιβάλλει αυστηρές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας ΠτΥ σε εύρος ζώνης (bandwidth), καθυστέρηση (delay) και τρόμου φάσης καθυστέρησης (delay jitter), ενώ μόνο υπηρεσίες άριστης προσπάθειας (best-effort) μπορούν να υποστηριχθούν θεωρώντας σταθερώς μεταβλητές συνθήκες δικτύου. Τέτοιες μεταβολές γίνονται περισσότερο μη προβλέψιμες και ραγδαίες στη περίπτωση των ασύρματων και κινητών εκπομπών όπου η κινητικότητα (mobility) του κόμβου επιδρά περαιτέρω στις συνθήκες δικτύου κατά τη μετακίνηση μεταξύ εξυπηρετούμενων περιοχών με περιορισμένη διαθεσιμότητα πόρων και συνδεσιμότητα, δυσκολεύοντας τη παράδοση πολυμέσου (περιεχομένου και υπηρεσίας).

Για να βελτιωθεί η αντιλαμβανόμενη (perceived) ποιότητα πολυμέσου και να εξασφαλιστεί η παράδοση στους τελικούς χρήστες του ενσύρματου ή ασύρματου Διαδικτύου, η παροχή ποιότητας υπηρεσίας ΠτΥ επιτελείται κατά μήκος διαφορετικών στρωμάτων ξεκινώντας από εκείνο της εφαρμογής (application layer), στο μεταφοράς (transport layer) και προς το στρώμα ζεύξης δεδομένων (data link layer), ακολουθώντας την λεγόμενη προσέγγιση κατά εγκάρσιας διαστρωμάτωσης (cross-layered). Διαφορετικά στρώματα επιδρούν με διαφορετικό τρόπο στην παραδιδόμενη ποιότητα πολυμέσου και επομένως επιβάλλουν διαφορετικές προσεγγίσεις για την βελτίωση της παράδοσης ανάλογα τη περίπτωση.

Η Εικόνα 3 παρουσιάζει ένα αρκετά κατατοπιστικό διάγραμμα μίας τυπικής εγκάρσιας αρχιτεκτονικής και των εμπλεκόμενων στρωμάτων αυτής. Τα τρία σημεία κλειδιά σε μία αρχιτεκτονική ασύρματου Διαδικτύου για παράδοση πολυμέσων είναι: (α) ο εξυπηρετητής πολυμέσων, (β) ο σταθμός βάσης (Base Station) και (γ) οι κινητοί χρήστες

Στον εξυπηρετητή πολυμέσων το στρώμα εφαρμογής είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της εκάστοτε συνεδρίας (session) κάνοντας χρήση των λειτουργιών μετατροπής του πολυμεσικού περιεχομένου σύμφωνα με τη κατάσταση του δικτύου μετάδοσης (network

aware media adaptation) και του προσαρμοζόμενου ελέγχου σφαλμάτων (adaptive error control).

Η λειτουργία μετατροπής του πολυμεσικού περιεχομένου σύμφωνα με τη κατάσταση του δικτύου μετάδοσης καθορίζει τη κωδικοποίηση περιεχομένου (media codec) που χρησιμοποιείται ανάλογα με τις δικτυακές συνθήκες που ανιχνεύτηκαν. Έχει την ικανότητα να μεταβάλλει δυναμικά τον εφαρμοζόμενο ρυθμό κωδικοποίησης (coding rate) καθώς και άλλες παραμέτρους προσαρμόζοντας, με το τρόπο αυτό, τη παράδοση στις υφιστάμενες και μεταβαλλόμενες συνθήκες δικτύου (εύρος ζώνης, απώλειες πακέτων, καθυστέρηση, κλπ). Επιπρόσθετα κλιμακοθετήσιμες (scalable) τεχνικές εισάγονται επίσης που υλοποιούν αυτή την προσαρμογή του περιεχομένου όπως π.χ. η διαστρωματωμένη κωδίκευση (layered coding) H.263 και MPEG-4. Οι πλήρεις λεπτομέρειες της λειτουργίας διαστρωματωμένης κωδίκευσης παρόλο που εμπίπτει εκτός του σκοπού της παρούσας μελέτης εντούτοις παραμένει μέγιστης σημασίας λόγω ότι ο εξυπηρετητής εφαρμογής λαμβάνει συνεχή πληροφορία ανάδρασης για τις τρέχουσες συνθήκες δικτύου στη πλευρά της λήψης (reception) αλλά και επειδή μπορεί να επιλέγει το κατάλληλο σχήμα διαστρωματωμένης κωδίκευσης για τη ποιοτική μεταφορά του πολυμεσικού περιεχομένου στον τελικό χρήστη δυναμικά κατά τη διάρκεια της εκάστοτε συνεδρίας.

Στη περίπτωση ανίχνευσης σφαλμάτων, η λειτουργία του προσαρμοζόμενου ελέγχου σφαλμάτων χρησιμοποιείται κυρίως για να θωρακίσει υπηρεσίες και εφαρμογές που είναι ευαίσθητες σε καθυστέρηση (delay sensitive apps) όπως π.χ. υπηρεσίες φωνής (voice) ειδικότερα σε περιπτώσεις ασύρματης επικοινωνίας όπου αποτελεσματικές τεχνικές κωδικοποίησης καναλιού (channel coding) απαιτούνται να εφαρμοστούν (πχ. ARQ και FEC) για τη προστασία της ακεραιότητας των δεδομένων.

Για τη συμπλήρωση του παζλ, στον εξυπηρετητή πολυμέσων το στρώμα μεταφοράς ή όπως λέγεται και «στρώμα ελέγχου εκπομπής πολυμέσου» (multimedia transmission control

layer) είναι υπεύθυνο για την αποδοτική και αποτελεσματική παράδοση της υπηρεσίας στον τελικό χρήστη στη καλύτερη δυνατή ποιότητα. Για να εκπληρώσει αυτό το ρόλο είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η κατάσταση όλων των υποκείμενων δικτύων έτσι ώστε το πολυμέσο να προσαρμοστεί αντίστοιχα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αξιοποίησης συγκεκριμένων πρωτοκόλλων ελέγχου συνεχούς ροής (streaming) στο επίπεδο μεταφοράς ικανά να παρακολουθούν και να ελέγχουν την πορεία των υπηρεσιών συνεχής ροής. Τέτοια είναι το πρωτόκολλο IETF μεταφοράς ελέγχου πραγματικού χρόνου RTP/RTCP (Real Time Control Protocol), το πρωτόκολλο συνεχούς ροής πραγματικού χρόνου RTSP (Real Time Streaming Protocol), το πρωτόκολλο εκκίνησης συνεδρίας SIP (Session Initiation Protocol), το πρωτόκολλο περιγραφής συνεδρίας SDP (Session Description Protocol) και το πρωτόκολλο μεταφοράς ελέγχου συνεχούς ροής SCTP (Streaming Control Transport Protocol). Ο βαθμός στον οποίο τα πρωτόκολλα αυτά είναι σε θέση να επιτύχουν μία επιθυμητή ποιότητα μέσου μετάδοσης συνεχούς ροής εξαρτάται από την ακρίβεια και το βαθμό εκτίμησης των δικτυακών συνθηκών στη πλευρά της λήψης.

Η εκτίμηση των δικτυακών συνθηκών λήψης στη πράξη επιτελείται μέσω ανίχνευσης του παρόντος διαθέσιμου εύρους ζώνης και εφαρμογής αποτελεσματικού ελέγχου συμφόρησης. Ένα κατάλληλο σχήμα ελέγχου συμφόρησης θα πρέπει να μεγιστοποιεί την χρησιμοποίηση εύρους ζώνης και την ίδια στιγμή να αποφεύγει τη κατάχρηση των δικτυακών πόρων η οποία μπορεί να οδηγήσει και σε κατάρρευση του δικτύου. Με τη χρήση ενός φιλικού προς το TCP (Transmission Control Protocol) πρωτόκολλο συνεχούς ροής είναι δυνατό να εφαρμοστούν δύο είδη πρωτοκόλλων ελέγχου συμφόρησης: (α) αυτά που ενεργούν βάσει παραθύρου (window-based), και (β) αυτά που ενεργούν βάσει μοντέλου (model-based). Από τα δύο μόνο το πρωτόκολλο ελέγχου συμφόρησης βάσει-παραθύρου μπορεί να υποστηρίξει προσθετική αύξηση και πολλαπλασιαστική μείωση (AIMD) ρύθμιση ρυθμού παρόμοια με αυτής του TCP.

4.3. Αυτο-Διαχείριση και Διαλειτουργικότητα

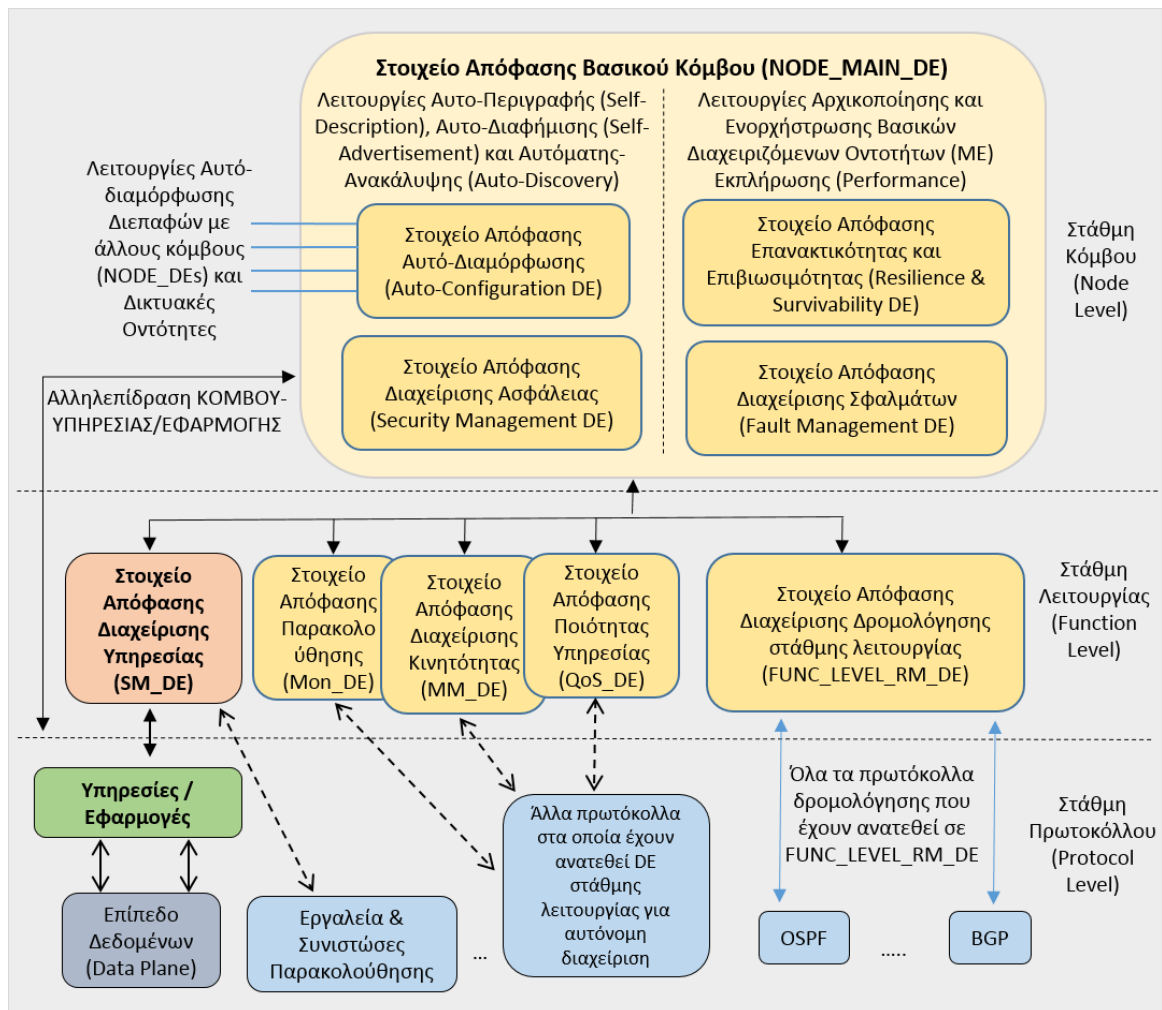
Υιοθετώντας το μοντέλο αυτόνομης δικτύωσης GANA για την παροχή πολυμεσικών υπηρεσιών, τα ακόλουθα θεωρούνται ως τα σημαντικότερα αυτόνομα στοιχεία αποφάσεων DEs που καθορίζουν τον τρόπο δράσης των αυτόνομων συμπεριφορών:

- Στοιχείο Διαχείρισης Υπηρεσίας (SM-DE ή Service Management DE)
- Στοιχείο Παρακολούθησης (πόρων) (M-DE ή Monitoring DE)
- Στοιχείο Διαχείρισης Κινητικότητας (MM-DE ή Mobility Management DE)
- Στοιχείο Διαχείρισης Προώθησης (FWM-DE ή Forwarding Management DE), και
- Στοιχείο Διαχείρισης Δρομολόγησης (RM-DE ή Routing Management DE).

Στην Εικόνα 13 απεικονίζονται η δομή ενός κόμβου αρχιτεκτονικής τύπου GANA, τα στοιχεία απόφασης του στρώματος δικτύου (network layer DEs) και υπηρεσίας (service layer DEs) καθώς και ο τρόπος με τον οποίο τα στοιχεία αυτά διαχειρίζονται τα ανατεθειμένα σε αυτά στοιχεία διαχείρισης MEs (Managed Entities).

Καθένα από αυτά τα στοιχεία απόφασης DE (σύμφωνα με τις αρχές και τα πρότυπα του μοντέλου GANA) διαχειρίζεται συγκεκριμένα πρωτόκολλα και γνωστούς μηχανισμούς τα οποία έχουν προκαθορισμένα ανατεθεί σε αυτό (ή αναλάβει να διαχειριστούν) σύμφωνα με τις αρχές και τα χαρακτηριστικά που έχει αφαιρετικά οριστεί το εκάστοτε στοιχείο απόφασης. Για παράδειγμα στο στοιχείο απόφασης δρομολόγησης RM_DE έχει ανατεθεί η διαχείριση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης (π.χ. BGP, OSFP κλπ) όπως και άλλους σχετικούς με τη δρομολόγηση μηχανισμούς του κόμβου. Στο στοιχείο απόφασης διαχείρισης προώθησης FWM_DE έχει ανατεθεί η διαχείριση των αντίστοιχων πρωτοκόλλων επιπέδου 2.5 και 3 (Layer-3/Layer 2.5) όπως επίσης και εκείνων των

πρωτοκόλλων επιπέδου 2 και 3 (Layer-3/Layer 2) μεταγωγής (switching) που υποστηρίζονται από το κόμβο όπως IPv6, MPLS, Ethernet, κλπ.



Εικόνα 13. Αρχιτεκτονική κόμβου GANA με προσθήκη επεκτάσεων για αυτόνομη Διαχείριση Υπηρεσίας

Αντίστοιχα το στοιχείο απόφασης παρακολούθησης RM_DE διαχειρίζεται πρωτόκολλα και μηχανισμούς παρακολούθησης οι οποίοι απαιτείται να συντονίζονται προς όφελος όλων των λειτουργιών υπηρεσιών του κόμβου συμπεριλαμβανομένου των εφαρμογών. Άμεσα σχετιζόμενο με το τελευταίο είναι και το στοιχείο απόφασης διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσίας (ΠτΥ_DE) και των σχετικών θεμάτων όπως είναι οι προγραμματιστές

(schedulers) και οι παράμετροι αναμονής (queue) στις οποιεσδήποτε ζεύξεις και διεπαφές που παρέχουν συνδεσιμότητα με τον κόμβο. Το στοιχείο απόφασης διαχείρισης κινητικότητας MM_DE διαχειρίζεται όλα τα πρωτόκολλα και τους αντίστοιχους μηχανισμούς που σχετίζονται με τη παροχή και υποστήριξη της κινητικότητας του κόμβου.

Τέλος το στοιχείο απόφασης κυρίου κόμβου (Node_Main_DE) όπως φαίνεται στην Εικόνα 13 ελέγχει τη συνολική συμπεριφορά του κόμβου που αποτελείται από ένα πλήθος υπο-στοιχείων αποφάσεων (sub-DEs) (π.χ. Security Management DE) τα οποία θεωρούνται συστατικά μέρη του κεντρικού στοιχείου απόφασης δηλ του Node_Main_DE. Το στοιχείο αυτό ως κεντρική οντότητα, απαιτεί αποκλειστική πρόσβαση και έλεγχο όχι μόνο στα χαμηλότερης στάθμης στοιχεία αποφάσεων αλλά μέχρι και σε εκείνα χαμηλότερης στάθμης που διαχειρίζονται πρωτόκολλα και στοίβες πρωτοκόλλων του κόμβου GANA, με σκοπό τη διαχείριση των κύριων πτυχών λειτουργικότητας που μοιράζονται όλες οι οντότητες του κόμβου προς όφελος των παρεχόμενων υπηρεσιών και εφαρμογών μέσω αυτού.

4.4. Χαρακτηριστικά Αυτονομίας υπό το πρίσμα της παράδοσης πολυμέσων

Όπως έχει γίνει φανερό από τα προηγούμενα το μοντέλο παροχής αυτόνομης λειτουργικότητας GANA έχει σαν απώτερο σκοπό την επιπλέον υποστήριξη του κόμβου σε διαχειριστικό επίπεδο ώστε μέσω των στοιχείων αποφάσεων DEs που δρουν πάνω στις διαχειριζόμενες οντότητες MEs να καθίσταται εφικτή η αυτο-διαχείριση των εκάστοτε λειτουργιών κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες μέσω αυτόνομων αποφάσεων. Για να ωφεληθούν οι εφαρμογές και υπηρεσίες που εκτελούνται σε ένα κόμβο (συσκευή χρήστη) από αυτόνομα χαρακτηριστικά των χαμηλότερων σταθμών (πρωτόκολλα), το μοντέλο GANA εισάγει ένα πλήθος απαραίτητων αλληλεπιδράσεων και αντίστοιχων διεπαφών

μεταξύ στοιχείων αποφάσεων λειτουργιών δικτύου (network DEs) και εκείνων διαχείρισης υπηρεσιών (ΔΥ_DE). Αυτό συμβαίνει για να επιτραπεί στα πρώτα να αποκτήσουν γνώση για το πώς να διαμορφώνουν και να ελέγχουν τις διαχειριζόμενες οντότητές τους MEs ώστε να απαντώνται συγκεκριμένες απαιτήσεις εκπλήρωσης που τίθενται από υπηρεσίες και εφαρμογές όπως εγγύηση ΠτΥ, ανθεκτικότητα (resilience) δικτύου, κλπ. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την έννοια του στρώματος δικτύου (network-layer) το οποίο είναι πάντα ενήμερο (awareness) εφαρμογής και υπηρεσίας, επιτρέποντας του να αντιδρά άμεσα στις ανάγκες βιωσιμότητας των υπηρεσιών και εφαρμογών που παρέχει και υποστηρίζει. Οι ανάγκες αυτές ουσιαστικά ορίζουν περιορισμούς χρόνου εντός των οποίων η εφαρμογή πρέπει να ενημερωθεί από τα υποκείμενα επίπεδα δικτύου και μεταφοράς ώστε να προσαρμοστεί στις αλλαγές του δικτύου.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω η τροποποίηση των σχετικών μηχανισμών παροχής υπηρεσιών πολυμεσικού περιεχομένου ώστε να υιοθετούν και να υποστηρίζουν αυτόνομες δυνατότητες και λειτουργίες πραγματοποιείται ως εξής:

- **Αυτό-προσαρμογή της κωδικοποίησης περιεχομένου:** Ο αυτόνομος κόμβος και ο αυτόνομος εξυπηρετητής πρέπει να είναι ικανοί να παρακολουθούν τις υποκείμενες συνθήκες της εφαρμογής και του περιβάλλοντος, να ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες για πιθανές εκτιμήσεις της κατάστασης του δικτύου και να αποφασίσουν για τη βέλτιστη κωδικοποίηση η οποία με τη σειρά της εγγυάται την ικανοποίηση των κριτηρίων ΠτΥ και ΠτΕ του χρήστη.
- **Αυτό-διαχείριση Υπηρεσίας/Εφαρμογής:** Ο αυτόνομος κόμβος, δεδομένης της συνεχής ροής πληροφορίας για την κατάσταση του, τις συνθήκες του δικτύου και την ποιότητα της υπηρεσίας στο χρήστη, αποφασίζει για τις απαραίτητες αλλαγές σε υποκείμενα αυτόνομα στοιχεία (π.χ. στοιχεία ΠτΥ) προκειμένου να προστατέψει και διατηρήσει τη κατάλληλη ποιότητα της υπηρεσίας/εφαρμογής.

- **Αυτό-επούλωση Υπηρεσίας/Εφαρμογής:** Ο αυτόνομος κόμβος, σε συνδυασμό με άλλα αυτόνομα στοιχεία αποφάσεων DE και τον αυτόνομο εξυπηρετητή, θα αποφασίσουν από κοινού για την κατάλληλη πολιτική/στρατηγική που πρέπει να εφαρμοστεί στη περίπτωση που η υπηρεσία/εφαρμογή καταρρεύσει για οποιονδήποτε λόγο όπως έχει αναγνωριστεί από τον αυτόνομο κόμβο (π.χ. λόγω συμφόρησης, απώλειας πακέτων κτλ.)

4.5. Διαχείριση Υπηρεσίας βάσει GANA σε συνεχή ροή πολυμέσων

4.5.1. Απαιτήσεις

Το αυτόνομο στοιχείο Διαχείρισης Υπηρεσίας (ΔΥ_DE) ή όπως ονομάζεται σύμφωνα με την ορολογία GANA «Στοιχείο Απόφασης Διαχείρισης Υπηρεσίας (Service Management ΔΥ_DE)» έχει τους παρακάτω ρόλους:

- Να εγγυάται τους απαραίτητους πόρους μέσω συνεργασίας με οντότητες ΠτΥ και να διαχειρίζεται τις χαμηλότερου επιπέδου οντότητες διαχείρισης συνεδρίας όπως τα SIP/SDP, RTP/RTCP, RTSP, κτλ. τα οποία και είναι Διαχειριζόμενες Οντότητες (ME) του ΔΥ_DE.
- Να παρακολουθούν τα επίπεδα απόδοσης της εφαρμογής επικοινωνώντας με τα κατάλληλα ME που σχετίζονται με την διατήρηση της υπηρεσίας (πχ. πληροφορία καθυστέρησης πακέτων μέσω του RTCP).
- Να εγγυάται την καλύτερη δυνατή ποιότητα της υπηρεσίας και εμπειρίας στο τερματικό του χρήστη.
- Να διατηρεί και να εξασφαλίζει την σταθερότητα της υπηρεσίας ισορροπώντας μεταξύ της βέλτιστης ΠτΥ/ΠτΕ και τις διαθεσιμότητας των πόρων στο δίκτυο.

Από λειτουργικής άποψης το ΔΥ_DE διαχειρίζεται όλα εκείνα τα υποκείμενα στοιχεία πρωτοκόλλων κατωτέρου επιπέδου που είναι υπεύθυνα για την ανακάλυψη, εγγραφή, αρχικοποίηση, έλεγχο, παροχή κτλ της υπηρεσίας, εκτελώντας τις παρακάτω εργασίες:

- Να αιτείται την αρχικοποίηση της υπηρεσίας (στη περίπτωση SIP, SDP) επικοινωνώντας με τον απομακρυσμένο εξυπηρετητή (π.χ. INVITE, ACK)
- Στην περίπτωση επικοινωνίας πολυμέσων συνεχούς ροής να ενεργοποιεί και να ελέγχει τα πρωτόκολλα ελέγχου RTP/RTCP ώστε αυτά να διαχειρίζονται επαρκώς την εκάστοτε εγκαθιδρυμένη συνεδρία.
- Μετά την επιτυχή έναρξη της συνεδρίας να παρακολουθεί συνεχώς τη πρόοδο και την απόδοση της λαμβανόμενης ΠτΥ (απώλειες πακέτων και καθυστέρηση) μεταξύ των άκρων.
- Να επικοινωνεί με τα DE ιδίου επιπέδου ΠτΥ (Επίπεδο Λειτουργίας στη GANA) προκειμένου να διαπραγματεύονται συγκεκριμένα κριτήρια ΠτΥ.
- Να ελέγχει συνεχώς μέσω του DE Παρακολούθησης την απόδοση του δικτύου προκειμένου να διατηρεί μία συνολική εικόνα των παραμέτρων δικτύου και μεταφοράς της ενεργής συνεδρίας.

4.5.2. Προτεινόμενο πλαίσιο διαχείρισης υπηρεσίας

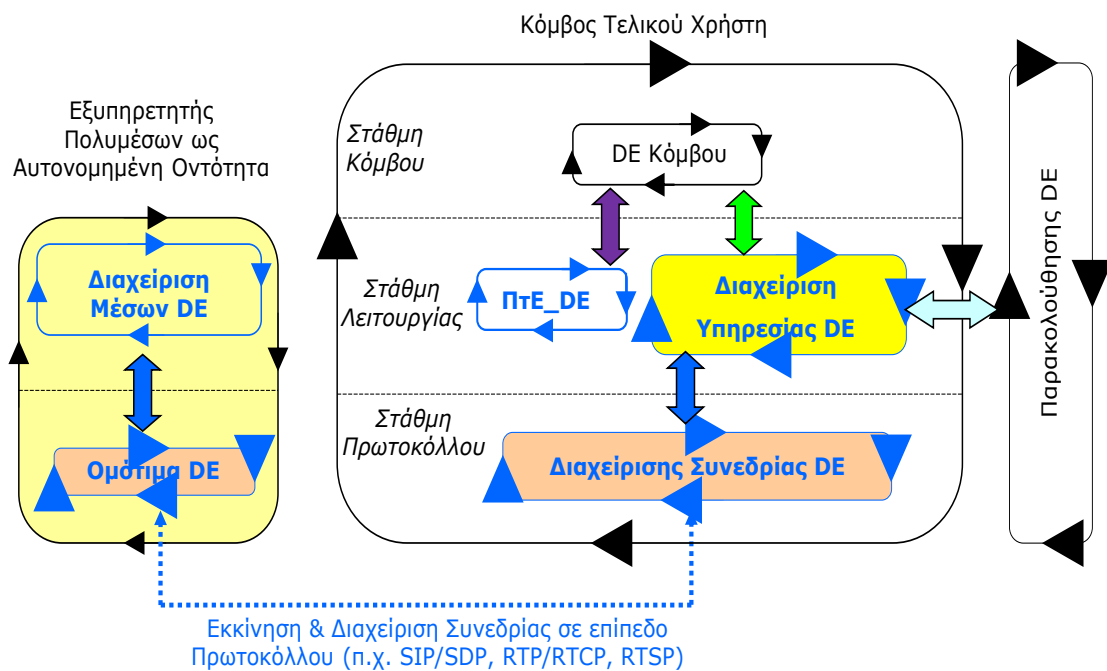
Στο επίπεδο λειτουργικότητας (operation-plane) το στοιχείο απόφασης ΔΥ_DE σαν κεντρική συνιστώσα της αρχιτεκτονικής GANA που παρέχει αυτόνομη διαχείριση υπηρεσίας εξασφαλίζει:

- Τη διαχείριση μηχανισμών στο στρώμα συνεδρίας και εφαρμογής σε πρωτόκολλα χαμηλότερης στάθμης (RTP, RTCP) στη περίπτωση όπου η εκτελούμενη εφαρμογή ή ο χρήστης αυτής απαιτήσει περισσότερους πόρους (π.χ. καλύτερη ποιότητα βίντεο,

υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων) επικοινωνώντας με τον απομακρυσμένο εξυπηρετητή εφαρμογής (application server).

- Την αίτηση περισσότερων πόρων δικτύου (π.χ. αύξηση του επιπέδου της ΠτΥ, ισχυρότερη κωδικοποίηση καναλιού λόγω σφαλμάτων στην ασύρματη μετάδοση) στη περίπτωση εκτέλεσης εφαρμογών απαιτητικών σε εύρος ζώνης επικοινωνώντας απευθείας με άλλα σχετικά DE της ίδια στάθμης (π.χ. ΠτΥ_DE).
- Τη συνεχή παρακολούθηση της απόδοσης του δικτύου (καθυστέρηση, απώλειες, τρέμουλο) μέσω της άμεσης επικοινωνίας μέσω του DE Παρακολούθησης και τη διασταύρωση των συνθηκών του δικτύου με τις μετρικές του επιπέδου εφαρμογής, με απώτερο στόχο την έγκαιρη αντίδραση σε ενδεχόμενα γεγονότα κατάπτωσης της ποιότητας.

Διάγραμμα Οντοτήτων Αυτόνομης Διαχείρισης Υπηρεσίας και Εμπειρίας Χρήστη



Εικόνα 14: Οικοσύστημα Διαχείρισης Υπηρεσίας στη GANA

Στο επίπεδο πρωτοκόλλου η διαχειριζόμενη οντότητα Διαχείρισης Συνεδρίας (Session Management ME) ουσιαστικά αντιπροσωπεύεται από τα γνωστότερα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς όπως τα SIP/SDP, RTP/RTCP, κτλ. Αυτό το ME είναι διαχειριζόμενο απευθείας από το ΔΥ_DE και δεν λαμβάνει καμία απόφαση για την εκάστοτε συνεδρία σε εξέλιξη προτού ενημερώσει το ΔΥ_DE. Με αυτό τον τρόπο το ΔΥ_DE αποτελεί τον συντονιστή της συνολικής υπηρεσίας ο οποίος έχοντας μια καθαρή άποψη των συνθηκών και παραμέτρων του δικτύου και της εφαρμογής είναι σε θέση αποφασίζει για τις εκάστοτε τροποποιήσεις στο σύστημα με απώτερο στόχο τη βελτιστοποίηση των κριτηρίων ΠτΥ και ΠτΕ του χρήστη.

4.6. Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάσαμε σε υψηλό επίπεδο τις απαιτήσεις λειτουργίας των υπηρεσιών παροχής πολυμεσικού περιεχομένου συνεχής ροής σε δίκτυα εγκάρσιας διαστρωμάτωσης. Κύριος στόχος ήταν η περιγραφή μιας γενικής αρχιτεκτονικής βασισμένης στη GANA που να επιτρέπει την αυτονομία και αυτο-διαχείριση του κόμβου και του δικτύου για την υποστήριξη υπηρεσιών και εφαρμογών συνεχούς ροής. Προκειμένου να επιτρέψουμε αποδοτικά σε υπηρεσίες και εφαρμογές να εκμεταλλευτούν τα αυτόνομα χαρακτηριστικά της GANA, περιεγράφηκαν μια σειρά αλληλεπιδράσεων μεταξύ στοιχείων DEs υψηλότερων επιπέδων ώστε να επιτρέπουν τη διαχείριση πρωτοκόλλων χαμηλότερου επιπέδου με απώτερο στόχο τόσο την ικανοποίηση των κριτηρίων ΠτΥ της εφαρμογής όσο και τη διασφάλιση της ανθεκτικότητας του δικτύου. Επιπλέον περιγράφηκαν οι απαραίτητες λειτουργίες αυτο-διαχείρισης των σχετικών DE που εξασφαλίζουν ότι ο κόμβος επιτυγχάνει τον βέλτιστο τρόπο λειτουργίας του ενώ παράλληλα ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις των εφαρμογών και υπηρεσιών του.

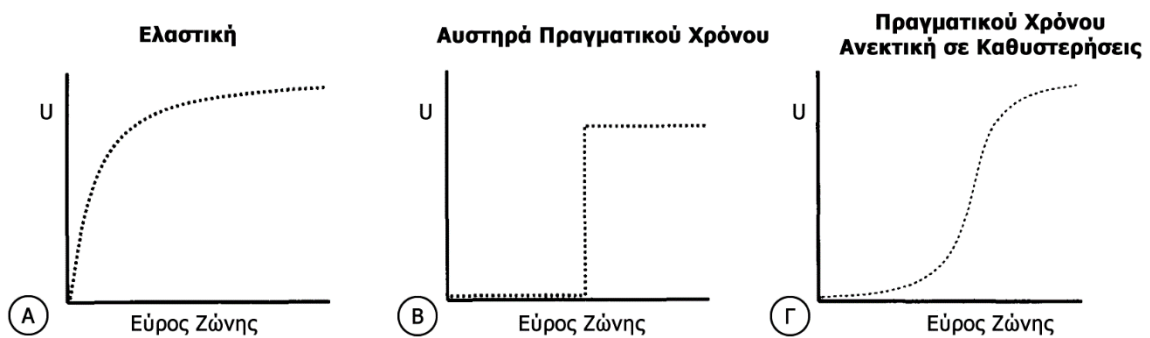
5. ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ

5.1. Εισαγωγή

Η εξελικτική διαδρομή της υποστήριξης σχεδιαστικών μηχανισμών παροχής ΠτΥ προφανώς επηρεάζεται από δύο θεμελιώδεις έννοιες οι οποίες επανακαθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουμε και εκπληρώνουμε τα κριτήρια ΠτΥ. Αρχικά, στοχεύοντας στην *ικανοποίηση των κριτηρίων ΠτΥ* απαιτείται η κατασκευή μηχανισμών ανάθεσης πόρων ικανών να συσχετίζουν υπηρεσίες ή κλάσεις υπηρεσιών (στο στρώμα εφαρμογής) με ένα πλήθος γνωστών δικτυακών μετρικών ποιότητας (π.χ. καθυστέρηση, τρεμούλιασμα, απώλεια πακέτων, κλπ.). Στη συνέχεια στοχεύοντας στη *διατήρηση της ποιοτικής λειτουργίας της υπηρεσίας* απαιτείται η σχεδίαση δυναμικών αλγορίθμων ικανών να επαναδιανέμουν σε πραγματικό χρόνο πόρους ώστε να εξασφαλίζουν τη διατήρηση των δικτυακών μετρικών σε ανεκτά επίπεδα.

Ωστόσο, ο Shenker το 1995 [61] εισήγαγε νέα μοντέλα υπηρεσιών που βασίζονται στην έννοια της χρησιμότητας του δικτύου στοχεύοντας να απαντήσει στα παρακάτω ερωτήματα: «Με τι κριτήρια αξιολογούμε μία δικτυακή αρχιτεκτονική;», «Το διαδίκτυο σχεδιάστηκε για να εκπληρώσει τις ανάγκες χρηστών και επομένως οποιαδήποτε αξιολογικό κριτήριο θα πρέπει να περιορίζεται στην ακόλουθη ερώτηση: πόσο ευτυχισμένους κάνει η αρχιτεκτονική αυτή τους χρήστες;». Για να τυποποιηθεί μία τέτοια αντίληψη για την απόδοση ενός δικτύου ορίστηκαν οι συναρτήσεις χρησιμότητας (utility functions) οι οποίες επιτρέπουν την απευθείας έκφραση του βαθμού ικανοποίησης χρηστών ως προς την αντίστοιχη επίδοση της υπηρεσίας τους.

Παραδοσιακές υπηρεσίες δεδομένων όπως η μεταφορά αρχείων (file transfer), το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο ή το πρόσβαση σε απομακρυσμένο τερματικό (remote terminal, telnet) είναι εν γένει υπηρεσίες ανεκτικές στις καθυστερήσεις. Με μία πιο διαισθητική ματιά, έχουν συνεχώς μειούμενη αύξηση της απόδοσης για συνεχείς αυξήσεις του εύρους ζώνης. Τέτοιες υπηρεσίες αναφέρονται στη βιβλιογραφία σαν ελαστικές και η συνάρτηση χρησιμότητας τους μοιάζει με αυτή της Εικόνα 15Α.



Εικόνα 15: Παραδείγματα συναρτήσεων χρησιμότητας ως προς το εύρος ζώνης

Αυτή η συνεχής μείωση του ρυθμού αύξησης της απόδοσης υπονοεί πως η συνάρτηση είναι παντού αυστηρώς κοίλη. Η συνολική απόδοση του δικτύου μεγιστοποιείται όταν όλοι οι χρήστες λαμβάνουν πόρους, επιβεβαιώνοντας την αρχική επιλογή σχεδιασμού της αρχιτεκτονική του διαδικτύου, βασιζόμενο σε εφαρμογές βέλτιστης προσπάθειας (best-effort).

Αντιστοίχως, υπάρχουν και υπηρεσίες με πολύ αυστηρά κριτήρια πραγματικού χρόνου. Τέτοιες υπηρεσίες απαιτούν τα δεδομένα να φτάσουν μέσα σε ένα αυστηρό χρονικό πλαίσιο. Είναι αδιάφορο εάν τα δεδομένα φτάσουν νωρίτερα από το αναμενόμενο, αλλά εάν παραδοθούν αργότερα του χρονικού πλαισίου η υπηρεσία θα αποδώσει πολύ άσχημα. Παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι η παραδοσιακή τηλεφωνία και άλλες παρόμοιες που προσδοκούν εξυπηρέτηση μεταγωγής κυκλώματος. Η συνάρτηση χρησιμότητας τέτοιων

υπηρεσιών με αυστηρά κριτήρια πραγματικού χρόνου μοιάζουν με αυτές της Εικόνα 15B. Όσο τα όρια καθυστέρησης ικανοποιούνται η απόδοση της υπηρεσίας είναι σταθερή, αλλά εάν το εύρος ζώνης πέσει κάτω από το ελάχιστο που απαιτείται για την ικανοποίηση των κριτηρίων καθυστέρησης, η απόδοση πέφτει άμεσα στο μηδέν. Σε δίκτυα με τέτοιες υπηρεσίες παρατηρείται συμφόρηση όταν το διαθέσιμο εύρος ζώνης πέσει κάτω από αυτό το ελάχιστο όριο. Υπηρεσίες αυστηρά πραγματικού χρόνου λειτουργούν καλύτερα σε συνδυασμό με λειτουργίες ελέγχου αποδοχής (admission control) οι οποίες εγγυώνται πως το εύρος ζώνης θα είναι πάντα διαθέσιμο.

Παραδοσιακά οι υπηρεσίες ήχου και βίντεο είχαν σχεδιαστεί με αυστηρά κριτήρια πραγματικού χρόνου ωστόσο στη συνέχεια αναπτύχθηκαν νέες τεχνικές κωδικοποίησης και μετάδοσης που επέτρεψαν σε εφαρμογές πολυμέσων να λειτουργήσουν με στοιχειώδη ποιότητα παρόλη την ύπαρξη καθυστερήσεων και απώλειας πακέτων. Παρόλα αυτά, τέτοιες υπηρεσίες έχουν μία εγγενή απαίτηση για εύρος ζώνης δεδομένου πως ο ρυθμός δημιουργίας πακέτων στη πηγή τους είναι ανεξάρτητος της κίνησης (ή της συμφόρησης) στο δίκτυο. Συνεπώς η απόδοσή τους σταδιακά χειροτερεύει καθώς το διαθέσιμο εύρος ζώνης γίνεται μικρότερο από το ρυθμό δημιουργίας. Η συνάρτηση χρησιμότητας τέτοιων υπηρεσιών είναι σιγμοειδής και μοιάζει με αυτή της Εικόνα 15Γ. Να σημειώσουμε πως σε αυτή τη περίπτωση η απόδοση αποκοπής δεν είναι όσο απότομη όσο στις υπηρεσίες αυστηρά πραγματικού χρόνου, ωστόσο οι μορφές τους μοιάζουν αρκετά. Συγκεκριμένα, στις περιοχές κοντά στο μηδέν η μορφή της συνάρτησης είναι κυρτή και όχι κοίλη. Συνεπώς, ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να υπερφορτωθεί αλλά το πότε ακριβώς θα συμβεί αυτό εξαρτάται από το σχήμα των συναρτήσεων και το σημείο καμψής.

Πειράματα στο [61] αποδεικνύουν πως για ένα δίκτυο με μόνο παραδοσιακές υπηρεσίες δεδομένων, η απόδοση μεγιστοποιείται αποδεχόμενο όλες τις ροές. Ωστόσο, όταν υπάρχουν

υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (ανεξαρτήτως του τύπου τους), η απόδοση μεγιστοποιείται μόνον με την αποδοχή και εισδοχή ορισμένων εξ αυτών.

Υπό το πρίσμα των παραπάνω, ο στόχος μιας δικτυακής αρχιτεκτονικής επανακαθορίζεται πολύ πιο εύκολα ως η μεγιστοποίηση του αθροίσματος των συναρτήσεων χρησιμότητας, εγκαθιδρύοντας μία νέα μαθηματική θεωρία, την επονομαζόμενη θεωρία Μεγιστοποίησης Χρησιμότητας Δικτύου – ΜΧΔ (Network Utility Maximization - NUM) σαν ένα συμπαγές θεωρητικό πλαίσιο για τη σχεδίαση και κατανόηση των ενσύρματων [62] και ασύρματων δικτύων [63].

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, βασιζόμενοι στην έννοια της υποκειμενικότητας που εισάγεται στην ικανοποίηση της εμπειρίας χρήστη (ΠτΕ) όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 1, προτείνουμε ένα καινοτόμο πλαίσιο που επεκτείνει την έννοια της ποιότητας υπηρεσίας σε ποιότητα εμπειρίας χρήστη μέσω της χρήσης των συναρτήσεων χρησιμότητας για κάθε παρεχόμενη υπηρεσία. Πιο συγκεκριμένα ο ρόλος της ΠτΕ αντιμετωπίζεται ως ο συνδεδετικός κρίκος μεταξύ χρηστών/ανθρώπων, εφαρμογών και μηχανισμών διαχείρισης πόρων. Επομένως προτείνεται ένα αυτόνομο πλαίσιο παροχής ΠτΕ το οποίο σε πλήρη συμφωνία με την αρχιτεκτονική GANA, επιτρέπει σε κινητούς χρήστες ετερογενών ασύρματων δικτύων να εκφράζουν δυναμικά και ασύγχρονα την ικανοποίησή (ή τη δυσαρέσκειά) τους, ως προς τη στιγμιαία εμπειρία της ποιότητας υπηρεσίας τους, στους μηχανισμούς διαχείρισης πόρων.

5.2. Μηχανισμοί αυτόνομης παροχής ΠτΥ

Σύμφωνα με το πρότυπο 3GPP/LTE [64] και όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, τα ασύρματα δίκτυα θα αποτελούνται από αυτόνομους αυτό-προσαρμοζόμενους κόμβους εμπλουτισμένους με δυνατότητες ώστε να μπορούν να αντιλαμβάνονται το

περιβάλλον τους και να αντιδρούν σε γεγονότα σχετιζόμενα με την κινητικότητα ή την παροχή ΠτΥ, βελτιώνοντας και βελτιστοποιώντας την απόδοσή τους.

Στοχεύοντας λοιπόν στη δημιουργία μηχανισμών ανωτέρου επιπέδου ικανών να μεγιστοποιούν τη ΠτΕ των χρηστών με ένα διαφανή και αυτόνομο τρόπο, αξιοποιούμε τη θεωρία Μεγιστοποίησης Χρησιμότητας Δικτύου (ΜΧΔ) και εκμεταλλευόμαστε έτοιμους αυτόνομους μηχανισμούς ανάθεσης ασύρματων πόρων [65], [66] ικανούς να διαχειρίζονται αποδοτικά τους ασύρματους πόρους.

Συγκεκριμένα, θεωρούμε γενικά ένα ασύρματο κυψελωτό δίκτυο (ή σημείο πρόσβασης) με N χρήστες όπου κάθε χρήστης μπορεί να απολαμβάνει ένα πλήθος υπηρεσιών. Κάθε υπηρεσία του κινητού χρήστη συνδέεται με μία κατάλληλη συνάρτηση χρησιμότητας (utility function) $U_i(x_i)$ η οποία αντιπροσωπεύει τον βαθμό ικανοποίησής του σε συμφωνία με την αναμενόμενη ανάθεση πόρων x_i (π.χ. εκπεμπόμενη ισχύς, εκπεμπόμενος ρυθμός μετάδοσης, κλπ) για την εκτέλεση της συγκεκριμένης υπηρεσίας. Τυπικά οι περισσότερες συναρτήσεις που έχουν υιοθετηθεί σε ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα για την μοντελοποίηση υπηρεσιών πραγματικού και μη-πραγματικού χρόνου είναι αύξουσες σιγμοειδείς, κοίλες ή κυρτές συναρτήσεις [61]. Επομένως για να επιτευχθεί βέλτιστη ανάθεση πόρων κατά την αίτηση από το χρήστη μιας υπηρεσίας το ακόλουθο πρόβλημα τίθεται περιοδικά και επιλύεται στους σταθμούς βάσης.

$$\begin{aligned} & \max_{\bar{X}} \sum_{i=1}^N U_i(X_i, \bar{X}, a_i) \\ & s.t. \sum_{i=1}^N X_i \leq X_{\max}, \quad 0 \leq X_i(t) \leq X_{\max} \text{ for } i = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (1)$$

όπου $\bar{X} = (x_1, \dots, x_N)$ είναι το διάνυσμα πόρων δικτύου και το X_{\max} συμβολίζει τα όρια των διαθέσιμων πόρων λόγω φυσικών περιορισμών.

Τέλος, ας συμβολίσουμε σαν a_i τις προκαθορισμένες μεταβλητές που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της συνάρτησης U_i όπως κλίση (steepness), σημείο καμπής (inflection point), κλπ.

5.2.1. Παροχή ΠτΥ σε κυψελωτά CDMA δίκτυα

Στα σύγχρονα κυψελωτά συστήματα τύπου CDMA (κινητή τηλεφωνία 3G ή τρίτης γενιάς) ο διαμοιρασμός πόρων με βάση τα κριτήρια ΠτΥ των χρηστών πραγματοποιείται κατά κανόνα μέσω ελέγχου της ισχύος εκπομπής (transmission power control) [65]. Συνεπώς το πρόβλημα βελτιστοποίησης που καλείται να λύσει ο κάθε σταθμός βάσης μοντελοποιείται ως εξής.

$$\begin{aligned}
 & \max_p \sum_{i=1}^{N_{CDMA}} U_i(r_{c,i}(\gamma_{c,i}(t))) \\
 & s.t. \sum_{i=1}^{N_{CDMA}} p_{c,i}(t) \leq P_c^{\max} \\
 & \quad 0 \leq p_{c,i}(t) \leq P_c^{\max} \quad \forall i \in C_{CDMA} \\
 & \quad 0 \leq r_{c,i}(t) \leq R_c^{\max} \quad \forall i \in C_{CDMA}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Όπου το $r_{c,i}(\gamma_{c,i}(t))$ αντικατοπτρίζει τη πραγματική ρυθμαπόδοση του χρήστη i (goodput) συναρτήσει του λαμβανόμενου SINR ($\gamma_{c,i}$) από το σταθμό βάσης c , $p_{c,i}$ τη ισχύ εκπομπής η οποία και είναι φραγμένη από τη μέγιστη ισχύ P_c^{\max} και το R_c^{\max} συμβολίζει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης της κυψέλης. Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί απευθείας με χρήση Λαγκρασιανών τεχνικών και αποσύνθεσης μέσω πχ. του αλγορίθμου που παρουσιάζεται στο [65].

5.2.2. Παροχή ΠτΥ σε τοπικά ασύρματα WLAN δίκτυα

Προκειμένου να παρασχεθεί ΠτΥ σε ασύρματα τοπικά WLAN δίκτυα, θεωρούμε μία τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.11e, που παρουσιάζεται στο [66] και το οποίο επιτρέπει την εξασφάλιση εγγυήσεων μέσης ρυθμαπόδοσης στα WLAN.

$$\begin{aligned} \max_r \quad & \sum_{j=1}^{N_{WLAN}} U_j(r_{c,i}(t)) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^{N_{WLAN}} r_{c,i}(t) \leq C_c^{\max}(t) \quad \forall i \in C_{WLAN} \\ & 0 \leq r_{c,i}(t) \leq C_c^{\max}(t) \quad \forall i \in C_{WLAN} \end{aligned} \quad (3)$$

όπου το $r_{c,i}(t)$ απεικονίζει το ρυθμό μετάδοσης του χρήστη i στο δίκτυο c , σαν συνάρτηση του παράθυρου ανταγωνισμού (contention window) του δικτύου, και C_c^{\max} τη μέγιστη πραγματική ρυθμαπόδοση του συστήματος.

Το Πρόβλημα (3) ορίζεται και λύνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα που ορίζονται ως χρονοπλαίσια WLAN (T_f), μετά την πάροδο των οποίων το $C_c^{\max}(t)$ επανα-υπολογίζεται σύμφωνα με το [66].

5.2.3. Παροχή ΠτΥ σε πολυμεσικές υπηρεσίες συνεχούς ροής

Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου όπως πολυμεσικό περιεχόμενο συνεχούς ροής, συχνά μοντελοποιούνται στη βιβλιογραφία χρησιμοποιώντας σιγμοειδής συναρτήσεις χρησιμότητας [65]-[66], κυρίως λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων παραμετροποίησης τους και ειδικότερα των ενδογενών χαρακτηριστικών τους να ενσωματώνουν ακριβείς περιορισμούς σχετικά με τη ΠτΥ. Συνεπώς, δεδομένου πως στη μελέτη επικεντρωνόμαστε σε πολυμεσικές υπηρεσίες, στο υπόλοιπο της ανάλυσης θα θεωρούμε τη χρήση σιγμοειδών συναρτήσεων.

Στις περιπτώσεις που αναλύσαμε παραπάνω, για κυψελωτά και ασύρματα τοπικά δίκτυα οι συναρτήσεις f και U για τα CDMA και WLAN αντίστοιχα ορίζονται ως εξής:

$$U_i(x_i, v_i, b_i) = c_i \left\{ \frac{1}{1 + e^{-b_i(x_i - v_i)}} - d_i \right\} \quad (4)$$

όπου $c_i = (1 + e^{v_i b_i}) / e^{v_i b_i}$, $d_i = 1 / (1 + e^{v_i b_i})$ και v_i, b_i είναι οι δύο βασικοί παράμετροι παραμετροποίησης της μορφής της συνάρτησης. Η παράμετρος v_i καθορίζει το μοναδικό σημείο καμπής της συνάρτησης, ενώ η παράμετρος b_i καθορίζει τη κλίση της. Η μορφή των σιγμοειδών συναρτήσεων χρησιμότητας είναι αρκετά γενικοί ώστε να μπορούν να αντιπροσωπεύσουν το ίδιο αποδοτικά μια πληθώρα υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, όπως π.χ. υπηρεσίες φωνής και υψηλής ανάλυσης βίντεο συνεχούς ροής [65].

5.3. Δυναμική Παροχή Ποιότητας της Εμπειρίας

Στην επίλυση ενός τυπικού προβλήματος (1) ανάθεσης ασύρματων πόρων με χρήση της μεθοδολογίας ΜΧΔ, οι συναρτήσεις χρησιμότητας των υπηρεσιών των χρηστών θα ήταν στατικές, προκαθορισμένες συναρτήσεις, που συνδέονται με συγκεκριμένες υπηρεσίες η κλάσεις υπηρεσιών. Πρόσφατα, διάφορες ερευνητικές προσεγγίσεις έχουν κάνει ορατά τα πλεονεκτήματα που εισάγονται από την χρήση δυναμικά μεταβαλλόμενων συναρτήσεων χρησιμότητας ειδικότερα για τη διαχείριση πολύπλοκων και δυναμικών δικτυακών μηχανισμών. Για παράδειγμα, για να διαχειριστεί αποτελεσματικά και να ικανοποιήσει τα κριτήρια ΠτΥ σε υπηρεσίες πραγματικού χρόνου σε ταχέως μεταβαλλόμενα με το χρόνο ασύρματα περιβάλλοντα, το [67] χρησιμοποιώντας τη θεωρία ΜΧΔ προτείνει ένα πλαίσιο δυναμικής προσαρμογής της χρησιμότητας, όπου η συνάρτηση χρησιμότητάς των χρηστών μεταβάλλουν τόσο τη μορφή όσο και τα χαρακτηριστικά τους ανάλογα με τις μεταβολές και την εξέλιξη του συστήματος. Μία επιπρόσθετη εναλλακτική στη χρήση της θεωρίας ΜΧΔ

παρουσιάζεται στο [68], όπου για την παροχή ελαστικών υπηρεσιών χρησιμοποιούνται συναρτήσεις χρησιμότητας με δυναμικώς μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά τα οποία αντικατοπτρίζουν την λαμβανόμενη ποιότητα της υπηρεσίας από τους χρήστες με βάση το ρυθμό μετάδοσης.

Προκειμένου να εισάγουμε την υποκειμενικότητα των χρηστών στις συναρτήσεις χρησιμότητας των υπηρεσιών τους και άρα στο συνολικό πρόβλημα βελτιστοποίησης (1), επιτρέπουμε την δυναμική μεταβολή των χαρακτηριστικών της συνάρτησης χρησιμότητας τους. Η Δυναμική Μεταβολή της συνάρτησης Χρησιμότητας (ΔΜΧ) αναπαρίσταται με $U_i(x_i, \bar{X}, a_i(t))$, όπου το $a_i(t)$ είναι η χρονικά μεταβαλλόμενη παράμετρος που μεταβάλλει με ένα δυναμικό και ασύγχρονο τρόπο τα χαρακτηριστικά της συνάρτησης U_i (π.χ. κλίση, σημείο καμπής κτλ.). Η επιλογή της κατάλληλης παραμέτρου εξαρτάται από τη μορφή της συνάρτησης χρησιμότητας καθώς και την αντίστοιχη υπηρεσία που αναπαριστά, και σε κάθε περίπτωση ακολουθεί τα παρακάτω:

- Η παράμετρος $a_i(t)$ του χρήστη i ορίζεται ως $a_i(t+1) = A(q_i) \cdot I_i(t)$, όπου $I_i(t)=1$ εάν ο χρήστης υποδηλώσει την προτίμηση του στο χρόνο t και 0 αν όχι. Το διάνυσμα $A=\{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ περιέχει όλες τις πιθανές τιμές του $a(t)$, και το διάνυσμα $q_i=\{1, \dots, N\}$ αναπαριστά τις επιλογές του χρήστη.
- Η παράμετρος $a_i(t)$ του χρήστη i και συνεπώς η συνάρτηση χρησιμότητας του, πρέπει να επηρεάζει τον μηχανισμό παροχής ΠτΥ μέσω διαχείρισης πόρων με τέτοιο τρόπο ώστε να υποδηλώνει τις προτιμήσεις του, δηλαδή για παράδειγμα όσο μεγαλύτερη είναι η παράμετρος που καθορίζει το σημείο καμπής της συνάρτησης χρησιμότητας μιας σιγμοειδής συνάρτησης υπηρεσίας πραγματικού χρόνου (ως συνάρτηση του λαμβανόμενου ρυθμού μετάδοσης), τόσο μεγαλύτερες πρέπει να είναι οι προσδοκίες του για ρυθμό μετάδοσης.

Εκμεταλλεούμενοι την παραπάνω μεθοδολογία δυναμικής μεταβολής της συνάρτησης χρησιμότητας, η υποκειμενικότητα των χρηστών μπορεί άμεσα να εισαχθεί και να επηρεάσει τα προβλήματα διαχείρισης ασύρματων πόρων (1). Συγκεκριμένα, ένας χρήστης έχει την δυνατότητα να εκφράσει την (μη) ικανοποίηση του αναφορικά με την τρέχων ποιότητα της υπηρεσίας του, πολύ απλά αυξάνοντας (ή μειώνοντας) την τιμή της παραμέτρου $a_i(t)$, η οποία θα μεταφερθεί απευθείας στο μηχανισμό παροχής διαχείρισης πόρων και ΠτΥ.

Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως ο προτεινόμενος μηχανισμός βασίζεται πάνω σε ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς διαχείρισης ασύρματων πόρων, ενεργώντας επιπρόσθετα και παράλληλα σε αυτούς (επιτρέποντας και καθοδηγώντας τη δυναμική μεταβολή των συναρτήσεων χρησιμότητας), και συνεπώς εισάγει μηδαμινό κόστος σηματοδοσίας στη συνολική αρχιτεκτονική. Επιπλέον, αυτό επιτρέπει την υιοθέτηση και ενσωμάτωση του προτεινόμενου πλαισίου παροχής ΠτΕ σε κάθε μηχανισμό διαχείρισης πόρων που βασίζεται στη θεωρία της ΜΧΔ, επιτρέποντας τη παροχή ΠτΕ σε μία πληθώρα δικτύων, από μονο-κυβελωτά δίκτυα σε ενοποιημένα ετερογενή δίκτυα νέα γενιάς, καλύπτοντας την πλειονότητα των σημερινών αρχιτεκτονικών δικτύων.

Σύμφωνα με την ανάλυση τη παραγράφου 5.2.3 για την εξυπηρέτηση πολυμεσικών υπηρεσιών χρησιμοποιούμε σιγμοειδής συναρτήσεις χρησιμότητας (4). Διαισθητικά στις σιγμοειδής συναρτήσεις το σημείο καμπής v_i , καθορίζει τις προσδοκίες ρυθμού μετάδοσης του χρήστη i . Επιπλέον, δεδομένης της φύσης της παραμέτρου $a_i(t)$ κατά την επίλυση προβλημάτων (1) από τους μηχανισμούς διαχείρισης πόρων να υποδηλώνει την προτεραιότητα των χρηστών στην επιλογή και παροχή τους με πόρους και άρα στην επίτευξη μεγαλύτερων τιμών ρυθμού μετάδοσης, επιλέγουμε την παράμετρο v ως αυτή που θα χρησιμοποιήσουμε στο προτεινόμενο πλαίσιο παροχής ΠτΕ και άρα θέτουμε $v_i \equiv a_i(t)$. Όταν λοιπόν ο χρήστης βιώνει χαμηλή ποιότητα της υπηρεσίας του μπορεί μεγαλώνοντας

την τιμή της παραμέτρου $a_i(t)$ να ζητήσει παραπάνω πόρους και άρα μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης.

Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως η τροποποίηση πραγματοποιείται μόνον εφόσον δεν προκαλεί χειροτέρευση της απόδοσης των υπολοίπων χρηστών, ενώ σε περίπτωση που η αλλαγή είναι εφικτή και επιτυχής αντίστοιχα ενημερώνεται και ο απομακρυσμένος εξυπηρετητής πολυμεσικού περιεχομένου προκειμένου να μεταβάλλει τις παραμέτρους κωδικοποίησης του περιεχομένου.

5.3.1. Αλγόριθμος Παροχής ΠτΕ

Έχοντας επιτυχώς ενσωματώσει το πλαίσιο δυναμικής παροχής ΠτΕ στους μηχανισμούς ελέγχου ποιότητας της υπηρεσίας στα ασύρματα δίκτυα, που επιλύουν το πρόβλημα διαχείρισης ασύρματων πόρων με χρήση της θεωρίας ΜΧΔ όπως περιεγράφηκε στη παράγραφο 5.2, περιγράφουμε τον ακόλουθο αλγόριθμο που εφαρμόζουμε και βρίσκεται εγκατεστημένος στα τερματικά των τελικών χρηστών και επιτρέπει τη δυναμική παροχή ΠτΕ σε ετερογενή ασύρματα δίκτυα.

Αλγόριθμος Παροχής Ποιότητας της Εμπειρίας στον τελικό χρήστη

Βήμα 1. Ο χρήστης συνεχώς ελέγχει τη λαμβανόμενη ποιότητα της υπηρεσίας του.

Βήμα 2. Εάν δεν πραγματοποιηθεί καμία αλλαγή, δηλαδή $I_i(t+1)=0$ τότε πήγαινε στο Βήμα 1. Αλλιώς, υπολόγισε τη νέα τιμή $a_i(t+1)$.

Βήμα 3. Η συνάρτηση χρησιμότητας της υπηρεσίας του χρήστη μεταβάλλεται δυναμικά και η αλλαγή επικοινωνείται στο σταθμό βάσης.

Ο σταθμός βάσης επιλύει εν νέου το πρόβλημα (1) με χρήση θεωρίας ΜΧΔ, δηλώνοντας την επιλυσιμότητα του προβλήματος.

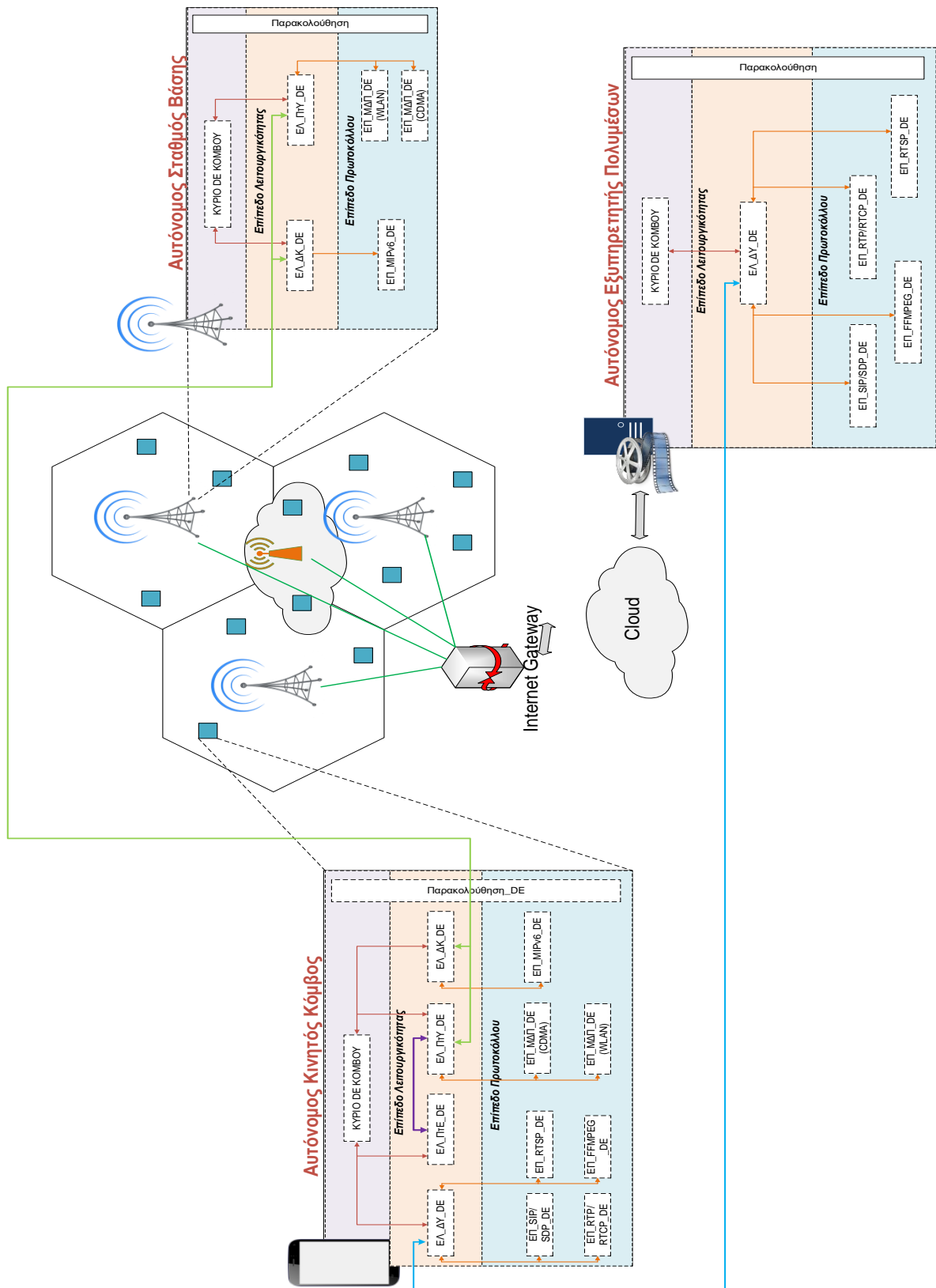
Βήμα 4. Ο μηχανισμός διαχείρισης ασύρματων πόρων αναθέτει τους αιτούμενους πόρους. Πήγαινε στο Βήμα 1

Όπως προαναφέραμε, ο προτεινόμενος μηχανισμός δυναμικής παροχής ΠτΕ είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί συμπληρωματικά αλλά αποτελεσματικά επιτρέποντας την άμεση ενσωμάτωσή του σε υφιστάμενα ασύρματα συστήματα. Συγκεκριμένα, δεδομένης της ύπαρξης μηχανισμού διαχείρισης πόρων που λειτουργεί με βάση τη θεωρία της ΜΧΔ, ο μηχανισμός παροχής ΠτΕ δρα και αντιδρά κατ' απαίτηση (on-demand) δηλαδή μόνο εάν και όταν ζητηθεί, ενώ οι αποφάσεις του θα αξιολογηθούν από τους μηχανισμούς διαχείρισης πόρων την επόμενη χρονοσχισμή, χωρίς να απαιτείται κανένας συγχρονισμός. Επιπλέον, απαιτεί μόνο τοπικά ήδη διαθέσιμη πληροφορία, δηλαδή τη λαμβανόμενη ποιότητα της υπηρεσίας που ο χρήστης λαμβάνει, ενώ τέλος η ασύγχρονη φύση του μηχανισμού παροχής ΠτΕ συνεπάγεται πως δεν υπάρχουν όρια στο τύπο ή στο μέγεθος του ενοποιημένου συστήματος εξασφαλίζοντας συνεπώς την κλιμακοθετησιμότητα της προτεινόμενης λύσης.

5.4. Παροχή ΠτΕ στην Αρχιτεκτονική GANA

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για την ενσωμάτωση του αυτόνομου μηχανισμού παροχής ΠτΕ στην γενική αυτόνομη αρχιτεκτονική διαμοιρασμού πόρων είναι απαραίτητο να εισάγουμε ένα στοιχείο ελέγχου DE για καθένα από τα εμπλεκόμενα κύρια λειτουργικά στοιχεία (κινητούς κόμβου, σταθμούς βάσης) της αρχιτεκτονικής. Η Εικόνα 16 απεικονίζει μια πιο αναλυτική οπτική της γενικής αρχιτεκτονική προηγούμενα (Εικόνα 3) και παρουσιάζει την προτεινόμενη ενοποιημένη αρχιτεκτονική από την οπτική ενός κινητού κόμβου σύμφωνα με το μοντέλο GANA. Συγκεκριμένα περιγράφονται τα εισαχθέντα DE σε διάφορα επίπεδα της ιεραρχίας καθώς και οι τρόποι αλληλεπίδρασης τους.

Αρχικά, παρατηρώντας το εσωτερικό ενός αυτόνομου κινητού κόμβου αναγνωρίζουμε τις τέσσερις κύριες αυτόνομες υπό-αρχιτεκτονικές που συνθέτουν (α) τη συνολική αρχιτεκτονική, (β) την αυτόνομη διαχείριση κινητικότητας, (γ) την αυτόνομη διαχείριση ποιότητας της υπηρεσίας, και (δ) την αυτόνομη διαχείριση υπηρεσίας συμπεριλαμβανομένου της αυτόνομης διαχείρισης ποιότητας της εμπειρίας. Τα κύρια στοιχεία αυτών των υπο-αρχιτεκτονικών είναι τα αντίστοιχα DE επιπέδου λειτουργικότητας (δηλαδή τα DE Διαχείρισης Κινητικότητας (ΔΚ_DE), Διαχείρισης Υπηρεσίας (ΔΥ_DE), Ποιότητας της Υπηρεσίας (ΠτΥ_DE) και Ποιότητας της Εμπειρίας (ΠτΕ_DE), που είναι υπεύθυνα για την καθοδήγηση των λειτουργιών που σχετίζονται με την κινητικότητα, την παροχή υπηρεσιών και την παροχή ΠτΥ ή ΠτΕ σε κάθε αυτόνομο κόμβο. Η επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των εκάστοτε DE στο επίπεδο λειτουργικότητας επιτρέπει την αξιοποίηση των πληροφοριών που πηγάζουν από τα αντίστοιχα διαχειριζόμενα πρωτόκολλα (π.χ. γεγονότα και μετρήσεις) με απώτερο στόχο την επαύξηση της απόδοσης των πρωτοκόλλων που σχετίζονται με τον διαμοιρασμό ασύρματων πόρων και άρα της ΠτΕ και αντιστρόφως. Η Εικόνα 16 συνοψίζει επίσης όλα τα DE που συμμετέχουν στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική καθώς και τον τρόπο που αυτά επικοινωνούν, ενώ στον Πίνακα 1 περιγράφονται αναλυτικά όλα τα αντίστοιχα DE.



Εικόνα 16: Παροχή Ποιότητας της Εμπειρίας στην αρχιτεκτονική GANA

Πίνακας 1. Εισαχθέντα DE σύμφωνα με την αρχιτεκτονική GANA

Ακρωνύμιο DE	Όνομα DE
Λειτουργίες Διαχείρισης Κινητικότητας	
ΕΛ_ΔΚ_DE	Επίπεδο Λειτουργικότητας Διαχείριση Κινητικότητας Decision-Element
ΕΠ_MIPv6_DE	Επίπεδο πρωτοκόλλου Mobile IPv6 Decision-Element
Λειτουργίες Διαχείρισης Υπηρεσίας	
ΕΛ_ΔΕ_DE	Επίπεδο Λειτουργικότητας Διαχείριση Κινητικότητας Decision-Element
ΕΠ_SIP/SDP_DE	Επίπεδο πρωτοκόλλου Session Initiation/Description Protocol Decision-Element
ΕΠ_RTSP_DE	Επίπεδο πρωτοκόλλου Real Time Streaming Protocol Decision-Element
ΕΠ_RTP/RTCP_DE	Επίπεδο πρωτοκόλλου Real-time Transport/ RTP Control Protocol Decision-Element
ΕΠ_FFmpeg_DE	Επίπεδο πρωτοκόλλου Multimedia Encoding Decision-Element
Λειτουργίες Διαχείρισης Ποιότητας της Υπηρεσίας	
ΕΛ_ΠτΥ_DE	Επίπεδο Λειτουργικότητας Παροχή Ποιότητας της Υπηρεσίας Decision-Element
ΕΠ_ΜΔΠ_DE (CDMA)	Επίπεδο πρωτοκόλλου Μηχανισμού Διαχείρισης Πόρων σε CDMA δίκτυα Encoding Decision-Element
ΕΠ_ΜΔΠ_DE (WLAN)	Επίπεδο πρωτοκόλλου Μηχανισμού Διαχείρισης Πόρων σε WLAN δίκτυα Decision-Element
Λειτουργίες Διαχείρισης Ποιότητας της Υπηρεσίας	
ΕΛ_ΠτΕ_DE	Επίπεδο Λειτουργικότητας Παροχή Ποιότητας της Εμπειρίας Decision-Element

5.5. Αριθμητικά Αποτελέσματα

Στη παράγραφο αυτή παρουσιάζονται κάποια ενδεικτικά αριθμητικά αποτελέσματα τα οποία αποκαλύπτουν τα πλεονεκτήματα του προτεινόμενου αυτόνομου πλαισίου ΠτΕ, τόσο από τη πλευρά του παρόχου όσο και όσο και των τελικών χρηστών. Θεωρούμε την ύπαρξη

μίας μόνο κυψέλης τύπου CDMA η οποία εκχωρεί τους διαθέσιμους πόρους της μέσω της λήψης περιοδικά (δηλαδή ανά χρονοσχισμή (timeslot)) της λύσης της συνάρτησης (2). Υποθέτουμε ότι ο σταθμός βάσης του δικτύου (βάσεων) τύπου CDMA τοποθετείται στο κέντρο της κυψέλης και ότι η μέγιστη ισχύς εκπομπής της είναι $P_c^{max}=10 \text{ Watt}$. Επιπλέον, υποθέτουμε ότι η φασματική εξάπλωση (spectrum spreading) του συστήματος CDMA είναι $W=10^8$ και ο μέγιστος ρυθμός κατερχόμενης μετάδοσης (downlink rate) το $R_c^{max} = 2 \cdot 10^3$ Kbps. Θεωρούμε ότι ένα σταθερό πλήθος 18 χρηστών ($N=18$) προσαρτώνται στη κυψέλη οι οποίοι και αιτούνται πρόσβαση σε υπηρεσίες πραγματικού χρόνου πολυμεσικού περιεχομένου. Επομένως, χρησιμοποιείται η παρακάτω σιγμοειδής συνάρτηση που αναπαριστά τις συναρτήσεις χρησιμότητας των χρηστών $U_i(f(R_i))$ της μορφής:

$$U_i(f_i(R_i)) = R_i^{max} \cdot c_i \left\{ 1/1 + e^{-b(R_i - a_i)} - d \right\},$$

όπου $b=3$ και $a_i=3$ [63], εκφράζουν τον αναμενόμενο ρυθμό λήψης. Σύμφωνα με την επιλεγμένη μορφή των U_i , η αναμενόμενη μέση τιμή του ρυθμού λήψης περιεχομένου είναι 1200 kbps . Οι εκτελεσμένες προσομοιώσεις διαρκούν για 15000 χρονοσχισμές, όπου 1 χρονοσχισμή = $0,62 \text{ ms}$.

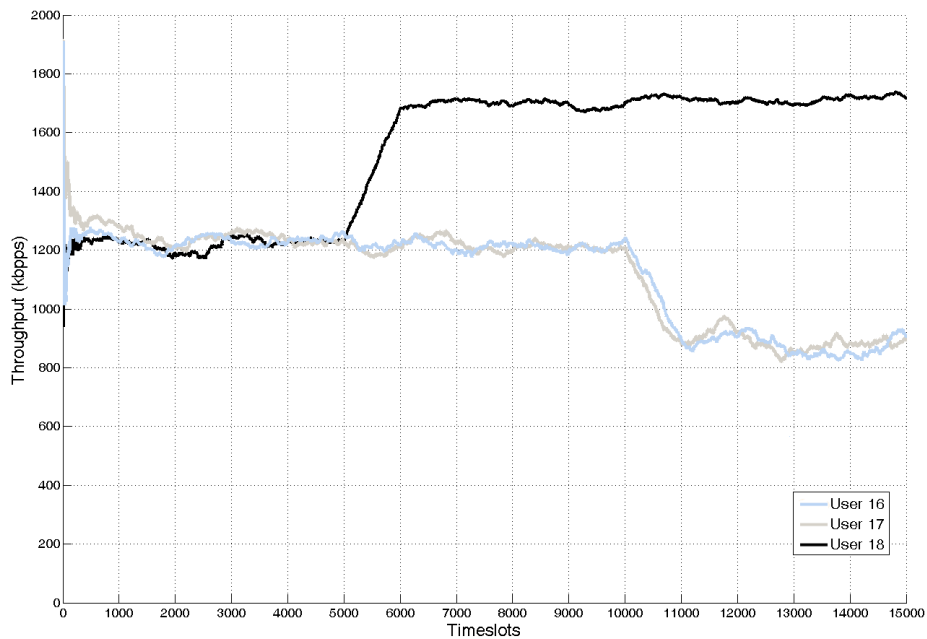
Χάριν επίδειξης, θεωρούμε το επόμενο σενάριο. Στη χρονοσχισμή 5.000, ο χρήστης 18 (ID χρήστη) βιώνει εμπειρία μειωμένης ποιότητας βίντεο που έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλές τιμές της ΠτΕ του, εξαιτίας των αυξανόμενων τιμών σφαλμάτων BER (Bit Error Rate) που προκύπτουν λόγω της μετακίνησής του (π.χ. είσοδος του σε ένα κτίριο). Επομένως ο χρήστης αποφασίζει πως η ποιότητα της υπηρεσίας που λαμβάνει δεν είναι αρκετή και αποφασίζει να αιτηθεί προσαύξηση της ΠτΕ με κάποιο αντάλλαγμα (π.χ. προσαύξηση του κόστους). Μετέπειτα, στη χρονοσχισμή 10.000, οι χρήστες με ID 16 και 17 αιτούνται χαμηλότερη ποιότητα, επειδή εκείνη τη στιγμή δεν ενδιαφέρονται ιδιαίτερα για το

πολυμεσικό περιεχόμενο υπηρεσιών που λαμβάνουν. Προκειμένου να απεικονίσουμε μαθηματικά τα προηγούμενα γεγονότα, θεωρούμε τις παρακάτω εξισώσεις:

$$a_{18}(t+1) = a_{18}(t) - 1,2 \cdot I_{18}(t) \text{ και } a_{16,17}(t+1) = a_{16,17}(t) + 0,5 \cdot I_{16,17}(t) \text{ ,}$$

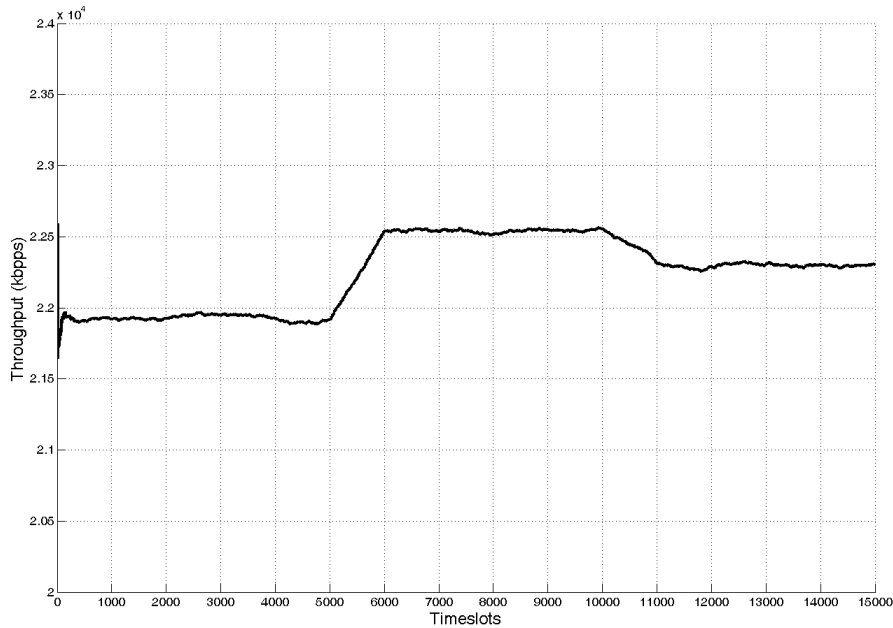
όπου αντιστοιχούν σε μία αύξηση της αναμενόμενης τιμής ρυθμού λήψης δεδομένων του χρήστη 18 κατά 500 kbps και σε μία μείωση της τάξης των 300 kbps για τους χρήστες 16 και 17 αντίστοιχα. Στόχος μας είναι να δείξουμε την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μηχανισμού, όχι μόνο στο βαθμό ικανοποίησης αιτήσεων χρηστών (και των αντίστοιχων χρόνων που απαιτούνται), αλλά επίσης την αποδοτικότητά του ως προς την συνολική βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου. Ως εκ τούτου, η Εικόνα 17 και η Εικόνα 18 παρουσιάζουν τις επιτυγχανόμενες τιμές ρυθμού λήψης/μετάδοσης δεδομένων πολυμεσικού περιεχομένου για τους χρήστες 16, 17 και 18 καθώς και συνολικά του συστήματος καθώς το σύστημα εξελίσσεται. Επιπρόσθετα, για κάθε ένα από τα διακριτά (χρονικά) διαστήματα του προτεινόμενου σεναρίου (δηλαδή χρονοσχιμές 0-5000, 5000-10000 και 10000-15000) ο μέσος ρυθμός λήψης περιεχομένου για όλους τους χρήστες του συστήματος απεικονίζονται στην Εικόνα 19.

Αρχικά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 17, μέσω του προτεινόμενου πλαισίου παροχής ΠτΕ όλες οι προτιμήσεις χρηστών, σε ότι αφορά την αύξηση ή τη μείωση της απόδοσης της υπηρεσίας (δηλαδή επιτυγχανόμενου ωφέλιμου ρυθμού λήψης δεδομένων) αντανακλώνται και εκπληρώνονται από τους μηχανισμούς διαχείρισης ασύρματων πόρων του δικτύου μέσω της επίλυσης των προβλημάτων (2) και (3) σε λιγότερο από 1000 χρονοσχιμές (ή 0.62 δευτερόλεπτα). Επιπλέον, μετά από αυτή τη περίοδο ο επιτυγχανόμενος από το χρήστη ρυθμός λήψης παραμένει στα επιθυμητά επίπεδα (δηλαδή 1700kbps για το χρήστη 18 και 900kbps για τους χρήστες 17 και 16).



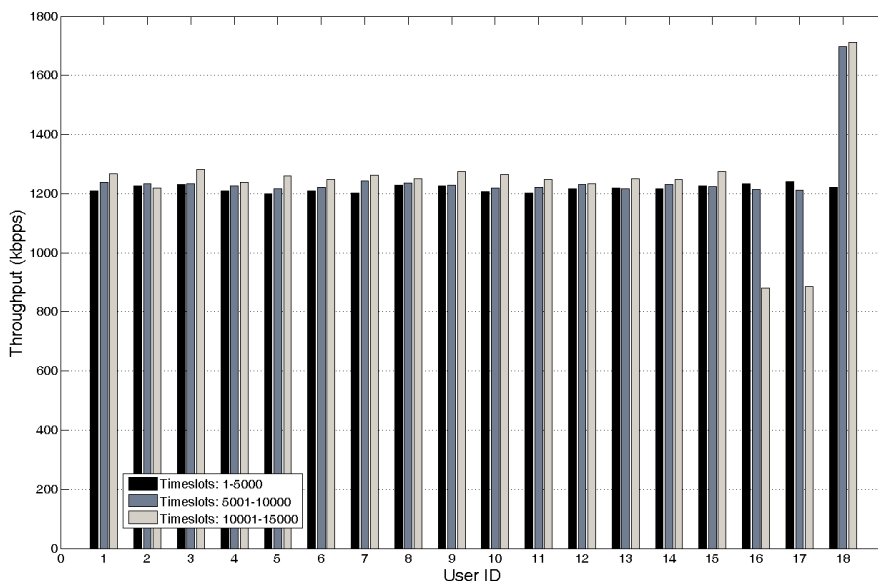
Εικόνα 17: Επιτυγχάνομενος ρυθμός λήψης περιεχομένου των χρηστών 16, 17, και 18

Σε ότι αφορά την απόδοση της υπηρεσίας των υπόλοιπων χρηστών της κυψέλης (Εικόνα 19), τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι παραμένει σχεδόν αμετάβλητη καθώς το σύστημα εξελίσσεται. Αυτό το επιθυμητό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται μέσω της χρησιμοποίησης μηχανισμών διαχείρισης ασύρματων πόρων που βασίζονται στη θεωρία ΜΧΔ, που αναγκάζει τον μηχανισμό διαχείρισης πόρων της κυψέλης να εκχωρεί πάντα τους διαθέσιμους πόρους της με βέλτιστο τρόπο, προκειμένου να ικανοποιηθούν όλες οι απαιτήσεις ΠτΥ των χρηστών. Με αυτό τον τρόπο, οι διαθέσιμοι πόροι είτε επανα-εκχωρούνται στους εναπομείναντες χρήστες, είτε επιτρέπουν νέους χρήστες να εισέλθουν στο σύστημα. Το τελευταίο φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 19 όπου τα αποτελέσματα δείχνουν ότι κατά τη διάρκεια της τρίτης περιόδου (δηλαδή χρονοσχιμές 10.000 – 15.000) οι πόροι που απελευθερώνονται από τους χρήστες 16 και 17 επανα-καταχωρούνται πάλι και όλοι οι χρήστες απολαμβάνουν υψηλότερες τιμές ρυθμού λήψης δεδομένων.



Εικόνα 18: Συνολικός ρυθμός εκπομπής δεδομένων της κυψέλης

Τέλος, ο αυτόνομος μηχανισμός παροχής ΠτΕ που παρουσιάστηκε παρέχει οφέλη στην εκπλήρωση των κριτηρίων ΠτΕ των χρηστών αλλά και στην συνολική απόδοση του συστήματος, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 18. Ειδικότερα γίνεται φανερό ότι παρά τις μεταβολές στους ρυθμούς λήψης δεδομένων των χρηστών, ο συνολικός μέσος ρυθμός μετάδοσης της κυψέλης δεν μειώνεται ακόμα και στη περίπτωση όπου δύο χρήστες στιγμιαία επιλέγουν να μειώσουν το λαμβανόμενο (από αυτούς) ρυθμό λήψης. Ειδικότερα, η αίτηση των χρηστών 16 και 17 για μειωμένους πόρους προκαλεί μία αντίστοιχη μείωση στο συνολικά προσφερόμενο ρυθμό μετάδοσης του συστήματος μόνο κατά 200kbps (αντί όπως θα αναμενόταν για μία μείωση της τάξης των 600kbps που αντιστοιχεί στη μείωση των αιτήσεων των δύο χρηστών) λόγω επανα-καταχώρησης των υπερβαλλόντων πόρων. Επιπρόσθετα, θεωρώντας για παράδειγμα ένα γραμμικό σχήμα τιμολόγησης στο οποίο οι χρήστες χρεώνονται αναλογικά με τους λαμβανόμενους πόρους, ο ανασχηματισμός της συνολικής αναδιανομής πόρων στο σύστημα που προκλήθηκε από τις επιλογές των χρηστών μέσω του μηχανισμού παροχής ΠτΕ, θα οδηγούσε τελικώς σε αυξημένα οφέλη για την κυψέλη και το σύστημα.



Εικόνα 19: Μέσος ωφέλιμος ρυθμός λήψης δεδομένων των χρηστών

5.6. Συμπεράσματα

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάσαμε με αριθμητικά αποτελέσματα τη χρησιμότητα του αυτόνομου μηχανισμού παροχής ΠτΕ ο οποίος, εκμεταλλευόμενος τη παρουσία μηχανισμών διαχείρισης ασύρματων πόρων που βασίζονται στη θεωρία ΜΧΔ, είναι ικανός να παρέχει και να βελτιστοποιεί τη ΠτΕ των χρηστών μέσω της ΠτΥ. Με σκοπό την αποτελεσματική συγχώνευση της υποκειμενικότητας του χρήστη και τις προτιμήσεις του στους μηχανισμούς διαχείρισης πόρων, η ΠτΕ ενεργεί σαν μία δυναμική διαδικασία που δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες δυναμικά να αλλάζουν καθώς και να εκφράζουν τις προσδοκίες για την υπηρεσία τους. Παραδείγματα της χρήσης αλλά και της απόδοσης του μηχανισμού παρουσιάστηκαν για την περίπτωση CDMA δικτύων, ωστόσο σύμφωνα με τη θεωρητική ανάλυση που παρατέθηκε, η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε οποιοδήποτε τύπο δικτύου ή δικτυακού περιβάλλοντος που κάνει χρήση μεθοδολογιών ΜΧΔ είναι άμεση.

Παρόλα αυτά η διερεύνηση μιας καθολικής μεθοδολογίας, για τον συσχετισμό της δυναμικής προσαρμογής των συναρτήσεων των χρηστών, σύμφωνα με τη πραγματική λαμβανόμενη ποιότητα της υπηρεσίας και τις υποκειμενικές προτιμήσεις των χρηστών, είναι απαραίτητη. Επιπλέον, αποδοτικοί τρόποι για την τιμολογιακή προσέγγιση και επιβολή πολιτικών χρήσης και κοστολόγησης στο προτεινόμενο πλαίσιο παροχής ΠτΕ, με σκοπό να ωφεληθούν τόσο οι τελικοί χρήστες όσο και οι πάροχοι υπηρεσιών, πρέπει να επεκταθούν περαιτέρω και να καθοριστούν επισήμως. Προς αυτή τη κατεύθυνση, και όπως θα δούμε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 9 είναι αναγκαίο να καθοριστούν ειδικοί μηχανισμοί που παρέχουν τη δυνατότητα δυναμικής τιμολόγησης, βάσει της μεταβαλλόμενης με το χρόνο συμφόρησης δικτύου, βάσει του τύπου υπηρεσίας των χρηστών και των πολιτικών χρεώσεων, ή ακόμα και οικονομικών παραγόντων, όπως επίσης και βάσει της αναμενόμενης επιρροής αλλά και αποτελεσματικότητάς τους στη συμπεριφορά των χρηστών και τη συνολική εκπλήρωση του συστήματος. Ωστόσο προέχει η αναλυτική και μεθοδική εξέταση και συσχέτιση της υποκειμενικής ποιότητας της εμπειρίας του χρήστη και της αντικειμενικής ποιότητας της υπηρεσίας, θέματα τα οποία μελετώνται στο επόμενο κεφάλαιο.

6. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

6.1. Εισαγωγή

Η επιτυχής εκμετάλλευση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής για παροχή δυναμικής ΠτΕ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατάλληλη επιλογή και παροχή του παρεχόμενου πολυμεσικού περιεχομένου. Λαμβάνοντας υπόψη μία κινητή εφαρμογή συνεχούς ροής βίντεο, ο τύπος του βίντεο καθώς και οι παράμετροι κωδικοποίησης περιεχομένου επιλέγονται κατάλληλα με σκοπό την ικανοποίηση των προϋποθέσεων και απαιτήσεων που τίθενται υποκειμενικά από τους τελικούς χρήστες. Επομένως σε κάθε περίπτωση απαιτείται η μελέτη της σαφούς συσχέτισης μεταξύ της υποκειμενικής γνώμης τελικών χρηστών για την εμπειρία πολυμεσικής υπηρεσίας που απολαμβάνουν και των αντίστοιχων μετρικών ποιότητας όπως αυτές εκφράζονται μέσω της ΠτΥ.

Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται η μεθοδολογία Ελέγχου Υπόθεσης (Hypothesis Testing) [70] η οποία έχει σαν στόχο την αξιολόγηση του κατά πόσο και σε τι βαθμό οι διάφοροι παράγοντες επιδρούν στη ΠτΕ των χρηστών. Σε συμφωνία με τα παραπάνω, ένα πλήθος εναλλακτικών υποθέσεων μπορούν να επινοηθούν (π.χ. οι θεατές που παρακολουθούν περιεχόμενο υψηλού ενδιαφέροντος αναμένεται να ζητήσουν 20% υψηλότερη ποιότητα βίντεο) και δοκιμάζονται στους πειραματικούς χρήστες με τη χρήση τεχνικών σεναρίων αναπαράστασης (role-playing) [71]. Τέτοιες τεχνικές επιχειρούν να επιβεβαιώσουν ή να ακυρώσουν τις τιθέμενες υποθέσεις και παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη συνολική (ποιοτική και ποσοτική) αξιολόγηση του συστήματος. Η τεχνική της αναπαράστασης χρησιμοποιείται εκτενώς σε μεγάλο πλήθος παραδειγμάτων έρευνας όπως είναι ο έλεγχος χρησιμότητας (usability testing) [72], η αποτίμηση βάσει ψυχολογικών

κριτηρίων (psychological assessment) [73] και η εκπαίδευση (teaching) [74], με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Έχοντας υπόψη ότι ο βαθμός επιτυχίας των ελέγχων αυτών είναι η εκτίμηση της υποκειμενικότητας του χρήστη, κατά την αναπαράσταση πολυμεσικών υπηρεσιών σε σχέση με τον εμπλεκόμενο βαθμό ρεαλισμού, υλοποιήθηκε μία πρότυπη κινητή εφαρμογή τύπου Android με σκοπό τη σύλληψη της αντιλαμβανόμενης από το χρήστη ποιότητας υπηρεσίας σε διάφορα ρεαλιστικά σενάρια χρήσης, όπως επίσης και τα κίνητρα που καθοδηγούν τη συμπεριφορά τους κατά τη διάρκεια της θέασης και επιλογής των προβαλλόμενων πλάνων βίντεο. Η ανάλυση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων οδηγεί στη διατύπωση και τυποποίηση των καταλληλότερων συναρτήσεων χρησιμότητας πολυμεσικών εφαρμογών συνεχούς ροής που επιτυγχάνουν τη δυναμική παροχή ΠτΕ.

Συνεπώς ο βασικός στόχος αυτού του πρωτοτύπου εφαρμογής (application prototype) μπορεί να συνοψιστεί ως «η συλλογή υποκειμενικής αξιολόγησης πραγματικών χρηστών πάνω σε προβαλλόμενα πλάνα βίντεο διαφόρων κωδικοποιήσεων ποιότητας, κάτω από ρεαλιστικά κίνητρα τιμολόγησης, πληροφορίας κατάστασης και περιβάλλοντος, και συσχέτιση αυτής με τύπους βίντεο, παραμέτρους κωδικοποίησης και πολιτικές χρήσης παρόχων δικτύου και υπηρεσίας».

6.2. Τεχνικές προδιαγραφές

Η εφαρμογή προτύπου υλοποιεί μία κοινή υπηρεσία διανομής βίντεο παρόμοια με αυτών του Youtube ή Vimeo παρέχοντας πλάνα από 5 διαφορετικά μικρά βίντεο κλιπ [75], σε συνδυασμό με κάποιες επιπλέον λειτουργίες που θα περιγραφούν στη συνέχεια. Η εφαρμογή υλοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Adobe Flex [76] και τα χαρακτηριστικά των υποστηριζόμενων συσκευών φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 2. Προδιαγραφές Συστήματος

Λειτουργικό Σύστημα	Android™ 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2, and 4.0
Επεξεργαστής	ARMv7 with vector FPU, minimum 550MHz
RAM	256MB
Χώρος στο δίσκο	250MB
Επιπλέον.	OpenGL ES 2.0, H.264

Τα επιλεγμένα βίντεο ανήκουν σε διάφορες κατηγορίες και περιλαμβάνουν:

- Τύπος 1: Μία μικρή κινούμενη περιοχή ενδιαφέροντος (πρόσωπο) σε στατικό φόντο (ήλιος και ηλιολούλουδο)
- Τύπος 2: Κλιπ ευρείας γωνίας στα οποία τόσο το φόντο όσο και το περιεχόμενο κινούνται (τοπίο)
- Τύπος 3: Κλιπ απότομης κίνησης (πλήθος σε φυγή και απογείωση παπιών).

Οι Εικόνα 20 έως και 24 απεικονίζουν στιγμιότυπα των επιλεγμένων βίντεο κλιπ, καθώς και κατηγοριοποίησή τους. Όλα τα βίντεο μεταφορτώθηκαν σε ακατέργαστη raw μορφή από το Xiph.org [75], παράχθηκαν από τους SVT Sveriges Television AB και Taurus Media Technik, και είναι δωρεάν διαθέσιμα για δοκιμαστικούς και μη-εμπορικούς σκοπούς.



Εικόνα 20: Ηλιολούλουδο (Τύπος 1): μικρή κινούμενη περιοχής σε στατικό υπόβαθρο



Εικόνα 21: Τοπίο (Τύπος 2): κλιπ ευρείας γωνίας



Εικόνα 22: Πλήθος που τρέχει (Τύπος 3): γρήγορη κίνηση



Εικόνα 23: Πέταγμα παπιών (Μείξη τύπων 2-3)



Εικόνα 24: Ασπίδες (Μείξη τύπων 1-2)

Όλα τα πλάνα κωδικοποιήθηκαν με τη βοήθεια του Adobe Media Encoder CS5 μέσω χρήσης του κωδικοποιοκωδικοποιητή (codec) βίντεο MainConcept H.264. Οι τελικές μορφές των βίντεο και επομένως οι παράμετροι κωδικοποίησης έχουν επιλεγεί σύμφωνα με τις οδηγίες για κωδικοποίηση κινητών σε συσκευές Android [77] όπως αυτές συνοψίζονται στον Πίνακα 3. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι όταν γίνεται χρήση ενός κινητού κωδικοποιητή όπως αυτή του H.264 [78]-[79] αλλά και μετρικών δικτύου όπως το εύρος ζώνης (bandwidth), το μέγεθος του κωδικοποιημένου αρχείου βίντεο δεν εξαρτάται ούτε από την ανάλυση του βίντεο, ούτε από τον αριθμό πλαισίων ανά δευτερόλεπτο (frames per second). Αντίθετα, ο καθοριστικός παράγοντας είναι ο δυφιορυθμός κωδικοποίησης (encoding bitrate) ο οποίος μορφοποιεί και τελικά ορίζει το τελικό μέγεθος του αρχείου. Συνεπώς, αν για παράδειγμα θεωρήσουμε ένα κλιπ κωδικοποιημένου βίντεο διάρκειας 60 δευτερολέπτων και κάνοντας χρήση των προφίλ 12 και 13 στον Πίνακα 3, το τελικό μέγεθος του αρχείου είναι 18.246KB και 18.287KB αντίστοιχα ανεξάρτητα από την ανάλυση και τα fps.

Πίνακας 3. Παράμετροι κωδικοποίησης βίντεο

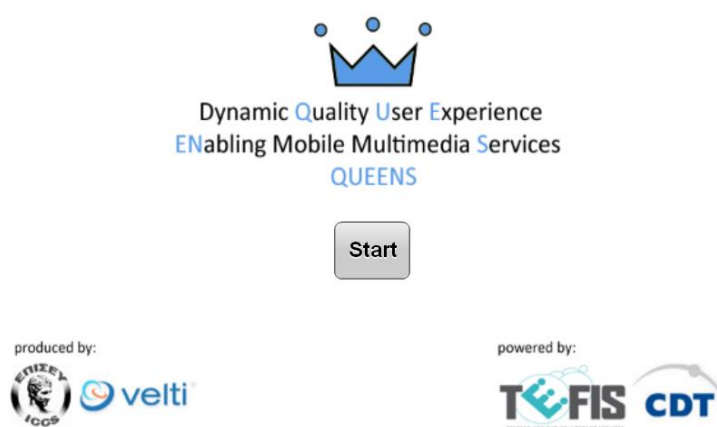
Ροή #	Κατάλληλη για	Ανάλυση Εικόνας	Frames per Sec	Bitrate (kbps)
1	EDGE	128x72	30	56
2	EDGE	128x72	30	86
3	EDGE	256x144	30	202
4	EDGE	256x144	30	352
5	3G, 4G	512x288	30	552
6	3G, 4G	512x288	30	736
7	4G, WIFI	512x288	30	936
8	4G, WIFI	512x288	30	1236
9	4G, WIFI	512x288	30	1536
10	4G, WIFI	512x288	30	1836
11	4G, WIFI	512x288	30	2136
12	4G, WIFI	512x288	30	2436
13	4G, WIFI	640x360	30	2436
14	4G, WIFI	640x360	30	2736

Προκειμένου να καταλήξουμε σε μία έγκυρη, αποτελεσματική, απευθείας επαναχρησιμοποιούμενη και στατιστικά ισχυρή αξιολόγηση της αντιλαμβανόμενης ποιότητας από τους χρήστες, πάνω σε διαφορετικές ρυθμίσεις του κωδικοποιητή βίντεο, είναι απαραίτητο όλοι οι παράμετροι που επηρεάζουν την αξιολόγηση να μη μεταβάλλονται, το περιβάλλον εμπειρίας των χρηστών να παραμένει συνεχώς ελεγχόμενο και οι ανεπιθύμητες διαταραχές των συνθηκών να ελαχιστοποιούνται. Συνεπώς, προκειμένου να απαλείψουμε την επίδραση των μεταβαλλόμενων και μη ελεγχόμενων συνθηκών του δικτύου στην ΠτΕ του χρήστη, όπως διαταράξεις πχ. εξαιτίας συνδέσεων χαμηλής ποιότητας, συμφόρηση, αποτυχημένες ζεύξεις, κλπ, και άρα να εξασφαλίσουμε πως όλοι οι πειραματικοί χρήστες λαμβάνουν ακριβώς το ίδιο περιεχόμενο βίντεο, όλα τα πλάνα βίντεο γίνονται διαθέσιμα στα κινητά τερματικά των χρηστών πριν την εκτέλεση της εφαρμογής.

Τέλος, για τη καταγραφή όλων των ενεργειών και συμπεριφορών χρήσης που εκτελούν οι χρήστες η εφαρμογή καταγράφει κάθε αλληλεπίδραση που πραγματοποιεί ο χρήστης με την εφαρμογή σε ένα αρχείο τύπου XML, ενώ με την επιτυχή συμπλήρωση του πειράματος το εν λόγω αρχείο καταγραφής αποστέλλεται σε έναν εξυπηρετητή Apache2 για περαιτέρω ανάλυση.

6.3. Επεξήγηση της εφαρμογής

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται μία λεπτομερής ανάλυση και περιγραφή της κάθε οθόνης/βήματος που ο χρήστης συναντά κατά τη χρήση της πρότυπης εφαρμογής μαζί με τη σχετική τεκμηρίωση των υποστηριζόμενων επιλογών. Με την έναρξη της εφαρμογής εμφανίζεται η εισαγωγική οθόνη καλωσορίσματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 25.



Εικόνα 25: Οθόνη Καλωσορίσματος

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα συνοπτικό εγχειρίδιο λειτουργικότητας, επεξηγώντας αρχικά την βασική ιδέα και τα αναμενόμενα αποτελέσματα του πειράματος (Εικόνα 26), ενώ στη συνέχεια παρέχονται αναλυτικές οδηγίες για την επιτυχή περιήγηση στην εφαρμογή (Εικόνα 27-28).

Quick Tutorial

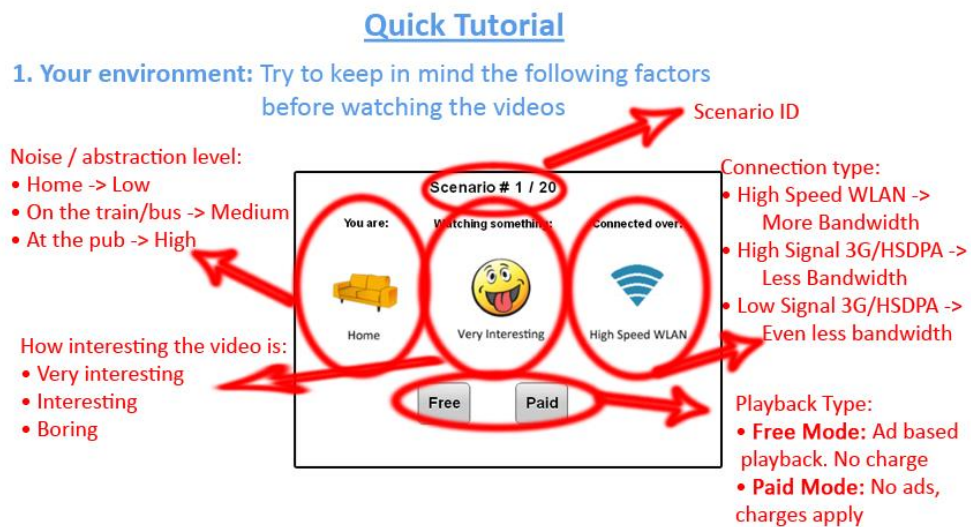
The scope of the **QUEENS** experiment is to find out how people perceive video quality under different scenarios, and how much they are willing to pay towards satisfying their needs.

In the following you will be shown multiple videos, while having the possibility to dynamically alter the video's quality to your needs.

Also you will be requested to rate the video quality for each video.

At the end of the experiment, simply by responding to a simple question and filling in your email, you will have the opportunity to win a brand-new **Samsung Tab** and **5 cinema tickets**.

Εικόνα 26: Συνοπτικό εγχειρίδιο λειτουργικότητας – Σκοπός και διαγωνισμός



Εικόνα 27: Συνοπτικό εγχειρίδιο – Επεξήγηση Περιβάλλοντος

Quick Tutorial

2. The main screen: Watch the videos and change their quality



Press the buttons to alter the video quality

- using the multiple choice menu
- using the stepwise menu

Stick to the one that fulfills your needs keeping in mind your environment as described in the previous screen

Εικόνα 28: Συνοπτικό εγχειρίδιο – Δυναμική Αλλαγή Ποιότητας

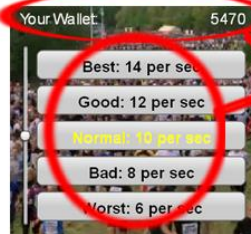
Quick Tutorial

3. Rating: Rate the videos you just watched

On each quality change you will be requested to rate the video you just watched.



4. Free and Paid Mode



Paid Mode:

- Each quality is assigned a cost per second which is subtracted from your wallet.
- The charge rate is displayed next to the video quality description

Free Mode:

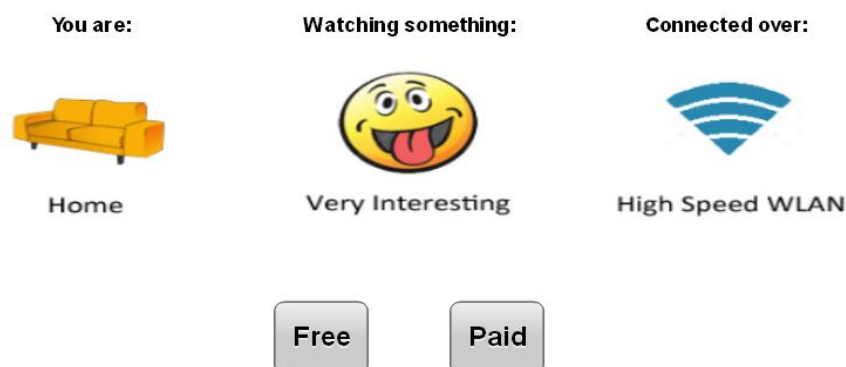
- No charges apply
- An advertisement is displayed



Εικόνα 29: Συνοπτικό εγχειρίδιο – Βαθμολόγηση και Τιμολόγηση

Αμέσως μετά ξεκινά το κυρίως μέρος της εφαρμογής, δηλαδή η αναπαραγωγή των βίντεο κλιπ και η συγκέντρωση της βαθμολογίας των χρηστών, προτρέποντας το χρήστη να λάβει μέρος σε ένα ιδεατό σενάριο χρήσης (Εικόνα 30).

Scenario # 1 / 24



* You will not be charged during this experiment. All displayed charges are virtual and do not reflect to real money.

Εικόνα 30: Στιγμιότυπο πληροφορίας πλαισίου λειτουργίας της εφαρμογής

Η λογική πίσω από την οθόνη παροχής πληροφοριών (Εικόνα 30) έχει να κάνει με την εξέταση του κατά πόσο και ως ποιο βαθμό η αντίληψη ποιότητας των χρηστών μεταβάλλεται σε συμφωνία με περιβαλλοντικούς, δικτυακούς και/ή συναισθηματικούς παράγοντες. Προς τη κατεύθυνση επίτευξης του σκοπού αυτού και προσπαθώντας να προσομοιώσει καταστάσεις πραγματικής ζωής, έχουν εισαχθεί οι παρακάτω τρεις παράμετροι μαζί με τις αντίστοιχες επιτρεπτές τιμές τους:

- Επίπεδο θορύβου / αφαίρεσης προσοχής (Noise / Abstraction Level)
 - *Οικία:* Καθόλου θόρυβος, ελάχιστη αφαίρεση προσοχής
 - *Στα ΜΜΜ* (τρένο, λεωφορείο): Μεσαίος θόρυβος
 - *Δημόσιος χώρος:* Υψηλά επίπεδα ενόχλησης
- Επίπεδο ενδιαφέροντος (Interest Level)
 - *Πολύ ενδιαφέρον:* Ο χρήστης παρακολουθεί κάτι απολαυστικό
 - *Ενδιαφέρον:* Ο χρήστης παρακολουθεί κάτι με μερικό ενδιαφέρον
 - *Βαρετό:* Ο χρήστης παρακολουθεί κάτι με καθόλου ενδιαφέρον
- Τύπος σύνδεσης (Connectivity type)

- *Ασύρματη Υψηλής Ταχύτητας (High Speed WLAN):* ασύρματη πρόσβαση υψηλής ταχύτητας με αρκετό διαθέσιμο εύρος ζώνης
- *Κινητή Υψηλής Ταχύτητας (High Speed 3G/HSDPA):* πρόσβαση σε κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας με μεγάλη κάλυψη και υψηλές ταχύτητες
- *Κινητή Χαμηλής Ταχύτητας (Low Speed 3G/HSDPA):* πρόσβαση σε κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας με χαμηλή κάλυψη, δηλαδή με προβλήματα συνδεσιμότητας και ελάχιστο εύρος ζώνης

Επομένως, και πριν από οποιαδήποτε προβολή βίντεο κλιπ, ο χρήστης ενημερώνεται από την εφαρμογή για το επίπεδο κάθε μίας εκ των μεταβαλλόμενων παραμέτρων και παροτρύνεται να συμπεριφερθεί σε συμφωνία με αυτά.

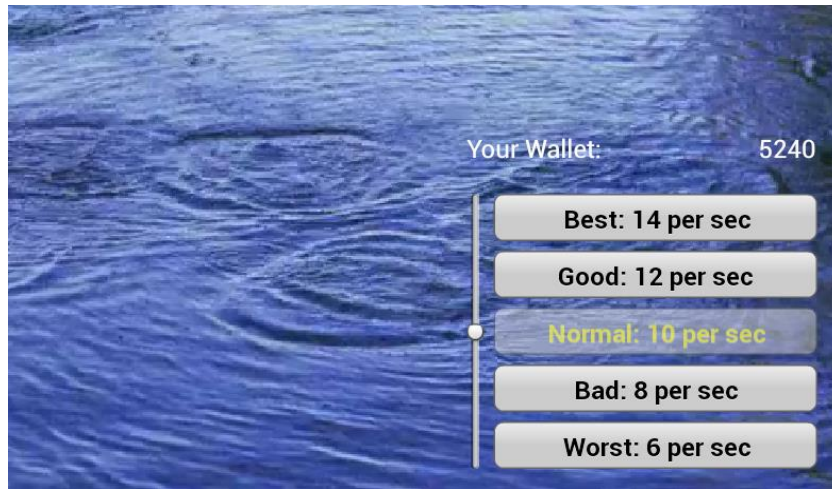
Επιπρόσθετα, εξαιτίας του γεγονότος ότι οι πάροχοι υπηρεσιών έχουν πάντα ως επιχειρησιακά προσανατολισμένο στόχο τη παροχή και παράδοση επικερδών υπηρεσιών, καθίσταται αναγκαία η παρουσία ενός μηχανισμού τιμολόγησης στα πλαίσια λειτουργίας της εφαρμογής. Για την επίτευξη αυτού του στόχου και ακολουθώντας ένα μείγμα των παραδειγμάτων Youtube και CNN, η εφαρμογή παρέχει τρεις τύπους τρόπων αναπαραγωγής (playback mode), δηλ:

- 1) *Επι-πληρωμή (raid mode):* κατά την οποία ο χρήστης χρεώνεται εικονικά μέσω αφαίρεσης μονάδων (credits) από το εικονικό πορτοφόλι του για κάθε δευτερόλεπτο υπηρεσίας βίντεο που απολαμβάνει,
- 2) *Ελεύθερη προβολή με επικαλυπτόμενη διαφήμιση (Free ad-based overlay mode):* όπου ο χρήστης απολαμβάνει ελεύθερη προβολή βίντεο όμως μία διαφήμιση εμφανίζεται κάθε φορά στο κάτω μέρος του βίντεο, και
- 3) *Ελεύθερη προβολή με προεπισκόπηση διαφήμισης (Free ad-based preroll mode):* όπου ένα μικρής διάρκειας διαφημιστικό κλιπ προβάλλεται στο χρήστη κάθε φορά πριν την πραγματική αναπαραγωγή κάθε βίντεο.

Επομένως, όπως φαίνεται στην Εικόνα 30 παρακάτω, ο χρήστης πριν από οποιαδήποτε αναπαραγωγή του αιτούμενου (από αυτόν) βίντεο προτρέπεται από την εφαρμογή να επιλέξει ένα από τα δύο βασικά μοντέλα τρόπων αναπαραγωγής παραπάνω (επί πληρωμή ή ελεύθερο με διαφήμιση) όπου στη περίπτωση της επιλογής ελεύθερης αναπαραγωγής με διαφημίσεις από το χρήστη ένας από τους δύο τρόπους (με επικάλυψη ή προεπισκόπηση) επιλέγεται τυχαία από την εφαρμογή και εκτελείται.

Ακολουθως της προβολής πληροφοριών πλαισίου λειτουργίας (context information) και επιλογής του τύπου χρέωσης (pricing) η αναπαραγωγή του βίντεο ξεκινά. Παρακάτω φαίνονται δύο στιγμιότυπα της αναπαραγωγής βίντεο τύπου «επί-πληρωμή» (Εικόνα 31) και «ελεύθερο με διαφήμιση» (Εικόνα 32). Στη δεξιά πλευρά κάθε οθόνης εμφανίζεται το μενού επιλογής της δυναμικής προσαρμογής ΠτΕ (dynamic QoE adaptation menu), το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να επιλέγουν δυναμικά κάθε φορά μεταξύ μίας έως πέντε διαθέσιμων επιλογών επιπέδου ποιότητας: **βέλτιστο (best)**, **καλό (good)**, **κανονικό (normal)**, **κακό (bad)** και **χειρίστο (worst)**, με σκοπό την βελτιστοποίηση της εμπειρίας τους. Κάθε επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας μεταφράζεται (αντιστοιχεί) σε ένα διαφορετικό αρχείο βίντεο κωδικοποιημένο σύμφωνα με τις παραμέτρους ποιότητας του Πίνακα 2, επιτρέποντας την αξιολόγηση του πως κάθε μία από τις 14 διαθέσιμες ποιότητες βίντεο επιδρούν στην ικανοποίηση και την εμπειρία του χρήστη. Την ίδια στιγμή ο χρήστης επιλέγοντας το αντίστοιχο αρχείο βίντεο, δηλαδή την έκδοση του βίντεο που θα δει ανάλογα με την ποιότητα που έχει επιλέξει (υψηλή, κανονική ή χαμηλή, κλπ), το αρχείο αυτό στιγμιαία φορτώνεται και η αναπαραγωγή συνεχίζει από το ίδιο σημείο ακριβώς σημείο. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση της «επί-πληρωμή» αναπαραγωγής, δίπλα στα ταμπελάκια επιλογών ποιότητας η ένδειξη κόστος ανά δευτερόλεπτο (cost per second) εμφανίζεται συνέχεια για όσο διαρκεί η αναπαραγωγή, πληροφορώντας το χρήστη για τη υφιστάμενη

χρέωση κάθε ποιότητας βίντεο και τις αντίστοιχες μονάδες που θα αφαιρεθούν από το εικονικό πορτοφόλι του (Εικόνα 31).



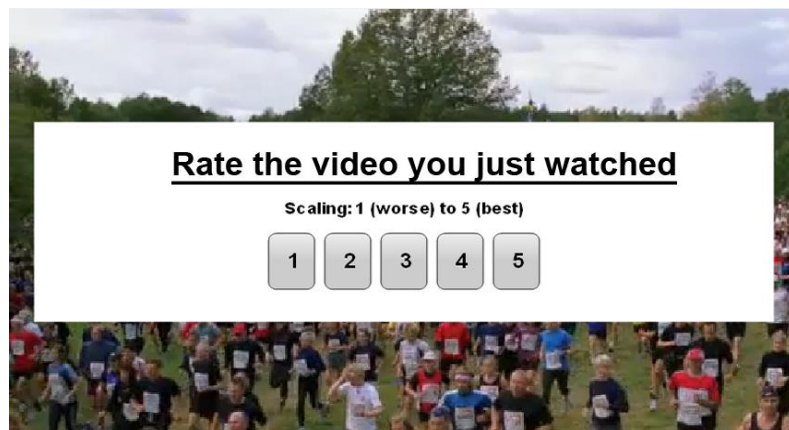
Εικόνα 31: Αναπαραγωγή βίντεο: Επί-πληρωμή



Εικόνα 32: Αναπαραγωγή βίντεο: Ελεύθερη με διαφημίσεις

Με την εκτέλεση μίας αλλαγής στην ποιότητα του βίντεο, όπως επίσης και στο τέλος κάθε αναπαραγωγής βίντεο, εμφανίζεται ένα δυναμικά αναδυόμενο παράθυρο, το οποίο παρακινεί το χρήστη να βαθμολογήσει την ποιότητα του τμήματος βίντεο που μόλις

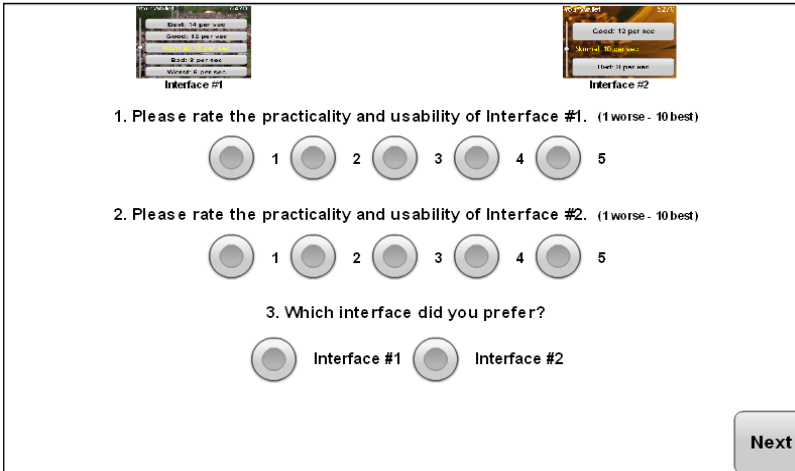
παρακολούθησε με τρόπο παρόμοιο της μεθόδου Μέσης Βαθμολογίας Γνώμης (MOS-Mean Opinion Score), όπως φαίνεται στη παρακάτω Εικόνα 33. Είναι σημαντικό να τονιστεί η σημαντικότητα των βαθμολογήσεων βίντεο, επειδή η προσεκτική μελέτη και ανάλυση των συναθροισμένων εγγραφών από όλους τους χρήστες παρέχει πολύ σημαντικά αποτελέσματα και σφαιρική γνώση με σκοπό: (α) να καταστήσει δυνατή την εφαρμογή του δυναμικού πλαισίου παροχής ΠτΕ όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, (β) να τυποποιήσει μία ισχυρή και χειροπιαστή συσχέτιση μεταξύ των ΠτΕ και ΠτΥ και επομένως μεταξύ των χαρακτηριστικών κωδικοποίησης βίντεο (όπως αναλύθηκαν στην Παράγραφο 6.2), και (γ) να καταστρωθούν σαφείς επιχειρησιακοί στόχοι (business goals) για τους παρόχους υπηρεσίας και δικτύου όπως θα απεικονιστεί στο Κεφάλαιο 9.



Εικόνα 33: Οθόνη βαθμολόγησης ποιότητας βίντεο

Η προηγούμενη λειτουργία επαναλαμβάνεται για 24 διαφορετικά σενάρια που αποτελούνται από διάφορους συνδυασμούς ποιότητας και τύπους βίντεο, πληροφορίας περιβάλλοντος και πλαισίου λειτουργίας εφαρμογής, επιτυγχάνοντας σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις ουσιαστικούς συνδυασμούς όλων των παραπάνω παραμέτρων σε συμφωνία με ρεαλιστικές κατευθυντήριες γραμμές πειράματος [80].

Στο τέλος και πριν ολοκληρωθούν οι δοκιμές του χρήστη, με σκοπό να αποτιμηθεί η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μηχανισμού δυναμικής προσαρμογής της ΠτΕ των χρηστών, οι χρήστες καλούνται να απαντήσουν σε ένα μικρό ερωτηματολόγιο βαθμολογώντας τη συνολική εμπειρία τους ως προς την ευελιξία, πρακτικότητα και προθυμία για να αλληλοεπιδράσουν με το μενού προσαρμογής ΠτΕ. Επίσης, οι πειραματικοί χρήστες ερωτήθηκαν, σε ότι αφορά τη διάθεσή τους να δούνε διαφημίσεις πριν απολαύσουν ελεύθερες υπηρεσίες (όπως βίντεο), γεγονός το οποίο σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες βαθμολογήσεις εγγραφών θα συνεισφέρουν στη διαμόρφωση των επιχειρησιακών στόχων.

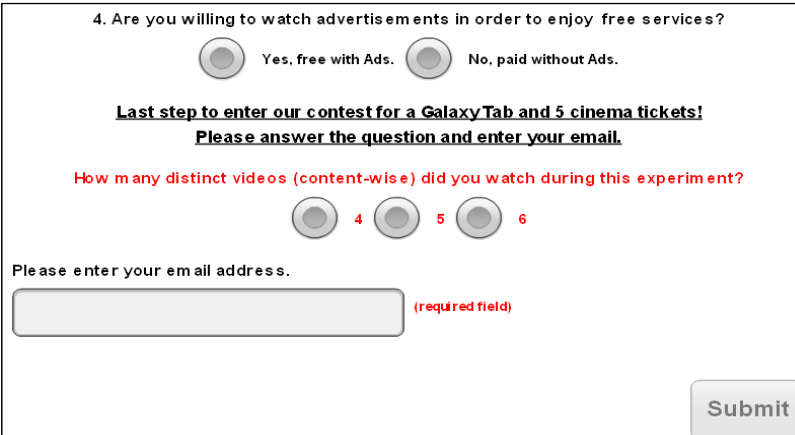


The screenshot shows a survey form with three questions. At the top, there are two small images of mobile app interfaces, labeled 'Interface #1' and 'Interface #2'. Below them are three questions:

1. Please rate the practicality and usability of Interface #1. (1 worse - 10 best)
This question has five radio buttons labeled 1, 2, 3, 4, and 5.
2. Please rate the practicality and usability of Interface #2. (1 worse - 10 best)
This question also has five radio buttons labeled 1, 2, 3, 4, and 5.
3. Which interface did you prefer?
This question has two radio buttons labeled 'Interface #1' and 'Interface #2'.

A 'Next' button is located at the bottom right of the form.

Εικόνα 34: Τελικό Ερωτηματολόγιο – Βαθμολόγηση μενού ΠτΕ



The screenshot shows a survey form with four questions and a text input field. The questions are:

4. Are you willing to watch advertisements in order to enjoy free services?
This question has two radio buttons: 'Yes, free with Ads.' and 'No, paid without Ads.'

Below the questions, there is a bolded text: **Last step to enter our contest for a Galaxy Tab and 5 cinema tickets!** followed by **Please answer the question and enter your email.**

Then, a question in red text: **How many distinct videos (content-wise) did you watch during this experiment?** This question has three radio buttons labeled 4, 5, and 6.

Below this, there is a text input field with the label 'Please enter your email address.' and a '(required field)' note in red. A 'Submit' button is located at the bottom right of the form.

Εικόνα 35: Τελικό Ερωτηματολόγιο – Τιμολόγηση και Διαγωνισμός

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει όλους τις εμπλεκόμενες παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη στην εκτέλεση των διαφόρων σεναρίων του πειράματός μας, παρέχοντας μία ξεκάθαρη εικόνα του σχετικού βαθμού πολυπλοκότητας.

Πίνακας 4. Σύνοψη των πειραματικών παραμέτρων

Παράμετρος	Τιμές		
	Τύπος 1	Τύπος 2	Τύπος 3
Κωδικοποίηση βίντεο	14 διαφορετικά σχήματα κωδικοποιήσεων – Πίνακας 3		
Θόρυβος/Αφαίρεση	Σπίτι/Κατοικία	Στα ΜΜΜ (τραίνο / λεωφορείο)	Σε δημόσιο χώρο
Επίπεδο Ενδιαφέροντος	Πολύ ενδιαφέρον	Ενδιαφέρον	Βαρετό – Καθόλου ενδιαφέρον
Συνδεσιμότητα	Υψηλής ταχύτητας Ασύρματο (WLAN)	Κυψελωτό υψηλής ταχύτητας	Κυψελωτό χαμηλής ταχύτητας
Τιμολογιακή Πολιτική	Επι-πλήρωμή	Ελεύθερη με διαφημίσεις επικαλυπτόμενα	Ελεύθερη με διαφημίσεις με προεπισκόπηση

6.4. Αναλύοντας τη συμπεριφορά πραγματικών χρηστών

Προς τη κατεύθυνση να εγκαθιδρυθεί μία ισχυρή και ξεκάθαρη συσχέτιση μεταξύ της άποψης των κινητών τελικών χρηστών για την εμπειρία της πολυμεσικής υπηρεσίας τους και της αντίστοιχης εκπλήρωσης της υπηρεσίας όπως και της επίδρασης ψυχολογικών χαρακτηριστικών, παρουσιάζονται στη συνέχεια τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης πάνω στα αποτυπωμένα δεδομένα των χρηστών. Πιο συγκεκριμένα, 50 χρήστες της Πανεπιστημιούπολης του ΕΜΠ (Αθήνα, Ζωγράφου) και 50 χρήστες του Botnia Living Lad (Σουηδία) ηλικίας 18-35, έλαβαν μέρος στη περίπτωση μελέτης μας εκτελώντας την κινητή εφαρμογή πολυμέσων όπως περιεγράφηκε στην Παράγραφο 6.3, συγκεντρώνοντας πάνω από 3000 εγγραφές. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιώντας συνδυαστικά ζεύγη σεναρίων ελέγχου δηλαδή σενάρια πανομοιότυπα με εκείνα που ο χρήστης έχει ήδη εκτελέσει και

αποκτήσει εμπειρία χρήσης, επιτυγχάνεται διάστημα εμπιστοσύνης (confidence interval) άνω του 95%.

6.4.1. Επίδραση των περιβαλλοντικών και ψυχολογικών παραμέτρων στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα

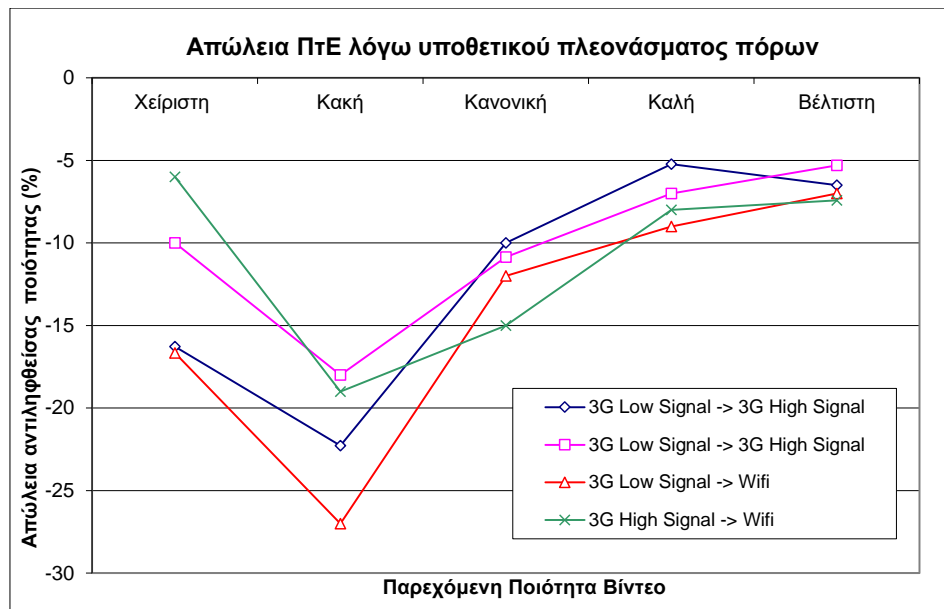
Για να παραχθούν ακριβή αποτελέσματα, γίνεται σύγκριση σε ζεύγη των 24 διαφορετικών σεναρίων που εξετάστηκαν εδώ, όπου όλοι οι παράγοντες που επιδρούν διατηρούνται πανομοιότυποι εκτός από έναν. Για παράδειγμα, για να εξετάσουμε την επίδραση που έχουν οι διαθέσιμοι πόροι δικτύου πάνω στην αντιλαμβανόμενη από το χρήστη ποιότητα βίντεο, θεωρούμε ζεύγη σεναρίων τα οποία διαμοιράζονται το ίδιο πλάνο και ίδιες ποιότητες βίντεο, θεωρούμε τα ίδια αφαιρετικά επίπεδα και επίπεδα ενδιαφέροντος, αλλά προσφέρουν διαφορετικούς τύπους συνδέσεων.

Το ίδιο ισχύει για όλα άλλα υπό εξέταση σενάρια. Για την αξιολόγηση αλλά και ποσοτικοποίηση των διαφορετικών ΠτΕ των χρηστών ορίζουμε την απώλεια ΠτΕ ως:

$$(QoE_U - QoE_F) / QoE_F \quad (5)$$

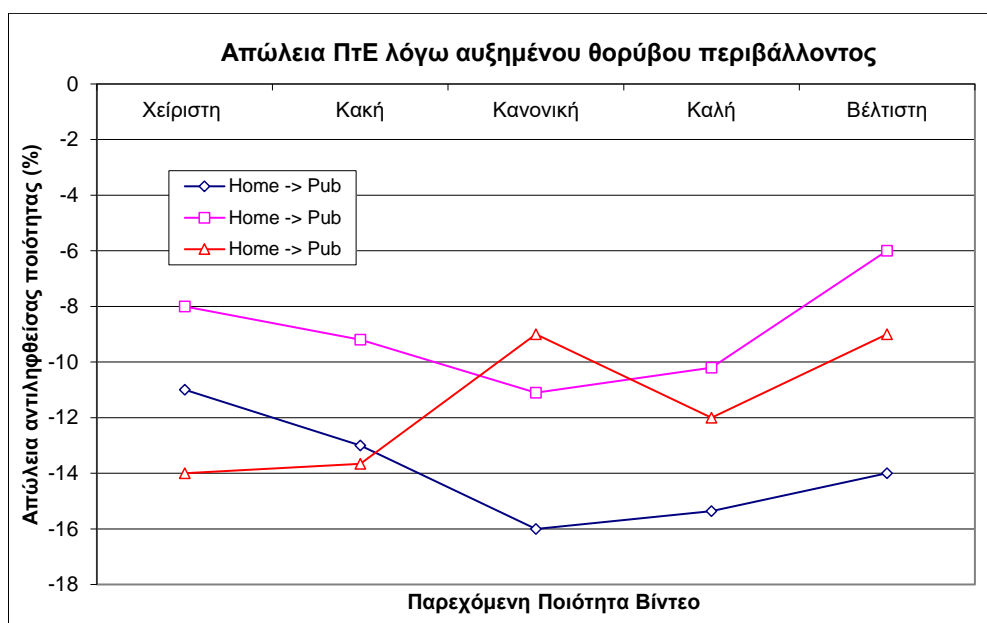
όπου το QoE_U συμβολίζει την μέση ΠτΕ των χρηστών στη κλίμακα MOS όταν σε αυτούς υποσχόμαστε δυσμενείς συνθήκες (δηλαδή χαμηλή διαθεσιμότητα πόρων, υψηλά επίπεδα αφαίρεσης με περιεχόμενο μηδαμινού ενδιαφέροντος), ενώ το QoE_F συμβολίζει την αντίστοιχη μέση ΠτΕ των χρηστών όταν σε αυτούς παρόλο που υποσχόμαστε ευνοϊκές συνθήκες (δηλαδή υψηλή διαθεσιμότητα πόρων, χαμηλά επίπεδα αφαίρεσης με ενδιαφέρον περιεχόμενο), εν τέλει λαμβάνουν την ίδια ποιότητα βίντεο όπως οι χρήστες της QoE_U . Διαισθητικά η ποσότητα (5) αντιπροσωπεύει την απώλεια στην ΠτΕ των χρηστών στη περίπτωση που ενώ αναμένουν περιεχόμενο υψηλής ποιότητας εντούτοις δεν λαμβάνεται ποτέ.

Εξετάζοντας τη διαθεσιμότητα του δικτύου σε πόρους δηλαδή παροχή εύρους ζώνης, θα είναι αναμενόμενο ότι όταν στους χρήστες παρέχεται υψηλό επίπεδο πόρων (ή εύρος ζώνης) τότε οι απαιτήσεις τους ως προς την ποιότητα της υπηρεσίας θα πρέπει να αυξηθούν αναλόγως. Τα αποτελέσματα της Εικόνα 36 επικεντρώνονται στην ψυχολογική επίδραση της παρεχόμενης ποιότητας του δικτύου και προκύπτουν μετά την ανάλυση τεσσάρων (4) ζευγών. Για παράδειγμα, οι μπλε και οι ροζ γραμμές αναφέρονται σε σενάρια που οι χρήστες είδαν το ίδιο ακριβώς βίντεο αρχικά ενώ ήταν συνδεδεμένοι σε ένα δίκτυο 3G χαμηλού σήματος και μετά ξανά ενώ ήταν συνδεδεμένοι σε ένα δίκτυο 3G υψηλής ποιότητας (π.χ. HSDPA). Παρατηρούμε πως γενικά και στα 4 σενάρια, που απεικονίζονται με διαφορετικές γραμμές, τα βίντεο ίδιας ποιότητας λαμβάνουν χαμηλότερης βαθμολογίας όσο οι χρήστες βρίσκονται σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων. Η μεγαλύτερη διαφορά διακρίνεται στην **Κακή** ποιότητα, η οποία και κρίθηκε ως μη αποδεκτή για δίκτυα υψηλών ταχυτήτων, ενώ η **Χείριστη** βαθμολογείται χαμηλά σε κάθε περίπτωση. Η διαφορά έχει τάση για μείωση αλλά παραμένει ακόμα σε αξιοσημείωτα επίπεδα για βίντεο υψηλότερης ποιότητας.



Εικόνα 36: Επίδραση τύπου σύνδεσης στην αντίληψη ποιότητας του χρήστη

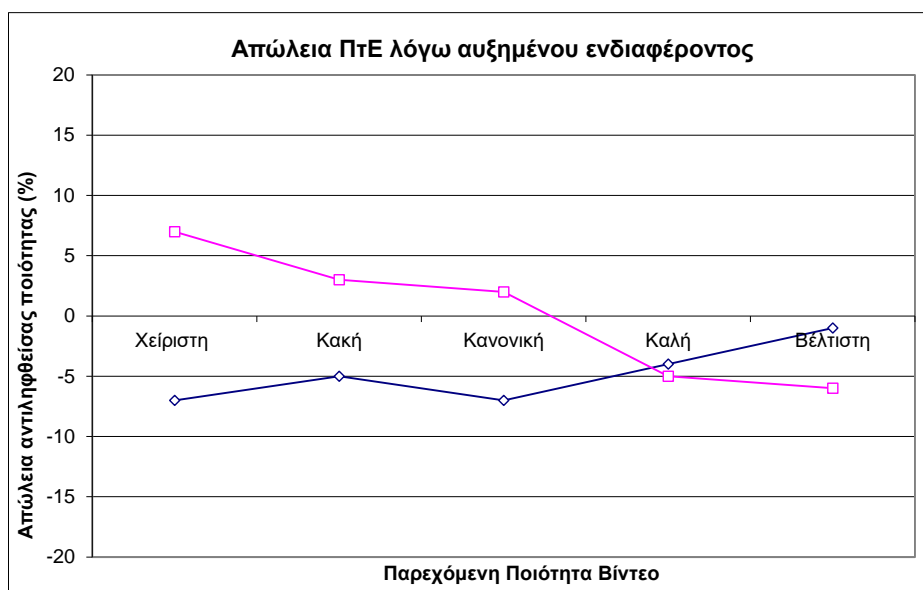
Εξετάζοντας την επίδραση του περιβαλλοντικού θορύβου στην ΠτΕ των χρηστών, η απώλεια στην αντιλαμβανόμενη ποιότητα των χρηστών λόγω αύξησης των επιπέδων αφαίρεσης εικονίζεται στην Εικόνα 37 για τρία ζεύγη σεναρίων, τα οποία είχαν ανά δύο ακριβώς την ίδια διαμόρφωση εκτός από την παράμετρο του περιβαλλοντικού θορύβου που ήταν από το Σπίτι στην Παμπ. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο θόρυβος υποβάθρου (background noise) έχει άμεση επίδραση στην εμπειρία των χρηστών προκαλώντας μείωση σε αυτή σχεδόν κατά 10% ανεξάρτητα από το είδος και τη ποιότητα του βίντεο που προβάλλεται.



Εικόνα 37: Επίδραση του θορύβου περιβάλλοντος στην αντίληψη ποιότητας του χρήστη

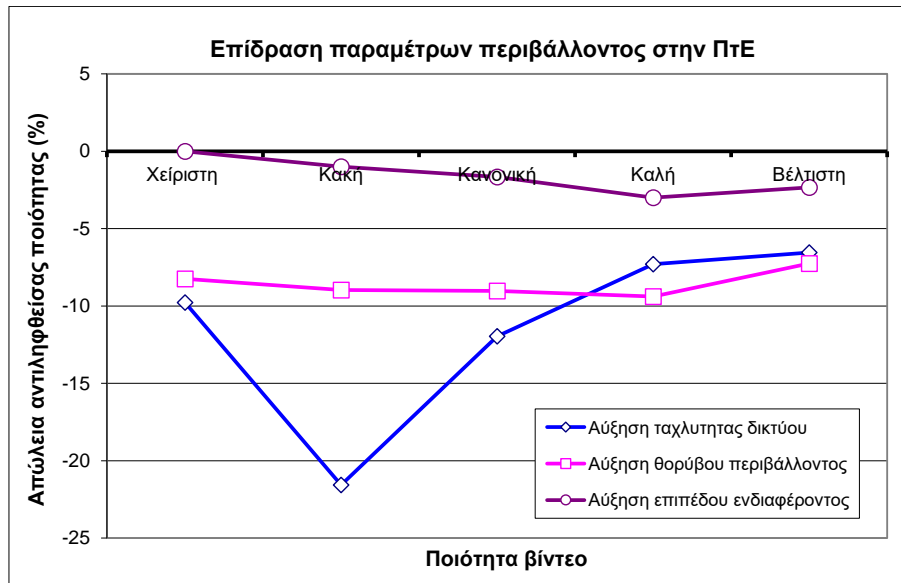
Ακολουθώντας την ίδια κατεύθυνση ανάλυσης στη συνέχεια αξιολογούμε την επίδραση πάνω στα επίπεδα ενδιαφέροντος της αντιλαμβανόμενης ποιότητας από τους χρήστες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 38, και καταλήγουμε ότι γενικά το ενδιαφέρον των χρηστών στο περιεχόμενο του υπό παρακολούθηση βίντεο δεν έχει απευθείας επίδραση στο πως αντιλαμβάνονται την ποιότητα αυτού. Με απλά λόγια αυτό συνεπάγεται πως οι χρήστες

δίνουν έμφαση στην ποιότητα ανεξάρτητα από την σημασία και σημαντικότητα του περιεχόμενου προς αυτούς.



Εικόνα 38: Επίδραση του ενδιαφέροντος ως προς το περιεχόμενο στην αντίληψη ποιότητας του χρήστη

Τέλος, η Εικόνα 39 παρουσιάζει ένα συγκεντρωτικό γράφημα της επίδρασης των διαφόρων παραμέτρων περιβάλλοντος και ψυχολογίας υπό εξέταση στην ανάλυσή μας, υπογραμμίζοντας τις τάσεις και παραμέτρους οι οποίες σχηματίζουν και επηρεάζουν την αντίληψη και τα κίνητρα του χρήστη. Τα παρουσιαζόμενα αποτελέσματα αποτελούνται από τη μέση συμπεριφορά του χρήστη για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια.

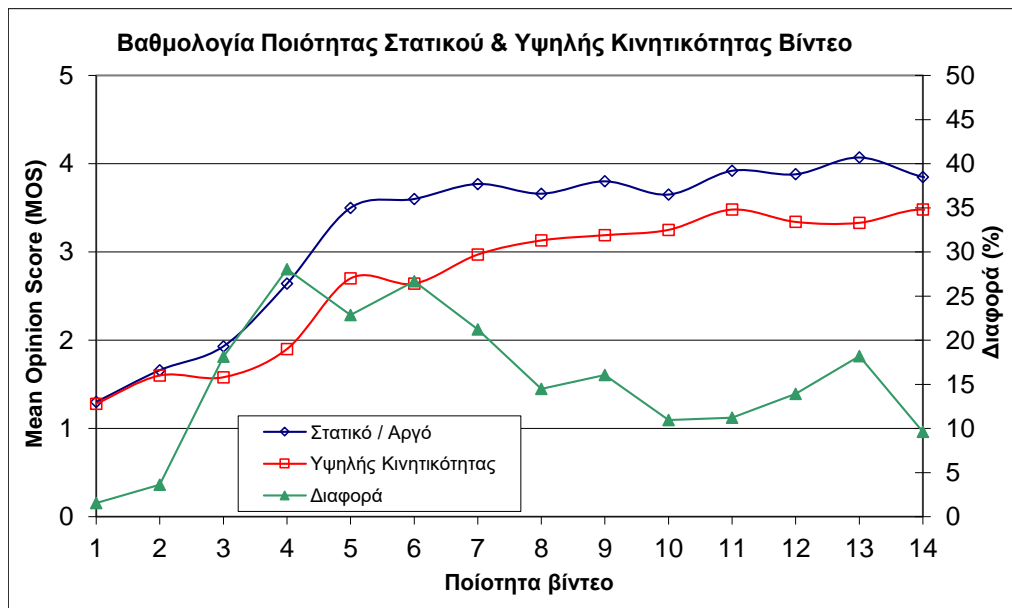


Εικόνα 39: Επίδραση περιβαλλοντικών και ψυχολογικών παραμέτρων στην αντίληψη ποιότητας από τους χρήστες

6.4.2. Επίδραση της κίνησης αντικειμένων του βίντεο στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα

Επικεντρώνοντας στο τύπο των βίντεο, κάποιος θα περίμενε ένα βίντεο με σχετικά στατικά αντικείμενα (π.χ. δύο ή περισσότεροι συνομιλητές) να έχει καλύτερη ποιότητα από ότι ένα βίντεο με απότομα μεταβαλλόμενες σκηνές και πάρα πολύ κίνηση. Η Εικόνα 40 απεικονίζει την υποκειμενική αξιολόγηση χρηστών στην MOS κλίμακα, ανεξάρτητα από την επίδραση περιβαλλοντικών παραμέτρων για όλες τις 14 διαφορετικές ποιότητες βίντεο που περιγράφηκαν στον Πίνακα 3, κατηγοριοποιημένη ως προς τον τύπο της κίνησης (αντικειμένων) και για τις δύο περιπτώσεις δηλαδή βίντεο στατικής/αργής και απότομης κίνησης. Πιο συγκεκριμένα, σε συμφωνία με την Παράγραφο 6.1, μόνο οι Τύποι 1 και 3 πλάνων βίντεο αναλύθηκαν. Τα πειραματικά δεδομένα ικανοποιούν τους θεωρητικούς ισχυρισμούς οι οποίοι προτείνουν ότι στατικά και αργής κίνησης βίντεο επιτυγχάνουν 10-

25% υψηλότερη βαθμολόγηση ποιότητας σε σύγκριση με βίντεο κλιπ ταχείας κίνησης, ανεξάρτητα από την ποιότητα του υπό εξέταση βίντεο.

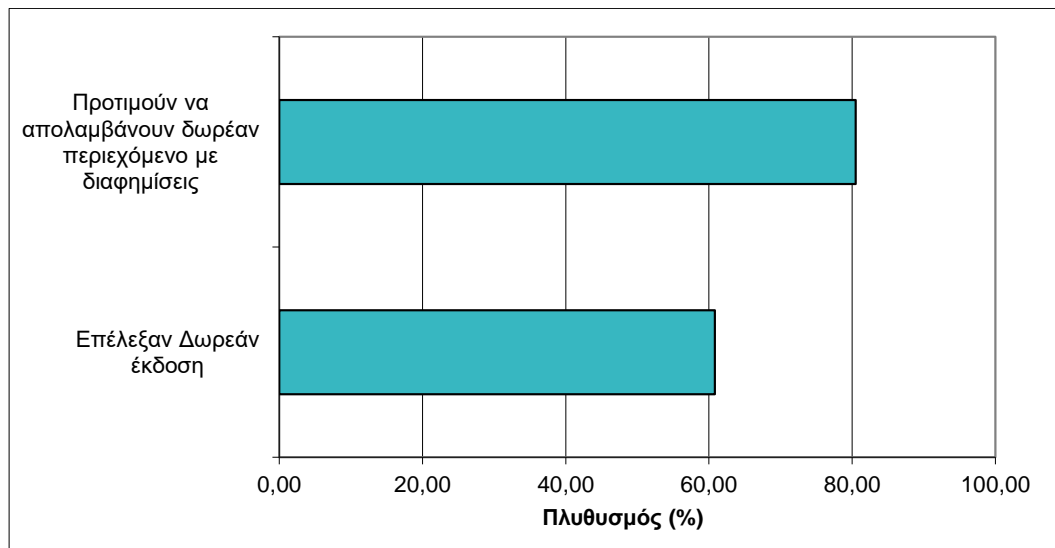


Εικόνα 40: Επίδραση κίνησης (αντικειμένων) βίντεο στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα

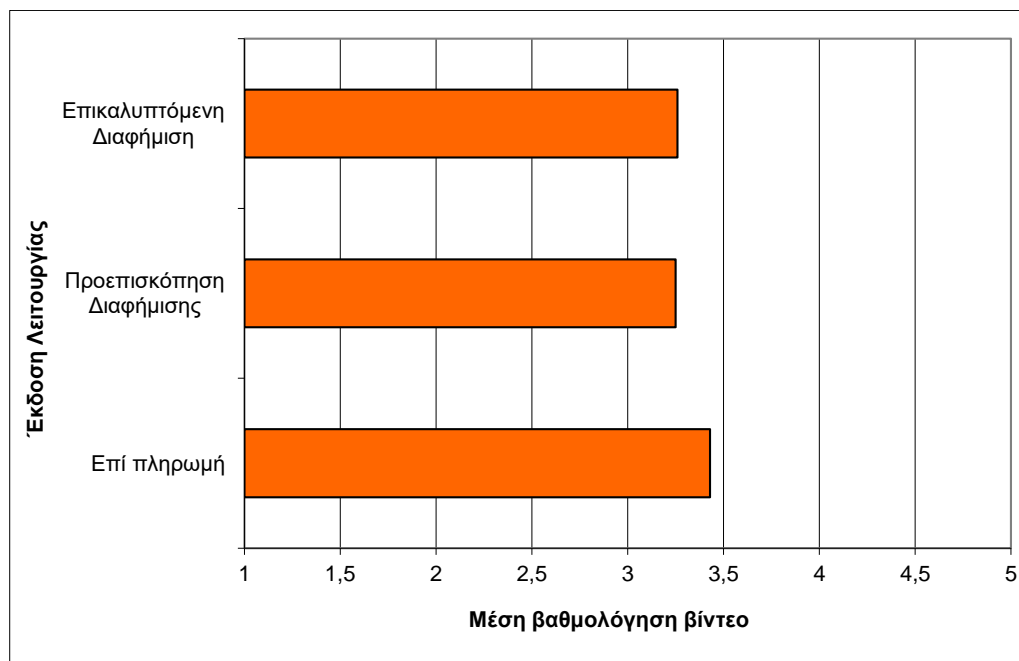
6.4.3. Επίδραση των διαφόρων σχημάτων (οικονομικής) αποτίμησης στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα

Όπως προαναφέρθηκε, τρεις τρόποι αναπαραγωγής έχουν ληφθεί υπόψη στην εν λόγω μελέτη: (α) Επι-πληρωμή (paid mode), (β) Ελεύθερη με διαφημίσεις επικαλυπτόμενα (Free Ad-based overlay mode), και (γ) Ελεύθερη με διαφημίσεις σε προεπισκόπηση (Free Ad-based preroll mode). Αναλύοντας τα παραγόμενα δεδομένα από το ερωτηματολόγιο, όπως επίσης από την αλληλεπίδραση των χρηστών στην εφαρμογή, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι περίπου 60% του δείγματος πληθυσμού προτιμά να παρακολουθεί δωρεάν περιεχόμενο βίντεο με διαφημίσεις (Εικόνα 41) δηλαδή (β) και (γ), ενώ όταν ρητά ερωτάται για το εάν θα προτιμούσε να απολαύσουν ελεύθερο περιεχόμενο με τη παρουσία διαφημίσεων το αντίστοιχο ποσοστό σκαρφαλώνει στο 80% σε αντίθεση με το δείγμα του

20% που δήλωσε ότι θα προτιμούσε την πληρωμή ανά προβολή (Εικόνα 41). Ωστόσο, αξιολογημένα είναι και τα ευρήματα της Εικόνα 42, όπου αποδεικνύεται πως ανεξάρτητα από τον τύπο της διαφήμισης στην έκδοση ελεύθερης πρόσβασης (freemium mode), δηλαδή (β) ή (γ), οι χρήστες επιβαρύνονται με περίπου 10% μείωση στην αντιλαμβανόμενη ποιότητα σε σύγκριση με την επί πληρωμή (α) περίπτωση. Αυτό προκύπτει είτε λόγω της ενόχλησης που αισθάνονται οι ελεύθεροι χρήστες από τη παρουσία διαφημίσεων, είτε λόγω της αίσθησης ανωτερότητας που αισθάνονται οι επί-πληρωμή χρήστες έναντι των ελεύθερων χρηστών.



Εικόνα 41: Επίδραση των σχημάτων οικονομικής αποτίμησης (monetization) στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα (Α)

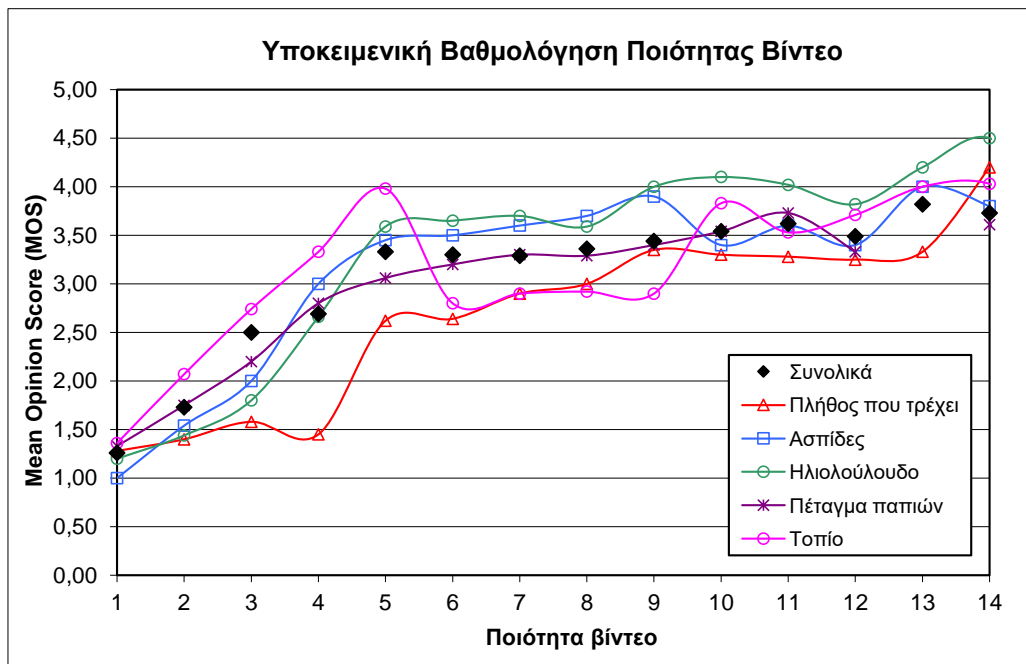


Εικόνα 42: Επίδραση των σχημάτων οικονομικής αποτίμησης (monetization) στην αντιλαμβανόμενη από τους χρήστες ποιότητα (B)

6.4.4. Υποκειμενική βαθμολόγηση ποιότητας βίντεο

Όπως δηλώθηκε στα προηγούμενα, ο καθορισμός μίας ισχυρής και σαφούς συσχέτισης μεταξύ της αντιλαμβανόμενης από το κινητό χρήστη εμπειρίας πολυμεσικής υπηρεσίας και των αντίστοιχων χαρακτηριστικών της υπηρεσίας αυτής καθ' αυτής, αποτελεί βασικό στόχο της εν λόγω μελέτης. Πιο συγκεκριμένα η Εικόνα 43 παρακάτω αναπαριστά την υποκειμενική βαθμολόγηση της ποιότητας βίντεο για όλες τις 14 εκδόσεις βίντεο που περιγράφηκαν στον Πίνακα 3, για τα 5 πλάνα βίντεο που λήφθηκαν υπόψη. Αρχικά παρατηρούμε ότι όλες οι καμπύλες ακολουθούν την ίδια τάση επιβάλλοντας και υπογραμμίζοντας την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της πειραματικής μας ανάλυσης. Επιπλέον, η αρχική απότομη κλίση των καμπύλων για τις ποιότητες 1 έως 5 δείχνουν ότι η αντίληψη των χρηστών επηρεάζεται ισχυρά από τις αλλαγές στα βίντεο

χαμηλής ποιότητας, ενώ η υποκειμενική τους γνώμη συγκλίνει σιγά σιγά για αυξήσεις προς μεγαλύτερες ποιότητες βίντεο.



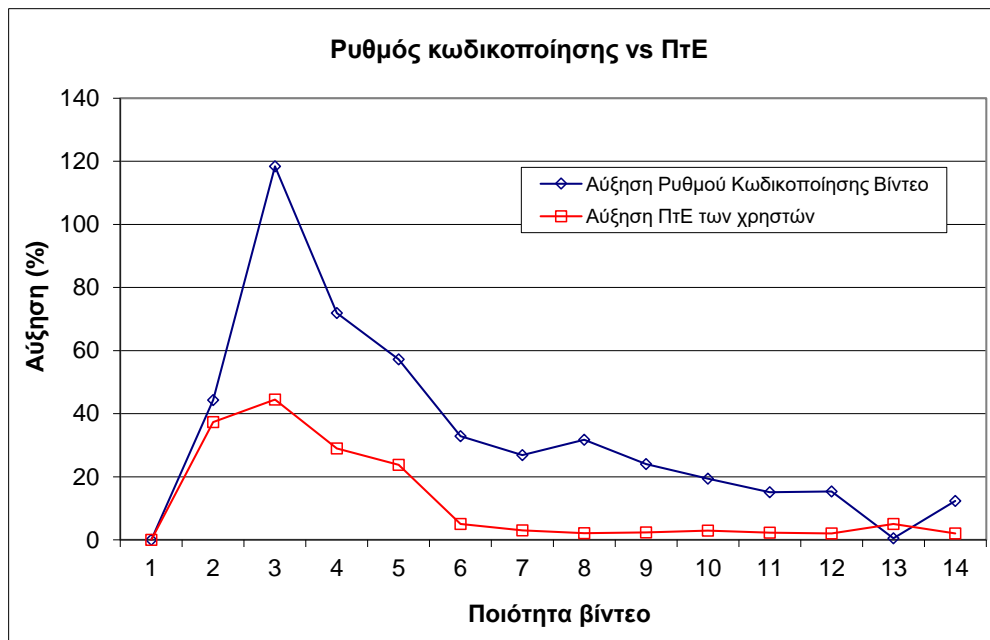
Εικόνα 43: Υποκειμενική βαθμολόγηση ποιότητας βίντεο από τους χρήστες

Προκειμένου να δοθεί μία πιο σαφής απεικόνιση των αποτελεσμάτων, η Εικόνα 44 απεικονίζει τον βαθμό αύξησης της συνολικής ΠτΕ των χρηστών ως προς τον δυφορρυθμό (bitrate) του βίντεο και επομένως την προσαύξηση του μεγέθους του αρχείου για τις υπόλοιπες ποιότητες βίντεο. Και οι δύο εικονιζόμενες γραμμές έχουν υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη μαθηματική διατύπωση (6):

$$(x_n - x_{n-1}) / x_{n-1}, n \in \{1, 14\} \quad (6)$$

Η Εικόνα 44 υποδηλώνει ότι και οι δύο μετρικές ακολουθούν τις ίδιες τάσεις αλλά διαφορετικές κλίμακες. Το τελευταίο συμπέρασμα είναι μεγάλης σημασίας για τους παρόχους υπηρεσιών και δικτύου γιατί τους βοηθάει στο να αποφασίσουν και να

εξυπηρετήσουν την πιο κατάλληλη διαμόρφωση βίντεο η οποία ικανοποιεί τα προαπαιτούμενα των χρηστών ενώ παράλληλα εξοικονομεί πόρους δικτύου.



Εικόνα 44: Αναλογία βαθμολόγησης χρηστών και bitrate βίντεο

6.5. Επιλέγοντας ποιότητες βίντεο συνεχούς ροής

Όπως επισημάνθηκε στη προηγούμενη ανάλυση, οι παράμετροι που επηρεάζουν την αντιλαμβανόμενη ποιότητα βίντεο από τους χρήστες είναι πολυάριθμοι και ποικίλουν από γενικούς περιβαλλοντικούς όπως ο περιβάλλον θόρυβος, μέχρι και ψυχολογικούς και δικτυακούς (π.χ. ο τύπος του συνδεδεμένου δικτύου, η διαθεσιμότητα πόρων, κλπ), τονίζοντας την σημαντικότητα του να συγχωνεύεται η υποκειμενικότητα των χρηστών στη κεντρική διαδικασία διαχείρισης πόρων.

Επιπρόσθετα εφαρμόστηκαν δέκα τέσσερις (14) διαθέσιμες ποιότητες βίντεο, κατάλληλες για κινητές συσκευές τύπου Android, οι οποίες εξετάστηκαν, ελεγχθήκαν και αξιολογήθηκαν από πραγματικούς χρήστες, στα πλαίσια χρήσης της εφαρμογής. Ωστόσο, όταν έχει τεθεί σαν στόχος να καθοριστούν οι κατευθύνσεις και προδιαγραφές για την

υλοποίηση μιας πραγματικής εφαρμογής πολυμέσων είναι προφανές ότι μόνο ένα υποσύνολο των 14 προτεινόμενων ποιοτήτων βίντεο μπορεί να υποστηριχθεί και επομένως να γίνει διαθέσιμο στους χρήστες. Σε πλήρη συμφωνία με τα προηγούμενα αποτελέσματα και ειδικότερα λαμβάνοντας υπόψη την Εικόνα 44, προτείνουμε τη χρήση των ποιοτήτων βίντεο 2, 3, 4, 5 και 8 για την εκπροσώπηση των τύπων ποιοτήτων Χείριστη (Worst), Κακή (Bad), Κανονική (Normal), Καλή (Good) και Βέλτιστη (Best), αντίστοιχα. Η διαίσθηση πίσω από την επιλογή των τελευταίων τύπων ποιότητας βίντεο ήταν να δοθεί υψηλά διαφοροποιήσιμα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας, αποτυπωμένα από επιτυχημένες ΠτΕ από χρήστες, διατηρώντας παράλληλα τη χρήση των δικτυακών πόρων σε αποδεκτά επίπεδα. Για παράδειγμα, οποιαδήποτε ποιότητα άνω του 8 είναι απλά σπατάλη πόρων λόγω του ότι η ΠτΕ των χρηστών δεν βελτιώνεται.

Επομένως καθίσταται φανερό ότι η τελευταία ανάλυση και επιλογή των κατάλληλων ποιοτήτων βίντεο θέτει τις βάσεις για τη πραγματοποίησή της, προσανατολισμένης στο χρήστη, δυναμικά προσαρμοστικής αρχιτεκτονικής ΠτΕ. Πιο συγκεκριμένα, η εν λόγω ανάλυση επιτρέπει τον ορισμό και τη διαμόρφωση των χαρακτηριστικών πολυμεσικού περιεχομένου, ενώ συνεισφέρει στην ολοκλήρωση του δυναμικού πλαισίου παροχής ΠτΕ που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 5.

7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΧΡΗΣΤΗ (DUE)

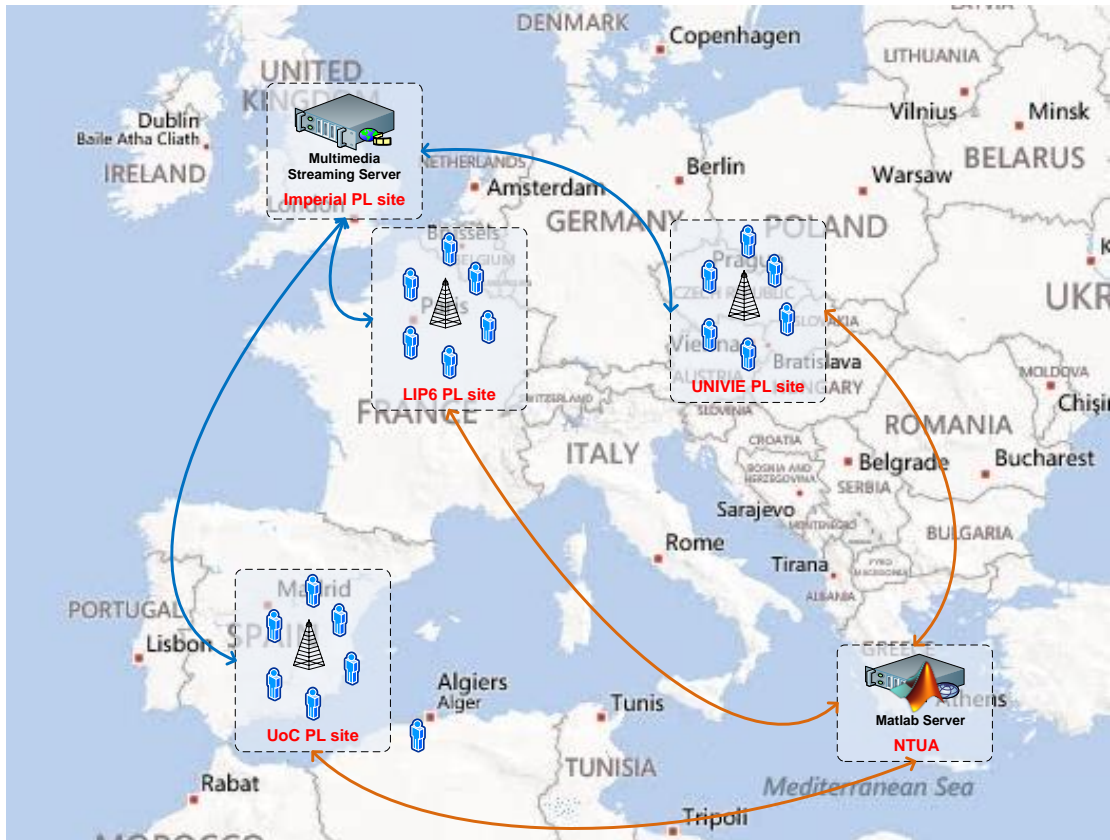
7.1. Εισαγωγή

Μέχρι το σημείο αυτό η μελέτη επιτυγχάνει να δώσει έγκυρες λύσεις στην υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου θεωρητικού πλαισίου δυναμικής παροχής ΠτΕ σε ετερογενή δίκτυα καθώς και στη μετάφραση και αποτύπωση των κριτηρίων διασφάλισης ΠτΥ σε κριτήρια διασφάλισης ΠτΕ. Όπως είδαμε τα κριτήρια αυτά λαμβάνουν υπόψη όχι μόνον τη φύση αλλά το είδος και τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας σε συνδυασμό με το περιβάλλον κατανάλωσης αυτής σε σχέση με την κοινωνικό/ψυχολογική κατάσταση και υποκειμενικότητα του χρήστη. Στη συνέχεια θα εφαρμόσουμε τα παραπάνω σε ευρεία κλίμακα σε ένα ολοκληρωμένο πειραματικό ετερογενές δικτυακό περιβάλλον ασύρματης πρόσβασης σε πολυμεσικές υπηρεσίες βίντεο, επιχειρώντας να αποφανθούμε περί σημαντικών θεμάτων αποτελεσματικότητας, εφαρμοσιμότητας, κλιμακοθετησιμότητας και σταθερότητας της προτεινόμενης λύσης.

7.2. Χαρακτηριστικά πειραματικού περιβάλλοντος

Προς τη διαμόρφωση του πειραματικού περιβάλλοντος μας αξιοποιούμε τις εγκαταστάσεις του κατανεμημένου δικτύου PlanetLab (PL), θεωρώντας ένα παράδειγμα ασύρματης εξομοίωσης (emulation) αποτελούμενο από ένα μεταβλητό πλήθος και τύπο κυψελών (cells) με πολλαπλούς εξυπηρετούμενους χρήστες, οι οποίοι αιτούνται υπηρεσίες βίντεο συνεχούς ροής από ένα αποκλειστικό εξυπηρετητή πολυμέσων συνεχούς ροής MSS (Multimedia Streaming Server) που βρίσκεται κατά μήκος του διαδικτύου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 45. Επιπρόσθετα, στους χρήστες δίνεται η δυνατότητα να μπορούν δυναμικά

να τροποποιούν την υπηρεσία τους σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους, ενώ το θεωρητικό δυναμικό πλαίσιο ΠτΕ, που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 5, είναι υπεύθυνο για την απολογιστική διαχείριση και πραγματοποίηση των επιλογών τους.



Εικόνα 45: Περιβάλλον εξομοίωσης λειτουργιών δικτύου PlanetLab

Σε κάθε κόμβο του περιβάλλοντος PL ανατίθεται και ένας εκ των παρακάτω ρόλων: α) κυψέλη εξυπηρέτησης CDMA , β) τοπικό ασύρματο δίκτυο WLAN, γ) εξυπηρετητής παροχής πολυμεσικού περιεχομένου συνεχούς ροής, και δ) κινητός χρήστης συνδεδεμένος σε ένα δίκτυο CDMA ή WLAN που αιτείται υπηρεσίες και περιεχόμενο συνεχούς ροής δεδομένων. Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια μιας συνεδρίας συνεχούς ροής, η τερματική συσκευή των χρηστών (ονόματι UE - User Equipment κατά 3GPP) έχει επίσης προδιαμορφωθεί για να επιζητά υπηρεσίες διαφόρων ποιοτήτων προσομοιώνοντας ένα

πραγματικό χρήστη, ο οποίος αιτείται μία υπηρεσία υψηλής ή χαμηλής ποιότητας με ένα προκαθορισμένο τρόπο.

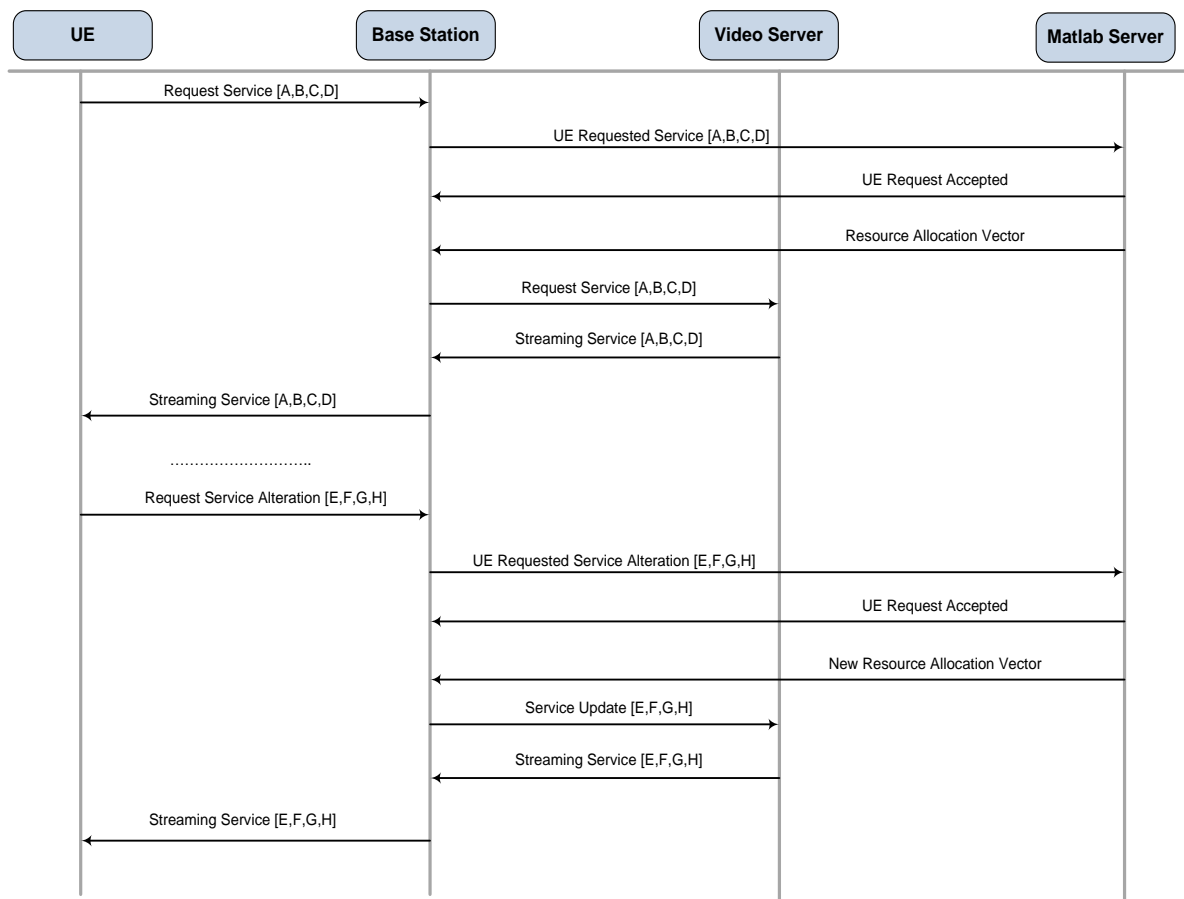
Στο σχήμα αυτό, οι κόμβοι του Planetab που δρουν σαν σημεία πρόσβασης WLAN ή κυψέλες CDMA, είναι υπεύθυνες να εξασφαλίζουν τη διασύνδεση μεταξύ των συνδεδεμένων χρηστών (PL χρήστες) με το διαδίκτυο και επομένως να υποστηρίζουν τη πρόσβαση σε όλες τις εισερχόμενες και εξερχόμενες σχετικές υπηρεσίες. Επιπρόσθετα, βασικοί μηχανισμοί εισδοχής (admission) και ανάθεσης πόρων (resource allocation), όπως επίσης και το πλαίσιο παροχής δυναμικής ΠτΕ, προσομοιώνονται μέσω χρήσης αλγορίθμων του συστήματος MATLAB που εκτελούνται σε ένα αποκλειστικό εξυπηρετητή MATLAB.

Τέλος για λόγους απλότητας, η υπηρεσία πολυμεσικού περιεχομένου συνεχούς ροής έχει μοντελοποιηθεί με τη μορφή αδιάκοπης μεταφοράς πακέτων τύπου UDP που ξεκινούν από τον κόμβο που δρα σαν ο εξυπηρετητής MSS προς το χρήστη που αιτείται την υπηρεσία βίντεο. Η μεταφορά του αρχείου βίντεο μέσω πακέτων UDP υλοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου iperf.

Η Εικόνα 46 παρουσιάζει ένα γενικό ακολουθιακό διάγραμμα που απεικονίζει όλα τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων κόμβων κατά τη διάρκεια υποστήριξης μίας συνεδρίας υπηρεσίας βίντεο.

Στη περίπτωση μας, η αίτηση παροχής υπηρεσιών αποτελείται από μία τετράδα παραμέτρων [A,B,C,D] που αντιπροσωπεύουν τις μεταβλητές της συνάρτησης χρησιμότητας (4), η οποία με τη σειρά της αντιπροσωπεύει τους προαπαιτούμενους πόρους για την υποστήριξη της υπηρεσίας βίντεο. Η παράμετρος B έχει επιλεγεί να αντιπροσωπεύσει την παράμετρο $a_i(t)$, που περιέχει μία εκ των επόμενων εφαρμόσιμων τιμών {0.080, 0.192, 0.348, 0.512, 1.200}, οι οποίες με τις σειρά τους εκπροσωπούν τις ποιότητες βίντεο που έχουμε ορίσει {Χείριστη, Κακή, Κανονική, Καλή, Βέλτιστη} αντίστοιχα,

όπως ορίστηκαν στο Κεφάλαιο 6 μετά από πειραματική διαδικασία με πραγματικούς χρήστες. Ο μηχανισμός ανάθεσης πόρων του εξυπηρετούντος σταθμού βάσης ή σημείου πρόσβασης, είναι επομένως υπεύθυνος για την επαλήθευση της αίτησης του χρήστη (για πρόσβαση στην υπηρεσία), όπως και για να επιβεβαιώσει ότι είναι όντως εφικτή μία σχετική ανάθεση πόρων (για την αίτηση αυτή) που θα επιτρέπει την παροχή υπηρεσίας χωρίς την ενόχληση των ήδη εξυπηρετούμενων χρηστών (από τον ίδιο σταθμό βάσης ή σημείο πρόσβασης). Ο εξυπηρετητής MATLAB χρησιμοποιείται για την εξομοίωση του μηχανισμού ανάθεσης πόρων κάθε σταθμού βάσης ή σημείου πρόσβασης είναι επιφορτισμένος με την εκτέλεση των παραπάνω διαδικασιών.



Εικόνα 46: Ακολουθιακό διάγραμμα ΠτΕ-ενημέρης δυναμικής παροχής υπηρεσίας

Υποθέτοντας ότι η αίτηση του χρήστη για πρόσβαση στην υπηρεσία βίντεο είναι εφικτή, ένα μήνυμα γνωστοποίησης (acknowledgement) μαζί με το απαραίτητο διάνυσμα (vector) ανάθεσης πόρων, παράγεται και επιστρέφεται στον εξυπηρετούντα σταθμό βάσης ή σημείο πρόσβασης. Στη συνέχεια ο σταθμός βάσης (ή σημείο πρόσβασης) επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή βίντεο εκκινώντας την συνεδρία συνεχόμενης ροής. Τέλος η εφαρμογή πελάτη (application client) που είναι εγκατεστημένη στη συσκευή του χρήστη παραλαμβάνει το περιεχόμενο που αιτήθηκε και στη συνέχεια απολαμβάνει την υπηρεσία του.

Στη περίπτωση που ο χρήστης, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της ΠτΕ του, επιθυμεί να ανανεώσει τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας του, πρέπει να επαναλάβει την διαδικασία, δηλαδή την εφικτότητα, έγκριση, και ανάθεση πόρων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 46.

7.3. Πειραματικά αποτελέσματα

7.3.1. ΣΕΝΑΡΙΟ #1: Επιβεβαίωση Λειτουργίας και Λειτουργικότητας

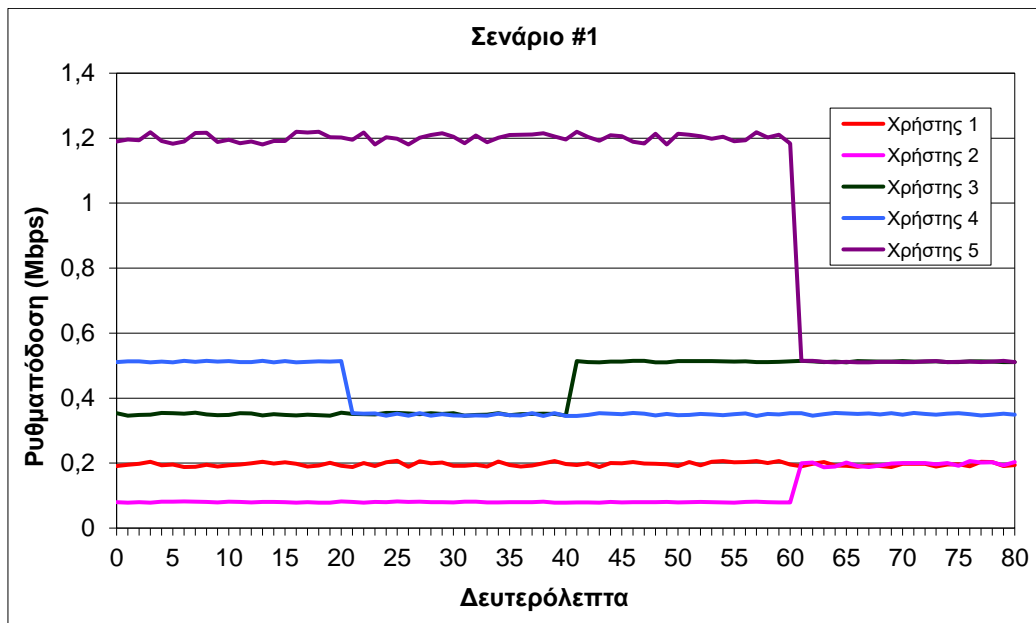
Στοχεύοντας αφενός στην επιβεβαίωση της λειτουργίας και λειτουργικότητας του προτεινόμενου δυναμικού πλαισίου παροχής ΠτΕ καθώς και της εφαρμοσιμότητας του σε ένα ρεαλιστικό περιβάλλον, διεξήγαμε τα παρακάτω πειράματα. Συγκεκριμένα θεωρούμε ένα περιορισμένο δικτυακό περιβάλλον που αποτελείται από μόνον ένα σημείο πρόσβασης (access point) WLAN 802.11g και πέντε (5) κινητούς χρήστες που αιτούνται υπηρεσιών πολυμεσικού περιεχομένου. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας οι κινητοί χρήστες δυναμικά μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής προκειμένου να μεγιστοποιήσουν την υποκειμενική ΠτΕ τους. Για λόγους απλότητας θεωρούμε 4 διαστήματα 20 δευτερολέπτων το καθένα, μεταξύ των οποίων οι κινητοί χρήστες μπορούν να μεταβάλλουν την υπηρεσία τους. Ο Πίνακας 5 περιγράφει την συμπεριφορά του κάθε χρήστη, δηλαδή την τιμή της παραμέτρου B όπως αναφέραμε προηγουμένως και

περιγράφετε στο Κεφάλαιο 6. Η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει επίσης την τιμή του αναμενόμενου ρυθμού μετάδοσης σε Mbps που θα λάβει ο χρήστης.

Πίνακας 5. ΣΕΝΑΠΙΟ #1: Συμπεριφορά χρηστών

Διάστημα #	1 (1-20sec)	2 (21-40sec)	3 (41-60sec)	4 (61-80sec)
Χρήστης 1 $a_i(t)$	0.192	0.192	0.192	0.192
Χρήστης 2 $a_i(t)$	0.080	0.080	0.080	0.192
Χρήστης 3 $a_i(t)$	0.348	0.348	0.512	0.512
Χρήστης 4 $a_i(t)$	0.512	0.348	0.348	0.348
Χρήστης 5 $a_i(t)$	1.200	1.200	1.200	0.512

Η επόμενη Εικόνα 47 παρουσιάζει τον επιτευχθέν ρυθμό μετάδοσης των χρηστών 1 έως 5 κατά τη διάρκεια του πειράματος. Παραδείγματος χάριν, σύμφωνα με τον Πίνακα 5, ο Χρήστης 5 έχει επιλέξει μία υψηλής ποιότητας πολυμεσικής υπηρεσίας συνεχούς ροής {Βέλτιστη} που απαιτεί 1.2 Mbps, ενώ στην αρχή του τέταρτου διαστήματος ζητά να υποβαθμίσει την υπηρεσία στο επίπεδο {Καλή}. Παρατηρούμε πως το προτεινόμενο δυναμικό πλαίσιο παροχής ΠτΕ είναι ικανό να μεταφράσει αποδοτικά τις επιθυμίες των χρηστών σε ρυθμό μετάδοσης πραγματικού χρόνου, μεγιστοποιώντας την ΠτΕ τους, επιβεβαιώνοντας τον ορθό σχεδιασμό και τη σωστή λειτουργία του περιβάλλοντος δοκιμής.



Εικόνα 47: Σενάριο #1: Δυναμική ανάθεση πόρων με βάση την ΠτΕ

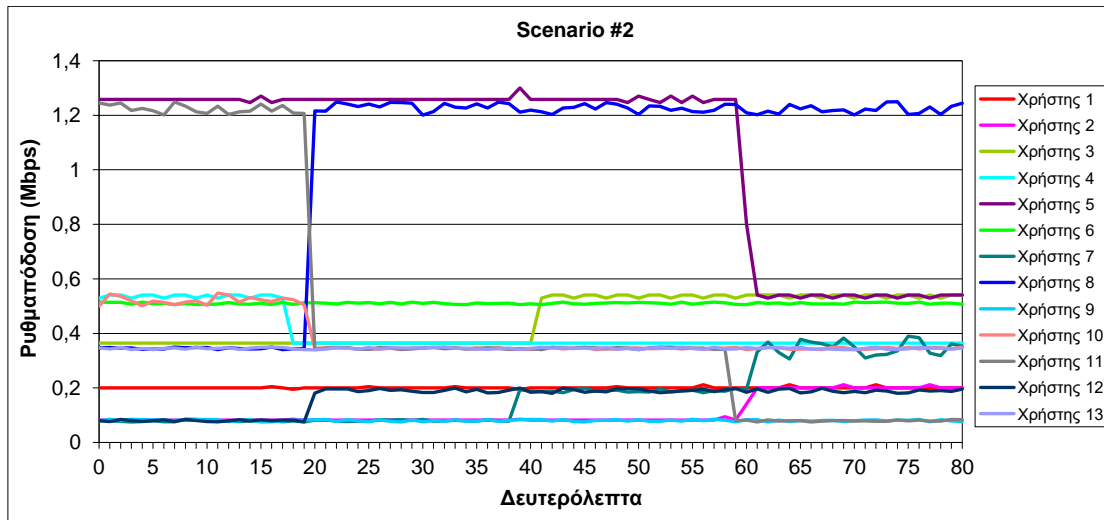
7.3.2. ΣΕΝΑΡΙΟ #2: Υποστήριξη Ετερογενών Δικτύων

Στο συγκεκριμένο σενάριο μελετάται η διαλειτουργικότητα του προτεινόμενου μηχανισμού δυναμικής ΠτΕ πάνω από ετερογενή ασύρματα δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται η επαλήθευση της κατάλληλης ανάπτυξης, ενοποίησης και λειτουργίας του μηχανισμού παροχής δυναμικής ΠτΕ, στους μηχανισμούς ανάθεσης πόρων των ασύρματων δικτύων τύπου 802.11g και κυψελωτών δικτύων τύπου CDMA που συνυπάρχουν σε ένα ετερογενές ασύρματο περιβάλλον. Προς τη κατεύθυνση αυτή έχουμε θεωρήσει μία κυψέλη CDMA και ένα σημείο πρόσβασης WLAN σε συνύπαρξη μέσα στην ίδια γεωγραφική περιοχή, εξυπηρετώντας 13 χρήστες συνολικά, 5 από αυτούς προσαρτημένους στη κυψέλη CDMA και 8 στο ασύρματο τοπικό WLAN, αντίστοιχα. Ο Πίνακας III περιγράφει τη συμπεριφορά και επομένως το αναμενόμενο ρυθμό μετάδοσης όλων των χρηστών.

Πίνακας 6. ΣΕΝΑΠΙΟ #2: Συμπεριφορά χρηστών

Διάστημα #	1 (1-20sec)	2 (21-40sec)	3 (41-60sec)	4 (61-80sec)
Χρήστης 1 $a_i(t)$	0.192	0.192	0.192	0.192
Χρήστης 2 $a_i(t)$	0.080	0.080	0.080	0.192
Χρήστης 3 $a_i(t)$	0.348	0.348	0.512	0.512
Χρήστης 4 $a_i(t)$	0.512	0.348	0.348	0.348
Χρήστης 5 $a_i(t)$	1.200	1.200	1.200	0.512
Χρήστης 6 $a_i(t)$	0.512	0.512	0.512	0.512
Χρήστης 7 $a_i(t)$	0.080	0.080	0.192	0.348
Χρήστης 8 $a_i(t)$	0.348	1.200	1.200	1.200
Χρήστης 9 $a_i(t)$	0.080	0.080	0.080	0.080
Χρήστης 10 $a_i(t)$	0.512	0.348	0.348	0.348
Χρήστης 11 $a_i(t)$	1.200	0.348	0.348	0.080
Χρήστης 12 $a_i(t)$	0.080	0.192	0.192	0.192
Χρήστης 13 $a_i(t)$	0.348	0.348	0.348	0.348

Η Εικόνα 48 απεικονίζει την απόδοση του προτεινόμενου δυναμικού πλαισίου παροχής ΠτΕ. Στο ίδιο διάγραμμα γίνονται φανερά τα οφέλη στην απόδοση του συνολικού ασύρματου δικτύου που οφείλονται στην ενσωμάτωση των δυναμικά μεταβαλλόμενων ΠτΕ-ενήμερων συναρτήσεων χρησιμότητας, στους μηχανισμούς ανάθεσης πόρων στα υποκείμενα δίκτυα. Το προτεινόμενο πλαίσιο είναι σε θέση να παράσχει επιτυχώς τα προαπαιτούμενα πόρων κατ' απαίτηση των χρηστών, ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη ασύρματη τεχνολογία που παρέχει πρόσβαση στην υπηρεσία, καθιστώντας την ιδανική ακόμα και στη περίπτωση πολύπλοκων ετερογενών δικτύων.



Εικόνα 48: ΣΕΝΑΡΙΟ #2: Υποστήριξη ετερογενούς δικτύου

7.3.3. ΣΕΝΑΡΙΟ #3: Επιβάλλοντας πολιτικές ανάθεσης

Σύμφωνα με την ανάλυση του Κεφαλαίου 5, ο προτεινόμενος μηχανισμός στηρίζεται σε υφιστάμενη πληροφορία τοπικά διαθέσιμη, δηλαδή την αντιλαμβανόμενη από το χρήστη ποιότητα της υπηρεσίας που ο ίδιος βιώνει κάθε στιγμή. Επιπλέον η ασύγχρονη φύση του μηχανισμού δυναμικής παροχής ΠτΕ, συνεπάγεται μηδαμινή εξάρτηση ως προς το μέγεθος και τον τύπο του ολοκληρωμένου συστήματος πάνω στο οποίο εφαρμόζονται, εξασφαλίζοντας επομένως κλιμακοθετησιμότητα (scalability).

Λαμβάνοντας υπόψη επίσης, την αποκεντρωμένη φύση του προτεινόμενου δυναμικού μηχανισμού παροχής ΠτΕ, καθίσταται φανερό ότι ο αλγόριθμος λειτουργεί σε επίπεδο κυψέλης. Πιο συγκεκριμένα, η εκάστοτε κυψέλη είναι υπεύθυνη και, όπως αποδεικνύεται από προηγούμενες ομάδες πειραμάτων, ικανή να υποστηρίξει τη παροχή των προαπαιτούμενων των υπηρεσιών στους προσαρτημένες χρήστες της, κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Ωστόσο, ο πάροχος δικτύου είναι υπεύθυνος να εξασφαλίσει ότι όλοι οι πόροι μέσα στην ίδια κυψέλη (intra-cell) ανατίθενται με βέλτιστο τρόπο σύμφωνα με τις

εκάστοτε επιβαλλόμενες πολιτικές ανάθεσης, για παράδειγμα επίτευξη δικαιοσύνης μεταξύ των χρηστών ή προτίμηση σε εξέχοντες (premium) χρήστες.

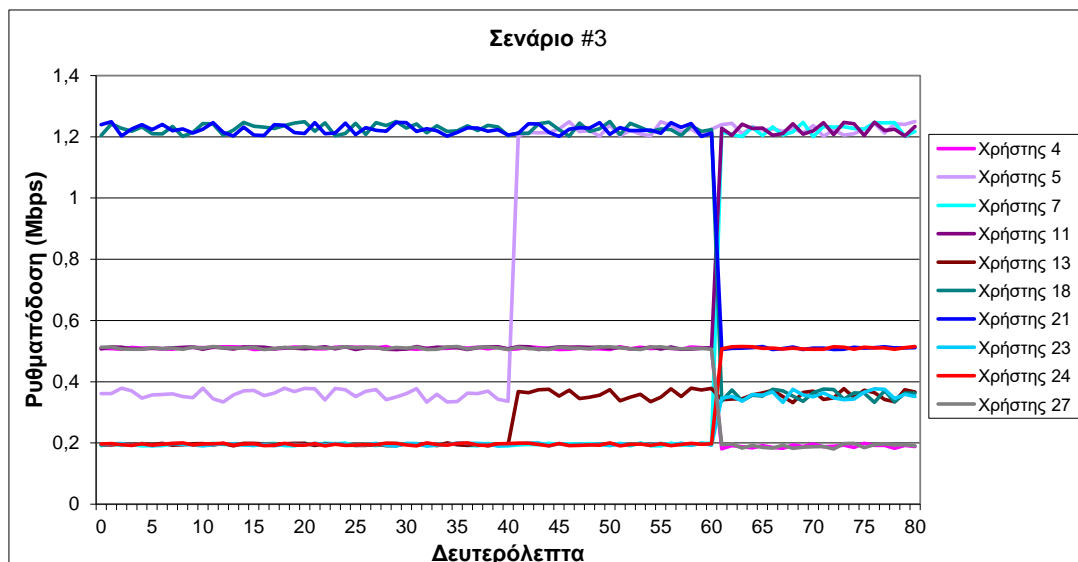
Με σκοπό την επίδειξη ενός τέτοιου παραδείγματος, ορίζουμε ένα νέο πείραμα αποτελούμενο από ένα μόνο σημείο πρόσβασης AP τύπου 802.11g με 30 προσαρτημένους χρήστες που αιτούνται υπηρεσίες όπως φαίνεται στο Πίνακα IV. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να επιβεβαιώσουμε τη σταθερότητα και τη σωστή λειτουργία του συστήματος όταν αυτό βρίσκεται στα όρια του.

Πίνακας 7. ΣΕΝΑΠΙΟ #3: Συμπεριφορά χρηστών

Διάστημα #	1 (1-20sec)	2 (21-40sec)	3 (41-60sec)	4 (61-80sec)
Χρήστης 1 $a_i(t)$	0.192	0.192	0.192	0.192
Χρήστης 2 $a_i(t)$	0.512	0.512	0.512	0.512
Χρήστης 3 $a_i(t)$	0.348	0.348	0.348	0.348
Χρήστης 4 $a_i(t)$	0.512	0.512	0.512	0.192
Χρήστης 5 $a_i(t)$	0.348	0.348	1.2	1.2
Χρήστης 6 $a_i(t)$	0.512	0.512	0.512	0.512
Χρήστης 7 $a_i(t)$	0.192	0.192	1.2	1.2
Χρήστης 8 $a_i(t)$	0.348	0.348	0.348	0.348
Χρήστης 9 $a_i(t)$	1.2	1.2	1.2	1.2
Χρήστης 10 $a_i(t)$	0.512	0.512	0.512	0.512
Χρήστης 11 $a_i(t)$	0.512	0.512	1.2	1.2
Χρήστης 12 $a_i(t)$	0.08	0.08	0.08	0.08
Χρήστης 13 $a_i(t)$	0.192	0.192	0.348	0.348
Χρήστης 14 $a_i(t)$	0.51	0.51	0.51	0.51
Χρήστης 15 $a_i(t)$	0.348	0.348	0.348	0.348
Χρήστης 16 $a_i(t)$	1.2	1.2	1.2	1.2
Χρήστης 17 $a_i(t)$	0.512	0.512	0.512	0.512
Χρήστης 18 $a_i(t)$	1.2	1.2	1.2	0.348
Χρήστης 19 $a_i(t)$	0.08	0.08	0.08	0.08
Χρήστης 20 $a_i(t)$	0.348	0.348	0.348	0.348
Χρήστης 21 $a_i(t)$	1.2	1.2	1.2	0.512
Χρήστης 22 $a_i(t)$	0.08	0.08	0.08	0.08
Χρήστης 23 $a_i(t)$	0.192	0.192	0.348	0.348

Χρήστης 24 $a_i(t)$	0.192	0.192	0.512	0.512
Χρήστης 25 $a_i(t)$	0.348	0.348	0.348	0.348
Χρήστης 26 $a_i(t)$	1.2	1.2	1.2	1.2
Χρήστης 27 $a_i(t)$	0.512	0.512	0.512	0.192
Χρήστης 28 $a_i(t)$	1.2	1.2	1.2	1.2
Χρήστης 29 $a_i(t)$	0.08	0.08	0.08	0.08
Χρήστης 30 $a_i(t)$	0.348	0.348	0.348	0.348
ΣΥΝΟΛΟ	15.01	15.01	18.19	16.01

Τα γραμμοσκιασμένα κελιά στον Πίνακα 7 αντιπροσωπεύουν αλλαγές στα προαπαιτούμενα υπηρεσιών των χρηστών που εκτελούνται με σκοπό τη βελτιστοποίηση της ΠτΕ τους ενώ τα μη γραμμοσκιασμένα κελιά υπονοούν ότι οι χρήστες δεν έχουν κάνει καμία αλλαγή στην υπηρεσία τους. Αρχικά κατά τη διάρκεια των διαστημάτων 1 και 2, παρατηρούμε στην Εικόνα 49 ότι όλοι οι χρήστες έχουν γίνει αποδεκτοί (admission control) και οι απαραίτητοι πόροι έχουν παρασχεθεί επιτυχώς. Για τη καλύτερη παρουσίαση και σαφήνεια η Εικόνα 49 απεικονίζει μόνο την εκπλήρωση των χρηστών οι οποίοι εκτελούν αλλαγές στην υπηρεσία τους.



Εικόνα 49: ΣΕΝΑΡΙΟ #3: Επιβάλλοντας πολιτικές ανάθεσης πόρων

Κατά τη διάρκεια του τρίτου χρονικού διαστήματος, οι χρήστες 4, 5, 7, 11, 13, 18, 21, 23, 24 και 27 αιτούνται να προσαρμοστούν δυναμικά στην υπηρεσία τους. Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 7, παρατηρούμε σε απολογισμό των ενημερωμένων αιτήσεων, το συνολικό πλήθος των αιτούμενων πόρων (*18.19Mbps*) ξεπερνά το μέγιστο αποδοτικό ρυθμό δεδομένων του πρωτοκόλλου 802.11g που είναι περίπου *16Mbps*. Επομένως, δεν είναι δυνατό όλες οι αιτήσεις να γίνουν αποδεκτές. Η αναμενόμενη αυτή συμπεριφορά παρατηρείται σε όλα τα πειράματά μας. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του προτεινόμενου μηχανισμού, οι ανανεωμένες απαιτήσεις χρηστών έχουν σαν αποτέλεσμα μία μη εφικτή ανάθεση πόρων η οποία συνεπώς δεν επιτρέπει σε κάποιους χρήστες να εκτελέσουν ανανέωση της υπηρεσίας τους. Η πολιτική που υιοθετείται στη περίπτωση του μηχανισμού μας είναι «αυτό που φθάνει πρώτο εξυπηρετείται πρώτο («first come first served»), επομένως βλέπουμε ότι μόνο οι χρήστες 5 και 13 επιτρέπεται να τροποποιήσουν τις υπηρεσίες τους και επομένως να λάβουν ανανεωμένους πόρους. Οι χρήστες 7 και 11 αν και «αφίχθηκαν» πριν τον 13 δεν επιτρέπεται η εισδοχή τους στο σύστημα επειδή αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα μία μη εφικτή ανάθεση πόρων.

Στο τελευταίο διάστημα οι χρήστες 4, 18, 21 και 27 αποφασίζουν να υποβαθμίσουν την υπηρεσία τους απελευθερώνοντας κάποιους πόρους. Η ποσότητα των πόρων που απελευθερώθηκαν (περίπου *2Mbps*) είναι τώρα εφικτό να επιτρέψουν στο σύστημα την εισδοχή στο σύστημα περισσότερων χρηστών δηλαδή να εξυπηρετηθούν οι προηγούμενες αιτήσεις των χρηστών 7, 11, 23 και 24.

7.4. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα

Συνοψίζοντας τα πειραματικά αποτελέσματα επισημαίνονται τα παρακάτω:

α) Ο προτεινόμενος μηχανισμός παροχής δυναμικής ΠτΕ όπως δοκιμάστηκε πάνω από το πραγματικό δικτυακό περιβάλλον του Planetlab, πραγματικά είναι ικανός να ανταποκριθεί επιτυχώς στις ανάγκες των χρηστών για προσαρμογή της διαδικασίας ανάθεσης πόρων των συνδεδεμένων κυψελών και σημείων πρόσβασης αυτών, με σκοπό την παροχή των απαραίτητων πόρων,

β) Ο προτεινόμενος μηχανισμός ΠτΕ δρα συμπληρωματικά και δυναμικά στους υφιστάμενους μηχανισμούς βέλτιστης ανάθεσης πόρων των κυψελών, όχι μόνο εξασφαλίζοντας την βέλτιστη λειτουργική κατάσταση των κυψελών προς όφελος αυτών αλλά επίσης μεγιστοποιώντας την ΠτΕ των χρηστών,

γ) Η δυναμική και ασύγχρονη φύση του προτεινόμενου μηχανισμού εξασφαλίζει την έγκαιρη ανάκτηση των μη χρησιμοποιούμενων πόρων από τους χρήστες που υποβάθμισαν τις υπηρεσίες τους, ευνοώντας την εισδοχή νέων χρηστών στο σύστημα και/ή την αναβάθμιση των υπηρεσιών που αιτούνται άλλοι χρήστες,

δ) Η ασύγχρονη και αποκεντρωμένη λειτουργία του προτεινόμενου μηχανισμού διευκολύνει την κλιμακοθετησιμότητα και σταθερότητα του συστήματος συνολικά καθιστώντας το ιδανικό όχι μόνο για περιπτώσεις μικρών μονο-κυψελωτών δικτύων αλλά και πολύπλοκων ετερογενών δικτύων.

ε) Πληθώρα πολιτικών (πρόσβασης σε υπηρεσίες) από το πάροχο δικτύου μπορούν εύκολα να επιβληθούν οι οποίες θα επιτρέψουν την κατάλληλη υψηλού επιπέδου διαχείριση ραδιο-πόρων (radio resources).

8. ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΧΡΗΣΤΗ

8.1. Εισαγωγή

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε η ανάπτυξη μιας αναλυτικής μεθοδολογίας η οποία παρέχει απαντήσεις στα επιμέρους ζητήματα του συνολικού αυτόνομου πλαισίου παροχής ΠτΕ. Περιγράφηκε το συνολικά αυτό-οργανούμενο περιβάλλον εργασίας, αναλύθηκαν οι αυτόνομοι μηχανισμοί παροχής ΠτΕ σε ετερογενή ασύρματα δίκτυα, ικανοί να αναπροσαρμόζουν αυτόνομα τη λειτουργία τους μετατρέποντας τα κριτήρια ΠτΕ σε ΠτΥ. Στη συνέχεια εισήχθη στο σύστημα η υποκειμενικότητα του χρήστη αξιολογώντας και καθορίζοντας τις πιο σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη ΠτΕ του χρήστη, επιβεβαιώνοντας επίσης τη συνολική κλιμακοθετησιμότητα και σταθερότητα του συνολικού πλαισίου.

Αυτό που απομένει είναι ο σχεδιασμός και υλοποίηση ενός καινοτόμου εργαλείου που θα ενσωματώνει την προηγουμένως αποκτηθείσα γνώση και μηχανισμούς, ώστε να προάγει την ΠτΕ σαν ένα επιπρόσθετο χαρακτηριστικό διαφορών υπηρεσιών ιστού (web) όπως ροή ήχου και βίντεο πραγματικού χρόνου. Ένα τέτοιο εργαλείο πρέπει να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί σύμφωνα με τα επικρατέστερα πρωτόκολλα και πρότυπα του κλάδου, καθώς και τις προσδοκίες και ανάγκες πραγματικών χρηστών, επιτρέποντας παράλληλα την άμεση ενσωμάτωση του με υπάρχουσες υπηρεσίες και εφαρμογές. Προς αυτό το στόχο υλοποιήθηκε μια κινητή εφαρμογή προβολής πολυμεσικού περιεχομένου πραγματικού χρόνου που ενσωματώνει επιτυχώς δυνατότητες ικανοποίησης κριτηρίων ΠτΕ, ενώ παράλληλα χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες ιδιότητες: α) *Είναι ανθρωποκεντρική*: Η ροή και η λειτουργία της εφαρμογής οδηγείται εξ' ολοκλήρου από τους τελικούς χρήστες, είτε

άμεσα μέσω των επιλογών των χρηστών με τη διεπαφή, είτε έμμεσα, μέσω της συμπεριφοράς και των συνηθειών τους, επιτρέποντας μια μοναδική εμπειρία με επίκεντρο την ικανοποίηση των κριτηρίων τους. β) *Είναι ικανή να δημιουργεί έσοδα*: Η εφαρμογή σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τους ανεξάρτητους στόχους κάθε παρόχου επιτρέποντας την άμεση ή έμμεση τιμολόγηση της.

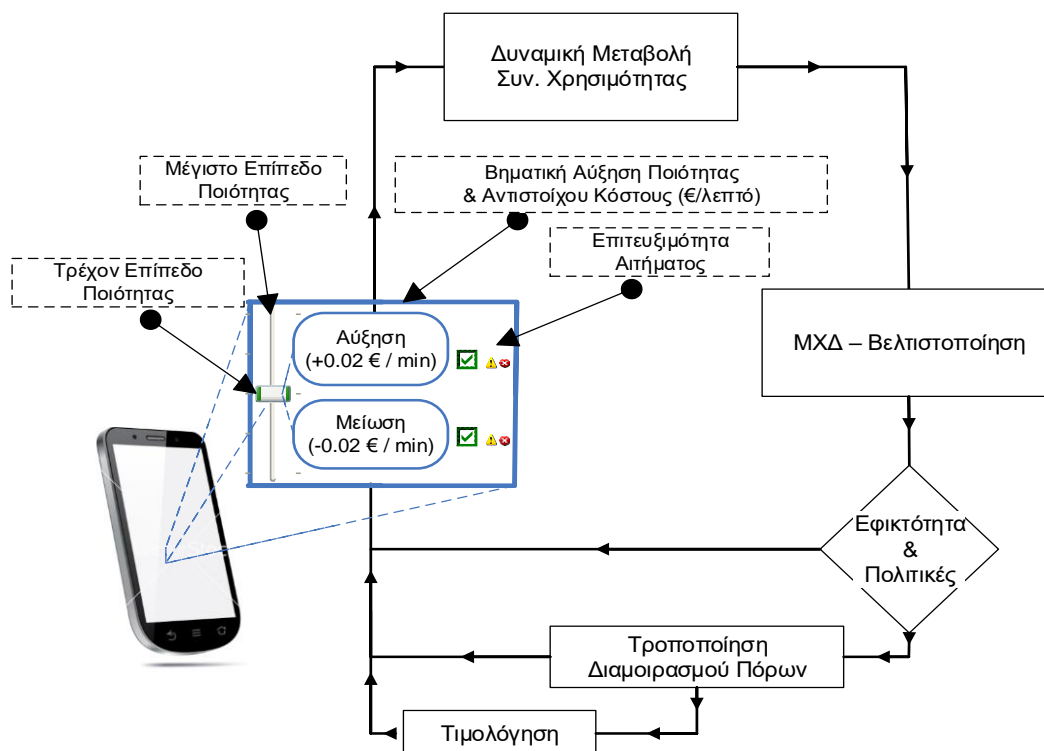
8.2. Αρχιτεκτονική Πειραματικής Αξιολόγησης

Η κινητή εφαρμογή που υλοποιήθηκε, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική αρχιτεκτονική του ασύρματου συστήματος, ενσωματώνοντας όλα τα απαραίτητα δομικά στοιχεία. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω και σε συνδυασμό με την ανάλυση του Κεφαλαίου 5, βασιζόμαστε στην γενική αυτόνομη αρχιτεκτονική παροχής ΠτΕ του μοντέλου GANA, όπως αυτή περιγράφεται στην Εικόνα 16, και υλοποιούμε όλα τα επιμέρους στοιχεία απόφασης DEs σύμφωνα με τα ακόλουθα.

- **Αυτόνομος Σταθμός Βάσης**: Χρησιμοποιώντας τις υποδομές του Wireless Netmode Testbed, ένα υποσύνολο των κόμβων τροποποιήθηκε ώστε να εξομοιώνουν τη λειτουργία ολοκληρωμένων σταθμών βάσης ασύρματων τοπικών δικτύων. Επιπλέον αναπτύχθηκαν εξειδικευμένοι αλγόριθμοι που εξομοιώνουν τη διαχείριση ασύρματων πόρων σύμφωνα με τους αλγόριθμους που περιγράφηκαν στη Παράγραφο 5.2, ενώ η διαχείριση κινητικότητας (mobility management) υλοποιείται στο Επίπεδο 2 (OSI Layer 2) αυτόματα από το IP πρωτόκολλο.
- **Αυτόνομος Εξυπηρετητής Πολυμέσων**: Χρησιμοποιήθηκε η υποδομή του εξυπηρετητή πολυμεσικού περιεχομένου, VELTI mGage. Η ακριβής λειτουργία και οι δυνατότητες του αναλύονται παρακάτω στη Παράγραφο 8.3.4.

- Αυτόνομος Κινητός Κόμβος:** Χρησιμοποιήθηκαν έξυπνες κινητές συσκευές Android smartphones στις οποίες εγκαταστάθηκε ειδικό λογισμικό που υλοποιεί μια υπηρεσία προβολής πολυμεσικού περιεχομένου και ενσωματώνει τη λειτουργία του μηχανισμού διαχείρισης της υπηρεσίας σε άμεση επικοινωνία με τον εξυπηρετητή πολυμέσων. Από την άλλη μέσω της επικοινωνίας με τους σταθμούς βάσης επιτυγχάνεται η εξομοίωση του μηχανισμού παροχής ΠτΥ και δυναμικής ανάθεσης πόρων ενώ μέσω του ίδιου λογισμικού υλοποιείται και ο αυτόνομος μηχανισμό παροχής ΠτΕ σε σύνδεση με τους παραπάνω μηχανισμούς, όπως περιεγράφηκε στο Κεφάλαιο 5.3. Το κύριο DE του κόμβου έχει τον έλεγχο του συνολικού συστήματος, αναλαμβάνοντας τον καθολικό συντονισμό και λειτουργία, όπως αναλύεται στη συνέχεια.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται γραφικά η λειτουργία του κύριου στοιχείου ελέγχου DE (main DE) του κόμβου, υλοποιώντας και ενοποιώντας τη συνολική προσέγγιση για την αυτόνομη παροχή ΠτΕ σε ασύρματα δίκτυα.



Εικόνα 50. Παροχή ποιότητας εμπειρίας μέσω της μεθοδολογίας ΜΧΔ

Πρωταρχικό στοιχείο του αυτόνομου κόμβου είναι η περιγραφή και ο σχεδιασμός κατάλληλης **διεπαφής** (GUI ή Graphical User Interface) ικανή να συλλάβει και να απεικονίσει τις επιλογές του χρήστη καθώς και τις επιπτώσεις των επιλογών του με ένα ξεκάθαρο απλό και πραγματικό τρόπο. Για να διευκολυνθεί αυτό ο χρήστης πρέπει να είναι ενήμερος του πλήθους των επιλογών που έχει διαθέσιμες (αύξηση ή μείωση της ποιότητας), τη σκοπιμότητα και τις συνέπειες των ενεργειών του (κόστος) καθώς και να είναι ελεύθερος να επιλέξει οποιαδήποτε εξ αυτών.

Η οποιαδήποτε επιλογή του χρήστη μέσω της διεπαφής θα επιφέρει τη **δυναμική προσαρμογή της συνάρτησης χρησιμότητας**. Αναλυτικότερα και σύμφωνα με την Εικόνα 16, το κύριο DE του κόμβου θα επικοινωνήσει την επιλογή του χρήστη στο DE επιπέδου λειτουργικότητας $E_{\lambda_ΠτE_DE}$. Η μορφή και το μέγεθος της μεταβολής της συνάρτησης χρησιμότητας προκύπτει σύμφωνα με την ανάλυση της Παραγράφου 6.5. Η δήλωση προτίμησης χρήστη i (είτε αιτείται την προσαύξηση ή την μείωση της ποιότητας υπηρεσίας του), αντικατοπτρίζεται στην συνάρτηση χρησιμότητάς του U_i μέσω της δυναμικής μεταβολής των χαρακτηριστικών της, όπως περιεγράφηκε στο Κεφάλαιο 5. Εν συνεχεία το νέο πρόβλημα ΜΧΔ που έχει δημιουργηθεί επιλύεται με ένα αποδοτικό και κλιμακώσιμο τρόπο στους σταθμούς βάσης, όπως περιγράφεται στη Παράγραφο 5.2, στοχεύοντας στη **βελτιστοποίηση της συνολικής χρησιμότητας δικτύου**. Κατά την επίλυση εξετάζεται η **εφικτότητα** της λύσης του προβλήματος μεγιστοποίησης χρησιμότητας δικτύου, η οποία καθορίζει και την εφικτότητα της αίτησης του χρήστη. Στη περίπτωση της μη εφικτής λύσης ο χρήστης θα ενημερώνεται μέσω της διεπαφής του για αυτό.

Στο σημείο αυτό, οι εκάστοτε **πολιτικές** του παρόχου μπορούν να εισαχθούν με σκοπό τον έλεγχο: α) των αιτήσεων των χρηστών (δηλαδή θέτοντας όρια στην εκπλήρωση της υπηρεσίας), και β) της συμπεριφοράς του συστήματος συνολικά σε ότι αφορά την αμεροληψία μεταξύ των χρηστών (δηλαδή αποτρέποντας τη βελτίωση μιας υπηρεσίας

χρήστη που θα μπορούσε να επιφέρει υποβάθμιση της εκπλήρωσης των υπόλοιπων χρηστών που προκύπτει μέσω σύγκρισης της επιτυγχάνομενης χρησιμότητας πριν και μετά την αίτηση i του χρήστη). Στη περίπτωση μιας μη αποδεκτής επιλογής λόγω αίτησης πολιτικών, ο χρήστης πάλι ενημερώνεται αντίστοιχα.

Επόμενο της αποδοχής μιας αίτησης χρήστη είναι το δίκτυο να **τροποποιήσει και διαμοιράσει τους διαθέσιμους πόρους** του σύμφωνα με το αποτέλεσμα της επίλυσης του αντίστοιχου προβλήματος ΜΧΔ. Τέλος, ο πάροχος εφαρμόζει **τις τιμολογιακές πολιτικές** του με σκοπό τον επανακαθορισμό των διαθέσιμων τιμών i του χρήστη με τα αντίστοιχα κόσθη αυτών, όπως θα περιγραφούν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 9. Η λογική πίσω από την εισαγωγή ενός τιμολογιακού/χρεωστικού σχήματος στο προτεινόμενο πλαίσιο ποιότητας υπηρεσίας είναι διττός. Από τη μία παρέχει έναν ευέλικτο μηχανισμό αποτροπής εγωιστικών συμπεριφορών του χρήστη. Από την άλλη λαμβάνει υπόψη πολιτικές χρέωσης που έχουν αξιοποιηθεί τα τελευταία χρόνια σε δίκτυα παροχής υπηρεσιών με σκοπό όχι μόνο την οικονομική απολαβή, αλλά και την ισορροπία διαχείρισης πόρων. Παρόλο που οι προτεινόμενες υλοποιήσεις ποικίλουν, η βασική ιδέα είναι ότι μία κατάλληλη τιμολογιακή πολιτική μπορεί να δώσει κίνητρα στους χρήστες ώστε να συμπεριφέρονται με τρόπους που βελτιώνουν αμφοτέρως τη χρησιμοποίηση και την εκπλήρωση συνολικά του δικτύου όπως επίσης και την εκπλήρωση της υπηρεσίας του χρήστη. Ακολουθώντας την ίδια τάση, το προτεινόμενο πλαίσιο ποιότητας εμπειρίας χρήστη συσχετίζει ισχυρά τη συνολική συμπεριφορά χρήστη ως προς την υποκειμενική του προτίμηση ποιότητας υπηρεσίας (δηλ ΠτΕ) με το αντίστοιχο κόστος της επιλογής του.

8.3. Σχεδιασμός Εφαρμογής

Το βασικό στοιχείο που οδήγησε στον αρχιτεκτονικό και λειτουργικό σχεδιασμό της εφαρμογής προβολής πολυμεσικού περιεχομένου είναι η θεώρηση του μηχανισμού παροχής ΠτΕ ως ένα χαρακτηριστικό προστιθέμενη αξίας δηλ. πρόσθετο που μπορεί να αυξήσει την ικανοποίηση των χρηστών. Αυτό συνεπάγεται ότι η εφαρμογή θα πρέπει να παραμένει ανεξάρτητη και πλήρως λειτουργική ακόμη και χωρίς την παρουσία της προτεινόμενης μονάδας παροχής ΠτΕ, ενώ αντιθέτως, η ύπαρξη της θα παρέχει στο χρήστη μία μοναδική εμπειρία με επιπλέον χαρακτηριστικά. Ως εκ τούτου θεωρούμε ότι η προτεινόμενη εφαρμογή είναι σε θέση να λειτουργήσει με τους ακόλουθους τρόπους:

- **Video Lite:** Παρέχεται εξατομικευμένο και κατηγοριοποιημένο περιεχόμενο βίντεο πραγματικού χρόνου συνεχούς ροής ενώ όλο το περιεχόμενο παραδίδεται σε σταθερή ποιότητα εικόνας.
- **Video Pro:** Παρέχεται εξατομικευμένο και κατηγοριοποιημένο περιεχόμενο βίντεο πραγματικού χρόνου συνεχούς ροής. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ανάμεσα σε πέντε (5) διαθέσιμες ποιότητες βίντεο προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες του (π.χ. αποφυγή buffering και αποσυνδέσεων λόγω χαμηλής ισχύς σήματος, περιορισμένο πλάνο δεδομένων κλπ). Η ποιότητα του βίντεο μπορεί επίσης να βελτιστοποιείται αυτόματα αναλόγως των προτιμήσεων του χρήστη, τον τύπο σύνδεσης και την ποιότητα του σήματος.

Αυτή η προσέγγιση ευνοεί επίσης τη παραγωγή διαφόρων επιχειρησιακών σχεδίων, δεδομένου ότι επιτρέπει την εξέταση και ανάλυση της συμπεριφοράς πραγματικών χρηστών με ή χωρίς την ύπαρξη του πρόσθετου παροχής ΠτΕ. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η προτεινόμενη εφαρμογή, εστιάζοντας σε όλα τα βασικά χαρακτηριστικά της.

8.3.1. Πολυμεσικό Περιεχόμενο και Σχήματα Κωδικοποίησης

Στο Κεφάλαιο 6, μέσω της εμπλοκής πραγματικών χρηστών καταλήξαμε στον ορισμό και καθορισμό παραμέτρων κωδικοποίησης που είναι ικανές να ικανοποιήσουν τους κινητούς χρήστες υπό πολλαπλών παραμέτρων επιρροής. Οι παραπάνω προδιαγραφές της Παραγράφου 6.5 χρησιμοποιήθηκαν επίσης και στην ανάπτυξη της εφαρμογής προβολής πολυμεσικού περιεχομένου. Συγκεκριμένα θεωρούμε πέντε (5) προφίλ κωδικοποίησης βίντεο που αντιπροσωπεύουν πέντε (5) διαφορετικές ποιότητες βίντεο, που κυμαίνονται από προφίλ χαμηλής ποιότητας (Προφίλ 1), κατάλληλο για δίκτυα με αυξημένη συμφόρηση, μέχρι και προφίλ υψηλής ευκρίνειας (Προφίλ 5), κατάλληλο για υψηλής ποιότητας πολυμεσικού περιεχομένου συνεχούς ροής σε δίκτυα υψηλής διαθεσιμότητα πόρων. Οι αναλυτικές παράμετροι του καθενός περιγράφονται στη συνέχεια.

Προφίλ 1

Video Codec: **H.264**

File Ext: **MP4**

Video bitrate (LOW): **86 kbps**

Video bitrate (HIGH): **86 kbps**

Video Framerate (LOW): **30 fps**

Video Framerate (HIGH): **30 fps**

Video Size: **128x72 (1,78:1 ratio)**

Audio Codec: **AAC-LC**

Audio Bitrate: **64 kbps**

Audio Sample Rate: **22.05 Hz**

Audio Channels: **Mono**

Προφίλ 2

Video Codec: **H.264**

File Ext: **MP4**

Video bitrate (LOW): **202 kbps**

Video bitrate (HIGH): **202 kbps**

Video Framerate (LOW): **30 fps**

Video Framerate (HIGH): **30 fps**

Video Size: **128x72 (1,78:1 ratio)**

Audio Codec: **AAC-LC**

Audio Bitrate: **64 kbps**

Audio Sample Rate: **22.05 Hz**

Audio Channels: **Mono**

Προφίλ 3

Video Codec: **H.264**
File Ext: **MP4**
Video bitrate (LOW): **352 kbps**
Video bitrate (HIGH): **352 kbps**
Video Framerate (LOW): **30 fps**
Video Framerate (HIGH): **30 fps**
Video Size: **128x72 (1,78:1 ratio)**
Audio Codec: **AAC-LC**
Audio Bitrate: **64 kbps**
Audio Sample Rate: **22.05 Hz**
Audio Channels: **Mono**

Προφίλ 4

Video Codec: **H.264**
File Ext: **MP4**
Video bitrate (LOW): **552 kbps**
Video bitrate (HIGH): **552 kbps**
Video Framerate (LOW): **30 fps**
Video Framerate (HIGH): **30 fps**
Video Size: **128x72 (1,78:1 ratio)**
Audio Codec: **AAC-LC**
Audio Bitrate: **64 kbps**
Audio Sample Rate: **22.05 Hz**
Audio Channels: **Mono**

Προφίλ 5

Video Codec: **H.264**
File Ext: **MP4**
Video bitrate (LOW): **1236 kbps**
Video bitrate (HIGH): **1236 kbps**
Video Framerate (LOW): **30 fps**
Video Framerate (HIGH): **30 fps**
Video Size: **128x72 (1,78:1 ratio)**
Audio Codec: **AAC-LC**
Audio Bitrate: **64 kbps**
Audio Sample Rate: **22.05 Hz**
Audio Channels: **Mono**

Το περιεχόμενο βίντεο που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή αποκτήθηκε από τον ιστότοπο **Vimeo.com** υπό την άδεια Creative Commons Attribution 3.0 [81]. Αυτή η άδεια επιτρέπει σε τρίτους να αντιγράψουν, διανέμουν, αναμείξουν, τροποποιήσουν και να δημιουργήσουν επάνω στο υλικό, ακόμη και για εμπορικούς σκοπούς, εφόσον ο αρχικός δημιουργός αναφέρεται.

8.3.2. Μοναδικότητα των Χρηστών

Αναμφίβολα, όπως έχει ήδη τονιστεί και αποδειχτεί, η εμπειρία είναι υποκειμενική και εξαρτάται από το περιεχόμενο αυτό καθ' αυτό και το συνολικό περιβάλλον. Οι πραγματικές ανάγκες και απαιτήσεις ενός ανθρώπου-χρήστη, όπως περιγράφηκε και στο Κεφάλαιο 6, δεν μπορούν να ορισθούν ή να χαρτογραφηθούν χρησιμοποιώντας στατικές τιμές και όρια αλλά εξαρτώνται από διάφορους υποκειμενικούς παράγοντες, όπως η διάθεση, ο θόρυβος του περιβάλλοντος, καθώς και η σημασία του περιεχομένου στο θεατή. Προς αυτό το στόχο, η πολυμεσική εφαρμογή εκμεταλλεύεται ένα εξελιγμένο συνδυασμό διαφόρων μετρήσεων και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών, προκειμένου να προσφέρει στο χρήστη μια μοναδική εξατομικευμένη εμπειρία, όπως περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

8.3.3. Δυναμική Αναπροσαρμογή Πολυμεσικού Περιεχομένου Συνεχούς Ροής

Βασικός στόχος της εφαρμογής είναι η απόλυτη ικανοποίηση του χρήστη, παρέχοντας ανά πάσα στιγμή τη καλύτερη δυνατή ποιότητα βίντεο. Όπως ήδη αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια δεν υπάρχει μία μαγική ενιαία λύση που να ταιριάζει σε όλους δεδομένου του ότι το «βέλτιστο» θα είναι καθαρά υποκειμενικό. Ωστόσο οι χρήστες, οι οποίοι θεωρούνται εξ ορισμού άπληστοι, πάντα επιζητούν την υψηλότερη διαθέσιμη ποιότητα στις συσκευές τους, ακόμα και αν δεν τη χρειάζονται πραγματικά. Αυτό συνεπάγεται πως κάθε εφαρμογή πολυμέσων συνεχούς ροής θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον των χρηστών και να παραδίδει την πιο κατάλληλη έκδοση του βίντεο.

Η δυναμική μεταβολή του ρυθμού εκπομπής (adaptive bitrate streaming) της ροής είναι μια διαδικασία που ρυθμίζει τη ποιότητα του βίντεο στη συσκευή του χρήστη με βάση τις μεταβαλλόμενες συνθήκες του δικτύου, με απώτερο στόχο να εξασφαλίσει τη καλύτερη δυνατή εμπειρία προβολής [82]. Αναλυτικότερα, η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη μετάδοση περιεχομένου συνεχούς ροής μέσω συνδέσεων HTTP, που όμως το αρχικό περιεχόμενο αρχικά κωδικοποιείται σε πολλαπλές ποιότητες (πολλαπλά bitrates) και στη συνέχεια κάθε μία εκ των κωδικοποιημένων ροών τεμαχίζεται σε μικρά κομμάτια. Η συσκευή του χρήστη ενημερώνεται για την παραπάνω διαδικασία και τις διαθέσιμες ποιότητες βίντεο μέσω ενός αρχείου δήλωσης (manifest). Κατά την εκκίνηση λοιπόν της ροής, η συσκευή αρχικά ζητά τα τμήματα με τη χαμηλότερη ποιότητα. Ταυτόχρονα εάν η ταχύτητα λήψης του περιεχομένου ξεπερνά το ρυθμό κωδικοποίησης (bitrate) τότε ζητά την επόμενη καλύτερη διαθέσιμη ποιότητα. Αντίστροφα, αν στη συνέχεια για κάποιο λόγο η ταχύτητα λήψης είναι χαμηλότερη από το ρυθμό κωδικοποίησης, και ως εκ τούτου η απόδοση του δικτύου έχει επιδεινωθεί, τότε θα ζητήσει τα επόμενα τμήματα σε χαμηλότερη ποιότητα.

Τα οφέλη από μια τέτοια προσέγγιση είναι εμφανή. Οι χρήστες βιώνουν την υψηλότερη ποιότητα περιεχομένου καθώς οι συνθήκες αναπαραγωγής μεταβάλλονται δυναμικά σε κάθε μεταβολή του δικτύου [82]. Αυτό έχει και επιπλέον οφέλη από τη μεριά τόσο του παρόχου περιεχομένου όσο και των χρηστών, καθώς επιφέρει μειώσεις στις χρεώσεις δεδομένων, δεδομένου πως το περιεχόμενο μεταδίδεται τεμαχισμένο. Για παράδειγμα, αν ένας χρήστης δει πέντε λεπτά υπηρεσία βίντεο συνεχούς ροής, τότε θα χρεωθεί μόνο για τον όγκο περιεχομένου που αντιστοιχεί σε αυτά τα πέντε λεπτά, ενώ αντίθετα αν γίνει προοδευτική λήψη (progressive download) ενός βίντεο θα μπορούσε σε μόλις πέντε λεπτά να έχει ολοκληρωθεί ο όγκος δεδομένων είκοσι λεπτών. Αυτό αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για όλους τους εμπλεκόμενους. Το πακέτο δεδομένων του χρήστη χρεώνεται για

περιεχόμενο που δεν κατανάλωσε, ο πάροχος πληρώνει την υπηρεσία διανομής περιεχομένου (Content Distribution Network ή CDN) του για περιεχόμενο που ποτέ δεν προβλήθηκε, ή ακόμα χειρότερα το όλο σχήμα δεν απέφερε κανένα έσοδο, ενώ στο συνολικό δίκτυο προκαλείται συμφόρηση λόγω της μεταφοράς άχρηστου περιεχομένου. Ένα επιπλέον σημαντικό σημείο για το πάροχο υπηρεσιών βίντεο είναι η μη ανάγκη αγοράς και χρήσης αποκλειστικών διακομιστών συνεχούς ροής. Οι πιο δημοφιλείς προσεγγίσεις δυναμικής μεταβολής του ρυθμού εκπομπής χρησιμοποιούν κυρίως ένα συνηθισμένο διακομιστή HTTP του οποίων η άδεια χρήσης είναι φθηνή ή ακόμα και δωρεάν, μειώνοντας σημαντικά το κόστος αδειοδότησης λογισμικού, σε σύγκριση με το κόστος αδειών χρήσης διακομιστή (π.χ. Adobe Flash Media Streaming Server).

Παρά τη διαθεσιμότητα πολλαπλών τεχνολογιών που επιτρέπουν τη δυναμική μεταβολή του ρυθμού εκπομπής, όλες οι λύσεις απαιτούν τη χρήση ειδικού λογισμικού ή εξειδικευμένου υλισμικού (hardware) τα οποία δεν ήταν δυνατό να γίνουν διαθέσιμα στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Ωστόσο, αναπτύχθηκε ένας ειδικά σχεδιασμένος μηχανισμός δυναμικής μεταβολής που ενσωμάτωνε εκτός των άλλων ειδικές λειτουργίες ανίχνευσης του περιβάλλοντος, ενώ υποστήριζε επίσης RTSP και HTTP διακομιστές. Επιπρόσθετα, η προτεινόμενη προσέγγιση δεν εξετάζει μόνον το τρέχον διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου, αλλά και τα παρακάτω:

- **Ανίχνευση Τύπου Δικτύου:** Η εφαρμογή παρακολουθεί τον τύπο του υποκείμενου-υφιστάμενου δικτύου πρόσβασης και παραδίδει αυτόματα και δυναμικά την πιο κατάλληλη ποιότητα βίντεο για κάθε τύπο δικτύου. Υποστηρίζεται το παρακάτω σύνολο δικτύων {WiFi, CDMA, EDGE, GPRS, EVDO_0, HSPA, HSUPA, HSDPA, HSDPA, UMTS, EVDO_B, HSPAP, LTE}.

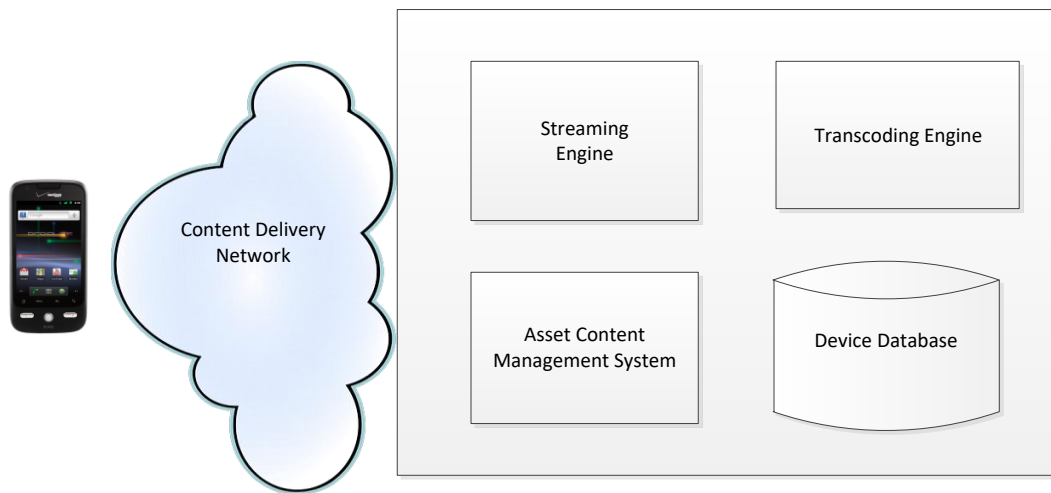
- **Ανίχνευση Ισχύος Σήματος WiFi:** Η εφαρμογή παρακολουθεί την ισχύ του σήματος WiFi επιτρέποντας τη δυναμική προσαρμογή του περιεχομένου σε γεγονότα που σχετίζονται με εξαιρετικά παρεμβαλλόμενα κανάλια με πολλά χαμένα πακέτα.
- **Εξατομικευμένοι Παράγοντες:** Η εφαρμογή προτείνει και διαθέτει δυναμική μεταβολή βάσει (σημασίας) περιεχομένου (content based) όπου περιεχόμενο μεγάλης σημασίας για το χρήστη θα πρέπει να παραδοθεί σε υψηλότερη ποιότητα.
- **Ανίχνευση Διαθέσιμου Εύρους ζώνης:** Εκτελούνται περιοδικές μετρήσεις του εύρους ζώνης προσδιορίζοντας την πραγματική ικανότητα και πιθανή συμφόρηση στο δίκτυο πρόσβασης.

Στην περίπτωση οποιουδήποτε γεγονότος που προκληθεί από τα παραπάνω, η εφαρμογή θα αιτηθεί μια νέα ροή βίντεο, στη σωστή ποιότητα.

8.3.4. Διακομιστής Πολυμεσικού Περιεχομένου

Η επιλογή ενός κατάλληλου διακομιστή βίντεο συνεχούς ροής είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση υψηλής ποιότητας παροχής περιεχομένου, ιδίως αν ληφθεί υπόψη η ποικιλομορφία των συσκευών τελικών χρηστών, από την άποψη όχι μόνο υπολογιστικής ισχύος (CPU) και μεγέθους οθόνης προβολής αλλά και της εγγύτητάς τους με τον διακομιστή. Θα πρέπει λοιπόν να εξεταστούν θέματα κλιμακοθετησιμότητας και σταθερότητας. Για το λόγο αυτό στα πειράματά μας χρησιμοποιήσαμε το διακομιστή βίντεο mGage της εταιρίας VELTI. Ο διακομιστής mGage επιτρέπει τη φόρτωση, αποθήκευση, διαχείριση και παροχή πολυμεσικού περιεχομένου σε χρήστες με κινητές συσκευές. Ο κυρίαρχος στόχος της πλατφόρμας είναι η παροχή περιεχομένου βίντεο συνεχούς ροής πραγματικού χρόνου σε κινητές συσκευές, ωστόσο υποστηρίζεται επίσης και η παροχή

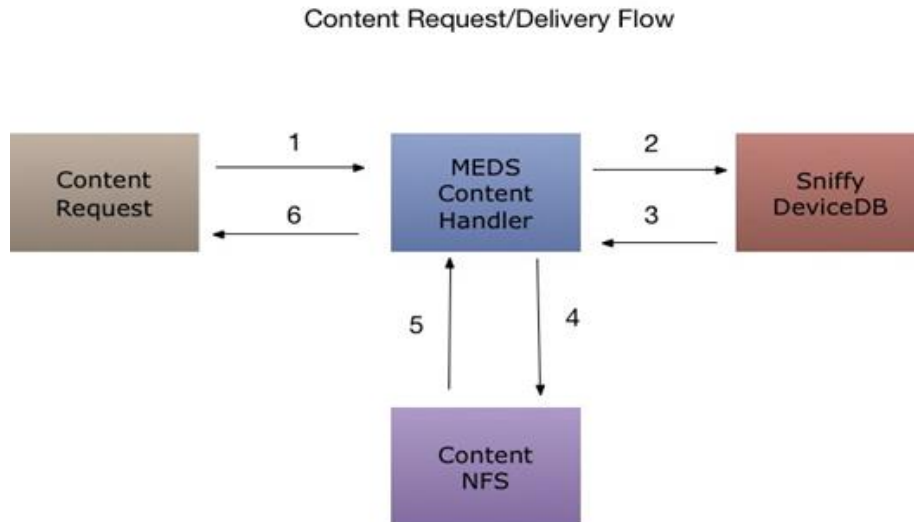
άλλων μορφών, όπως εικόνας και ήχου. Η επόμενη Εικόνα 51 παρουσιάζει ένα γενικευμένο αρχιτεκτονικό διάγραμμα της πλατφόρμας mGage.



Εικόνα 51: Αρχιτεκτονική VELTI mGage

8.3.4.1. Μηχανή Συνεχούς Ροής

Ο ρόλος της μηχανής συνεχούς ροής SE (Streaming Engine) είναι η ενορχήστρωση όλων των υπομονάδων του mGage προκειμένου να διασφαλιστεί πως το περιεχόμενο παραδίδεται επιτυχώς στις συσκευές. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για τη διανομή του βίντεο σε φορητές συσκευές είναι είτε το Hypertext Transfer Protocol (HTTP), το οποίο είναι και το προεπιλεγμένο, είτε το Real Time Streaming Protocol (RTSP) ως εναλλακτική επιλογή. Το mGage υποστηρίζει επίσης HTTP Live Streaming (HLS), το οποίο αποτελεί ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας συνεχούς ροής βασισμένο στο HTTP, που υποστηρίζεται από όλες τις συσκευές iOS και θεωρείται ως η επικρατέστερη υλοποίηση της δυναμικής αναπροσαρμογής πολυμεσικού περιεχομένου συνεχούς ροής. Η μηχανή SE είναι λοιπόν υπεύθυνη για την ενορχήστρωση του συνολικού κύκλου παράδοσης περιεχομένου από τη στιγμή της αίτησης έως τη στιγμή της παράδοσης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 52.



Εικόνα 52: Ροή Αίτησης/Παράδοσης Περιεχομένου mGage

Πιο συγκεκριμένα:

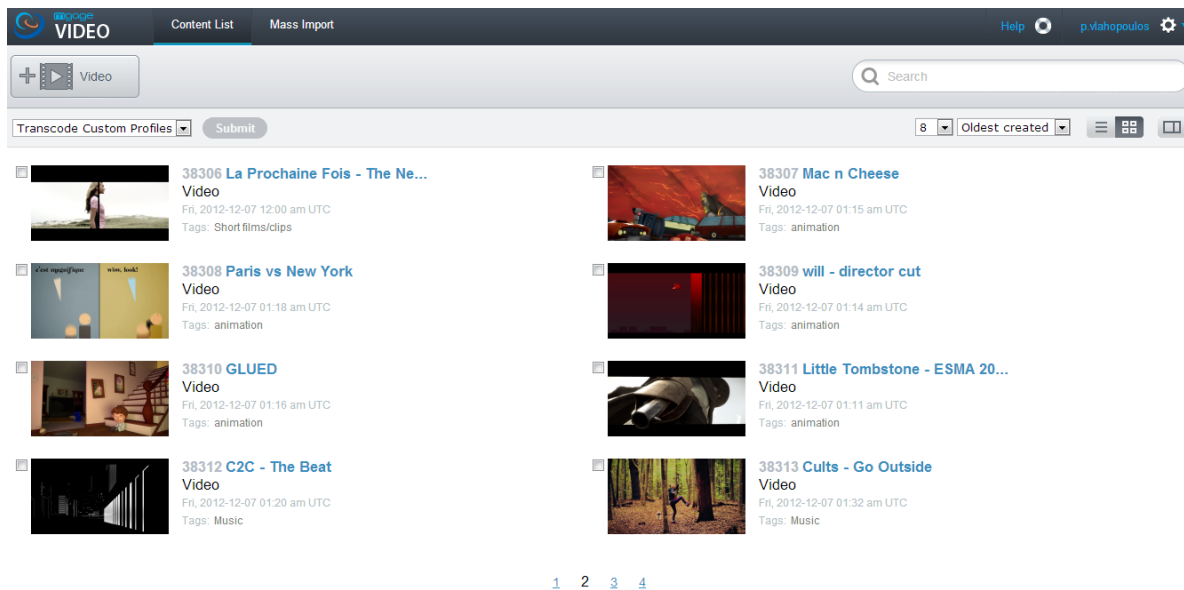
1. Η Αίτηση Περιεχομένου (Content Request) γίνεται μέσω HTTP, στοχεύοντας σε ένα μοναδικό σύνδεσμο που περιέχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό.
2. Ο Χειριστής Περιεχόμενου (Content Handler - MEDS) διαβάζει την κεφαλίδα της HTTP αίτησης και περνάει τη πληροφορία στη βάση συσκευών για την ταυτοποίηση της συσκευής.
3. Η Βάση Συσκευών (SNIFFY) επιστρέφει στον Χειριστή Περιεχομένου το κατάλληλο προφίλ συσκευής.
4. Το mGage χρησιμοποιεί το προφίλ της συσκευής για να προσδιορίσει τη σωστή κωδικοποίηση και άρα το αρχείο που πρέπει ανακτήσει, για το συγκεκριμένο προφίλ συσκευής, το αναζητά στη βάση περιεχομένου (Content NFS). Στη περίπτωση που ένα αρχείο με τη σωστή κωδικοποίηση δεν είναι άμεσα διαθέσιμο, τότε αυτό δημιουργείται σε πραγματικό χρόνο.

5. Το κατάλληλο αρχείο πολυμέσων διοχετεύεται στον Χειριστή Περιεχομένου.
6. Το κατάλληλο αρχείο πολυμέσων παραδίδεται στην αιτούσα συσκευή.

Όταν το περιεχόμενο έχει ρυθμιστεί ώστε να εξυπηρετείται μέσω Δικτύου Παράδοσης Περιεχομένου CDN (Content Delivery Network), το κωδικοποιημένο περιεχόμενο τοποθετείται αυτόματα στο CDN και ο χειριστής περιεχομένου σε αυτή την περίπτωση θα διαβιβάσει το αίτημα στο σημείο εισόδου του CDN αντί να το παραδώσει κατευθείαν από το NFS.

8.3.4.2. Σύστημα Διαχείρισης Πόρων Περιεχομένου

Το Σύστημα Διαχείρισης Πόρων Περιεχομένου ACMS (Asset Content Management System) παρέχει πρόσβαση στη διεπαφή του mGage. Κάθε χρήστης μπορεί να φορτώσει, να εισάγει και να αποθηκεύσει περιεχόμενο, όπως βίντεο, ήχο και εικόνα, καθώς και τα αντίστοιχα μεταδεδομένα τους, ενώ μπορεί επίσης να τροποποιήσει ή και να διαγράψει περιεχόμενο. Το σύστημα διαχείρισης είναι επίσης υπεύθυνο για τη διαχείριση θεμάτων πιστοποίησης και εξουσιοδότησης χρηστών, παρέχοντας πρόσβαση στις λειτουργίες της πλατφόρμας. Τέλος οι χρήστες με δικαιώματα διαχειριστή μπορούν επίσης να έχουν πρόσβαση και να διαχειριστούν το προφίλ των χρηστών, να δημιουργήσουν νέους χρήστες ή να δημιουργήσουν νέα προσαρμοσμένα προφίλ συσκευών και να εκκινήσουν με το χέρι διαδικασίες κωδικοποίησης (transcoding) περιεχομένου.



Εικόνα 53: Σύστημα Διαχείρισης Πόρων Περιεχομένου mGage

8.3.4.3. Μηχανή Κωδικοποίησης

Η Μηχανή Κωδικοποίησης TE (Transcoding Engine) είναι υπεύθυνη για τη μετατροπή του περιεχομένου πηγής στα πιο δημοφιλή προφίλ κινητών συσκευών. Η λίστα των προφίλ όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 54 καθορίζεται δυναμικά, διασταυρώνοντας τα πιο δημοφιλή προφίλ φορητών συσκευών συνολικά σε όλη τη πλατφόρμα. Η έναρξη κωδικοποίησης του βίντεο στα προκαθορισμένα προφίλ μπορεί να γίνει, είτε σε νεκρό χρόνο τη στιγμή που θα υποδείξει ο χρήστης, είτε κατά τη διάρκεια αποδοχής μιας αίτησης εξυπηρέτησης προς μία συσκευή για την οποία μια κατάλληλη μορφή βίντεο δεν υπάρχει ακόμα. Αυτό θα σημάνει τη κωδικοποίηση του περιεχομένου πηγής σε πραγματικό χρόνο πριν αυτό τελικά παραδοθεί στην αιτούσα συσκευή. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα παράκαμψης των προκαθορισμένων προφίλ συσκευών και ο καθορισμός ειδικών προφίλ για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων.

Distribution Link

Content Link: http://video.vetli.com/ch/38313/Cuts_-_Go_Outside

Top User Agents

no user agents available

Content Transcoded Status Refresh

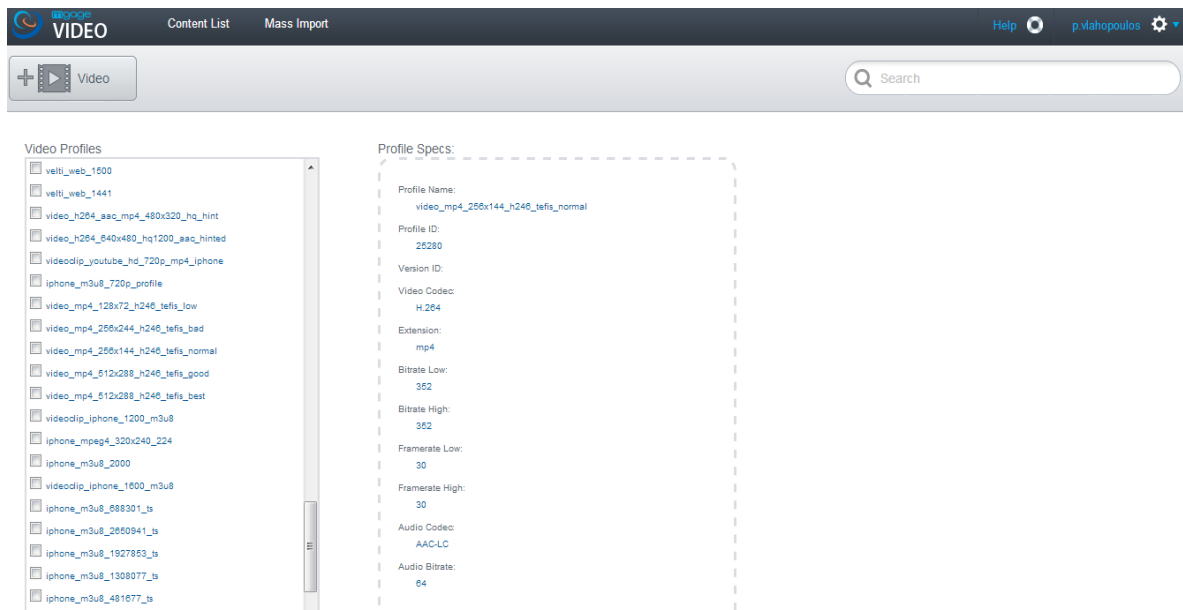
Profile Name	File Size	Status	Created
video_mp4_256x244_h246_tefis_bad	5.99 MB	Available	07 Dec. 2012
video_mp4_256x144_h246_tefis_normal	7.68 MB	Available	07 Dec. 2012
video_mp4_128x72_h246_tefis_low	2.93 MB	Available	07 Dec. 2012
video_h264_aac_mp4_480x320_hint	11.53 MB	Available	07 Dec. 2012
orange_mp4	5.47 MB	Available	07 Dec. 2012

Remove

Εικόνα 54: Μηχανή Κωδικοποίησης mGage

8.3.4.4. Βάση Συσκευών

Η Βάση Συσκευών DD (Device Database) όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 55, είναι το αποθετήριο στο οποίο αποθηκεύονται οι δυνατότητες της κάθε συσκευής. Το αποθετήριο χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια των αιτημάτων εξυπηρέτησης περιεχομένου προκειμένου να αναγνωριστεί η συσκευή και οι δυνατότητες της, και μετέπειτα να επιλεγεί το κατάλληλο προφίλ συσκευής και αρχείο βίντεο για παράδοση. Τα προφίλ συσκευής περιέχουν τις απαιτούμενες παραμέτρους διαμόρφωσης περιεχομένου, τα οποία χρησιμοποιούνται από τη μηχανή κωδικοποίησης προκειμένου να δημιουργηθούν οι παραλλαγές βίντεο από το αρχικό βίντεο. Η βάση συσκευών ενημερώνεται σε μηνιαία βάση προκειμένου να εξασφαλίσει ότι οποιεσδήποτε αλλαγές στις τελευταίες συσκευές και τις δυνατότητές τους έχουν ενσωματωθεί στη πλατφόρμα.



Εικόνα 55: Βάση Δεδομένων mGage

8.3.5. Λειτουργία του πρόσθετου ΠτΕ στην εφαρμογή

Στοχεύοντας στη βέλτιστη εμπειρία χρήστη μέσω της δυναμικής αναπροσαρμογής περιεχομένου στην εφαρμογή κατά τη λειτουργία της ως *Video Pro*, η συμπεριφορά των χρηστών και του δικτύου παρακολουθείται και καταγράφεται. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον ακόλουθο αλγόριθμο η πλέον κατάλληλη ποιότητα βίντεο επιλέγεται αυτόματα και σε συνεχή ροή προς τον χρήστη. Φυσικά ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τη ποιότητα του βίντεο χειροκίνητα ανά πάσα στιγμή, τονίζοντας τη διαφοροποίηση και τη υποκειμενικότητα που εισάγεται μεταξύ ΠτΥ και ΠτΕ. Ένα πλαίσιο βελτιστοποίησης ΠτΥ θα παρείχε στο χρήστη τη πιο κατάλληλη ποιότητα βίντεο αναφορικά με τη διαθεσιμότητα των πόρων του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι, για παράδειγμα, αν το δίκτυο έχει τους απαραίτητους πόρους για να υποστηρίξει μια ροή βίντεο ρυθμού 512kbps, τότε αυτή και θα παραδώσει. Ωστόσο, η ΠτΕ προσβλέπει πέρα από τη κατανομή των πόρων, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο χρήστης μπορεί να είναι πρόθυμος να παρακολουθήσει ένα βίντεο κατώτερης ποιότητας, προκειμένου να σώσει μερικά kbps από το πακέτο δεδομένων του, ή

αντίθετα μπορεί να είναι πρόθυμος να περιμένει για περισσότερο από 5 λεπτά για ένα βίντεο προκειμένου να κατέβει ένα βίντεο σε υψηλή ευκρίνεια. Έτσι, ο χρήστης δεν θα πρέπει να περιορίζεται με κανένα τρόπο, έχοντας την ελευθερία να απολαμβάνει τις υπηρεσίες όπως αυτός επιθυμεί, επιτρέποντας ταυτόχρονα στο δίκτυο πρόσβασης να μαθαίνει από αυτόν ώστε να αυτο-βελτιστοποιηθεί (self-optimize) στο μέλλον.

- **Κανόνες που εφαρμόζονται κατά την εκκίνηση μιας ροής βίντεο**

- *Επιλογή με βάση τον τύπο δικτύου*

Εάν {CDMA, EDGE} τότε φόρτωσε **Προφίλ 1**.

αλλιώς εάν {GPRS, EVDO_0, HSPA, HSUPA, HSDPA} τότε φόρτωσε **Προφίλ 2**

αλλιώς εάν {HSDPA, UMTS, EVDO_B, HSPAP, LTE} τότε φόρτωσε **Προφίλ 3**

αλλιώς φόρτωσε **Προφίλ 3**

- *Επιλογή με βάση την ποιότητα του σήματος*

Πάρε το WiFi-RSSI (Ισχύς σήματος σε dbm)

Εάν μέσο_RSSI < -80dbm τότε φόρτωσε **Προφίλ 2**

αλλιώς εάν μέσο_RSSI < -60 dbm τότε φόρτωσε **Προφίλ 3**

αλλιώς φόρτωσε **Προφίλ 4** }

- *Επιλογή με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη*

Εάν {κατηγορία_βίντεο είναι αγαπημένη_χρήστη} τότε φόρτωσε **Προφίλ+1**.

- **Κανόνες που εφαρμόζονται κατά την αναπαραγωγή ροής βίντεο**

- *Επιλογή με βάση το διαθέσιμο εύρος ζώνης*

Επανάλαβε κάθε 5 δευτερόλεπτα {

Εάν {bitrate >= 2048kbps} τότε φόρτωσε **Προφίλ 5**

αλλιώς εάν {bitrate >= 768kbps} τότε φόρτωσε **Προφίλ 4**

αλλιώς εάν (bitrate >= 512kbps) τότε φόρτωσε **Προφίλ 3**

αλλιώς εάν (bitrate >= 384kbps) τότε φόρτωσε **Προφίλ 2**

αλλιώς φόρτωσε **Προφίλ 1** }

Οι τρεις πρώτοι κανόνες εκτελούνται πριν από τη μετάδοση ενός αρχείου βίντεο στο τελικό χρήστη προκειμένου να επιλεγεί η πλέον κατάλληλη ποιότητα βίντεο λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των χρηστών και του δικτύου. Η τελική ρύθμιση επιτρέπει την αυτόματη αναπροσαρμογή της ποιότητας του βίντεο που προκαλείται από τους τρέχοντες διαθέσιμους ασύρματους πόρους, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη συνέχεια της υπηρεσίας ακόμη και σε δραματικές απώλειες εύρους ζώνης ή αλλαγές στο δίκτυο πρόσβασης. Το Προφίλ+1 υποδηλώνει την επόμενη καλύτερη ποιότητα από αυτή που έχει επιλεγεί έως τώρα.

8.3.6. Θέματα Επιχειρησιακών Μοντέλων

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων του Κεφαλαίου 6 ερευνήσαμε δύο διαφορετικά επιχειρηματικά μοντέλα. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή υποστήριξε το μοντέλο freemium βασιζόμενο στη διαφήμιση (pre-roll και overlay διαφημίσεις), και το μοντέλο πληρωμής ανά θέαση χωρίς διαφημίσεις. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 80% των χρηστών είναι διατεθειμένοι να παρακολουθήσουν διαφημίσεις, προκειμένου να απολαύσουν δωρεάν περιεχόμενο. Λαμβάνοντας υπόψη το τελευταίο, καθώς και τη δυσκολία επιβολής και εκτέλεσης πραγματικών προγραμμάτων τιμολόγησης σε πειραματικές και ερευνητικές εφαρμογές, η τελική εφαρμογή βίντεο που αναπτύχθηκε διαθέτει δύο μοντέλα λειτουργίας, ένα freemium (**Video Lite**) και ένα premium (**Video Pro**), στο οποίο η δυνατότητα δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας (π.χ. η δυνατότητα χειροκίνητης ή αυτόματης αλλαγής της ποιότητας του βίντεο) παρέχεται ως επιπλέον πρόσθετο χαρακτηριστικό. Έτσι και οι δύο προσεγγίσεις λειτουργούν με διαφημίσεις, δηλαδή πριν από κάθε προβολή βίντεο μια μικρή διαφήμιση εμφανίζεται πριν το κανονικό περιεχόμενο, ωστόσο, στην έκδοση premium η δυναμική προσαρμογή ποιότητας είναι ενεργοποιημένη. Αυτό επιτρέπει στον πάροχο υπηρεσιών να επωφεληθεί τόσο από την παρουσία των διαφημίσεων, καθώς και από τη

χρέωση του πρόσθετου δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας. Παρ' όλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη ότι στα πλαίσια των πειραμάτων μας οι χρήστες δεν μπορεί και δεν πρέπει να χρεώνονται, η λειτουργία **Video Pro** γίνεται διαθέσιμη στους «πιστούς» χρήστες ως δωρεάν διαφημιστική αναβάθμιση. Οι λεπτομέρειες σχετικά με την αναβάθμιση αυτή παρουσιάζονται στη Παράγραφο 8.4, ενώ η επιχειρησιακή επίπτωση μιας τέτοιας προσέγγισης αναλύεται στο Κεφάλαιο 9.

8.3.7. Σχόλια και Απόψεις Χρηστών

Προς τη ρεαλιστική αξιολόγηση της προτεινόμενης εφαρμογής παροχής πολυμεσικού περιεχομένου και συνεπώς και της δυνατότητας δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας, σχεδιάστηκε και ενσωματώθηκε ένα ερωτηματολόγιο στην ίδια την εφαρμογή. Οι απαντήσεις των πραγματικών χρηστών έδωσαν σημαντικά αποτελέσματα στο πλαίσιο της ευχρηστίας, προσαρμοστικότητας και βιωσιμότητας του προτεινόμενου πλαισίου αυτόνομη ςπαροχής ΠτΕ. Επιπλέον, προκειμένου να προσελκύσουμε χρήστες να συμμετάσχουν, πραγματοποιήθηκε και μία κλήρωση με έπαθλο ένα Android tablet. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τα ερωτήματα που τέθηκαν στους χρήστες, ενώ στην Παράγραφο 8.6 αναλύουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

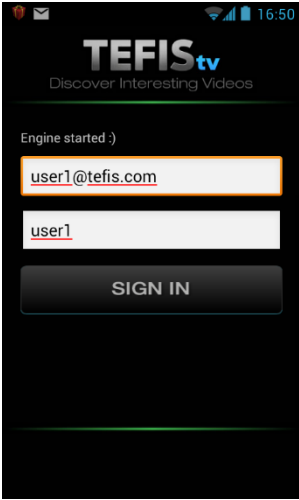
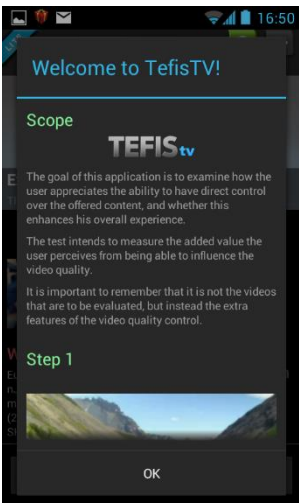
Φύλο	Άνδρας		Γυναίκα			
Ηλικία	18-25	26-35	36-45	46+		
Έχετε ήδη παρακολουθήσει 6 ή παραπάνω βίντεο, τρία χωρίς το πρόσθετο ΠτΕ, και τα υπόλοιπα με το πρόσθετο ενεργοποιημένο. Παρακαλούμε να απαντήσετε τις παρακάτω ερωτήσεις αναφορικά με το πρόσθετο Video Pro.						
Βρίσκω το πρόσθετο ΠτΕ χρήσιμο όταν παρακολουθώ βίντεο στο κινητό μου.	(Δεν συμφωνώ)			(Συμφωνώ Απόλυτα)		
	1	2	3	4	5	6
Ήταν εύκολο για μένα να κατανοήσω τα οφέλη του προσθέτου ΠτΕ.	1	2	3	4	5	6

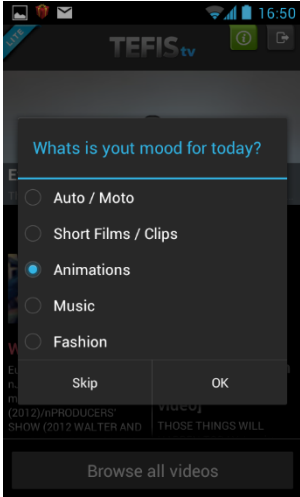
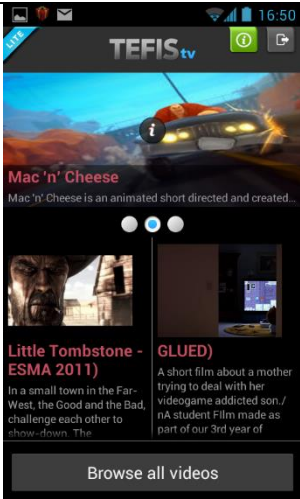
Ήταν εύκολο για μένα να κατανοήσω τη λειτουργία του προσθέτου ΠτΕ.	1	2	3	4	5	6
Η χρήση του προσθέτου ΠτΕ μου προσέφερε νέες δυνατότητες στην παρακολούθηση πολυμέσων στο κινητό.	1	2	3	4	5	6
Χρησιμοποιήσατε το μενού χειροκίνητης αλλαγής ποιότητας βίντεο;	Ναι		Όχι		Δε ξέρω	
Εάν ναι, ήταν η αλλαγή της ποιότητας άμεση;	Ναι		Όχι		Δε ξέρω	
Εάν ναι, κατάφερε να βελτιώσει την εμπειρία σας;	Ναι		Όχι		Δε ξέρω	
Εάν ναι, η δυνατότητα άμεσου ελέγχου επάνω στην υπηρεσία, σας έκανε να αισθανθείτε καλύτερα;	Ναι		Όχι		Δε ξέρω	
Εάν όχι, αναφέρετε γιατί						
Ενεργοποιήθηκε η αυτόματη αναπροσαρμογή της ποιότητας βίντεο κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας σας;	Ναι		Όχι		Δε ξέρω	
Βρίσκω την αυτόματη αναπροσαρμογή της ποιότητας βίντεο χρήσιμη	(Δεν συμφωνώ)			(Συμφωνώ Απόλυτα)		
	1	2	3	4	5	6
Βρίσκω την αυτόματη αναπροσαρμογή της ποιότητας βίντεο ενοχλητική	1	2	3	4	5	6
Ερώτηση Διαγωνισμού						
Πόσες διαφορετικές κατηγορίες υπάρχουν στην εφαρμογή;	1	2	5	7	8	
Υπήρχε η κατηγορία “Μουσική” στην εφαρμογή;	Ναι				Όχι	
Εισάγετε το email σας:						

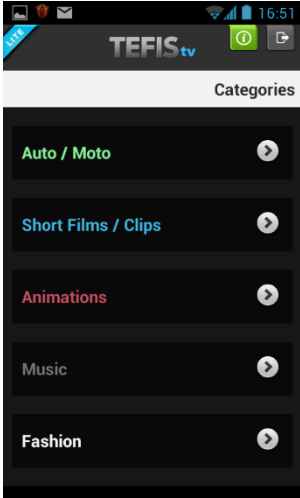
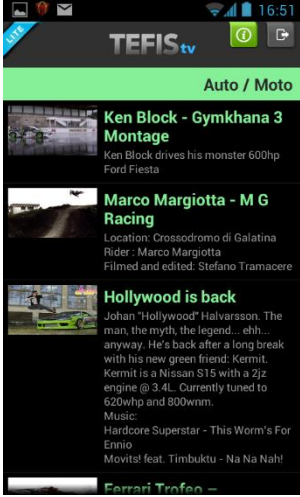
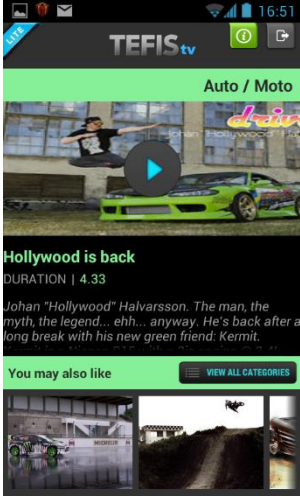
Τέλος, η συμπεριφορά και οι ενέργειες των χρηστών κατά την περιήγηση τους στην εφαρμογή μαζί με τις απαντήσεις τους στο ερωτηματολόγιο καταγράφηκαν σε XML και αποθηκεύτηκαν σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή Apache2 για περαιτέρω ανάλυση.

8.4. Επεξήγηση της Εφαρμογής

Στη συνέχεια παραθέτουμε ένα λεπτομερές εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής, τονίζοντας τα χαρακτηριστικά της και επιδεικνύοντας τις επιλογές που αναλύθηκαν προηγούμενα. Με πράσινο χρώμα σημειώνονται κάποιες επιπλέον τεχνικές λεπτομέρειες.

	<p>Εισέλθετε στην εφαρμογή. Χρησιμοποιείστε τα προ συμπληρωμένα στοιχεία.</p> <p><u>Σχόλιο:</u> Πατώντας SING IN ο χρήστης και η συσκευή του εγγράφεται στον διακομιστή.</p>
	<p>Ένα σύντομο εγχειρίδιο εμφανίζεται, περιγράφοντας το στόχο και της οδηγίες χρήσης της εφαρμογής.</p> <p>Ο στόχος αυτής της εφαρμογής είναι να εξετάσει εάν ο χρήστης εκτιμά τη δυνατότητα άμεσου ελέγχου στο προσφερόμενο περιεχόμενο, και αν αυτό ενισχύει τη συνολική εμπειρία του.</p> <p>Η δοκιμή προτίθεται να μετρήσει τη προστιθέμενη αξία που ο χρήστης αντιλαμβάνεται δίνοντας του τη δυνατότητα να επηρεάσει την ποιότητα του βίντεο.</p> <p>Είναι σημαντικό να θυμάστε πως δεν αξιολογούμε το περιεχόμενο του βίντεο, αλλά τις επιπλέον δυνατότητες ελέγχου της ποιότητας του βίντεο.</p>

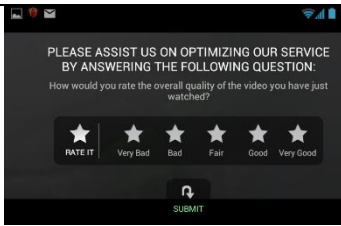
	<p>Μετακινηθείτε προς τα κάτω για να διαβάσετε το πλήρες εγχειρίδιο χρήσης και στη συνέχεια πατήστε OK για να συνεχίσετε.</p>
	<p>Μία οθόνη καλωσορίσματος εμφανίζεται, ζητώντας τη σημερινή διάθεση για περιεχόμενο.</p> <p>Επιλέξτε μία από τις διαθέσιμες κατηγορίες, δηλαδή Αυτοκίνητο/Μοτοσυκλέτα, Μόδα, Ταινίες μικρού μήκους, Μουσική, Κινούμενα σχέδια, ή επιλέξτε Παράβλεψη για να συνεχίσετε.</p> <p><u>Σχόλιο:</u> Αυτή η ερώτηση προσωποποίησης στοχεύει στην λήψη της τρέχουσας διάθεσης και προτίμησης του χρήστη ως προς το περιεχόμενο.</p>
	<p>Σύμφωνα με την προηγούμενη απάντησή σας, εμφανίζεται προτεινόμενο περιεχόμενο, μαζί με την επιλογή εξερεύνησης ολόκληρου του περιεχομένου.</p> <p>Επιλέξτε ένα βίντεο για να αρχίσει η άμεση αναπαραγωγή του!</p> <p><u>Σχόλιο:</u> Η λειτουργία Video Lite είναι ενεργοποιημένη, όπως φαίνεται πάνω αριστερά στην οθόνη.</p>

	<p>Επιλέξτε την “Εξερεύνηση όλων των βίντεο” για να συνεχίσετε στην σελίδα κατηγοριών, όπου τα βίντεο οργανώνονται σε 5 κατηγορίες, Μόδα, Αυτοκίνητο/Μοτοσυκλέτα, Ταινίες μικρού μήκους, Μουσική και Κινούμενα σχέδια..</p> <p>Επιλέξτε μία κατηγορία βίντεο για να συνεχίσετε.</p>
	<p>Μία λίστα με το διαθέσιμο περιεχόμενο βίντεο για την επιλεγμένη κατηγορία εμφανίζεται. Διατίθενται επίσης στιγμιότυπα και περιγραφή περιεχομένου.</p>
	<p>Επιλέξτε ένα αρχείο βίντεο. Επιπλέον πληροφορία για το συγκεκριμένο βίντεο προβάλλεται.</p> <p>Πατήστε το κουμπί αναπαραγωγής για να δείτε το βίντεο, πατήστε «Επιστροφή στις κατηγορίες» για να επιστρέψετε στην οθόνη κατηγοριών, ή επιλέξτε ένα από τα σχετικά βίντεο στο κάτω μέρος της οθόνης.</p>



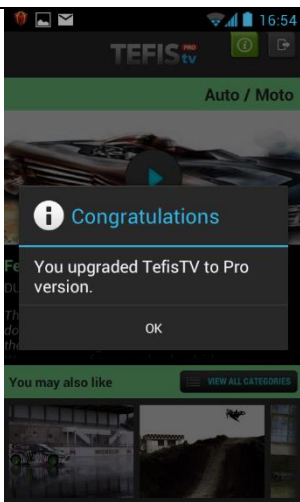
Πατήστε το κουμπί αναπαραγωγής για να ξεκινήσει το βίντεο.

Στη λειτουργία **Video Lite** μπορείτε να δείτε περιεχόμενο σε σταθερή ποιότητα. Χρησιμοποιήστε τη μπάρα ελέγχου για να ελέγξετε την αναπαραγωγή.




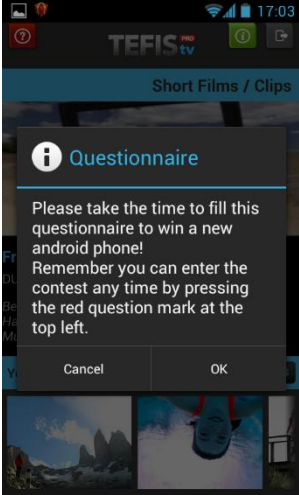
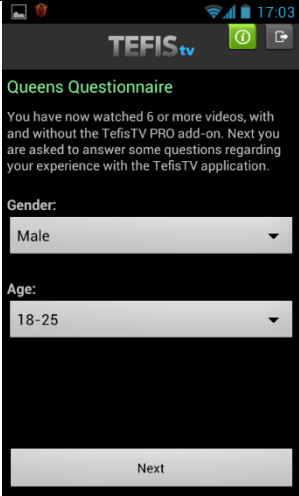
Στο τέλος κάθε βίντεο, ή κατά την επιστροφή στην προηγούμενη οθόνη, σας ζητείται να βαθμολογήσετε την εμπειρία σας (μόνο εάν έχετε δει πάνω από το 50% του βίντεο).

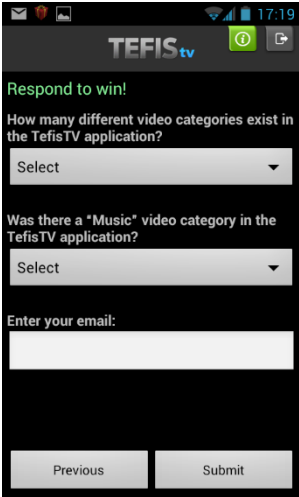

Σχόλιο: Με αυτό τον τρόπο συλλέγουμε τις προτιμήσεις των χρηστών και τις συσχετίζουμε με τη μελλοντική συμπεριφορά του.



Δείτε 3 βίντεο για να αναβαθμίσετε την εφαρμογή δωρεάν στην λειτουργία **Video Pro**.

Σχόλιο: Μετά την παρακολούθηση τριών βίντεο όλοι οι χρήστες αναβαθμίζονται δωρεάν στην έκδοση Video Pro. Συγκρίνοντας τη συμπεριφορά των χρηστών στις εκδόσεις Lite και Pro μπορούμε να αξιολογήσουμε την προστιθέμενη αξία του προσθέτου δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας.

	<p>Δείτε τρία ή παραπάνω βίντεο!</p> <p>Στη λειτουργία Video PRO μπορείτε επίσης να αλλάξετε την ποιότητα του βίντεο. Πατήστε το “γρανάζι” για να επιλέξετε την επιθυμητή ποιότητα. Η επιλογή AUTO είναι προεπιλεγμένη δηλώνοντας πως η εφαρμογή παρακολουθεί συνεχώς την αναπαραγωγή του βίντεο και βελτιστοποιεί αυτόματα την εμπειρία σας. Φυσικά μπορείτε να αλλάξετε χειροκίνητα την ποιότητα οποιαδήποτε στιγμή απενεργοποιώντας τη λειτουργία AUTO.</p>
	<p>Τώρα μπορείτε να συμμετάσχετε στο διαγωνισμό! Πατήστε OK για να συνεχίσετε, ή πατήστε “Υπενθύμισε με αργότερα” για να δείτε και άλλα βίντεο. Πατήστε το κόκκινο ερωτηματικό στην κορυφή της οθόνης για να συμμετάσχετε στο διαγωνισμό όποτε επιθυμείτε!</p>
	<p>Απαντήστε σε μερικές ερωτήσεις για να μας βοηθήσετε να βελτιώσουμε τις υπηρεσίες μας.</p>

	<p>Απαντήστε σωστά στις ερωτήσεις και διεκδικήστε ένα tablet Google Android!</p> <p>Μη ξεχάσετε να γράψετε το email σας.</p>
	<p>Δείτε και άλλα βίντεο ή πατήστε το κουμπί Αποσύνδεσης το πάνω μέρος της οθόνης.</p>

8.5. Παρουσιάζοντας τα Οφέλη της Δυναμικής Αναπροσαρμογής ΠτΕ

Τα οφέλη που εισάγονται στη βελτιστοποίηση της ΠτΕ του χρήστη με το πρόσθετο δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας πολυμεσικού περιεχομένου συνεχούς ροής μπορούν να επισημανθούν ενδεικτικά και με σαφήνεια στα ακόλουθα σενάρια.

1. Ένας χρήστης παρακολουθεί περιεχόμενο βίντεο μεγάλης σημασίας και ενδιαφέροντος. Δεδομένης της υποκειμενικής εμπειρίας του η τρέχουσα ποιότητα δεν αρκεί για τις ανάγκες του. Χρησιμοποιώντας το πρόσθετο ΠτΕ είναι σε θέση να αυξήσει την ποιότητα του βίντεο.

2. Το προπληρωμένο πρόγραμμα δεδομένων ενός χρήστη είναι σχεδόν εξαντλημένο. Χρησιμοποιώντας το πρόσθετο ΠτΕ ο χρήστης είναι σε θέση να επιλέξει χειροκίνητα μια χαμηλότερη ποιότητα βίντεο, προκειμένου να εξοικονομήσει πολύτιμο εύρος ζώνης και έτσι να αποφύγει τις υπερβολικές χρεώσεις.

3. Στο δίκτυο λόγω συμφόρησης προκαλούνται καθυστερήσεις και απώλειες πακέτων. Ένας χρήστης χρησιμοποιώντας το πρόσθετο ΠτΕ μπορεί να επιλέξει μια χαμηλότερη ποιότητα βίντεο, προκειμένου να μειωθούν οι αναγκαίοι πόροι για την αναπαραγωγή βίντεο και απολαύσει μια άψογη εμπειρία.

4. Ένας κινητός χρήστης έχει χαμηλό σήμα και συνεπώς αυξημένα χαμένα πακέτα και μειωμένη ταχύτητα λήψης. Επιλέγοντας χαμηλή ποιότητα βίντεο μέσω του πρόσθετου ΠτΕ η πιθανότητα buffering και διακοπής υπηρεσιών ελαχιστοποιείται.

5. Ένας κινητός χρήστης είναι συνδεδεμένος με ένα δίκτυο υψηλών ταχυτήτων. Η αύξηση της ποιότητας βίντεο μέσω του πρόσθετου ΠτΕ βελτιώνει τη συνολική εμπειρία του.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο Σενάριο 1, η βελτιστοποίηση της ΠτΕ μέσω της δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας του βίντεο μπορεί να επιτευχθεί είτε χειροκίνητα από τον χρήστη, είτε αυτόματα εκμεταλλευόμενο τα ήδη αποθηκευμένα δεδομένα εξατομίκευσης χρήστη. Επί του παρόντος, για το δεύτερο σενάριο απαιτείται η χειροκίνητη παρέμβαση από το χρήστη, αλλά σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα η αυτόματη προσαρμογή θα μπορούσε να προκληθεί από ένα μηχανισμό παρακολούθησης χρέωσης. Τέλος, στα 3-5 η ΠτΕ βελτιστοποιείται αυτόματα από το πρόσθετο ΠτΕ μέσω της δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας του βίντεο.

8.6. Αξιολόγηση Δυναμικής Αναπροσαρμογής Ποιότητας από Πραγματικούς Χρήστες

Η τελική επαλήθευση και συνολική αξιολόγηση της υλοποιημένης εφαρμογής και πιο συγκεκριμένα του πρόσθετου δυναμικής αναπροσαρμογής ποιότητας πολυμεσικού περιεχομένου συνεχούς ροής από πραγματικούς τελικούς χρήστες κατέδειξε όχι μόνον τα οφέλη και τη προστιθέμενη αξία του προτεινόμενου μηχανισμού αλλά και θέτει τις ισχυρές

βάσεις για την ανάπτυξη άμεσα αξιοποιήσιμων επιχειρησιακών μοντέλων. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται παρακάτω.

8.6.1. Διαδικασία Εκτέλεσης Δοκιμασίας

Στη συνέχεια παρουσιάζονται λεπτομέρειες του τρόπου που οι χρήστες προσκλήθηκαν, εγγράφηκαν και εκτέλεσαν τη εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, η εκτέλεση της εφαρμογής από έναν δοκιμαστικό χρήστη αποτελείται από συνδυασμό καθοδηγούμενης (guided) και μη-καθοδηγούμενης ή ανεξάρτητης δοκιμασίας (unguided/independent) η οποία προϋποθέτει τη παρουσία ή μη ενός καθοδηγητή ή μέντορα ο οποίος κατευθύνει κατάλληλα τους χρήστες στο πως να χρησιμοποιούν την εφαρμογή. Και στις δύο περιπτώσεις οι χρήστες πρέπει να τρέξουν την εφαρμογή και στη συνέχεια να συμπληρώσουν το ενσωματωμένο ερωτηματολόγιο.

Ανεξάρτητη – Μη Καθοδηγούμενη Δοκιμασία Χρήστη (Independent Test)

- Προσκλήθηκαν χρήστες να συμμετάσχουν στο πείραμα μέσω του δικτύου Botnia Living Labs (περίπου 6000 χρήστες) και των λιστών ηλεκτρονικού ταχυδρομείου του ΕΜΠ για χρονική διάρκεια μίας εβδομάδας.
- Η πρόσκληση δήλωνε ρητά ότι η δοκιμασία θα διαρκέσει περίπου 30 λεπτά της ώρας και ότι σαν ανταμοιβή θα έχουν την ευκαιρία να διεκδικήσουν ένα tablet τελευταίας γενιάς Samsung Galaxy Tab 2 7.0.
- Τα κριτήρια επιλογής για συμμετοχή ήταν:
 - Πρόσβαση σε ένα Android κινητό με έκδοση λειτουργικού 2.2 ή νεότερη
 - Εξοικείωση στην εγκατάσταση εφαρμογών
 - Ευχέρεια στην ανάγνωση και κατανόηση οδηγιών χρήσης στα Αγγλικά

- Όσοι χρήστες απάντησαν ΝΑΙ στις παραπάνω ερωτήσεις προσκλήθηκαν στη συνέχεια στο δοκιμαστικό χρήστη. Οι πρώτοι 50+ χρήστες επιλέχθηκαν απευθείας σαν συμμετέχοντες οι οποίοι στη συνέχεια:
 - Έλαβαν ένα email με οδηγίες χρήσης σχετικά με το πως θα κατεβάσουν και πως θα τρέξουν την εφαρμογή για να εκτελέσουν τη δοκιμασία
 - Είχαν στη διάθεση του ένα email υποστήριξης για κάθε ερώτηση
- Οι χρήστες είχαν τη δυνατότητα να εκτελέσουν τη δοκιμασία οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή επιθυμούσαν.

Καθοδηγούμενη Δοκιμασία Χρήστη (Guided Test)

- Εκτελέστηκαν δύο προγραμματισμένες εκδηλώσεις στη Σουηδία, η μία ένα έλαβε χώρα στη Πανεπιστημιούπολη του LTU Lulea και η άλλη στη Πανεπιστημιούπολη του Skelleftea.
- Προσκλήσεις για τις δύο εκδηλώσεις αποστάλθηκαν μέσω του πληροφοριακού πύλης του και του καναλιού επικοινωνίας του LTU.
- Οι χρήστες που επιλέχθηκαν ως συμμετέχοντες είχαν επίσης την ευκαιρία να διεκδικήσουν ένα Samsung Galaxy Tab 2 7.0.
- Οι εκδηλώσεις προγραμματίστηκαν σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο μέσα στην ημέρα και τοποθεσία όπου υπήρχε αυξημένη κίνηση χρηστών στο χώρο του Πανεπιστημίου (διάλλειμα μεσημεριανού γεύματος)
- Η ομάδα χρηστών αποτελούνταν από φοιτητές κυρίως στους οποίους παραδόθηκαν προ-διαμορφωμένες κινητές συσκευές για τους σκοπούς της δοκιμασίας

- Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν τα προβλεπόμενα σενάρια της δοκιμασίας ενώ το προσωπικό του LTU-CDT παρείχαν βοήθεια, υποστήριξη και καθοδήγηση στους συμμετέχοντες καθόλη τη διάρκεια της εκτέλεσης

Κατά τη διάρκεια διαδικασίας της εμπλοκής χρηστών, συνολικά 65 χρήστες έλαβαν μέρος στο δοκιμαστικό τελικού χρήστη απαριθμώντας περισσότερες από 400 μοναδικές προβολές βίντεο και βαθμολογήσεις. Στις επόμενες παραγράφους τα πιο σημαντικά ευρήματα και αποτελέσματα του δοκιμαστικού αναλύονται και παρουσιάζονται.

8.6.2. Επαλήθευση Αποτελεσμάτων Χρηστών

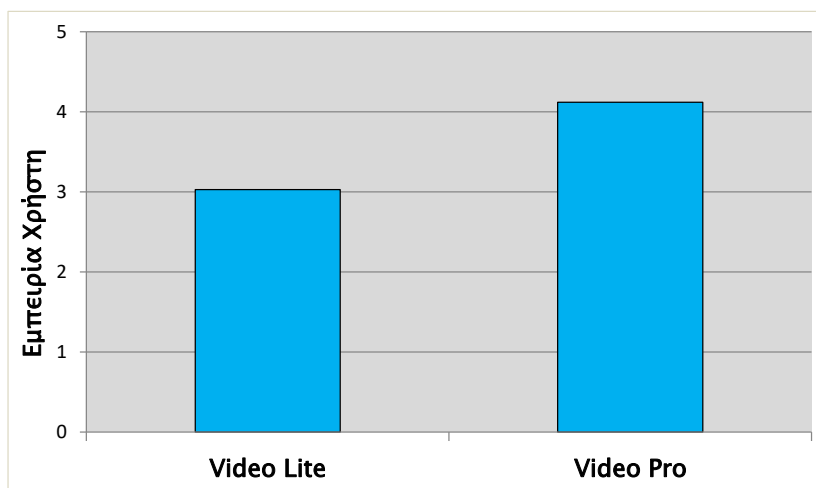
Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την αξιολόγηση χρηστών κατά την εκτέλεση του δοκιμαστικού. Σημαντική βαρύτητα έχει δοθεί στη μελέτη της επίδρασης πάνω στην ικανοποίηση των χρηστών και την ικανοποίηση των απαιτήσεων τους αναφορικά με την επίτευξη δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας βίντεο, την καθοδηγούμενη από το χρήστη αναπροσαρμογή ποιότητας, αλλά και την άποψη των χρηστών σχετικά με την αξία και χρησιμότητα του πρόσθετου ΠτΕ.

8.6.2.1. Βελτιστοποιώντας την Εμπειρία του Χρήστη

Η εφαρμογή σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε έχοντας συνέχεια κατά νου ότι τη σημαντικότητα, τα οφέλη και τη προστιθέμενη αξία συνολικά του μηχανισμού δυναμικής προσαρμογής ποιότητας βίντεο, στοιχεία που έπρεπε σε κάθε περίπτωση να παραμένουν εύκολα αντιληπτά, ευδιάκριτα και άμεσα αναλύσιμα. Στα πλαίσια της ανάπτυξης, όπως αναλύθηκε και παραπάνω, προτείνονται δύο τρόποι λειτουργίας της εφαρμογής, η Video

Lite και Video Pro, οι οποίες επιτρέπουν μεταξύ των άλλων τη παρακολούθηση της συμπεριφοράς των χρηστών με ή χωρίς τη χρήση των μηχανισμών που προαναφέρθηκαν.

Επομένως, θεωρώντας ότι κάθε φορά ένας χρήστης μετά τη παρακολούθηση ενός βίντεο καλείται να αξιολογήσει τη απόλυτη εμπειρία του στη κλίμακα από 1 (χειρίστο) μέχρι 5 (βέλτιστο), η συνολική ικανοποίηση του εκάστοτε χρήστη για όλες τις προβολές βίντεο μπορεί να υπολογιστεί, να αξιολογηθεί και να κατηγοριοποιηθεί. Στο διάγραμμα της Εικόνα 56 παρακάτω απεικονίζεται η μέση συνολική ικανοποίηση όλων των χρηστών για τις δύο εκδόσεις της εφαρμογής Video Lite και Video Pro αντίστοιχα, υποδηλώνοντας την απουσία ή παρουσία του μενού δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας του περιεχομένου.



Εικόνα 56: Συνολική Εμπειρία Χρήστη στις δύο εκδόσεις εφαρμογής TEFIS

Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν και επιβεβαιώνουν την επίδραση του πρόσθετου δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας βίντεο που επιτρέπει τη βελτίωσή της (αύξηση) κατά περίπου 23%.

Το τελευταίο είναι ένα από τα πιο σημαντικά αποτελέσματα της μελέτης συνολικά διότι:

- Επιβεβαιώνει την ορθότητα και εγκυρότητα της πρότασής μας

- Επαληθεύει τα πειραματικά αποτελέσματα του Κεφαλαίου 5, υποδεικνύοντας μία κατάλληλη μετάφραση της ΠτΥ σε ΠτΕ αρκετά ισχυρή για να αντιστοιχίσει τα ενδογενή χαρακτηριστικά του πολυμεσικού περιεχομένου και δικτύου παροχής σε τιμές ικανοποίησης εμπειρίας χρηστών.
- Βελτιώνει την υποκειμενική εμπειρία χρήστη μέσω παροχής μοναδικών και εξατομικευμένων δυνατοτήτων.
- Επισημαίνει την ωριμότητα των χρηστών στη παράδοση μιας καινοτόμου ομάδας εφαρμογών και χαρακτηριστικών τα οποία εκ των πραγμάτων ηγούνται την ανάπτυξη νέων τρόπων εκμετάλλευσης επιχειρησιακών πλάνων.

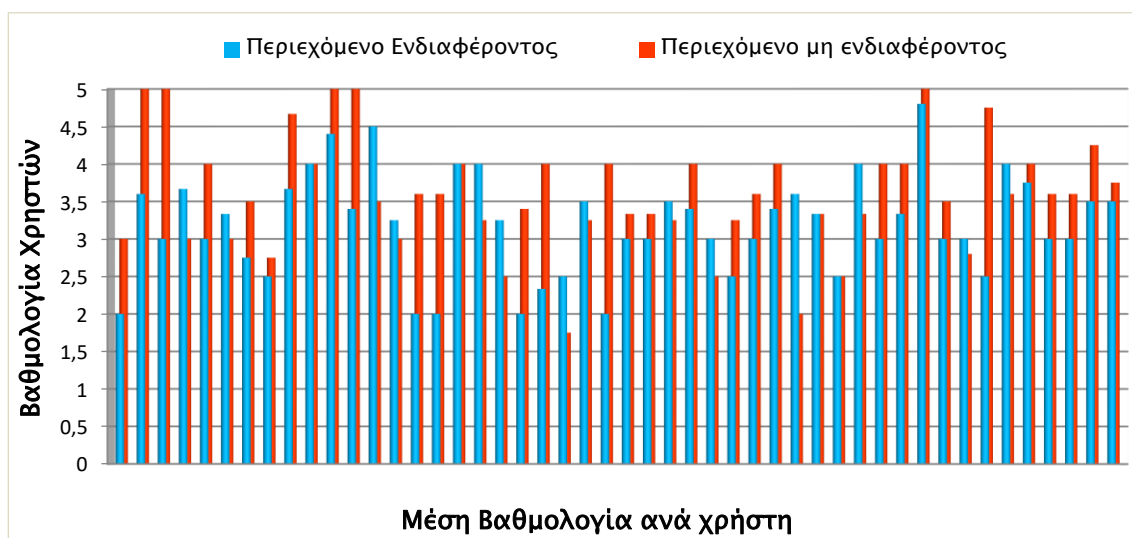
Τέλος είναι σημαντικό να τονιστεί ότι μία τέτοια αύξηση της ικανοποίησης του χρήστη δεν οφείλεται μόνο στη βέλτιστη υπηρεσία που λαμβάνει ο ίδιος αλλά απαντάται επίσης και σε ψυχολογικούς παράγοντες ή πιο συγκεκριμένα στη δεσμευτική ανθρώπινη φύση του χρήστη του να ελέγχει τα πάντα. Η εν λόγω μελέτη αποκαλύπτει ότι παραπάνω από το 90% των χρηστών που ρωτήθηκαν δήλωσαν ότι το να έχουν επικείμενο έλεγχο σε κάθε υπηρεσία που χρησιμοποιούν τους κάνει να αισθάνονται καλύτερα, πράγμα που επιβεβαιώνει το παραπάνω συμπέρασμά μας.

8.6.2.2. Σημαντικότητα του Περιεχομένου

Η ποιότητα της εμπειρίας, μεταξύ άλλων επιδραστικών παραγόντων, εξαρτάται ισχυρά από τη δυναμική του χρήστη, όπως το πλαίσιο δραστηριοποίησής του (context), το περιεχόμενο που βιώνει όπως επίσης και τη σημαντικότητα αυτού για αυτόν. Από τη σκοπιά της εφαρμογής η έννοια της εξατομίκευσης (personalization) χρησιμοποιείται εκτενώς με σκοπό να βελτιώσει την εμπειρία του χρήστη προσφέροντας και προβάλλοντας περιεχόμενο βάσει των προτιμήσεων αυτού. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε προηγούμενα στην

παράγραφο 8.5, μετά τη διαδικασία σύνδεσης (login) η εφαρμογή προτρέπει τους χρήστες να απαντήσουν ένα σύντομο ερωτηματολόγιο που αφορά τη τρέχουσα ψυχολογική διάθεσή τους για να παρακολουθήσουν περιεχόμενο βίντεο. Έτσι οι χρήστες είναι δυνατό να επιλέξουν μία επιθυμητή κατηγορία βίντεο και στη συνέχεια βάσει αυτής προτρέπονται να επιλέξουν περιεχόμενο βίντεο της κατηγορίας αυτής. Το είδος αυτό του κατηγοριοποιημένου περιεχομένου βίντεο που επιλέγει ο χρήστης το ονομάζουμε χάριν ευκολίας προτεινόμενο (featured). Αυτή η απλή ερώτηση ουσιαστικά υπογραμμίζει τις προτιμήσεις των χρηστών για περιεχόμενο υψηλής σημασίας. Εκείνο που απομένει είναι η μέτρηση και ανάλυση της επίδρασης της σημαντικότητας περιεχομένου στη εμπειρία του χρήστη. Το τελευταίο μπορεί εύκολα να καθοριστεί συγκρίνοντας το τρόπο με τον οποίο ατομικά οι χρήστες βαθμολογούν το προτεινόμενο και το μη- προτεινόμενο περιεχόμενο.

Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνα 57, οι χρήστες εμφανίζονται αρκετά πιο κριτικοί όταν βαθμολογούν περιεχόμενο υψηλής σημαντικότητας στα οποία και εμφανίζονται να βάζουν χαμηλότερη βαθμολογία κατά μέσο όρο. Τα αποτελέσματα αυτά δεν αποδεικνύουν μόνο τη σύνδεση μεταξύ εμπειρίας χρήστη (ΠτΕ) και σημαντικότητας περιεχομένου αλλά επιτυγχάνουν και να τη μετρήσουν.



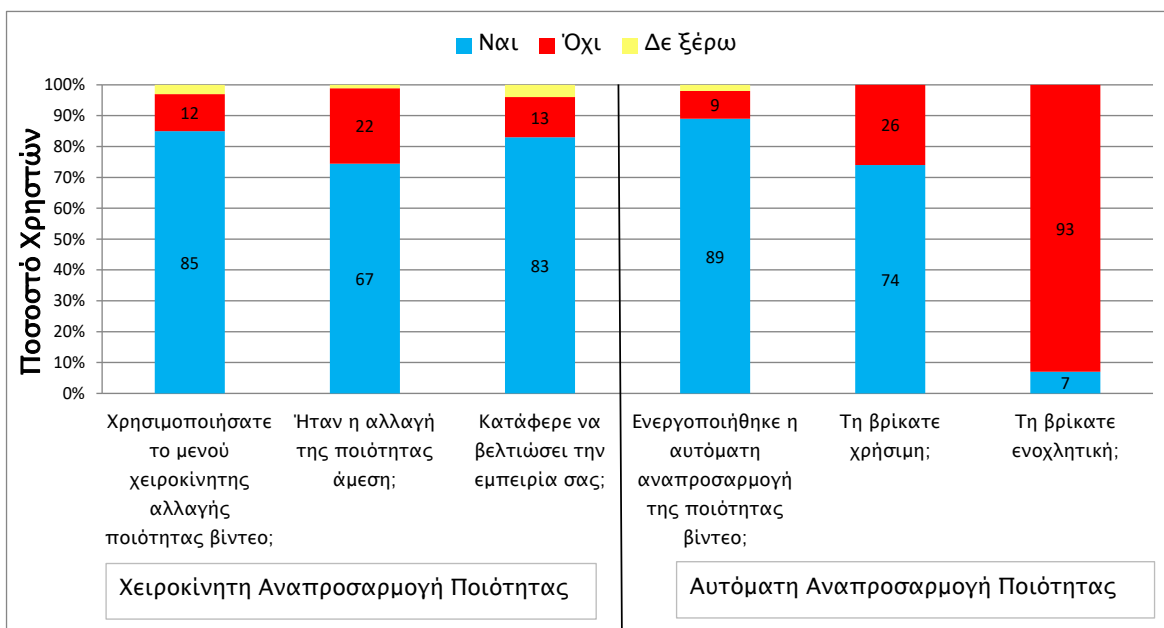
Εικόνα 57: Μέση βαθμολόγηση ανά χρήστη προβλεπμένου και μη περιεχομένου βίντεο

Σύμφωνα με τα ευρήματα, χρήστες με υψηλές απαιτήσεις για περιεχόμενο αυξημένου ενδιαφέροντος καταλήγουν να δίνουν κατά μέσο όρο 17% χαμηλότερες βαθμολογίες στα αντίστοιχα περιεχόμενα βίντεο. Γενικότερα, το παραπάνω συμπέρασμα αποδεικνύει τόσο την προσδοκία των χρηστών για αυξημένη σημαντικότητα περιεχομένου, όσο και τη δυσκολία παράδοσης ποιοτικού περιεχομένου τους ενδιαφερόμενους χρήστες.

8.6.2.3. Αυτόματη και χειροκίνητη αναπροσαρμογή Ποιότητας

Με σκοπό την αξιολόγηση της λειτουργίας και χρησιμότητας της αυτόματης και χειροκίνητης αναπροσαρμογής ποιότητας βίντεο ως χαρακτηριστικό της παροχής υπηρεσίας αναλύουμε διεξοδικά το ενσωματωμένο (στην εφαρμογή) ερωτηματολόγιο.

Τα πιο σημαντικά αποτελέσματα παρήχθησαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του ερωτηματολογίου όπως φαίνεται στο σχήμα της Εικόνα 58 παρακάτω. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως πάνω από το 85% των χρηστών βίωσαν και τις δύο εκδόσεις της εφαρμογής, δοκιμάζοντας το πρόσθετο αυτόματης αναπροσαρμογής ποιότητας βίντεο. Όσον αφορά την χειροκίνητη έκδοση της προσαρμογής ποιότητας το 83% των χρηστών που τη χρησιμοποίησαν ανέφερε ότι κατάφερε να βελτιώσει την εμπειρία τους, ενώ το 67% βρήκε την εκπλήρωση αρκετά γρήγορη και ανταποκρίσιμη ώστε να μη δημιουργήσει άλλα θέματα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πλήθος αναγνωρισμένων παραγόντων επηρεάζει την καθυστέρηση στην αλλαγή της ποιότητας βίντεο, όπως είναι ο τύπος σύνδεσης, η ταχύτητα, η συμφόρηση, χαρακτηριστικά τερματικής συσκευής χρήστη (CPU, RAM), κλπ. Επομένως είναι ασφαλές να συμπεράνουμε ότι η απόδοση της χειροκίνητης αναπροσαρμογής είναι κάτι παραπάνω από αποδεκτή.



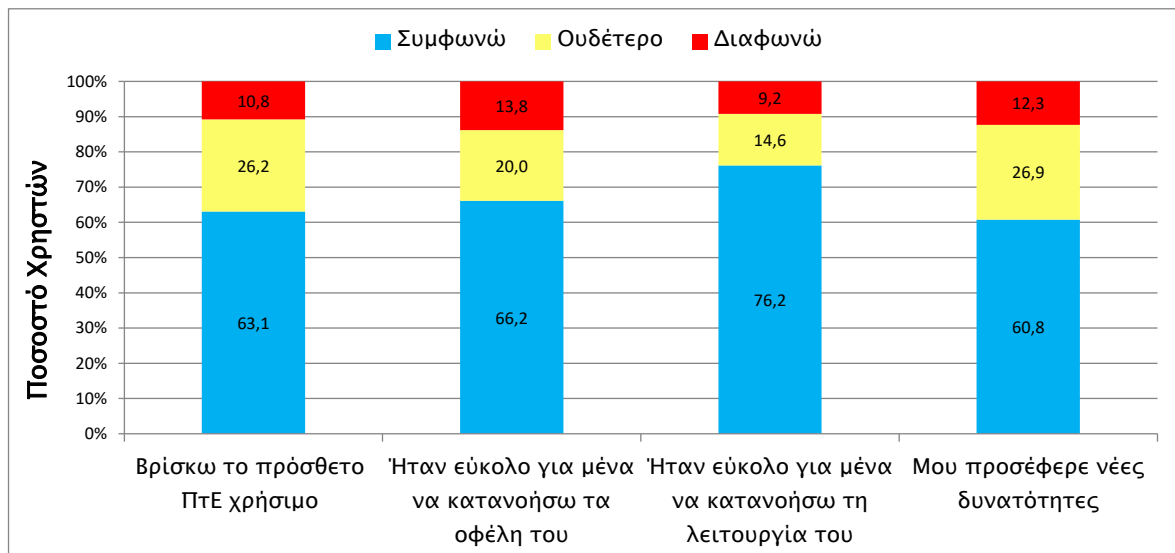
Εικόνα 58: Γνώμη χρηστών για τη χειροκίνητη (αριστερά) και αυτόματη (δεξιά) προσαρμογή ποιότητας

Σε ότι αφορά την αυτόματη αναπροσαρμογή, ως πρόσθετο στοιχείο υπηρεσίας το οποίο αναπροσαρμόζει αυτόματα τη ποιότητα του βίντεο ώστε να ταιριάζει στα χαρακτηριστικά περιεχομένου και του πλαισίου δραστηριότητας παράδοσης όπως περιεγράφηκε στη παράγραφο 8.3.3, το 89% των χρηστών που έλαβε μέρος στο δοκιμαστικό ανέφερε ότι το εν λόγω πρόσθετο ενεργοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της συνεδρίας υπηρεσίας, ενώ κατά προσέγγιση τρεις στους τέσσερις αποκόμισαν από κοινού θετική εικόνα για τη χρησιμότητά του, και μόνο σχεδόν 7% αυτών το χαρακτήρισαν ως μάλλον ενοχλητικό.

8.6.2.4. Αξιολόγηση της λειτουργίας Video Pro

Ως τελευταίο μέρος της αξιολόγησης, έχοντας σαν σκοπό την αποτίμηση της συνολικής αποτελεσματικότητας, της εφαρμοσιμότητας και της προστιθέμενης αξίας της λειτουργίας

Video Pro και κυρίως του πρόσθετου δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας του βίντεο, εξετάζουμε και αναλύουμε τη γνώμη χρηστών βάσει του ενσωματωμένου ερωτηματολογίου στην εφαρμογή. Τα αποτελέσματα εικονίζονται στο σχήμα της Εικόνα 59 παρακάτω όπου γίνεται φανερή η θετική συμπεριφορά των χρηστών στο πρόσθετο χαρακτηριστικό της εφαρμογής Video Pro. Συγκεκριμένα το 63.1% των χρηστών μοιράζονται μία θετική εικόνα για το πρόσθετο χαρακτηριστικό ισχυριζόμενοι ότι το είναι χρήσιμο. Ακόμα περισσότεροι χρήστες (66.2%) δηλώνουν ότι είναι εύκολο για αυτούς να κατανοήσουν τα οφέλη της προτεινόμενης λύσης.



Εικόνα 59: Γνώμη χρηστών στο πρόσθετο χαρακτηριστικό της εφαρμογής Video Pro

Σε μία προσπάθεια να τεκμηριώσουμε την αρνητική εικόνα της μειονότητας των χρηστών (κατά προσέγγιση 10%) μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ίσως να μην υπάρχει καμία συγκεκριμένη ανάγκη να εμπλακεί η χρήση του αυτόματης ή χειροκίνητης προσαρμογής ποιότητας βίντεο. Για παράδειγμα αν θεωρήσουμε την ύπαρξη καλών δικτυακών συνθηκών (δηλαδή υψηλή ταχύτητα δικτύου και καθόλου συμφόρηση) επομένως καθόλου διακοπές υπηρεσίας και κανένα ενδιαφέρον για το περιεχόμενο βίντεο ή την εμπειρία βίντεο αυτή καθ' αυτή, τότε αναμένουμε τα επίπεδα της υποκειμενικής εμπειρίας χρήστη να επαρκούν

ικανοποιητικά χωρίς την ανάγκη για περαιτέρω τροποποιήσεις ή βελτιστοποιήσεις. Τέτοιοι χρήστες θα ήταν αδύνατο να κατανοήσουν τα οφέλη του πρόσθετου ΠτΕ.

Ωστόσο, περισσότεροι από 3 στους 4 χρήστες βρίσκουν το πρόσθετο δυναμικής αναπροσαρμογής ποιότητας βίντεο της εφαρμογής εύκολο στη χρήση, ενώ το πιο υποσχόμενο αποτέλεσμα εμφανίζει περισσότερο από 60% των εμπλεκόμενων χρηστών να αναφέρει ότι θα τους προσέφερε νέες ευκαιρίες για παρακολούθηση πολυμεσικού περιεχομένου σε κινητές συσκευές.

Εκμεταλλευόμενοι τα προηγούμενα αποτελέσματα πραγματικών χρηστών, στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζουμε τις επιχειρησιακές πτυχές της προτεινόμενης εφαρμογής και του πρόσθετου δυναμικής αναπροσαρμογής της ποιότητας βίντεο, επικεντρώνοντας στις τρέχουσες τάσεις και στα κατά το δυνατό αξιοποιήσιμα επιχειρησιακά πλάνα.

9. ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

9.1. Εισαγωγή

Στο πρότυπο πειραματικό περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε, το πλαίσιο παροχής και βελτιστοποίησης δυναμικής ΠτΕ υλοποιήθηκε μέσω της κινητής εφαρμογής Android που υλοποιήθηκε ενώ τα αποτελέσματα της μελέτης αξιολογήθηκαν σε σχέση με τη προοπτική του να προσδώσει προστιθέμενη αξία στην υφιστάμενη βιομηχανία διασυνδεδεμένου βίντεο (online video) και κινητής διαφήμισης (mobile marketing & advertising), μέσω της χρήσης ευέλικτων προσαρμόσιμων και απευθείας εφαρμόσιμων επιχειρησιακών μοντέλων.

Πριν προχωρήσουμε περαιτέρω σε ανάλυση για το πως το πλαίσιο δυναμικής ΠτΕ μπορεί να αξιοποιηθεί επιχειρησιακά σε περιπτώσεις υπηρεσιών σχετικές με προϊόντα (νέα και υφιστάμενα), είναι σημαντικό να δοθεί μία σύνοψη της αγοράς περιεχομένου διασυνδεδεμένου βίντεο (online video) και της προβολής διαφήμισης, εκμεταλλευόμενοι τα χαρακτηριστικά του διασυνδεδεμένου βίντεο (video ad), συμπεριλαμβανομένου των τυπικών κατηγοριοποιήσεων και προτύπων (standards) βίντεο για τα δύο πεδία ενδιαφέροντος, με στόχο τη κατανόηση της υφιστάμενης κατάστασης στη βιομηχανία πολυμέσων όπως και τις μελλοντικές τάσεις.

9.2. Στοιχεία Αγοράς Στόχου

Στην ενότητα αυτή συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά της αγοράς στόχου του επιχειρησιακού πλαισίου μέσα στο οποίο έχει οριστεί η μελέτη μας και η οποία αποτελείται από δύο κύριες κατηγορίες υπο-αγορών:

- Αγορά διασυνδεδεμένου βίντεο τόσο σαν υπηρεσία όσο και σαν αυτόνομο περιεχόμενο (online video marketing & content market), και

- Αγορά ηλεκτρονικής διαφήμισης μέσω διασυνδεδεμένου βίντεο (video advertising market)

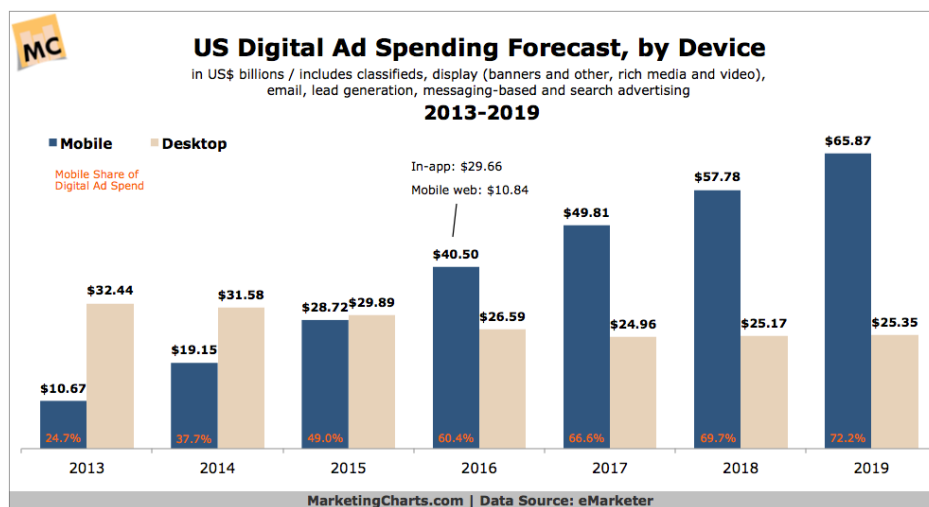
Η ανάλυση των παραπάνω αγορών ως προς τα χαρακτηριστικά τους θα αποτελέσει τη βάση της επιχειρησιακής ανάπτυξης της μελέτης μας σε ότι αφορά το σύνολο και το είδος των συμφεροντούχων, τους ειδικούς ρόλους και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών, τα επιχειρησιακά μοντέλα βάσει των οποίων η προτεινόμενη λύση καθίσταται επικερδής στη τρέχουσα αγορά τεχνολογίας πολυμέσων και τέλος τις ειδικές συνθήκες κάτω από τις οποίες το εκάστοτε επιχειρησιακό μοντέλο καθίσταται βιώσιμο.

9.2.1. Σύνοψη αγοράς διασυνδεδεμένου βίντεο (Online Video Market)

Σύμφωνα με την [83] εκτιμάται ότι στο άμεσο μέλλον ο μέσος χρόνος τον οποίο οι χρήστες θα ξοδεύουν για κατανάλωση υπηρεσιών διασυνδεδεμένου βίντεο αναμένεται να αυξηθεί συνολικά κατά 42% ενώ μέχρι το 2016 αυτό θα γίνει τόσο σε έξυπνες κινητές συσκευές (smartphone) όσο και σε φορητές (tablets). Η αντίστοιχη κατανάλωση βίντεο περιχομένου σε ιδίου τύπου συσκευές θα αυξηθεί κατά 38.4% μέχρι το 2016 ενώ σε μη κινητές συσκευές η κατανάλωση θα συνεχίσει να αυξάνεται όμως με πιο μέτριους ρυθμούς της τάξης του 6.5% στο 2016. Μία μικρή έρευνα σε σχετικές αναφορές αγοράς και τάσεις καταδεικνύει ότι η κινητή θα επικρατήσει τα επόμενα χρόνια ως κύρια πλατφόρμα προβολής και εμπειρίας βίντεο, γεγονός το οποίο αναμένεται να επηρεάσει ακόμα και το ποσοστό τηλεθεατών διασυνδεδεμένης τηλεόρασης επιτραπέζιων συσκευών, ο οποίος από το 2016 και μετά αναμένεται να αποκλίνει με ένα μικρό ποσοστό να μετακινείται προς τη κινητή.

Σε ότι αφορά την ετήσια διαφημιστική δαπάνη κυρίως για διαφήμιση βίντεο και εμπλουτισμένου μέσου (rich media) τα στοιχεία στο [84] - ενδεικτικά για τις ΗΠΑ - είναι αποκαλυπτική σε ότι αφορά την στροφή της διαφημιστικής βιομηχανίας (για προβολή) από

επιτραπέζιες (desktop) σε κινητές διεπαφές μεταξύ 2015 και 2016 ενώ για το 2017 η κυριαρχία της κινητής εκτιμάται ότι θα είναι καθολική.



Εικόνα 60: Εκτίμηση διακύμανσης ετήσιας δαπάνης για διαφήμιση μεταξύ 2013 και 2019

Ως προς το περιεχόμενο αυτό καθ' αυτό, η αγορά του διασυνδεδεμένου βίντεο περιεχομένου (online video content market) μπορεί να κατηγοριοποιηθεί βάσει του τύπου και της διάρκειας του παρεχόμενου περιεχομένου η οποία επηρεάζει το τρόπο με τον οποίο οι υπηρεσίες βίντεο αποφέρουν οικονομικά οφέλη. Ως προς τους παρόχους, το περιεχόμενο μπορεί να είναι είτε προνομιακό (premium) παραγόμενο από επαγγελματίες όπως οίκους μίντια, εταιρίες ψυχαγωγίας (entertainment), διαφημιστικά πρακτορεία (advertising agents) ή επίσης χρηστικο-παραγόμενο (user generated) δηλ προερχόμενο από τους τελικούς χρήστες. Ο τρόπος διανομής μεταξύ αυτών των τύπων περιεχομένου διαφοροποιείται πλήρως. Επιπλέον η διάρκεια του βίντεο παίζει σημαντικό ρόλο όταν υπεισέρχονται θέματα κατηγοριοποίησης περιεχομένου για ευέλικτη αναζήτηση, ανάκτηση ειδικά σε λειτουργίες στοχευμένης διανομής και παράδοσης. Από αυτή την άποψη, σύμφωνα με το [85] το βίντεο περιεχόμενο κατηγοριοποιείται σε μορφότυπο (format) μικρής και μεγάλης διάρκειας. Στη περίπτωση μεγάλης διάρκειας το βίντεο-περιεχόμενο έχει ένα τόξο περιεχομένου (content

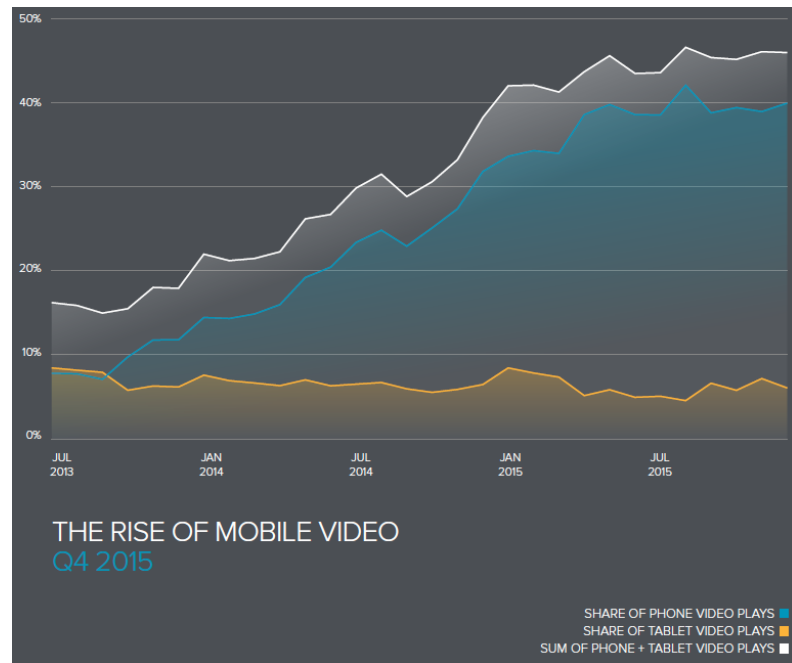
arc) με αρχή, μέση και τέλος το οποίο συνολικά μέσα σε αυτό τυπικά διαρκεί πάνω από 10 λεπτά ενώ η διάρκεια του μικρού βίντεο είναι τις περισσότερες φορές μικρότερο από 10 λεπτά. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια το ποσοστό του χρόνου που καταναλώθηκε για παρακολούθηση βίντεο αυξήθηκε σε όλη την έκταση των συσκευών, το μορφότυπο βίντεο μεγάλης διάρκειας ήταν ξεκάθαρα ο νικητής σε ότι αφορά την ανάπτυξη και δυναμική που επέδειξε, διότι θεωρείται πιο καθηλωτικό με υψηλούς δείκτες ολοκλήρωσης προβολής, γεγονός πολύ σημαντικό για εφαρμογή σε διαφημίσεις [86].

Ο πιο σημαντικός ίσως παράγοντας που καθορίζει και την κατάτμηση αγοράς στο χώρο του βίντεο βασίζεται στο είδος του καναλιού παράδοσης στο τελικό χρήστη. Λίγα χρόνια πριν ο χώρος του διασυνδεδεμένου βίντεο συνδεόταν κυρίως με την εμπειρία προβολής βίντεο στη διεπαφή επιτραπέζιων υπολογιστών. Εξαιτίας της αλματώδους εξέλιξης της τεχνολογίας (νέες συσκευές με προηγμένες δυνατότητες, υποστήριξη λογισμικού & υλικού, αυξημένη χωρητικότητα δικτύου κλπ) καθώς και της δυνατότητας παράδοσης σχεδόν κάθε μορφής βίντεο σε οποιαδήποτε συσκευή, οι καταναλωτές πλέον αναμένουν να είναι σε θέση να ανακτούν και να απολαμβάνουν οποιοδήποτε είδος και τύπο βίντεο οποιαδήποτε στιγμή, γεγονός το οποίο αποτελεί από μόνο του ισχυρή τάση προς τη κατεύθυνση εμπειρίας βίντεο σε πολλαπλές οθόνες. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τους παρόχους υπηρεσίας πολυμέσων οι οποίοι δίνοντας επιλογή στους χρήστες για κατανάλωση υπηρεσιών σε περισσότερα από ένα κανάλια παράδοσης βρίσκουν πρόσφορο έδαφος, καθώς μία τέτοια πρακτική αυξάνει κατακόρυφα τις ευκαιρίες είτε για πώληση διαφορετικών προϊόντων και υπηρεσιών σε υφιστάμενους πελάτες (cross-selling) είτε για πώληση νέων σε νέους πελάτες (up-selling).

Με εξαίρεση τις γνωστές επιτραπέζιες συσκευές, τα πιο σημαντικά κανάλια με υψηλή ανάπτυξη και δυναμική στοχεύουν στη διασυνδεδεμένη τηλεόραση και τις κινητές συσκευές με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **Διασυνδεδεμένη Τηλεόραση (Connected TV):** Δημοφιλείς συσκευές όπως η Έξυπνη Τηλεόραση (Smart TV) και άλλες, όπως κονσόλες ηλεκτρονικών παιχνιδιών (game consoles), media top-boxes, κλπ) χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν τη παράδοση βίντεο συνεχούς ροής στη Τηλεόραση. Ως εκ τούτου συνθέτουν το νέο οικοσύστημα το οποίο ως ραγδαία αναπτυσσόμενο και συνεχώς εξελισσόμενο τείνει να μετατρέψει το μικρό κομμάτι αυτό της αγοράς σε κυρίαρχο σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές ενδιαφέροντος (π.χ. ΗΠΑ). Ως προς την εμπειρία του καταναλωτή, οι θεατές εμφανίζουν τη τάση να παρακολουθούν περιεχόμενο μακράς διάρκειας σε μεγάλες οθόνες όπου είναι δύο φορές πιθανό να ολοκληρώσουν τη προβολή ενός βίντεο σε σχέση με τους θεατές επιτραπέζιων συσκευών, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι οι δεύτεροι είναι περισσότερο καθηλωμένοι [87]. Με τη γρήγορη εξάπλωση της διασυνδεδεμένης τηλεόρασης είναι επίσης αρκετά πιθανό σύντομα να βιώσουμε άτακτες αλλαγές που θα μεταμορφώσουν την βιομηχανία της τηλεόρασης απομακρύνοντάς την από το τυπικό μοντέλο τηλεόρασης ευρυ-εκπομπής (broadcast TV) σε ένα εκρηκτικό μίγμα βίντεο περιεχομένου μακράς διάρκειας και προνομιακού online βίντεο για κατανάλωση σε διασυνδεδεμένες συσκευές προηγμένων δυνατοτήτων (π.χ. υπερ υψηλή ανάλυση οθόνης).
- **Κινητές Συσκευές:** Όπως έξυπνα τηλέφωνα (smartphones) και πινακίδια ή ταμπλέτες (tablets), αποτελούν ξεκάθαρα τα πιο σημαντικά νέα κανάλια παράδοσης τα οποία εκτιμάται ότι θα παραμείνουν κυρίαρχα για πολλά ακόμη χρόνια με συνεχή και ραγδαία εξέλιξη ειδικά στο κομμάτι της κατανάλωσης βίντεο. Πρόσφατες έρευνες [88] αποδεικνύουν ότι τουλάχιστον οι μισές προβολές βίντεο περιεχομένου έγιναν και συνεχίζουν σταθερώς αυξητικά να γίνονται σε κινητές συσκευές τα επόμενα χρόνια. Τέλος σε ότι αφορά τους παρόχους ή ιδιοκτήτες περιεχομένου η τάση παραμένει να

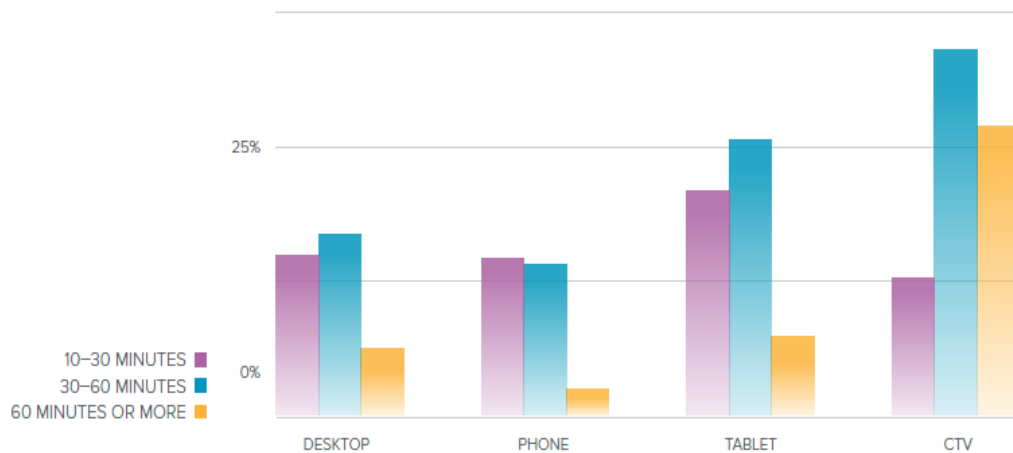
είναι παράδοση του καλύτερου περιεχομένου «εδώ και τώρα» σε οποιαδήποτε συσκευή με όσο το δυνατό ευκολότερη και ευέλικτη εμπειρία προβολής (Εικόνα 61 παρακάτω).



Εικόνα 61: Αύξηση κινητού βίντεο

Συμπερασματικά φαίνεται ότι το περιεχόμενο θα συνεχίσει και τα επόμενα χρόνια να παραδίδεται μέσα από διασυνδεδεμένα κανάλια (π.χ. online TV) προς όλα τα είδη συσκευών. Η ειδοποιός διαφορά πλέον έγκειται στη χρονική διάρκεια του προβαλλόμενου βίντεο περιεχομένου στις συσκευές αναπαραγωγής, όπου γίνεται διάκριση μεταξύ μακράς-διάρκειας (long-form video) (όπου κυριαρχεί η διασυνδεδεμένη τηλεόραση) και μικρής διάρκειας (short-form video) (με επικράτηση των κινητών συσκευών) (Εικόνα 62). Με το τρόπο αυτό αφενός μεν οι τιμές περιεχομένου μπορούν να μειωθούν και αφετέρου οι πάροχοι μπορούν ευέλικτα να σχεδιάσουν νέους τρόπους παράδοσης περιεχομένου χωρίς να σπαταλούν το διαθέσιμο όριο όγκου δεδομένων των συνδρομητών (π.χ. LTE, 4G χρήστες). Για παράδειγμα η δημοφιλής εταιρία παροχής περιεχομένου NETFLIX [89] πλέον υλοποιεί κωδικοποιημένες εκδόσεις περιεχομένου για εξοικονόμηση εύρους ζώνης χρήστη

μέσω καλύτερης συμπίεσης βίντεο κατάλληλη για εξειδικευμένη προβολή σε κινητές συσκευές τύπου πορτοφόλι (pocketbooks) [88].



Εικόνα 62: Κατανομή χρόνου προβολής ανά είδος διασυνδεδεμένης συσκευής [88]

Πραγματικό στοίχημα στη βιομηχανία του βίντεο αποτελεί η παροχή της απαραίτητης χωρητικότητας ανά φορέα (πραγματικό, αποτελεσματικό και δυναμικά διατιθέμενο εύρος ζώνης ανά χρήστη) για τη κατανάλωση πολυμεσικών υπηρεσιών με περιεχόμενο υψηλής εμπειρίας χρήστη, ή διαφορετικά το πως θα ανταποκριθούν αυτοί στην αυξανόμενη ζήτηση για πόρους και ταχύτητες. Η προκαθορισμένη προσβασιμότητα της τεχνολογίας WiFi από τις έξυπνες κινητές συσκευές (smartphones) έχει διώξει το βάρος εξεύρεσης εύρους ζώνης από τα δίκτυα παρόχων κινητής τηλεφωνίας, ενώ ταυτόχρονα έχει συνεισφέρει σε καλύτερη εμπειρία πλοήγησης για άλλους χρήστες π.χ. ευρισκόμενους σε κτίριο (on-premise users) είτε αυτό είναι χώρος σπιτιού, εργασίας ή εμπορικό κέντρο, κλπ. Εάν οι πάροχοι περιεχομένου περιορίζαν τα δεδομένα τους μέσω διαβαθμισμένων προγραμμάτων υψηλής τιμολόγησης για να διατηρήσουν χαμηλά κόστη λειτουργίας, τότε η αληθινή εμπειρία κινητού βίντεο θα ήταν περιορισμένη και θα είχε να κάνει κυρίως με τη διαθεσιμότητα του WiFi (χρήστες σε κτίριο).

9.2.2. Σύνοψη αγοράς ηλεκτρονικής διαφήμισης μέσω διασυνδεδεμένου βίντεο (online video advertising)

Η βιομηχανία παραγωγής, διανομής και παράδοσης διασυνδεδεμένου βίντεο αλλά και διαφήμισης μέσω αυτού, γνωρίζει εκρηκτική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια και θα συνεχίσει να αναπτύσσεται με αντίστοιχους ρυθμούς στα επόμενα. Το βίντεο σε όλες τις μορφές του παραμένει να αναδεικνύεται κυρίαρχο ως το κορυφαίο μέσο ψηφιακής διαφήμισης τόσο σε επιτραπέζιες (desktop) όσο και κινητές διεπαφές χρήστη. Ειδικότερα η παράδοση εμπλουτισμένου περιεχομένου βίντεο σε κινητές συσκευές τελευταίας γενιάς (smartphones, tablets) θεωρείται ήδη κινητήριος δύναμη κατανάλωσης διαφήμισης για τα επόμενα χρόνια αφού οι διαφημιστές πιέζουν ολοένα και περισσότερο για την απόκτηση δικαιωμάτων προβολής διαφημιστικών σποτ σε οντότητες περιεχομένου βίντεο αφού ο ρυθμός προβολής τους σήμερα ολοένα αυξάνει ειδικά στη κινητή.

Σύμφωνα με το [90], τα έσοδα από τη προβολή κινητής διαφήμισης πάνω σε περιεχόμενο διασυνδεδεμένου βίντεο εκτιμάται ότι θα τριπλασιαστούν σε σχέση με εκείνα των επιτραπέζιων υπολογιστών μέχρι το 2020 (Εικόνα 63). Επίσης το διασυνδεδεμένο βίντεο σαν μέσο κερδίζει ταχύτατα καθολική αποδοχή σε εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης όπως το Facebook, λόγω εκμετάλλευσης χαρακτηριστικών όπως αυτόματη προβολή βίντεο και αναπαραγωγή διαφημιστικών οντοτήτων κατά τη διάρκεια πλοήγησης του χρήστη στο περιβάλλον και το περιεχόμενο της εφαρμογής.



Εικόνα 63: Εκτιμώμενα έσοδα από διαφήμιση σε online βίντεο [90]

Από τα προηγούμενα γίνεται προφανές ότι η αλματώδης αύξηση της κατανάλωσης περιεχομένου διασυνδεδεμένου βίντεο θα έχει σαν αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση της ζήτησης για διαφημιστικό χώρο ως μέρος του προβαλλόμενου βίντεο.

Σύμφωνα με το [90] προβλέπεται ότι στις ΗΠΑ η τρέχουσα αγορά διασυνδεδεμένου βίντεο να ξεπεράσει τα 1.5 δις \$ το 2016 με σταθερά ανοδικές τάσεις. Επιπλέον όπως εξηγήθηκε προηγουμένως το διασυνδεδεμένο βίντεο θεωρείται ως το ταχύτερα ανερχόμενο μέσο για προβολή ψηφιακής διαφήμισης παρέχοντας ποικιλία δημοφιλών μορφότυπων όπως διαφημίσεις αναζήτησης και προβολής και άλλων όπως διαφήμιση εμπλουτισμένων μέσων (rich media advertising) ειδικά μέσω εφαρμογών κοινωνικών δικτύων (π.χ. Facebook).

Σύμφωνα με το [90], τα χαρακτηριστικά και οι τάσεις της αγοράς διαφήμισης διασυνδεδεμένου βίντεο μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω:

- Η υπηρεσία βίντεο σαν κανάλι διαφήμισης αντικαθιστά ταχύτερα τη προβολή διαφήμισης σε επιτραπέζιες διεπαφές και θα την υπερκεράσει σε ποσοστό 41% της συνολικής δαπάνης μέχρι το 2020 από το μερίδιο του 26% που είναι σήμερα

- Η βιντεο-διαφήμιση εκπληρώνει καλύτερα σε σχέση με το βίντεο στις κλασικές σταθερές διεπαφές χρήστη. Στη περίπτωση βίντεο σταθερούς ροής, συμπεριλαμβανημένου διαφημίσεων που παίζουν στην αρχή, κατά τη διάρκεια και μετά από το κεντρικό βίντεο, προέκυψαν αναλογίες κλικ/εμφανίσεων (click-through rates, CTRs) 18 φορές μεγαλύτερες από εκείνες σε HTML5 banners
- Τα δημοφιλή κοινωνικά δίκτυα (facebook, Instagram, twitter) έχουν ήδη εισαγάγει νέα προϊόντα διαφήμισης βάσει διασυνδεδεμένου βίντεο. Το ονόματι «κοινωνικό» βίντεο προσφέρει τεράστια πλεονεκτήματα από τη σκοπιά του διαφημιστή γιατί του δίνει την ευκαιρία για απευθείας έκθεση (exposure) σε τεράστια κινητά εγγενή ακροατήρια χρηστών, για προηγμένη στόχευση πελατών και υποστήριξη διαφημιστικών οντοτήτων με εγχώρια χαρακτηριστικά.
- Ακόμα και αν οι τιμές τους είναι υψηλές με εντυπωσιακά αποτελέσματα, οι διαφημίσεις βάσει βίντεο δημιουργούν ένα ενδιαφέρον πλήθος προκλήσεων σε ότι αφορά την ικανότητα προβολής (viewability), μέγεθος το οποίο εξαρτάται ισχυρά από την ποιότητα του βίντεο συνολικά και την εμπειρία χρήστη.

9.3. Επιχειρησιακή Προοπτική

Στη ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι επιχειρησιακές προοπτικές της προτεινόμενης λύσης σε ότι αφορά την άμεση υιοθέτηση, ενσωμάτωση και εκμετάλλευσή της στη τρέχουσα αλλά και μελλοντική αγορά κινητών επικοινωνιών και πολυμέσων. Η προτεινόμενη προσέγγιση παροχής δυναμικής προσαρμογής ΠτΕ, ως πρόσθετη λειτουργικότητα (add-on) βελτιστοποίησης σε συστήματα παράδοσης πολυμεσικού περιεχομένου και υποστήριξης ποιότητας υπηρεσιών (ΠτΥ), εμπλέκει ενεργά το εκάστοτε επιχειρησιακό μοντέλο που εφαρμόζεται από τον αντίστοιχο πάροχο υπηρεσίας και για το

λόγο αυτό γίνεται επιτακτική η ανάγκη να εξεταστεί αναλυτικά η αλληλεπίδραση μεταξύ των κύριων συμφεροντούχων (stakeholders) στην εν λόγω αλυσίδα αξίας (value chain) που εισάγει η λύση αυτή καθ' αυτή. Προς τη κατεύθυνση αυτή η συγκεκριμένη ενότητα αναλύει τις βασικές επιχειρησιακές απαιτήσεις, τα χαρακτηριστικά των κύριων συμφεροντούχων καθώς και τα οφέλη τους από την εκμετάλλευση της λύσης και τέλος από τη γνώση και εμπειρία που αποκτήθηκε στη διάρκεια υλοποίησης της κινητής εφαρμογής, προτείνεται ένα πλήθος επιχειρησιακών μοντέλων τα οποία και συζητούνται στα επόμενα.

9.3.1. Επιχειρησιακοί Παίχτες και Συμφεροντούχοι

Υιοθετώντας το κατακερματισμένο (fragmented) μοντέλο αγοράς όπου διάφορα σχήματα διαμοιρασμού εσόδων (revenue sharing) μπορούν να ενσωματωθούν, οι επιχειρησιακές οντότητες κλειδιά ή συμφεροντούχοι που ενδιαφέρουν στη περίπτωση μας είναι:

- Ο πάροχος υπηρεσίας ή εφαρμογής SP (Service/Application provider),
- Ο πάροχος δικτύου ή δικτυακής πρόσβασης NP (access Network Provider),
- Ο πάροχος περιεχομένου βίντεο CP (Content Provider) και τέλος
- ένα πλήθος τρίτων π.χ. από το χώρο της διαφήμισης και του μάρκετινγκ.

Ο πάροχος υπηρεσίας SP είναι ο κυρίαρχος συμφεροντούχος ο οποίος ωφελείται απευθείας από τη πώληση της λύσης υπό τη μορφή αυτόνομης εφαρμογής στους πελάτες.

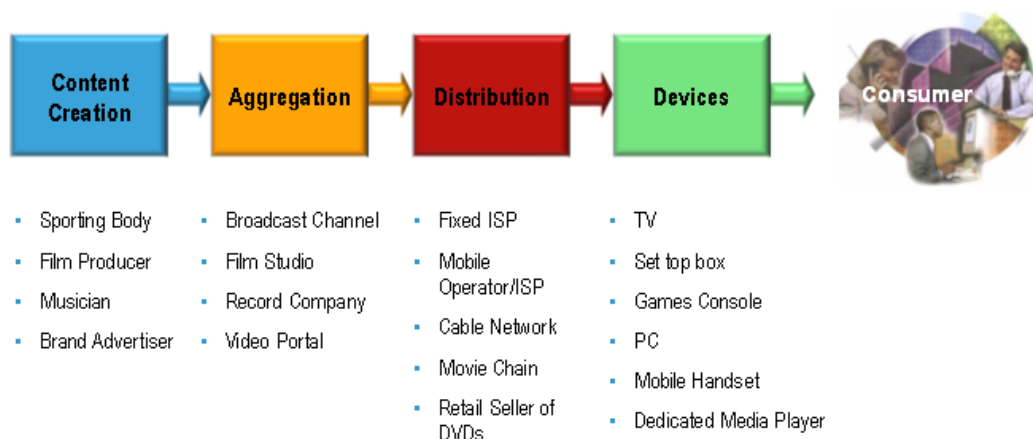
Ο πάροχος περιεχομένου CP διατηρεί το δικό του μερίδιο από τη παροχή σε 24/7 βάση διαφορετικών κωδικοποιημένων εκδόσεων της εκάστοτε οντότητας περιεχομένου (π.χ. βίντεο κλιπ) ενώ εγγυάται επίσης τη ποιοτική παράδοσή του εφαρμόζοντας κατάλληλη προηγμένη τεχνολογία παράδοσης π.χ. βίντεο συνεχούς ροής (streaming).

Ο πάροχος δικτυακής πρόσβασης NP (π.χ. κινητός πάροχος ή mobile operator) απαιτεί επίσης μερίδιο για τη παροχή πρόσβασης στο περιεχόμενο της εφαρμογής από τους κινητούς χρήστες όπως και για να εγγυηθεί τη διατήρηση των απαιτούμενων επιπέδων ΠτΥ όπως αυτά καθορίζονται στις προδιαγραφές εμπειρίας ποιότητας της εφαρμογής. Αυτό μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί από ένα **μεσίτη ΠτΥ (QoS Broker)** ο οποίος δρα σαν τρίτος και έχει τη δυνατότητα να παρέχει ένα πλήθος από διαφορετικά επίπεδα ΠτΥ για κάθε ανάγκη και περίσταση προερχόμενα από έναν ή περισσότερους φορείς (operators) ή δικτυακούς παρόχους.

Άλλες σημαντικές επιχειρησιακές οντότητες που αναζητούν τρόπους προβολής και προώθησης προϊόντων, μπορούν επίσης να ωφεληθούν μέσω ενεργειών κινητής διαφήμισης και μάρκετινγκ όπως π.χ. κινητές καμπάνιες (mobile campaigns, SMS/MMS) οι οποίες υλοποιούνται μέσω λειτουργιών εξυπηρέτησης διαφήμισης (ad network, ad serving), εμφάνιση και προβολή στη διεπαφή χρήστη της εφαρμογής (π.χ. σαν banner), κλπ.

Τέλος άλλοι επίσης επιχειρησιακοί παράγοντες (actors) και παίκτες (players) σε διαφορετικά σχήματα (π.χ. συναθροιστές υπηρεσιών ή aggregators) θα μπορούσαν να εμπλακούν κατάλληλα (σε σχέση πάντα με το υφιστάμενο επιχειρησιακό μοντέλο) και να δραστηριοποιηθούν προς όφελός όλων των υπολοίπων προσφέροντας απλοποίηση των υφιστάμενων επιχειρησιακών διαδικασιών.

Το γενικό σχήμα αλληλεπίδρασης των κύριων συμφεροντούχων (όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω) στην αλυσίδα αξίας της αγοράς παράδοσης πολυμέσων (υπηρεσιών και περιεχομένου) απεικονίζεται στην Εικόνα 64.



Εικόνα 64: Γενικό σχήμα αλληλεπίδρασης συμφεροντούχων πολυμέσων

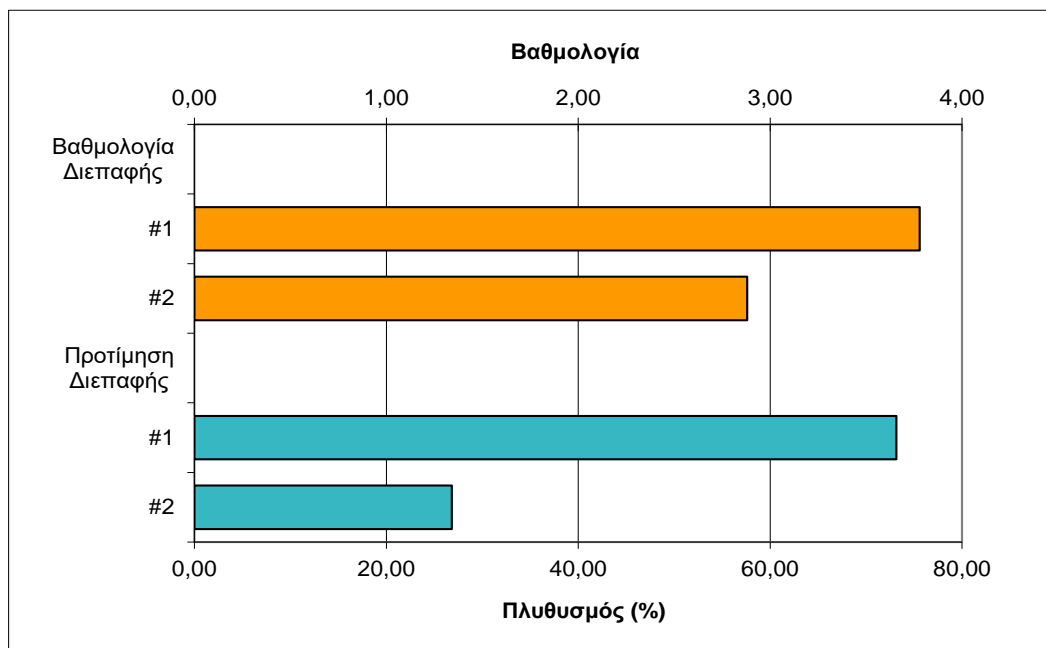
9.3.2. Επιχειρησιακές Απαιτήσεις και Οφέλη

Η προτεινόμενη από τη παρούσα μελέτη λύση συγκεντρώνει πλήθος από ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά τα οποία επιδρούν στην επιχειρησιακή εκμετάλλευσή της, ιδιαίτερα στο Επιχείρηση-προς-Καταναλωτή (B2B ή Business-to-Customer) περιβάλλον, τα οποία με τη σειρά τους επιβάλλουν ένα πλήθος αντίστοιχων απαιτήσεων. Ειδικότερα, οι βασικές B2C απαιτήσεις μπορούν εύκολα να εξαχθούν από τη γενική αρχιτεκτονική της λύσης που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα και ανεξάρτητα από το επιχειρησιακό μοντέλο που εφαρμόζεται μπορούν να ταυτοποιηθούν ανά αντικείμενο ενδιαφέροντος ως:

- **Πληροφορία Ποιότητας Βίντεο:** Παρέχει τα διαθέσιμα επίπεδα ποιότητας περιεχομένου (Βέλτιστη, Καλή, Κανονική, Κακή, Χείριστη) μέσω της διεπαφής χρήστη
- **Μοντέλο Κόστους ανά επίπεδο:** Παρέχει πληροφορία κόστους σε τοπικό νόμισμα ή παρόμοια για χρέωση βάσει μονάδων που καταναλώνονται που αντιστοιχούν στο πραγματικό κόστος ανά επίπεδο ποιότητας που χρησιμοποιήθηκε για τη συγκεκριμένη συνεδρία ή περιεχόμενο.

- **Αξιολόγηση μετά τη προβολή:** Δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης της εμπειρίας χρήστη με σκοπό τη συλλογή δεδομένων για τη συνολική λειτουργία της υπηρεσίας ή της συνεδρίας/περιεχομένου που έλαβε χώρα.

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας ερωτηματολογίου (Εικόνα 65) που διεξήχθη στην πρώτη πειραματική εφαρμογή μας και περιγράφεται στο Κεφάλαιο 6, αποκαλύπτεται πως η πιο κατάλληλη και ελκυστική Διεπαφή Γραφικών Χρήστη (GUI ή Graphical User Interface) θα πρέπει μοιάζει με εκείνης της Εικόνα 31 (προβολή όλων των διαθέσιμων επιλογών στον χρήστη). Ειδικότερα μελετώντας και αναλύοντας τις αλληλεπιδράσεις αλλά και προτιμήσεις των χρηστών παρατηρείται ότι παρόλο που και οι δύο παραλλαγές της διεπαφής πέτυχαν υψηλές βαθμολογίες, η πλειονότητα των χρηστών προτίμησε τη διεπαφή πολλαπλών επιλογών.



Εικόνα 65: Βαθμολογίες και προτιμήσεις γραφικής διεπαφής χρήστη

9.3.3. Ο Ρόλος της Ποιότητας στη Βιομηχανία Διασυνδεδεμένου Βίντεο

Στην ενότητα αυτή εξετάζεται η επίδραση των εννοιών ΠτΥ και ΠτΕ στην βιομηχανία του διασυνδεδεμένου βίντεο όπως αυτό παραδίδεται και καταναλώνεται από τους χρήστες κινητών και φορητών συσκευών.

Όπως έγινε φανερό από τη μέχρι τώρα ανάλυση η εν λόγω μελέτη κινείται στα πρώιμα στάδια μιας επερχόμενης έκρηξης για ζήτηση υπηρεσιών και περιεχομένου διασυνδεδεμένου βίντεο μέσω νέων και αναδυόμενων καναλιών παίζοντας ένα πολύ σημαντικό ρόλο. Παράλληλα καλείται να ικανοποιήσει την ανάγκη καθορισμού κατάλληλων προτάσεων για τη παροχή επιχειρησιακών μοντέλων εκμετάλλευσης και σχημάτων οικονομικής ωφέλειας τα οποία να υποστηρίζουν καθολικά το οικοσύστημα του διασυνδεδεμένου βίντεο στη μορφή που υφίσταται σήμερα. Μία από τις πιο κρίσιμες εξαρτήσεις η οποία θα επηρεάσει την ανάπτυξη του διασυνδεδεμένου βίντεο, ειδικά στο κομμάτι της κινητής είναι εκείνο της διαθεσιμότητας δικτυακών πόρων το οποίο επηρεάζεται τόσο από τα αυξανόμενα μεγέθη του ακροατηρίου των χρηστών όσο και από τη συνεχή ανάγκη βέλτιστης εμπειρίας θέασης.

Όσο ο ανταγωνισμός γίνεται σκληρός, η έννοια της αντιλαμβανόμενης ποιότητας από το χρήστη θα γίνεται ακόμα πιο σημαντικός παράγοντας σύγκρισης και διαφοροποίησης ο οποίος θα επηρεάζει πάντα την επιτυχία και αποδοχή των σχετικών χαρακτηριστικών υπηρεσιών βίντεο. Η ποιότητα της υπηρεσίας (ΠτΥ), της οποίας ο ρόλος είναι να εγγυηθεί τη παράδοση των επιπέδων βέλτιστης ποιότητας βίντεο, κυρίως σχετίζεται με τεχνικές παραμέτρους εκπλήρωσης και ποιότητας ή KPIs (Key Performance Indicators), και είναι μόνο ένα υποσύνολο του συνολικού πλαισίου ΠτΕ όπως έχει ήδη επεξηγηθεί στη φάση ανάλυσης βασικών εννοιών της μελέτης. Ακόμα και αν σε αρκετές περιπτώσεις μέσα σε ένα δοσμένο δίκτυο, η ΠτΥ θα έχει σαν αποτέλεσμα μία καλύτερη ΠτΕ εκπληρώνοντας όλες τις παραμέτρους κίνησης της ΠτΥ, δεν θα είναι σε θέση να εγγυηθεί έναν ικανοποιημένο

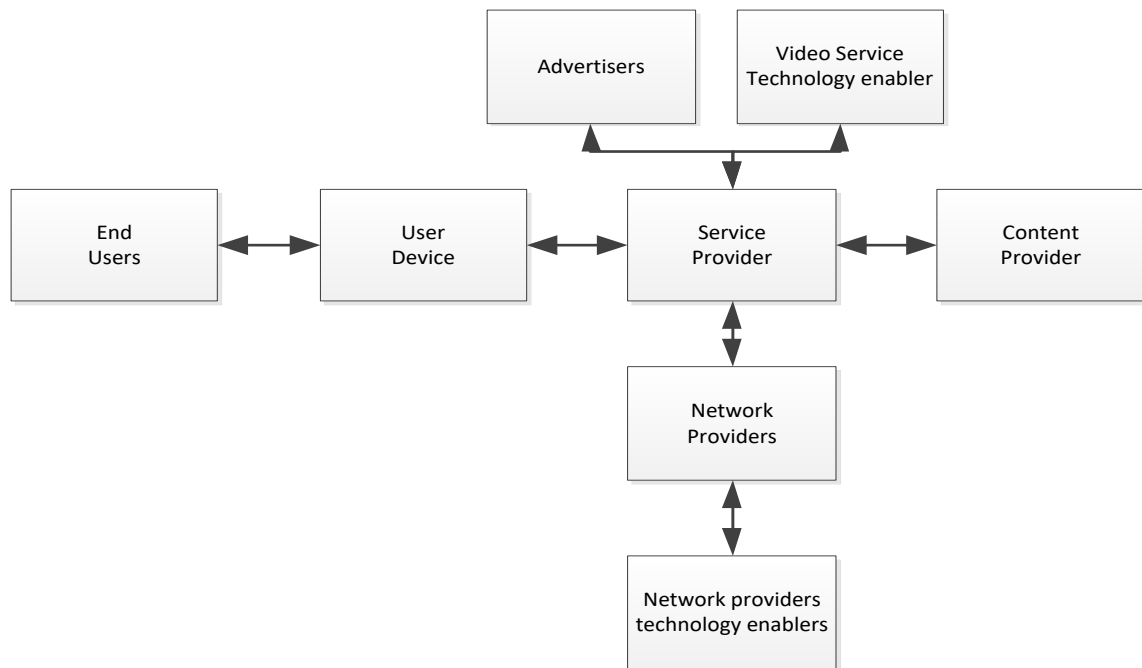
χρήστη. Επομένως σε ότι αφορά την επένδυση θα πρέπει το παράγοντα ΠτΕ κάποιος να τον χειριστεί ανεξάρτητα.

Από τη πλευρά του παρόχου δικτύου ή δικτυακής πρόσβασης, η παροχή και βελτίωση της ΠτΕ τελικού χρήστη εξαρτάται ισχυρά από το πόσο καλά αυτοί εννοχηστρώνουν μία πολύπλοκη αλυσίδα αξιών (Εικόνα 66) η οποία αποτελείται από τις παρακάτω οντότητες:

- **Τελικοί χρήστες (End Users):** αποτελούν τους καταναλωτές του εκάστοτε βίντεο περιεχομένου και οι οποίοι με τις απαιτήσεις τους καθορίζουν πάντα τη μελλοντική ανάπτυξη της βιομηχανίας βίντεο. Η παροχή δυνατότητας θέασης βίντεο περιεχομένου σε όλα τα διαφορετικά κανάλια παράδοσης με αποδεκτά επίπεδα αντιλαμβανόμενης ποιότητας από τους χρήστες, θα έχει σαν αποτέλεσμα σημαντικές αλλαγές και μετατόπιση της αγοράς οι οποίες θα μεταμορφώσουν συνολικά τη βιομηχανία διασυνδεδεμένου βίντεο εισάγοντάς την στην μαζική αγορά.
- **Συσκευές (Mobile, tablet, connected TV, κλπ):** καθώς και γηγενές λογισμικό/firmware που τρέχει σε αυτά, χρησιμοποιούνται από του τελικούς χρήστες και φέρουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά και δυνατότητες υλισμικού (hardware) για την επιτυχή υποστήριξη της εμπειρίας βίντεο συνεχούς ροής.
- **Πάροχοι Υπηρεσίας (Service Providers):** παραδείγματα αυτών είναι εκδότες (ως δημιουργοί περιεχομένου), ιστοσελίδες, κινητές εφαρμογές ή εφαρμογές τηλεόρασης, κλπ. Ειδικά στο κινητό κομμάτι οι πάροχοι υπηρεσίας θα μπορούσαν να είναι ταυτόσημες οντότητες με τους παρόχους δικτύου ή φορείς επικοινωνιών (operators) οι οποίοι επιτρέπουν την άμεση οικονομική εκμετάλλευση οποιασδήποτε εκ των υπηρεσιών (συμπεριλαμβανομένου των ΠτΥ και ΠτΕ) βάσει του μοντέλου “walled garden” όπως εξηγήθηκε παραπάνω.
- **Πάροχοι Περιεχομένου (Content Providers):** πολύ σημαντικοί στην αλυσίδα αξίας πολυμέσων επειδή το βίντεο περιεχόμενο σαν οντότητα είναι το πραγματικό προϊόν που

καταναλώνεται από τους τελικούς χρήστες σε κάθε περίπτωση. Το περιεχόμενο θα μπορούσε να είναι είτε προνομιακό (premium) δηλ επαγγελματικά κατασκευασμένο είτε παραγόμενο από το τελικό χρήστη δηλ όπως λέγεται τύπου USC (User Generated Content). Το τελευταίο είναι πολύ διαδεδομένο και δημοφιλές αφού συναντάται πάντα σε κοινωνικά δίκτυα, δεν έχει σοβαρούς περιορισμούς αναπαραγωγής και δικαιώματα χρήσης και επομένως διανέμεται και καταναλώνεται με ραγδαίους ρυθμούς.

- **Διαφημιστές (brands, agencies):** χρησιμοποιούνται για την άμεση οικονομική εκμετάλλευση τελικών υπηρεσιών βασισμένες στο βίντεο όπου (όπως φάνηκε και από τα αποτελέσματα της μελέτης μας) τα επίπεδα ποιότητας παίζουν ένα σημαντικό ρόλο σαν κινητήριο δύναμη της διαφήμισης καθώς και της αποτελεσματικότητας αυτής.
- **Συντελεστές Τεχνολογίας Υπηρεσιών Βίντεο (video service technology enablers):** όπως πλατφόρμες υποστήριξης βίντεο τεχνολογίας, δίκτυα υλοποίησης και παράδοσης βίντεο διαφήμισης και δίκτυα διανομής περιεχομένου όπως τα CDNs. Ο ρόλος τους είναι να διευκολύνουν τους παρόχους υπηρεσιών να παραδώσουν τις υπηρεσίες τους στους τελικούς χρήστες.
- **Πάροχοι Δικτύου** όπως κινητοί πάροχοι-φορείς επικοινωνίας (operators) οι οποίοι παρέχουν το μέσο για τη υλοποίηση τελικών υπηρεσιών που παραδίδονται στους χρήστες.
- **Πάροχοι Τεχνολογικής Υποδομής Δικτύου:** οι οποίοι παρόλο που δεν φαίνονται στο τελικό χρήστη καθιστούν ικανά όλα τα παραπάνω δομικά στοιχεία της αλυσίδας αξίας.



Εικόνα 66: Συμφεροντούχοι και Αλυσίδα Αξίας βίντεο με Ποιότητα

Στα επόμενα χρόνια η ΠτΕ σαν υπηρεσία προστιθέμενης αξίας αναμένεται να αποτελέσει πεδίο διαμάχης στη βιομηχανία βίντεο καθώς τόσο οι εκδότες (εκδοτικοί οίκοι περιεχομένου) όσο και οι πάροχοι υπηρεσίας και πάροχοι περιεχομένου θα αναζητήσουν τρόπους για να κερδίσουν περισσότερα και να διατηρήσουν νέους πελάτες στην επερχόμενη εποχή των υπηρεσιών τριών οθονών (three-screen services). Πρόκειται για μία υπηρεσία βίντεο πολλαπλών οθονών όπου ο πάροχος εξασφαλίζει την ταυτόχρονη παράδοση του ίδιου προβαλλόμενου βίντεο περιεχομένου σε πολλαπλά μορφότυπα (διφυορρυθμών, αναλύσεις, κωδικοποιήσεις, κλπ) για προβολή από συσκευές χρηστών διαφόρων ειδών όπως τηλεόραση, κινητό, τάμπλετα, φορητός και επιτραπέζιος υπολογιστής. Επιπρόσθετα άλλες συσκευές θα μπορούσαν επίσης να είναι κονσόλες βιντεο παιχνιδιών (π.χ. Xbox 360) διαδικτυακή τηλεόραση, κλπ. Η επίτευξη υψηλότερων επιπέδων της ΠτΕ στη παράδοση βίντεο από οποιοδήποτε πάροχο θα πρέπει να θεωρείται ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, επειδή ένα τέτοιο περιεχόμενο προς κατανάλωση συνδέεται με τα ακριβότερα τέλη

δέσμευσης (engagement) που αυξάνει τις ευκαιρίες πωλήσεων up-sale και cross-sale και ξεχωρίζει τους πιο επιτυχημένους στον ανταγωνισμό.

Η ανάγκη για περισσότερη ΠτΕ στα πολυμέσα είναι ιδιαίτερα σημαντική στον κόσμο των κινητών επικοινωνιών, όπου το εύρος ζώνης είναι περιορισμένο και οι συνδεδεμένες με το περιβαλλοντικό πλαίσιο μεταβλητές αλλάζουν συχνά.

Στο πεδίο της διαφήμισης μέσω βίντεο, παρόλο που το μέγεθος της οθόνης προβολής παίζει αρκετά σημαντικό ρόλο, το δημιουργικό περιεχόμενο και το πλαίσιο προβολής του βίντεο στη πραγματικότητα είναι πιο σημαντικά στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας της διαφήμισης σε όλα τα διαφορετικά μέσα προβολής (διασυνδεδεμένη τηλεόραση, κινητές συσκευές, υπολογιστές, κλπ). Η ποιότητα της διαφήμισης δημιουργικά αναπαραγομένη έχει μεγάλη επίδραση στην αποτελεσματικότητά της, προφανώς επειδή όσο περισσότερο η διαφήμιση αρέσει στους καταναλωτές τόσο καλύτερα ανακαλείται στη μνήμη. Τέλος το πλαίσιο και περιβάλλον παρακολούθησης έχει επίσης μεγάλη σημασία, όχι μόνο επειδή κάνει το περιεχόμενο περισσότερο καθηλωτικό, αλλά επίσης επειδή η φυσική τοποθεσία και θέση του θεατή (χρήστη), π.χ. σπίτι στο κρεβάτι του ή σε άλλα αναπαυτικά σημεία, παίζει σημαντικό ρόλο. Όσο λιγότερες οι αποσπάσεις της προσοχής του χρήστη/θεατή, τόσο μεγαλύτερη του είναι η προσοχή στην εκάστοτε διαφημιστή οντότητα.

Η συνεχώς αυξανόμενη σημασία που δίνεται στο ρόλο της ΠτΕ θα ακολουθηθεί από αλλαγές στα χαρακτηριστικά κλειδί και τους ρόλους των συμφεροντούχων στην αλυσίδα αξίας. Για παράδειγμα η βελτιστοποίηση βίντεο βάσει πλαισίου και περιβάλλοντος παρακολούθησης για την επίτευξη μεγαλύτερων βαθμολογήσεων ΠτΕ ανά πελάτη, η οποία είναι εξαιρετικά εφαρμόσιμη στο κινητό κανάλι, θα αποτελέσει περιοχή έρευνας και προφανώς νέοι παίχτες που προσφέρουν τέτοια προϊόντα θα μπουν στην αγορά.

Επειδή η ΠτΕ απαιτεί συνεχή βελτιστοποίηση, οι προμηθευτές εξοπλισμού όλο και περισσότερο θα παρέχουν υποστήριξη για παρακολούθηση της ΠτΕ με τη παράδοση λύσεων οι οποίες πραγματικά όντως συνδέονται με την εμπειρία χρήστη αντί απλά να παραδίδουν κανονικές μετρικές ΠτΥ όπως τρεμπάιγμα και καθυστέρηση πακέτων.

Κατασκευαστές συσκευών χρηστών και προμηθευτές λειτουργικών συστημάτων θα συμβάλλουν στο να γίνει πραγματικότητα η υποστήριξη ΠτΕ σε υπηρεσίες με το να προσθέσουν για παράδειγμα ειδική λειτουργικότητα στις δικές τους πλατφόρμες ανάπτυξης λογισμικού SDK (νέα εγγενή λογισμικά ελέγχου αναπαραγωγής, υποστήριξη για πρωτόκολλα, κλπ).

Εάν τελικά η ποιότητα του βίντεο αποδειχτεί ένας σημαντικός παράγοντας διαφοροποίησης σε ότι αφορά τη διαφήμιση μέσω βίντεο, οι διαφημιστές θα βρεθούν ολοένα και περισσότερο σε θέση να αγοράσουν μία προνομιακή συνδρομή έτσι ώστε να εξασφαλίσουν ποιότητα παράδοσης της διαφήμισης ειδικά στο προνομιακό κομμάτι. Αυτό αποτελεί μία ευκαιρία για τους υποκινητές της ιδέας της ΠτΕ όπως οι εκδότες και τεχνολογικοί ή δικτυακοί πάροχοι για να διασφαλίσουν ότι μπορούν να βρεθούν μέσα στην διαφημιστική επιχειρηματικότητα και να κερδίσουν μερίδιο από την αγορά της διαφήμισης μέσω διασυνδεδεμένου βίντεο.

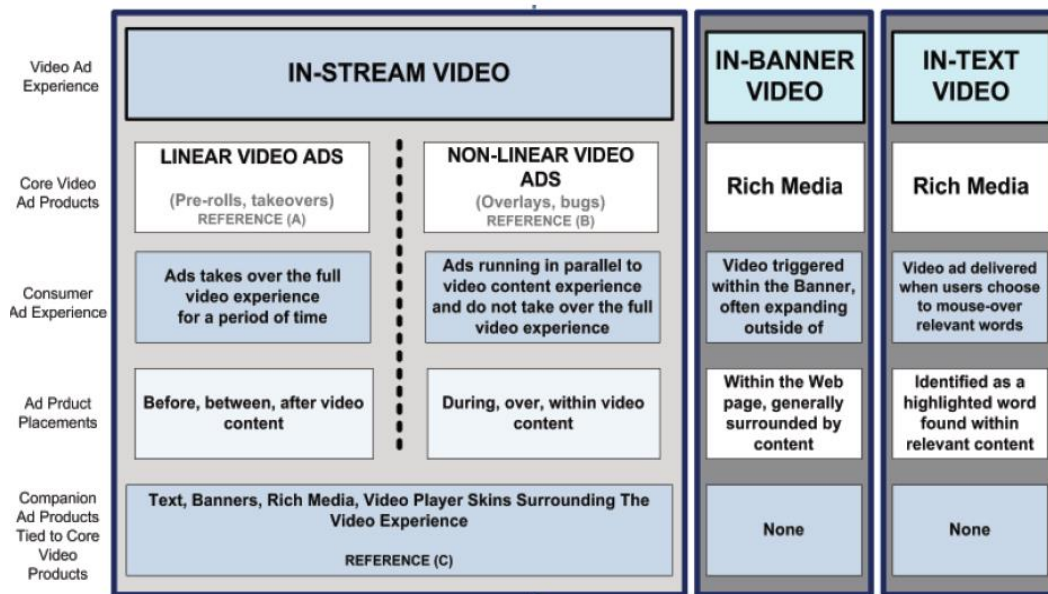
Η ενεργοποίηση της ΠτΕ μέσω της ΠτΥ μπορεί επίσης να προσφερθεί σαν μία νέα υπηρεσία προστιθέμενης αξίας μέσω κινητών φορέων σε εκδότες έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η δυναμική και κατ' απαίτηση ανάθεση πόρων καθώς και παρακολούθηση ειδικών δεικτών εκπλήρωσης KPIs. Οι πάροχοι δικτύων παράδοσης περιεχομένου όπως τα CDNs θα μπορούσαν επίσης να επωφεληθούν από τις προόδους της ΠτΕ προσφέροντας σχετικά στοχευμένα προϊόντα σε παρόχους υπηρεσίας.

Η παράδοση βίντεο (video delivery) είτε πρόκειται για πραγματικό περιεχόμενο βίντεο είτε για βίντεο διαφήμιση) είναι ακριβή για εκείνους που προσφέρουν την τελική υπηρεσία (end-service). Τα δίκτυα παράδοσης περιεχομένου CDNs τις περισσότερες φορές χρεώνουν σε όρους ζώνης φάσματος και οποιοδήποτε αύξηση σε κάποιο από τους σχετικούς παράγοντες όπως ποιότητα βίντεο, διάρκεια βίντεο και μέγεθος ακροατηρίου, η οποία επίσης συνδέεται με μία αύξηση στα κόστη. Η ΠτΕ θα μπορούσε να βοηθήσει τους παρόχους υπηρεσίας στο να ελέγξουν τα κόστη αυτή (λαμβάνοντας υπόψη π.χ. τον προγραμματισμό των πειραμάτων της μελέτης μας) επειδή τους δίνει τη δύναμη να συσχετίσουν επίπεδα ποιότητας με εύρος ζώνης και να χρεώνουν προνομιακά ή να εκμεταλλευτούν οικονομικά την υπηρεσία τους έτσι ώστε να αντισταθμίσουν οποιαδήποτε υφιστάμενα κόστη.

9.3.4. Υλοποίηση Διαφήμισης μέσω Διασυνδεδεμένου Βίντεο

Οι διαφημίσεις βάσει βίντεο μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες όπως φαίνεται στο σχήμα της Εικόνας 67 [75]. Πιο συγκεκριμένα:

- **Βίντεο μέσα σε συνεχή ροή (In-Stream Video)**, γενικά αναπαράγεται ή προβάλλεται από ένα λογισμικό αναπαραγωγής βίντεο (video player)
- **Βίντεο μέσα σε Banner (In-Banner Video)**, γενικά εικονίζεται μέσα σε ή σαν αποτέλεσμα αλληλεπιδράσεων με διαφημίσεις εμπλουτισμένου μέσου (rich media).
- **Βίντεο μέσα σε κείμενο (In-Text Video)**, γενικά είναι εκκινούμενο από το χρήστη και προκαλείται από σχετικές φωτισμένες λέξεις μέσα σε κείμενο.



Εικόνα 67: Διάκριση μεταξύ διαφορετικών ειδών βίντεο [91]

Οι πιο σχετικές και δημοφιλείς κατηγορίες βίντεο, σχετιζόμενες κυρίως με κινητή και διασυνδεδεμένη τηλεόραση, είναι οι διαφημίσεις τύπου In-Stream και In-Banner. Στα επόμενα παρουσιάζεται μία σύντομη σύνοψη των πιο σημαντικών χαρακτηριστικών αυτών:

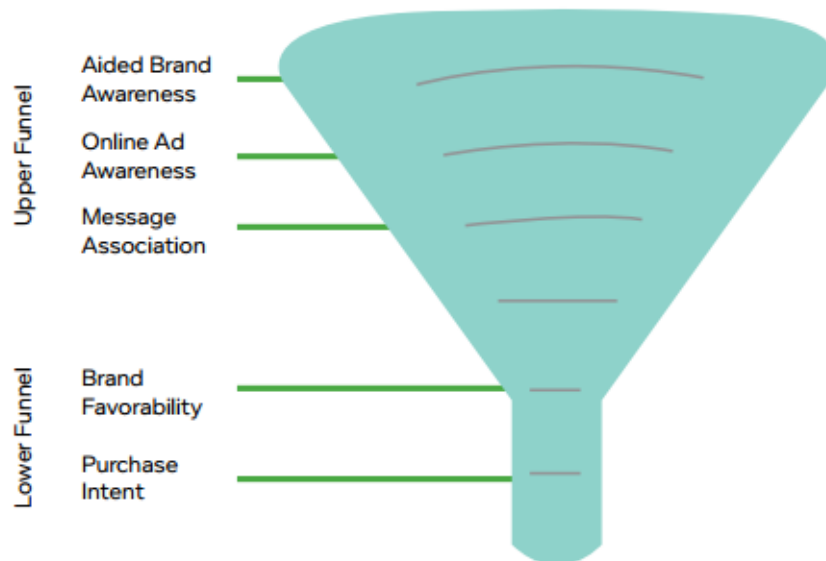
- **In-stream videos:**

Πρόκειται για διαφημίσεις γραμμικού (linear) βίντεο ακολουθώντας το παραδοσιακό μοντέλο τηλεόρασης όπως το γνωρίζαμε μέχρι σήμερα όπου οι διαφημίσεις παίζονται πριν, κατά τη διάρκεια ή αφότου το περιεχόμενο βίντεο καταναλωθεί από τον χρήστη και ονομάζονται pro-, mid- και post- roll διαφημίσεις αντίστοιχα. Ο σημαντικός παράγοντας διαφοροποίησης της διαφήμισης γραμμικού βίντεο είναι ότι ο χρήστης παρακολουθεί τη διαφήμιση αντί του περιεχομένου ενώ η διαφήμιση καταλαμβάνει τη πλήρη όψη του βίντεο.

- **In-banner video:**

Η τεχνολογία εμπλουτισμένου μέσου RM (Rich Media) διαφοροποιείται κυρίως από τα συμβατικά banners μέσω της παρεχόμενης δυνατότητας στο χρήστη να αλληλεπιδρά με αυτό, πέρα από τη κλασική δυνατότητα να μπορεί να κλικάρει πάνω σε αυτό. Η διαφήμιση εμπλουτισμένου μέσου διανύει ήδη περίοδο έκρηξης η οποία εμφανίζεται ιδιαίτερα αιχμηρή στις κινητές συσκευές με την εισαγωγή και υιοθέτηση νέων προτύπων όπως το κοινό πρότυπο αλληλεπιδραστικής διεπαφής MRAID (common interface for SDK standardization through RM interactions). Ένα από τα πιο κοινώς χρησιμοποιούμενα και αποτελεσματικά μορφότυπα που υποστηρίζονται στα εμπλουτισμένα μέσα είναι αυτό των διαφημίσεων συνεχούς ροής βίντεο.

Από οικονομικής πλευράς, η διαφήμιση μέσω βίντεο φαίνεται να είναι ένα από τα πιο πολύτιμα μορφότυπα το οποίο επηρεάζει συνολικά την αποτελεσματικότητα της διαφημιστικής καμπάνιας. Η χοάνη αγοράς (purchase funnel) είναι εκείνο το θεωρητικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαδρομή του πελάτη από τη στιγμή που έρχεται σε επαφή με μία μάρκα (brand) μέχρι την επίτευξη του απώτερου στόχου που είναι η πραγματοποίηση μιας αγοράς. Στη διασυνδεδεμένη διαφήμιση, τίθενται και οι δύο στόχοι της καμπάνιας ενώ οι αποτελεσματικότητές τους μετρούνται ως προς τους σκοπούς που παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα της Εικόνα 68.



Εικόνα 68: Διαφήμιση μέσω βίντεο & διαχωρισμός οντοτήτων στη χοάνη αγοράς

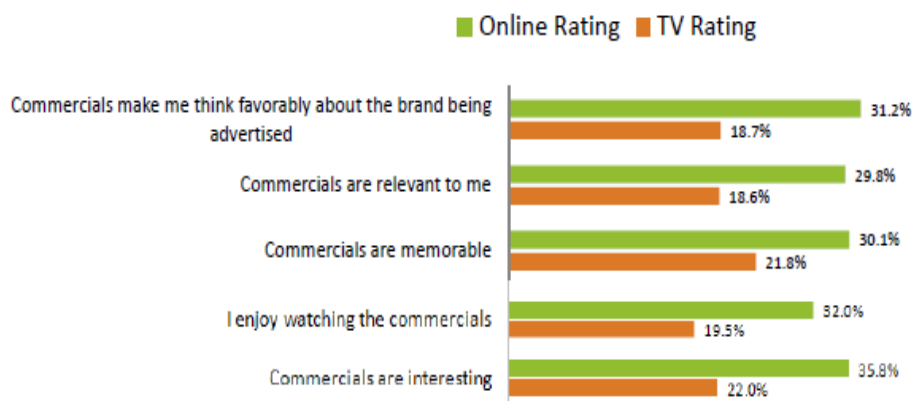
Για να αυξηθεί η ευαισθητοποίηση (awareness) καθώς και η διάχυση μηνύματος (διαφήμισης), η καμπάνια πρέπει να εστιάσει στο ανώτερο μέρος της χοάνης αγοράς όπου όταν υπάρξει μία ευκαιρία να κερδηθεί εύνοια και συνεπώς να προκύψει αγορά, η καμπάνια πρέπει να εστιάσει χαμηλότερα στη χοάνη.

Και τα δύο είδη διαφήμισης δηλαδή γραμμικού βίντεο και εμπλουτισμένου μέσου φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικά απ' ό,τι άλλα στο να επιτυγχάνουν τους περισσότερους από αυτούς τους στόχους. Μία ενδιαφέρουσα μελέτη από το χώρο των εμπλουτισμένων μέσων από τη doubleclick [92], ένα τμήμα της Google και της Dynamic Logic, αποκαλύπτει ότι για να βοηθηθεί η αναγνωρισιμότητα του εμπορικού σήματος (aided brand awareness), η ανάκτηση εύνοιας και η διάθεση για αγορά, η επιλογή διαφήμισης εμπλουτισμένου μέσου θεωρείται πολύ αποτελεσματική. Στη περίπτωση της διασυνδεδεμένης διαφήμισης, η λύση της διαφήμισης εμπλουτισμένου μέσου μέσω βίντεο προτείνεται ως η καλύτερη όπως και άλλα πρότυπα τα καταφέρουν εξίσου καλά στη κατηγορία αυτή.

Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία της διαφήμισης μέσω βίντεο είναι ότι οι τιμές μπορούν να αποφέρουν περισσότερα κέρδη στους διαφημιστές/εκδότες απ' ό,τι άλλα πιο παραδοσιακά μορφότυπα [93]. Διαφημίσεις μέσω βίντεο έλαβαν δείκτες αξιοποίησης βάσει CTR (Click Through Ratios) μεταξύ 4 και 7 φορές παραπάνω από ότι εκείνων των διαφημίσεων banner εικόνων. Οι πραγματικοί δείκτες CTRs για διαφημίσεις μέσω βίντεο μετρήθηκαν σε κάθε περίπτωση από 0.4% μέχρι 0.7% όπου οι αντίστοιχες διαφημίσεις με χρήση μορφοτύπου GIF και JPEG απέδωσαν κατά μέσο όρο περίπου 0.1% CTR [94].

Όμως, είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι διαφημίσεις μέσω βίντεο θεωρούνται μακράν πιο αποτελεσματικές σε σχέση με την τηλεόραση όπως δηλώνουν οι αναφορές της Comscore [95]. Ειδικότερα, 80% περισσότεροι άνθρωποι θεωρούν ότι οι φίρμες που εμφανίζονται στις online διαφημίσεις θεωρούνται πιο προστιτές σε σύγκριση με αυτές της τηλεόρασης, ενώ οι online διαφημίσεις θεωρούνται πιο ενδιαφέρουσες, πιο κοντά στις προτιμήσεις του θεατή και πιο αξιολογούμενες (Εικόνα 69).

How would you rate the commercials you see when watching original TV shows on ONLINE vs. TV? **Completely Agree – Top 2 Box**



Εικόνα 69: Σύγκριση μεταξύ διαφημίσεων online και τηλεόρασης [95]

9.4. Προτεινόμενα Επιχειρησιακά Μοντέλα

Τα παρακάτω επιχειρησιακά μοντέλα (business models) έχουν επιλεγεί στα πλαίσια της μελέτης επιχειρησιακής ανάλυσης για περαιτέρω ανάπτυξη στη περίπτωση της προτεινόμενης λύσης, για μία αρχική προσέγγιση της αγοράς στόχου που αναγνωρίστηκε, χωρίς να αποκλείονται και άλλα συμπληρωματικά αυτών. Τυπικά θεωρείται ότι η οντότητα της προτεινόμενης εφαρμογής μπορεί εύκολα να βρεθεί και να γίνει διαθέσιμη για αγορά από οποιοδήποτε χρήστη σε οποιοδήποτε γνωστό ηλεκτρονικό κατάστημα εφαρμογών (π.χ. AppStore, Android Market, Google Play, κλπ). Από εκεί ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει άμεση μεταφόρτωση (κατέβασμα) και εγκατάσταση σε οποιαδήποτε φορητή ή κινητή συσκευή (π.χ. Tablet) τουλάχιστο σε δύο εκδόσεις εφαρμογής πελάτη (client App), μία για προνομιακή χρήση (premium) και μία ελεύθερη για δοκιμή περιορισμένης λειτουργικότητας, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **Προνομιακή (αγορά/συνδρομή) ή Premium (purchase/subscribe):** Στο μοντέλο αυτό, ο χρήστης συμφωνεί να αγοράσει την εφαρμογή ή να εγγραφεί συνδρομητής για προκαθορισμένο διάστημα χρήσης στην προνομιακή έκδοση της εφαρμογής από το ηλεκτρονικό κατάστημα, πληρώνοντας εφάπαξ (μία φορά) ένα μόνο ποσό (single fee). Με το τρόπο αυτό αποκτά πρόσβαση στη πλήρη έκδοση του περιβάλλοντος της εφαρμογής με όλα τα χαρακτηριστικά και επιλογές προβολής/οθονών ενεργοποιημένα (το πλήθος των οθονών εξαρτάται από τις κωδικοποιημένες εκδόσεις του εκάστοτε περιεχομένου διαθέσιμο από το πάροχο) έτοιμα για να απολαύσει ο χρήστης μία πλήρη εμπειρία εφαρμογής. Το κόστος του να γίνει προνομιακός χρήστης εδώ εξαρτάται από τους τύπους του περιεχομένου που προσφέρονται (δηλ αποθηκευμένο ή ζωντανό), ο τύπος παράδοσης που προσφέρεται (δηλ προοδευτική μεταφόρτωση (progressive download), συνεχούς ροής (streaming), κλπ) και τέλος άλλα εντυπωσιακά

χαρακτηριστικά που μπορεί να προσφέρονται όπως διηθητική προβολή (immersive), προβολή πολλαπλών γωνιών (multi-view) κλπ.

- **Προνομιακή (πληρωμή ανά προβολή) ή Premium (Pay-per-view):** Στο μοντέλο αυτό, ο χρήστης αφού μεταφορτώσει ελεύθερα και εγκαταστήσει μία ειδική έκδοση της εφαρμογής στη συσκευή του, μπορεί να απολαύσει ελεύθερα ένα περιορισμένο αριθμό εκδόσεων περιεχομένου μόνο σε ποιότητα «Κανονική» έτσι ώστε να εξοικειωθεί με το περιβάλλον της εφαρμογής καθώς και με τα αλληλεπιδραστικά της χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια ο πάροχος μπορεί δυναμικά να προτείνει στο χρήστη μία λίστα από επιλογές τύπου «πληρωμή-ανά-προβολή» για όλους τους διαθέσιμους τύπους περιεχομένου και συνεδριών οι οποίες θα δώσουν τη δυνατότητα εμπειριών με διαδραστικά χαρακτηριστικά πάνω στο συγκεκριμένο περιεχόμενο.
- **Ελεύθερη με ενσωματωμένη διαφήμιση (freemium with in-app advertising):** Στο μοντέλο αυτό ο χρήστης, αφού μεταφορτώσει και εγκαταστήσει την ελεύθερη δοκιμαστική έκδοση της εφαρμογής, μπορεί να απολαύσει μία περιορισμένη έκδοση της προνομιακής, σε ότι αφορά το πλήθος των διαθέσιμων προβολών (views) ή τη χρονική διάρκεια ανά προβολή, συμπεριλαμβανομένου της συνεχούς προβολής διαφημιστικών οντοτήτων (π.χ. banners). Από τη στιγμή που η ελεύθερη έκδοση ενεργοποιηθεί ως ελεύθερη δοκιμαστική έκδοση στη συσκευή του χρήστη, ο πάροχος μπορεί να προχωρήσει σε παροχή περισσότερων πακέτων προσφορών (επιπρόσθετα επίπεδα ποιότητας) ή ακόμα να δώσει τη δυνατότητα για αφαίρεση των ενσωματωμένων διαφημίσεων με επιπλέον κόστος.

Στη συγκεκριμένη υλοποίηση της παρούσας μελέτης όπως περιεγράφηκε στη παράγραφο 6.3, έχουν γίνει τροποποιήσεις στην ελεύθερη έκδοσης (freemium) καθώς και του μοντέλου «πληρωμή-ανά-προβολή» για τους σκοπούς της εργασίας. Επιπλέον από την

ανάλυση των παραγόμενων δεδομένων όπως αυτά προέκυψαν από τα ερωτηματολόγια και όπως περιγράφεται πιο αναλυτικά στην παράγραφο 6.4.3, καταλήγουμε σε χρήσιμα συμπεράσματα όπου περίπου το 60% του πληθυσμού δοκιμής προτίμησε να παρακολουθήσει πλάνα βίντεο στην ελεύθερη με διαφημίσεις έκδοση. Όταν ρητά ερωτήθηκαν για το εάν θα προτιμούσαν να απολαύσουν ελεύθερο περιεχόμενο αλλά με τη παρουσία διαφημίσεων, το αντίστοιχο ποσοστό σκαρφάλωσε στο 80% σε αντίθεση με το 20% που δήλωσε ότι θα προτιμούσε την έκδοση «πληρωμή-ανά-προβολή» (Εικόνα 41). Επιπλέον, όπως φαίνεται στην Εικόνα 42, ανεξάρτητα από τον τύπο της διαφήμισης στην ελεύθερη έκδοση (π.χ. διαφήμιση πριν τη προβολή (pre roll) ή επικάλυψη επί της κύριας διεπαφής (overlay)), οι χρήστες κατορθώνουν κατά προσέγγιση 10% μείωση στην αντιλαμβανόμενη ποιότητα σε σχέση με την έκδοση πληρωμή-ανά-προβολή, είτε εξαιτίας της ενόχλησης που προκαλείται από τη παρουσία διαφημίσεων είτε λόγω της αίσθησης υπεροχής έναντι των χρηστών ελεύθερης προβολής.

9.5. Επιχειρησιακή Επαλήθευση – Ανάπτυξη Προϊόντος πλαισίου ΠτΕ

Βάσει των στοιχείων της ανάλυσης αγοράς στόχου που παρουσιάστηκαν προηγουμένως στην Ενότητα 9.2, ο σκοπός των αρχικών πειραμάτων αλλά και της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων αυτών, προερχόμενα από την πρώιμη υλοποίηση της λύσης, παρείχαν μία λίστα πλήθους επιλογών πάνω στο πως το προτεινόμενο πλαίσιο δυναμικής προσαρμογής ΠτΕ θα μπορούσε να αξιοποιηθεί τόσο σε αυτοτελείς προσφορές προϊόντων (product offering) όσο και σαν συμπληρωματική επιχειρησιακή λύση άλλων μεγαλύτερων ολοκληρωμένων λύσεων και προϊόντων πολυμέσων. Οι επιλογές αυτές βασίζονται στις παρακάτω θεμελιώδεις παρατηρήσεις και χαρακτηριστικά:

- Ιδιαίτερη βαρύτητα έχει δοθεί στο κινητό βίντεο λόγω του ότι αποτελεί ένα νέο κανάλι παράδοσης με τη μεγαλύτερη δυναμική για περαιτέρω ανάπτυξη. Η διασυνδεδεμένη τηλεόραση και ειδικότερα ο ρόλος της ΠτΕ σε αυτή με σκοπό την υποστήριξη ογκώδους κλιμακοσιμότητας από τα συστήματα παράδοσης, έχει επίσης ληφθεί υπόψη.
- Αποδεικνύεται κατά τη μελέτη ότι το στοιχείο δυναμικής προσαρμογής ποιότητας βίντεο αυξάνει τη συνολική ικανοποίηση του χρήστη σε κάθε περίπτωση κατανάλωσης.
- Η διαφήμιση μέσω κινητού βίντεο αποτιμάται ως τρανταχτή περίπτωση εκμετάλλευσης και επειδή η αντιλαμβανόμενη (από το χρήστη) ποιότητα θα παίζει κάθε φορά αυξανόμενο ρόλο στη συνολική αποτελεσματικότητα, η ΠτΕ θα έχει πάντα θετικό αντίκτυπο στη συνολική εμπειρία χρήστη.
- Η βελτιστοποίηση της υπηρεσίας βίντεο θα μπορούσε να βοηθήσει στην κατασκευή ενός επιχειρησιακού μοντέλου για τους παρόχους δικτύου (ιδιαίτερα τους τηλεπικοινωνιακούς), όταν έρθει η ώρα να επιλύσουν θέματα αναγκών για παροχή απεριόριστου εύρους ζώνης και σχετιζόμενων με αυτά υφιστάμενα κόστη προς όφελος των τελικών χρηστών.
- Οι πλαίσιο-ενήμερες υπηρεσίες θα παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αύξηση τόσο της ΠτΕ αλλά και της εμπειρίας χρήστη συνολικά δίνοντας τη δυνατότητα για βαθύτερη και πιο στοχευμένη εκμετάλλευση λειτουργιών εξατομίκευσης (personalization).
- Η ύπαρξη χαρακτηριστικών πλαίσιο-ενημερότητας (context-awareness) σε υπηρεσίες και εφαρμογές παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην αύξηση και βελτιστοποίηση της ΠτΕ εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτή επιτρέπει μία βαθύτερη εξατομίκευση της υπηρεσίας (service personalization) αυτής καθ' αυτής. Για παράδειγμα το πλαίσιο της ΠτΕ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αυξηθούν οι συνολικές βαθμολογήσεις ποιότητας μέσω της παροχής βίντεο υψηλότερης ποιότητας, η οποία, όπως έδειξε η μελέτη μας,

είναι χαμηλότερη για χρήστες με υψηλές προσδοκίες οι οποίοι ενδιαφέρονται για το περιεχόμενο.

Στα επόμενα παρουσιάζεται ένα πλήθος προσφορών προϊόντος, για τον πάροχο της προτεινόμενης από τη μελέτη εφαρμογής της λύσης δυναμικής προσαρμογής ΠτΕ, οι οποίες είναι εξειδικευμένες και αυστηρά προσανατολισμένες στα αποτελέσματα υλοποίησης, αξιολόγησης και αποτίμησης της κινητής εφαρμογής που υλοποιήθηκε. Στόχος των προσφορών αυτών είναι η άμεση και ευέλικτη εισαγωγή της λύσης στην υφιστάμενη αγορά πολυμέσων και διαφήμισης τόσο στο τομέα των κινητών όσο και των επιτραπέζιων εφαρμογών.

9.5.1. Πλαίσιο ΠτΕ ως μέρος πλατφόρμας κινητού κατ' απαίτηση βίντεο (VoD)

Σχετιζόμενη με το προϊόν ιδέα	Το προτεινόμενο πλαίσιο ΠτΕ ως τμήμα πλατφόρμας κινητού βίντεο κατ' απαίτηση (mobile video on demand platform)
Χρόνος εισαγωγής προϊόντος στην αγορά (time-to-market)	Τουλάχιστο ένα (1) χρόνο
Αγορά στόχος και συνδεδεμένη πρόταση	<p>Στην εν λόγω πρόταση προϊόντος (proposition), η χρησιμότητα της ΠτΕ μπορεί στενά ή χαλαρά να συνδεθεί και να ολοκληρωθεί ως χαρακτηριστικό προστιθέμενης αξίας σε οποιασδήποτε πλατφόρμα παροχής βίντεο.</p> <p>Η έννοια της πλατφόρμας βίντεο θα μπορούσε να προσδιοριστεί είτε σαν λύση λευκής ταμπέλας (white labeled) για εκδότες, οίκους μίντια ή εναλλακτικά παρεχόμενη μέσω διαφόρων υπηρεσιών απευθείας στους τελικούς χρήστες. Η απόδειξη εφικτότητας ιδέας (proof-of-concept) της εφαρμογής βίντεο που υλοποιήθηκε έχει φτιαχτεί βάσει αυτής της πρότασης.</p> <p>Το τυπικό μοντέλο οικονομικής αποτίμησης (monetization) πίσω από την εν λόγω πρόταση βασίζεται στη προστιθέμενη αξία που</p>

	<p>παρέχεται από διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως αυτά γίνονται διαθέσιμα στους δυνητικούς πελάτες κάτω από διαφορετικές τιμολογιακές βαθμίδες. Το χαρακτηριστικό δυναμικής προσαρμογής ποιότητας βίντεο θα μπορούσε να γίνει διαθέσιμο σε προνομιακά ή βάσει-διαφήμισης πακέτα (παρέχεται αυτό καθ' αυτό στην υλοποιημένη εφαρμογή βίντεο της μελέτης ως απόδειξη εφικτότητας της ιδέας)</p>
<p>Κύριες προκλήσεις και προσπάθεια</p>	<p>Επιπρόσθετη προσπάθεια απαιτείται για την επέκταση και τεχνική ολοκλήρωση της υλοποιημένης εφαρμογής του πλαισίου σε επίπεδο συστήματος, ως νέο χαρακτηριστικό ενός τυπικού εξυπηρετητή συνεχούς ροής βίντεο, η οποία περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τη:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Κατασκευή ενός στρώματος ελέγχου δικτύου το οποίο θα επιτρέπει την βελτιστοποίηση υπηρεσίας συνεχούς ροής μέσω ανίχνευσης του ανατιθέμενου εύρους δικτύου χρήστη τόσο στο κινητό δίκτυο (2/3/4G) όσο και στο WiFi, όπως επίσης και την χωρητικότητα επεξεργαστή (CPU capacity), σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να προσαρμόζει αυτόματα τη ποιότητα της εκάστοτε ροής βίντεο. • Παράδοση βίντεο με έλεγχο ΠτΕ χρήστη με τη χρήση προσέγγισης υβριδικά προσαρμοζόμενου δυοιορρυθμού συνεχούς ροής (hybrid adaptive bitrate streaming) <p>Από τεχνολογικής άποψης η κύρια πρόκληση είναι η διατήρηση ανοικτής αρχιτεκτονικής για υποστήριξη ΠτΕ συνεχούς ροής όχι μόνο μέσω του επιχειρησιακού παίκτη κατόχου της πλατφόρμας αλλά επίσης και μέσω άλλων παικτών στο πεδίο της κινητής και του διαδικτύου. Μια άλλη τεχνική πρόκληση με αρκετά κρίσιμο ενδιαφέρον σε επίπεδο εμπειρίας χρήστη είναι η εξασφάλιση ομαλούς και ομοιογενούς συνεχούς ροής μεταξύ διαφορετικών ποιοτήτων βίντεο τόσο σε κατάσταση χειροκίνητης όσο και αυτόματης προσαρμογής, χωρίς την ύπαρξη καθυστερήσεων εξασφαλίζοντας ότι τα πλεονεκτήματα της παρεχόμενης υπηρεσίας είναι σαφώς κατανοητά από τους τελικούς χρήστες.</p>
<p>Εμπλεκόμενα ρίσκα</p>	<p>Παρόλο που το πλαίσιο παροχής δυναμικής ΠτΕ θα εμπλουτίσει τις υφιστάμενες δυνατότητες των διαφόρων πλατφορμών παροχής βίντεο και συνεπώς θα προσδώσει νέα προστιθέμενη αξία στη</p>

	<p>προϊοντική πρόταση αυτή καθαυτή, δε θα είναι σε θέση να καθοδηγήσει επιτυχώς στην αποδοχή εάν δεν υποστηριχθεί κατάλληλα από ορθολογικές επιχειρησιακές αποφάσεις. Η κατάρτιση ενός επιχειρησιακού και προωθητικού σχεδίου θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να εκπονηθεί το οποίο μεταξύ άλλων να καθορίζει το πως η εκάστοτε πλατφόρμα παροχής βίντεο θα προωθηθεί και θα τοποθετηθεί σε σχέση με τον ανταγωνισμό διαθέτοντας το νέο χαρακτηριστικό. Ανάλογα με το σχήμα τοποθέτησης που θα επιλεγεί θα δοθεί και διαφορετική βαρύτητα ανά συστατικό μέρος της πλατφόρμας (εξυπηρετητής συνεχούς ροής και έλεγχοι ΠτΕ, μηχανή transcoding, λογισμικό αναπαραγωγής βίντεο, γηγενής κινητή εφαρμογή, κλπ). Μέρος του παραπάνω σχεδίου θα είναι και η μελέτη ρίσκων των παραπάνω θεμάτων ανά περίπτωση χρήσης.</p>
--	--

9.5.2. Πλαίσιο ΠτΕ ολοκληρωμένο με πλατφόρμα παροχής βίντεο πάνω από IMS

Σχετιζόμενη με το προϊόν ιδέα	Πλαίσιο ΠτΕ ολοκληρωμένο με πλατφόρμα παροχής βίντεο πάνω από IMS (IMS-ready video serving)
Χρόνος εισαγωγής προϊόντος στην αγορά (time-to-market)	Τουλάχιστο ένα (1) χρόνο
Αγορά στόχος και συνδεδεμένη πρόταση	Στη συγκεκριμένη πρόταση, η κύρια αγορά στόχος είναι οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας MNO (Mobile Network Operators) συμπεριλαμβανομένου και των εικονικών παρόχων MVNO (Mobile Virtual Network Operators). Υπάρχει ένα πλήθος επιχειρησιακών μοντέλων που μπορούν να προταθούν για εκμετάλλευση βάσει διαφόρων άλλων κριτηρίων π.χ. των τελών αδειοδότησης, όμως η τυπική περίπτωση περιλαμβάνει το πάροχο τεχνολογίας να συμμετέχει σε ένα μοντέλο διαμοιρασμού εσόδων (revenue sharing) και εκμετάλλευσης μαζί με τους παρόχους δικτυακής πρόσβασης και περιεχομένου με σκοπό την άμεση οικονομική απολαβή από τη χρήση της υπηρεσίας. Η ώριμη πλέον τεχνολογία IMS-ready για

	<p>υπηρεσίες συνεχούς ροής θα μπορούσε επίσης να πωληθεί μαζί με άλλες τηλεπικοινωνιακές πλατφόρμες όπως λύσεις σχετιζόμενες με την τεχνολογία IMS.</p> <p>Η εκάστοτε πλατφόρμα μαζί με τη λύση-πλαίσιο ΠτΕ που προτείνεται προορίζεται για φιλοξενείται στις υποδομές δικτύου του παρόχου-φορέα MNO ή του MVNO με σκοπό την εμπορική εκμετάλλευση και αποκόμιση οικονομικών οφελών ως μέρος του περιβάλλοντος ονόματι “walled gardens”.</p> <p>Το τελευταίο αποτελεί ένα κλειστό και καλά ορισμένο οικοσύστημα όπου ο πάροχος- φορέας διατηρεί ο ίδιος τον πλήρη έλεγχο πάνω σε όλες τις εφαρμογές, περιεχόμενο και μίντια που διαθέτει στους χρήστες του, ενώ παράλληλα περιορίζει τη πρόσβαση σε μη εγκεκριμένες εφαρμογές ή/και περιεχόμενο. Στη συγκεκριμένη πρόταση το πλαίσιο παροχής ΠτΕ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ώστε να αποκομίσει απευθείας οικονομικά οφέλη από τη παροχή της υπηρεσίας, επειδή οι πάροχοι-φορείς (operators) τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών είναι σε θέση οι ίδιοι να ελέγχουν και να διαχειρίζονται το εύρος φάσματός τους, δηλαδή να προσαρμόζουν δυναμικά τους ανατιθέμενους πόρους κατάλληλα για προνομιακούς χρήστες ή υπηρεσίες. Επιπρόσθετα, εφαρμόζοντας πολιτικές και μεθοδολογίες μορφοποίησης δικτύου πρόσβασης (network shaping) και βελτιστοποίησης ανάθεσης ιδίων πόρων, επιτυγχάνουν τις ιδανικές συνθήκες για άμεση εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του πλαισίου παροχής δυναμικής ΠτΕ ενώ την ίδια στιγμή επιτυγχάνουν θετικό αποτέλεσμα στο δείκτη μέσου περιθωρίου κέρδους ανά χρήστη ARPU (Average Revenue per User) ή AMPU (Average Margin Per User), ελαχιστοποιώντας τα λειτουργικά κόστη του παρόχου-φορέα.</p>
<p>Κύριες προκλήσεις και προσπάθεια</p>	<p>Με εξαίρεση τις επεκτάσεις που απαιτούνται για τη μετατροπή της πρότυπης λύσης σε προϊόν, απαιτείται να καταβληθεί επιπλέον προσπάθεια που περιλαμβάνει άλλες επεκτάσεις και τροποποιήσεις έτσι ώστε να παραδοθεί η προτεινόμενη λύση ΠτΕ ως πακέτο δυνατοτήτων και εφαρμογών για τις συγκεκριμένες ανάγκες αυτού του κομματιού αγοράς. Μέσω αυτών των τροποποιήσεων επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση της προσπάθειας ολοκλήρωσης με την ενεργοποιημένη με IMS υποδομή καθώς και εξασφάλιση</p>

	<p>υποστήριξης για διαλειτουργία με άλλα ειδικά τηλεπικοινωνιακά πρωτόκολλα.</p> <p>Το προτεινόμενο πλαίσιο παροχής ΠτΕ θα πρέπει επίσης να επιτρέπει την απρόσκοπτη ολοκλήρωση με συστήματα και πρακτικές τιμολόγησης (pre-paid, post-paid, με συνδρομή) υποστηριζόμενα από παρόχους με τη λογική της ενσωματωμένης στην υπηρεσία δυνατότητα για εφαρμογή σχημάτων τιμολόγησης (embedded in service pricing schemes).</p>
Εμπλεκόμενα ρίσκα	<p>Το παραδοσιακό μοντέλο του “walled garden” καθώς και τα επιχειρησιακά μοντέλα και σχήματα οικονομικών απολαβών αυτού για τους παρόχους-φορείς βρίσκονται σε στάδιο ωρίμανσης και συνεχώς αναζητούνται εναλλακτικοί τρόποι αύξησης του ARPU ανά χρήστη/πελάτη ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες. Στοχευμένες ενέργειες στο κομμάτι αυτό χρειάζεται να γίνουν προσεκτικά επειδή αναδυόμενα εναλλακτικά επιχειρησιακά μοντέλα ίσως θέσουν σε κίνδυνο την όποια επένδυση σχετικά με την εκμετάλλευση αυτόνομων λύσεων παροχής ΠτΕ.</p>

9.5.3. Πλαίσιο ΠτΕ ολοκληρωμένο με πλατφόρμα παροχής βίντεο διαφήμισης

Σχετιζόμενη με το προϊόν ιδέα	Ολοκλήρωση του πλαισίου δυναμικής ΠτΕ σε πλατφόρμα παροχής και υποστήριξης βίντεο διαφήμισης (προβολή διαφήμισης ως μέρος κατανάλωσης βίντεο περιεχομένου)
Χρόνος εισαγωγής προϊόντος στην αγορά (time-to-market)	Από 6 μήνες έως ένα (1) χρόνο
Αγορά στόχος και συνδεδεμένη πρόταση	Η κύρια αγορά στόχος για τη συγκεκριμένη προϊόντική πρόταση περιλαμβάνει δίκτυα διανομής και παροχής διαφήμισης, πρακτορεία και οίκους μίντια, εκδοτικούς οίκους και κάθε σχετικό βιομηχανικό πάροχο τεχνολογίας όπου τέτοιες λύσεις και προϊόντα έχουν εφαρμογή.

<p>Κύριες προκλήσεις και προσπάθεια</p>	<p>Η υπηρεσία βίντεο συνεχούς ροής μέσα στο οικοσύστημα της διαφήμισης χρησιμοποιείται για πολλά χρόνια με εξαιρετική απήχηση και επιτυχία υπό τη μορφή προβολής διαφημιστικού μηνύματος μικρής διάρκειας (βίντεο κλιπ) προ- (pre-), ενδιάμεσα- (mid-), και μετά- (post-) τη προβολή του κυρίως βίντεο περιεχομένου. Η εκ των προτέρων προβολή βίντεο διαφημίσεων (pre-roll ads) αποτελεί μέρος της υλοποίησης της μελέτης και έχει δοκιμαστεί στην τρέχουσα εφαρμογή βίντεο. Επίσης η εφαρμογή επιτρέπει τη προβολή διαφημίσεων εμπλουτισμένου μέσου (rich media advertising) βάσει HTML-5.</p> <p>Εξαιτίας της μικρής διάρκειας των διαφημίσεων κινητού βίντεο (5 – 30 δευτερόλεπτα) εκ φύσεως, μόνο η λειτουργικότητα αυτόματης προσαρμογής μπορεί να εφαρμοστεί. Η χειροκίνητη προσαρμογή της ΠτΕ θεωρείται ασφαλής και σχετίζεται με διαφημίσεις βίντεο εμπλουτισμένου περιεχομένου διάρκειας μεγαλύτερης των 60 δευτερολέπτων.</p> <p>Για να περατωθεί η υλοποίηση, απαιτείται ολοκλήρωση του υποσυστήματος πλαισίου δυναμικής ΠτΕ στον εξυπηρετητή διαφημίσεων βίντεο επίσης.</p> <p>Επισημαίνεται ξανά ότι μία από τις κύριες προκλήσεις είναι σε κάθε περίπτωση να εξασφαλίζεται η συνέχιση της ομαλής λειτουργίας της υπηρεσίας συνεχούς ροής για οποιαδήποτε αλλαγή της ποιότητας (κατ' απαίτηση ή όχι) έτσι ώστε οι όποιες αλλαγές για αναβάθμιση ή υποβάθμιση της ποιότητας να γίνονται ομαλά και απρόσκοπτα χωρίς πρόκληση διακοπών στη συνεχή αναπαραγωγή οποιουδήποτε βίντεο της συνεδρίας. Ειδικές τροποποιήσεις στον βασικό αλγόριθμο ίσως να χρειαστούν για τυπικές διαφημίσεις βίντεο έτσι ώστε να αποφευχθούν περιττές αλλαγές στη ποιότητα.</p>
<p>Εμπλεκόμενα ρίσκα</p>	<p>Οι σχετικοί φορείς προτυποποίησης στο κομμάτι της διαφήμισης σε βίντεο (όπως είναι η IAB) θα πρέπει να εισαγάγουν νέες κατευθύνσεις στα μορφότυπα βίντεο ή τους τρόπους αναπαραγωγής/ανταλλαγής αυτών τα οποία δεν συνδέονται με τη συγκεκριμένη υλοποίηση του TEFIStv.</p>

9.5.4. Επεκτάσεις πλαισίου δυναμικής ΠτΕ και πλαίσιο-ενήμερη υπηρεσία

<p>Σχετιζόμενη με το προϊόν ιδέα</p>	<p>Επεκτάσεις λειτουργικότητας για πλαίσιο-ενήμερη παροχή υπηρεσίας και βασικού πλαισίου ΠτΕ γενικότερα.</p>
<p>Χρόνος εισαγωγής προϊόντος στην αγορά (time-to-market)</p>	<p>Τουλάχιστο δύο (2) χρόνια</p>
<p>Αγορά στόχος και συνδεδεμένη πρόταση</p>	<p>Η συγκεκριμένη πρόταση αποτελεί συμπληρωματικό κομμάτι της κύριας υπηρεσίας πλαίσιο ΠτΕ η οποία επιτρέπει την αυτόματη προσαρμογή της ποιότητας βίντεο βάσει των χαρακτηριστικών περιβάλλοντος του χρήστη (π.χ. τοποθεσία, επίπεδο θορύβου, στιγμή της ημερομηνίας, κοινωνικό πλαίσιο, φυσική κατάσταση, κλπ). Ένα πλήθος από αυτές τις παραμέτρους έχουν ήδη ελεγχθεί και δοκιμαστεί ως προς την αντιλαμβανομένη από το χρήστη ποιότητα βίντεο συνεχούς ροής κατά τη πρώτη φάση της προκαταρκτικής μελέτης.</p> <p>Η πλαίσιο-ενήμερη έκδοση της υπηρεσίας θα μπορούσε να δοθεί σαν πακέτο με το κύριο λογισμικό της λύσης, με τη μορφή εργαλείου ανάπτυξης λογισμικού SDK (Software Development Kit) χωρίς περιορισμούς για ανάπτυξη κινητών εφαρμογών, σε προγραμματιστές λογισμικού και εκδότες περιεχομένου. Θα μπορούσε να επεκταθεί περαιτέρω σε ένα άλλο SDK γενικού σκοπού το οποίο θα μπορούσε να συλλέγει δεδομένα καταχώρησης βάσει πληροφορίας πλαισίου τα οποία χρησιμοποιούνται για τη παροχή εξατομικευμένης εμπειρίας, βασισμένη πάνω σε προκαθορισμένα ή προσαρμόσιμα σενάρια. Υπό αυτή την έννοια, οποιοσδήποτε εκδότης περιεχομένου, που επιθυμεί να επεκτείνει την εμπειρία χρήστη με εξατομικευμένα χαρακτηριστικά που θα αυξάνουν την αντιλαμβανόμενη εμπειρία, θα πρέπει να θεωρείται και ένας δυνητικός πελάτης. Το SDK θα πρέπει να μπορεί να παρέχει τόσο έτοιμα-προς-χρήση όσο και εύκολα διαμορφώσιμα υποδείγματα εξατομικευσης υπηρεσίας (δηλ βίντεο συνεχούς ροής, ηλεκτρονικού εμπορίου, ειδήσεις, κλπ).</p>

<p>Κύριες προκλήσεις και προσπάθεια</p>	<p>Μία βασική πλαίσιο-ενήμερη προσαρμογή θα μπορούσε να ενσωματωθεί σαν μέρος των επερχόμενων επεκτάσεων του πλαισίου ΠτΕ έτσι ώστε να υποστηριχθούν θέματα ρυθμίσεων ποιότητας βίντεο σχετικά με το θόρυβο. Απαιτείται ξεκάθαρα μία πιο επικεντρωμένη έρευνα για να φτιαχτεί μία πιο γενικευμένη υπηρεσία η οποία μεταξύ άλλων να αναγνωρίζει τις διάφορες πλαίσιο-ενήμερες παραμέτρους καθώς και τα συνδεδεμένα με αυτή πρότυπα εξατομίκευσης ανά υπηρεσίας. Τα δοκιμαστικά περιβάλλοντα της πλατφόρμας ανάπτυξης της εφαρμογής πλαισίου ΠτΕ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση τέτοιων πειραμάτων με σκοπό να υποστηριχθούν οι τρεις (3) παρακάτω φάσεις:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Αρχική μελέτη για συλλογή απαιτήσεων 2) Αναγνώριση και επεξεργασία των πλαίσιο-ενήμερων παραμέτρων ενδιαφέροντος 3) Τελική πιλοτική λειτουργία μέσω εκτέλεσης του πρότυπου περιβάλλοντος με στόχο τη βελτιστοποίηση της πρότασης προϊόντος
<p>Εμπλεκόμενα ρίσκα</p>	<p>Η συλλογή πληροφορίας σχετικής με το πλαίσιο (context) του χρήστη και της χρήσης της εφαρμογής από αυτόν, στη διαμόρφωση της εξατομίκευσης, θεωρείται παρεμβατική όσον αφορά την ιδιωτικότητά του και για το λόγο αυτό απαιτεί κατάλληλο χειρισμό. Ειδική μέριμνα πρέπει να δοθεί στην εξουσιοδότηση χρηστών μέσω διαφανών ρυθμίσεων ελέγχου ιδιωτικότητας, παρέχοντας μηχανισμούς επιλογής μη συμμετοχής (opt-out), κλπ.</p>

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύτηκε το πρόβλημα της μεγιστοποίησης της Ποιότητας της Εμπειρίας χρηστών σε υπηρεσίες πολυμεσικού περιεχομένου πάνω από ασύρματα αυτό-οργανούμενα δίκτυα τύπου IPv6, στοχεύοντας παράλληλα στη βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος, αλλά και στη διατήρηση της ικανοποίησης των ετερογενών κριτηρίων ποιότητας υπηρεσίας του συνόλου των χρηστών.

Η πολυπλοκότητα του παραπάνω στόχου γίνεται εμφανής αν αναλογιστούμε αφενός την υποκειμενικότητα που εισάγεται στη μεγιστοποίηση της αντιλαμβανόμενης, από τον εκάστοτε χρήστη, ποιότητα της πολυμεσικής του υπηρεσίας (ή όμοια ποιότητα της εμπειρίας χρήστη), και αφετέρου τις επιπτώσεις που θα επιφέρουν οι ανωτέρω ενέργειες μεταβολής αυτής στους υπόλοιπους διασυνδεδεμένους χρήστες του ασύρματου μέσου αλλά και στο αυτόνομο δίκτυο συνολικά.

Συνεπώς, τέθηκε επιτακτική η ανάγκη σχεδίασης, ανάπτυξης και εφαρμογής καινοτόμων μεθόδων και μηχανισμών ικανών να αντιμετωπίσουν τις παραπάνω ιδιαιτερότητες. Σε αυτή τη διατριβή μελετήσαμε σφαιρικά και καθολικά το συνολικό περιβάλλον χρήσης και προτείναμε λύσεις που απαντούν σε κάθε βήμα του συνολικού κύκλου ζωής της παροχής πολυμεσικού περιεχομένου σε κινητούς χρήστες.

Συγκεκριμένα αναγνωρίστηκαν, μοντελοποιήθηκαν και μεθοδεύτηκαν ανοιχτά προβλήματα και προκλήσεις στην αυτόνομη παροχή πολυμεσικού περιεχομένου σε κινητούς ασύρματους χρήστες, ενώ ταυτόχρονα προτάθηκαν μέθοδοι και τεχνικές επίλυσής τους. Συνοπτικά, εξετάσαμε τις δυνατότητες και ιδιαιτερότητες του κινητού-ασύρματου μέσου και προτείναμε μέσω κατάλληλης μεθοδολογίας και προτυποποίησης, κατάλληλους μηχανισμούς παροχής ΠtE στο επίπεδο 2-3 του μοντέλου αναφοράς OSI, σε αυτόνομα ασύρματα δίκτυα. Επίσης εστιάζοντας επίπεδο 5 περιγράψαμε εκείνες τις αλλαγές που

πρέπει να εισαχθούν ιδανικά σε πρωτόκολλα διαχείρισης συνεδρίας ώστε να παρέχουν βελτιστοποιημένες δυνατότητες στα υποστηριζόμενα πρωτόκολλα. Στη συνέχεια εξετάσαμε και αναλύσαμε το φυσικό περιβάλλον χρήσης μιας εφαρμογής κατανάλωσης πολυμεσικού περιεχομένου ώστε να αποφανθούμε αναφορικά με τον τρόπο που αυτό επιδρά στην ποιότητα της εμπειρίας χρήστη, ενώ τέλος προτείναμε, σχεδιάσαμε, παρουσιάσαμε και αξιολογήσαμε μηχανισμούς και εφαρμογές στο επίπεδο 7 του μοντέλου αναφοράς, που επιτυγχάνουν το συνολικό στόχο της παροχής βελτιστοποιημένης ως προς την ποιότητα της εμπειρίας πολυμεσικό περιεχόμενο σε πραγματικούς χρήστες λαμβάνοντας επίσης υπόψη θέματα επιχειρησιακών μοντέλων.

Στη συνέχεια αναφέρουμε τις σημαντικότερες παρατηρήσεις, προκλήσεις και σημεία κλειδιά που διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην έρευνά μας, και σκιαγραφούμε τους προτεινόμενους τρόπους αντιμετώπισής τους, συνοψίζοντας ταυτόχρονα και τα σημαντικά σημεία συμβολής της παρούσας διατριβής στην σχετική διεθνή έρευνα και βιβλιογραφία.

Παρατήρηση 1: Η ποιότητα της υπηρεσίας (ΠτΥ) αποτελεί ίσως ένα από τα πιο γνωστά, και καθοριστικά χαρακτηριστικά του επιπέδου μιας οποιαδήποτε υπηρεσίας. Η περιγραφή της ΠτΥ μιας υπηρεσίας συνοδεύεται πάντα από μία ή περισσότερες μετρικές που αφορούν την καθυστέρηση, τη ρυθμαπόδοση, το τρέμουλο, την κωδικοποίηση κτλ. Αυτές οι μετρικές είναι πάντα βαθμωτές, κάνοντας την ανάγνωση τους πλήρως ντετερμινιστική. Ωστόσο, δεν συμβαίνει το ίδιο και με την ποιότητα της εμπειρίας. Οι ορισμοί που έχουν δοθεί κατά καιρούς στην βιβλιογραφία κάνουν ξεκάθαρη την υποκειμενική φύση της, μη επιτρέποντας την άμεση ποσοτικοποίηση της, διαφοροποιώντας την πλήρως την ΠτΥ.

Συνεισφορά: Παραθέτοντας μία αναλυτική επισκόπηση της βιβλιογραφίας επισημάναμε τους σημαντικότερους ορισμούς τόσο της Ποιότητας της Υπηρεσίας, όσο και της Ποιότητας της Εμπειρίας, τονίζοντας τα κοινά και τα διαφοροποιά στοιχεία. Μελετήσαμε

περιπτώσεις που η βιβλιογραφία αντιμετωπίζει την ΠτΕ σαν μια προέκταση της ΠτΥ, και συνεπώς υιοθετεί μηχανισμούς παροχής ΠτΥ για τη βελτιστοποίηση της ΠτΕ, αλλά και περιπτώσεις που η βιβλιογραφία εισάγει την έννοια της υποκειμενικότητας και αντιμετωπίζει την ΠτΕ με στατιστικές τεχνικές μέσης ικανοποίησης. Ωστόσο, αναγνωρίζοντας πως καμία από τις παραπάνω μεθόδους δεν αρκεί για να παράσχει μια συνολική λύση, παραθέσαμε αναλυτικά και με παραδείγματα όλες τις μεθόδους που επηρεάζουν την ΠτΕ – όπως ο ίδιος ο χρήστης, τα χαρακτηριστικά και το είδος της υπηρεσίας, το τερματικό, η κοστολόγηση, κτλ. – καθώς και τις προκλήσεις που πρέπει να λάβει υπόψη ένας μηχανισμός παροχής ΠτΕ – όπως η μέτρηση και έλεγχος της εμπειρίας, η διαχείριση της ανάδρασης, κτλ. Με αυτόν τον τρόπο θέσαμε τις προδιαγραφές ενός καινοτόμου μηχανισμού παροχής ΠτΕ και χαράξαμε τις στρατηγικές αντιμετώπισης του.

Παρατήρηση 2: Η αυτονομία και η αυτόνομη υπολογιστική σαν δικτυακοί όροι έχουν εισαχθεί εδώ και καιρό υπονοώντας μια γενικά αέναη διαδικασία ελαχιστοποίησης του λειτουργικού κόστους του διαχειριστή κατά την εκτέλεση ενός μεγάλου πλήθους εργασιών στο δίκτυο, μεταφέροντας την υπευθυνότητα από τον διαχειριστή στο ίδιο το δίκτυο και τις εφαρμογές του, αυτοματοποιώντας λειτουργίες όπως η αυτο-διαμόρφωση και η αυτο-βελτιστοποίηση. Υπό το πρίσμα όμως της παράδοσης υπηρεσιών και περιεχομένου πολυμέσων, τόσο σε ασύρματα όσο και κινητά περιβάλλοντα πρόσβασης πως θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί η έννοια της ΠτΕ και να βελτιστοποιηθεί η αντιλαμβανόμενη ποιότητα της υπηρεσίας στους χρήστες;

Συνεισφορά: Βασιζόμενοι στην αυτόνομη αρχιτεκτονική GANA – Generic Autonomic Network Architecture – προτείναμε έναν αυτόνομο μηχανισμό αποτελεσματικής αυτό-διαχείρισης πολυμεσικών υπηρεσιών και εφαρμογών που εκμεταλλεύεται στο μέγιστο

βαθμό τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του υφιστάμενου υποκείμενου περιβάλλοντος αυτόνομης δικτύωσης. Με αυτό το τρόπο περιγράψαμε ένα καινοτόμο πλαίσιο το οποίο διαχειρίζεται με αυτόνομο τρόπο δημοφιλή πρωτόκολλα όπως SIP/SDP, RTP/RTCP και RTSP ενώ την ίδια στιγμή παραμένει στενά συνδεδεμένο και εκμεταλλεύεται τα οφέλη και τις δυνατότητες ενός περιβάλλοντος αυτόνομης δικτύωσης.

Παρατήρηση 3: Η παροχή ΠτΥ σε αυτόνομα αυτό-οργανούμενα δίκτυα αποτελεί μία ξεκάθαρα ορισμένη διαδικασία που απαιτεί αφενός την ικανοποίηση των κριτηρίων ΠτΥ των χρηστών και αφετέρου τη διατήρηση της ποιοτικής λειτουργίας της υπηρεσίας καθόλη τη διάρκεια εξυπηρέτησης της. Διάφορες τεχνικές έχουν προταθεί και υλοποιηθεί επιτυγχάνοντας τα ανωτέρω. Ωστόσο, κάποιος μηχανισμός ικανός να οδηγήσει στη βελτιστοποίηση της ΠτΕ των χρηστών σε αυτόνομα ετερογενή ασύρματα περιβάλλοντα δεν έχει παρουσιαστεί ακόμη στη βιβλιογραφία.

Συνεισφορά: Η εξεύρεση ενός μηχανισμού παροχής ΠτΕ πάνω από ετερογενή ασύρματα δίκτυα προϋποθέτει την ικανότητα του μηχανισμού να μοντελοποιήσει με έναν μοναδικό τρόπο και ανεξαρτήτως της τεχνολογίας του υποκείμενου δικτύου πρόσβασης το πρόβλημα προς βελτιστοποίηση. Για αυτό το λόγο, υιοθετήθηκε ένα κοινό πλαίσιο βασισμένο στη θεωρία Μεγιστοποίησης Χρησιμότητας Δικτύου, που επιτρέπει την απεικόνιση των κριτηρίων ΠτΥ και ΠτΕ των χρηστών με έναν ενοποιημένο τρόπο κάνοντας χρήση συναρτήσεων χρησιμότητας. Συνεπώς μοντελοποιήσαμε το συνολικό πρόβλημα παροχής ΠτΥ σε πολυμεσικές υπηρεσίες πραγματικού χρόνου σε ασύρματα τοπικά και κυψελωτά δίκτυα, και στη συνέχεια προτείναμε, σχεδιάσαμε και αξιολογήσαμε έναν δυναμικό αλγόριθμο παροχής ΠτΕ που εξασφαλίζει με έναν εντελώς αυτόνομο – σύμφωνα με το GANA – αλλά και βέλτιστο τρόπο την ικανοποίηση των

υποκειμενικών κριτηρίων ΠτΕ των χρηστών, βελτιστοποιώντας παράλληλα τη συνολική απόδοση του δικτύου.

Παρατήρηση 4: Η ποιότητα της εμπειρίας του χρήστη έχει αποδειχτεί πως επηρεάζεται από πληθώρα παραμέτρων, που σχετίζονται με το ίδιο το χρήστη και το τερματικό που χρησιμοποιεί, τον τύπο, τα χαρακτηριστικά και το περιεχόμενο της υπηρεσίας, την κοστολόγηση της υπηρεσίας, την ευρωστία του συστήματος αλλά και από το περιβάλλον χρήσης. Συνεπώς γίνεται εμφανής η υποκειμενικότητα που εισάγεται στο πρόβλημα της μεγιστοποίησης της ποιότητας της εμπειρίας του χρήστη.

Συνεισφορά: Χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Ελέγχου υπόθεσης σχεδιάστηκαν και ενσωματώθηκαν σε μία Android κινητή εφαρμογή πολλαπλές εναλλακτικές υποθέσεις και δοκιμάστηκαν σε πραγματικούς χρήστες χρησιμοποιώντας τεχνικές σεναρίων αναπαράστασης προκειμένου υποκειμενικά να επιβεβαιώσουν ή να ακυρώσουν τις τιθέμενες υποθέσεις, υπό το πρίσμα πάντα μιας υπηρεσίας παροχής πολυμεσικού περιεχομένου. Η ανάλυση των εξαγόμενων δεδομένων οδήγησε στην ποσοτική και ποιοτική ανακάλυψη των πιο σημαντικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη ποιότητα εμπειρίας του χρήστη, όπως το είδος του δικτύου πρόσβασης, το ενδιαφέρον του χρήστη προς το περιεχόμενο κτλ. Επιπλέον σύμφωνα με τις τρέχουσες διεθνείς προδιαγραφές κωδικοποίησης και προβολής πολυμεσικού περιεχομένου σε κινητές συσκευές, κατασταλάξαμε στη διατύπωση και τυποποίηση των καταλληλότερων συναρτήσεων χρησιμότητας πολυμεσικών εφαρμογών συνεχούς ροής, που επιτυγχάνουν τη δυναμική παροχή ΠτΕ όπως περιεγράφηκε παραπάνω, προτυποποιώντας με αυτό τον τρόπο το συνολικό πρόβλημα παροχής δυναμικής ΠτΕ πάνω από αυτόνομα ασύρματα δίκτυα.

Παρατήρηση 5: Έχοντας προτείνει έγκυρες και αποδοτικές λύσεις στην υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου θεωρητικού πλαισίου δυναμικής παροχής ΠτΕ σε ετερογενή ασύρματα δίκτυα, καθώς και στη μετάφραση και αποτύπωση των κριτηρίων διασφάλισης ΠτΥ σε κριτήρια διασφάλισης ΠτΕ που λαμβάνουν υπόψη όχι μόνον τη φύση, είδος και χαρακτηριστικά της υπηρεσίας και του περιβάλλοντος κατανάλωσης της υπηρεσίας, αλλά και της κοινωνικό/ψυχολογικής κατάστασης και υποκειμενικότητας των χρηστών, θα μπορούσε ένα τέτοιο σύστημα να υλοποιηθεί στη πράξη λαμβάνοντας υπόψη θέματα κλιμακοθετησιμότητας και σταθερότητας;

Συνεισφορά: Χρησιμοποιώντας τις δικτυακές υποδομές του PlanetLab εκτελέσαμε υβριδικά πειράματα εξομοίωσης/προσομοίωσης ενός πειραματικού ολοκληρωμένου ετερογενές ασύρματου δικτυακού περιβάλλοντος μεγάλης κλίμακας, και αποφανθήκαμε θετικά για την αποτελεσματικότητα, εφαρμοσιμότητα, κλιμακοθετησιμότητα και σταθερότητα της προτεινόμενης λύσης, εκτελώντας πολλαπλά κομβικά σενάρια με διαφορετικής τεχνολογίας δίκτυα πρόσβασης και υπηρεσίες.

Παρατήρηση 6: Ο ορισμός της ΠτΕ όπως έχει αποδοθεί από την ITU-T εισάγει την έννοια της υποκειμενικότητας. Επιπλέον, όπως έχει τονιστεί καθολικά στη διατριβή, εξαρτάται από πολλαπλές παραμέτρους που συχνά είναι αδύνατο να μοντελοποιηθούν. Συνεπώς, παρόλα τα θεωρητικά μοντέλα και τους μηχανισμούς που προτάθηκαν στο σύνολο της διατριβής, η πραγματική αξιολόγηση της απόδοσης τους μπορεί να διεξαχθεί μόνον από πραγματικού χρήστες.

Συνεισφορά: Λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική αρχιτεκτονική του αυτόνομου ασύρματου συστήματος και υιοθετώντας όλη την αποκτηθείσα γνώση, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ο μηχανισμός δυναμικής παροχής ΠτΕ σαν ένα καινοτόμο ανεξάρτητο

εργαλείο/πρόσθετο, ικανό να ενσωματωθεί σε υπάρχουσες υπηρεσίες και εφαρμογές παροχής ροών πραγματικού χρόνου ήχου και βίντεο. Στη συνέχεια, αναπτύξαμε ένα ολοκληρωμένο σύστημα παράδοσης πολυμεσικού περιεχομένου καθώς και μια Android κινητή εφαρμογή κατανάλωσης αυτού που ενσωματώνει το πρόσθετο ικανοποίησης κριτηρίων ΠτΕ. Η εφαρμογή δοκιμάστηκε σε πραγματικούς χρήστες του Botnia Living Lab και του ΕΜΠ επιτυγχάνοντας αξιόλογα αποτελέσματα που αποδεικνύουν την ορθότητα και εγκυρότητα της πρότασης μας, επαληθεύουν τα προηγούμενα πειραματικά αποτελέσματα, καθώς και βελτιώνουν τη συνολική ΠτΕ των χρηστών.

Παρατήρηση 7: Έχοντας πάντα στο μυαλό την επιχειρησιακή άποψη της αγοράς πολυμεσικού περιεχομένου πραγματικής ροής, η προτεινόμενη εφαρμογή προβολής βίντεο σχεδιάστηκε ενσωματώνοντας τη δυνατότητα να δημιουργεί έσοδα. Ωστόσο, η δυνατότητα του προτεινόμενου πλαισίου δυναμικής παροχής ΠτΕ να αξιοποιηθεί τεχνικά και επιχειρησιακά σε περιπτώσεις σχετικών προϊόντων και υπηρεσιών, είναι ανεξερεύνητη.

Συνεισφορά: Με σκοπό την άμεση εκμετάλλευση και υιοθέτηση της προτεινόμενης λύσης παροχής δυναμικής ΠτΕ, στην υφιστάμενη και μελλοντική αγορά κινητής τηλεφωνίας και πολυμέσων, αναπτύχθηκαν όλες οι επιχειρησιακές πτυχές του επιχειρηματικού περιβάλλοντος. Υιοθετήθηκαν πλήρως οι αρχές του κατακερματισμένου μοντέλου αγοράς, μελετήθηκαν οι πιο σημαντικές επιχειρησιακές απαιτήσεις, αναγνωρίστηκαν οι κύριοι συμφεροντούχοι καθώς και τα αναμενόμενα οφέλη αυτών κατά περίπτωση. Επίσης αναπτύχθηκαν και προτάθηκαν στους συμφεροντούχους ένα σύνολο επιχειρησιακών μοντέλων, επιτρέποντας την απευθείας εκμετάλλευση της λύσης συνολικά βάσει συγκεκριμένων πολιτικών χρήσης, τιμολόγησης και διασφάλισης αξίας.

11. ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

Άρθρα σε Επιστημονικά Περιοδικά (με κρίση)

- [1] Aristomenopoulos G., **Kaldanis V.**, Katsaros G. and Papavassiliou S., “Experimentally driven quality of experience-aware multimedia content delivery in modern wireless networks, International Journal of Communication Systems, 2015.

Δημοσιεύσεις ως Κεφάλαια σε Διεθνή Επιστημονικά Βιβλία (με κρίση)

- [1] Chaparadza R., Tcholtchev N., **Kaldanis V.**, “How Autonomic Fault-Management Can Address Current Challenges in Fault-Management Faced in IT and Telecommunication Networks”. In Access Networks: 5th International ICST Conference on Access Networks, AccessNets 2010 and First International Workshop on Automatic Networking and Self-Management in Access Networks, SELFMAGICNETS 2010, Revised Selected Papers, Springer, ISBN: 978-3-642-20930-7, Budapest, Hungary, 2010,
- [2] **Kaldanis V.**, Chaparadza R., Katsaros G., Karantonis G., “Delivering Multimedia in Autonomic Networking Environments”, In Service-Oriented Computing. ICSOC / ServiceWave 2009 Workshops. Stockholm, Sweden, November 23-27, 2009, Revised Selected Papers, Volume 6275 of the series Lecture Notes in Computer Science pp 405-413, Print ISBN: 978-3-642-16131-5,
- [3] **Kaldanis V.**, Patrikakis C, and Protonotarios E, “Academic activities based on Personal Networks Deployment”, Encyclopedia of Mobile Computing & Commerce, Dec 2006

Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Πρότυπα

- [1] ETSI, "Autonomic network engineering for the self-managing Future Internet (AFI); Generic Autonomic Network Architecture (An Architectural Reference Model for Autonomic

Networking, Cognitive Networking and Self-Management)", ETSI GS AFI 002, April 2013,
http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/AFI/001_099/002/01.01.01_60/gs_afi002v010101p.pdf

- [2] Vlahodimitropoulos K., Chalkiotis K., Kechagias C., and **Kaldanis V.**, “*MSC Reporting for Real Time Monitoring*”, S. Kyriazakos, K., 3GPP TR22.405, Nov 2002

Αημοσιεύσεις σε Πρακτικά Διεθνών Επιστημονικών Συνεδρίων (με κρίση)

- [1] Simon C., Chaparadza R., Benko P., Asztalos D., **Kaldanis V.**, “Enabling autonomicity in the future networks”, IEEE GLOBECOM 2010, Miami, Florida US, 2010,
- [2] Aristomenopoulos G., Kastrinogiannis T., **Kaldanis V.**, Karantonis G., and Papavassiliou S., “*A Novel Framework for Dynamic Utility-Based QoE Provisioning in Wireless Networks*”, IEEE GLOBECOM 2010, Miami, Florida US, 2010,
- [3] Aristomenopoulos G., Kastrinogiannis T., Li Z., Wilson M., Munoz J., Lopez J., Li Y., **Kaldanis V.**, and Papavassiliou S., “Autonomic Mobility and Resource Management Over an Integrated Wireless Environment – A GANA Oriented Architecture” in Proc. of the 2nd International Workshop on Management of Emerging Networks and Services, MENS ‘10 (in IEEE GLOBECOM 2010), 2010.
- [4] **Kaldanis V.**, Benko P, Asztalos D., Simon C., Chaparadza R., Katsaros G., “Methodology towards Integrating Scenarios and Testbeds for Demonstrating Autonomic/Self-managing Networks and Behaviors Required in Future Networks”, AccessNets 2010, 5th International ICST Conference on Access Networks, Budapest, Hungary, 2010
- [5] Kastrinogiannis T., Tcholtchev N., Prakash A., Chaparadza R., **Kaldanis V.**, Coskun H., and Papavassiliou S., “Addressing Stability in Future Autonomic Networking,” in Proc. the 2nd Int. ICST Conf. on Mobile Networks and Management (MONAMI 2010), Santander, Spain, Sept, 2010.
- [6] **Kaldanis V.**, et. All “*Demystifying Self-awareness of Autonomic Systems*”, ICT ‘09 Mobile Summit, Santander, Spain, 10-12 June 2009

- [7] **Kaldanis V.**, Roque R., Sarma A., Oliveira J., Pascotto R., “*Business aspects of federated pervasiveness in the Daidalos context*”, IEEE WPMC 2007, Jaipur, India, Dec 2007
- [8] Cimmino A., Henten A., **Kaldanis V.**, Roswall R., Hui Y. and Wildekilde I., “*Personal Area Overlay Networks and their Market Potential*”, IEEE WPMC 2007, Jaipur, India, Dec 2007
- [9] Donadio P., **Kaldanis V.**, Roswall R., Hui Y. and Wildekilde I., “*Personal Area Overlay Networks and their Business Impact*”, , IEEE WPMC 2007, Jaipur, India, Dec 2007
- [10] Cimmino A., Henten A., **Kaldanis V.**, Roswall R., Hui Y. and Wildekilde I. “*Personal Area Networks and Their Market Potential*”, 4th International CICT conference 2007 - Mobile media, Copenhagen, Denmark , Nov 2007
- [11] **Kaldanis V.**, Su-En Tan, and Rune Roswall, “Charging and Billing schemes for PN Service provisioning in federated P2P environments”, IEEE PIMRC 2007, Mar 2006
- [12] **Kaldanis V.**, Su-En Tan and Roswall R., “*Business aspects of PN service provisioning in federated mobile P2P networking environments*”, IST Mobile & Wireless Telecommunications, Feb 2006
- [13] Roswall R., Henten A., **Kaldanis V.**, Windekilde I. and Su-En Tan, “*Business models for personal networks and services*”, CICT conference, Copenhagen, Dec 2006.
- [14] Prasad R. and **Kaldanis V.**, “*Interconnection and Billing Policies for Personal Networks*”, Teletronikk Journal Article, Jun 2006.
- [15] Prasad R., Monti M., Vestergaard C., Dalum B., Skouby K., Jiang E, **Kaldanis V.**, and Markopoulos A, “Paradigm Shift of Business Models and its impact on Billing in Personal Area Network (PAN): A Diabetes Case Study”, MAGNET Workshop in Shanghai, Nov 2004, China
- [16] Jiang B., **Kaldanis V.**, Markopoulos A., M. Monti, Prasad R., Saugstrup D, Schultz N. and Skouby K., “*User Requirements & Human-Value Issues In a PN Perspective*”, 7th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Abano Terme, Italy, Sep 2004.

- [17] Jiang B., **Kaldanis V.**, Markopoulos A., Monti M., Prasad R., Saugstrup D., Schultz N., and Skouby K. "User requirements & demand for services and applications in PNs", IST Mobile & Wireless Telecommunications Lyon, France, Jun 2004
- [18] **Kaldanis V.**, Kyriazakos S., Gkroustiotis E., Karambalis C., Karetso G., Kechagias C., Nikitopoulos D., Papaoulakis N., Nousiainen S. and Virtanen J., "*Hierarchical Resource Management in Heterogeneous Radio Environments – The CAUTION++ Approach*", IST Mobile & Wireless Telecommunications, Aveiro, Portugal, Jun 2003

12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] J. C. Strassner, N. Agoulmine, E. Lehtihet, “FOCALE – A Novel Autonomic Networking Architecture”, *In proceedings of the Latin American Autonomic Computing Symposium (LAACS)*, Campo Grande, Brazil 2006.
- [2] IBM article: Understand the autonomic manager concept. Accessible at: <http://www-128.ibm.com/developerworks/library/ac-amconcept/>
- [3] ITU-T Recommendation E.800 : Definitions of terms related to quality of service, Sept. 2008
- [4] ITU-T Recommendation P.10/G.100 : New Appendix I - Definition of Quality of Experience (QoE), Jan. 2007
- [5] Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience (QoE) (May 2012), διαθέσιμο στο <http://www.qualinet.eu/>.
- [6] W. Wu *et al.* Quality of Experience in Distributed Interactive Multimedia Environments: Toward a Theoretical Framework. *In Proceedings of the 17th ACM International Conference on Multimedia*, 2009.
- [7] Y.J. Liang, J.G. Apostolopoulos, B. Girod, “Analysis of packet loss for compressed video: effect of burst losses and correlation between error frames”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 18, no. 7, pp. 861–874, 2008.
- [8] S.R. Gulliver, G. Ghinea, “The perceptual influence of multimedia delay and jitter”, *Proc. of the 2007 IEEE International Conf. on Multimedia and Expo*, 2007, pp. 2214–2217.
- [9] M. Fiedler, T. Hossfeld, P. Tran-Gia. “A Generic Quantitative Relationship between Quality of Experience and Quality of Service”, *IEEE Network*, Vol. 24, No. 2, March/April 2010, pp. 36-41.
- [10] J. Zhang and N. Ansari, “On Assuring End-to-End QoE in Next Generation Networks: Challenges and a Possible Solution”, *IEEE Communications Magazine*, 2011; 49, 7, 185-192.
- [11] M. Khosroshahy, “UARA in edge routers: an effective approach to user fairness and traffic shaping”, *Wiley Int. J. Communication Systems*, 2012; DOI: 10.1002/dac.1262
- [12] C. Xu, F. Zhao, J. Guan, H. Zhang, G.-M. Muntean, “QoE-Driven User-Centric VoD Services in Urban Multihomed P2P Based Vehicular Networks”, *IEEE Trans on Vehicular Technology*, 2013; 62, 5, 2273-2289
- [13] S. Barakovic, L. Skorin-Kapov, “Survey and Challenges of QoE Management Issues in Wireless Networks”, *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013, DOI: 10.1155/2013/165146
- [14] J. De Vriendt, D. De Vleeschauwer, and D. C. Robinson, “QoE Model for Video Delivered Over an LTE Network Using HTTP Adaptive Streaming”, *Wiley Bell Labs Technical Journal*, 2014; DOI: 10.1002/bltj.21645.

- [15] A. Khan, S. Lingfen Sun, E. Ifeachor, “QoE Prediction Model and its Application in Video Quality Adaptation Over UMTS Networks”. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2012; 14, 2, 431-442.
- [16] J. Lloret, M. Garcia, M. Atenas, A. Canovas, “A QoE management system to improve the IPTV network”, *Wiley Int. J. Communication Systems*, 2011, DOI: 10.1002/dac.1145
- [17] E. Jammeh, I. Mkwawa, A. Khan, M. Goudarzi, L. Sun, E. Ifeachor. “Quality of experience (QoE) driven adaptation scheme for voice/video over IP”. *Telecommunications Systems Journal, Springer. S.I. on "Quality of Experience issues in Multimedia Provision"*, 2012; 49, 1, 99-111.
- [18] L. Zhou, Z. Yang, Y. Wen, H. Wang, M. Guizani, “Resource Allocation with Incomplete Information for QoE-Driven Multimedia Communications”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2013; 12, 8, 3733-3745.
- [19] H. Artail, H. Safa, P. Salameh, S. Chedrawi, P. E. Khoury, “Quality-of-service-aware cluster-based service discovery approach for mobile ad hoc networks”, *Wiley Int. J. Communication Systems*, 2014; DOI: 10.1002/dac.2529
- [20] J.-S. Leu, S.-F. Chen, “TRASS: A transmission rate-adapted streaming server in a wireless environment”, *Wiley Int. J. Communication Systems*, 2011; DOI: 10.1002/dac.1194
- [21] T. Seng Ng, T. C. Chuah, Y. F. Tan, “QoS-based radio network dimensioning for LTE networks with heavy real-time traffic”, *Wiley Int. J. Communication Systems*, 2012; DOI: 10.1002/dac.2447
- [22] J. Lloret, M. Garcia, A. Canovas, C. Turro, “A stereoscopic video transmission algorithm for an IPTV network based on empirical data”, *Wiley Int. J. Communication Systems*, 2011; DOI: 10.1002/dac.1196
- [23] Sumbly W. H., Pollack I. “Visual contribution to speech intelligibility in noise”. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1954; 26, 2, 212–215.
- [24] International Telecommunication Union, “Definition of Quality of Experience”, *ITU-T Delayed Contribution D.197*, Source: Nortel Networks, Canada (P. Coverdale), 2004.
- [25] ITU-T Recommendation G.1011. Reference guide to quality of experience assessment methodologies, June 2010.
- [26] B. Kitchenham, S.L. Pfleeger, “Software quality: the elusive target”, *IEEE Software*, vol. 13 iss.1, p.p. 12-21, 1996.
- [27] G. Weinberg, “Quality Software Management – Systems Thinking”, vol. 1, New York: Dorset House Publishing, 1991.
- [28] M. Renier “Software quality”, 2009, διαθέσιμο στο http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Software_quality&oldid=315002355,
- [29] D. A. Garvin, “What Does ‘Product Quality’ Really Mean?”, *Sloan Management Review*, vol. 1, p.p. 25-48, 1984.

- [30] ISO 9126 διαθέσιμο στο <http://qoe.lt/140/iso-9126-standard/>
- [31] J. Park, S. H. Han, Hyun K. Kim, Youngseok Cho, Wonkyu Park “Developing elements of user experience for mobile phones and services: survey, interview, and observation approaches” *Human factors and ergonomics in manufacturing and service industries on Wiley Periodicals, Inc.* 00 (0) 1-15 (2011).
- [32] Alben, L “Quality of experience: defining the criteria for effective interaction design”, *Interactions*, 3(3), 11-15.
- [33] McNamara, N. Kirakowski, “Functionality, usability and user experience: three areas of concern”, *Interactions*, 15(1), 26-28.
- [34] ISO 9241-11 “Ergonomic requirements for office work for visual display terminals”, Part 11: Guidance on usability, (1998).
- [35] R. Stankiewicz, A. Jajszczyk, “A survey of QoE assurance in converged networks” *Computer Networks*, 2011; 55, 1459-1473.
- [36] K. Kilkki, “Differentiated Services for the Internet”, Macmillan Publishing, 1999.
- [37] Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, H. Sandick, “A framework for QoS-based routing in the Internet” *IETF RFC 2386*, August 1998.
- [38] <http://qoe.lt/209/quality-of-service/>
- [39] D. Lopez, F. Gonzalez, L. Bellido, A. Alonso “Adaptive multimedia streaming over IP based on customer oriented metrics”, *Proceedings of ISCN’06 7th International Symposium on Computer Networks*, 2006.
- [40] D. Soldani, M. Li and R. Cuny (eds.), “QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems”, ed. *John Wiley and Sons*, pp.460, June 2006.
- [41] A. Patrick, J. Singer, B. Corrie, S. Noel, K. Khatib, B. Emond “A QoE sensitive architecture for advanced collaborative environments”, [Conference Paper], *Proceedings First International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks. IEEE Comput. Soc (2004)*.
- [42] J. Goodchild (2005) “Integrating data voice and video – Part II IP Video Implementation and planning guide”, *United States Telecom Association (2005)*.
- [43] Dagstuhl Seminar, “Quality of Experience: From User Perception to Instrumental Metrics”, 1-5 May 2009.
- [44] Dr. Raimund, Dr. Peter Reichl, “Quality of Experience-More Than Just Another Buzzword?” *EuroView 2011 Workshop*, Aug 1-2, Wurzburg, Germany.
- [45] ITU-T Recommendation P.10, “Vocabulary for performance and quality of service” , July 2006.
- [46] J. Goodchild, “Integrating data voice and video – Part II IP Video Implementation and planning guide”, *United States Telecom Association (2005)*.

- [47] M. Siller J. Woods, "Improving quality of experience for multimedia services by QoS arbitration on a QoE framework", *Packet Video Nantes*, 2003.
- [48] R. Jain, "Quality of Experience", *IEEE Multimedia*, Vol. 11(1), pp. 96-97, 2004.
- [49] Jingjing Zhang, Nirwan Ansari "On assuring End-to-End QoE in Next Generation Networks: Challenges and a Possible Solution" *IEEE Communications Magazine*, July 2011, pp. 185-191.
- [50] ITU-T Recommendation E.360, "Framework for QoS routing and related traffic engineering methods for IP-, ATM-, and TDM-based multiservice networks", May 2002.
- [51] ITU-T Recommendation G.1010, "End-user multimedia QoS categories", November 2001.
- [52] D. Niyato, E. Hossain, "Competitive pricing in heterogenous wireless access networks: issues and approaches", *IEEE Network*. November/December 2008.
- [53] S. Khirman, P. Henrisken, "Relationship between quality of service and quality of experience for public internet service", *Passive and Active Network Measurement workshop*, PAM 2002.
- [54] H. Kim, D. Lee, J. Lee, K. Lee, W. Lyu, S. Choi "The QoE evaluation method through the QoS-QoE correlation model", *Fourth international conference on networked computing and advanced information management*, 2008.
- [55] S. Khan, S. Duhovnikov, E. Steinbach, W. Kellerer, "MOS-Based multiuser multiapplication cross-layer optimization for mobile multimedia communication" *Hindawi publishing corporation advances in multimedia*, 2007.
- [56] S. Thakolsri, S. Khan, E. Steinbach, W. Kellerer "QoE-driven cross-layer optimization for high speed downlink packet access", *Journal of communications*, October 2009.
- [57] H. Derbel, N. Agoulmine, M. Salaun, "Service utility optimization model based on user preferences in multiservice ip networks", *IEEE transactions on SMC associate editors*, January 2010.
- [58] ETSI GS AFI 002, "Autonomic network engineering for the self-managing Future Internet (AFI); Generic Autonomic Network Architecture", Apr. 2013.
- [59] FP7-ICT-2007-1 No. 215549, "Exposing the Features in IP version Six protocols that can be exploited/extended for the purposes of designing/building Autonomic Networks and Services".
- [60] Yu Cheng et al, "A generic architecture for autonomic service and network management", *Computer Communications Journal*, 2006. doi: 10.1016/j.comcom.2006.06.017.
- [61] S. Shenker, "Fundamental design issues for the future Internet," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, no. 7, pp. 1176-1188, September 1995.
- [62] M. Chiang, S. H. Low, A. R. Calderbank, and J. C. Doyle, "Layering as optimization decomposition: A mathematical theory of network architectures," *In Proc. of the IEEE*, vol. 95, no. 1, pp. 255-312, Jan. 2007.

- [63] Lee J. W., Mazumdar R. R., Shroff N. B, “Downlink power allocation for multi-class wireless systems”, *In IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 13, no. 4, pp. 854-867, Aug. 2005.
- [64] 3GPP TS 36.902, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions", (Rel 9)
- [65] J. Lee, R. Mazumdar, N, Shroff. “Joint resource allocation and base-station assignment for the downlink in CDMA networks. *IEEE/ACM Trans. on Netw.*, 2006; 14, 1. 1–14.
- [66] Y. Yang, J. Wang, R. Kravets, “Distributed Optimal Contention Window Control for Elastic Traffic in Single-Cell Wireless LANs”. *IEEE/ACM Trans. on Netw.*, 2007; 15, 6, 1373-1386.
- [67] T. Kastrinogiannis, S. Papavassiliou, K. Kastrinogiannis, and D. Soulios, “A Utility-based Resource Allocation Approach for the Downlink in CDMA Wireless networks with Multimedia Services”, in *Proc. of the 18th IEEE Intl Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2007. (PIMRC 2007)*. p.p.1-5, Sept. 2007.
- [68] Dahai Xu, Ying Li, M. Chiang, and A. Calderbank, “Elastic service availability: utility framework and optimal provisioning,” *IEEE Journal on Selected Areas in Com.*, vol.26, no.6, pp.55-65, Aug. 2008.
- [69] Business Insider, BII REPORT: Why Mobile Video Is Set To Explode, διαθέσιμο στο: <http://www.businessinsider.com/bii-report-why-mobile-video-is-set-to-explode-2012-12#ixzz2MPF2dTxB>
- [70] F. J. Gravetter, L. B. Wallnau, “Statistics for the Behavioral Sciences”, Wadsworth, 2009; ISBN: 978-0495602200.
- [71] "Definition of Role Playing from the Oxford English Dictionary". askoxford.com. Retrieved 2012-06-18.
- [72] K. Brooks, W. Quesenbery, “Storytelling for User Experience: Crafting Stories for Better Design”, Rosenfeld Media, 2010; ISBN-13: 978-1933820477.
- [73] W. D. Blackmon, “Dungeons & Dragons: The Use of a Fantasy Game in the Psychotherapeutic Treatment of a Young Adult”, *American Journal of Psychotherapy*, 1981, 48, 4, 624-634.
- [74] G. P. Ladousse, “Role play”, Oxford: Oxford University Press, 1987
- [75] Xiph.Org Foundation, διαθέσιμο στο: <http://media.xiph.org/video/derf/>
- [76] Adobe Flex, Open Source Framework, <http://www.adobe.com/products/flex.html>, Adobe
- [77] Levkov M., Mobile Encoding Guidelines for Android Powered Devices. White paper by Adobe Systems, 2010, http://download.macromedia.com/flashmediaserver/mobile-encoding-android-v2_7.pdf.
- [78] N. Efthymiopoulos, S. L. Tompros, A. Christakidis, K. Koutsopoulos, S. Denazis, “Enabling live video streaming services realization in telecommunication networks using P2P technology”, *Wiley Int. J. Communication Systems*, 2011, DOI: 10.1002/dac.1250
- [79] T. Han, N. Ansari, M. Wu, and H. Yu, “On Accelerating Content Delivery in Mobile Networks”, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2013, 3, 3, 1314-1333.

- [80] J. Rubin, D. Chisnell, J. Spool, “Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests”, Wiley, 2008; ISBN: 978-0470185483
- [81] Creative Commons, Attribution 3.0 Unported, διαθέσιμο στο <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>
- [82] Greg Philpott, “Adaptive Bit Rate Video Streaming: Why Delivery Will Matter More Than Codec”, 2011, διαθέσιμο στο: <http://mashable.com/2011/01/25/adaptive-bit-rate-video-streaming/>
- [83] ZenithOptimedia, Online Video Forecasts, July 2015, διαθέσιμο στο: <http://www.zenithoptimedia.com/wp-content/uploads/2015/07/Online-Video-Forecasts-2015.pdf>
- [84] MarketingCharts, Mobile In-App Ads Expected to Top Desktop Ads in Spend Next Year, March 2015, διαθέσιμο στο: <http://www.marketingcharts.com/online/mobile-in-app-ads-expected-to-top-desktop-ads-in-spend-next-year-52967/>
- [85] IAB, Long Term Video Overview, IAB Digital Video Committee, διαθέσιμο στο: http://www.iab.net/long_form
- [86] Emarketer, Longer Online Videos see more ads, Higher Completion Rates, διαθέσιμο στο: <http://www.emarketer.com/Article/Longer-Online-Videos-See-More-Ads-Higher-Completion-Rates/1009676>
- [87] Ooyala, Global Video Index, 2012 Year in Review, διαθέσιμο στο: <http://go.ooyala.com/rs/OOYALA/images/Ooyala-Global-Video-Index-Q4-2012.pdf>
- [88] Ooyala, Global Video Index, 2015 Year in Review, διαθέσιμο στο: <http://go.ooyala.com/rs/447-EOK-225/images/Ooyala-Global-Video-Index-Q4-2015.pdf>
- [89] NETFLIX online streaming video provider, <https://www.netflix.com>
- [90] Business Insider, the Digital video advertising report June 2015: Mobile and social are fueling video growth as dollars shift from display to video, διαθέσιμο στο: <http://www.businessinsider.com/mobile-boosts-digital-video-advertising-2015-4>
- [91] IAB, Long Term Video Overview, IAB Digital Video Committee, διαθέσιμο στο: http://www.iab.net/long_form
- [92] S. G. Cole, L. Spalding, A. Fayer, The Brand Value of Rich Media and Video Ads, DoubleClick, 2009, διαθέσιμο στο: <http://cdn.reelstatic.com/wp-content/uploads/2009/06/The-Brand-Value-of-Rich-Media-and-Video-Ads.pdf>
- [93] A. Oreskovic, As world of gadgets grows, online industry tunes in to video ads, Reuters, 2013, διαθέσιμο στο: <http://www.reuters.com/article/2013/01/25/us-video-ads-idUSBRE9000Z620130125>
- [94] Mark R Robertson, Video Ads Vs. Traditional Banners - Measuring Effectiveness, ReelSEO.com, διαθέσιμο στο: <http://www.reelseo.com/video-ads-more-effective/#ixzz2NAeiQIQH>

[95] Dan Piech, The State of Online Video, ComScore, διαθέσιμο στο:
http://www.comscore.com/Insights/Presentations_and_Whitepapers/2011/The_State_of_Online_Video