
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
Ι Δ Ρ Υ Μ Α



ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Έλεγχος Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) με
δικτυοστρεφή τρόπο σε κινητά δίκτυα 3G/4G

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΑΛΟΓΑΚΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΦΙΛΙΠΠΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΣΠΑΡΤΗ 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν στην πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ στον επιβλέποντα μου καθηγητή κ. Π. Φιλιππόπουλο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την υπόδειξη και ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος και άκρως επικοινωνιακού θέματος. Καθώς και για την καθοριστική βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του καθ' όλη την διάρκεια της προετοιμασίας της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου, που είναι δίπλα μου, με στηρίζουν και με συμβουλεύουν σε κάθε μου βήμα βοηθώντας με να κυνηγήσω το όνειρό μου καθώς και για την κατανόηση και την ανοχή που έδειξαν καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

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 Τ.Ε.Ι. Πελοποννήσου.

Υπεύθυνη Δήλωση

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί Πνευματικών Δικαιωμάτων, δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας, κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται εντός της εργασίας. Κάθε πηγή δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία, είτε κατά επιστημονική παράφραση, τεκμηριώνεται με σαφείς αναφορές στις Παραπομπές και την Βιβλιογραφία. Γνωρίζω επίσης πως η λογοκλοπή αποτελεί σοβαρότατο παράπτωμα και είμαι ενήμερος για την επέλευση των νόμιμων συνεπειών, συμπεριλαμβανομένης της απώλειας του Τίτλου Σπουδών, σε περίπτωση κατά την οποία αποδειχτεί (άμεσα ή στο μέλλον), ότι η εργασία αυτή, ή τμήμα της, δεν μου ανήκει, ως προϊόν λογοκλοπής ξένης πνευματικής ιδιοκτησίας. Δηλώνω, συνεπώς, ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά για τις απαιτήσεις του Προγράμματος Σπουδών του Τμ. Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Πελοποννήσου και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ως άνω δηλωθέντων.

Ο συγγραφέας,

Αλογάκος Αντώνιος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	12
1.1 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 1^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	12
1.2 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 2^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	12
1.3 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 2,5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	13
1.4 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3^{ΗΣ} Γενιάς	15
1.5 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3.5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ	16
1.6 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ.....	17
1.7 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	19
2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	19
2.2 ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ.....	20
2.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ.....	22
2.4 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ.....	22
2.5 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ (QoE).....	22
2.6 ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	31
2.6.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ Ο ΧΡΗΣΤΗΣ	31
2.6.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	32
2.6.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ Σ.....	33
2.6.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	33

2.6.5 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ στο UMTS-LTE.....	36
3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ UMTS-LTE	36
3.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ & ΒΕΛΤΙΩΣΗ QoS ΜΕΣΩ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	37
3.3 Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ 3GPP ΓΙΑ QoS ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ LTE	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΕ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	45
4.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΝΕΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	45
4.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	47
4.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΩΝ...	47
4.4 ΣΧΕΣΗ ΧΡΗΣΤΩΝ – ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	51
4.5 ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (KPIs) ΣΕ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ	54
4.6 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΡΟΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (SDFs).....	56
4.6.1 ΓΕΝΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ SDFs	56
4.6.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ SDFs.....	56
4.6.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ SDF	57
4.6.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟ QoS.....	57
4.7 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ.....	59

<i>4.7.1 DIFFERENTIAL SERVICE (DiffServ)</i>	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΠΑΡΟΧΟΥ	
VoLTE	62
<i>5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	<i>62</i>
<i>5.2 ΠΛΑΙΣΙΟ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΟ</i> <i>ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΟΥ</i>	<i>62</i>
<i>5.3 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ</i>	<i>65</i>
<i>5.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</i>	<i>67</i>
<i>5.5 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5^{ης} ΓΕΝΙΑΣ</i>	<i>69</i>

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Αρχιτεκτονική UMTS	15
Εικόνα 2 : Αλληλεπίδραση μεταξύ των Domain.....	26
Εικόνα 3: Βήματα πλαισίου, Κατάλογος-Κατηγοριοποίηση-Ανάλυση.....	27
Εικόνα 4: Αναλογική Κλίμακα Αξιολόγησης.....	30
Εικόνα 5 : SDF Filters.....	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα κατηγοριοποίησης πολυμεσικών υπηρεσιών.....	20
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα υψηλού επιπέδου για το μοντέλο αλληλεπίδρασης QoE στο οικοσύστημα της επικοινωνίας.....	23
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα μεθόδων αξιολόγησης.....	27
Διάγραμμα 4: Αποτύπωση χρήσης υπηρεσιών σε ένα πλήρες 24ώρο για τους MD Users.....	52
Διάγραμμα 5: Αποτύπωση χρήσης υπηρεσιών σε ένα πλήρες 24ώρο για τους WiFi Users.....	53
Διάγραμμα 6: Αποτύπωση χρήσης υπηρεσιών σε ένα πλήρες 24ώρο για τους Prof./Security Users.....	53

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Παράμετροι περιγραφής των ανθρώπινων απαιτήσεων από την ITU-T.....	21
Πίνακας 2: Πενταβάθμια κλίμακα MOS.....	30
Πίνακας 3: Σύγκριση της Προσδοκώμενης QoE και των Απαιτήσεων Επίδοσης ανά τύπο υπηρεσίας	39
Πίνακας 4: 3GPP Τυποποιημένα QoS Class Indicator Χαρακτηριστικά.....	41
Πίνακας 5: Βασικοί τύποι χρήστη κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών σε σχέση με τα κριτήρια τμηματοποίησης.....	49
Πίνακας 6: Κλίμακα MOS για ποιότητα υπηρεσιών πραγματικού χρόνου.....	55

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Δικτυακή Αρχιτεκτονική UMTS LTE (4G).....	36
Σχήμα 2 Λειτουργική Αρχιτεκτονική EPC (UMTS LTE).....	37
Σχήμα 3: Το LTE δίκτυο ως αγωγός μεταξύ κινητών συνδρομητών και εξωτερικών δικτύων IP	38
Σχήμα 4: Λειτουργικά Στοιχεία (οντότητες) στο 3GPP πλαίσιο Ελέγχου Πολιτικής και Χρέωσης (PCC).....	43
Σχήμα 5: Εξέλιξη των Επιχειρηματικών Μοντέλων από Μονολιθικά σε σύνθετα – ανοικτά.....	45
Σχήμα 6: Κατανομή χρηστών στα μοντέλα και επικαλύψεις.....	50
Σχήμα 7: Οντότητες και Διεπαφές στην Λειτουργική αρχιτεκτονική του LTE.....	63
Σχήμα 8: Εξομοίωση εξέλιξης φόρτου δικτύου.....	65
Σχήμα 9: Δυναμική εξασφάλιση ικανοποιητικής QoE για όλους τους τύπους υπηρεσιών.....	66
Σχήμα 10: Η εξέλιξη των δεδομένων κινητών επικοινωνιών.....	67
Σχήμα 11: Το μερίδιο των διαφορετικών γενεών κινητών δικτύων στην εξέλιξη των δεδομένων.....	68

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας, αφορά σε εργαλεία που επιτρέπουν στους παρόχους κυψελωτών συστημάτων τρίτης (UMTS) και τέταρτης (LTE) γενιάς, να παρέχουν υπηρεσίες με ποιότητα που προσαρμόζεται στον όγκο της κίνησης και τις απαιτήσεις των συνδρομητών. Αυτό είναι απαραίτητο, καθώς η κίνηση στα δίκτυα αυξάνεται (τα κυψελωτά δίκτυα λειτουργούν πλέον ως κινητή πρόσβαση στο Internet) και δε συμφέρει η επένδυση σε επέκταση του δικτύου, αν δεν εξαντληθούν οι δυνατότητές του. Για τον λόγο αυτό στο UMTS LTE (4G) τυποποιούνται από το 3GPP εργαλεία όπως η λειτουργική οντότητα Policy & Charging Control (PCC), που εξασφαλίζει συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας (με τη νέα χρηστό-κεντρική θεώρηση της ποιότητας Quality of Experience - QoE ως εξέλιξη της δίκτυο-κεντρικής Quality of Service - QoS) για κάθε συνδρομητή και τύπο υπηρεσίας. Έτσι μπορεί ένας πάροχος να εφαρμόσει δυναμικές πολιτικές (τρόπους παροχής και χρέωσης υπηρεσιών) που εμποδίζουν την κατάχρηση δικτύου από συγκεκριμένους συνδρομητές και κάνουν αποδοτικότερη τη χρήση των διαθέσιμων πόρων, διατηρώντας σταθερή την απόδοση σε περιόδους αιχμής της κίνησης. Για τις κατάλληλες πολιτικές και αντίστοιχα τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα, απαιτείται αξιολόγηση και έλεγχος της ποιότητας των υπηρεσιών. Αυτό είναι εφικτό να δοκιμαστεί εργαστηριακά, με κατάλληλη εξομοίωση, όπου το δίκτυο φορτώνεται (μέχρι κορεσμού) με υψηλή κίνηση πραγματικών χρηστών και μετρώνται παράμετροι (KPIs) που αφορούν στην QoE. Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει και αναλύει το παραπάνω πλαίσιο και προτείνει πρακτικές που αναδεικνύουν την χρησιμότητά του για τα δίκτυα 4G και την εξέλιξή τους (5G).

ABSTRACT

The current study focuses on tools that enable 3G/4G cellular network operators to provide services with quality that adapts to traffic volume in the network, along with user demands. This is required, as mobile traffic is rapidly increasing (cellular networks nowadays act as mobile internet access infrastructure) and investing into network capacity extension, may not be profitable, as long as the existing network potential is not fully exploited. In this context, a number of tools are standardized for UMTS LTE by 3GPP, namely the Policy & Charging Control (PCC) functional entity, that ensures a certain quality (with the new, user-centric concept of Quality of Experience - QoE, evolved from network-centric Quality of Service - QoS) for each subscriber and service type. With this tool, operators may apply dynamic policies (on service provision and charging) that prevent network abuse by specific subscribers and make more efficient use of available resources, while maintaining network performance at peak times. Definition of appropriate policies and corresponding new business models, require assessment and control of service quality. This is feasible in laboratory testing, with appropriate simulation, where the network is loaded (up to saturation) with high real user traffic and QoE parameters are measured (KPIs). This dissertation presents and analyzes the above framework and suggests practices that demonstrate its usefulness for 4G networks and their evolution (5G).

Λέξεις - Κλειδιά (Keywords)

Policy Management (PCC), Quality of Service (QoS), Quality of Experience (QoE), UMTS LTE, Mobile Broadband Services, Service Data Flows, Business Models.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση καθώς και η έρευνα των αρχιτεκτονικών αλλά επίσης και των εργαλείων που χρησιμοποιούν οι πάροχοι των (επίγειων) Δικτύων και των Υπηρεσιών Κινητής Τηλεφωνίας με στόχο τη διαφοροποίηση μεταξύ τους. Δηλαδή την παροχή καλύτερων υπηρεσιών στους συνδρομητές τους, σε κυψελωτά συστήματα τρίτης (3G - UMTS) και τέταρτης (4G - LTE) γενιάς. Με τον όρο «καλύτερες» σε αυτή την περίπτωση εννοούμε (ένα ή συνδυασμό των παρακάτω):

- υπηρεσίες με υψηλούς δείκτες ποιότητας, αντικειμενικά μετρήσιμης
- πιο ευέλικτες υπηρεσίες (δηλ. με ποιότητα κυμαινόμενη που εξαρτάται από τον χρήστη και το περιβάλλον)
- μεγαλύτερη γκάμα υπηρεσιών, ώστε να απευθύνονται οι πάροχοι σε ένα μεγαλύτερο σύνολο (target group) συνδρομητών.

Η ίδια η έννοια της «Ποιότητας Υπηρεσίας» έχει με τον καιρό εξελιχτεί από την αρχική της μορφή που έχει ως κέντρο τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου (QoS: Quality of Service), σε μία πιο ευρεία έννοια που έχει ως κέντρο την ανθρώπινη εμπειρία (QoE: Quality of Experience).

Καθώς εξελίσσονται τα δίκτυα, αυξάνεται η ανάγκη για υπηρεσίες δεδομένων με βαρύ πολυμεσικό (multimedia) περιεχόμενο και οι Πάροχοι χρειάζονται λύσεις που δεν απαιτούν δαπανηρή επέκταση του δικτύου, αλλά αποδοτικότερη χρήση των διαθέσιμων πόρων, μέσω του ελέγχου της ποιότητας των υπηρεσιών.

Η εργασία εστιάζει στα χαρακτηριστικά και την κατηγοριοποίηση των βασικών υπηρεσιών που παρέχουν σήμερα τα κινητά δίκτυα, ορίζει την έννοια της Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) καθώς και της Ποιότητας Εμπειρίας (QoE), αναλύει τη λειτουργικότητα της οντότητας Policy & Charging Control (PCC), το πως ενσωματώνεται στο UMTS-LTE, το μοντέλο των πόρων του δικτύου (Bearer Model), τους δείκτες ποιότητας QoS Class Indicators (QCIs), τον έλεγχο των Service Data Flows (SDFs), παρουσιάζοντας τη συνολική Λειτουργική Αρχιτεκτονική που τυποποιεί το 3GPP, για την εφαρμογή πολιτικών ποιότητας. Τέλος παρατίθεται με τη μορφή περίπτωσης χρήσης (Use Case), η αξιολόγηση της ποιότητας των υπηρεσιών και η εξομοίωση της λειτουργίας ενός UMTS-LTE δικτύου υπό φόρτο, με κατάλληλη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των συνδρομητών.

Πιο αναλυτικά η εργασία είναι χωρισμένη σε 5 κεφάλαια:

Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται μία αναδρομική αναφορά στην ιστορία των δικτύων και πως αυτά εξελίχθηκαν σε βάθος χρόνου. Στόχος του κεφαλαίου πέρα από την εισαγωγή στα δίκτυα και το πώς αυτά εξελίχθηκαν από δίκτυα φωνής, σε δίκτυα κυρίως δεδομένων, είναι η διαπίστωση του κατά πόσον η εξέλιξή τους υπαγορεύτηκε από την ανάγκη να εξυπηρετούν τις εξελισσόμενες απαιτήσεις των χρηστών.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται μία κατηγοριοποίηση των σύγχρονων υπηρεσιών που παρέχουν τα δίκτυα καθώς και παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών της κάθε κατηγορίας. Επίσης, γίνεται μία εισαγωγή του τι εννοούμε ποιότητα υπηρεσιών (QoS), αλλά και την εξέλιξή της στην έννοια της ποιότητας εμπειρίας (QoE), ποιοι παράγοντες την επηρεάζουν και πώς καθορίζεται. Σκοπός του κεφαλαίου είναι η εισαγωγή στην έννοια της ποιότητας υπηρεσίας και του τρόπου ποσοτικοποίησής της.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται οι πολιτικές διαχείρισης ποιότητας στο UMTS-LTE. Αναφέρεται σύντομα η λειτουργική αρχιτεκτονική του UMTS-LTE και

ο περιορισμός της συμφόρησης, καθώς και οι βελτιώσεις της QoS μέσω των πολιτικών ποιότητας. Γίνεται κατηγοριοποίηση των διαφόρων τύπων υπηρεσιών, ως προς την προσδοκώμενη ποιότητα και τις παραμέτρους απόδοσης, ορίζεται το μοντέλο κομιστή (bearer model) και με βάση αυτό, ορίζονται οι δείκτες κατηγορίας ποιότητας (QoS Class Indicators – QCIs), αναφέρονται οι τύποι κομιστή με εγγυημένο (GBR) και μη-εγγυημένο (non-GBR) ρυθμό δεδομένων, καθώς και η έννοια των Service Data Flows και ο τρόπος που αξιοποιούνται από την λειτουργική αρχιτεκτονική για την εφαρμογή πολιτικών.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** ασχοληθήκαμε με την αποτίμηση της ποιότητας υπηρεσίας σε ευρυζωνικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Η εξέλιξη των επιχειρηματικών μοντέλων από τα παραδοσιακά μονολιθικά σε νέα με πολλούς ρόλους και παίκτες, συμβαδίζει με την ανάγκη για αποτίμηση της ποιότητας κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών, κάτι που απαιτεί τη μοντελοποίηση των συνδρομητών, για τον υπολογισμό του φόρτου, ώστε να δοκιμαστεί το δίκτυο υπό πίεση (stress testing). Παρέχεται ένα αναλυτικό παράδειγμα μοντελοποίησης χρηστών (με χρήση αποτελεσμάτων προγενέστερης σχετικής πτυχιακής) και σχέσης χρηστών – υπηρεσιών, καθώς και ανάλυση των κρίσιμων δεικτών απόδοσης (KPIs), των ροών δεδομένων υπηρεσίας (SDFs) και τέλος, των τεχνολογιών διαχείρισης της ποιότητας στο δίκτυο κορμού (DiffServ).

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** επιχειρείται μία μελέτη περίπτωσης (Case Study) του πώς μπορεί ένας πάροχος που προβλέπει μεγάλη κίνηση στο δίκτυό του να διαφοροποιήσει την ποιότητα, ώστε να εξυπηρετήσει τις ανάγκες των χρηστών του χωρίς να καταφύγει σε αύξηση / επέκταση του δικτύου του, αγοράζοντας φάσμα, ή άλλο εξοπλισμό. Το πρόβλημα ήταν ότι δεν είχαμε τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε πραγματικά στοιχεία και να κάνουμε πραγματικές δοκιμές εξομοιώνοντας το περιβάλλον λειτουργίας ενός πραγματικού δικτύου. Έτσι, περιγράφουμε το πλαίσιο των δοκιμών με περιγραφή των βημάτων και παρουσιάζουμε το πώς θα μπορούσαν να είναι τα αποτελέσματα και ο αντίκτυπός τους στο δίκτυο του συγκεκριμένου παρόχου. Στο τέλος, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα και γίνονται συστάσεις για τις πρακτικές στα τρέχοντα και επερχόμενα (5G) δίκτυα.

Για την συγγραφή της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν ως πηγές, σχετικές πτυχιακές εργασίες, βιβλία, λήμματα του διαδικτύου (κυρίως Wikipedia), καθώς και τεχνικές εκθέσεις (white papers), έρευνες αγοράς και επιστημονικά άρθρα τα οποία αναφέρονται στην βιβλιογραφία αναλυτικά.

Εύρος και περιορισμοί: Το βασικό αντικείμενο της εργασίας, ήταν οι πολιτικές ποιότητας στο UMTS LTE, για το οποίο υπάρχει αρκετό υλικό διαθέσιμο στο διαδίκτυο και μελέτες για μεγάλες δυτικές αγορές (όχι για την Ελλάδα). Δεν στάθηκε δυνατό να βρεθούν μελέτες και νούμερα με τα αποτελέσματα της εφαρμογής πολιτικών από τους Παρόχους, διότι αυτά θεωρούνται κρίσιμα στοιχεία για τον ανταγωνισμό μεταξύ εταιρειών, άρα η προσέγγιση που έγινε είναι γενική / ποιοτική. Τέλος, λόγω έλλειψης τόσο στοιχείων, όσο και κατάλληλου εξοπλισμού εργαστηριακών δοκιμών, η αναφορά σε συγκεκριμένο πάροχο και φόρτο από συνδρομητές (Use Case) αναπτύχθηκε πάνω σε παραδείγματα από τη βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

1.1 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 1^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ

Τα πρώτα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών σχεδιάστηκαν και ξεκίνησαν την εφαρμογή τους στα τέλη της δεκαετίας του '70 στις Η.Π.Α και Ιαπωνία και στις αρχές της δεκαετίας του '80 στην Ευρώπη. Είναι τα λεγόμενα δίκτυα 1ης γενιάς ή αλλιώς αναλογικά δίκτυα τα οποία μετέδιδαν μόνο φωνή. Παρόλο που οι δυνατότητες τους ήταν λίγες, η εμφάνισή τους την εποχή εκείνη θεωρήθηκε ως ένα τεράστιο τεχνολογικό επίτευγμα. Το Advanced Mobile Phone Service (AMPS), ήταν το πρώτο σύστημα στις κινητές τηλεπικοινωνίες που έκανε την εμφάνιση του το 1978 σε μερικές πολιτείες των Η.Π.Α και εφαρμόστηκε συνολικά το 1983. Στην συνέχεια, η ιδέα της κινητής τηλεφωνίας διαδόθηκε στις υπόλοιπες ηπείρους. Συνολικά, τα συστήματα που εμφανίστηκαν στις εκτός Ευρώπης περιοχές, ήταν τα εξής:

- Το Advanced Mobile Phone Service (AMPS), το 1983 στις Η.Π.Α,
- Το US Digital Cellular (USDC) Standard IS-54, το 1991 στις Η.Π.Α,
- Το 1979, το πρώτο σύστημα της Nippon Telephone and Telegraph (NTT)

Company, στην Ιαπωνία.

Στην Ευρώπη έκαναν την εμφάνιση τους δύο συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών τα οποία ήταν:

- Το Nordic Mobile Telephony (NMT) και
- Το European Total Access Communication System

Βασικό χαρακτηριστικό αυτών είναι η κυψελωτή δομή των δικτύων. Ο λόγος για τον οποίο τα συστήματα αυτά ονομάζονται κυψελωτά, είναι γιατί στηρίζουν την λειτουργία τους στις κυψέλες, το σχήμα των οποίων, αντιπροσωπεύει κατά μια έννοια το γεωγραφικό πλαίσιο μέσα στα οποία μπορούν να εξυπηρετούνται οι κινητοί χρήστες. Σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένας σταθμός βάσης ο οποίος αναλαμβάνει την υλοποίηση και τη δρομολόγηση των κλήσεων. Η ακτίνα της κυψέλης εξαρτάται από την γεωγραφική τοπολογία της περιοχής που εξυπηρετείται από το σύστημα, καθώς επίσης και από την πυκνότητα του πληθυσμού των χρηστών. Βασικό χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων είναι ότι δε παρατηρούνται έντονα κρούσματα παρεμβολής. Ενώ, δεν υπήρχε η δυνατότητα μεταβατικότητας της κλήσης σε άλλη κυψέλη όταν ο χρήστης ξεπερνούσε τα όρια με αποτέλεσμα να τερματίζεται η κλήση. Στα μείον αυτών αξίζει να προσθέσουμε ότι οι συσκευές που χρησιμοποιούνταν ήταν τεράστιες και πολύ υψηλού κόστους.

1.2 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 2^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ

Τα δίκτυα 2^{ης} γενιάς αποτελούν τη βάση για τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς. Το σήμα μεταδίδεται πλέον ψηφιακά. Ωστόσο οι περιορισμένες υπηρεσίες δεδομένων γίνονταν με την δέσμευση καναλιών φωνής και την χρήση τους ως data modem, όπως και στα σταθερά δίκτυα.

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα 2ης γενιάς ήταν:

- Το Global System for Mobile communication (GSM) το οποίο χρησιμοποιεί την TDMA τεχνική και υποστηρίζει 8 χρόνο - σχισμές (time-slots) με εύρος ζώνης 200 KHz η κάθε μια.

- Το Interim Standard 54 (IS-54) και το Interim Standard 136 (IS-136) γνωστό και ως North American Digital Cellular (NADC) ή US Digital Cellular (USDC), που χρησιμοποιεί την TDMA ως τεχνική πρόσβασης.

- Το Pacific Digital Cellular (PDC) ένα Ιαπωνικό σύστημα που είχε αρκετές ομοιότητες με το IS-136 και

- Το Interim Standard 95 Code Division Multiple Access (IS-95) επίσης γνωστό ως cdma One το οποίο χρησιμοποιεί την CDMA τεχνική πρόσβασης.

Στην Ευρώπη, η ανάγκη για τη δημιουργία ενός ενιαίου συστήματος που θα εξυπηρετούσε όλους τους Ευρωπαίους πολίτες ανεξαρτήτως χώρας, οδήγησε στη δημιουργία του GSM υπό την επίβλεψη του European Technical Standards Institute (ETSI). Ένα σύστημα που στην πορεία καθιερώθηκε παγκοσμίως. Το GSM ξεκίνησε να λειτουργεί στην ζώνη των 800-900 MHz ενώ σε κάποιες άλλες χώρες που το υιοθέτησαν, λειτουργεί στα 1.8 (DCS 1800) και 2 GHz.

Τέλος, μερικές από τις υπηρεσίες οι οποίες έκαναν την εμφάνισή τους μαζί με τα δίκτυα 2ης γενιάς, ήταν η δυνατότητα για περιορισμένη πρόσβαση στο Internet και η αποστολή σύντομων γραπτών μηνυμάτων μεταξύ των χρηστών, γνωστά και ως Short Messaging Service (SMS).

1.3 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 2,5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ

Με τον όρο δίκτυο 2,5 γενιάς αποκαλούμε μία σειρά βελτιστοποιήσεων που έγινε επάνω στα υπάρχοντα 2 γενιάς δίκτυα με κύριο στόχο την επίτευξη ταχύτερων ρυθμών μετάδοσης και κυρίως υπηρεσιών δεδομένων. Ενώ πολλές από τις δυνατότητες που παρέχουν υπάρχουν και στα τρίτης γενιάς. Έτσι προκύπτει μία σειρά νέων συστημάτων που αποτελούν τα δίκτυα 2,5 γενιάς και έχουν ως στόχο την καλύτερη υποστήριξη εφαρμογών δεδομένων.

Τα 4 αυτά συστήματα είναι

- Το **High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)**, το οποίο είναι το μόνο που αντιπροσωπεύει την τεχνική της μεταγωγής κυκλώματος (circuit switched) και επιτρέπει στο χρήστη να χρησιμοποιεί διαδοχικές χρόνο-θυρίδες (timeslots) του GSM προτύπου. Σε συνδυασμό με κάποιες άλλες τροποποιήσεις όπως η πιο χαλαρή πολιτική ελέγχου σφαλμάτων σε κάθε timeslot, το HSCSD καταφέρνει να πετύχει ρυθμούς μετάδοσης στα 14,4 Kbps από τα 9,6 Kbps που προσέφερε το GSM. Επίσης, κάνοντας χρήση τεσσάρων συνεχόμενων χρόνο-θυρίδων το πρότυπο αυτό, δίνει τη δυνατότητα για ρυθμούς ως 57,6 Kbps ανοίγοντας έτσι τον δρόμο για εφαρμογές όπως streaming. Ρυθμοί που μπορούν να συγκριθούν με τους αντίστοιχους μιας γραμμής τύπου ISDN B-channel. Έτσι στην πραγματικότητα εξισώθηκαν οι ταχύτητες μετάδοσης των γνωστών ενσύρματων modems, που χρησιμοποιούσαμε για πρόσβαση στο Internet, μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, με αυτές που είχαν τα κινητά μας

τηλέφωνα. Το πλεονέκτημα με την τεχνολογία HSCSD ήταν ότι μπορούσε να λειτουργήσει σε όλες τις περιοχές όπου πραγματοποιείται μεταφορά data με 9,6 kbit/sec με το υπάρχον GSM δίκτυο και με το μικρότερο δυνατό κόστος από πλευράς έξτρα εξοπλισμού. Επίσης, όσον αφορά τις εταιρείες παροχής, τους δόθηκε και η δυνατότητα κλιμακωτής χρέωσης, αναλόγως του ρυθμού μετάδοσης που επιθυμούσε ο χρήστης. Ενώ το βασικότερο μειονέκτημα του HSCSD ήταν το γεγονός ότι η χρήση της μεταγωγής κυκλώματος σπαταλούσε τους πόρους του δικτύου, αφού οι χρόνο-θυρίδες δεσμεύονταν ακόμα και όταν η χωρητικότητα τους δεν χρησιμοποιούνταν.

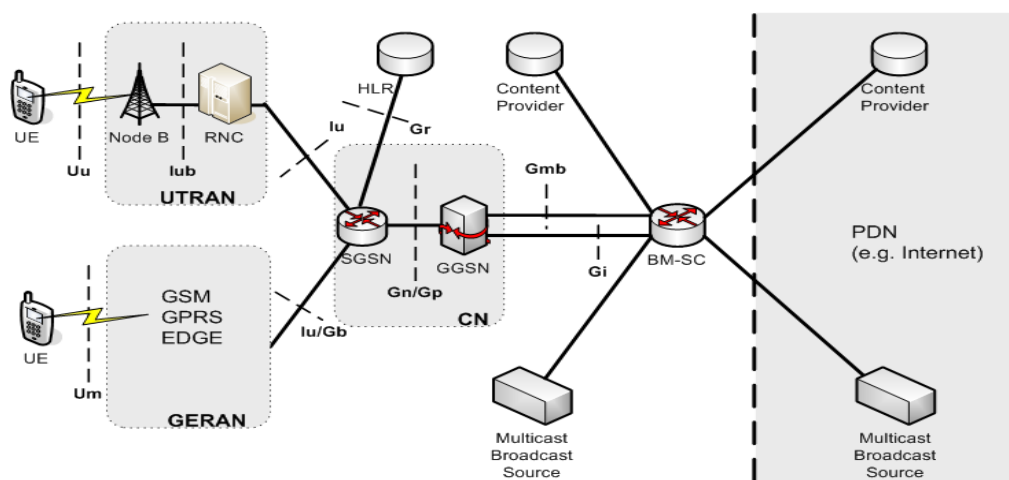
- Το **General Packet Radio Service (GPRS)**, υποστηρίζει εφαρμογές που λειτουργούν πάνω από υποδομές μεταγωγής πακέτου (packet switched), ενώ το ίδιο υλοποιείται με μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching). Αυτό το καθιστά πλέον κατάλληλο για υπηρεσίες όπως e-mail, fax και asymmetric web browsing όπου ο χρήστης κατεβάζει από το Internet πολύ περισσότερα δεδομένα από ότι ανεβάζει. Οι εφαρμογές του GPRS περικλείουν από απλό «σερφάρισμα» στο Internet, μέχρι μετάδοση φωνής και video. Τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι ότι δεσμεύει τους πόρους του δικτύου μόνο όταν υπάρχουν δεδομένα που πρέπει να μεταδοθούν και ότι δεν εξαρτάται τόσο πολύ από τα μέρη εκείνα των δικτύων που λειτουργούν με μεταγωγή κυκλώματος. Έτσι, ενώ ο χρήστης νομίζει ότι είναι συνεχώς συνδεδεμένος στο Internet, στην πραγματικότητα, μόνο όταν απαιτούνται νέα δεδομένα, η κινητή μονάδα θα ζητήσει επιπλέον πόρους από το δίκτυο. Επίσης, επειδή στο GPRS το κανάλι, δε δεσμεύεται από τον κινητό χρήστη με τον τρόπο που γίνεται στο HSCSD, δίνεται η δυνατότητα υποστήριξης περισσότερων χρηστών. Ενώ στο GSM ο χρήστης καταλαμβάνει μια μόνο χρονοθυρίδα, στο GPRS μπορεί να καταλάβει και τις οκτώ και συνεπώς να πετύχει ρυθμό μετάδοσης μέχρι και $8 \times 21,4 = 171,2$ Kbps. Αν και αρχικά το GPRS σχεδιάστηκε ως μια βελτίωση του συστήματος GSM, επεκτάθηκε ώστε να λειτουργήσει μαζί και με το IS-136 πρότυπο.
- **Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)** θεωρείται ως μία αρκετά προηγμένη βελτιστοποίηση του προτύπου GSM και αυτό γιατί απαιτεί την αναβάθμιση τόσο στο λογισμικό αλλά και στο hardware. Το EDGE θεωρείται ως ένα πρότυπο που προέκυψε από την κοινή επιθυμία των υπεύθυνων για τα δίκτυα GSM και IS-136, για μια από κοινού τεχνολογική εξέλιξη που θα τους οδηγούσε σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων 3ης γενιάς. Το EDGE εισάγει μια καινούργια ψηφιακή διαμόρφωση με το όνομα 8-PSK η οποία προσφέρει ρυθμό μετάδοσης μέχρι και 547,2 Kbps όταν χρησιμοποιείται χωρίς διόρθωση λαθών και όταν και οι οκτώ χρονοθυρίδες είναι δεσμευμένες από ένα μόνο χρήστη.
- **Interim Standard 95B (IS-95B)** αποτελεί την μετεξέλιξη του IS-95A που προτάθηκε αρχικά το 1995 και παρέχει μεταγωγή πακέτου αλλά και κυκλώματος, μέσω CDMA καναλιών. Ο όρος CDMA One χρησιμοποιείται για να περιγραφούν τα κυψελωτά δίκτυα που βασίζονται στα πρότυπα IS-95A και IS-95B. Το πρώτο IS-95B δίκτυο, λειτούργησε το 1999 στην Κορέα. Με την ταυτόχρονη κατάληψη και των 8 διαφορετικών καναλιών, μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης $8 \times 14,4 = 115,2$ Kbps.

1.4 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ

Με τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς δίνεται η δυνατότητα περισσότερων διαδικτυακών υπηρεσιών στον χρήστη όπως η επικοινωνία μέσω της υπηρεσίας Voice over Internet Protocol (VoIP), το κατέβασμα μουσικών κομματιών και διάφορες άλλες υπηρεσίες με τη βοήθεια του κινητού του τηλεφώνου που μέχρι άλλοτε κανένα δίκτυο δεν τα προσέφερε. Επιπλέον ο συνδυασμός ήχου, εικόνας και κειμένου είναι κάτι που παρέχεται στο χρήστη με τη χρήση παροχής υπηρεσιών σε οποιοδήποτε μέρος, οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης των δικτύων αυτών, θα έχει τη δυνατότητα να μετακινείται οπουδήποτε και να εξυπηρετείται, ακόμα και σε γεωγραφικές περιοχές όπου η κάλυψη που παρέχεται, δεν είναι από δίκτυο της 3ης γενιάς.

Στα πλαίσια της εξέλιξης των συστημάτων που χρησιμοποιούσαν τα δίκτυα 2^{ης} γενιάς προέκυψαν το πρότυπο cdma2000 ως συνέχεια του CDMA, και το Wideband-CDMA (W-CDMA) ή αλλιώς Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) ως συνέχεια των GSM, IS-136 και PDC. Ενώ τα επικρατέστερα έως τις μέρες μας είναι το UMTS στην Ευρώπη, το **CDMA2000** στην Βόρεια Αμερική, και το **TD-SCDMA** στην Κίνα.

Το UMTS αποτελεί μία αναβάθμιση του GSM και μία επέκταση όσον αφορά την αρχιτεκτονική του General Packed Radio Service (GPRS), παρέχοντας καλύτερο έλεγχο στην ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας, τόσο από τη μεριά του UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN), όσο και από τη μεριά του δικτύου κορμού. Άξιο αναφοράς είναι ότι το UMTS υποστηρίζει υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (CS) για την φωνή και μεταγωγής πακέτου (PS) για τα δεδομένα, κάτι που δεν έκανε το GPRS εφόσον υποστήριζε μόνο υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος. Η φωνή πάνω από IP υλοποιείται για πρώτη φορά εγγενώς στην επόμενη γενιά 4G (UMTS-LTE). Η εγγραφή και πιστοποίηση του χρήστη γίνεται μέσω του SGSN, χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα σχήματα του GSM, ώστε να ελέγξει την ταυτότητα ενός χρήστη ενώ και η HLR είναι αναβαθμισμένη για να υποστηρίξει IP υπηρεσίες. Εν γένει, η λύση της 3GPP μπορεί να χαρακτηριστεί περισσότερο σαν IP-over-GPRS, με την προσθήκη αναβαθμισμένου συστήματος ραδιοεπαφής (του UTRAN) ώστε να προσφέρει μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ είναι υπεύθυνο για όλα τα πρότυπα και εκδόσεις του 3G και όχι μόνο για το WCDMA.



Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική UMTS

Το **cdma2000** είναι προς τα πίσω συμβατό με τα συστήματα IS-95 / IS-95A / IS 95B. Θεωρείται λύση στην κατεύθυνση του 3G και βασίζεται στην χρήση εύρους 1.25MHz καναλιού ανά χρήστη. Η China Academy of Communications Technology (CATT), μαζί με το Siemens Information and Communication Mobile Group (IC Mobile), υλοποίησαν το Time Division Synchronous Code Division Multiple Access (TD-SCDMA) πρωτόκολλο ως μια εναλλακτική 3G τεχνολογία. Χρησιμοποιεί τις TDMA/TDD και CDMA τεχνικές για μεταφορά δεδομένων υψηλού ρυθμού πάνω από GSM δίκτυα έως 384Kbps. Επιπλέον, διαθέτει ραδιοκανάλι των 1.6MHz και 5msec frame που διαιρείται σε 7χρονοθυρίδες. Το 2003 παρουσιάστηκε η πρώτη συσκευή που το χρησιμοποιεί, ενώ το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για εμπορική λειτουργία το 2005.

Δύο βασικοί οργανισμοί που πλέον είναι υπεύθυνοι για την εξέλιξη των προτύπων 3G:

- Το 3G Project Partnership (3GPP) που επεξεργάζεται το WCDMA πρότυπο
- Το 3G Project Partnership 2 (3GPP2) που επεξεργάζεται το cdma2000 πρότυπο.

1.5 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3.5^{HS} ΓΕΝΙΑΣ

Στη γενιά 3.5, περιλαμβάνονται τα δίκτυα εκείνα όπου, εκτός από την τεχνολογία WCDMA, έχουν ενσωματώσει και την τεχνολογία **High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)**. Το HSDPA θεωρείται ως μια εξέλιξη του UMTS προτύπου, παρέχοντας στους χρήστες υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων κατά 5 φορές και μεγαλύτερη χωρητικότητα, με ένα τρόπο ανάλογο με αυτό που προσφέρει το EDGE πρότυπο συγκρινόμενο με το GSM. Παρόλο που κάποια μέρη του προτύπου αυτού θεωρούνται απλά στο να υλοποιηθούν με το υπάρχον υλικό (hardware), το HSDPA σαν γενικότερη έννοια απαιτεί επανασχεδιασμό στην αρχιτεκτονική του δικτύου και αναβάθμιση στο υλικό, όπως αυτό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στους σταθμούς βάσης. Οι τελευταίοι, θα πρέπει όχι μόνο να λειτουργούν αποδοτικά με τέτοιους υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, αλλά και να υποστηρίζουν τη λειτουργία περισσότερο πολύπλοκων πρωτοκόλλων.

Το πρότυπο HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο στην κατερχόμενη ζεύξη, μέσω του High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) όσο και στην ανερχόμενη ζεύξη, μέσω του High Speed Uplink Packet Access (HSUPA). Αξίζει να αναφερθεί ότι τόσο το HSDPA όσο και το HSUPA μπορούν να υλοποιηθούν στο ίδιο εύρος ζώνης με το UMTS (των 5 MHz), γεγονός που επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία τόσο του HSPA όσο και του κλασσικού UMTS. Το HSDPA, προτάθηκε στην έκδοση 5 του προτύπου 3GPP (ανακοινώθηκε το 2003 και υλοποιήθηκε το 2005) και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως και 14.4 Mbps ανά χρήστη. Αναφορικά με την ανερχόμενη ζεύξη, το HSUPA εισήχθη στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ δίνοντας τη δυνατότητα υποστήριξης μέχρι και 5.8 Mbps μέσω ενός αφιερωμένου καναλιού στην ανερχόμενη ζεύξη.

Η λειτουργία του HSDPA στηρίζεται στο γεγονός ότι αντί να χρησιμοποιούνται ξεχωριστά Dedicated (DCH) κανάλια για την αποστολή δεδομένων, χρησιμοποιείται ένα Downlink Shared Channel (DSCH) κανάλι, το οποίο μοιράζονται μεταξύ τους οι χρήστες για την μεταφορά των πακέτων. Το κανάλι αυτό έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης (bandwidth) και για το λόγο αυτό καλείται high-speed DSCH (HS-DSCH).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι προσπάθειες αναβάθμισης που μελετώνται με σκοπό τις περαιτέρω δυνατότητες της ίδιας της HSPA τεχνολογίας από το 3GPP, κατά κύριο λόγο προς τον τομέα της βελτιστοποίησης του ασύρματου μέσου μετάδοσης προσδιορίζονται από την ορολογία HSPA+.

1.6 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4^{ης} ΓΕΝΙΑΣ

Στόχος τους, ο χρήστης να μην υπόκειται σε γεωγραφικούς περιορισμούς αλλά και η συνδεσιμότητα να είναι τέτοια έτσι ώστε ο χρήστης όχι μόνο να είναι συνεχώς συνδεδεμένος στο δίκτυο αλλά το δίκτυο να είναι επαρκές ώστε να εξασφαλίζεται η εκπλήρωση των εκάστοτε επιθυμητών υπηρεσιών, με υψηλή ποιότητα, ικανοποιώντας παράλληλα τις απαιτήσεις κινητικότητας του χρήστη. Παράλληλα οι ταχύτητες αλλά και η χωρητικότητα είναι ασύγκριτα μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές των δικτύων τρίτης γενιάς.

Η υψηλή ταχύτητα οφείλεται στην τεχνική διαμόρφωσης Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), η οποία επίσης συμβάλει στον περιορισμό των λαθών, στην αποδοτικότερη χρήση του εύρους ζώνης και στην εξάλειψη της διασυμβολικής παρεμβολής (ISI). Η OFDM είναι το σύστημα μετάδοσης καθοδικής ζεύξης (downlink) για το LTE, ενώ στην ανοδική ζεύξη (uplink), χρησιμοποιείται η SC-FDMA (Single-carrier FDMA), η οποία μπορεί να θεωρηθεί επίσης ως ένα γραμμικά προ-κωδικοποιημένο σύστημα OFDM που είναι γνωστό ως διακριτός μετασχηματισμός Fourier (DFT- spread OFDM).

Τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων 4ης γενιάς σήμερα είναι :

- 1 **Ανοικτή αρχιτεκτονική:** Ένα τερματικό έχει τη δυνατότητα να συνδέεται απρόσκοπτα σε τοπικά υψηλής ταχύτητας δίκτυα όταν αυτά είναι διαθέσιμα και οι συνθήκες ευνοϊκές.
- 2 **Προσαρμοσμένη διαμόρφωση και κωδικοποίηση:** Δυνατότητα άμεσης αλλαγής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σύμφωνα με τις αλλαγές που μπορεί να υπάρξουν στις συνθήκες του καναλιού. Επιλέγεται η βέλτιστη διαμόρφωση και κωδικοποίηση κάθε φορά.
- 3 **Υιοθέτηση τεχνικών MIMO και OFDM:** Η τεχνολογία MIMO πολλαπλών κεραιών προσφέρει μεγάλες δυνατότητες χωρητικότητας, κατάλληλες για πολυμεσικές εφαρμογές και υπηρεσίες και παράλληλα αυξάνει δραματικά την εμπέλεια του δικτύου και την αξιοπιστία του. Η OFDM διαμόρφωση είναι κατάλληλη για πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων λόγω της χαμηλής πολυπλοκότητας των εξ ισορροπιστών της. Σε συνεργασία MIMO και OFDM βελτιστοποιούν το κανάλι και παρέχουν γρήγορη και αξιόπιστη σύνδεση.
- 4 **Υιοθέτηση αρχιτεκτονικών και πρωτοκόλλων για την υποστήριξη ευρυζωνικότητας:** Η δικτύωση γίνεται πολύ πιο ανοιχτή και πλέον όλες οι αρχιτεκτονικές συνεργάζονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο δικτύου με σκοπό την απρόσκοπτη σύνδεση των τερματικών στο δίκτυο με παράλληλα υπηρεσίες ευρυζωνικότητας υψηλού επιπέδου.
- 5 **Διαφανείς διαδικασίες μεταπομπής (handover):** Η μεταπομπή από σταθμό βάσης σε σταθμό βάσης γίνεται χωρίς διαλείψεις και προβλήματα χωρίς ο χρήστης να καταλαβαίνει αν έγινε ή όχι.
- 6 **Αναβάθμιση της χωρητικότητας από πλευράς εξυπηρέτησης συνδρομητών:** Με τη βελτιστοποίηση της χρήσης του καναλιού και το

διαμοιρασμό των πόρων του δικτύου με δυναμικό και βέλτιστο τρόπο μας επιτρέπεται στα δίκτυα 4ης γενιάς να εξυπηρετήσουμε ακόμα μεγαλύτερο όγκο συνδρομητών.

- 7 **Ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στη καθοδική ζεύξη έως και 299.6 Mbps και στην ανοδική έως και 75.4 Mbps**, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει ο εξοπλισμός του χρήστη. Έχουν οριστεί πέντε κατηγορίες ή κλάσεις τερματικών συσκευών. Η πιο χαμηλή υποστηρίζει μόνο απλή τηλεφωνία ενώ η μεγαλύτερη (η οποία απευθύνεται σε τερματικές συσκευές υψηλών προδιαγραφών) υποστηρίζει τις μέγιστες δυνατές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Όλες οι τερματικές συσκευές είναι ικανές να επεξεργαστούν σήμα εύρους ζώνης 20 MHz.

Πρέπει να τονιστεί ότι οι ταχύτητες είναι ενδεικτικές και δεν είναι τόσο μεγάλες στον πραγματικό κόσμο. Σε επαρχιακές περιοχές όπου οι κεραιές θα απέχουν μεταξύ τους 10 χιλιόμετρα για παράδειγμα, η ταχύτητα θα ανέρχεται στα 10 Mbit/s. Ωστόσο, στα αστικά κέντρα η ταχύτητα θα είναι σαφώς μεγαλύτερη.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές, ένα 4G σύστημα δεν υποστηρίζει παραδοσιακές υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (CS), αλλά βασίζεται πλήρως στο IP (EPC: evolved packet core).

1.7 ANAMENOMENH EΞEΛIΞH KAI TA XAPAKTHPICTIKA TΩN ΔΙΚΤΥΩΝ 5G

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς ή ασύρματα συστήματα πέμπτης γενιάς (5G), αποτελούν την επόμενη και επερχόμενη σημαντική φάση στην εξέλιξη της κινητής τεχνολογίας. Είναι γνωστό ότι θα περιλαμβάνουν πρότυπα τηλεφωνίας πολύ αυστηρότερα αυτών, που ήδη ισχύουν για τα 4G και επίσης, οι τεχνολογίες για τις κινητές επικοινωνίες αναμένονται μετά το 2020. Τα ενημερωμένα αυτά πρότυπα, τα οποία εξετάζονται παρέχουν νέες δυνατότητες για τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες 4G. Η 5G γενιά πρόκειται να προσφέρει αρχιτεκτονικές λύσεις, τεχνολογίες και πρότυπα για την πανταχού παρούσα επόμενη γενιά υποδομών επικοινωνίας της επόμενης δεκαετίας και θα παρέχει τέτοιου είδους επιτεύγματα. Επίσης, η χωρητικότητα των ασύρματων δικτύων τετραπλασιάζεται, γεγονός που σημαίνει ότι θα εξυπηρετούν πάνω από 7 δισεκατομμύρια συσκευές, υπό τον όρο όμως να δημιουργηθεί ένα ασφαλές, αξιόπιστο δίκτυο με ελάχιστη αναμονή.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της νέας αυτής τεχνολογίας θα είναι:

1. Τα **μαζικά MIMO συστήματα** (επίσης, γνωστά ως μεγάλης κλίμακας συστήματα κεραιάς, Very Large MIMO)
2. Η **διάχυτη χρήση των δικτύων**, που μπορεί ή όχι να παρέχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, όπως για παράδειγμα τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.
3. Ένα σημαντικό ζήτημα σε συστήματα πέραν του 4G είναι να καθίστανται διαθέσιμες **υψηλές ταχύτητες δεδομένων σε ένα μεγαλύτερο τμήμα της κυψέλης**, ειδικά, για τους χρήστες σε μια δημόσια θέση εκτεθειμένη μεταξύ πολλών σταθμών βάσης.
4. **Smart-radio**
5. Τα δυναμικά Adhoc Ασύρματα Δίκτυα (DAWN)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ

2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια κατηγοριοποίησης και παρουσίασης των υπηρεσιών δικτύου, δίνοντας έμφαση στα βασικά χαρακτηριστικά τους.

Οι υπηρεσίες που παρέχουν τα δίκτυα σήμερα, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση μία σειρά από διαφορετικά κριτήρια, πολλών ειδών:

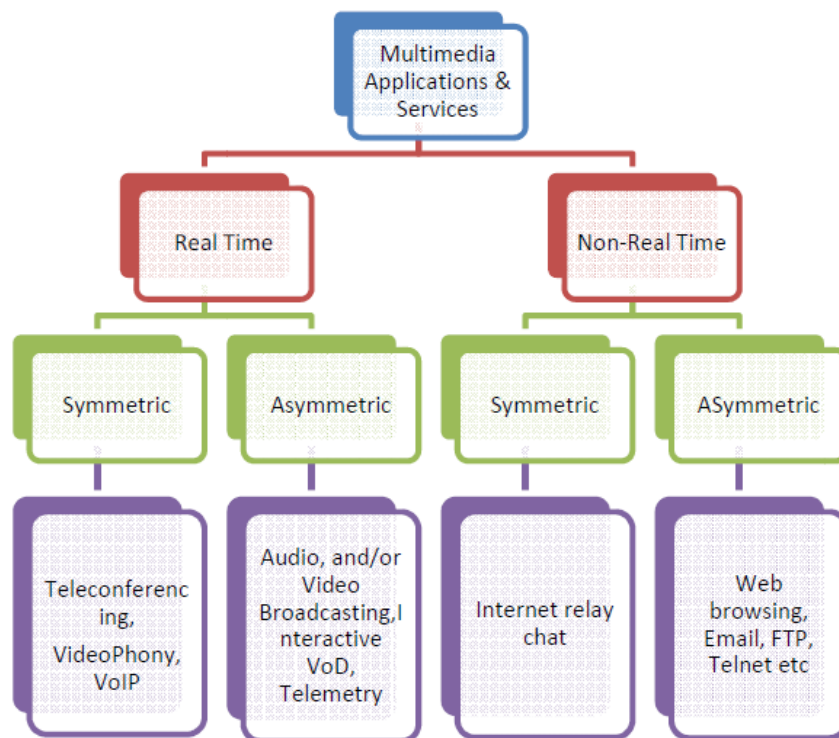
- Το βαθμό κατανόησης της συγκεκριμένης υπηρεσίας, δηλαδή το κατά πόσο οι υπηρεσίες που παρέχονται είναι κατανοητές προς το χρήστη .
- Τη διαδικασία αποτελεσματικού σχεδιασμού, δηλαδή τη μεθοδολογία του σχεδιασμού προκειμένου η υπηρεσία να λειτουργεί αποδοτικά και να ικανοποιήσει τις ανάγκες των χρηστών εξασφαλίζοντάς τους την ικανοποίηση από τη χρήση τους.
- Τη χρησιμότητα της υπηρεσίας, δηλαδή αν η παρεχόμενη υπηρεσία έχει μια σημαντική συνεισφορά σε κοινωνικό, οικονομικό ή περιβαλλοντικό επίπεδο. Η χρησιμότητα της υπηρεσίας και η ευκολία στη χρήση της, δηλαδή πόσο εύκολο είναι για το χρήστη να χρησιμοποιήσει τη συγκεκριμένη υπηρεσία.
- Την καταλληλότητα της υπηρεσίας δηλαδή πως η υπηρεσία λύνει το πρόβλημα σε διαφορετικά επίπεδα και αν το προϊόν εξυπηρετεί τους πελάτες με αποδοτικό και πρακτικό τρόπο.
- Περιλαμβάνει ακόμα και το κατά πόσο συμβαδίζει με τις τρέχουσες τεχνολογίες.
- Την ευκολία στη διαχείριση και την επεκτασιμότητά τους.
- Την μεταβλητότητά της ανάλογα με το αν απαιτείται ή όχι και το κατά πόσο η υπηρεσία προσαρμόζεται στις ανάγκες του χρήστη.
- Με βάση την τηλεπαρουσία: κατά πόσον οι υπηρεσίες εικονικής πραγματικότητας πραγματικού χρόνου υποστηρίζουν εφαρμογές εικονικών συνεδριάσεων, τα λεγόμενα συστήματα τηλεδιάσκεψης.
- Με βάση του κατά πόσον οι υπηρεσίες που παρέχονται είναι βασισμένες στη γεωγραφική θέση. Τέτοια συστήματα καθορίζουν τη θέση ενός χρήστη με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Μία τέτοια υπηρεσία είναι πολύ χρήσιμη σε εφαρμογές έκτακτης ανάγκης .
- Την εικονική πλοήγηση. Κατά πόσον παρέχει γραφική αναπαράσταση δρόμων, κτιρίων και τοπογραφικών γνωρισμάτων. Σκοπός είναι οι επιβάτες να προβλέπουν τη μελλοντική διαδρομή, να επιλέγουν τους δρόμους με τη μικρότερη κίνηση, ή να επιλέγουν εναλλακτικούς δρόμους σε περιπτώσεις ατυχημάτων.
- Τηλεϊατρική: Τα πληρώματα των ασθενοφόρων σε απομακρυσμένες περιοχές θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ιατρικά αρχεία . Να πραγματοποιείται τηλεδιάσκεψη με γιατρούς όπως και να μεταδίδουν πληροφορίες του ασθενούς παρέχοντας εξ αποστάσεως περίθαλψη.
- Με βάση κατά πόσον μη συνδεδεμένος απαραίτητα απευθείας με το Διαδίκτυο, αλλά συνδεδεμένος σε τοπικά δίκτυα μπορεί να παρέχει υψίστης σημασίας και ποιότητας υπηρεσίες.
- Το κατά πόσον παρέχεται αυτοματοποίηση μέσω αισθητήρων, όπως για παράδειγμα στα έξυπνα κτίρια, παρέχεται έγκαιρη προειδοποίηση σε περίπτωση πτώσης τάσης, διαρροής νερού, υπερφόρτωσης του ηλεκτρικού

δικτύου. Στην γεωργία ώστε μέσω ενός κεντρικά διαχειριζόμενου λογισμικού να δίνονται οδηγίες σε πραγματικό χρόνο. Στον βιομηχανικό έλεγχο παρέχοντας συνεχή παρακολούθηση της ροής των χρησιμοποιούμενων υλικών με στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας. Αισθητήρες θέσης είναι τοποθετημένοι στα υλικά που κινούνται πάνω σε μία γραμμή παραγωγής.

- Και γενικότερα τα δεδομένα από πολυάριθμες μικρές συσκευές όπως όπως ένα smartwatch, ένα band, ένα ζευγάρι «έξυπνα» γυαλιά, αισθητήρες παρακολούθησης των καρδιακών παλμών ή ακόμη και ένα smartphone που μπορεί, μέσω ειδικής υπηρεσίας, να συγκεντρώνει δεδομένα τα οποία θα διαμοιράζει σε social media, στον προσωπικό μας γυμναστή ή πολύ περισσότερο στον γιατρό μας και που δεν έχουν απαραίτητα υψηλές απαιτήσεις ποιότητας, αλλά θα απαρτίζουν μελλοντικά το Internet of Things.

2.2 ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

Τα τελευταία χρόνια, η μείωση τιμών του σχετικού hardware και η άνοδος της απόδοσης του δικτύου δίνει τη δυνατότητα στον πάροχο να εξυπηρετήσει απαιτητικές πολυμεσικές εφαρμογές με τη χρήση πολλών διαφορετικών συσκευών μαζικής χρήσης (Notebooks, Tablets, Smartphones). Αντίστοιχα, η εξέλιξη στις μεθόδους συμπίεσης, έχει παίξει καθοριστικό ρόλο στην διάδοση του πολυμεσικού περιεχομένου video. Οι πολυμεσικές υπηρεσίες μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με τις απαιτήσεις τους, ως προς το χρόνο και τη συμμετρία των δεδομένων όπως, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.^[1]



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα κατηγοριοποίησης πολυμεσικών υπηρεσιών.

¹ ITU-T. (11/2001). "End-user multimedia QoS categories," ITU-T, ITU-T Recommendation G.1010.

Οι εφαρμογές μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με τις χρονικές απαιτήσεις τους σε εφαρμογές «πραγματικού χρόνου» και «μη-πραγματικού χρόνου». Οι εφαρμογές «πραγματικού χρόνου» έχουν αυστηρές χρονικές απαιτήσεις και μηδαμινή ανοχή στην καθυστέρηση αποστολής πακέτου δεδομένων. Αντιθέτως, οι εφαρμογές «μη-πραγματικού χρόνου» δεν επηρεάζονται από την καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου, διότι δεν έχουν υψηλούς χρονικούς περιορισμούς.

Η σύσταση G.1010 της ITU-T, μας περιγράφει τις σημαντικότερες παραμέτρους που μπορούν να επηρεάσουν την Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS) από την οπτική γωνία του χρήστη. Η περιγραφή των ανθρώπινων απαιτήσεων για audio και video εφαρμογές που εξυπηρετούνται από κινητά δίκτυα η ITU-T χρησιμοποιεί τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Βαθμός Συμμετρίας (μονόδρομη ή αμφίδρομη επικοινωνία),
- Ταχύτητα Δεδομένων (σε Kbps),
- Διακύμανση Καθυστέρησης (delay variation, ή jitter),
- Απώλεια Πληροφορίας (bit error rate, packet loss, coding artifacts), και
- Άλλα (επαρκής έλεγχος ήχου, συγχρονισμός streams, απόκρυψη απώλειας πακέτων). **(Πίνακας 1)** ^[2]

	Audio Services			Video Services	
Applications	Conversational voice	Voice messaging	High quality streaming audio	Videophone	Streaming
Degree of symmetry	Two-way	Primarily one-way	Primarily one-way	Two-way	One-way
Data Rates	4-64 kbit/s	4-32 kbit/s	16-128 kbit/s	16-384 kbit/s	16-384 kbit/s
One-way delay	<150 ms preferred <400 ms limit	< 1 s for playback < 2 s for record	< 10 s	< 150 ms preferred <400 ms limit	< 10 s
Delay Variation	< 1 ms	< 1 ms	< 1 ms		
Information Loss (%)	< 3% packet loss ratio (PLR)	< 3% PLR	< 1% PLR	< 1% PLR	< 1% PLR
Other				Lip-synch: < 80 ms	

Πίνακας 1: Παράμετροι περιγραφής των ανθρώπινων απαιτήσεων από την ITU-T.

² ITU-T. (11/2001). "End-user multimedia QoS categories," ITU-T, ITU-T Recommendation G.1010.

2.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ

Ο άνθρωπος αναζητά τη βελτίωση σε όλους τους τομείς, είτε για την καλύτερευση της καθημερινότητας του, είτε για λόγους ανταγωνιστικότητας, και αυτή η αναζήτηση είναι περισσότερο από εμφανής και αναγκαία στην εποχή μας.

Η ποιότητα της υπηρεσίας είναι το αποτέλεσμα του προγραμματισμού, σχεδίασης, κατασκευής, λειτουργίας, υποστήριξης και διαχείρισης των υπηρεσιών ενός δικτύου απαλλαγμένο από τη χρήση του δικτύου και την προμήθεια πόρων από τον ανθρώπινο παράγοντα. Εξαρτάται από τις τεχνικές προδιαγραφές των διάφορων τμημάτων ενός δικτύου όπως η κίνηση του δικτύου.

2.4 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

Μέχρι πρόσφατα τα IP δίκτυα στηρίζονταν στην υπηρεσία χωρίς σύνδεση, όπου δεν υπήρχε καμία εγγύηση σχετικά με την ποιότητα υπηρεσίας. Ενώ οι κλασικές εφαρμογές του Internet, π.χ. TELNET, FTP, WWW, SMTP, δεν έχουν κάποια απαίτηση για ποιότητα υπηρεσίας, και μπορούν να λειτουργήσουν ορθά σχεδόν υπό οποιοσδήποτε συνθήκες, η εμφάνιση νέων εφαρμογών όπως το voice over IP, και η μετάδοση συρμών πολυμέσων (ήχου ή / και εικόνας) μέσω διαδικτύου έχουν δημιουργήσει την απαίτηση για παροχή ποιότητας υπηρεσίας από τα IP δίκτυα.

Επίσης η εφαρμογή μεθόδων ποιότητας υπηρεσίας σε αυτά τα δίκτυα μπορεί να ανοίξει νέους δρόμους στα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (VPN), καθώς και να επιτρέψει την ενοποίηση των IP δικτύων με τα υπόλοιπα δίκτυα (PSTN, ISDN, GSM, ...). Για τα IP δίκτυα, η IETF έχει καθορίσει έναν αριθμό υπηρεσιών.

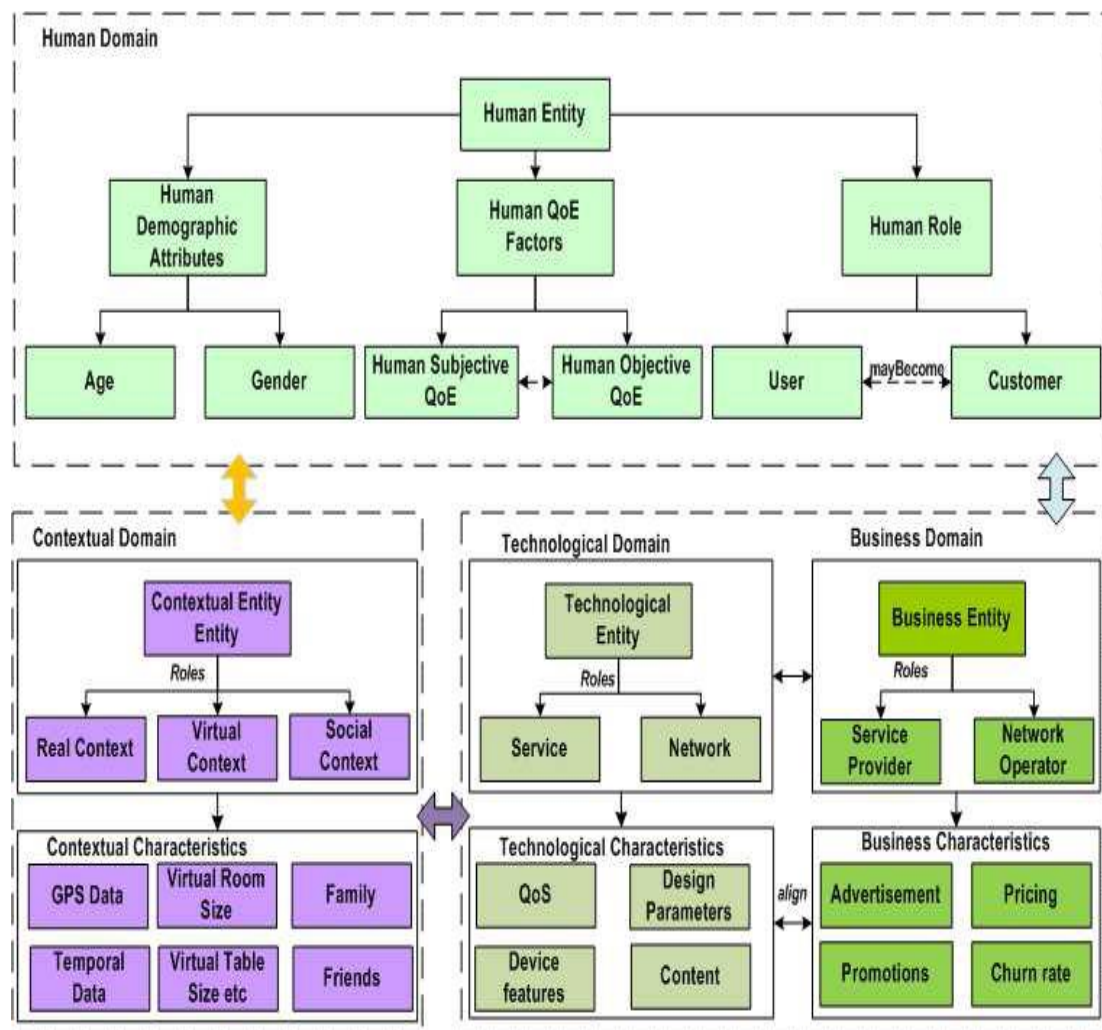
2.5 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ (QoE)

Οι υπηρεσίες αποτελούν το σημείο και τον λόγο επαφής ανθρώπου και δικτύου. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σαφής στροφή των υπηρεσιών από ένα παραδοσιακά τεχνοκεντρικό μοντέλο σε ένα νέο ανθρωποκεντρικό. Έτσι μετακυλιέται το ενδιαφέρον από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου και της υπηρεσίας (τα οποία είναι σαφώς μετρήσιμα και αντικειμενικά), στον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος-χρήστης προσλαμβάνει το αποτέλεσμα και την αξία της υπηρεσίας και του δικτύου που την προσφέρει (στοιχεία με μεγάλο βαθμό υποκειμενικότητας). Αποτέλεσμα των αλλαγών αυτών, είναι η εξέλιξη και διεύρυνση της έννοιας της Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) στην έννοια της Ποιότητας Εμπειρίας (QoE).

Οι εξαιρετικές δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα δίκτυα και οι τερματικές συσκευές, έχουν υψηλό αποτέλεσμα στο προσωπικό πεδίο του χρήστη, προσδίδοντας ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ανάπτυξη και αξιολόγηση απαιτητικών πολυμεσικών υπηρεσιών (video streaming, VoIP, 3D Audio Conferencing, IPTV) για την μοντελοποίηση της καταναλωτικής συμπεριφοράς των χρηστών. Η αξιοποίηση αυτής της πληροφορίας γίνεται στις μέρες μας όλο και πιο σημαντική, ως μέσο διαφοροποίησης των παρόχων, η επιτυχία των οποίων στην άκρως ανταγωνιστική αγορά των σύγχρονων κινητών δικτύων, κρίνεται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο και την έκταση στην οποία προσελκύουν συγκεκριμένες ομάδες χρηστών, με απαιτήσεις και ανάγκες που μπορούν να φέρουν εις πέρας με ευελιξία οι αυξημένες δυνατότητες των νέων δικτύων. Έτσι, η Ποιότητα Εμπειρίας έρχεται στο κέντρο του

ενδιαφέροντος των παρόχων, ως εργαλείο αξιολόγησης και διαφοροποίησης των υπηρεσιών τους, για την αποτελεσματικότερη διείσδυση στη σύγχρονη απαιτητική αγορά.

Η ανθρώπινη συμπεριφορά ορίζεται από εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες. Εσωτερικοί μπορούν να θεωρηθούν οι βιολογικοί, ψυχολογικοί αλλά και οι γνωστικοί παράγοντες, ενώ οι εξωτερικοί θεωρούνται οι κοινωνικοί, οικονομικοί και οι τεχνικοί παράγοντες. Στο παρακάτω σχήμα (**Διάγραμμα 2**) απεικονίζεται ένα οικοσύστημα επικοινωνιών το οποίο είναι βασισμένο στην έννοια της QoE. Οι εσωτερικοί παράγοντες αποτελούν μέρος του Human Domain (Ανθρώπινο Πεδίο), ενώ οι εξωτερικοί χωρίζονται σε Technological Domain (Τεχνολογικό Πεδίο), Business Domain (Επιχειρηματικό Πεδίο) και Contextual Domain (Πεδίο Πλαισίου Εφαρμογής). Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των εσωτερικών και των εξωτερικών Domains παράγει απαιτήσεις QoE.^[3]



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα υψηλού επιπέδου για το μοντέλο αλληλεπίδρασης QoE στο οικοσύστημα της επικοινωνίας.

³ LAGHARI, K. u. (2013). *PhD Thesis: On Quality of Experience (QoE) for Multimedia Services in Communication Ecosystem*. Paris: Télécom SudParis - Université Pierre et Marie Curie.

Μέσα σε κάθε Domain υπάρχουν τρία επίπεδα:

- **Οντότητα** (entity),
- **Ρόλοι** (roles) και
- **Χαρακτηριστικά** (characteristics).

Μια οντότητα μπορεί να έχει πολλαπλούς ρόλους και χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά μεταφράζονται σε ποσοτικοποιησιμα μεγέθη. ^[4]

Η **ανθρώπινη οντότητα** έχει διάφορα δημογραφικά χαρακτηριστικά, για παράδειγμα η ηλικία και το φύλο παίζει ρόλους, όπως του πελάτη που επηρεάζεται από τα επιχειρηματικά μοντέλα των παρόχων, καθώς και του χρήστη που εκτιμά και αξιολογεί την υπηρεσία, και δημιουργεί διάφορες εμπειρίες (QoE παράγοντες). Οι QoE παράγοντες περιγράφουν την συνολική εκτίμηση των ανθρώπινων αναγκών, αισθημάτων, επιδόσεων και προθέσεων. Μπορούμε να τους διαχωρίσουμε σε Υποκειμενικούς και Αντικειμενικούς παράγοντες. Υποκειμενικοί παράγοντες θεωρούνται η ευκολία- ευχαρίστηση από τη χρήση υπηρεσίας, η ικανοποίηση ή ενόχληση από τον πάροχο, κ.α. Από την άλλη οι Αντικειμενικοί είναι οι καρδιακοί σφυγμοί, η εφίδρωση, η απομνημόνευση, κ.α. Επιπλέον, η ανθρώπινη οντότητα έχει τρεις βασικούς τύπους ρόλων:

- **Πελάτης** (συνδρομητής, νόμιμος κάτοχος μιας υπηρεσίας, επηρεάζεται από τα επιχειρηματικά μοντέλα των παρόχων),
- **Χρήστης** (χαρακτηριστικά, αίσθηση, πρόσληψη και τεχνικές επιδόσεις της υπηρεσίας) και
- **Ομάδα** (σύνολο οντοτήτων που μοιράζονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, αλληλεπιδρούν, ή έχουν συγκεκριμένες σχέσεις, για παράδειγμα, τηλεδιάσκεψη πολλών μερών). ^[5]

Το **Τεχνολογικό Πεδίο** αποτελείται από όλα τα τεχνολογικά στάδια που ακολουθεί μια υπηρεσία, από τη στιγμή της σχεδίασής της μέχρι την παροχή στο ευρύτερο κοινό. Όσα στάδια υλοποιούνται και παρέχονται θεωρούνται τεχνολογικές οντότητες, ενώ τεχνολογικά χαρακτηριστικά θεωρούνται οι συσχετιζόμενες τεχνικές παράμετροι που αντιπροσωπεύουν τις οντότητες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τεχνολογικών οντοτήτων είναι οι υπηρεσίες και οι εφαρμογές, ενώ των τεχνολογικών χαρακτηριστικών παράμετροι QoS και τεχνικές προδιαγραφές των συσκευών. ^[5]

Στο **επιχειρηματικό πεδίο** συγκαταλέγονται όλοι οι επιχειρηματικοί παράγοντες που συνδέονται με την παροχή μιας υπηρεσίας. Στη σημερινή εποχή, λόγω της έντονης ανταγωνιστικότητας της αγοράς, κύριο μέλημα των παρόχων είναι η αποτελεσματική διαχείριση της εμπειρίας του πελάτη. Είναι πάρα πολύ σημαντικό προνόμιο για τον πάροχο να έχει την δυνατότητα να γνωρίζει πώς να παράγει επιχειρηματικά χαρακτηριστικά με απώτερο σκοπό την ικανοποίηση των αναγκών του πελάτη. Ένα πλήθος από τέτοια χαρακτηριστικά είναι η **διαφήμιση** (η οποία

⁴ LAGHARI, K. u. (2013). *PhD Thesis: On Quality of Experience (QoE) for Multimedia Services in Communication Ecosystem*. Paris: Télécom SudParis - Université Pierre et Marie Curie.

⁵ Brown, C. T., & Peterson, L. G. (2009). "An Enquiry Into the Method of Paired Comparison: Reliability, Scaling, and Thurstone's Law of Comparative Judgment.",. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest, Gen Tech. Rep RMRS-GTR-216,.

γνωρίζοντας τις απαιτήσεις του πελάτη, μπορεί να βρεί εύκολα τρόπο να τους τραβήξει το ενδιαφέρον), η *κοστολόγηση* και η *χρέωση* μιας υπηρεσίας (μέσω ερευνών προς τους πελάτες δίνεται η δυνατότητα να γνωρίζει τη γνώμη τους εάν το κόστος της υπηρεσίας είναι ακριβό ή φθινό).

Η επιχειρηματική οντότητα εμπεριέχει *τεχνικές οντότητες* (π.χ δικτυακές υποδομές) και μπορεί να έχει διάφορους ρόλους (π.χ πάροχος υπηρεσίας, πάροχος δικτύου, πάροχος συσκευής). Επίσης, ο πάροχος για να διατηρήσει την εμπειρία του πελάτη σε υψηλό επίπεδο, μπορεί να δώσει την δυνατότητα της έκφρασης των παραπόνων και των απαιτήσεων του είτε άμεσα σε κάποιο σημείο επαφής είτε έμμεσα σε κάποιο e-mail έκφρασης παραπόνων. Η επιχειρηματική αλυσίδα αξίας μιας πολυμεσικής τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας, όπου ορίζει τη ροή αξίας στο συγκεκριμένο επιχειρηματικό μοντέλο, αποτελείται από:

Τα χαρακτηριστικά του μοντέλου του πελάτη, όπως προαναφέραμε παραπάνω, είναι η διαφήμιση, η κοστολόγηση και η προώθηση, η εξυπηρέτηση αλλά και η δημόσια εικόνα της επωνυμίας του προϊόντος (brand image), καθώς και

Τα χαρακτηριστικά της επιχείρησης, όπου μπορούν να είναι *ενδοεπιχειρησιακά* και *διεπιχειρησιακά*. Με την έννοια *ενδοεπιχειρησιακά* εκφράζουμε τους στόχους και τις στρατηγικές του παρόχου, το μάρκετινγκ, τους διαθέσιμους πόρους και τη χρήση τους. Ενώ, με τα *διεπιχειρησιακά* εκφράζουμε το νομικό κομμάτι της επιχείρησης, τα οικονομικά και ό, τι έχει σχέση με τα SLA (Service Level Agreement) ζητήματα μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών.

Για την παροχή της υψηλής Ποιότητας Εμπειρίας προς τους πελάτες, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η προσέγγιση της κοινής τομής των επιχειρηματικών χαρακτηριστικών με τις QoE του πελάτη. Γι' αυτό και οι επιμέρους τομείς (Business & Technological Domains) συγκαταλέγονται σαν ένα ενιαίο πεδίο (**Διάγραμμα 2**)

Στο εσωτερικό ενός επικοινωνιακού οικοσυστήματος, ο όρος «context» αντιπροσωπεύει τις περιστάσεις ή τις επικοινωνιακές καταστάσεις και το περιβάλλον κατά την ώρα της διάδρασης μεταξύ όλων των οντοτήτων (ανθρώπινη, τεχνολογική, επιχειρησιακή).

Κατηγοριοποιείται σε τρεις βασικούς τύπους, *Πραγματικό*, *Εικονικό* και *Κοινωνικό*. Το *Πραγματικό* αναφέρεται στη ζώνη ώρας ή στην τρέχουσα ώρα του χρήστη, στην τοποθεσία και στις καιρικές συνθήκες κατά τη σχεδίαση της εκάστοτε υπηρεσίας. Η κατηγοριοποίηση σε *Εικονικό* έχει να κάνει με την εξ' αποστάσεως εκπαίδευση (e-learning) ή τις εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας. Τέλος, το *Κοινωνικό* "παρουσιάζει" τις διαπροσωπικές σχέσεις, τις κοινωνικές επαφές (φίλους, εχθρούς, συνεργάτες, συγγενείς).

Ένα άτομο το οποίο πραγματοποιεί μια τηλεδιάσκεψη ή φωνητική κλήση σε ήσυχο-κλειστό χώρο, έχει διαφορετικές QoE απαιτήσεις από ένα άτομο το οποίο εκτελεί μια επικοινωνία εν πλω ή εν ώρα ψυχαγωγίας, για παράδειγμα σε αίθουσα συναισθημάτων και αναψυχής (καφετέρια).^[6]

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως:

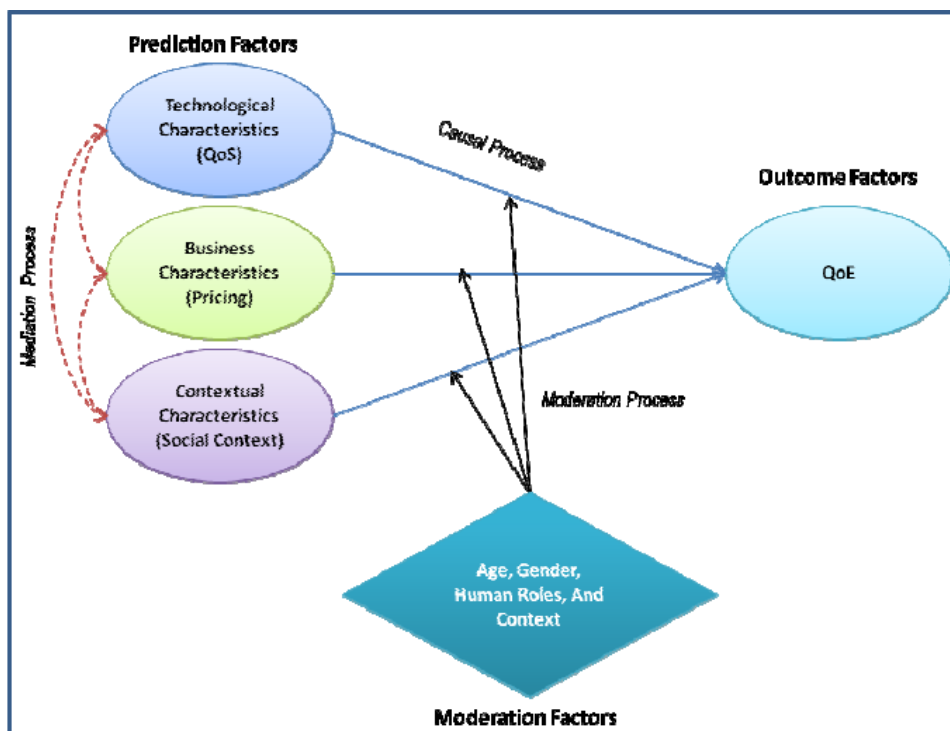
⁶ Brown, C. T., & Peterson, L. G. (2009). "An Enquiry Into the Method of Paired Comparison: Reliability, Scaling, and Thurstone's Law of Comparative Judgment.", Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest, Gen Tech. Rep RMRS-GTR-216..

Παράγοντες Πρόγνωσης (ανεξάρτητοι παράγοντες): Αποτελούνται από τεχνολογικά και επιχειρηματικά χαρακτηριστικά, όπως και από χαρακτηριστικά πλαισίου εφαρμογής, που περιγράφουν ή προβλέπουν τους παράγοντες πρόβλεψης.

Παράγοντες Έκβασης (εξαρτώμενοι παράγοντες): Έχουν σαν βασικό χαρακτηριστικό τα υποκειμενικά και αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου πεδίου.

Παράγοντες Μετριάσμού: είναι οι παράγοντες που διαμορφώνουν την κατεύθυνση ή την ένταση της αλληλεπίδρασης μεταξύ παραγόντων πρόγνωσης και παραγόντων έκβασης. Παράδειγμα είναι τα δημογραφικά χαρακτηριστικά (ηλικία, φύλο, μορφωτικό επίπεδο, κ.α.), οι ανθρώπινοι ρόλοι (χρήστης, πελάτης, κ.α.) και το πλαίσιο εφαρμογής (τοποθεσία, κ.α.)

Τα χαρακτηριστικά του πλαισίου εφαρμογής μπορούν να είναι είτε παράγοντες πρόγνωσης (η προσλαμβανόμενη κοινωνική πίεση επηρεάζει την συμπεριφορά του ατόμου), είτε παράγοντες μετριάσσης (τα δεδομένα του χρήστη, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν κατά τοποθεσία).



Εικόνα 2: Αλληλεπίδραση μεταξύ των Domains.

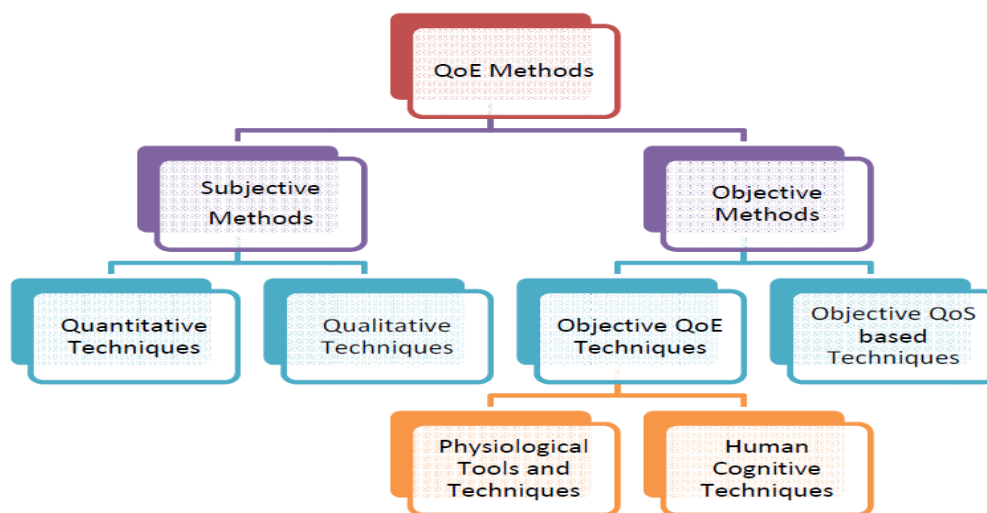
Μια διεργασία «αιτίου- αποτελέσματος» (casual process) είναι η άμεση επίδραση που έχουν οι παράγοντες πρόγνωσης στους παράγοντες έκβασης. Ενώ, μια «διεργασία μεσολάβησης» είναι η έμμεση επίδραση μιας άμεσης σχέσης αιτίου-αποτελέσματος μεταξύ παραγόντων έκβασης και πρόγνωσης. Για παράδειγμα, όταν η QoS μιας πολυμεσικής υπηρεσίας (video call), η ενόχληση του χρήστη είναι εξαρτώμενη από το κόστος της υπηρεσίας ή ακόμα και αν παρέχεται χωρίς χρέωση. Αντίστοιχα, διαφορετική αίσθηση της ανοχής προς την χειροτέρευση μιας υπηρεσίας έχουν οι χρήστες οι οποίοι ανήκουν σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες. Κατά γενική ομολογία, οι παράγοντες πρόγνωσης και μετριάσμού δεν συσχετίζονται. Αν όμως υπάρχει ισχυρή σχέση, μπορεί να οδηγήσει σε λάθος εκτίμηση της καταστάσεως. Η

απλοποιημένη σχέση που χαρακτηρίζει την συνολική QoE ως προς τα χαρακτηριστικά των πεδίων είναι:

Συνολική QoE (Παράγοντες Μετριάσμου) = Άμεσο Αποτέλεσμα (Παράγοντες Πρόγνωσης) + Έμμεσο Αποτέλεσμα (διεργασίες μεσολάβησης).^[7]

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την Ποιότητα Εμπειρίας μιας πολυμεσικής υπηρεσίας, εξαρτώμενοι από το δίκτυο (packet loss, packet reorder, packet delay), από την ίδια την εφαρμογή (frame rate, coding rate), το περιεχόμενο (αργά ή γρήγορα κινούμενο video), αλλά και οι επιχειρηματικοί παράγοντες (διαφήμιση, κοστολόγιο, τρόπος χρέωσης) οι οποίοι επιδρούν στην συμπεριφορά του πελάτη. Ο χρήστης έχει διαφορετικές και υψηλότερες απαιτήσεις από μια επί πληρωμή υπηρεσία (Video on Demand) παρά από μια η οποία παρέχεται δωρεάν (YouTube, google). Το σύνολο των παραπάνω παραγόντων, επηρεάζουν από κοινού την Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) και καθιστούν κρίσιμο τον καθορισμό μετρήσιμων παραγόντων, για την ποσοτικοποίηση της QoE και κατ' επέκταση της σύνδεσης της QoE με την QoS (Ποιότητα Υπηρεσίας).

Ποσοτικοποίηση της QoE σημαίνει μετάφραση της ανθρώπινης αντίληψης και επίδοσης σε στατιστικές και ερμηνεύσιμες τιμές. Υπάρχουν 2 κύριες μέθοδοι μέτρησης και ανάλυσης της QoE, όπως παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα (Διάγραμμα 3)



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα μεθόδων αξιολόγησης.

Οι υποκειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης (Subjective Assessment - SA) βασίζονται σε έρευνες πεδίου μέσω ερωτηματολογίου, συνεντεύξεων και στατιστικής δειγματοληψίας χρηστών και πελατών, προκειμένου να αναλυθούν οι ανάγκες και οι τρόποι αντίληψης σε σχέση με τη ποιότητα της υπηρεσίας και του δικτύου που χρησιμοποιούν. Από την άλλη πλευρά, οι αντικειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης (Objective Assessment - OA) βασίζονται στην συλλογή και την επεξεργασία συμπαγούς ποσοτικοποιήσιμης πληροφορίας από QoS δεδομένα, δηλ. δεδομένα από το δίκτυο και τις συσκευές, παρά από τον χρήστη και τη συμπεριφορά του.

⁷ ITU-T. (11/2001). "End-user multimedia QoS categories," ITU-T, ITU-T Recommendation G.1010.

Οι υποκειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης (Subjective Assessment - SA) διαχωρίζονται σε **ποιοτικές** (Qualitative) και **ποσοτικές** (Quantitative) τεχνικές.

Οι **ποιοτικές τεχνικές** κατανοούν ανθρώπινες αντιλήψεις, αισθήματα και γνώμες με την μορφή λόγου. Τα εν λόγω δεδομένα, αποτελούνται κυρίως από λέξεις και παρατηρήσεις παρά αριθμούς. Τέτοιου τύπου εκτενείς πληροφορίες αντλούνται συνήθως από έρευνες – γκάλοπ που διεξάγονται, συνεντεύξεις και μαρτυρίες πελατών σχόλια σε blogs τεχνολογικού ενδιαφέροντος ή ακόμα και σε σελίδες κοινωνικής δικτύωσης. Οι τρεις πιο κοινές ποιοτικές μέθοδοι είναι η παρατήρηση του συμμετέχοντος, οι αναλυτικές συνεντεύξεις και οι εστιασμένες ομάδες (focus groups). Η πληροφορία που συλλέγεται είναι σημειώσεις πεδίου, ηχογραφήσεις από συνεντεύξεις και μεταγραφές. Για την αποτελεσματική ανάλυση τέτοιου τύπου δεδομένων, χρησιμοποιείται συνήθως κάποιο απλό πλαίσιο Κατάλογος - Κατηγοριοποίηση - Ανάλυση (CCA). Όπως παρατηρούμε στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 3**), όπου απεικονίζονται τα τρία απλά βήματα, το πλέον ουσιαστικό μετρήσιμο μέγεθος σχετικό με λεκτικές συμπεριφορές, είναι ο λόγος των θετικών προς τα αρνητικά σχόλια, ο οποίος μπορεί να απεικονιστεί με την μορφή ιστογράμματος.



Εικόνα 3: Βήματα πλαισίου, Κατάλογος – Κατηγοριοποίηση – Ανάλυση.

Οι **ποσοτικές τεχνικές**, βασίζονται σε έρευνες πεδίου και μελέτες χρηστών, οι οποίες προσπαθούν να συλλάβουν τις ανθρώπινες αντιλήψεις, απαιτήσεις και αισθήματα με την μορφή αριθμών και ποσοτικοποιήσιμων δεδομένων. Οι έρευνες αυτές διαθέτουν ερωτήσεις κλειστού τύπου με βαθμολογίες και κλίμακες αξιολόγησης. Για την ανάλυση των δεδομένων της πληροφορίας, χρησιμοποιούνται παραμετρικά και μη-παραμετρικά στατιστικά. Άλλες τεχνικές εξόρυξης δεδομένων (data mining), όπως η Rough Set Theory (RST) (Pawlak, Grzymala-Busse, Slowiriski, & Ziarko, 1995) μπορούν να χρησιμοποιηθούν. ^{[8] [9]}

⁸Mack, N., Woodson, C., MacQueen, K., Guest, G., & Namey, E. (2011). "Qualitative Research Methods Overview," *Qualitative Research Methods: A data collector's field guide*, FHI .

⁹ Pawlak, Z., Grzymala-Busse, J., Slowiriski, R., & Ziarko, W. (1995). "Rough Sets," *Comm. of the ACM* , 38 (11), σ. 88-95.

Υπάρχουν τρεις βασικοί μέθοδοι εκτίμησης:

- **ACR**
- **DCR**
- **PC**

Η **ACR (Absolute Category Rating)** είναι μια μέθοδος κρίσης κατηγορίας, όπου οι δοκιμαστικές ακολουθίες (υπηρεσίες) παρατίθενται μια-μια στα υποκείμενα της μελέτης (χρήστης) και βαθμολογούνται από αυτά βάση κλίμακας κατηγοριών. Η συγκεκριμένη κατηγορία μας δίνει την δυνατότητα να υλοποιήσουμε εύκολα την παρουσίαση των ειδών προς αξιολόγηση

Η **DCR (Degradation Category Rating)** είναι η μέθοδος η οποία τα υποκείμενα βαθμολογούν με βασικό κριτήριο την χειροτέρευση από κάποιο αρχικό ερέθισμα.

Όταν ο έλεγχος της πιστότητας είναι η άμεση προτεραιότητα σε σχέση με την αρχική αξιολόγηση συνιστάται αυτή η μέθοδος

Η **PC (Paired Comparison)**, η αλλιώς σύγκριση ζεύγους, είναι η μέθοδος στην οποία τα υποκείμενα της μελέτης καλούνται να επιλέξουν ένα εκ των αξιολογήσιμων ειδών τα οποία παρατίθενται σε αυτούς ανά ζεύγη. Έχουν την δυνατότητα να επιλέγουν για κάθε ζεύγος το είδος που ικανοποιεί το συγκεκριμένο κριτήριο. Η μέθοδος σύγκρισης ζεύγους έχει ως κύριο πλεονέκτημα της την απλότητα και την χρήση συγκριτικών αποφάσεων, αλλά υστερεί στην πρακτική της εφαρμογή στις περιπτώσεις όπου το πλήθος των ειδών προς αξιολόγηση είναι μεγάλο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, εκτός από την μέθοδο αξιολόγησης, σημαντικό ρόλο έχει και ο ορισμός μίας συγκεκριμένης κλίμακας αξιολόγησης για να ποσοτικοποιηθεί η ανθρώπινη υποκειμενικότητα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κλιμάκων που χρησιμοποιούνται για την σύλληψη και αποτύπωση της αντίληψης και των αισθημάτων του χρήστη, όπως:

- **Ονομαστικές (δυναδικές κλίμακες)**
- **Τακτικές**
- **Αναλογικές (ή διαστημάτων)**

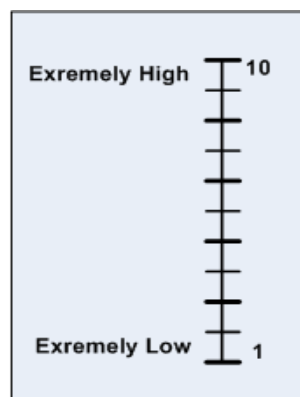
Η πιο βασική κλίμακα είναι η **ονομαστική**, η οποία περιγράφει απαντήσεις με την μορφή κατάφασης-άρνησης (NAI/ OXI).

Η **τακτική** κλίμακα παρουσιάζει μία καθαρή διάταξη τιμών και η κάθε απάντηση περιγράφει πιο προσεγγιστικά την άποψη του χρήστη. Η ITU-T (International Telecommunication Union) έχει προτείνει την πενταβάθμια MOS (Mean Opinion Score) κλίμακα η οποία κανονικά χρησιμοποιείται για μετρήσεις πρόσληψης ποιότητας. Η κλίμακα αυτή καλείται επίσης και «Likert Scale» (πενταβάθμια κλίμακα). Η ITU-T ACR MOS και η DCR Impairment (χειροτέρευσης) κλίμακες έχουν την μορφή πενταβάθμιας κλίμακας που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 2**).

Quality Rating	Impairment Rating	MOS Score
Excellent	Imperceptible	5
Good	Perceptible but not annoying	4
Fair	Slightly annoying	3
Poor	Annoying	2
Bad	Very annoying	1

Πίνακας 2: Πενταβάθμια κλίμακα MOS.

Οι **αναλογικές** κλίμακες διαστημάτων, διατηρούν τα χαρακτηριστικά των τακτικών κλιμάκων προσθέτοντας το χαρακτηριστικό των ισαπέχοντων διαστημάτων. Οι αναλογικές κλίμακες είτε δεν έχουν καθόλου ετικέτες ανά επίπεδο, είτε διαθέτουν ετικέτες μόνο στα άκρα της κλίμακας για την διευκρίνιση του εύρους της αξιολόγησης. Μια κλίμακα τέτοιου τύπου παρουσιάζει η παρακάτω εικόνα. **(Εικόνα 4)** ^{[10] [11]}



Εικόνα 4: Αναλογική Κλίμακα Αξιολόγησης.

¹⁰ ITU-T. (2008). "Subjective video quality assessment methods for multimedia applications.". Geneva, Switzerland: International Telecommunication Union, Recommendation P.910,.

¹¹ ITU-T. (1996). "Methods for subjective determination of transmission quality, ". ITU-T Recommendation P.800,.

2.6 ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

2.6.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ Ο ΧΡΗΣΤΗΣ

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία συσκευών που μπορούν να φιλοξενήσουν μία εφαρμογή. Θα επικεντρωθούμε κυρίως στις πιο απαιτητικές σε επίπεδο εξοπλισμού που είναι οι εφαρμογές βίντεο. Η επεξεργασία του μέσου, οι δυνατότητες του όπως η ευκρίνεια της εικόνας, το χρώμα, το μέγεθος, 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 στο QoE του χρήστη με τρεις διαφορετικούς τρόπους .

1. Εξ αιτίας της διαφορετικής επεξεργασίας και της διαφορετικής χωρητικότητας αποθήκευσης των συσκευών.
2. Οι χρήστες με καλύτερες συσκευές απαιτούν από το δίκτυο καλύτερη ποιότητα στην υπηρεσία τους και τέλος
3. Το QoE του χρήστη εξαρτάται και από την απόδοση της τερματικής συσκευής.

Λόγω της ετερογένειας των συσκευών χρειάζεται να βρεθούν λύσεις για την πολυεκπομπή βίντεο. Η λύση σε αυτό είναι η επαναλαμβανόμενη ροή, στην οποία έχουμε ταυτόχρονη πολυεκπομπή διαφορετικών ροών σε διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων και η οποία χωρίζεται :

1. Στη συσσωρευτική διαστρωμάτωση, το βίντεο κωδικοποιείται σε ένα βασικό στρώμα που είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα και σε άλλο ένα ή περισσότερα βελτιωτικά στρώματά που αποκωδικοποιούνται συσσωρευτικά
2. Στη μη συσσωρευτική διαστρωμάτωση στην οποία υπάρχει μόνο μία ροή πολυεκπομπής. Όλο το βίντεο κωδικοποιείται σε ένα ή περισσότερα στρώματα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι απαιτούνται πιο βελτιωμένα και ισχυρότερα τερματικά για να μπορέσουν να ανταποκριθούν στις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των εφαρμογών και στις προσδοκίες του χρήστη ως προς την κατανάλωση ενέργειας, την ισχύ λειτουργίας, την ευκρίνεια της οθόνης και τη δυνατότητα αποθήκευσης.

2.6.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ

Τα μελλοντικά συστήματα τηλεπικοινωνιών προβλέπεται να ενσωματώσουν ποικίλες δικτυακές τεχνολογίες ώστε να παρέχουν τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες 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 ποιότητα εμπειρίας.

Από μία οικονομική άποψη, η κοστολόγηση παίζει σημαντικό ρόλο στη διακίνηση οποιασδήποτε υπηρεσίας και οποιουδήποτε πόρου. Ο βασικός στόχος της κοστολόγησης είναι να είναι ικανοποιημένοι και οι πωλητές και οι αγοραστές. Στη ρύθμιση του κόστους, δύο είναι οι βασικοί παράγοντες που παίζουν ρόλο:

1. Η ζήτηση των χρηστών και
2. Ο ανταγωνισμός των παροχών.

Καθώς τα σύγχρονα και τα μελλοντικά δίκτυα αφορούν ετερογενή περιβάλλοντα θα επικεντρωθούμε στη μελέτη της κοστολόγησης σε ετερογενή δίκτυα. Για να καταστρωθεί μια πολιτική κοστολόγησης πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν οι παρακάτω τα εξής κριτήρια:

- 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 μεταξύ των διαφόρων παρόχων. 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. Εξαιτίας του ότι κάποια 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 μετακίνηση του. Κάτι τέτοιο πρέπει να συμπεριληφθεί στην κατάστρωση της κοστολόγησης.

- Τρόπος κοστολόγησης υπηρεσιών. Σημαντικός παράγοντας για το σχεδιασμό της πολιτικής κοστολόγησης είναι το αν η υπηρεσία θα πρέπει να παρέχεται με συνδρομή. Έτσι, η υπηρεσία χρεώνεται σε συνδρομητική βάση και εφαρμόζεται ενιαίο τιμολογιακό σύστημα. Σ' αυτή την περίπτωση, ο συνδρομητής πληρώνει ξεχωριστά για την πρόσβασή του στο Internet και επομένως, για τις υπηρεσίες που του παρέχονται. Βέβαια, καθώς ο πελάτης πληρώνει παραπάνω χρήματα για την υπηρεσία, πρέπει να γίνεται σαφές το όφελος που απολαμβάνει.

Όμως, αυτό το όφελος δεν είναι πάντα ορατό, για παράδειγμα όσον αφορά σε χρήστες ευρυζωνικής πρόσβασης. Σε μία 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 QoS κατόπιν αίτησης ώστε να αποφύγουν να πληρώσουν για ένα προϊόν το οποίο κατ' ουσίαν δε χρησιμοποιούν. Η παροχή της υπηρεσίας κατόπιν αίτησης θα πρέπει είτε να πωλείται σαν μία

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 του QoS).

Σε μία τέτοια περίπτωση, ο πελάτης έχει συνήθως να επιλέξει στο αν θα αγοράσει μία υπηρεσία με ή χωρίς εγγύηση ποιότητας. Εάν η διαφορά στην υπηρεσία που θα αντληφθεί ο χρήστης δεν είναι σημαντική, οι χρήστες δε θα αγοράσουν εγγυήσεις ποιότητας και θα διαλέξουν μία φτηνότερη υπηρεσία χωρίς συγκεκριμένες εγγυήσεις QoS.

Συμπερίληψη της αρχής της ουδετερότητας. Στο ποιοι πρέπει να λάβουν καλύτερη υπηρεσία, αυτοί που πληρώνουν ή αυτοί που τη χρειάζονται πραγματικά. Η απάντηση δεν είναι αμφίδρομη λαμβάνοντας υπ' όψη την αρχή της ουδετερότητας που θέτει μία πρόκληση στην πολιτική κοστολόγησης.

Βάσει αυτής της αρχής, πρέπει να αποφεύγονται οι διακρίσεις στην κυκλοφορία στο διαδίκτυο στους διάφορους χρήστες και στις διάφορες εφαρμογές. Ιδιαίτερα, 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.

1. Στην αυστηρή της προσέγγιση, απαγορεύεται οποιαδήποτε προτεραιότητα. Κατ' αυτή την προσέγγιση υπάρχει ισότητα μεταξύ παρόχων.

2. Οι διαδικτυακοί πάροχοι μπορούν να χρησιμοποιούν συγκεκριμένους μηχανισμούς QoS αλλά δίνοντας προτεραιότητα μόνο σχετικά με τον τύπο της κίνησης. Αυτά τα θέματα επηρεάζουν σημαντικά τα επιχειρηματικά μοντέλα που σχετίζονται με το την παροχή ποιότητας εμπειρίας.

2.6.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ Σ

Η ποιότητα εμπειρίας εξαρτάται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του προϊόντος ή της υπηρεσίας που χρησιμοποιεί ο χρήστης . Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν το βαθμό κατανόησης του προϊόντος, τη διαδικασία αποτελεσματικού σχεδιασμού, τη μεθοδολογία του, τη χρησιμότητα του προϊόντος, την ευχρηστία του, την καταλληλότητα του προϊόντος, το αισθητικό αποτέλεσμα και το κατά πόσο συμβαδίζει με τις τρέχουσες τεχνολογίες.

Τέλος, την ευκολία στη διαχείριση και την επεκτασιμότητά του και την ευμεταβλητότητά του, ανάλογα με το αν απαιτείται ή όχι, και το κατά πόσο το προϊόν προσαρμόζει τη λειτουργία του στις ανάγκες του χρήστη.

2.6.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η ευρωστία του συστήματος αναφέρεται κυρίως στην επιβιωσιμότητα του δικτύου. Περιλαμβάνει, το χρόνο ανάκτησης μετά από μία ανεπιτυχή σύνδεση, τη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας καθώς και την πιθανότητα που έχει μία υπηρεσία να παραμένει λειτουργική για μεγάλο χρονικό διάστημα. Παραδοσιακά, η διαθεσιμότητα του δικτύου γίνεται αντιληπτή μέσα από τις παραμέτρους ποιότητας του συστήματος.

Οφείλουμε να επισημάνουμε ότι η αποτυχία μιας σύνδεσης δε συνδέεται μόνο με την αποτυχία του εξοπλισμού του παρόχου αλλά και άλλων παραγόντων όπως η υψηλή συμφόρηση 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.

Ενώ ένα συμφωνητικό παροχής υπηρεσιών (Service Level Agreement-SLA) μεταξύ του παρόχου και του πελάτη είναι αυτό που αποδεικνύει την εγγύηση διαθεσιμότητας του δικτύου δηλαδή που εγγυάται ότι το δίκτυο θα είναι διαθέσιμο και λειτουργικό για το 99.99% του χρόνου. Κάτι όμως που σύμφωνα με έρευνες, φαίνεται να μην ισχύει με αποτέλεσμα οι χρήστες να δυσανασχετούν γι' αυτό το λόγο απαιτούνται παράμετροι που δίνουν σαφέστερη εικόνα της διαθεσιμότητας του δικτύου, όπως για παράδειγμα η μέγιστη διάρκεια που μία 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 αντί αυτού εξασφαλιστεί από ένα εναλλακτικό μονοπάτι ανάκτησης (recovery path) . 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 η ποσότητα της κίνησης που χάνεται κατά τη διάρκεια μιας αποτυχημένης σύνδεσης είναι κάτι που τον απασχολεί. 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. Έχουν αναπτυχθεί ξεχωριστοί μηχανισμοί για την παροχή ευρωστίας σε ένα δίκτυο. Αυτοί οι μηχανισμοί μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια.

Η εξασφάλιση ποιότητας της ευρωστίας επηρεάζει το βαθμό και την ποιότητα της υπηρεσίας και εντέλει το πως ο χρήστης αντιλαμβάνεται την υπηρεσία του, δηλαδή την ποιότητα εμπειρίας. Η απουσία μηχανισμών ανάκτησης γίνεται αντιληπτή από διακοπές των 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 ποιότητα εμπειρίας αλλά και της αυξανόμενης ζήτησης εφαρμογών πραγματικού χρόνου είναι αναγκαίοι αποτελεσματικοί μηχανισμοί που να εξασφαλίζουν ευρωστία στο δίκτυο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η παροχή ευρωστίας στα μελλοντικά δια λειτουργικά δίκτυα θεωρείται ένα σημαντικό πεδίο μελέτης προκειμένου να εξασφαλιστεί υψηλό επίπεδο QoE στους χρήστες. Γι' αυτό το λόγο απαιτείται η ανάπτυξη συνεργασίας

μεταξύ των διαφόρων τομέων του δικτύου αλλά και η θέσπιση συγκεκριμένων στόχων ευρωστίας.

2.6.5 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ

Ο βαθμός εξυπηρέτησης περιλαμβάνει οτιδήποτε συμβαίνει κατά την έναρξη (setup), την εμφάνιση (release) και τη συντήρηση (maintenance) μιας σύνδεσης.

Οι βασικοί παράμετροι του είναι η καθυστέρηση για την έναρξη της κλήσης, η πιθανότητα αποτυχίας έναρξης της κλήσης, η καθυστέρηση στην επιβεβαίωση γνησιότητας (authentication) και η πιθανότητα ξαφνικής διακοπής της σύνδεσης (εξαναγκασμένης ή απρόβλεπτης). Εάν θεωρήσουμε μηχανισμούς ελέγχου εισόδου, στα μελλοντικά δίκτυα, μία παράμετρος του βαθμού εξυπηρέτησης θα μπορούσε να είναι η πιθανότητα απόρριψης της αίτησης (request rejection probability). Επίσης στα ασύρματα κινητά δίκτυα, η πιθανότητα κατάρρευσης μιας σύνδεσης λόγω ανεπιτυχούς μεταπομπής είναι μία σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το βαθμό εξυπηρέτησης του χρήστη καθώς και την εμπειρία του.

Όσον αφορά στη μεταπομπή, είναι προφανές ότι στα σύγχρονα δίκτυα οι χρήστες έχουν την απαίτηση να λαμβάνουν την υπηρεσία που επιθυμούν παντού. Αυτή η απαίτηση τους μεταφράζεται σε δύο κυρίαρχα θέματα:

1. Στο να έχει ο χρήστης πρόσβαση στην αγαπημένη του υπηρεσία παντού και
2. Στη συνεχόμενη πρόσβαση του 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.

Το πρώτο θέμα σημαίνει ότι ένας χρήστης επιθυμεί να χρησιμοποιεί τις ίδιες υπηρεσίες οπουδήποτε βρίσκεται ανεξάρτητα από το αν συνδέεται σε ένα 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 QoE ανεξάρτητα από την απόσταση, τις διάφορες διαδικτυακές τεχνολογίες και τον αριθμό των διαχειριστών που εξυπηρετούν.

Το δεύτερο θέμα αφορά κατά κύριο λόγο τις ασύρματες τεχνολογίες. Βέβαια, από τη μία η κάλυψη ενός ασύρματου δικτύου είναι περιορισμένη και από την άλλη, υπάρχουν διάφορα ασύρματα πρότυπα και διάφορες υπηρεσίες που διατίθενται στους χρήστες οι οποίες δεν υποστηρίζουν απαραίτητα όλα αυτά. Έτσι όμως προκύπτει η ανάγκη της ύπαρξης επιχειρηματικής συμφωνίας μεταξύ των διαχειριστών. Το κόστος όμως που προκύπτει το αναλαμβάνει ο χρήστης. Στις μέρες μας, η περιαγωγή μεταξύ των παρόχων εντός της ίδιας χώρας δεν είναι πάντα εφικτή, ενώ η διεθνής περιαγωγή κοστίζει ακριβιά. Σαν αποτέλεσμα είναι απαραίτητη η παροχή δυνατότητας μεταπομπής.

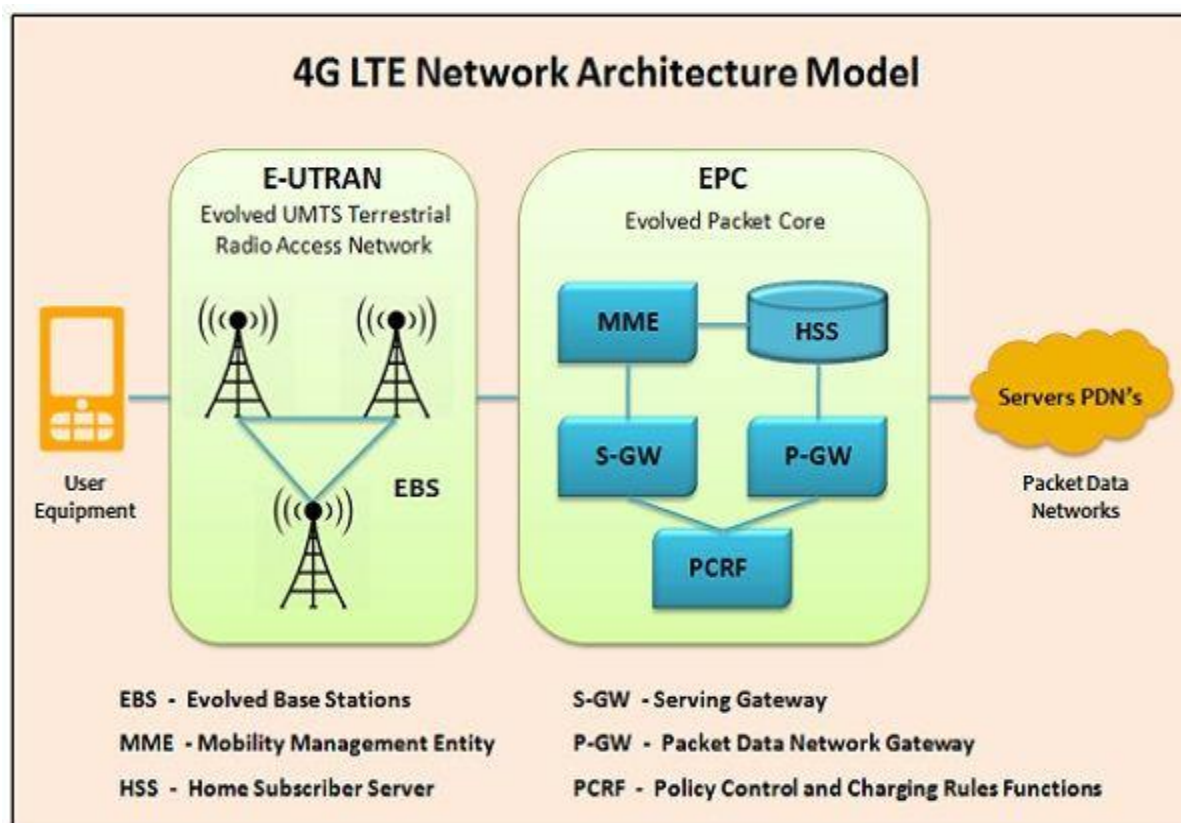
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ στο UMTS-LTE

3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ UMTS-LTE

Το LTE αποτελείται από τρία κύρια συστατικά μέρη:

1. τον εξοπλισμό χρήστη (UE)
2. το εξελιγμένο UMTS επίγειο ραδιο-δίκτυο πρόσβασης (E-UTRAN) και
3. τον εξελιγμένο πυρήνα (EPC). Ο τελευταίος επικοινωνεί με δίκτυα στον έξω κόσμο βασισμένα σε πακέτα δεδομένων, όπως το διαδίκτυο, τα ιδιωτικά εταιρικά δίκτυα κ.α.

Οι Πάροχοι, υλοποιούν το 4G δίκτυο με την προσθήκη σε υπάρχουσα υποδομή 2G/3G δικτύου, νέων λειτουργικών οντοτήτων που συνιστούν το E-UTRAN (εξελιγμένο UMTS επίγειο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης) μαζί με τους εξελιγμένους Σταθμούς Βάσης (Evolved Base Stations ή eNodeBs) και τη MME (οντότητα διαχείρισης κινητότητας συνδρομητών)



Σχήμα 1: Δικτυακή Αρχιτεκτονική UMTS LTE (4G)

Η αρχιτεκτονική του LTE, περιλαμβάνει στο Εξελιγμένο Δίκτυο Κορμού με μεταγωγή Πακέτου (**EPC** – Evolved Packet Core) τις παρακάτω λειτουργικές οντότητες:

HSS (εξυπηρετητής οικειών συνδρομητών),

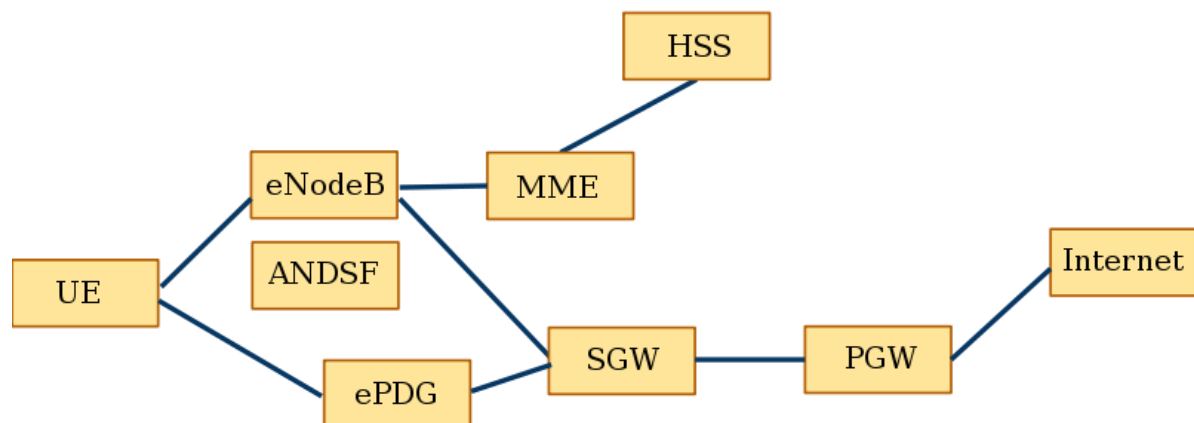
SGW (εξυπηρετούσα πύλη),

PGW (δικτυακή πύλη δεδομένων πακέτου) και

την οντότητα Ελέγχου Πολιτικών & Κανόνων Χρέωσης (**PCRF**).

Τα **MME** και **HSS** είναι υπεύθυνα για την δικτυακή πρόσβαση των συνδρομητών (λειτουργίες authentication, roaming, κ.α.). Το **SGW** ενεργεί ως γιγάντιος router για συνδρομητές. Το **PGW** παρέχει σύνδεση με εξωτερικά δίκτυα δεδομένων (Internet).

Αν ο Πάροχος Δικτύου επιθυμεί μεταπομπή κλήσης (handover) σε ένα μη-UMTS δίκτυο (π.χ. CDMA2000, WiMAX, ή WiFi hotspot), τότε η οντότητες **ePDG** (evolved Packet Data Gateway - Εξελιγμένη Πύλη Δεδομένων μεταγωγής Πακέτου) και **ANDSF** (Access Network Discovery and Selection Function – Λειτουργία Εξεύρεσης & Επιλογής Δικτύου Πρόσβασης) για το eNodeB μπορούν να εγκατασταθούν, προς υποστήριξη αυτών των δικτύων στο EPC, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

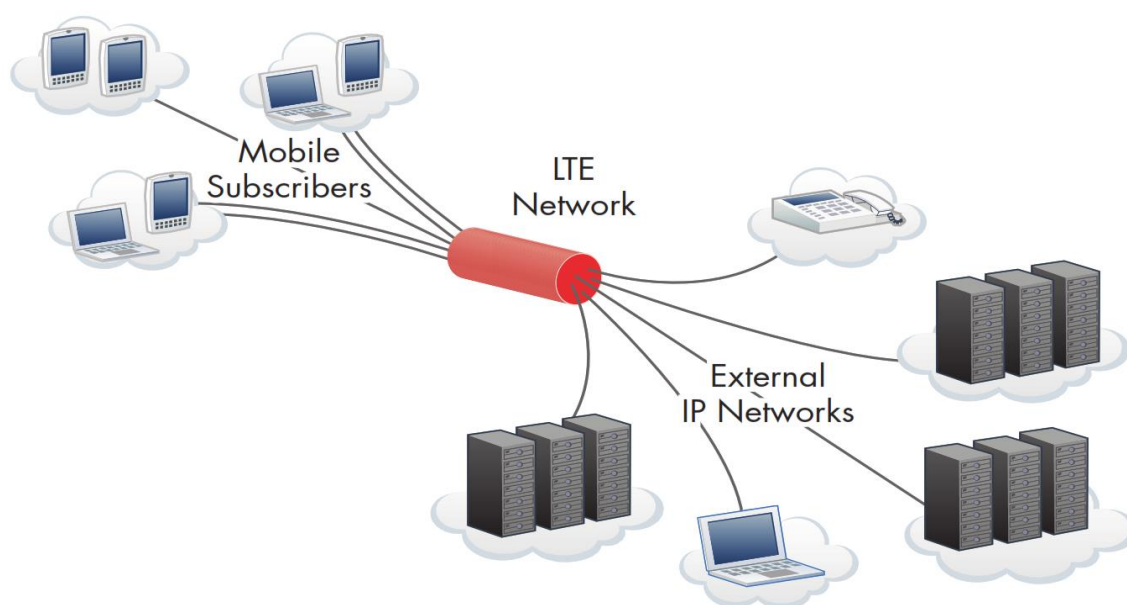


Σχήμα 2: Λειτουργική Αρχιτεκτονική EPC (UMTS LTE)

3.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ & ΒΕΛΤΙΩΣΗ QoS ΜΕΣΩ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Η προσθήκη επιπλέον γραμμών μετάδοσης, μεγαλύτερων διαύλων διαμεταγωγής δεδομένων και η βελτίωση της αποτελεσματικότητας, είναι τα συνήθη εργαλεία των Παρόχων για την αντιμετώπιση της συμφόρησης στο δίκτυο. Ωστόσο, αυτή η στρατηγική λειτουργεί καλύτερα στα ενσύρματα δίκτυα από ότι στα ασύρματα. Η αύξηση της χωρητικότητας με επιπλέον φάσμα και η βελτίωση της αποδοτικότητας του φάσματος αποτελούν σημαντικά βήματα στην αντιμετώπιση της ραγδαίας αύξησης των δεδομένων στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Ωστόσο, η βελτίωση της χωρητικότητας από μόνη της δε θα λύσει το πολύπλοκο αυτό πρόβλημα. Η συνολική

χωρητικότητα μετάδοσης μεταξύ κινητών συνδρομητών και εξωτερικών δικτύων IP, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, δεν είναι απεριόριστη.



Σχήμα 3: Το LTE δίκτυο ως αγωγός μεταξύ κινητών συνδρομητών και εξωτερικών δικτύων IP

Το ράδιο-φάσμα έχει όρια, όπως και τα κέρδη από τη βελτίωση της αποτελεσματικότητάς του. Ακόμη και αν οι πάροχοι αυξήσουν σημαντικά την χωρητικότητα, εφαρμογές με μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, όπως οι Peer-to-Peer (δι-ομότιμες ή P2P) υπηρεσίες και το video, τελικά θα καταναλώσουν κάθε επιπλέον χωρητικότητα. Η παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας μέσω της αύξησης της χωρητικότητας του δικτύου, αποτελεί στρατηγικά ανταγωνιστικό μειονέκτημα, στη σύγκριση με παρόχους που προσφέρουν την ίδια, ή και καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας με χαμηλότερο κόστος. Με προληπτικές πολιτικές διαχείρισης, σε συνδυασμό με άλλες στρατηγικές, όπως η διοχέτευση δικτυακού φόρτου και η εξισορρόπηση της ζήτησης πόρων, τα κινητά ευρυζωνικά δίκτυα με πεπερασμένους πόρους, μπορούν να ικανοποιήσουν καλύτερα τη ζήτηση των συνδρομητών για πολυμεσικές υπηρεσίες. Οι πολιτικές διαχείρισης, διαφοροποιούν τις υπηρεσίες και τους τύπους των συνδρομητών και στη συνέχεια ελέγχουν την Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) για κάθε τύπο.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει πώς η προσδοκία των συνδρομητών για την Ποιότητα Εμπειρίας μίας υπηρεσίας (QoE) διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της υπηρεσίας. Επίσης τονίζει το πώς διαφορετικές υπηρεσίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης που επηρεάζουν την αντίληψη του χρήστη για την ποιότητα. Υπάρχει μια σημαντική διάκριση μεταξύ υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, όπως conversational (διαλογικό) βίντεο και φωνή και υπηρεσίες best-effort (βέλτιστης προσπάθειας), όπως η περιήγηση στο Internet. Οι υπηρεσίες πραγματικού

χρόνου πρέπει να διατηρούν ένα ελάχιστο εγγυημένο εύρος ζώνης, και είναι πιο ευαίσθητες στην απώλεια πακέτων (packet loss) και την καθυστέρηση (latency ή λανθάνων χρόνος), καθώς και την διακύμανσή της (jitter ή τρόμος ή τρέμουλο).

Υπηρεσίες	Προσδοκώμενη Ποιότητα (QoE)	Παράμετροι Απόδοσης
Διαδίκτυο (Internet)	Χαμηλή - βέλτιστη προσπάθεια (best effort)	Μεταβλητή κατανάλωση εύρους ζώνης Ανοχή σε καθυστερήσεις & απώλειες
Επιχειρηματικές Υπηρεσίες (Enterprise / Business)	Υψηλή - κρίσιμα δεδομένα	Υψηλή κατανάλωση εύρους ζώνης Υψηλή ευαισθησία σε καθυστερήσεις Υψηλή ασφάλεια
Δι-ομότιμες (Peer-to-Peer) υπηρεσίες	Χαμηλή - βέλτιστη προσπάθεια (best effort)	Πολύ-υψηλή κατανάλωση εύρους ζώνης Ανοχή σε καθυστερήσεις & απώλειες
Φωνή	Υψηλή - μικρή καθυστέρηση (latency) και τρόμος (jitter)	Χαμηλό εύρος ζώνης (21-320 Kbps/κλήση) Μονόδρομη καθυστέρηση < 150msec Μονόδρομος τρόμος < 30msec
Βίντεο	Υψηλή - μικρός τρόμος (jitter) και εξαιρετικά χαμηλή απώλεια πακέτων	Πολύ-υψηλή κατανάλωση εύρους ζώνης Υψηλή ευαισθησία σε απώλεια πακέτων
Παιχνίδια & Διαδραστικές υπηρεσίες	Υψηλή - χαμηλή απώλεια πακέτων	Μεταβλητή κατανάλωση εύρους ζώνης Μονόδρομη καθυστέρηση < 150msec Μονόδρομος τρόμος < 30msec

Πίνακας 3: Σύγκριση της Προσδοκώμενης QoE και των Απαιτήσεων Επίδοσης ανά τύπο υπηρεσίας

Η διαχείριση πολιτικών επιτρέπει στους παρόχους να ελέγχουν με ακρίβεια τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των διαφορετικών υπηρεσιών. Κατ' αρχάς, οι πολιτικές χρησιμοποιούνται για να εκχωρούν δυναμικά τους πόρους του δικτύου – για παράδειγμα, ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης μπορεί να δεσμευτεί στον Σταθμό Βάσης και στο Δίκτυο Κορμού για να υποστηρίξει μια ζωντανή συνομιλία βίντεο. Στη συνέχεια, οι κανόνες της πολιτικής ελέγχουν την προτεραιότητα, την καθυστέρηση των πακέτων και την αποδεκτή απώλεια πακέτων βίντεο, προκειμένου το δίκτυο να συμπεριφέρεται στην βίντεο-κλήση με συγκεκριμένο τρόπο.

Σε άλλες περιπτώσεις, οι κανόνες των πολιτικών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να περιορίσουν τα ποσοστά της κίνησης στο δίκτυο, για τον περιορισμό της κατάχρησης και την παροχή δίκαιης χρήσης - αποτρέποντας ένα χρήστη, από το να επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα μίας άλλης υπηρεσίας. Η κοινή χρήση αρχείων (P2P file sharing) είναι ένα παράδειγμα υπηρεσίας μη-πραγματικού χρόνου με μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης. Οι P2P υπηρεσίες, εάν αφεθούν ανεξέλεγκτες, μπορούν να καταναλώσουν μια δυσανάλογα μεγάλη ποσότητα δικτυακών πόρων και να επηρεάσουν αρνητικά την ικανότητα του δικτύου για την αποκατάσταση και διατήρηση της ποιότητας των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου.

3.3 Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ 3GPP ΓΙΑ QoS ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ LTE

Οι Πάροχοι ακολουθούν κατά κύριο λόγο μια σταδιακή προσέγγιση στην προσθήκη σχημάτων διαχείρισης πολιτικών ποιότητας στα δίκτυά τους, ξεκινώντας με τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης για εφαρμογές όπως οι ομότιμες υπηρεσίες (P2P).

Σωρευτικές (Aggregate) πολιτικές, που αφορούν δηλ. σύνολα χρηστών, εισάγονται στα πρώτα στάδια, καθώς η διαχείριση πολιτικής ανά συνδρομητή παρουσιάζει υψηλή πολυπλοκότητα και είναι δύσκολο να εφαρμοστεί από την αρχή. Ωστόσο, καθώς η τεχνολογία ωριμάζει και αυξάνεται η συμφόρηση στο δίκτυο, καθώς και η πίεση από τον ανταγωνισμό, η QoS και αντίστοιχα η διαχείριση πολιτικών ποιότητας, θα γίνονται όλο και πιο σημαντικά. Κατά το στάδιο της προετοιμασίας τους, οι Πάροχοι των υπηρεσιών, πρέπει να βεβαιωθούν ότι συνεργάζονται με προμηθευτές που διαθέτουν ισχυρό πλαίσιο για την παροχή διατεματικής (end-to-end) QoS και είναι ικανοί να υποστηρίξουν τις εξελισσόμενες ανάγκες.

Ο στόχος του 3GPP είναι να ορίσει ένα πλαίσιο ελέγχου πολιτικών, ανεξάρτητο από την τεχνολογία πρόσβασης, προκειμένου να τυποποιηθούν μηχανισμοί πολιτικών και QoS, για την αξιοποίηση από τους Παρόχους, της διαφοροποίησης υπηρεσιών και χρηστών, σε περιβάλλον πολλών κατασκευαστών. Τα πρότυπα του 3GPP εξηγούν πώς οικοδομούνται διαδρομές μετάδοσης μεταξύ του εξοπλισμού χρήστη (UE) και εξωτερικών δικτύων δεδομένων πακέτου (PDN) με σαφώς καθορισμένη QoS. Για το σκοπό αυτό, το 3GPP έχει ορίσει ένα εκτεταμένο «Μοντέλο Κομιστή» για την υλοποίηση QoS.

MONTELO KOMISTH (Bearer Model)

Ο «κομιστής» είναι το βασικό στοιχείο διαχωρισμού κυκλοφορίας, που επιτρέπει τη διαφορική (differential) μεταχείριση κυκλοφορίας με διαφορετικές απαιτήσεις QoS. Οι κομιστές παρέχουν μια λογική, διατεματική (end-to-end) διαδρομή μετάδοσης, με καθορισμένη QoS μεταξύ του εξοπλισμού χρήστη (UE) και της Πύλης Δικτύου Δεδομένων Πακέτου (PDN-GW).

Κάθε κομιστής συνδέεται με ένα σύνολο παραμέτρων QoS που περιγράφουν τις ιδιότητες του καναλιού μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμών δεδομένων, της καθυστέρησης πακέτων, της απώλειας πακέτων, του ρυθμού σφάλματος δεδομένων, και της πολιτικής χρονο-προγραμματισμού στον ραδιοσταθμό βάσης. Ο κομιστής έχει δύο ή τέσσερις παραμέτρους QoS, ανάλογα με το αν πρόκειται για υπηρεσία πραγματικού χρόνου ή βέλτιστης προσπάθειας:

- Δείκτης Κατηγορίας QoS (QoS Class Indicator)
- Προτεραιότητα Καταχώρησης & Συγκράτησης (Allocation & Retention Priority)
- Εγγυημένο (GBR) και μη-εγγυημένο (Non-GBR) ρυθμό μετάδοσης δεδομένων
- Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων (MBR) - Μόνο υπηρεσίες πραγματικού χρόνου

Δείκτης Κατηγορίας QoS (QoS Class Indicator - QCI)

Ο QCI ορίζει τη διαχείριση των πακέτων IP που ελήφθησαν σε ένα συγκεκριμένο κομιστή. Κάθε λειτουργικός κόμβος (π.χ. PDN-GW, ή eNodeB), χειρίζεται την προώθηση πακέτων της κίνησης που διέρχεται από έναν κομιστή. Οι τιμές του QCI, επηρεάζουν αρκετές *είδιες ως προς τον κόμβο* (node-specific) παραμέτρους, όπως τη διαμόρφωση σε επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων, τα βάρη του χρονοπρογραμματισμού και τη διαχείριση ουράς.

Το 3GPP έχει ορίσει μια σειρά τυποποιημένων τύπων QCI, οι οποίοι συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα. Για την αρχική ανάπτυξη, η πλειοψηφία των φορέων κατά πάσα πιθανότητα θα ξεκινήσει με τρεις βασικές κατηγορίες υπηρεσιών: φωνή, σηματοδοσία ελέγχου και δεδομένα βέλτιστης προσπάθειας. Στο μέλλον, αφιερωμένοι κομιστές που προσφέρουν πρόσθετες υπηρεσίες (premium services) όπως υψηλής ποιότητας συνομιλιακό (conversational) βίντεο, θα μπορούν να εισαχθούν στο δίκτυο.

QCI	Τύπος Πόρου	Προτεραιότητα	Προϋπ/μός Καθυστέρησης Πακέτου	Ρυθμός Απώλειας / Σφάλματος Πακέτου	Παραδείγματα Υπηρεσιών
1	GBR (εγγυημένος ρυθμός δεδομένων)	2	100ms	10-2	Συνομιλιακή (conversational) φωνή
2		4	150ms	10-3	Συνομιλιακό βίντεο (ζωντανή ροοθήκευση – live streaming)
3		3	50ms	10-3	Παιχνίδια σε πραγματικό χρόνο
4		5	300ms	10-5	Μη-Συνομιλιακό βίντεο (ροοθήκευση ενδιάμεσης αποθήκευσης – buffered streaming)
5	Non-GBR (μη-εγγυημένος ρυθμός δεδομένων)	1	100ms	10-3	Σηματοδοσία IMS
6		6	300ms	10-5	Βίντεο (buffered streaming) Βασισμένο σε TCP (π.χ., www, e-mail, chat, FTP P2P κοινή χρήση αρχείων, προοδευτικό βίντεο, κ.α.)
7		7	100ms	10-5	Φωνή, Βίντεο (live-streaming), διαδραστικά παιχνίδια
8		8	300ms	10-3	Βίντεο (buffered streaming)
9		9	300ms	10-5	Βασισμένο σε TCP (π.χ., www, e-mail, chat, FTP P2P κοινή χρήση αρχείων, προοδευτικό βίντεο, κ.α.)

Πίνακας 4: 3GPP Τυποποιημένα QoS Class Indicator Χαρακτηριστικά

Προτεραιότητα Καταχώρησης & Συγκράτησης (Allocation & Retention Priority)

Τα 3GPP πρότυπα παρέχουν μηχανισμούς για να απολυθούν ή να υποβαθμιστούν οι κομιστές χαμηλότερης προτεραιότητας, σε περιπτώσεις συμφόρησης του δικτύου. Κάθε κομιστής συνδέεται με μία *Προτεραιότητα Καταχώρησης & Συγκράτησης* (ARP), η οποία χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση κομιστή και μπορεί να γίνει ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος σε περιπτώσεις μεταπομπής, όπου ένας

συνδρομητής κινητής τηλεφωνίας εισέρχεται σε μία κυψέλη με υψηλή συμφόρηση. Το δίκτυο εξετάζει το ARP για να καθορίσει αν μπορούν να εγκατασταθούν νέοι αφιερωμένοι κομιστές μέσω του ραδιοσταθμού βάσης.

Κομιστές με εγγυημένο (GBR) και μη-εγγυημένο (Non-GBR) ρυθμό μετάδοσης δεδομένων

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι κομιστών: οι εγγυημένου (GBR) και οι μη-εγγυημένου (non-GBR) ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Οι GBR κομιστές χρησιμοποιούνται για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, όπως Συνομιλιακή (conversational) Φωνή και Βίντεο. Ένας GBR κομιστής έχει ένα ελάχιστο ποσό εύρους ζώνης που δεσμεύεται από το δίκτυο και πάντα καταναλώνει πόρους σε ένα ραδιοσταθμό βάσης, ανεξάρτητα από το αν χρησιμοποιείται, ή όχι. Αν εφαρμοστούν σωστά, οι GBR κομιστές, δεν θα παρουσιάσουν απώλεια πακέτων στη ραδιοζεύξη, ή στο IP δίκτυο, λόγω συμφόρησης. Οι GBR κομιστές ορίζονται επίσης με χαμηλότερες ανοχές σε καθυστέρηση (latency) και τρόμο (jitter), από αυτές που τυπικά απαιτούνται από υπηρεσίες πραγματικού χρόνου.

Οι non-GBR κομιστές, ωστόσο, δεν έχουν συγκεκριμένη εκχώρηση εύρους ζώνης του δικτύου. Εφαρμόζονται για τις υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (best effort), όπως λήψεις αρχείων, e-mail και περιήγηση στο Internet. Αυτοί οι κομιστές, θα παρουσιάσουν απώλεια πακέτων, όταν το δίκτυο είναι κορεσμένο. Δεν ορίζεται για αυτούς τους κομιστές ένας μέγιστος ρυθμός δεδομένων ανά-κομιστή, αλλά ένας σωρευτικός μέγιστος ρυθμός δεδομένων (Aggregate Maximum Bit Rate - AMBR) ανά συνδρομητή.

Ροές Δεδομένων Υπηρεσίας (Service Data Flows)

Οι Ροές Δεδομένων Υπηρεσίας (SDF) είναι μια άλλη βασική έννοια στον ορισμό του 3GPP για την QoS και τη διαχείριση πολιτικών. Οι SDFs αντιπροσωπεύουν τα IP πακέτα που σχετίζονται με μία υπηρεσία χρήστη (Web περιήγηση, email, κλπ.). Οι SDFs συνδέονται με συγκεκριμένους κομιστές, βάσει των πολιτικών που καθορίζονται από τον πάροχο του δικτύου. Αυτή η σύνδεση εμφανίζεται στην πύλη δεδομένων PDN-GW και τον εξοπλισμό του συνδρομητή (UE), με τη χρήση Σχεδιοτύπων Ροής Κυκλοφορίας (Traffic Flow Templates - TFTs). Τα TFTs περιέχουν πληροφορία φιλτραρίσματος πακέτων, για την αναγνώριση και απεικόνιση πακέτων σε συγκεκριμένους κομιστές. Τα φίλτρα είναι διαρθρώσιμα από τον πάροχο δικτύου, αλλά κατ' ελάχιστο περιέχουν πέντε παραμέτρους, που συνήθως αναφέρονται ως **5-άδα** και περιλαμβάνουν:

- Διεύθυνση IP προέλευσης
- Διεύθυνση IP προορισμού
- Αριθμός θύρας πηγής
- Αριθμός θύρας προορισμού
- Αναγνώριση πρωτοκόλλου (δηλ., TCP ή UDP).

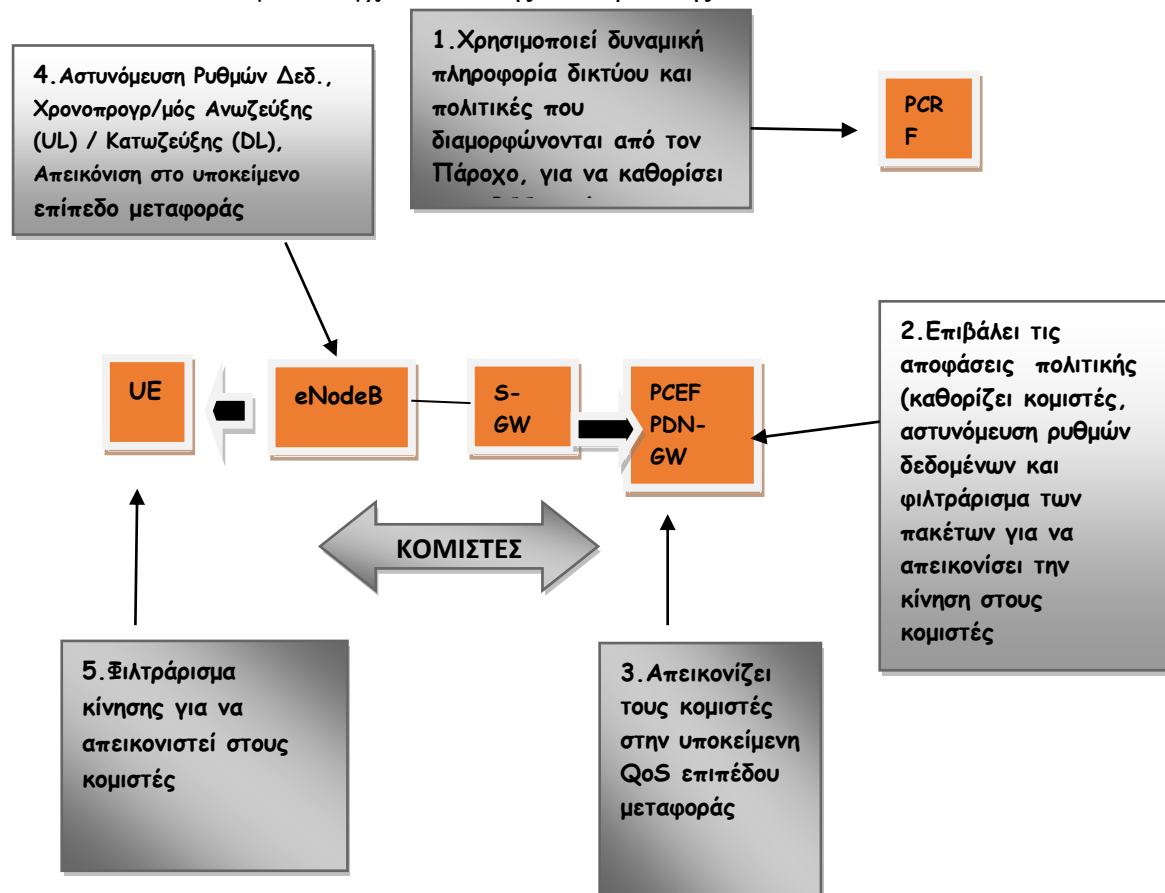
Η λειτουργική οντότητα Επιβολής Πολιτικής & Χρέωσης (Policy & Charging Enforcement Function - PCEF) στην πύλη PDN-GW, φιλτράρει τα πακέτα που

προέρχονται από εξωτερικά δίκτυα (δηλαδή, το Internet ή εταιρικά VPNs) και τα οποία χρησιμοποιούν TFTs.

Ο Ρόλος των λειτουργικών οντοτήτων στην υλοποίηση Πολιτικής & QoS

Πολλαπλοί κόμβοι μέσα στο δίκτυο πρόσβασης του EPC (Εξελιγμένο Δίκτυο Κορμού με μεταγωγή Πακέτου του LTE), παίζουν ρόλο στην υλοποίηση της QoS και της διαχείρισης πολιτικών. Η λειτουργική οντότητα PCRF (Policy Control Resource Function – Λειτουργία Πόρων Ελέγχου Πολιτικής) είναι ο διακομιστής πολιτικών στο EPC. Η PCRF χρησιμοποιεί τη διαθέσιμη (δυναμική) πληροφορία δικτύου και τις πολιτικές που ρυθμίζει ο πάροχος (operator – φορέας εκμετάλλευσης του δικτύου) ώστε να παράγει αποφάσεις πολιτικής σε επίπεδο συνεδρίας υπηρεσίας.

Οι αποφάσεις αυτές, που είναι γνωστές ως κανόνες PCC (Policy & Charging Control – Έλεγχος Πολιτικής & Χρέωσης), προωθούνται στην οντότητα Επιβολής Πολιτικής & Χρέωσης (PCEF), που βρίσκεται στην πύλη PDN-GW. Η PCEF επιβάλλει αποφάσεις πολιτικής, με το να εγκαθιστά κομιστές (bearers), με το να απεικονίζει στους κομιστές συγκεκριμένες ροές δεδομένων υπηρεσίας (SDFs) και να εκτελεί αστυνόμευση και μορφοποίηση της κίνησης. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται τα στοιχεία (οντότητες) αυτά και οι λειτουργίες τους, στο γενικό πλαίσιο του 3GPP για Έλεγχο Πολιτικής και Χρέωσης.



Σχήμα 4: Λειτουργικά Στοιχεία (οντότητες) στο 3GPP πλαίσιο Ελέγχου Πολιτικής και Χρέωσης (PCC)

Η πύλη PDN-GW απεικονίζει τους κομιστές (bearers) στο υποκείμενο δίκτυο μεταφοράς. Το δίκτυο μεταφοράς τυπικά βασίζεται στο Ethernet και μπορεί να χρησιμοποιεί τεχνολογία MPLS (MultiProtocol Label Switching – τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων για δίκτυα υψηλής απόδοσης). Το επίπεδο μεταφοράς δεν γνωρίζει την έννοια των κομιστών και χρησιμοποιεί καθιερωμένες τεχνικές IP QoS, όπως η DiffServ.

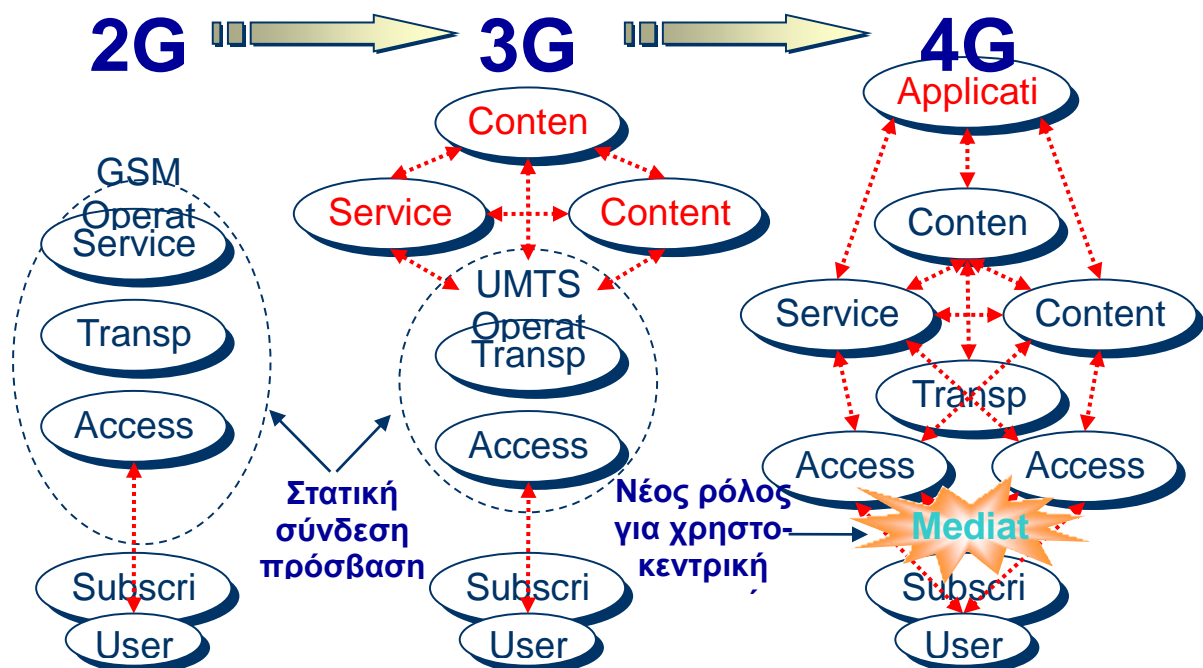
Ο κόμβος eNodeB είναι ο ραδιοσταθμός βάσης στο LTE και διαδραματίζει έναν κρίσιμο ρόλο στην διατεμαστική (end-to-end) ποιότητα υπηρεσίας QoS και την επιβολή πολιτικών. Ο κόμβος eNodeB εκτελεί αστυνόμευση (policing) στους ρυθμούς δεδομένων της άνω και κάτω ζεύξης, καθώς χρονοπρογραμματισμό ραδιοφωνικών (RF) πόρων. Χρησιμοποιεί την ARP (Προτεραιότητα Καταχώρησης & Συγκράτησης) κατά την εκχώρηση πόρων κομιστή. Η αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού των ράδιο-πόρων στο eNodeB έχει τεράστιο αντίκτυπο στην ποιότητα υπηρεσιών και τη συνολική απόδοση του δικτύου. Θα υπάρξουν πολλές ευκαιρίες για τους κατασκευαστές εξοπλισμού δικτύου (Network Equipment Manufacturers - NEMs) να διαχωρίσουν τα προϊόντα τους (σε ότι αφορά υλοποίηση του eNodeB) από άλλα ανταγωνιστικά προϊόντα και αυτό είναι κάτι που οι φορείς πρέπει να παρακολουθούν από κοντά. Ο κόμβος eNodeB, όπως και η πύλη PDN-GW, απεικονίζει την κίνηση των κομιστών στο υποκείμενο IP δίκτυο μεταφοράς. Ο εξοπλισμός χρήστη (UE) διαδραματίζει επίσης ρόλο στην πολιτική - στην κατεύθυνση uplink (άνω ζεύξης), εκτελεί την αρχική απεικόνιση των ροών δεδομένων υπηρεσίας, στους κομιστές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΕ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

4.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΝΕΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Το τοπίο στην αγορά αλλάζει ραγδαία για τους παρόχους ασύρματων υπηρεσιών. Με τις αποκλειστικές υπηρεσίες φωνής (voice-only services), οι πάροχοι κατέλαβαν αρχικά (συστήματα 2^{ης} και 3^{ης} Γενιάς) την πλειοψηφία των καταναλωτών, αλλά και των κερδών από υπηρεσίες. Για τον συνδρομητή - καταναλωτή, ο πάροχος ασύρματης φωνής, θεωρήθηκε ως πάροχος μίας διατεματικής (end-to-end) υπηρεσίας. Με την εμφάνιση έξυπνων συσκευών (όπως smartphones και tablets), η διάκριση μεταξύ αυτού που παρέχει αξία στον συνδρομητή και αυτού στον οποίο ο συνδρομητής - καταναλωτής πληρώνει, έχει γίνει ασαφής.

Οι πάροχοι υπηρεσιών και δικτύου (operators) διατρέχουν μεγάλο κίνδυνο να γίνουν απλά μεταφορείς bits, ενώ οι πάροχοι περιεχομένου / εφαρμογών (content / application providers) και οι κατασκευαστές συσκευών (device manufacturers), συλλαμβάνουν ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο των κερδών από συνδρομητές κινητών υπηρεσιών. Το παρακάτω σχήμα, αποτυπώνει την σταδιακή εξέλιξη επιχειρηματικών μοντέλων από μονολιθικά κλειστά (2G) σε ανοικτά με πολλούς παίκτες (4G) και δημιουργία νέων ρόλων, όπως αυτός του Διαμεσολαβητή (mediator).



Σχήμα 5: Εξέλιξη των Επιχειρηματικών Μοντέλων από Μονολιθικά σε σύνθετα - ανοικτά

Με δεδομένη την αυξανόμενη σημασία που αποκτά στο μυαλό των συνδρομητών / καταναλωτών η συσκευή, οι εφαρμογές και το ψηφιακό περιεχόμενο, σε βάρος της ίδιας της υπηρεσίας (κινητής τηλεφωνίας), η διαχείριση πολιτικών, είναι μία μέθοδος, που οι πάροχοι δικτύου / υπηρεσιών μπορούν να εφαρμόσουν, για να σχηματίσουν νέα επιχειρηματικά μοντέλα και να μεγιστοποιήσουν την κερδοφορία των βασικών τους υπηρεσιών.

Η διαχείριση πολιτικών, επιτρέπει τον αναλυτικό έλεγχο της ποιότητας υπηρεσίας και με αυτόν τον τρόπο δίνει την δυνατότητα στους παρόχους να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των χρηστών από τις υπηρεσίες, μέσω της διαμόρφωσης της απόδοσης του δικτύου, εξασφαλίζοντας την Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) του καταναλωτή και περιορίζοντας προβλήματα των συνδρομητών.

Η διαχείριση πολιτικών μπορεί επίσης να κάνει ένα βήμα πιο πέρα, προς τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων, προσφέροντας κλιμακωτά επίπεδα εξυπηρέτησης. Τα κλιμακωτά επίπεδα εξυπηρέτησης μπορούν να εγγυηθούν την ανώτερη απόδοση και ποιότητα σε πελάτες με υψηλές συνδρομές (όπως εταιρικούς λογαριασμούς) και επιπλέον μπορούν να βασίζονται τόσο σε συνδρομές, όσο και στη στιγμιαία ζήτηση. Η δυναμική διαχείριση πολιτικών, ως εκ τούτου, επιτρέπει στους παρόχους να «τοποθετήσουν μια σχισμή για νόμισμα μπροστά στον πελάτη». Με τη βελτίωση της ποιότητας παροχής περιεχομένου για καθορισμένες περιόδους, ο έλεγχος πολιτικών υποστηρίζει την ώθηση συνδρομητών στην αγορά υπηρεσιών υψηλής ποιότητας. Για παράδειγμα, ένας συνδρομητής μπορεί να αναβαθμίσει την υπηρεσία του για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα για να παρακολουθήσει ένα βίντεο σε υψηλή ευκρίνεια (ανάλυση).

Αυτός ο τύπος διατεματικής ευελιξίας του δικτύου και διατεματικού ελέγχου της ποιότητας των υπηρεσιών, μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε συμφωνίες κατανομής των εσόδων με τρίτους (third-parties), όπως παρόχους περιεχομένου και προμηθευτές εφαρμογών. Οι πάροχοι μπορούν να σχηματίσουν ισχυρές σχέσεις με τους παρόχους περιεχομένου, που βασίζονται στην άριστη παροχή υπηρεσιών - φράσσοντας οποιαδήποτε κυβερνητική ρύθμιση αποτροπής της κλιμακωτής υπηρεσίας, όπως η πολιτική “ουδετερότητας του δικτύου”¹² που εφαρμόζεται στις Ηνωμένες Πολιτείες.

¹² Η **δικτυακή ουδετερότητα** ή **ουδετερότητα του δικτύου** είναι η αρχή σύμφωνα με την οποία οι πάροχοι υπηρεσιών διαδικτύου και οι κυβερνήσεις που ρυθμίζουν το Διαδίκτυο, πρέπει να αντιμετωπίζουν ισότιμα το σύνολο των δεδομένων στο Διαδίκτυο και να μην εισάγουν διακρίσεις, ή να χρεώνουν διαφορετικά ανάλογα με το χρήστη, το περιεχόμενο, τον ιστότοπο, την πλατφόρμα, την εφαρμογή, το είδος του συνδεδεμένου εξοπλισμού ή τη μέθοδο επικοινωνίας. Το διαδίκτυο υπάρχει για να προσφέρει ένα χώρο ελεύθερης έκφρασης.

Ο όρος δημιουργήθηκε το 2003 από τον καθηγητή Tim Wu του Πανεπιστημίου Columbia.

4.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Οι πάροχοι παγκοσμίως ξοδεύουν τεράστια ποσά σε εξοπλισμό, φάσμα και ανάπτυξη λογισμικού και υποδομών για την αναβάθμιση των κινητών ευρυζωνικών δικτύων τους. Μέσα από αυτή την αναβάθμιση, στοχεύουν στην αύξηση της χωρητικότητας και τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου, για την προσέλκυση συνδρομητών, μεγιστοποίηση του μέσου κέρδους ανά μονάδα (χρήστη) δηλ του ARPU (Average Revenue Per Unit / User) και μείωση της δυσαρέσκειας των συνδρομητών μέσω της αύξησης της ικανοποίησης πελάτη, με το μικρότερο δυνατό κόστος. Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, οι πάροχοι πρέπει να αξιολογήσουν προσεχτικά την χωρητικότητα και τις δυνατότητες απόδοσης των προϊόντων που εξετάζουν για την ανάπτυξη των δικτύων τους. Μετά την επιλογή του προμηθευτή, τα σχέδια της ανάπτυξης πρέπει να ελεγχθούν με την μορφή πρωτοτύπων μέσα σε εργαστήριο, πριν την υλοποίησή τους. Καθώς εισάγονται νέα υλικά / λογισμικά και υπηρεσίες, πρέπει οπωσδήποτε να επαληθευτεί ότι δεν έχουν αρνητικό αντίκτυπο στις επιδόσεις των υπάρχοντων υπηρεσιών δικτύου.

Η αποτίμηση της ποιότητας των υπηρεσιών, επιτρέπει στους παρόχους να αξιολογήσουν δικτυακές συσκευές και να μετρήσουν προληπτικά την QoS και τις λειτουργίες διαχείρισης πολιτικών. Προκειμένου να γίνει αυτό, απαιτείται να κορεσθεί το δίκτυο από υψηλό φόρτο κίνησης πραγματικών συνδρομητών, μέσω κατάλληλης μοντελοποίησής τους και να μετρηθούν κρίσιμες παράμετροι απόδοσης (Key Performance Indicators - KPIs) που ορίζουν την Ποιότητα Εμπειρίας (QoE). Η βασική στρατηγική, προβλέπει τον έλεγχο του κινητού δικτύου, με τους τύπους κίνησης και τα μείγματα κίνησης που μοιάζουν περισσότερο με τις πραγματικές υπηρεσίες που θα υλοποιήσουν οι πάροχοι. Η ποιότητα υπηρεσίας και τα σχήματα / πολιτικές QoS, θα αντιμετωπίσουν πίεση (stress testing) μόνο όταν το δίκτυο φτάσει σε συμφόρηση (congestion). Η προσέγγιση που συζητάμε, θα πρέπει να περιλαμβάνει τον κορεσμό με κατάλληλο φορτίο (ευρύ μείγμα πραγματικής κίνησης υπηρεσιών) της συσκευής, ή του συστήματος υπό έλεγχο και στη συνέχεια λεπτομερείς μετρήσεις QoE για την ποσοτικοποίηση της επίδοσης του δικτύου.

4.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΩΝ

Η μοντελοποίηση κινητών συνδρομητών, συνιστά πυλώνα κάθε στρατηγικής αποτίμησης της ποιότητας υπηρεσίας. Είναι η διαδικασία καθορισμού των τύπων των συνδρομητών, συσχετισμού εφαρμογών με τους τύπους χρηστών και μοντελοποίηση της χρήσης των εφαρμογών από τους συνδρομητές, καθώς και της κινητότητάς τους στο δίκτυο. Η μοντελοποίηση συνδρομητών επιτρέπει στους παρόχους που εκτελούν έλεγχο των δυνατοτήτων του δικτύου τους, να αναπαραγάγουν πραγματικούς τύπους κίνησης και μοτίβα χρήσης και να παρέχουν την απαραίτητη πληροφορία για την πλήρη κατανόηση των ορίων χωρητικότητας του δικτύου, το πώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους οι πολυμεσικές υπηρεσίες και την ικανότητα του δικτύου να

διαφοροποιεί υπηρεσίες και τύπους χρηστών. Η μοντελοποίηση συνδρομητών απαιτεί λεπτομερή έλεγχο της εξομοίωσης της υπηρεσίας και του χρήστη.

Στις περισσότερες έρευνες που τμηματοποιείται μια αγορά τηλεπικοινωνιών, η τμηματοποίηση γίνεται βάσει των χαρακτηριστικών που κρίνονται κρίσιμα για την έρευνα. Στην παρούσα εργασία τα κρίσιμα χαρακτηριστικά που τμηματοποιούν την αγορά ευρυζωνικών κινητών υπηρεσιών στην Ελλάδα και για την πρώτη περίοδο εφαρμογής των δικτύων 4G, είναι ^[1]:

- η χρήση απαιτητικών υπηρεσιών δεδομένων,
- η εξοικείωση με κινητές υπηρεσίες δεδομένων
- η ασφάλεια.

Τα βασικά αυτά κριτήρια διαχωρίζουν τους χρήστες σε απαιτητικούς και μη απαιτητικούς σε σχέση με την χρήση των υπηρεσιών δεδομένων, εξοικειωμένους ή μη-εξοικειωμένους με την τεχνολογία, σε χρήστες που δίνουν μεγάλη σημασία στην ασφάλεια και σε αυτούς που θεωρούν ότι δεν έχει κρίσιμο ρόλο στις υπηρεσίες δεδομένων. Με βάση αυτά τα κριτήρια, προκύπτουν οι παρακάτω τύποι χρηστών / συνδρομητών:

- ❖ **Business Users**
- ❖ **Casual Users**
- ❖ **Social Users**
- ❖ **Gamers**

Οι **Business Users** έχουν ως βασικό λόγο χρήσης το επάγγελμα τους, ή τις σπουδές σε περίπτωση που είναι φοιτητές. Κατά κύριο λόγο είναι απαιτητικοί χρήστες, αρκετά εξοικειωμένοι με την τεχνολογία και θεωρούν ότι η ασφάλεια είναι κρίσιμη γιατί οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν έχουν ως βασικό περιεχόμενο την επαγγελματική χρήση.

Οι **Casual Users** έχουν ως βασικό λόγο χρήσης την ενημέρωση και την περιστασιακή αναζήτηση πληροφοριών στο διαδίκτυο. Αποτελούνται από ανθρώπους οι οποίοι δεν έχουν απαιτήσεις από τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν, όχι ιδιαίτερα εξοικειωμένους με την τεχνολογία λόγω του περιεχομένου των υπηρεσιών που χρησιμοποιούν και η ασφάλεια δεν είναι κρίσιμη για τα δεδομένα που επεξεργάζονται.

Οι **Social Users** έχουν ως κύριο λόγο χρήσης κινητών υπηρεσιών δεδομένων, την κοινωνική δικτύωση. Ως χρήστες δεν έχουν απαιτήσεις από την κοινωνική δικτύωση με την μορφή υπηρεσίας αλλά είναι αρκετά εξοικειωμένοι με τα δεδομένα υπηρεσιών λόγω της μεγάλης συχνότητας χρήσης. Θεωρείται δεδομένο ότι οι συγκεκριμένοι χρήστες είναι πλήρως ενημερωμένοι για τον κίνδυνο έκθεσης προσωπικών δεδομένων σε υπηρεσίες με τέτοιο περιεχόμενο. Άρα, η ασφάλεια δεν έχει πολύ μεγάλη σημασία.

Οι **Gamers** είναι χρήστες οι οποίοι έχουν, κατά κύριο λόγο, ως βασική ενασχόληση κατά την επαφή τους με το διαδίκτυο το on-line gaming. Οι εφαρμογές αυτές απαιτούν γρήγορη ανταπόκριση του δικτύου. Οι gamers, στο μεγαλύτερο

ποσοστό, έχουν ανάλογη εξοικείωση με το χρόνο που αφιερώνουν για την ψυχαγωγία τους μέσω του διαδικτύου χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ασφάλειας.

Οι παραπάνω τύποι χρηστών και η αντιστοίχιση τους στα τρία βασικά κριτήρια με τα οποία τμηματοποιείται η αγορά φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Η λογική αυτή υλοποιήθηκε μέσα σε έρευνα πεδίου τα ευρήματα της οποίας οριστικοποίησαν τους τύπους χρηστών που μοντελοποιήθηκαν.

	Απαιτικές Υπηρεσίες	Εξοικείωση	Ασφάλεια
Business Users	✓	✓	✓
Casual Users			
Social Users		✓	
Gamers	✓	✓	

Πίνακας 5: Βασικοί τύποι χρήστη κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών σε σχέση με τα κριτήρια τμηματοποίησης

Η ανάλυση των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν στην ως άνω έρευνα πεδίου, η επεξεργασία και συσχέτισή τους, οδήγησε σε αλλαγές στους 4 βασικούς τύπους χρηστών, καθώς φάνηκε ότι στην πράξη το κριτήριο που καθορίζει την συμπεριφορά των χρηστών, πέρα από την εξοικείωσή τους και τις συγκεκριμένες απαιτήσεις που έχουν από τις υπηρεσίες, είναι η ίδια η δυνατότητά τους να έχουν φθηνή (μέσω WiFi) και/ή επι πληρωμή (κυρίως Mobile Data) πρόσβαση σε υπηρεσίες δεδομένων. Καθώς το δίκτυο 4^{ης} Γενιάς (UMTS LTE) εστιάζει στην στροφή των χρηστών στις υπηρεσίες δεδομένων και τη συνεργασία / διαλειτουργικότητα με υποδομές WLAN, πραγματοποιήθηκε εκ νέου μοντελοποίηση στους εξής 3 τύπους:

- Χρήστες δεδομένων κινητής τηλεφωνίας (**Mobile Data Users**).
- Χρήστες δεδομένων Wi – Fi (**Wi-Fi Users**).
- Χρήστες επαγγελματίες με απαιτήσεις ασφάλειας (**Professional – Security Users**).

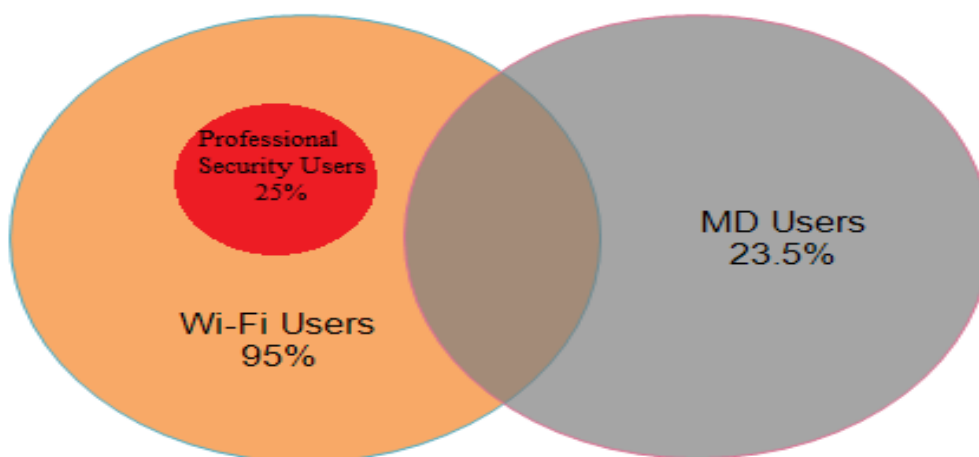
Με βάση το σκεπτικό που έχει ήδη αναπτυχθεί, το πλέον κρίσιμο στοιχείο με την υιοθέτηση του 4G από έναν χρήστη, είναι η εντατική χρήση κινητών δεδομένων. Άρα τα χαρακτηριστικά της ενεργούς συνδρομής σε κινητό δίκτυο και της χρήσης (πολλές ώρες ημερησίως) απαιτητικών από πλευράς διαμεταγωγής υπηρεσιών δεδομένων, διαμορφώνουν μία ομαδοποίηση σε 2 τύπους:

- Ιδανικοί για υιοθέτηση του 4G: συνδρομητές κινητών δικτύων με πολύωρη χρήση πολυμεσικών διαδικτυακών εφαρμογών. Εδώ κατατάσσονται οι “Mobile Data users”.

- Εν δυνάμει μελλοντικοί χρήστες 4G: συνδρομητές δικτύων πρόσβασης στο διαδίκτυο με χαμηλό κόστος και πολύωρη χρήση πολυμεσικών διαδικτυακών εφαρμογών. Εδώ κατατάσσονται οι “WiFi - users”.

Επιπλέον των ανωτέρω, μία 3η τμηματοποίηση προέκυψε από τον συνυπολογισμό των απαιτήσεων ασφάλειας. Από τις απαντήσεις των ερωτηθέντων, προέκυψε ότι ο κύριος όγκος αυτών που δηλώνουν ως κρίσιμο στοιχείο της διαδικτυακής τους εμπειρίας την ασφάλεια και είναι συγχρόνως επαγγελματίες χρήστες (“Security-Professional users”), βρίσκεται μέσα στο γκρουπ «WiFi users».

Η κατανομή των χρηστών στα 3 μοντέλα, αλλά και η επικάλυψη των μοντέλων αποτυπώνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6: Κατανομή χρηστών στα μοντέλα και επικαλύψεις.

Ακολουθούν τα προφίλ των 3 τύπων χρηστών:

Για τους **χρήστες MD** ο εκπρόσωπος είναι μια γυναίκα, στην ηλικιακή ομάδα από 19 ως 48 ετών, με εκπαίδευση επιπέδου TEI, εργαζόμενη με εισόδημα ετήσιο ως 24,000 ευρώ και η οποία διαμένει σε αστικό κέντρο. Είναι κάτοχος SmartPhone / PDA, Tablet / Notebook, είναι συνδρομητρια παρόχου σταθερής και κινητής τηλεφωνίας και παρόχου σύνδεσης στο διαδίκτυο, αφιερώνει καθημερινά σε χρήση υπηρεσιών που απαιτούν σύνδεση με το διαδίκτυο πάνω από τρεις ώρες, κυρίως για ενημέρωση & κοινωνική δικτύωση, και θεωρεί πολύ σημαντική την ασφάλεια και την ταχύτητα.

Για τους **χρήστες WiFi** ο εκπρόσωπος είναι άνδρας, στην ηλικιακή ομάδα από 19 ως 48 ετών, με εκπαίδευση επιπέδου TEI, εργαζόμενος με εισόδημα ετήσιο ως 24,000 ευρώ και ο οποίος διαμένει στην πρωτεύουσα. Είναι κάτοχος SmartPhone / PDA, είναι συνδρομητής παρόχου σταθερής και κινητής τηλεφωνίας και παρόχου σύνδεσης στο διαδίκτυο, αφιερώνει καθημερινά σε χρήση υπηρεσιών που απαιτούν σύνδεση με

το διαδίκτυο πάνω από τρεις ώρες, κυρίως για επαγγελματικούς λόγους / σπουδές & ενημέρωση, και θεωρεί πολύ σημαντική την ασφάλεια και την ταχύτητα.

Για τους **χρήστες Professional / Security** ο εκπρόσωπος είναι άνδρας, στην ηλικιακή ομάδα από 19 ως 48 ετών, με εκπαίδευση επιπέδου Πανεπιστημίου, εργαζόμενος με εισόδημα ετήσιο ως 24,000 ευρώ και ο οποίος διαμένει σε αστικό κέντρο. Είναι κάτοχος SmartPhone / PDA, Tablet / Notebook, είναι συνδρομητής παρόχου σταθερής και κινητής τηλεφωνίας και παρόχου σύνδεσης στο διαδίκτυο, αφιερώνει καθημερινά σε χρήση υπηρεσιών που απαιτούν σύνδεση με το διαδίκτυο πάνω από τρεις ώρες, κυρίως για επαγγελματικούς λόγους / σπουδές & ενημέρωση, και θεωρεί πολύ σημαντική την ασφάλεια και την ταχύτητα.

4.4 ΣΧΕΣΗ ΧΡΗΣΤΩΝ – ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Αφού σχηματιστούν τα μοντέλα των εν δυνάμει χρηστών / συνδρομητών του δικτύου, θα πρέπει να οριστούν σενάρια χρήσης των υπηρεσιών για κάθε μοντέλο. Εδώ παίζει μεγάλο ρόλο η χρονική ανάλυση, δηλ. η περιγραφή των μοτίβων χρήσης των διατιθέμενων υπηρεσιών με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, ιδανικά σε επίπεδο λεπτών, παρά σε ώρες ή ημέρες. Στην τρέχουσα εργασία τα δεδομένα είναι διαθέσιμα σε επίπεδο ώρας. Το σύστημα ελέγχου του δικτύου, θα πρέπει να εξομοιώσει με ακρίβεια τη διάδραση του χρήστη με την υπηρεσία, μέσω μίας διεπαφής (interface) επιπέδου εφαρμογής, αλλά και όλα τα πρωτόκολλα που υλοποιούν την υπηρεσία χρησιμοποιώντας πόρους του δικτύου (προσάρτηση συσκευής χρήστη στο δίκτυο, επαλήθευση ταυτότητας χρήστη / ασφάλεια, αποκατάσταση κομιστών για την ζητούμενη υπηρεσία).

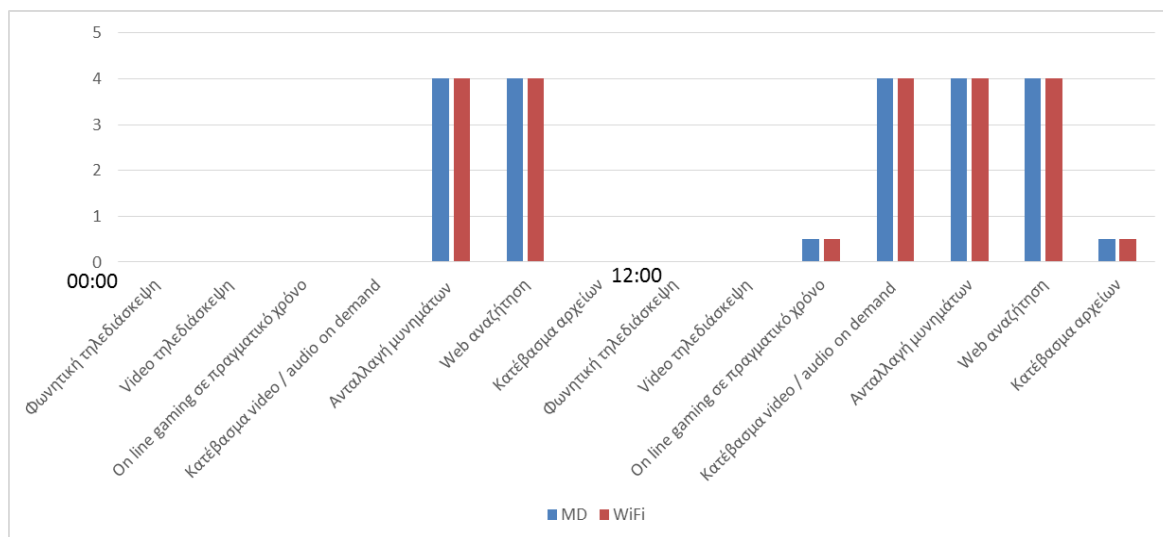
Προκειμένου να είναι αποδοτικό και να εξομοιώνει ευρύ φάσμα διαφορετικών υπηρεσιών, το σύστημα ελέγχου δεν πρέπει να απαιτεί από τον χρήστη γνώση των υποκείμενων πρωτοκόλλων και διεργασιών.

Σε ότι αφορά στα μοτίβα χρήσης υπηρεσιών από τους τύπους χρηστών που ορίστηκαν στην Ενότητα 4.3, αυτό που ενδιαφέρει είναι η αποτύπωση / εξομίωση των αιχμών (κορυφών) της χρήσης, σε συγκεκριμένα χρονικά σημεία εντός μίας ημέρας. Σε κάθε περίπτωση, το πλαίσιο ελέγχου πρέπει να είναι ευέλικτο και προσαρμοστικό σε διαφορετικές τάσεις, καθώς η χρήση των υπηρεσιών από τους συνδρομητές συνεχώς εξελίσσεται και η κατανομή διαφοροποιείται σημαντικά μεταξύ διαφορετικών τύπων χρηστών. Οι υπηρεσίες που χρησιμοποιήθηκαν ως μελέτη περίπτωσης στην τρέχουσα εργασία είναι αυτές που ορίζονται στην Ενότητα 2.2 ^[13] και η χρονική τους κατανομή ανά τύπο χρήστη, παρατίθεται στα επόμενα σχήματα.

Το πρώτο ραβδόγραμμα δείχνει την χρήση υπηρεσιών από τους MD users. Όπως φαίνεται, κατά κανόνα η χρήση περιορίζεται στο 2^ο μισό της ημέρας, και αφορά

¹³ υπηρεσίες δεδομένων με απαιτήσεις, όπως η φωνητική τηλεδιάσκεψη- VoIP, η video τηλεδιάσκεψη – VVoIP, το on-line gaming σε πραγματικό χρόνο, το κατέβασμα video/ Audio on demand, η ανταλλαγή μηνυμάτων, Internet chat, Voice mail/ messaging, η web αναζήτηση- blogging, και το κατέβασμα αρχείων, Peer- to - Peer file sharing.

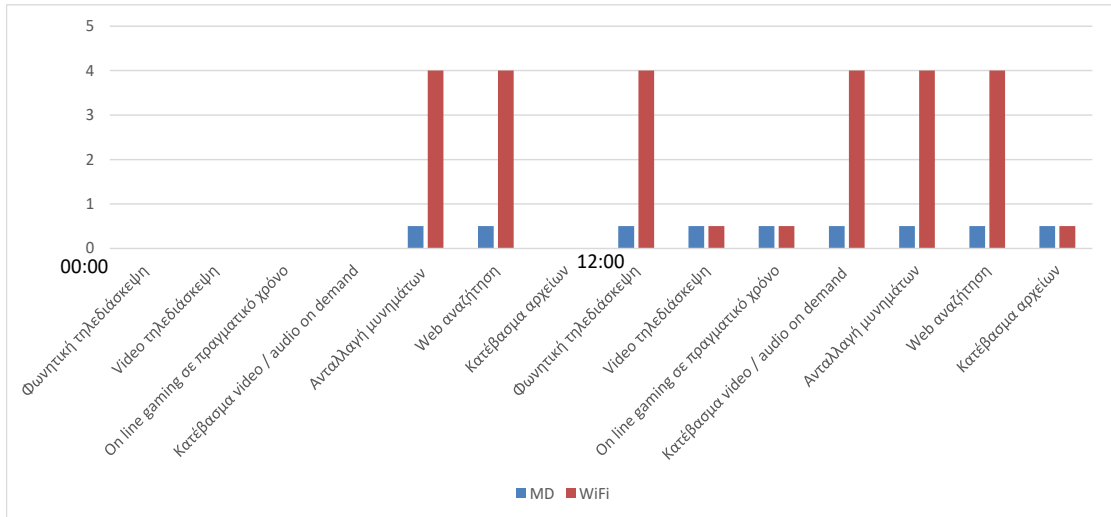
κυρίως κατέβασμα video / audio on demand, ανταλλαγή μηνυμάτων και web αναζήτηση. Λιγότερο ασχολούνται οι χρήστες αυτοί με on line gaming σε πραγματικό χρόνο και με κατέβασμα αρχείων. Το διάγραμμα δείχνει πως η χρήση αυτών των υπηρεσιών γίνεται εξίσου μέσω WiFi και Mobile Data.



Διάγραμμα 4: Αποτύπωση χρήσης υπηρεσιών σε ένα πλήρες 24ώρο για τους MD Users.

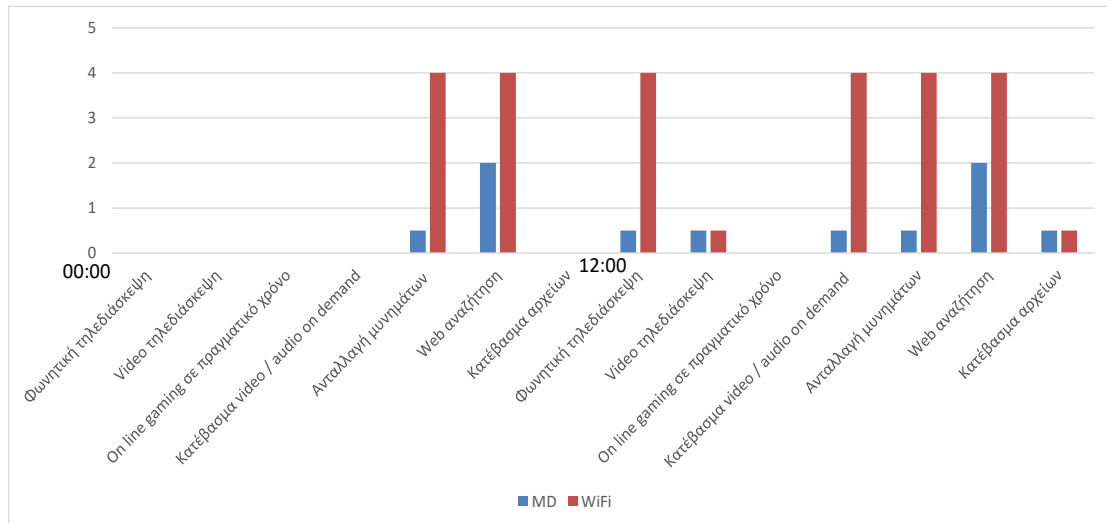
Παρατήρηση: Στο παραπάνω σχήμα, με κόκκινο χρώμα αποτυπώνεται ο χρόνος που αφιερώνεται για την πραγματοποίηση υπηρεσιών μέσω σταθερού δικτύου ADSL(Wi-Fi),ενώ με μπλε χρώμα μέσω κινητού δικτύου δεδομένων.

Το επόμενο ραβδόγραμμα δείχνει την χρήση υπηρεσιών από τους WiFi users. Όπως φαίνεται, κατά κανόνα η χρήση περιορίζεται στο 2^ο μισό της ημέρας, και αφορά κυρίως κατέβασμα video / audio on demand, ανταλλαγή μηνυμάτων, φωνητική τηλεδιάσκεψη και web αναζήτηση. Λιγότερο ασχολούνται οι χρήστες αυτοί με on line gaming σε πραγματικό χρόνο, με video τηλεδιάσκεψη και με κατέβασμα αρχείων. Βασική διαφορά από το προηγούμενο γράφημα, αποτελεί το γεγονός ότι εδώ η πλειονότητα της χρήσης γίνεται μέσω WiFi.



Διάγραμμα 5: Αποτύπωση χρήσης υπηρεσιών σε ένα πλήρες 24ώρο για τους WiFi Users.

Το τελευταίο ραβδόγραμμα δείχνει την χρήση υπηρεσιών από τους Professional /Security users. Όπως και πριν, κατά κανόνα η χρήση περιορίζεται στο 2^ο μισό της ημέρας, και αφορά κυρίως κατέβασμα video / audio on demand, ανταλλαγή μηνυμάτων, φωνητική τηλεδιάσκεψη και web αναζήτηση. Λιγότερο ασχολούνται οι χρήστες αυτοί με video τηλεδιάσκεψη και με κατέβασμα αρχείων. Όπως και οι χρήστες WiFi, έτσι και αυτοί οι χρήστες προτιμούν τη χρήση των υπηρεσιών μέσω WiFi.



Διάγραμμα 6: Αποτύπωση χρήσης υπηρεσιών σε ένα πλήρες 24ώρο για τους Prof./Security Users.

Ένας επιτυχής έλεγχος στο εργαστήριο με τη χρήση ελεγχόμενων μικρών όγκων κίνησης, δεν εγγυάται την επιτυχία σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Οι

μηχανισμοί για την QoS και τις πολιτικές πρέπει να μετρηθούν με την χρήση υψηλών όγκων εξομοιούμενης κίνησης συνδρομητών, όταν το δίκτυο βρίσκεται στα όρια της χωρητικότητάς του. Αυτό πρακτικά σημαίνει την παραγωγή εκατομμυρίων ταυτοχρόνων συναλλαγών το δευτερόλεπτο.

4.5 ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (KPIs) ΣΕ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 2.3, η Ποιότητα Εμπειρίας (Quality of Experience) είναι το μέτρο του συνολικού επιπέδου ικανοποίησης του πελάτη για μία υπηρεσία. Η ποσοτικοποίηση της QoE απαιτεί τον ορισμό και την κατανόηση των Κρίσιμων Δεικτών Απόδοσης (KPIs) που επηρεάζουν την αντίληψη των χρηστών για την ποιότητα και αυτοί οι δείκτες είναι μοναδικοί για κάθε τύπο υπηρεσίας, δηλ. μετρώνται ξεχωριστά για κάθε υπηρεσία.

Οι εφαρμογές δεδομένων είναι τυπικά υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (best effort services), χαρακτηρίζονται από κυμαινόμενους ρυθμούς δεδομένων (Variable Bit Rates - VBR) και παρουσιάζουν κάποια ανοχή σε απώλειες και καθυστερήσεις, προτού ο χρήστης να αντιληφθεί υποβάθμιση της ποιότητας. Τέτοιοι KPIs είναι (μη-εξαντλητική λίστα ποιοτικών παραμέτρων που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν):

- ❖ **Καθυστέρηση Συναλλαγής (Transaction Latency):** περιλαμβάνει τον χρόνο για την διεκπεραίωση του πρώτου byte και του τελευταίου byte δεδομένων της υπηρεσίας
- ❖ **Μέσος Ρυθμός Συναλλαγών (Transaction Rate):** Συναλλαγές ανά δευτερόλεπτο
- ❖ **Αριθμός Ταυτόχρονων Συναλλαγών (Concurrent Transactions):** κατά μέγιστο
- ❖ **Αριθμός προσβάσεων σε σελίδες και αντικείμενα (Page / Object Hits)**
- ❖ **Διαμεταγωγή Ανοδικής / Καθοδικής Ζεύξης (Uplink / Downlink Throughput)**
- ❖ **Επανεκπομπές (Re-transmissions):** που πραγματοποιούνται σε επίπεδο εφαρμογής
- ❖ **Εσφαλμένες Συναλλαγές (Failed Transactions)**

Οι εφαρμογές φωνής είναι τυπικά υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real-time services), οι οποίες απαιτούν σταθερούς ρυθμούς δεδομένων (Constant Bit Rates - CBR), είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση (latency) και τη διακύμανσή της (jitter), αλλά παρουσιάζουν μερική ανοχή σε απώλειες πακέτων (packet loss). Ο κύριος δείκτης KPI για τη φωνή είναι το MOS (Mean Opinion Score – Μέση Βαθμολογία Απόψεων). Το φωνητικό MOS (MOS_V) είναι μία υποκειμενική μέτρηση της προσλαμβανόμενης ποιότητας, η οποία συνυπολογίζει αποτελέσματα σε επίπεδο κωδικοποίησης / κβάντισης (συμπεριφορά / απόδοση του codec), την επίπτωση υποβαθμίσεων σε επίπεδο δικτύου (IP) και την αποτελεσματικότητα μεθόδων

απόκρυψης απωλειών (loss concealment). Στον ακόλουθο πίνακα απεικονίζεται η ποιοτική ερμηνεία με βάση μία κλίμακα MOS_V που διακρίνει 7 επίπεδα.

MOS_V	Προσλαμβανόμενη Ποιότητα
5	Excellent (Εξαιρετική)
4,5	Very Good (Πολύ Καλή)
4	Good (Καλή)
3,5	Poor (Κακή)
3	Not-Acceptable (Μη-αποδεκτή)
2	Severe (Σημαντικά Προβλήματα)
1	Useless (Άχρηστη - απώλεια υπηρεσίας)

Πίνακας 6: Κλίμακα MOS για ποιότητα υπηρεσιών πραγματικού χρόνου

Δύο σημαντικές τεχνικές MOS είναι η PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality – Αποτίμηση Προσλαμβανόμενης Ποιότητας Ομιλίας) και η R-Factor ^[14]. Άλλοι σημαντικοί δείκτες (KPIs) είναι:

- ❖ η καθυστέρηση / διακύμανση της καθυστέρησης μεταξύ αφίξεων πακέτων (packet inter-arrival delay / jitter)
- ❖ η καθυστέρηση μονής διαδρομής (one-way latency)
- ❖ ο συνολικός χρόνος εγκατάστασης σύνδεσης για φωνητική κλήση (overall connection setup time for voice call)

Οι εφαρμογές **video** έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τις υπηρεσίες φωνής. Τα κινητά ευρυζωνικά δίκτυα υποστηρίζουν πολλές διαφορετικές μορφές video. Οι πιο σημαντικές κατηγορίες είναι ^[15]:

- Συνομιλιακό (Conversational) βίντεο (ζωντανή ροοθήκευση – live streaming)
- Προοδευτικό (με ενδιάμεση αποθήκευση) κατέβασμα (progressive buffered download)
- Προσαρμοστική ροοθήκευση (adaptive streaming)

Τις υψηλότερες απαιτήσεις επίδοσης τις έχει η ζωντανή ροοθήκευση (live streaming), καθώς είναι υπηρεσία πραγματικού χρόνου πολύ ευαίσθητη στην καθυστέρηση, τη διακύμανσή της και την απώλεια πακέτων. Η ανάλυση της προσλαμβανόμενης ποιότητας video είναι ο πλέον σημαντικός δείκτης επίδοσης (KPI) για υπηρεσίες video.

Για την πλήρη κατανόηση της Ποιότητας Εμπειρίας (QoE), οι δείκτες KPI πρέπει να αποτιμώνται κατ' επανάληψη, με διαφορετικούς ρυθμούς φορτίου και μείγματα εφαρμογών. Οι μηχανισμοί διαχείρισης πολιτικών QoS, πρέπει να κρίνονται στην κατάσταση πλήρους φόρτου, όταν δηλ. υπάρχουν ανταγωνιζόμενες απαιτήσεις για δικτυακούς πόρους. Μόνο κάτω από αυτές τις συνθήκες, μπορεί να πραγματοποιηθεί

¹⁴ Ενότητα 2.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ (QoE)

¹⁵ Ενότητα 3.3 Πίνακας 4: 3GPP Τυποποιημένα QoS Class Indicator Χαρακτηριστικά

πλήρης ανάλυση και συντονισμός των πολιτικών ελάττωσης / αστυνόμευσης ρυθμών δεδομένων (rate limiting / policing), μορφοποίησης πακέτων (packet shaping), χρονοπρογραμματισμού πόρων (resource scheduling) και προϋπολογισμών καθυστέρησης πακέτων (packet delay budgets)

4.6 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΡΟΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (SDFs)

4.6.1 ΓΕΝΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ SDFs

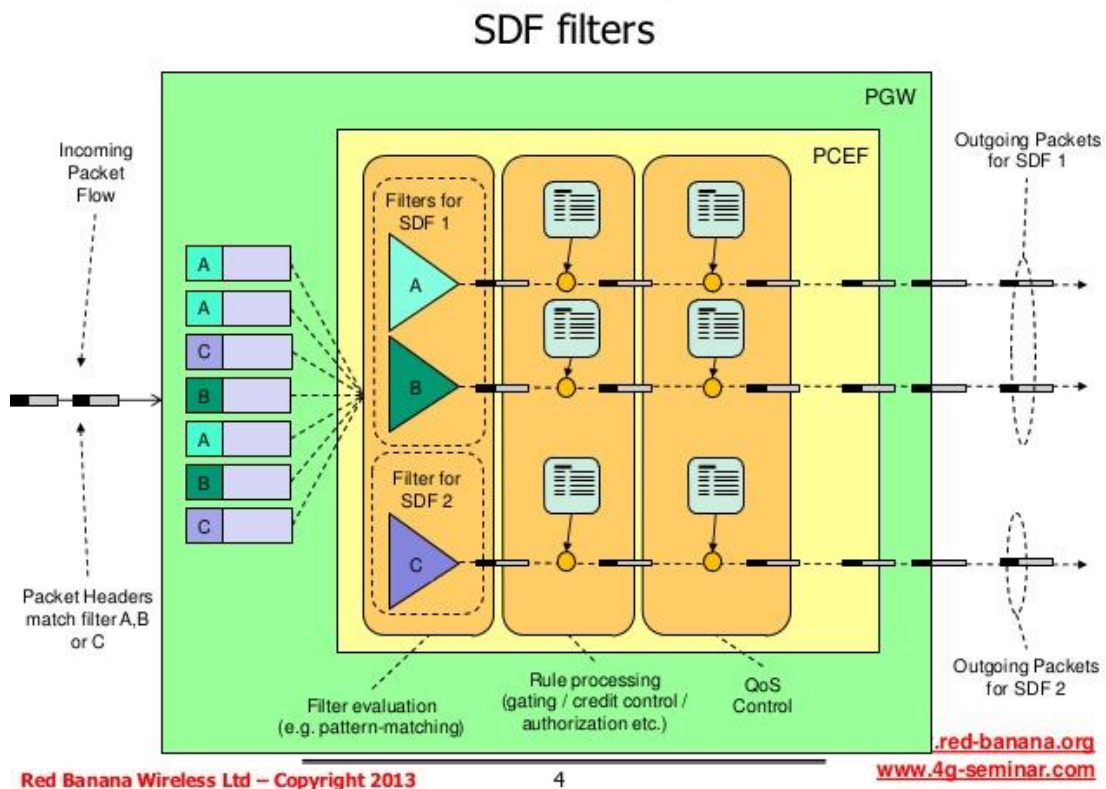
Οι Ροές Δεδομένων Υπηρεσιών και Δεδομένων (SDFs) είναι τα IP πακέτα που συσχετίζονται με μια υπηρεσία που χρησιμοποιεί κάποιος. Παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι η χρήση ηλεκτρονικών ταχυδρομείων emails, η περιήγηση στο διαδίκτυο και η χρήση πλατφορμών. Σε γενικές γραμμές, μια ευρύτερη και γενικευμένη έννοια ενός SDF μπορεί να θεωρηθεί ένα ολοκληρωμένο πακέτο (σύνολο) από ροές δεδομένων που ταιριάζει σε ένα πολλαπλό πλαίσιο SDFs(SDF Template), το οποίο αποτελεί το σύνολο των SDF filters σε ένα κανόνα PPC. Με την σειρά τους, τα SDF filters αποτελούν ένα σύνολο με παραμέτρους και αξίες, και χρησιμοποιούνται για να αναγνωρίσουν ένα η περισσότερα από τα πακέτα δεδομένων που χαρακτηρίζουν ένα SDF.

4.6.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ SDFs

Τα γενικά χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής ^[16]:

- Μονάχα για την διεύθυνση (header) IP : Πηγή (source) και προορισμός (destination) για την διεύθυνση IP, πρωτόκολλο IP, τύποι υπηρεσιών(TOS)/Traffic Class/Flow Label.
- IP και κεφαλίδα στρώματος μεταφοράς (Transport Layer Header): Πηγή και προορισμός των αριθμών θυρών, και ατομικές τιμές και εύρη
- IP, κεφαλίδα στρώματος μεταφοράς και κεφαλίδα: Εκδόσεις εφαρμογών πληροφοριών, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υποστηρίξουν το φιλτράρισμα σε μια SDF που βασίζεται στα πρωτόκολλα μεταφοράς και εφαρμογής με βάση το IP. Ωστόσο, αυτά τα φίλτρα θα πρέπει να ρυθμιστούν προηγουμένως σε ένα PCEF (Policy and Charging Enforcement Function δηλαδή Λειτουργία Επιβολής Πολιτικών και Χρέωσης).

¹⁶ <https://www.red-banana.org/> (2013)



Εικόνα 5: SDF Filters

4.6.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ SDF

Με τον **έλεγχο ροής** αναφερόμαστε στη διαχείριση της ροής δεδομένων μεταξύ υπολογιστών και άλλων συσκευών ή ακόμα και ανάμεσα στους κόμβους ενός δικτύου με αποτελεσματικό τρόπο. Όταν λαμβάνονται πολλά δεδομένα προτού μια συσκευή είναι έτοιμη για να ανταποκριθεί, τότε συμβαίνει **υπερχείλιση**, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει η απώλεια των δεδομένων ή υποχρεωτική αναμετάδοσή τους. Για σειριακή μετάδοση δεδομένων σε τοπικό δίκτυο ή σε ένα ελαφρώς ευρύτερο δίκτυο, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο XON/XOFF. Για συνδέσεις μέσω μόντεμ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο το πρωτόκολλο XON/XOFF όσο και το CTS/RTS (Clear to Send/Ready to Send).

4.6.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟ QoS

- **Admission Control (A.C)** Μέσω αυτού του μηχανισμού καθορίζεται αν θα επιτραπεί η διεξαγωγή μιας αίτησης. Πιο συγκεκριμένα, το AC ελέγχει την ενημέρωση του υφιστάμενου φορτίου σε ένα δίκτυο σε μια δεδομένη στιγμή, και εξετάζει αν μπορεί να γίνει δεκτή μια νέα αίτηση. Σκοπός του είναι να ελέγξει αν η νέα αίτηση μπορεί να γίνει δεκτή με τις ίδιες παραμέτρους που ζητά το QoS.

Είναι εφαρμόσιμο σε IP δίκτυα, κατά την διάρκεια εγκατάστασης του πρωτοκόλλου RSVP. Τρεις τύποι αυτού του ελέγχου είναι διαθέσιμοι ^[17]:

- **Host:** Εξασφαλίζει ότι ένας κεντρικός υπολογιστής διαθέτει επαρκείς πόρους για να ικανοποιήσει όλες τις εικονικές μηχανές που εκτελούνται σε αυτόν.
- **Resource Pool:** Εξασφαλίζει ότι μια ομάδα πόρων διαθέτει επαρκείς πόρους για να ικανοποιήσει τις επιφυλάξεις, τα μερίδια και τα όρια όλων των εικονικών μηχανών που σχετίζονται με αυτήν
- **VSphere HA:** Εξασφαλίζει ότι επαρκείς πόροι στο σύμπλεγμα προορίζονται για αποκατάσταση εικονικής μηχανής σε περίπτωση αποτυχίας του κεντρικού υπολογιστή.
- **Traffic Shaping and Conditioning (Διαμόρφωση της κυκλοφορίας):** Η διαμόρφωση της κυκλοφορίας επιτρέπει να περιοριστεί η ταχύτητα απομάκρυνσης δεσμών διατηρώντας πρόσθετα πακέτα στις ουρές και προωθώντας τα σύμφωνα με τις παραμέτρους που διαμορφώνονται για χαρακτηριστικά διαμόρφωσης κυκλοφορίας. Η διαμόρφωση της κυκλοφορίας χρησιμοποιεί προεπιλεγμένη ουρά βάσει ροής. Το CBWFQ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση και την ιεράρχηση των δεσμών. Για τον έλεγχο της κυκλοφορίας και την αστυνόμευση της κυκλοφορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστυνομικοί που βασίζονται στην τάξη και διαμορφώνουν τη γενική κυκλοφορία (GTS) ή το Frame Relay shaping traffic (FRTS).
- **Classification and Marking Concepts:** Τα περισσότερα εργαλεία QoS ταξινομούν την κυκλοφορία, η οποία επιτρέπει σε κάθε κατηγορία κυκλοφορίας να λαμβάνει διαφορετικό επίπεδο επεξεργασίας από άλλες κατηγορίες κυκλοφορίας. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει προτεραιότητα σε έναν τύπο κίνησης έναντι άλλου. Τα εργαλεία ταξινόμησης και σήμανσης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτή τη λύση. Αντί να δίνετε προτεραιότητα στην ουρά, να ρίχνετε ένα πακέτο ή να διαμορφώνετε ή να ασκείστε αστυνόμευση ή να κάνετε θραύση και ούτω καθεξής, τα εργαλεία ταξινόμησης και σήμανσης αλλάζουν μερικά bit στην κεφαλίδα πακέτων. Άλλα εργαλεία QoS σε όλο το δίκτυο μπορούν να εξετάσουν τα σημειωμένα κομμάτια για ταξινόμηση πακέτων ^[18].
- **Μηχανισμός και προσχέδιο προτεραιότητας (Priority and Scheduling Mechanism):** Οι προτεραιότητες μπορούν να είναι είτε στατικές είτε δυναμικές, με τις στατικές να διατίθενται κατά την διάρκεια της δημιουργίας και τις δυναμικές να απορρέουν σχετικά με την συμπεριφορά των διαδικασιών όταν το σύστημα δουλεύει. Από την άλλη πλευρά, οι προτεραιότητες μπορούν να οριστούν εσωτερικά ή εξωτερικά, με τις εσωτερικά καθορισμένες

¹⁷ https://pubs.vmware.com/vsphere-50/index.jsp?topic=%2Fcom.vmware.vsphere.avail.doc_50%2FGUID-53F6938C-96E5-4F67-9A6E-479F5A894571.html

¹⁸ <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=101170&seqNum=2>

προτεραιότητες να χρησιμοποιούν κάποια μετρήσιμη ποσότητα για τον υπολογισμό της προτεραιότητας μιας συγκεκριμένης διαδικασίας. Αντίθετα, οι εξωτερικές προτεραιότητες ορίζονται με κριτήρια πέρα από το λειτουργικό σύστημα (OS), τα οποία μπορούν να περιλαμβάνουν τη σημασία της διαδικασίας, τον τύπο καθώς και το άθροισμα των πόρων που χρησιμοποιούνται για τη χρήση υπολογιστών, τις προτιμήσεις των χρηστών, το εμπόριο και άλλους παράγοντες όπως για παράδειγμα η πολιτική. Το προσχέδιο προτεραιότητας μπορεί να είναι είτε προληπτικό, και να προλαμβάνει την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) στην περίπτωση που η προτεραιότητα της διαδικασίας που έχει πρόσφατα φτάσει να είναι μεγαλύτερη από αυτή των υφιστάμενων διαδικασιών, είτε απρόβλεπτο, οπότε σε αυτήν τη περίπτωση ο τύπος του προσχεδιασμένου αλγορίθμου απλώς τοποθετεί την νέα διαδικασία στην αρχή της σειράς των εντολών ^[19].

- **Έλεγχος συνοχής (Congestion control)** : Πρόκειται για ένα μηχανισμό στα σημεία πολύπλεξης, σύμφωνα με τον οποίο καθορίζεται μια σειρά μόλις η ροή (traffic) ξεπεράσει το όριο της επιτρεπόμενης χωρητικότητας του δικτύου για μια ροή ή για περισσότερες. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτού του μηχανισμού είναι πως απλοποιεί το δίκτυο ως προς τις διαδικασίες, αλλά παράλληλα δεν γίνεται χωρίς να επιβληθεί, με την έννοια πως δουλεύει μονάχα αν συνεργάζονται τα end-host και αν υπάρχει ομογένεια μεταξύ των αλγορίθμων ^[20]

4.7 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ

Η DiffServ είναι μία δικτυακή αρχιτεκτονική, η οποία προδιαγράφει έναν απλό και κλιμακωτό μηχανισμό ταξινόμησης και διαχείρισης της κίνησης του δικτύου και παροχής ποιότητας υπηρεσιών (QoS) στα σύγχρονα δίκτυα IP. Η DiffServ μπορεί, για παράδειγμα, να χρησιμοποιηθεί για την παροχή χαμηλής καθυστέρησης σε κρίσιμη κίνηση του δικτύου, όπως είναι η φωνή (voice) ή η ροοθήκευση μέσων (streaming media), παρέχοντας ταυτόχρονα απλή υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (best-effort) σε μη-κρίσιμες υπηρεσίες, όπως η διαδικτυακή κίνηση, ή η μεταφορά αρχείων. Το DiffServ χρησιμοποιεί ένα 6-bit Κωδικό Σημείο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DSCP: differentiated services code point) στο 8-bit πεδίο διαφοροποιημένων υπηρεσιών (πεδίο DS) στην κεφαλίδα IP (IP Header) για σκοπούς ταξινόμησης πακέτων. Το πεδίο DS αντικαθιστά το παλιό πεδίο TOS του πρωτοκόλλου IPv4.

4.7.1 DIFFERENTIAL SERVICE (DiffServ)

Η αρχιτεκτονική DiffServ σε αντίθεση με την IntServ που κάνει μόνο κράτηση πόρων, δεν εφαρμόζει καμιά τέτοια διαδικασία απλώς αναγνωρίζει κάποιες ροές

¹⁹ <https://www.techopedia.com/definition/21478/priority-scheduling>

²⁰ <http://people.eecs.berkeley.edu/~istoica/sig98talk/sld002.htm>

πακέτων και τις διαχειρίζεται προνομιακά έναντι των υπολοίπων. Στο σημείο αυτό θα περιγραφεί λίγο ο τρόπος με τον οποίο ο διαχειριστής του δικτύου και οι χρήστες που επιζητούν παροχή ποιότητας υπηρεσιών για τις εφαρμογές συμφωνούν στα χαρακτηριστικά της. Καταρχήν το κοινά αποδεκτό σύνολο των παραμέτρων που προσδιορίζουν την ποιότητα υπηρεσίας που παρέχεται από το δίκτυο είναι:

- Η καθυστέρηση (delay / latency)
- Η διαφοροποίηση της καθυστέρησης ή τρόμος (IP Packet Delay Variation - IPDV ή Jitter)
- Η Χωρητικότητα
- Η απώλεια πακέτων

Όταν ένας πελάτης επιθυμεί μια συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας τότε γνωστοποιεί στο δίκτυο για όλες τις παραπάνω παραμέτρους, τις τιμές που η εφαρμογή (ή οι εφαρμογές) του χρειάζεται ώστε η απόδοσή της να είναι αποδεκτή. Στη συνέχεια το δίκτυο ελέγχει αν μπορεί να προσφέρει τις εγγυήσεις που ζητά ο πελάτης και είτε τις αποδέχεται, είτε προτείνει αυτό τις εγγυήσεις που μπορεί να παρέχει σύμφωνα με τις δυνατότητές του. Στη συνέχεια και εφόσον συμφωνήσουν στις εγγυήσεις που θα παρέχονται και στα χαρακτηριστικά της κίνησης που θα εισάγει ο πελάτης στο δίκτυο τότε υπογράφεται μια συμφωνία όπου προσδιορίζει αναλυτικά όλα τα παραπάνω. Η συμφωνία αυτή καλείται SLA (Service Level Agreement) και είναι δεσμευτική και για τις 2 πλευρές.

Στη συνέχεια προκειμένου να οριστεί μια υπηρεσία παροχής ποιότητας υπάρχει μια σειρά προϋποθέσεων που πρέπει να εκπληρούνται **Error! Reference source not found.**:

- Σταθερή λειτουργία του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων
- Bit error rate $\leq 10^{-12}$
- Αξιοπιστία του εξοπλισμού
- Επιλογή του MTU (μέγιστη μονάδα μετάδοσης) για την αποφυγή κατακερματισμού των πακέτων. Η ποσότητα MTU είναι το μέγιστο μέγεθος πακέτου της ροής.
- Overprovisioning χαρακτήρας του δικτύου. Η προϋπόθεση αυτή δηλώνει ουσιαστικά πως θα πρέπει ο ρυθμός άφιξης πακέτων στο δίκτυο να είναι μικρότερος από το ρυθμό εξυπηρέτησής τους.

Αφού αυτές πλέον θεωρείται ότι εκπληρώνονται ορίζονται διάφορες υπηρεσίες με συνδυασμούς μηχανισμών και τεχνικών αστυνόμευσης, δρομολόγησης, διαχείρισης ουρών κλπ. Γενικά έχουν προταθεί 2 είδη DiffServ υπηρεσιών –(per hop behaviors) που περιγράφονται παρακάτω. Με τον όρο per hop behavior καλείται η «συμπεριφορά προώθησης» (forwarding behavior) που εφαρμόζεται στα πακέτα σε κάθε κόμβο του DiffServ domain.

- Expedited Forwarding (EF)**Error! Reference source not found.:** Σε αυτή την κατηγορία υπηρεσιών στόχο αποτελεί η ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης και του jitter ενώ παράλληλα στοχεύει ώστε να παρέχει ποιότητα υπηρεσίας στον υψηλότερο βαθμό. Τα πακέτα που υπερβαίνουν το προφίλ της κίνησης που έχει συμφωνηθεί ότι θα εισάγει ο χρήστης (στο SLA που υπογράφηκε) απορρίπτονται. Γενικά οι υπηρεσίες αυτές της κατηγορίας εξομοιώνουν τη λειτουργία μιας εικονικής μισθωμένης γραμμής.
- Assured Forwarding (AF)**Error! Reference source not found.:** Η κατηγορία αυτή διαθέτει το πολύ 4 κλάσεις εξυπηρέτησης και το πολύ 3 επίπεδα απόρριψης για κάθε κλάση. Η AF κίνηση που υπερβαίνει τα χαρακτηριστικά διανέμεται με όχι τόσο μεγάλη πιθανότητα όσο η εντός προφίλ κίνηση, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να υποβιβάζεται αλλά δεν σημαίνει απαραίτητα ότι απορρίπτεται.

Το DiffServ υποθέτει ότι υπάρχει μια συμφωνία παροχής υπηρεσίας(SLA), μεταξύ δικτύων που μοιράζονται ένα σύνορο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΠΑΡΟΧΟΥ VoLTE

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται μία ενδεικτική μελέτη περίπτωσης (case study) ενός παρόχου, ο οποίος αντιμετωπίζει τα διλήμματα τα οποία αναφέρθηκαν στην εισαγωγή της εργασίας και καθώς προβλέπει μεγάλη κίνηση στο δίκτυό του, επιλέγει να διαφοροποιήσει την ποιότητα, ώστε να εξυπηρετήσει τις ανάγκες των χρηστών του χωρίς να καταφύγει σε αύξηση / επέκταση του δικτύου του. Για να το πραγματοποιήσει αυτό χρησιμοποιεί το πλαίσιο των εργαλείων και τεχνικών που περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Έστω λοιπόν πάροχος με ιδιόκτητο δίκτυο LTE, ο οποίος επιθυμεί να προσθέσει φωνητικές υπηρεσίες βασισμένες σε IP. Ακολουθώντας την πεπατημένη, ο πάροχος θα υποστηρίξει πρώτα τις φωνητικές υπηρεσίες σε συσκευές LTE, χρησιμοποιώντας το υπάρχον 3G δίκτυο. Λόγω της μεταγωγής κυκλώματος μέσω της οποίας το 3G δίκτυο υποστηρίζει τις φωνητικές υπηρεσίες, η κίνηση φωνής και δεδομένων θα διαχωριστεί μεταξύ των δικτύων 3G και LTE, με τα δεδομένα να εξυπηρετούνται από το LTE δίκτυο. Υλοποιώντας υπηρεσία φωνής πάνω από το LTE (VoLTE), ο πάροχος μπορεί να χρησιμοποιήσει το LTE δίκτυο του μεταγωγής πακέτου, για να μεγαλώσει με οικονομικά αποδοτικό τρόπο τη συνολική χωρητικότητά του και να ομογενοποιήσει τη δικτυακή του αρχιτεκτονική, βασισμένη πλέον πλήρως σε IP. Όμως προτού προχωρήσει σε αυτή την υλοποίηση, πρέπει να σιγουρευτεί ότι η κίνηση φωνής, δεδομένων και video, μπορεί να διεκπεραιωθεί ταυτόχρονα, με υψηλή ποιότητα υπηρεσίας και εξασφαλίζοντας ότι καμία υπηρεσία δεν επηρεάζει αρνητικά κάποια άλλη.

Οι βασικοί στόχοι του παρόχου στους εργαστηριακούς ελέγχους που καλείται να πραγματοποιήσει είναι 4:

- Εξομοίωση διαφορετικών τύπων υπηρεσιών
- Απεικόνιση υπηρεσιών σε συγκεκριμένους κομιστές
- Παραγωγή υψηλού φόρτου για δημιουργία ανταγωνισμού πόρων
- Μέτρηση των KPIs για κάθε τύπο υπηρεσίας

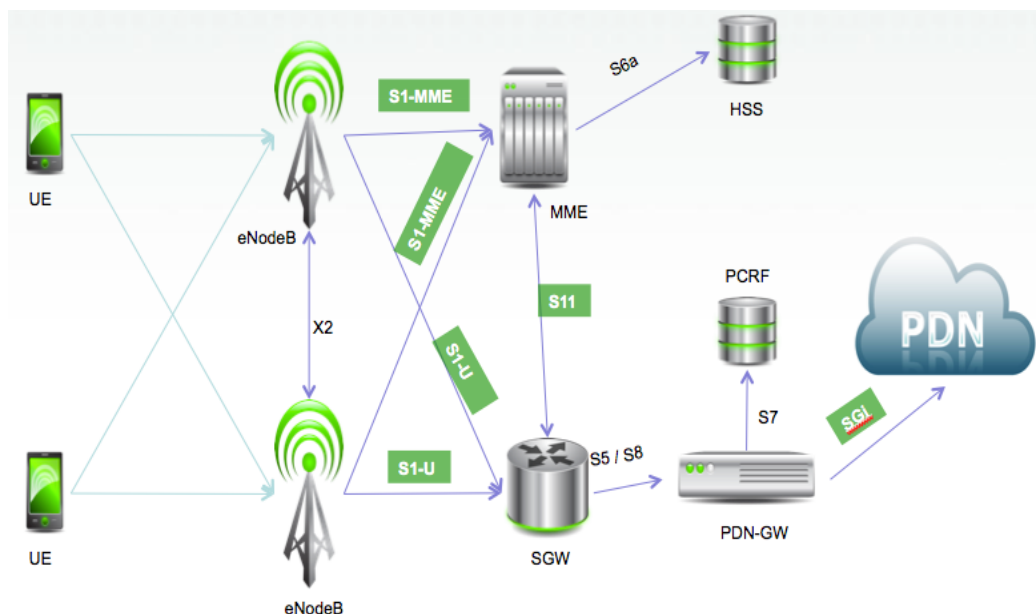
5.2 ΠΛΑΙΣΙΟ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΟΥ

Οι στόχοι που τέθηκαν από τον Πάροχο, προϋποθέτουν συγκεκριμένο εξοπλισμό δοκιμών και πραγματικά στοιχεία κίνησης συνδρομητών, για την ρεαλιστική εξομοίωση των συνθηκών λειτουργίας και των δυνατοτήτων εφαρμογής και απόδοσης πολιτικών QoS στο δίκτυό του. Καθώς αυτό δεν ήταν εφικτό στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκε αναλυτική περιγραφή των βημάτων με ενδεικτική αναφορά στα κομμάτια των δοκιμών για τα οποία η έλλειψη πραγματικού

εξοπλισμού και κίνησης χρηστών δεν επέτρεψε την υλοποίησή τους. Στη συνέχεια παρατίθενται τα βήματα και η αναλυτική περιγραφή της διάρθρωσης της διάταξης δοκιμών:

- **Βήμα 1ο:** Εξομοίωση εξοπλισμού χρήστη (UE) με σύνθετες (multiplay) υπηρεσίες VoIP, συνομιλιακό / μη-συνομιλιακό video και TCP υπηρεσίες (HTTP/FTP, email, κ.ο.κ.) και συσχέτισή τους με συγκεκριμένους δείκτες κατηγορίας QoS (QCIs), άρα και συγκεκριμένους κομιστές. Ο πάροχος επίσης διαρθρώνει κατάλληλα το δίκτυό του, ώστε να υποστηρίζει διαφορετικά επίπεδα χρηστών (επαγγελματίας, καταναλωτής MD/WiFi, έκτακτη ανάγκη / κυβερνητικός χρήστης) και ρυθμών δεδομένων (2Mbps, 5Mbps, 20Mbps) και τα απεικονίζει στα QCIs. Οι δοκιμές πρέπει να περιλαμβάνουν τη δυνατότητα αναλυτικών εξομοιώσεων για κάθε τύπο κίνησης και συσχετισμένα με αυτό QCIs.

Για την τροφοδότηση του εξοπλισμού των δοκιμών με κίνηση χρηστών, πρέπει να προβλέπονται τουλάχιστον 2 σημεία εισόδου. Το ένα αφορά σε εξομοίωση πολλαπλών τερματικών χρήστη (multi-UE emulation) και τροφοδοτείται κατευθείαν σε έναν πραγματικό eNodeB δοκιμαστικό κόμβο (εξελιγμένος Σταθμός Βάσης του LTE δικτύου πρόσβασης), πάνω από την τυποποιημένη ραδιο-διεπαφή Uu. Το άλλο αφορά σε εξομοίωση ενός υποσυστήματος που αποτελείται από έναν κόμβο eNodeB και το MME (Mobility Management Entity) στο οποίο συνδέεται, καθώς και των διεπαφών του υποσυστήματος αυτού με την πύλη S-GW (Serving Gateway), δηλ. των διεπαφών S1-U και S11, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα αρχιτεκτονικής του LTE.



Σχήμα 7: Οντότητες και Διεπαφές στην Λειτουργική αρχιτεκτονική του LTE.

- **Βήμα 2ο:** Δοκιμή της απεικόνισης (mapping) μεταξύ QCI και DSCP (Differentiated Services Code Point: Κωδικό Σημείο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών), για την αποτίμηση της κατάλληλης ιεράρχησης προτεραιοτήτων από την λειτουργικότητα DiffServ στο IP δίκτυο κορμού (Backhaul S1 link – Οπισθόζευξη S1). Αυτό είναι σημαντικό καθώς το υποκείμενο δίκτυο μεταφοράς (Ethernet switches / routers) δεν καταλαβαίνει την έννοια των κομιστών (bearers). Αντίθετα, το DiffServ χρησιμοποιείται ευρέως για QoS σε δίκτυα μεταφοράς. Έτσι ο κόμβος eNodeB στη μία πλευρά του LTE δικτύου (δίκτυο πρόσβασης) και η πύλη PDN-GW στην άλλη πλευρά (δίκτυο κορμού) πρέπει να κάνουν την απεικόνιση των QCIs στο DSCP, η οποία στη συνέχεια θα δοκιμαστεί για την ακρίβειά της.

- **Βήμα 3ο:** Το δίκτυο τίθεται υπό βαρύ φόρτο για τη δημιουργία συμφόρησης και τα προφίλ της κίνησης διαφοροποιούνται με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτές τις συνθήκες ανταγωνισμού των υπηρεσιών για τους πόρους του δικτύου, ενεργοποιούνται οι QoS πολιτικές και τα σχήματα ιεράρχησης. Η εξομοίωση πολλαπλών τερματικών χρήστη (multi-UE emulation) παρέχει διατεματικές (end-to-end) μετρήσεις από την διεπαφή Uu μέχρι και την διεπαφή SGi για ένα επιλεγμένο γκρουπ τερματικών χρήστη (UEs). Κάθε τέτοιο τερματικό υποστηρίζει παραγωγή κίνησης φωνής, video και δεδομένων. Εγκαθίστανται αποκλειστικοί ραδιο-κομιστές και ο τύπος της κάθε υπηρεσίας απεικονίζεται κατάλληλα στον σωστό κομιστή. Η εξομοίωση των eNodeB / MME πάνω από τις διεπαφές S1-U και S11 πρέπει να παράγει έναν όγκο κίνησης εκατομμυρίων τερματικών, προκειμένου να κορεστεί το υπο-δοκιμή δίκτυο και να παρουσιάσει συμπεριφορά αντίστοιχη με ένα πραγματικό EPC (Evolved Packet Core) δίκτυο, με κίνηση που κλιμακώνεται σε εκατοντάδες gigabits.

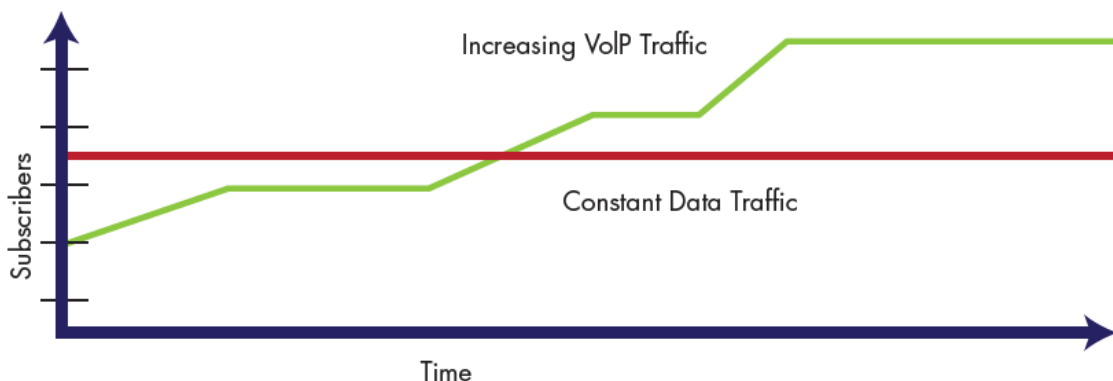
- **Βήμα 4ο:** Μέτρηση και αναφορά των KPIs για κάθε QCI (κομιστή). Ο πάροχος ορίζει τις αναμενόμενες τιμές (κατώφλια για τις επιδόσεις) των Κρίσιμων Δεικτών Απόδοσης (KPIs) που συνδέονται με συγκεκριμένους κομιστές και στη συνέχεια μετρά και παρακολουθεί την τήρηση των ορίων για διαφορετικά μείγματα κίνησης και συνδρομητών. Για τις 2 βασικές ομάδες υπηρεσιών (πραγματικού RT και μη-πραγματικού nRT χρόνου) που υποστηρίζονται από τον πάροχο, παρατίθενται στη συνέχεια οι βασικοί KPIs προς μέτρηση:
 - ❖ KPIs για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (RT) φωνής και video:
 - Απώλεια πακέτων (Packet Loss)
 - Μέση καθυστέρηση (Average latency)
 - Μέγιστος και μέσος τρόμος καθυστέρησης (Max & Average jitter)
 - Μέση Βαθμολογία Απόψεων (Mean Opinion Score)

- ❖ KPIs για υπηρεσίες μη-πραγματικού χρόνου nRT (http, ftp, mail, peer-to-peer):
 - Καθυστερήσεις σύνδεσης (Connection latencies)
 - Χρόνος μέχρι το πρώτο byte λήψης (Time to 1st byte received)
 - Χρόνος μέχρι το τελευταίο byte λήψης (Time to last byte received)
 - TCP επαναλήψεις (TCP retries)
 - TCP αποτυχίες σύνδεσης (TCP connection failures)

5.3 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

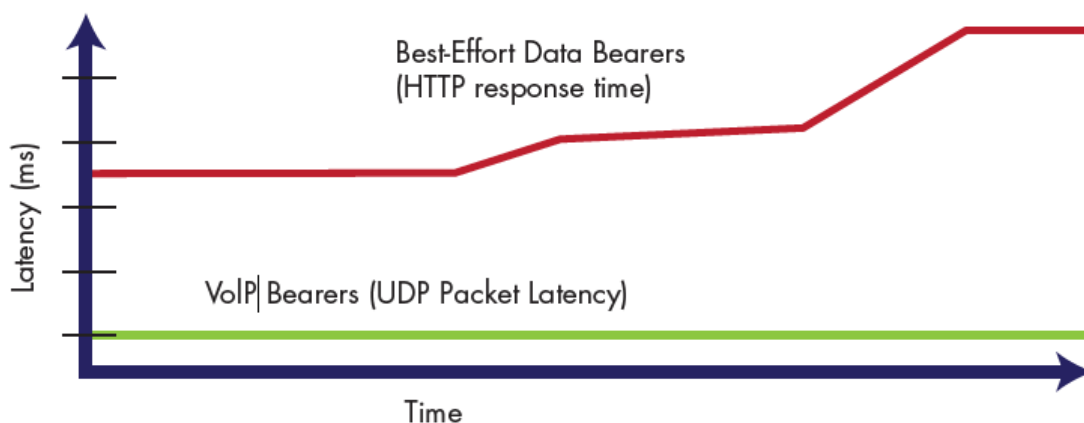
Μετά την διεξαγωγή των δοκιμαστικών μετρήσεων στο περιβάλλον του παρόχου, μπορεί να ολοκληρωθεί η διαδικασία με την αποτύπωση των επιδόσεων του δικτύου και την αποτίμηση των αποτελεσμάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, παρουσιάζονται στη συνέχεια 2 ενδεικτικά διαγράμματα με μετρήσεις κρίσιμες για τον συγκεκριμένο πάροχο, καθώς και τον τρόπο αποτίμησης τους.

Μία από τις πλέον ενδιαφέρουσες δοκιμές για τον πάροχο είναι η επαλήθευση των κατωφλίων καθυστέρησης (latency thresholds) που ορίζει στο δίκτυό του, προκειμένου να εξασφαλίσει ότι οι υπηρεσίες που είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση, όπως η VoIP κίνηση, έχουν προτεραιότητα επί της υπόλοιπης κίνησης βέλτιστης προσπάθειας (best-effort) όπως το web-browsing, email, κλπ. Ο πάροχος εξομοιώνει με τον κατάλληλο εξοπλισμό ένα σταθερό επίπεδο κίνησης δεδομένων (constant data traffic) που αντιπροσωπεύει ένα μέσο αριθμό συνδρομητών και αντίστοιχους ρυθμούς δεδομένων. Ταυτόχρονα, αυξάνει συνεχώς το επίπεδο της εξομοιούμενης VoIP κίνησης (increasing VoIP traffic), όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα εξέλιξης φόρτου του δικτύου (αριθμός συνδρομητών - χρόνος):



Σχήμα 8: Εξομοίωση εξέλιξης φόρτου δικτύου

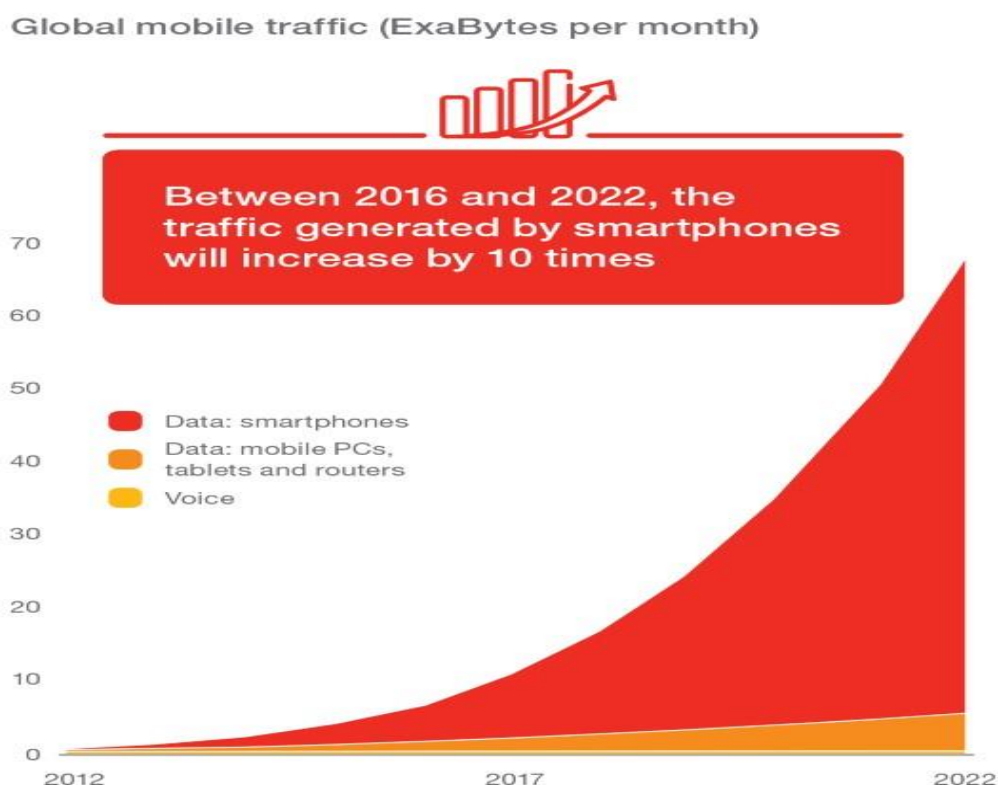
Στη συνέχεια μετράται η ανταπόκριση του δικτύου στη μεταβαλλόμενη κίνηση φορτίου. Καθώς η συνολική κίνηση προσεγγίζει τα όρια της χωρητικότητας του δικτύου, οι πολιτικές του παρόχου για τα κατώφλια, θα πρέπει να περιορίζουν την κίνηση best effort, προκειμένου να απελευθερωθεί χωρητικότητα για την VoIP κίνηση. Στο παρακάτω διάγραμμα (καθυστερήση υπηρεσιών - χρόνος), η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει τον χρόνο απόκρισης του πρωτοκόλλου HTTP, ως αντιπρόσωπο της συμπεριφοράς των κομιστών της best-effort κίνησης. Με την πάροδο του χρόνου, η καθυστέρηση για αυτό τον τύπο κίνησης αυξάνεται, ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης VoIP κίνησης που εισέρχεται στο δίκτυο και συνεχώς μεγαλώνει, διατηρώντας παρόλα αυτά σταθερή την βασική παράμετρο ποιότητάς της, που είναι η καθυστέρηση των UDP πακέτων (πράσινη γραμμή). Σε κάθε περίπτωση, καθώς η κίνηση των best-effort δεδομένων είναι ανεκτική ως προς την καθυστέρηση (delay-tolerant), έχουμε συνύπαρξη και εξασφάλιση ικανοποιητικής ποιότητας και για τις 2 κατηγορίες υπηρεσιών (VoIP και best-effort). Αυτή η δυναμική εξασφάλιση της ποιότητας, ουσιαστικά σημαίνει οικονομική βελτιστοποίηση του δικτύου, καθώς μεγαλώνει η συνδρομητική του βάση και εξελίσσονται τα πρότυπα χρήσης των υπηρεσιών.



Σχήμα 9: Δυναμική εξασφάλιση ικανοποιητικής QoE για όλους τους τύπους υπηρεσιών

5.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κόσμος βρίσκεται ήδη σε μία επανάσταση των κινητών δεδομένων (mobile data revolution). Όπως αναφέρεται σε πρόσφατη έρευνα της Eriksson (<https://www.ericsson.com/en/mobility-report/future-mobile-data-usage-and-traffic-growth>), μεταξύ 2016 και 2022, η κίνηση που παράγεται από κινητές συσκευές (smartphones) αναμένεται να δεκαπλασιαστεί.

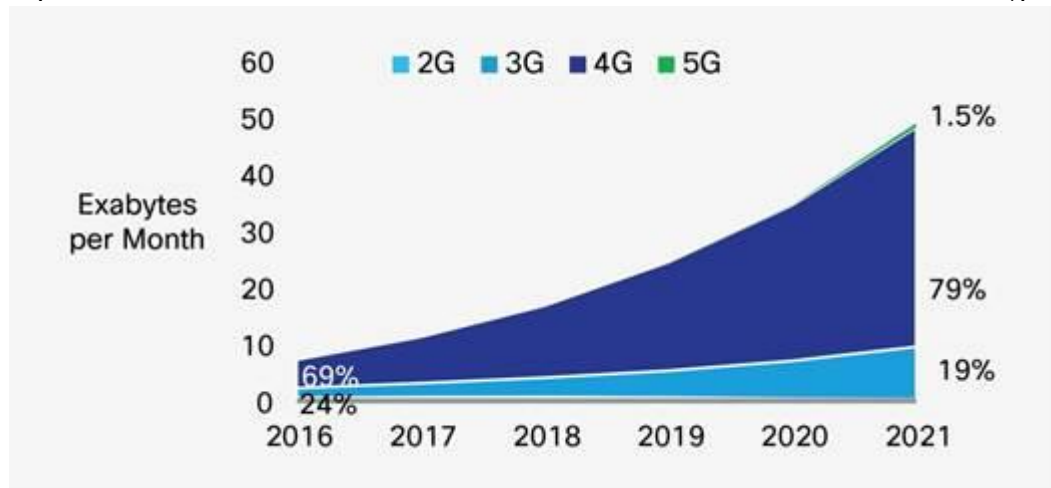


Σχήμα 10: Η εξέλιξη των δεδομένων κινητών επικοινωνιών

Τον πλέον κρίσιμο ρόλο και το μεγαλύτερο μερίδιο σε αυτή την εξέλιξη παίζουν τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς (4G / 4G+), όπως προκύπτει από μία επίσης πρόσφατη έρευνα της Cisco (<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-we-paper-c11-520862.html>) που απεικονίζεται στο

παρακάτω

διάγραμμα:



Σχήμα 11: Το μερίδιο των διαφορετικών γενεών κινητών δικτύων στην εξέλιξη των δεδομένων

Οι πάροχοι παγκοσμίως, σπεύδουν να προσθέσουν νέες υπηρεσίες και πιο ισχυρές συσκευές, πραγματοποιώντας παράλληλα σημαντικές επενδύσεις για την αναβάθμιση της χωρητικότητας και της απόδοσης των δικτύων τους. Τα έσοδα από τη φωνητική κίνηση είναι σχετικά περιορισμένα και οι πάροχοι υπολογίζουν σε νέες ροές εσόδων από τις υπηρεσίες δεδομένων για την επανάκτηση των χρημάτων που έχουν επενδύσει.

Αν τα δεδομένα συνεχίσουν να αυξάνονται με το ρυθμό που προβλέπουν οι αναλυτές, οι πάροχοι θα υποχρεωθούν σε πιο έξυπνη διαχείριση της κίνησης στα δίκτυά τους. Οι οικονομική πραγματικότητα και οι φυσικοί περιορισμοί του διαθέσιμου φάσματος κάνουν δύσκολη την συνεχή προσθήκη χωρητικότητας στο δίκτυο. Οι πάροχοι μοιραία ωθούνται να μεγιστοποιήσουν τα έσοδα από τις υπηρεσίες τους. Νέα επιχειρηματικά μοντέλα και υψηλότερης ποιότητας υπηρεσίες, υιοθετούνται για την επίτευξη αυτού του στόχου. Με τη σειρά τους, καθώς οι συνδρομητές λαμβάνουν περισσότερες και πιο ακριβές υπηρεσίες, αυξάνονται οι προσδοκίες τους για το τι είναι αποδεκτή διαθεσιμότητα και ποιότητα δικτύου.

Το 3GPP, το κορυφαίο σώμα τυποποίησης των ασύρματων επικοινωνιών στον κόσμο, είχε την πρόνοια να σχεδιάσει λύσεις για τις μελλοντικές προκλήσεις, με αναλυτική εργασία πάνω στην QoS και την διαχείριση πολιτικών. Καθώς η τεχνολογία και τα προϊόντα ωριμάζουν, οι πάροχοι πιθανότατα θα υιοθετήσουν μια σταδιακή προσέγγιση (phased approach) στην υλοποίηση της διαχείρισης πολιτικών και ποιότητας, ξεκινώντας από τη διαχείριση της συμφόρησης (congestion management) και φτάνοντας εξελικτικά σε κοκκώδη (δηλ. λεπτομερή) έλεγχο (granular control) της ποιότητας των υπηρεσιών και προηγμένα επιχειρηματικά μοντέλα. Οι φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων πρέπει να προγραμματίσουν σήμερα για τη μελλοντική εξέλιξη τους, πράγμα που σημαίνει συνεργασία με προμηθευτές που έχουν ισχυρή εστίαση σε μηχανισμούς QoS και πολιτικών στα προϊόντα τους.

Η μοντελοποίηση των συνδρομητών και η εξομοίωση της συμπεριφοράς των υπηρεσιών υπό υψηλό φόρτο του δικτύου, όπως παρουσιάστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, είναι θεμελιώδη τμήματα μία διαδικασίας μέτρησης της ποιότητας και αποτίμησης των μηχανισμών διαχείρισης πολιτικών.

5.5 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5^{ης} ΓΕΝΙΑΣ

Τα επερχόμενα δίκτυα πέμπτης γενιάς, αναμένεται να επικρατήσουν στο μέλλον. Οι πολίτες και χρήστες των σύγχρονων ψηφιακών συσκευών έχουν αυξημένες απαιτήσεις από τα σύγχρονα δίκτυα. Η ευρωπαϊκή βιομηχανία τηλεπικοινωνιών είναι ιστορικά στην πρώτη γραμμή του παγκόσμιου ανταγωνισμού, δεδομένου ότι ξεκίνησε την τεχνολογία GSM που εξακολουθεί να αποτελεί περίπου το 40% της παγκόσμιας αγοράς. Η πρόκληση είναι να εξασφαλίσει την ηγεσία της Ευρώπης και ειδικότερα σε συγκεκριμένες περιοχές, όπου η Ευρώπη είναι ισχυρή ή όπου υπάρχουν τέτοιες δυνατότητες, τη δημιουργία νέων αγορών, όπως έξυπνες πόλεις, συστήματα e-health, συστήματα ευφών μεταφορών, εκπαίδευσης ή ψυχαγωγίας και μέσων ενημέρωσης.

Το 5G πρόκειται να προσφέρει αρχιτεκτονικές λύσεις, τεχνολογίες και πρότυπα για την πανταχού παρούσα επόμενη γενιά υποδομών επικοινωνίας. Η χωρητικότητα των ασύρματων δικτύων τετραπλασιάζεται, γεγονός που σημαίνει ότι θα εξυπηρετούν πάνω από 7 δισεκατομμύρια συσκευές, υπό τον όρο όμως να δημιουργηθεί ένα ασφαλές, αξιόπιστο δίκτυο με ελάχιστη αναμονή.

Επιπρόσθετα, η τεχνολογία 5G αναμένεται να αλλάξει τον τρόπο λειτουργίας των σύγχρονων δικτύων. Σε αντιδιαστολή, με τα δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών, τα οποία αποτελούνται από κυψέλες, οι οποίες ορίζονται από σταθμούς βάσης, τα 5G δίκτυα θα βρίσκονται σε μία σειρά διαφορετικών ζωνών συχνότητας, που θα μεταφέρουν πληροφορίες με διαφορετικές ταχύτητες και θα έχουν εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά μετάδοσης. Σε αντίθεση, με ότι ισχύει έως σήμερα, το δίκτυο αναμένεται να αλλάζει σύμφωνα με τις απαιτήσεις δεδομένων της εκάστοτε συσκευής.

Είναι πολύ πιθανό πως θα προκύψουν νέες κλάσεις συσκευών, οι οποίες θα επικοινωνούν με άλλες συσκευές. Για παράδειγμα οι αισθητήρες, αναμένεται να στέλνουν δεδομένα σε κάποιον εξυπηρετητή, με τη διαφορά ότι αυτό θα πραγματοποιείται με «συσκευο-κεντρικό τρόπο» και όχι με «κύψελό-κεντρικό», που γίνεται σήμερα. Αυτό θα συμβεί, με την προϋπόθεση ότι, οι νέες συσκευές θα είναι ικανές να «αποφαινούνται» τότε και πως είναι αποτελεσματικότερο να αποσταλούν τα δεδομένα στον εξυπηρετητή.

Επιπλέον, θα υπάρξουν αλλαγές στη μετάδοση της πληροφορίας. Η μετάδοση μικροκυμάτων, που χρησιμοποιείται σήμερα θα συμπληρωθεί από τη μετάδοση κυμάτων χιλιοστού. Η αναγκαιότητα εύρεσης λύσεων για τα μεγαλύτερα μήκη κύματος και για τις υψηλότερες συχνότητες μετάδοσης, οι οποίες κυμαίνονται στις τάξεις των 3 έως και 300 GHz, εμφανίζει διάφορα προβλήματα, εφόσον τα σήματα αυτά είναι δυνατό να δεχτούν μεγάλες παρεμβολές από τα κτίρια, την κακοκαιρία,

αλλά και την ανθρώπινη δραστηριότητα. Τέτοια προβλήματα, αναμένεται να επιλυθούν με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών, οι οποίες στρέφονται σε πραγματικό χρόνο την ώρα, που μπλοκάρονται τα σήματα.

Επόμενο και σημαντικότερο επίτευγμα θα αποτελέσει η τεχνολογία MIMO (Multiple Input – Multiple Output) κεραιών. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να βελτιστοποιήσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα, με την οποία ένα δίκτυο μπορεί να διαχειριστεί τις συχνότητές του. Σημαντικό ρόλο, στη διαμόρφωση των δικτύων του μέλλοντος θα παίξουν και οι ολοένα εξυπνότερες συσκευές. Επομένως, αντί τα σήματα να δρομολογούνται από τους σταθμούς βάσης, θα είναι εφικτό να δρομολογούνται και από τις ίδιες τις συσκευές.

Επιπλέον, η δυνατότητα που θα δίνεται σε πλήθος συσκευών να επικοινωνούν μεταξύ τους, χωρίς να είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούν το δίκτυο. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να έχει δεκάδες χιλιάδες συσκευές μετάδοσης δεδομένων θερμοκρασίας. Η μετάδοσή τους καθίσταται ευκολότερη αν τα δεδομένα αποσταλούν, χωρίς να παρεμβάλλεται ο σταθμός βάσης, κάτι το οποίο θα συμβεί με χρήση της νέας τεχνολογίας.

Οι χρήστες των κινητών και άλλων σχετικών συσκευών, που έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο έχουν αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια και αναμένεται να αυξηθούν ακόμα περισσότερο μέσα στα επόμενα. Κάτι τέτοιο καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη νέων δικτύων με μεγαλύτερο εύρος και χωρητικότητα, αλλά και με γρηγορότερες ταχύτητες αποστολής και λήψης δεδομένων. Επικοινωνία μεταξύ συσκευών, αλλά ακόμα και οχημάτων με έξυπνο τρόπο είναι πλέον γεγονός και γίνεται αντιληπτό ότι η ανάγκη για άμεση απόκριση των δικτύων είναι αυξημένη. Επιπλέον, η εξοικείωση των χρηστών με τις νέες τεχνολογίες ήταν που οδήγησε στις αυξημένες απαιτήσεις τους, κάτι το οποίο σημαίνει ότι επιδιώκουν πρόσβαση σε πλήθος νέων υπηρεσιών, με όσο το δυνατό μικρότερο κόστος. Επιπροσθέτως, μία βασική επιδίωξη των χρηστών, στις μέρες μας, είναι και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, που θα οδηγήσει σε ανάπτυξη νέων τεχνολογιών από τους τεχνικούς όσον αφορά τα νέα δίκτυα και τα νέα κινητά τηλέφωνα. Τακτικά, οι χρήστες παραπονούνται για τα νέα μοντέλα κινητής τηλεφωνίας, αφού η έντονη χρήση διαδικτύου δεν ευνοεί τη μεγάλη ενεργειακή αυτονομία των συσκευών.

Ο τρόπος με τον οποίο αρχίζουν να χρησιμοποιούν οι πολίτες, οι κρατικοί φορείς και οι επιχειρήσεις, τα ασύρματα δίκτυα και τις ψηφιακές τεχνολογίες δημιουργεί νέα μοντέλα χρήσης και καθιστά κάτι τέτοιο απολύτως αναγκαίο, που πολύ δύσκολα θα είναι εφικτό να καλυφθούν από τα 4G δίκτυα ή ακόμη και από τα δίκτυα οπτικών ινών, που υλοποιούνται σε διάφορα σημεία του πλανήτη. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι η όλο και αυξανόμενη απαίτηση για υψηλές ταχύτητες σύνδεσης λόγω της χρήσης του video πολύ υψηλής ευκρίνειας. Τα 100 Mbps, που θα προσφέρει σε 1-2 χρόνια το 4G δεν θα είναι αρκετά, ούτε καν τα 200 Mbps των δικτύων οπτικών ινών. Το 1 Gbps είναι το ελάχιστο όριο, που θα απαιτείται και δεν είναι τυχαίο ότι σε εταιρικά περιβάλλοντα γίνεται λόγος για συνδέσεις 10 Gbps με το 5G. Πρόκειται για

ταχύτητα 200 φορές υψηλότερη από τα 50 Mbps, που προσφέρεται αυτή τη στιγμή από το VDSL.

Οι υπερβολικά υψηλές ταχύτητες, όμως, δεν είναι το μόνο ζητούμενο. Η απαίτηση των καταναλωτών να απολαμβάνουν κορυφαία εμπειρία ακόμη και όταν βρίσκονται σε έναν χώρο, όπως ένα ποδοσφαιρικό γήπεδο όπου λειτουργούν ταυτόχρονα δεκάδες χιλιάδες έξυπνα τηλέφωνα και άλλες «έξυπνες» συσκευές, απαιτεί νέες αρχιτεκτονικές δικτύων προκειμένου να ικανοποιηθεί. Αν προσθέσουμε σε αυτό και το γεγονός ότι σταδιακά θα είναι δικτυωμένο οτιδήποτε μπορεί να φανταστεί κανείς (από πλυντήρια και πόρτες μέχρι αυτοκίνητα και φανάρια) είναι προφανές ότι οι ανάγκες είναι τεράστιες. Όλα τα παραπάνω κάνουν προφανή την αναγκαιότητα για την εξέλιξη, την ανάπτυξη και τη λειτουργία των τεχνολογιών 5G.

Σε αυτό το περιβάλλον και με τις παραπάνω εξελίξεις να τρέχουν, αρχιτεκτονικές για πολιτικές ποιότητας, όπως αυτές που αναλύσαμε στην παρούσα εργασία, αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία, καθώς από τη μία ανταποκρίνονται στη διαρκώς εξελισσόμενη συμπεριφορά των συνδρομητών / καταναλωτών, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη λειτουργία του 4G δικτύου και την απόδοση της επένδυσης του πάροχου, ενώ από την άλλη προετοιμάζουν το έδαφος για το μελλοντικό τοπίο των επικοινωνιών, όπου η ποιότητα, το είδος και τα μέσα της επικοινωνίας θα βρίσκονται συνεχώς σε δυναμική διαπραγμάτευση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Καραμαούνας Π. (2014) Δημόσια διάλεξη δίκτυα pp 7-7
- Αλεξάκος Χ., Βότης Κ., Μπλέκας Α. (2004) Quality of Service (Εργασία, Πανεπιστήμιο Πάτρας, 2004)
- Βασιλείου Μ. (2013) Παροχή Δυναμικής Ποιότητας Εμπειρίας για Υπηρεσίες Πολυμέσων σε Ασύρματα Ετερογενή Δίκτυα (Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2013)
- Βελαώρα Α., Μουτσουρούφης Γ., Παπαδημητρόπουλος Π. (2004) Quality of Service Μελέτη των Μηχανισμών για την Παροχή Ποιότητας Υπηρεσίας στο Διαδίκτυο (Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών Πολυτεχνική Σχολή, 2004)
- Ηλιοπούλου Σ. (2014) Cloud Computing (Πτυχιακή Εργασία, Τει Ηπείρου, 2014)
<http://apothetirio.teiep.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4764/Cloud%20Computing%20Πιορουλου%20Sofia.pdf?sequence=1>
- Κόλλια Α. (2014) Πέμπτης γενιάς κινητά δίκτυα επικοινωνιών ή Πέμπτη γενιά ασύρματων δικτύων (5G) (Προπτυχιακή εργασία, Πολυτεχνική σχολή Πανεπιστήμιο Πατρών, 2014)
- Μπιτζίδης Γ. (2011) Η μετάβαση από τις 3G στις 4G ασύρματες επικοινωνίες (Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, 2011)
- Λιλιάμης Θ. (2014) Ανάπτυξη Λογισμικού για το σύστημα 4ης γενιάς κινητής τηλεφωνίας LTE (Πτυχιακή Εργασία, ΑΤΕΙ Θεσσαλίας, 2014)
<http://www.teilar.gr/dbData/ProfAnn/profann-bff08005.pdf>
- Παπαχαράλαμπος Α. (2005) Μελέτη Υποστήριξης Υπηρεσιών Quality of Service σε IPV6 δίκτυα (Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, 2005)
- Πολύζος Γ. (2015) Η εποχή του Internet of Things, Ναυτεμπορική pp1-1
www.naftemporiki.gr
- Ταλιέρης Κ. 4G (2015) (Εργασία Εξαμήνου, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών 2015)
- Τσάμη Δ. (2014) Ασύρματα Δίκτυα 4^{ης} γενιάς (Διπλωματική Εργασία, Αττι Πειραιά, 2014)
- Σουουλής Κ. (2010) Ποιότητα Υπηρεσιών και Ασφάλεια σε Ασύρματα Δίκτυα 4ης Γενιάς (4G). (Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, 2010)
- Χρήστου Β. (2012) Δίκτυα 4G Τεχνοοικονομική ανάλυση 4G (Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2012)
- VoLTE Service Description and Implementation Guidelines. (2014). 1st ed. [ebook] GSM Association, pp.106-113. Available at:

<https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2014/05/FCM.01-v1.1.pdf> [Accessed 8 Nov. 2017].

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

ITU-T. (11/2001). "End-user multimedia QoS categories," ITU-T, ITU-T Recommendation G.1010.

LAGHARI, K. u. (2013). *PhD Thesis: On Quality of Experience (QoE) for Multimedia Services in Communication Ecosystem*. Paris: Télécom SudParis - Université Pierre et Marie Curie.

Brown, C. T., & Peterson, L. G. (2009). *"An Enquiry Into the Method of Paired Comparison: Reliability, Scaling, and Thurstone's Law of Comparative Judgment,"*. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest , Gen Tech. Rep RMRS-GTR-216,.

Mack, N., Woodsong, C., MacQueen, K., Guest, G., & Namey, E. (2011). "Qualitative Research Methods Overview," *Qualitative Research Methods: A data collector's field guide, FHI* .

Pawlak, Z., Grzymala–Busse, J., Slowiriski, R., & Ziarko, W. (1995). "Rough Sets," *Comm. of the ACM* , 38 (11), σ. 88-95.

ITU-T. (2008). *"Subjective video quality assessment methods for multimedia applications,"*. Geneva, Switzerland: International Telecommunication Union, Recommendation P.910

ITU-T. (1996). *"Methods for subjective determination of transmission quality,"*. ITU-T Recommendation P.800,.

<https://el.wikipedia.org> :Η δικτυακή ουδετερότητα ή ουδετερότητα του δικτύου

«ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΚΑΙ ΧΡΗΣΤΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G): ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ UMTS LTE» Πτυχιακή Εργασία Κουτσούμπας Αργύρης και Μάτσικα Ασπασία, Σπάρτη 2014». Η μοντελοποίηση των χρηστών θα χρησιμοποιήσει τα αποτελέσματα της πτυχιακής αυτής ως παράδειγμα, καθώς προέρχονται από έρευνα πεδίου που πραγματοποιήθηκε μέσω διαδικτυακών ερωτηματολογίων.

Υπηρεσίες δεδομένων με απαιτήσεις, όπως η φωνητική τηλεδιάσκεψη– VoIP, η video τηλεδιάσκεψη – VVoIP, το on-line gaming σε πραγματικό χρόνο, το κατέβασμα video/ Audio on demand, η ανταλλαγή μηνυμάτων, Internet chat, Voice mail/ messaging, η web αναζήτηση- blogging, και το κατέβασμα αρχείων, Peer- to - Peer file sharing.

Ενότητα 2.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ (QoE)

Ενότητα 3.3 **Πίνακας 4:** 3GPP Τυποποιημένα QoS Class Indicator Χαρακτηριστικά

<https://www.red-banana.org/> (2013)

https://pubs.vmware.com/vsphere-50/index.jsp?topic=%2Fcom.vmware.vsphere.avail.doc_50%2FGUID-53F6938C-96E5-4F67-9A6E-479F5A894571.html

<http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=101170&seqNum=2>

<https://www.techopedia.com/definition/21478/priority-scheduling>

<http://people.eecs.berkeley.edu/~istoica/sig98talk/sld002.htm>

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

http://dide.zak.sch.gr/keplinet/tech/technologies_DSL.pdf

www.google.com

www.google.com

www.ixia.com

www.naftemporiki.gr

<http://osarena.net/ti-einai-i-diktyaki-tilefonia-voip-kliseis-0>

www.wikipedia.com

http://www.medialab.ntua.gr/education/MultimediaTechnology/MultimediaTechnologyNotes/chap3a_6.htm

<https://www.red-banana.org/>

<http://www.gyantoday.com>

www.4g-seminar.com

<http://whatis.techtarget.com>

www.techopedia.com

www.ciscopress.com

Huawei Technologies, eLTE Broadband Access Solution QoS Technical Guide.

(2014). 1st ed., Available at:

<http://file:///C:/Users/user/Downloads/Huawei%20eLTE2.3%20Broadband%20Access%20Solution%20QoS%20Technical%20Guide.pdf> [Accessed 6 Nov. 2017].

<https://www.ericsson.com/en/mobility-report/future-mobile-data-usage-and-traffic-growth>

<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-we-paper-c11-520862.html>

ΕΙΚΟΝΑ ΕΞΩΦΥΛΛΟΥ

www.google.com

ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΕΙΜΕΝΩΝ

http://dide.zak.sch.gr/keplinet/tech/texnologies_DSL.pdf

ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΕΙΜΕΝΩΝ

www.google.com

ΣΠΑΡΤΗ 2018