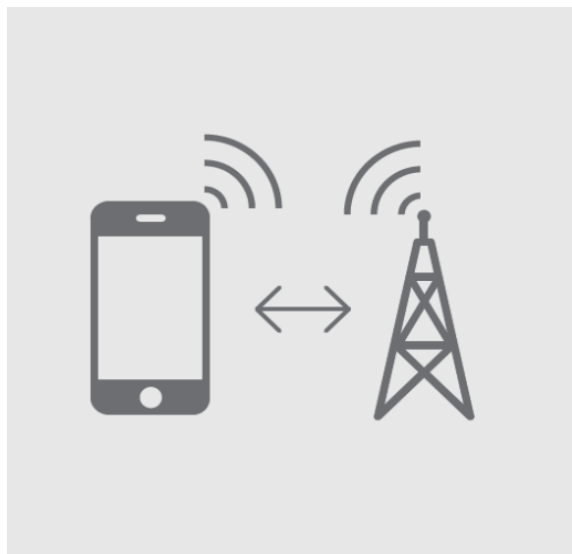




Πτυχιακή εργασία

Μελέτη της Ποιότητας Εμπειρίας (Quality of Experience) στα δίκτυα Long Term Evolution (LTE)



Του φοιτητή
Σισμάνογλου Ιωάννη
Αρ. Μητρώου: 03/2318

Επιβλέπων καθηγητής
Κλεφτούρης Δημήτριος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την μελέτη της Ποιότητας Εμπειρίας στα Long Term Evolution (LTE) δίκτυα. Αναλύονται οι έννοιες της Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) και της Ποιότητας Εμπειρίας (QoE) και παρουσιάζεται το πόσο σημαντικός είναι ο συνδυασμός τους για την βελτίωση των τεχνολογιών που υπάρχουν, εξασφαλίζοντας την καλύτερη δυνατή εμπειρία στον χρήστη.

Περιγράφεται η τεχνολογία LTE, τα γενικά χαρακτηριστικά, οι υπηρεσίες και οι εφαρμογές που παρέχουν αυτά τα δίκτυα . Στην συνέχεια βλέπουμε την εξέλιξη τους μέχρι να αναπτυχθούν και να ικανοποιήσουν τις απαραίτητες απαιτήσεις για να φτάσουμε στα πραγματικά δίκτυα 4^{ης} γενιάς (LTE Advanced). Μαζί με την αρχιτεκτονική των LTE δικτύων και τις έξυπνες κεραίες εξηγούνται και οι μέθοδοι μετάδοσης των πληροφοριών. Τέλος δεν θα μπορούσε να παραληφθεί η αξιολόγηση της απόδοσης των αλγορίθμων της QoE πάνω στα LTE.

ABSTRACT

This presentation deals with the studying of Quality of Experience in Long Terms Evolution (LTE) networks. We analyze the meanings of Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) and we present the importance of their combination in order to improve the technologies that already exist, securing the best experience of the user.

We describe technology LTE, the general profile, services and applications that those networks provide. Subsequently we observe their progress until they develop and satisfy the necessary requirements in order to get to the real 4th generation networks (LTE Advanced). Along with the architecture of LTE networks and the smart antennas we also explain the transmission methods of information. Concluding we could not omit the algorithms output evaluation of QoE on the LTE.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Δομή Εργασίας.....	8
1.2 Ευχαριστίες	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QoS) ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ (QoE)	10
2.1 Εισαγωγή.....	10
2.2 Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service – QoS)	12
2.2.1 Τύποι QoS	12
2.2.2 Η μέθοδος RSVP	15
2.2.3 Προτεραιότητα IP	17
2.2.4 Το πρωτόκολλο DiffServ	18
2.3 Η Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS) στα σημερινά δίκτυα.....	19
2.3.1 Τεχνικές επίτευξης καλής Ποιότητας Υπηρεσιών (QoS) στα σημερινά δίκτυα	20
2.4 Ποιότητα Εμπειρίας (Quality of Experience – QoE)	22
2.5 Υποκειμενικά και αντικειμενικά συστήματα μέτρησης QoE.....	27
2.6 Μέθοδοι μέτρησης της QoE.....	28
2.7 Μέθοδοι βελτίωσης της QoE	29
2.8 Σχέση ποιότητας της υπηρεσίας και ποιότητας εμπειρίας	31
2.9 Επίλογος.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LTE	32
3.1 Εισαγωγή.....	32
3.2 Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων 4ης γενιάς	32
3.3 Υπηρεσίες και εφαρμογές δικτύων 4ης γενιάς	33
3.4 Το δίκτυο LTE	35
3.5 Έξυπνες κεραιές.....	39
3.5.1 Εισαγωγή – Εξέλιξη των κεραιών.....	39
3.5.2 Είδη κεραιών και συστημάτων κεραιών.....	41
3.6 Αρχιτεκτονική LTE.....	44
3.7 OFDMA.....	45
3.8 LTE Advanced	48
3.8.1 Στάδια εξέλιξης	51
3.8.2 Προδιαγραφές	53
3.9 Το LTE βελτιώνει την ποιότητα εμπειρίας.....	55
3.10 Επίλογος.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ QOE ΠΑΝΩ ΣΕ LTE.....	58
4.1 Εισαγωγή.....	58
4.2 Αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού	59
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Η δέσμευση των πόρων (resource reservation).....	13
Εικόνα 2 : Παραχώρηση Προτεραιότητας (prioritization)	15
Εικόνα 3 : RSVP.....	16
Εικόνα 4 : Προτεραιότητα IP	17
Εικόνα 5 : Οικοσύστημα επικοινωνιών βασισμένο στην έννοια της QoE.....	23
Εικόνα 6 : Το 3G και LTE δίκτυο	38
Εικόνα 7 : Πορεία εξέλιξης της ασύρματης τεχνολογίας για WiMAX και LTE προς την ITU	38
Εικόνα 8 : Σύγκριση MIMO και SISO κεραιών.....	40
Εικόνα 9 : Ομοιοκατευθυντική κεραία.	41
Εικόνα 10 : Κατευθυντική κεραία.	41
Εικόνα 11 : Σύστημα που διαχωρίζει το χώρο γύρω από την κεραία σε τρεις τομείς.	42
Εικόνα 12 : Τεχνική διαχωρισμού με εναλλαγή κεραιών σε περιβάλλον διαλείψεων.....	42
Εικόνα 13 : Τεχνική υπέρθεσης κεραιών.	43
Εικόνα 14 : Σύστημα έξυπνων κεραιών για χρήση σε μια αστική περιοχή.	43
Εικόνα 15 : Αρχιτεκτονική LTE.....	45
Εικόνα 16 : Στάδια διαδικασίας προτυποποίησης	50
Εικόνα 17 : Ασύρματες επικοινωνίες και εφαρμογές	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Δομή Εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται το ζήτημα της Μελέτης της Ποιότητας Εμπειρίας QoE (Quality of Experience) στα δίκτυα τέταρτης γενιάς Long Term Evolution (LTE). Αρχικά, σε ειδικό κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην έννοια της Ποιότητας της Υπηρεσίας QoS (Quality of Service), αναλύεται η πολύ χρήσιμη λειτουργία της και οι τεχνικές επίτευξης της στα σημερινά δίκτυα. Έπειτα περνώντας στην Ποιότητα Εμπειρίας, επεξηγείται ο ορισμός της και η σημαντικότητα της χρήσης της, αναφέρονται οι μέθοδοι μέτρησης, βελτίωσης καθώς και η σχέση μεταξύ των QoS και QoE.

Στη συνέχεια της εργασίας περιγράφεται αναλυτικά η τεχνολογία LTE. Παρουσιάζονται σε πρώτη βάση τα γενικά χαρακτηριστικά των δικτύων 4ης γενιάς, οι υπηρεσίες και οι εφαρμογές τους, με τις βελτιώσεις που φέρουν. Έπειτα, περιγράφεται το δίκτυο LTE, η αρχιτεκτονική του και το OFDMA. Ενδιάμεσα, όμως γίνεται μια αναφορά στις έξυπνες κεραιές, στα είδη τους και στα συστήματά τους.

Τέλος, ολοκληρώνεται με τη αξιολόγηση της απόδοσης των αλγορίθμων προγραμματισμού της ποιότητας εμπειρίας πάνω στο LTE. Αφού γίνει μια εισαγωγή στο θέμα παρουσιάζονται έπειτα οι αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού.

1.2 Ευχαριστίες

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί έργο προσπάθειας. Για να ολοκληρωθεί και να φτάσει στο επιθυμητό αυτό σημείο απαιτήθηκαν ώρες μελέτης, συγκέντρωσης και συλλογής πληροφοριών. Ευχαριστώ όλους τους φίλους μου και την οικογένεια μου που με βοήθησαν καθ' όλη την περίοδο εκπόνησης και συγγραφής δίνοντάς μου άθρονο κουράγιο, στήριξη και κατανόηση. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου για τις πολύτιμες συμβουλές και

συστάσεις που μου έδινε. Ευχαριστώ την εξεταστική επιτροπή που μου κάνει την τιμή να αξιολογήσει την εργασία μου. Τέλος, ευχαριστώ τους καθηγητές μου, γιατί συνέβαλαν στο να γίνω, ο άνθρωπος που είμαι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QoS) ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ (QoE)

2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, κυψελοειδής φορείς σε όλο τον κόσμο έχουν δει μια ραγδαία ανάπτυξη στους συνδρομητές της κινητής ευρυζωνικότητας. Την ίδια στιγμή, η κίνηση όγκου ανά συνδρομητή επίσης αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς, ιδίως με την εισαγωγή ολοένα και πιο προηγμένων κινητών συσκευών. Οι φορείς εκμετάλλευσης κινούνται από μια και μόνο υπηρεσία που προσφέρει στο packet-switched τομέα (πρόσβαση στο Internet) μια πολυ-υπηρεσία, με την προσθήκη νέων υπηρεσιών, η οποία είναι επίσης διαθέσιμη σε ολόκληρη την κινητή ευρυζωνική πρόσβαση.

Τα κυψελοειδή συστήματα έχουν από τη φύση τους πεπερασμένους πόρους. Οι πόροι ραδιοφάσματος και των μεταφορών (backhaul) είναι περιορισμένοι, ακριβοί και μοιράζονται μεταξύ πολλών χρηστών και υπηρεσιών. Τα κινητά ευρυζωνικά δίκτυα πρέπει να υποστηρίζουν εφαρμογές multiplay φωνής, βίντεο και δεδομένων σε μια ενιαία IP-based υποδομή. Αυτές οι συγκλίνουσες υπηρεσίες διαθέτουν μοναδικό χειρισμό κίνησης και απαιτήσεις σε Ποιότητα Εμπειρίας (Quality of Experience – QoE). Τέτοια ζητήματα δεν μπορούν να επιλυθούν οικονομικά από την υπερβολική τροφοδότηση του δικτύου. Μια θετική εμπειρία του χρήστη πρέπει να λαμβάνεται μέσω της αποτελεσματικής στεγανοποίησης των διαθέσιμων πόρων του ασύρματου δικτύου.

Η 3η γενιά Σύμπραξης Σχεδίου (3rd Generation Partnership Project - 3GPP), το Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) και το Long - Term Evolution (LTE) έχουν αναπτύξει μια ολοκληρωμένη παροχή Ποιότητας Υπηρεσιών (Quality of Service - QoS) και ένα πολιτικό πλαίσιο ελέγχου για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Ο έλεγχος πολιτικής και χρέωσης (Policy and Charging Control - PCC) είναι η καρδιά πυρήνα περιαγωγής πακέτων (Evolved Packet Core – EPC), και εξασφαλίζει QoE στο χρήστη για ένα

συγκεκριμένο τύπο συνδρομής και υπηρεσιών. Ο λεπτομερής έλεγχος της ποιότητας των υπηρεσιών είναι ζωτικής σημασίας για τις επιχειρήσεις για τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων και κέρδους των υπηρεσιών. Δίνει τη δυνατότητα στους φορείς να απασχολούν θεμιτής χρήσης πολιτικές που περιορίζουν στο συνδρομητή την κατάχρηση των υπηρεσιών και διατηρεί τις επιδόσεις του δικτύου κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής της κυκλοφορίας.

Πριν, όμως, τη δαπάνη δισεκατομμυρίων δολαρίων για τον εξοπλισμό και τις αναπτύξεις, οι φορείς εκμετάλλευσης θα αξιολογήσουν προσεκτικά τους πωλητές και θα πραγματοποιήσουν προληπτική μέτρηση της QoS και της πολιτικής λειτουργίας διαχείρισης των συσκευών του δικτύου τους. Η επικύρωση της ποιότητας των κινητών υπηρεσιών απαιτεί κορεσμό του δικτύου με υψηλό φορτίο κίνησης πραγματικού κόσμου στον κινητό συνδρομητή και τη μέτρηση των βασικών δεικτών απόδοσης (KPIs) που προσδιορίζει την QoE.

Οι επικοινωνίες που βασίζονται στο πρωτόκολλο IP πλεονεκτούν έναντι των συμβατικών, καθώς δεν εξαρτώνται από την εκάστοτε θέση του χρήστη. Προσφέρουν επίσης, ενοποιημένες υπηρεσίες φωνής, εικόνας και δεδομένων, εύκολη αναβάθμιση και διαχείριση και επί πλέον έχουν χαμηλότερο κόστος λειτουργίας. Έτσι, η τηλεφωνία VoIP έχει εξελιχθεί, από μια αναδυόμενη, σε μια ευρέως αναγνωρισμένη τεχνολογία. Όμως, η μεταφορά της τηλεφωνικής υπηρεσίας σε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων έχει επιπτώσεις στην ποιότητα της φωνής που αντιλαμβάνονται οι χρήστες. Καθοριστικοί παράγοντες είναι η καθυστέρηση, η διακύμανση της καθυστέρησης και οι απώλειες πακέτων. Επομένως, είναι απαραίτητο να ληφθούν μέτρα QoS, όπως τα εικονικά δίκτυα VLAN και οι διαφοροποιημένες υπηρεσίες DiffServ, που βελτιώνουν την απόδοση της υπηρεσίας η οποία καθορίζει τον βαθμό ικανοποίησης του χρήστη QoE. Για την μέτρηση της QoE υπάρχουν υποκειμενικές και αντικειμενικές τυποποιημένες μέθοδοι. Οι υποκειμενικές βασίζονται στην εκτίμηση από ανθρώπους ενώ οι αντικειμενικές, οι οποίες διακρίνονται σε παρεμβατικές και μη παρεμβατικές, βασίζονται σε αλγόριθμους που προσομοιώνουν την ανθρώπινη αντίληψη. Οι μη παρεμβατικές χρησιμοποιούν τον τυποποιημένο αλγόριθμο αξιολόγησης ποιότητας E-model.

2.2 Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service – QoS)

Με την ανάπτυξη της δικτύωσης πολυμέσων, απαιτείται σοβαρή προσπάθεια κατά τη σχεδίαση των δικτύων και των πρωτοκόλλων για την εγγύηση της ποιότητας υπηρεσιών. Στους τομείς των δικτύων μεταγωγής πακέτων και της δικτύωσης υπολογιστών, η ποιότητα υπηρεσιών, QoS, αναφέρεται στους μηχανισμούς ελέγχου δέσμευσης των πόρων παρά στην πραγματοποιημένη ποιότητα υπηρεσιών. Η ποιότητα υπηρεσιών είναι η δυνατότητα να παρασχεθεί διαφορετική προτεραιότητα σε διαφορετικές εφαρμογές, στους χρήστες, ή στις ροές δεδομένων, ή να εγγυηθεί ένα ορισμένο επίπεδο απόδοσης ροής δεδομένων. Η ποιότητα υπηρεσιών είναι σημαντική εάν η ικανότητα δικτύων είναι περιορισμένη ειδικά για τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου streaming media, όπως Voice over IP (VoIP) και της IP-TV, δεδομένου ότι αυτές απαιτούν συχνά σταθερό ρυθμό bit και είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση (Moser, 2008).

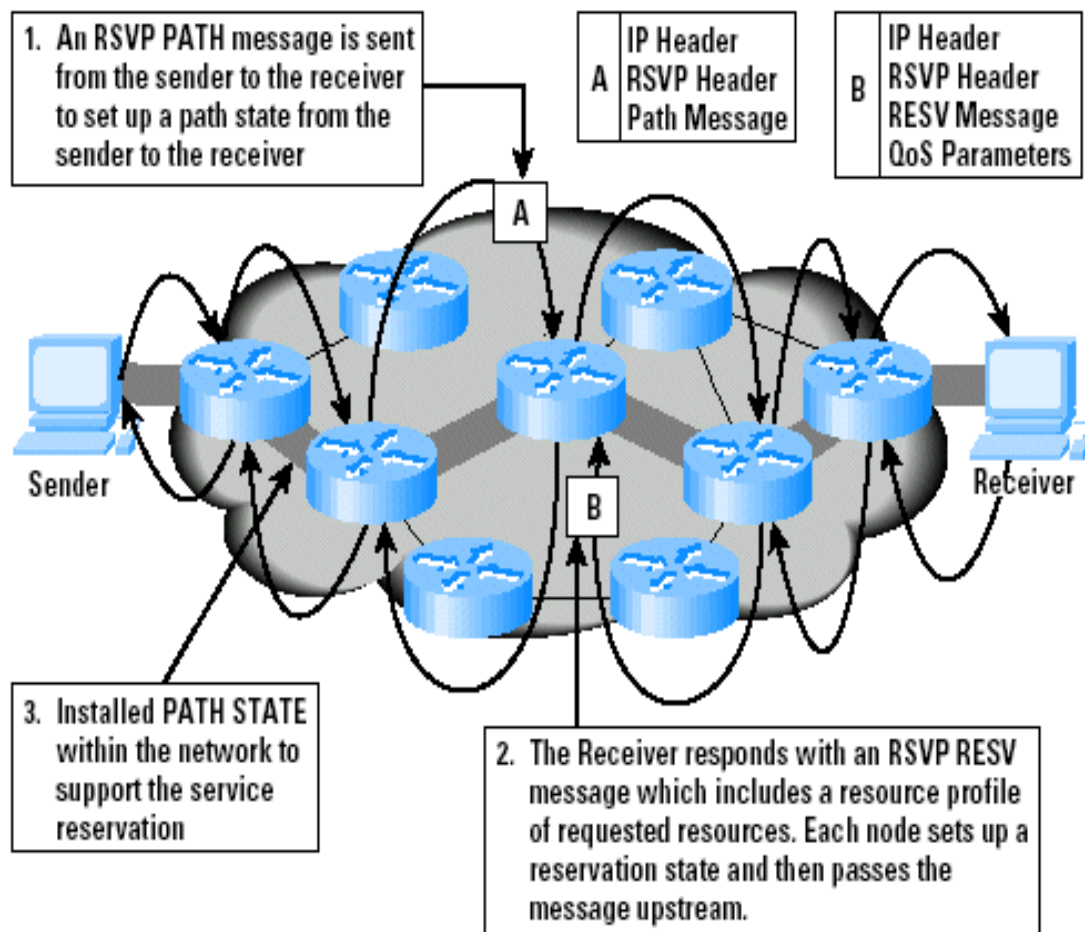
2.2.1 Τύποι QoS

Η ποιότητα υπηρεσίας έχει να κάνει με τη δυνατότητα ενός στοιχείου του δικτύου να κατέχει ενός τύπου επιβεβαίωση ότι η κυκλοφορία και οι απαιτήσεις της υπηρεσίας που παρέχει θα πραγματοποιηθούν. Η εφαρμογή της ποιότητας υπηρεσίας χρειάζεται την συνεισφορά όλων των επιπέδων του δικτύου όπως και όλων των πληροφοριών που περιέχει το δίκτυο. Η ποιότητα υπηρεσίας δεν έχει τη δυνατότητα να υλοποιήσει ένα εύρος ζώνης, όμως κατέχει το συγκεκριμένο εύρος ζώνης σχετικά με το τι χρειάζονται η τοποθέτηση και οι ρυθμίσεις διαχείρισης του δικτύου. Οι τύποι ποιότητας υπηρεσίας είναι δυο:

- Δέσμευση των Πόρων (resource reservation) (Εικόνα1)

Βρίσκεται στην κατηγορία των ενσωματωμένων υπηρεσιών (integrated services), όπου οι πόροι του δικτύου διαχωρίζονται σχετικά με το τι χρειάζεται η εφαρμογή για εύρος ζώνης. Η εφαρμογή πραγματοποιείται μόνο στην περίπτωση όπου το δίκτυο παρουσιάσει ότι έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει το επιπλέον φορτίο στο επίπεδο που του αναθέτεται. Η δέσμευση παραμένει εν

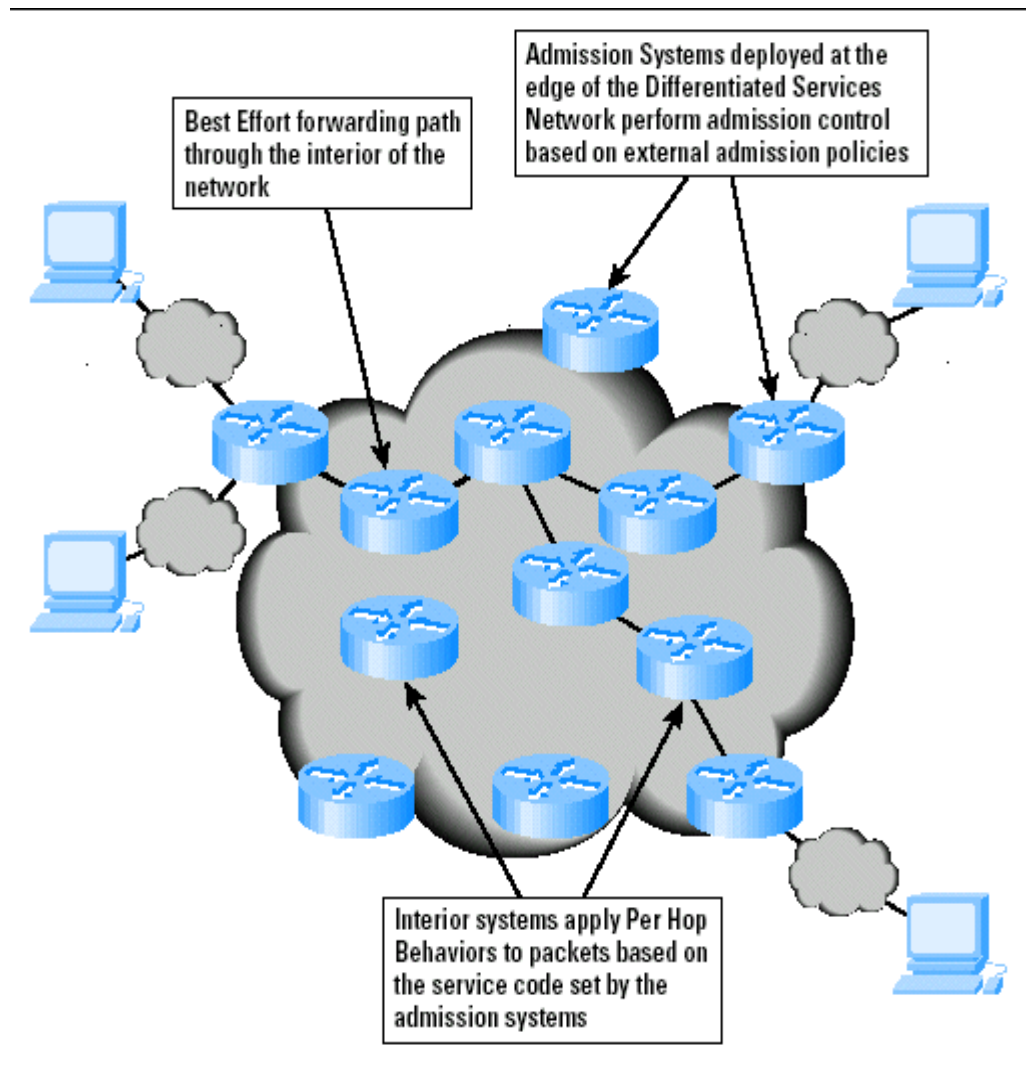
ενεργεία, έως ότου η εφαρμογή να ζητήσει τον τερματισμό της ή έως το δίκτυο να παρουσιάσει ότι δεν έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί ακόμα τη δέσμευση. Το κύριο μέρος τους συγκεκριμένου μοντέλου είναι «όλα ή τίποτα». Όταν το δίκτυο αναλαμβάνει τη δέσμευση, άρα και η τοποθέτηση δεν απαιτεί τον έλεγχο του επιπέδου απόκρισης του δικτύου στην υπηρεσία, έτσι το δίκτυο παρουσιάζει ότι δεν έχει τη δυνατότητα να αναλάβει τη δέσμευση. Η συγκεκριμένη προσέγγιση χρειάζεται έλεγχο της κατάστασης για όλες τις εφαρμογές, και για μεγάλα δίκτυα, όπως το Διαδίκτυο, δεν φαίνεται να επαρκεί. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται εδώ είναι το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων (Resource Reservation Protocol- RSVP).



Εικόνα 1 : Η δέσμευση των πόρων (resource reservation)

- Παραχώρηση Προτεραιότητας (prioritization) (Εικόνα 2)

Βρίσκεται στην κατηγορία των διαφοροποιημένων υπηρεσιών (differentiated services). Σε αυτήν τη περίπτωση το δίκτυο δίνει μικρότερο αριθμό ενσωματωμένων υπηρεσιών και ενώνει τις ίδιες απαιτήσεις υπηρεσίας από μία ομάδα εφαρμογών σε μια μονή τάξη υπηρεσίας. Οι ενωμένες υπηρεσίες τις περισσότερες φορές αναγνωρίζονται από το δίκτυο ως ένα φίλτρο εισόδου, όπου στην είσοδο του δικτύου όλα τα πακέτα ομαδοποιούνται σε ένα συγκεκριμένο προφίλ υπηρεσίας. Η συγκεκριμένη κατάταξη υπάρχει στην επικεφαλίδα του πακέτου IP, καταναλώνοντας 6 bit από το TOS τμήμα της για τη μεταφορά της κωδικοποίησης της υπηρεσίας. Το δίκτυο ύστερα εκμεταλλεύεται των κωδικό υπηρεσίας που υπάρχει στην επικεφαλίδα του πακέτου, με στόχο να διαχειριστεί το πακέτο όπως ακριβώς το ίδιο με όλα τα υπόλοιπα πακέτα που έχουν τον ίδιο κωδικό υπηρεσίας. Την ώρα όπου η συγκεκριμένη προσέγγιση μπορεί να καλύψει ολόκληρο το Διαδίκτυο, από την άλλη είναι διάφορα άλυτα θέματα που έχουν να κάνουν με την αποστολή σήματος ανάμεσα των ξεχωριστών εφαρμογών και του δικτύου. Το μοντέλο της ενοποιημένης υπηρεσίας δεν δίνει τη δυνατότητα σε μια μεμονωμένη εφαρμογή να γνωρίζει αν λαμβάνει την απαραίτητη απόκριση υπηρεσίας από το δίκτυο. Η υπηρεσία αυτή δίνεται από το πρωτόκολλο Diffserv.



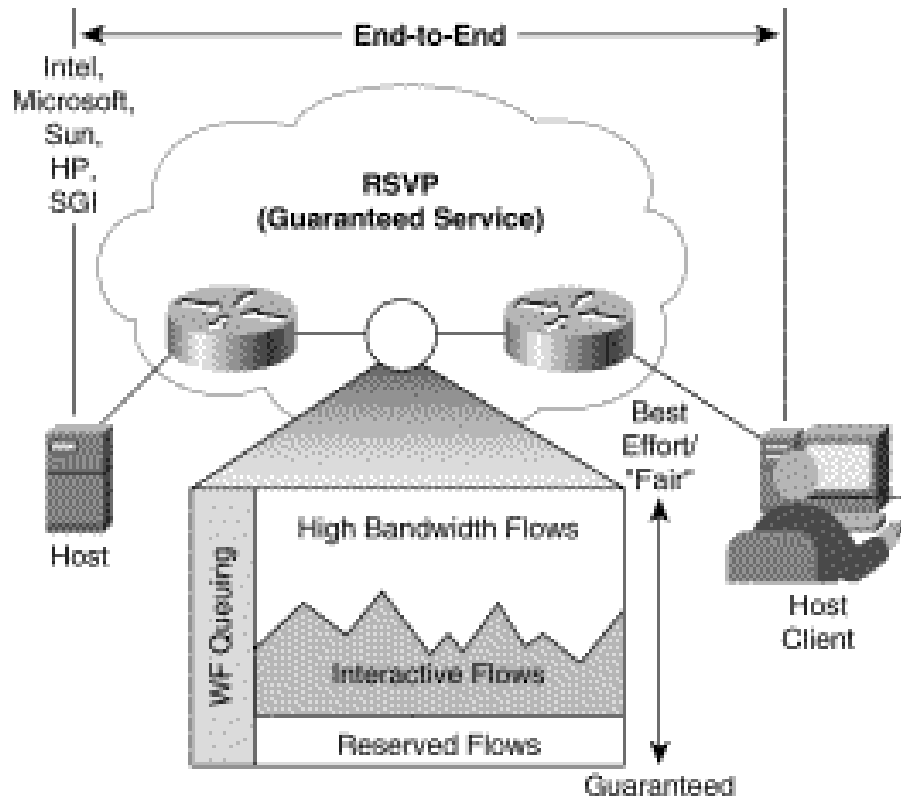
Εικόνα 2 : Παραχώρηση Προτεραιότητας (prioritization)

Τα δύο προηγούμενα πρωτόκολλα δεν αποκλείουν το ένα το άλλο, αλλά έχουν τη δυνατότητα συνεργασίας. Έτσι υλοποιούνται για συνδυασμένη χρήση, με σκοπό να μπορούν να εξυπηρετήσουν τις πολλές λειτουργίες από ένα δίκτυο.

2.2.2 Η μέθοδος RSVP

Το RSVP είναι ένα πρωτόκολλο που υλοποιήθηκε από τον IETF ώστε να μπορεί μία εφαρμογή να δεσμεύει το εύρος ζώνης του δικτύου δυναμικά. Δίνει τη δυνατότητα σε εφαρμογές να πραγματοποιούν αιτήσεις για συγκεκριμένη

ποιότητα υπηρεσίας για μία ροή πληροφοριών, όπου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



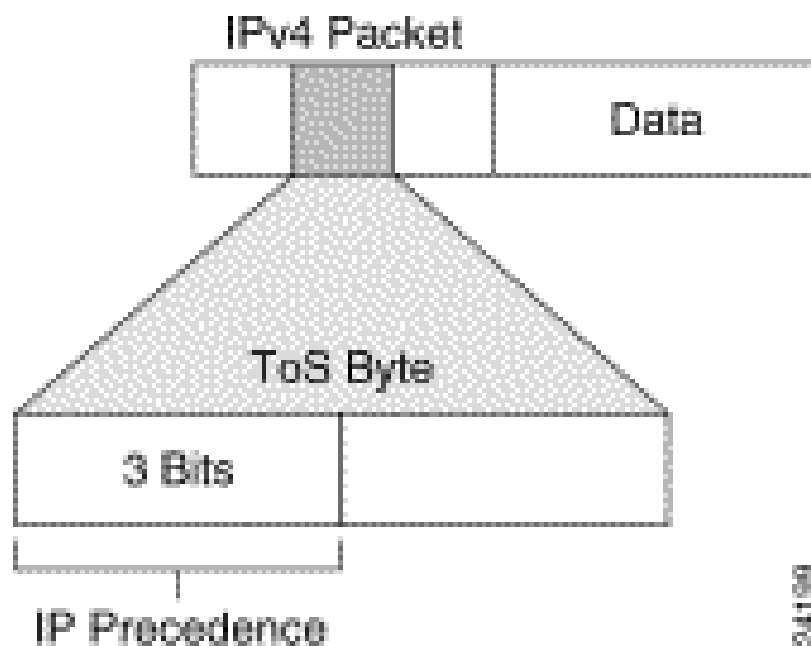
Εικόνα 3 : RSVP

Οι εξυπηρετητές και οι δρομολογητές λειτουργούν το RSVP για την παράδοση των αιτήσεων ποιότητας υπηρεσίας στους δρομολογητές που υπάρχουν στο μονοπάτι του ρεύματος πληροφοριών και για να κρατήσουν την κατάσταση του δρομολογητή και του εξυπηρετητή με σκοπό να προσφέρει την ζητούμενη υπηρεσία, που είναι τις πιο πολλές φορές το εύρος ζώνης και ο χρόνος που χρειάζεται για να διανύσει ένα σήμα την απόσταση ανάμεσα δύο σημείων του δικτύου (latency).

Το RSVP έχει τη μέση τιμή μετάδοσης δεδομένων, τον υψηλότερο αριθμό δεδομένων που έχει τη δυνατότητα να περιέχει σε ουρά ο δρομολογητής, και το ελάχιστο QOS για τον καθορισμό του δεσμευμένου εύρους ζώνης.

2.2.3 Προτεραιότητα IP

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί τα 3 bit προτεραιότητας που βρίσκονται στο Type of Service της επικεφαλίδας του IPv4 για να καθορίσει την τάξη της υπηρεσίας για όλα τα πακέτα, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4 : Προτεραιότητα IP

Με τη λειτουργία της προτεραιότητας IP, η κυκλοφορία έχει τη δυνατότητα να διαχωριστεί σε έξι διαφορετικές τάξεις υπηρεσιών. Οι τεχνολογίες που υπάρχουν για τη δημιουργία ουρών μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν αυτό το σήμα για τον σωστό χειρισμό των πληροφοριών.

Χαρακτηριστικά όπως η δρομολόγηση σχετικά με την πολιτική που έχει χαραχτεί από την εταιρία και το δεσμευμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (committed access rate- CAR) έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούν με σκοπό να καθοριστεί η προτεραιότητα βάσει της ταξινόμησης που συγκεκριμένη από μια διευρυμένη λίστα πρόσβασης. Έτσι, δημιουργείται μεγάλη ελαστικότητα στην εκχώρηση προτεραιότητας, όπου περιέχει εκχώρηση κατά εφαρμογή ή χρήστη, ή κατά το υποδίκτυο προορισμό και προέλευσης, κ.λ.π. Γενικά, η συγκεκριμένη λειτουργία πραγματοποιείται όσο πιο κοντά γίνεται στην άκρη του δικτύου (στον τομέα διαχείρισης), με σκοπό όλα τα διαδοχικά στοιχεία του δικτύου να έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν υπηρεσίες σχετικά με την προκαθορισμένη πολιτική.

Η προτεραιότητα IP μπορεί να καθοριστεί στο στον εξυπηρετητή ή στον πελάτη του δικτύου. Ακόμα, με τη συγκεκριμένη υπηρεσία έχουν τη δυνατότητα να υλοποιηθούν τάξεις υπηρεσιών με χρήση των υπαρχόντων μηχανισμών δημιουργίας ουρών που έχει το δίκτυο (π.χ. WFQ), δίχως να πραγματοποιηθούν αλλαγές στις υπάρχουσες εφαρμογές ή στις απαιτήσεις του δικτύου.

Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να επεκταθεί με σκοπό να υποστηρίξει και το IPv6.

2.2.4 Το πρωτόκολλο DiffServ

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο δίνει μία απλή μέθοδο για την ταξινόμηση των διάφορων εφαρμογών. Είναι δύο διαφορετικές ανά βήμα συμπεριφορές (per hop behaviors-PHBs) οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα δύο επίπεδα υπηρεσίας:

- Η εσπευσμένη προώθηση (Expedited Forwarding-EF), που βρίσκεται μια μοναδική τιμή του DiffServ (ονομάζεται codepoint). Το EF μικραίνει την καθυστέρηση και το θόρυβο και παρέχει το μέγιστο επίπεδο ενοποιημένης ποιότητας υπηρεσίας. Όλη η κυκλοφορία που ξεπερνά το προφίλ που έχει καθοριστεί από την τοπική πολιτική που είναι για το δίκτυο απορρίπτεται.
- Η επιβεβαιωμένη προώθηση (Assured Forwarding-AF), όπου περιέχει τέσσερις τάξεις και σε όλες βρίσκονται τρεις διαφορετικές προτεραιότητες

απόρριψης (άρα τελικά έχουμε δώδεκα codepoints). Το περίσσευμα της κυκλοφορίας AF δεν παρουσιάζεται με την ίδια υψηλή πιθανότητα όπως η κυκλοφορία που υπάρχει μέσα στο προφίλ. Αυτό πάει να πει ότι έχει τη δυνατότητα να υποβιβαστεί όμως όχι να απορριφτεί.

Το πρωτόκολλο έχει ως δεδομένη την ύπαρξη μια Συμφωνίας Επιπέδου Υπηρεσίας (Service Level Agreement-SLA) ανάμεσα γειτονικών δικτύων. Η συμφωνία αυτή καθορίζει τα κριτήρια πολιτικής του δίκτυο και καθορίζει το προφίλ για την κυκλοφορία σε αυτό. Η κυκλοφορία στο δίκτυο καθορίζεται στα σημεία εξόδου σχετικά με τη συμφωνία αυτή και όλες οι κυκλοφορίες σε ένα σημείο εισόδου που είναι εκτός προφίλ (π.χ πάνω από το υψηλότερο εύρος ζώνης που καθορίζεται στο SLA), μπορεί να μην φτάσει στον προορισμό της.

Ο μηχανισμός του πρωτοκόλλου που λειτουργεί η υπηρεσία αυτή είναι για το IP η οκτάδα Τύπου Υπηρεσίας (Type of Service-TOS) και για το IPv6 η αντίστοιχη οκτάδα Τάξης Κυκλοφορίας (Traffic Class).

Στις περιπτώσεις που το πρωτόκολλο DiffServ λειτουργεί παραμέτρους RSVP ή συγκεκριμένους τύπους εφαρμογών ώστε να προσδιορίσει και να κατατάξει την κυκλοφορία που μεταφέρεται με το σταθερό ρυθμό μετάδοσης (constant bit rate-CBR), μπορεί να υλοποιηθούν συγκεκριμένες ενοποιημένες ροές δεδομένων, που έχουν τη δυνατότητα να οδηγηθούν προς κανάλια με σταθερό εύρος ζώνης. Με αυτόν το τρόπο έχουμε τη δυνατότητα να διαχωρίσουμε τους πόρους ταυτόχρονα με εγγυημένη υπηρεσία.

2.3 Η Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS) στα σημερινά δίκτυα

Ένα ρεύμα πακέτων από μια προέλευση προς έναν προορισμό ονομάζεται ροή (flow). Σε ένα συνδεδεμοστρεφές δίκτυο, όλα τα πακέτα που ανήκουν σε μια ροή ακολουθούν το ίδιο δρομολόγιο. Σε ένα ασυνδεδεστικό δίκτυο μπορεί να ακολουθούν διαφορετικά δρομολόγια. Οι ανάγκες κάθε ροής μπορούν να χαρακτηριστούν από τέσσερις διαφορετικές παραμέτρους:

- Αξιοπιστία

- Καθυστέρηση
- Παραμόρφωση χρονισμού (jitter)
- Εύρος ζώνης

Ένα δίκτυο ή ένα πρωτόκολλο που υποστηρίζουν QoS μπορεί να συμφωνήσει σχετικά με μια σύμβαση κυκλοφορίας με την εφαρμογή και να δεσμεύει εύρος ζώνης στους κόμβους του δικτύου. Κατά τη διάρκεια μιας συνόδου (session) μπορεί να ελέγξει το πραγματοποιημένο επίπεδο απόδοσης, παραδείγματος χάριν το ρυθμό δεδομένων και την καθυστέρηση των στοιχείων, και δυναμικά να ελέγξει-παραχωρήσει προτεραιότητες στους κόμβους του δικτύου.

Η ποιότητα υπηρεσιών μπορεί να απαιτηθεί για ορισμένους τύπους streaming media. Τα streaming media μπορούν να απαιτήσουν την εγγυημένη ρυθμοαπόδοση (throughput) για να ασφαλίσουν ότι διατηρείται ένα κατώτατο επίπεδο ποιότητας.

Το IP telephony ή VoIP μπορεί να απαιτήσει αυστηρά όρια στο jitter και την καθυστέρηση. Το Video Teleconferencing (VTC) απαιτεί χαμηλό jitter και καθυστέρηση.

Αυτοί οι τύποι υπηρεσιών καλούνται ανελαστικοί (inelastic), σημαίνοντας ότι απαιτούν ένα ορισμένο κατώτατο επίπεδο εύρους ζώνης και μιας ορισμένη μέγιστη καθυστέρηση για να λειτουργήσουν.

Σε αντίθεση, οι ελαστικές (elastic) εφαρμογές μπορούν να εκμεταλλευτούν πολύ ή λίγο εύρος ζώνης ανάλογα με το πόσο είναι διαθέσιμο εκείνη τη στιγμή. Οι μαζικές εφαρμογές μεταφοράς αρχείων που στηρίζονται στο TCP είναι γενικά ελαστικές.

2.3.1 Τεχνικές επίτευξης καλής Ποιότητας Υπηρεσιών (QoS) στα σημερινά δίκτυα

Οι τεχνικές από μόνες τους δεν περιέχουν αποδοτική και αξιόπιστη ποιότητα υπηρεσιών με βέλτιστο τρόπο. Αλλά, έχουν δημιουργηθεί πολλές

τεχνικές, και οι πρακτικές λύσεις συνδυάζουν συχνά πολλές τεχνικές. Αυτές είναι οι εξής :

- Υπερκάλυψη: Δίνεται μεγάλη χωρητικότητα δρομολογητών, περιοχών προσωρινής αποθήκευσης και εύρους ζώνης με σκοπό τα πακέτα να μετακινούνται με ευκολία.
- Προσωρινή Αποθήκευση: Οι ροές των πακέτων έχουν τη δυνατότητα προσωρινής να αποθήκευσης στο άκρο του παραλήπτη πριν παραδοθούν.
- Μορφοποίηση κίνησης: Η πηγή να μεταφέρεται ομοιόμορφα. Με την τεχνική της Προσωρινής Αποθήκευσης ο δέκτης παίρνει με έναν ομοιόμορφο τρόπο, άσχετα του ρυθμού με τον οποίο η πηγή στέλνει τις πληροφορίες. Με την τεχνική Μορφοποίηση κίνησης η πηγή στέλνει με ομοιόμορφο ρυθμό. Άρα εξομαλύνει την κίνηση από την πλευρά της πηγής από το να ασχολείται από την πλευρά του πελάτη.
- Δέσμευση πόρων: Η ικανότητα κανονικοποίησης της μορφής της προσφερόμενης κίνησης.
- Έλεγχος αποδοχής: Η εισερχόμενη κίνηση μιας ροής είναι καλά μορφοποιημένη και έχει τη δυνατότητα να ακολουθεί ένα μόνο δρομολόγιο, κατά μήκος του οποίου μπορεί να δεσμεύεται προκαταβολικά χωρητικότητα στους δρομολογητές.
- Αναλογική δρομολόγηση: Η πλειοψηφία των αλγορίθμων δρομολόγησης προσπαθούν να πάρουν τη καλύτερη διαδρομή για οποιονδήποτε, και στέλνουν όλη την κίνηση προς τον προορισμό αυτόν μέσω της βέλτιστης διαδρομής.
- Χρονοπρογραμματισμός πακέτων: Παρόλο που ο δρομολογητής χειρίζεται αρκετές ροές, παραμονεύει ο κίνδυνος μια ροή να καταναλώσει πολύ μεγάλο μέρος της χωρητικότητάς του και να οδηγήσει σε «λιμοκτονία» (starvation) τις υπόλοιπες ροές. Η ανάλυση των πακέτων σχετικά με τη σειρά άφιξης (FIFO, First In First Out) πάει να πει ότι ένας επιθετικός αποστολέας μπορεί να καταναλώνει τον μεγαλύτερο αριθμό από την χωρητικότητα των δρομολογητών όπου μεταφέρονται τα πακέτα του, μειώνοντας την ποιότητα υπηρεσιών για τους άλλους.

- Έλεγχος προτεραιότητας: Όλα τα πακέτα σημειώνονται με ένα πεδίο που δηλώνει την προτεραιότητά τους. Με βάση αυτή την προτεραιότητα διαφοροποιείται και ο χειρισμός κάθε πακέτου στους καταχωρητές.

2.4 Ποιότητα Εμπειρίας (Quality of Experience – QoE)

Η έννοια της ποιότητας εμπειρίας είναι η αντιληπτή από τον χρήστη εμπειρία σε σχέση με το τι παρουσιάζεται από μια υπηρεσία επικοινωνίας ή μια ενδιάμεση με τον χρήστη εφαρμογή. Αυτό είναι ιδιαίτερα υποκειμενικό και λαμβάνει υπόψη υπολογισμούς από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες πέρα από την ποιότητα της υπηρεσίας.

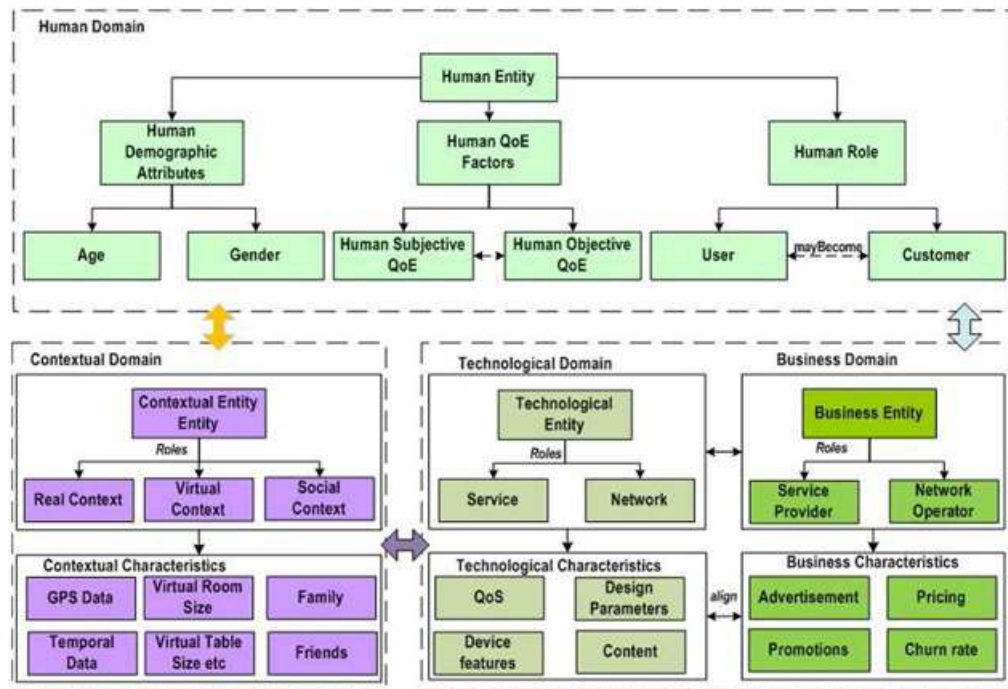
Η ποιότητα εμπειρίας εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- το χρήστη
- τα χαρακτηριστικά και το περιεχόμενο της υπηρεσίας
- τον τύπο της υπηρεσίας
- το τερματικό που χρησιμοποιεί ο χρήστης
- την ευρωστία του συστήματος
- το βαθμό εξυπηρέτησης του χρήστη
- την πολιτική κοστολόγησης

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία στροφή της φιλοσοφίας με την οποία προσεγγίζονται όλα τα ζητήματα της παραγωγής και διάθεσης προϊόντων και υπηρεσιών στον κόσμο των κινητών επικοινωνιών (και όχι μόνο), από τεchnο-κεντρικά σε ανθρωπο-κεντρικά μοντέλα. Έτσι μετακυλίεται 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).

Την ανθρώπινη συμπεριφορά ορίζουν παράγοντες εσωτερικοί (βιολογικοί, ψυχολογικοί, γνωστικοί) και εξωτερικοί (κοινωνικοί, οικονομικοί, τεχνικοί). Στο παρακάτω οικοσύστημα επικοινωνιών βασισμένο στην έννοια της QoE (Ολιστικό

Μοντέλο Ποιότητας Εμπειρίας) οι εσωτερικοί παράγοντες είναι μέρος του Human Domain, ενώ οι εξωτερικοί παράγοντες χωρίζονται σε Technological, Business & Contextual Domains. Η διάδραση μεταξύ αυτών των Domains, παράγει απαιτήσεις QoE.



Εικόνα 5 : Οικοσύστημα επικοινωνιών βασισμένο στην έννοια της QoE

Μέσα σε κάθε Domain υπάρχουν 3 επίπεδα αφαίρεσης: η Οντότητα (entity), οι Ρόλοι (roles) και τα Χαρακτηριστικά (Characteristics). Μία οντότητα μπορεί να έχει πολλαπλούς ρόλους και χαρακτηριστικά. Τα τελευταία μεταφράζονται σε μετρήσιμα / ποσοτικοποιήσιμα μεγέθη.

- Human Domain (Ανθρώπινο Πεδίο)

Η ανθρώπινη οντότητα έχει διάφορα δημογραφικά χαρακτηριστικά (ηλικία, φύλλο), παίζει ρόλους (πελάτη που επηρεάζεται από τα επιχειρηματικά μοντέλα των παρόχων, χρήστη που εκτιμά και αξιολογεί την υπηρεσία) και έχει διάφορες εμπειρίες (QoE factors). Οι QoE factors αντιπροσωπεύουν την συνολική εκτίμηση των ανθρώπινων αναγκών, αισθημάτων, επιδόσεων και προθέσεων. Χωρίζονται σε Υποκειμενικούς (π.χ. ευκολία / ευχαρίστηση από τη χρήση,

ικανοποίηση, ενόχληση, κ.α.) και *Αντικειμενικούς* (π.χ. καρδιακοί σφυγμοί, εφίδρωση, απομνημόνευση, αχρωματοψία, κ.α.) παράγοντες. Εκτός από τους παράγοντες αυτούς, μία ανθρώπινη οντότητα έχει ρόλους 3 βασικών τύπων: *Πελάτης* (συνδρομητής, νόμιμος κάτοχος μιας υπηρεσίας, επηρεάζεται από τα επιχειρηματικά μοντέλα των παρόχων), *Χρήστης* (χαρακτηριστικά, αίσθηση, πρόσληψη και τεχνικές επιδόσεις της υπηρεσίας), *Ομάδα* (σύνολο οντοτήτων που μοιράζονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, αλληλεπιδρούν, ή έχουν συγκεκριμένες σχέσεις. Π.χ. τηλεδιάσκεψη πολλών μερών, κοινωνικός ιστός, παράγουν μία συνδυαστική εμπειρία ομάδας).

- Technological Domain (Τεχνολογικό Πεδίο)

Εδώ ενσωματώνονται όλες οι τεχνολογικές πτυχές του κύκλου ζωής μιας υπηρεσίας από την σχεδιάσή της μέχρι την παροχή της. Όσες πτυχές σχεδιάζονται και παρέχονται θεωρούνται *τεχνολογικές οντότητες* (υπηρεσίες, εφαρμογές, δικτυακοί πόροι, συσκευές χρήστη), ενώ οι τεχνικές παράμετροι με τις οποίες σχετίζονται θεωρούνται *τεχνολογικά χαρακτηριστικά* (QoS παράμετροι, τεχν. προδιαγραφές συσκευών, τύπος περιεχομένου)

- Business Domain (Επιχειρηματικό Πεδίο)

Εδώ ενσωματώνονται όλες οι επιχειρηματικές πτυχές που συνδέονται με την παροχή μιας υπηρεσίας. Σήμερα η αποτελεσματική διαχείριση της εμπειρίας του πελάτη, είναι μία από τις σημαντικότερες διαφοροποιήσεις σε μία άκρως ανταγωνιστική αγορά. Από την πλευρά του παρόχου είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζει πώς να σχεδιάσει επιχειρηματικά χαρακτηριστικά όπως *διαφήμιση, κοστολόγηση και χρέωση*, προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών. Η επιχειρηματική οντότητα κατέχει τεχνικές οντότητες (δικτυακές υποδομές, κ.α.) και μπορεί να έχει διάφορους ρόλους, όπως πάροχος υπηρεσίας, δικτύου, αγοράς, περιεχομένου, συσκευής. Μπορεί επίσης να έχει υποκατηγορίες, όπως σημεία επαφής με τον πελάτη, κέντρο παραπόνων, κ.α. Η δε επαφή με τον πελάτη μπορεί να είναι άμεση, ή έμμεση (π.χ. ηλεκτρονική). Η επιχειρηματική

αλυσίδα αξίας (ορίζει τη ροή αξίας στο σχετικό επιχειρηματικό μοντέλο) μίας πολυμεσικής τηλ/κης υπηρεσίας, αποτελείται από:

- Χαρακτηριστικά του μοντέλου του πελάτη: διαφήμιση, κοστολόγηση, προώθηση, εξυπηρέτηση, brand image (δημόσια εικόνα της επωνυμίας του προϊόντος)
- Χαρακτηριστικά της επιχείρησης: *ενδοεπιχειρησιακά* (στόχοι και στρατηγικές παρόχου, μάρκετινγκ, διαθέσιμοι πόροι και χρήση τους) και *διεπιχειρησιακά* (νομικά, οικονομικά και σχετικά με Service Level Agreement ζητήματα μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών)

Για την παροχή υψηλής ποιότητας εμπειρίας στους πελάτες, απαιτείται η ευθυγράμμιση των επιχειρηματικών χαρακτηριστικών με τις QoE απαιτήσεις του πελάτη, γι' αυτό και σχεδιάζεται ένα κουτί γύρω από τα Business & Technological Domains.

- Contextual Domain

Μέσα σε ένα επικοινωνιακό οικοσύστημα, ο όρος «context» (απόδοση ως «πλαίσιο εφαρμογής») αντιπροσωπεύει τις περιστάσεις, τις επικοινωνιακές καταστάσεις και το περιβάλλον, κατά την ώρα της διάδρασης μεταξύ όλων των παραπάνω οντοτήτων. Κατηγοριοποιείται ως *Πραγματικό* (π.χ. ζώνη ώρας, ή τρέχουσα ώρα του χρήστη, τοποθεσία / περιβάλλον / κλίμα / καιρικές συνθήκες κατά την λήψη της υπηρεσίας), *Εικονικό* (π.χ. εξ' αποστάσεως εκπαίδευση, ή εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας) και *Κοινωνικό* (διαπροσωπικές σχέσεις, κοινωνικές επαφές, φίλοι / εχθροί / γείτονες / συνεργάτες / συγγενείς). Ένα άτομο που συμμετέχει σε μία τηλεδιάσκεψη, ή ένα άτομο που τηλεφωνεί σε ένα ήσυχο δωμάτιο, έχει διαφορετικές QoE απαιτήσεις από ένα άτομο που διενεργεί μία επικοινωνία σε έναν σιδηροδρομικό σταθμό, ή μία καφετέρια.

- Αντιστοιχίες μεταξύ Domains

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως:

□ παράγοντες ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ: ή αλλιώς ανεξάρτητοι παράγοντες, είναι αυτοί που εξηγούν, ή προβλέπουν τους παράγοντες έκβασης (αποτελέσματος). Εδώ έχουμε *τεχνολογικά / επιχειρηματικά χαρακτηριστικά* και *χαρακτηριστικά πλαισίου εφαρμογής*.

□ παράγοντες ΕΚΒΑΣΗΣ: ή αλλιώς εξαρτημένοι παράγοντες, είναι αυτοί που βασίζονται στα *υποκειμενικά και αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου πεδίου*.

□ παράγοντες ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ: είναι αυτοί που επηρεάζουν την κατεύθυνση και/ή την ένταση της σχέσης μεταξύ παραγόντων πρόγνωσης και έκβασης. Παράδειγμα τα *δημογραφικά χαρακτηριστικά* (ηλικία, φύλο, εισόδημα, κ.α.), οι *ανθρώπινοι ρόλοι*(χρήστης, πελάτης) και το *πλαίσιο εφαρμογής* (π.χ. τοποθεσία)

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

Μία διεργασία «αιτίου - αποτελέσματος» (causal process) είναι ο άμεσος επηρεασμός των παραγόντων ΕΚΒΑΣΗΣ από παράγοντες ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ. Μία διεργασία «μεσολάβησης» (mediation process) είναι ο έμμεσος επηρεασμός μίας άμεσης σχέσης αιτίου - αποτελέσματος μεταξύ παραγόντων ΕΚΒΑΣΗΣ και ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ. Π.χ. όταν πέφτει η QoS μίας υπηρεσίας Video on Demand, ο χρήστης μπορεί να ενοχλείται ή όχι, ανάλογα με το αν πληρώνει, ή όχι, για την υπηρεσία. Αντίστοιχα διαφορετική αντίληψη ανοχής προς την χειροτέρευση της QoS, μπορεί να έχουν άνθρωποι που ανήκουν σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες. Γενικά οι παράγοντες ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ και ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ δεν συσχετίζονται, αν όμως υπάρχει ισχυρή σχέση, μπορεί να οδηγήσει σε λάθη εκτιμήσεων. Γενικά ισχύει η παρακάτω απλοποιημένη σχέση μεταξύ χαρακτηριστικών των πεδίων:

$$\text{ΣΥΝΟΛΙΚΗ QoE (παράγοντες ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ)} = \text{ΑΜΕΣΟ αποτέλεσμα (παράγοντες ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ)} + \text{ΕΜΜΕΣΟ αποτέλεσμα (διεργασίες «μεσολάβησης»)}$$

2.5 Υποκειμενικά και αντικειμενικά συστήματα μέτρησης QoE

Τα υποκειμενικά συστήματα μέτρησης, όπως το ITU-R BT.500-11, παρέχουν ένα λεπτομερές μοντέλο για την αξιολόγηση της ποιότητας της εικόνας παίρνοντας μια επιτροπή που αποτελείται από μη ειδικούς ακροατές για να συγκρίνουν τις τηλεοπτικές ακολουθίες και να τις βαθμολογήσουν σε μια δεδομένη κλίμακα. Αυτό απαιτεί ιδιαίτερους πόρους για να είναι σε θέση να εκτελέσει τη δοκιμή, και για αυτό χρησιμοποιείται για να συγκρίνει codecs, ρυθμούς μετάδοσης, ανάλυση εικόνας και απόδοση κωδικοποιητή.

Ένας διαχειριστής δικτύων IP δεν μπορεί να έχει μια ομάδα ανθρώπων να εξετάζουν συνεχώς τις εικόνες για να αξιολογήσει την ποιότητα εικόνων, ιδιαίτερα με τον αριθμό καναλιών που υπάρχουν αυτές τις μέρες. Επομένως εξετάζουν την ποιότητα με τα αυτοματοποιημένα συστήματα μέτρησης που παρέχουν ελέγχους σε πραγματικό χρόνο και που υποβάλλουν έκθεση μέσα στο δίκτυο και την υποδομή υπηρεσιών. Τα συστήματα μέτρησης χρησιμοποιούν συνήθως κάποια υποκειμενική είσοδο για να συσχετίσουν μια βασική γραμμή στην οποία οι αντικειμενικές μέθοδοι μέτρησης μπορούν να χαρτογραφηθούν. Ένας χειριστής επεκτείνει συνήθως τους ελέγχους στα κρίσιμα σημεία στο δίκτυο, που υποβάλλουν σαν έκθεση στο σύστημα διαχείρισης δικτύων (NMS) ένα σύνολο μετρήσεων που θα προκαλέσουν τους συναγερμούς βασισμένους στις προκαθορισμένες ευαισθησίες.

Όταν συγκρίνονται με ένα παραδοσιακό περιβάλλον μετάδοσης, οι τηλεοπτικές υπηρεσίες που μεταφέρονται μέσα από μια υποδομή IP εισάγουν πρόσθετες απαιτήσεις ελέγχου. Οι δύο βασικές κατηγορίες απαιτήσεων είναι:

- Το δίκτυο μεταφορών IP: Ενώ μεταφέρονται οι υπηρεσίες, τα πακέτα IP θα διασχίζουν τους πολλαπλάσιους κόμβους στο δίκτυο- που υποβάλλεται

ενδεχομένως σε καθυστέρηση, σε jitter, ξαναπαραγγελία και την απώλεια πακέτων.

- Οι τηλεοπτικές stream μεταφορές (Mpeg-2 TS): Παραδοσιακές TS λύσεις πρέπει επίσης να χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλίσουν ότι τα πακέτα TS είναι χωρίς σφάλματα.

Οι δύο κατηγορίες είναι επίσης συνήθως σε διαφορετικά τμήματα: Ο έλεγχος μεταφορών IP είναι μέσα στο κέντρο διαδικασιών δικτύων, και ο τηλεοπτικός έλεγχος μεταφοράς μέσα στο κέντρο διανομής. Ένα από τα κλειδιά για μια καλή ποιότητα εμπειρίας στην IP είναι μερικές φορές η καλή επικοινωνία και ανίχνευση λαθών στα διαφορετικά τμήματα (Choi, 2009, Lorenz, n.d.).

2.6 Μέθοδοι μέτρησης της QoE

Η βασική μεθοδολογία μέτρησης για το δίκτυο μεταφορών IP είναι το ευρετήριο παράδοσης MEDIA (MDI).

Τα MDI χωρίζονται σε δύο μικρά τμήματα :

- Παράγοντας καθυστέρησης (DF) και
- Ποσοστό απώλειας MEDIA (MLR)

που και οι δύο που μετριοούνται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου δειγμάτων ενός δευτερολέπτου.

Το DF καθορίζει το jitter που εισάγεται μέχρι τον inter-arrival χρόνο μεταξύ των πακέτων. Αυτό δεν πρέπει να εμφανιστεί ως απόλυτη αξία αλλά είναι σχετικά μια μέτρηση σε ένα δεδομένο σημείο στο δίκτυο. Το jitter μπορεί να εισαχθεί σε διαφορετικά σημεία όπως τους κωδικοποιητές, τους πολυπλέκτες, τις μαζικές αναλογικές συσκευές κρυπτοφώνησης, τους κόμβους δικτύων ή άλλες συσκευές. Η τιμή μπορεί να αλλάξει αναλόγως από τον τύπο ρευμάτων: Τα σταθερού ρυθμού δεδομένα (CBR) πρέπει να έχουν έναν σταθερό inter-arrival χρόνο ενώ τα μεταβλητά (VBR) θα έχουν ποικίλε τιμές.

Το MLR παρέχει τον αριθμό πακέτων TS που χάνονται εντός μιας περιόδου δειγμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με τον έλεγχο των μετρητών συνοχής μέσα στο TS. Εάν ο συρμός δεδομένων περιέχει μια επικεφαλίδα RTP, ο αριθμός ακολουθίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των χαμένων πακέτων χωρίς την ανάγκη να εξεταστεί το ωφέλιμο φορτίο πακέτων IP. Αυτό θα μειώσει τις υπολογιστικές απαιτήσεις και θα επιταχύνει τη διαδικασία ελέγχου.

2.7 Μέθοδοι βελτίωσης της QoE

Η βελτίωση του QoE (άρα και του QoS αφού μειώνονται οι απώλειες πακέτων και οι καθυστερήσεις) γίνεται με τον κώδικα FEC και με αναμετάδοση. Το DVB έχει ιδιαίτερη εμπειρία στα σχέδια διορθώσεων σφαλμάτων και απόκρυψης για τα διάφορα περιβάλλοντα, έτσι ήταν φυσικό -λαμβάνοντας υπόψη τη δυσκολία της μεταφοράς βίντεο μέσω του DSL - ότι η ειδική ομάδα IPI έπρεπε να εργαστεί σε αυτήν την περιοχή. Ξόδεψαν σημαντικό χρόνο εξετάζοντας όλες τις πτυχές της προστασίας από σφάλματα, συμπεριλαμβανομένων των λεπτομερών προσομοιώσεων των διάφορων σχεδίων διορθώσεων σφάλματος (FEC) και των απαιτήσεων της ποιότητας εμπειρίας (QoE).

Το αποτέλεσμα είναι ένα προαιρετικό πρωτόκολλο τοποθετημένο σε στρώσεις, βασισμένο σε έναν συνδυασμό δύο κωδικών FEC - ένα στρώμα βάσης και ένα ή περισσότερα προαιρετικά στρώματα αυξήσεων. Το στρώμα βάσης είναι ένας απλός βασισμένος σε πακέτο κωδικασισότητας XOR που βασίζεται στον Mpeg COP3 και το στρώμα αυξήσεων είναι βασισμένο στον κώδικα FEC της ψηφιακής πηγής. Επιτρέπει την ταυτόχρονη υποστήριξη των δύο κωδικών FEC που συνδυάζονται στο δέκτη για να επιτύχουν την απόδοση διορθώσεων σφάλματος καλύτερα από έναν ενιαίο κώδικα μόνο.

Το πλαίσιο FEC περιγράφεται από την άποψη ενός πρόσθετου στρώματος πρωτοκόλλου μεταξύ του στρώματος μεταφορών (UDP ή DCCP) και των πρωτοκόλλων εφαρμογής και μεταφορών που τρέχουν πέρα από αυτό το στρώμα μεταφορών. Τα παραδείγματα τέτοιων πρωτοκόλλων είναι RTP, RTCP, κ.λπ. Υπό αυτήν τη μορφή, η διεπαφή μεταξύ του πλαισίου FEC και των κάτω και

πάνω στρωμάτων κάλυψης μπορεί να θεωρηθεί ως η ίδια με την πρότυπη διεπαφή στο στρώμα μεταφορών - δηλ. το στοιχείο που ανταλλάσσεται αποτελείται από τα ωφέλιμα φορτία των δεδομενογραμμάτων που το κάθε ένα συνδέεται με μια ενιαία ροή μεταφορών που προσδιορίζεται από το πρότυπο 5-tuple (IP διεύθυνση πηγής, θύρα πηγής, IP διεύθυνση προορισμού, θύρα προορισμού, πρωτόκολλο μεταφορών).

Το σχέδιο FEC παρέχει FEC κωδικοποιήσεις και αποκωδικοποιήσεις και περιγράφει τα πεδία και τις διαδικασίες πρωτοκόλλου που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τα στοιχεία ωφέλιμων φορτίων των πακέτων στα πλαίσια του σχεδίου FEC. Η διεπαφή μεταξύ του πλαισίου FEC και ενός σχεδίου FEC, είναι λογική, η οποία υπάρχει για λόγους προδιαγραφών μόνο. Σε έναν κωδικοποιητή, το πλαίσιο FEC περνά τις ομάδες ωφέλιμων φορτίων των πακέτων στο σχέδιο FEC για την κωδικοποίηση FEC. Το σχέδιο FEC επιστρέφει τα ωφέλιμα φορτία επισκευής, κωδικοποιημένες πληροφορίες ταυτότητας ωφέλιμων φορτίων για κάθε ένα από τα πακέτα επισκευής και σε μερικές περιπτώσεις, κωδικοποιεί τις πληροφορίες ταυτότητας ωφέλιμων φορτίων για κάθε ένα από τα πακέτα πηγής. Σε έναν αποκωδικοποιητή, το πλαίσιο FEC περνά τα ωφέλιμα φορτία (πηγή και επισκευή) στο σχέδιο FEC το οποίο επιστρέφει πρόσθετα ανακτημένα πακέτα πηγής.

Το πλαίσιο FEC δεν καθορίζει πώς οι πληροφορίες διαμόρφωσης πλαισίου για το συρμό διαβιβάζονται από τον πομπό στο δέκτη. Αυτό πρέπει να καθοριστεί από οποιαδήποτε προδιαγραφή πρωτοκόλλου παράδοσης.

Σε αυτήν την αρχιτεκτονική υποθέτουμε ότι η διεπαφή στο στρώμα μεταφορών υποστηρίζει τις έννοιες των ωφέλιμων φορτίων που μεταφέρονται και των ροών μεταφορών στις οποίες εκείνα τα ωφέλιμα φορτία μεταφέρονται. Δεδομένου ότι αυτό είναι μια διεπαφή εσωτερική στην αρχιτεκτονική, δεν προσδιορίζουμε αυτήν την διεπαφή ρητά, εκτός από το να πούμε ότι οι ροές μεταφορών που είναι ευδιάκριτες από την άποψη στρώματος μεταφορών (παραδείγματος χάριν, ευδιάκριτες ροές UDP) είναι επίσης ευδιάκριτες στη διεπαφή μεταξύ του στρώματος μεταφορών και του πλαισίου FEC.

2.8 Σχέση ποιότητας της υπηρεσίας και ποιότητας εμπειρίας

Η αντίληψη της ποιότητας εμπειρίας όπως την αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης είναι κρίσιμη ώστε να γίνει αντιληπτό τι πραγματικά χρειάζεται ο πελάτης. Ως εκ τούτου, φαίνεται η σχέση μεταξύ QoS και QoE. Ο συνδυασμός των δύο δίνει στον πάροχο υπηρεσιών τη δυνατότητα να εντοπίσει πως να εξασφαλίσει ή και να βελτιώσει την εμπειρία των πελατών. Οι βασικές διαφορές ανάμεσα στο QoS και στο QoE είναι ότι το QoS αφορά κυρίως τα χαρακτηριστικά του δικτύου ενώ το QoE την αντίληψη του χρήστη. Οι ορισμοί δείχνουν ότι το QoE ανήκει σε ένα υψηλότερο, πιο αφηρημένο «ψευδοεπίπεδο». Αυτό το ψευδοεπίπεδο αφορά την εμπειρία του τελικού χρήστη και μπορεί να είναι μια επέκταση στο επίπεδο εφαρμογής. Έτσι, το QoE γίνεται αντιληπτό σαν μια επέκταση του QoS.

2.9 Επίλογος

Το QoE είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό πολυμεσικών εφαρμογών και επομένως οι σχεδιαστές επιβάλλεται να λάβουν υπόψη τους όχι μόνο τις μετρικές του QoS (όπως καθυστέρηση, η ευκρίνεια της εικόνας και άλλα) αλλά και την υποκειμενικότητα των χρηστών. Δηλαδή χρειάζεται να αναρωτηθούν εάν το QoS που παρέχει η πολυμεσική εφαρμογή εξασφαλίζει ικανοποιητικό επίπεδο QoE, μιας και αυτό που ενδιαφέρει τελικά το χρήστη είναι το κατά πόσο η υπηρεσία που χρησιμοποιεί θα ανταποκριθεί στις ανάγκες του και θα του παρέχει ευχαρίστηση. Δεν είναι εύκολο να βρεθούν αυτοί οι παράγοντες, διότι η εμπειρία έχει υποκειμενικό χαρακτήρα. Το πολιτισμικό υπόβαθρο, η κοινωνικοοικονομική κατάσταση και οι προσωπικές εμπειρίες διαμορφώνουν τον τρόπο που ένας άνθρωπος αντιδρά σε ένα προϊόν. Συνεπώς, είναι δύσκολο ο προσδιορισμός των παραμέτρων που θα εξασφαλίσουν μια υπηρεσία με υψηλό δείκτη QoS και ταυτόχρονα θα παρέχουν υψηλό επίπεδο QoE στους χρήστες. Αυτό αποτελεί μια πρόκληση για την εξέλιξη των ασύρματων δικτύων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LTE

3.1 Εισαγωγή

Λόγω των περιορισμών που υπάρχουν στην ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και στην κάλυψη, η τεχνολογία Wi-Fi θεωρείται ως ασύρματη τεχνολογία. Οι αναπτυσσόμενες τεχνολογίες 4^{ης} γενιάς, όπως είναι η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία LTE και η WiMAX, είναι πιο ισχυρές σε σύγκριση με τη Wi-Fi. Οι δύο αυτές τεχνολογίες διαθέτουν μεγάλη παροχή ποιότητας υπηρεσιών και κάλυψη. Σε ορισμένα σημεία οι LTE και WiMAX μοιάζουν μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα στην πιο ισχυρή υποστήριξη QoS και στην ευρύτερη περιοχή κάλυψης.

Η τεχνολογία Long Term Evolution (LTE), που αναπτύχθηκε από το έργο κοινοπραξίας τρίτης γενιάς (3GPP) ως βελτίωση στο τρέχον Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών καλείται μερικές φορές 3.9G ή Super 3G. Βάση των συνδέσεων ενός σημείου προς πολλά (point-to-multipoint), η τεχνολογία LTE προσφέρει ασύρματη υπηρεσία ευρυζωνικής πρόσβασης. Μέσω του σταθμού βάσης, οι συνδρομητές μπορούν να συνδεθούν στο διαδίκτυο, ενώ ο σταθμός βάσης θα ελέγχει την πρόσβαση στο κανάλι κινητής τηλεφωνίας. Η συχνότητα διαίρεσης duplex, αλλά και η συχνότητα διαίρεσης χρόνου duplex στα συστήματα, στηρίζονται στο LTE. Η τεχνολογία LTE λειτουργεί και ως δίκτυο και διαθέτει τις δικές της συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές δικτύου.

3.2 Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων 4ης γενιάς

Τα δίκτυα 4ης γενιάς (4G) προσφέρουν πιο υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, τουλάχιστον κατά μια τάξη μεγέθους, καθώς και επαρκή ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service – QoS) σε σύγκριση με τα 3ης γενιάς δίκτυα. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η κατανομή του φάσματος είναι τέτοιος ώστε να υποστηρίζονται οι υψηλοί αυτοί ρυθμοί σε κυψέλες με μεσαίο μέγεθος. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων βρίσκονται στα 100Mbps και πάνω και παρέχουν

υπηρεσίες πολυμέσων με σημαντικά πιο χαμηλό κόστος. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται κατά αποκλειστικότητα από κυκλώματα μεταγωγής πακέτων και όλα τα στοιχεία τους είναι ψηφιακά. Τέλος, μεγάλο πλεονέκτημα των δικτύων 4ης γενιάς αποτελεί η χαμηλή ιεραρχία στην αρχιτεκτονική, με σημεία πρόσβασης και τερματικά που υποστηρίζουν πολλαπλούς τρόπους πρόσβασης.

Για να επιτευχθεί η υψηλή απόδοση από τεχνολογικής άποψης, τα δίκτυα 4ης γενιάς παρουσιάζουν τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- Υψηλό ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας.
- Μεγαλύτερη χωρητικότητα και μικρότερο κόστος ανά bit.
- Εξαιρετική ποιότητα παροχής υπηρεσιών (QoS) - βελτιωμένη συνδεσιμότητα.
- Υποστήριξη Internet νέας γενιάς.
- Προσαρμογή της φυσικής και της λογικής πρόσβασης (physical & MAC)
- Ομαλή διασύνδεση με συστήματα 3G, ασύρματα δίκτυα υπολογιστών
- (WLAN) και σταθερά δίκτυα.
- Καλή χωρική κάλυψη με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης.
- Υψηλότερες χρησιμοποιούμενες συχνότητες.
- Χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών.

3.3 Υπηρεσίες και εφαρμογές δικτύων 4ης γενιάς

Οι υπηρεσίες που ήδη παρέχονται από τα δίκτυα 3ης γενιάς εξακολουθούν να παρέχονται και από την 4η γενιά δικτύων, αλλά με σημαντικές αλλαγές στην ποιότητα και την ταχύτητα. Μερικές από τις εφαρμογές και υπηρεσίες που προσφέρουν τα ασύρματα δίκτυα 4ης γενιάς, βελτιστοποιούν τις υπηρεσίες που ήδη από πριν υπήρχαν. Ταυτόχρονα προσφέρουν και άλλες εφαρμογές οι οποίες

και προκαλούν εντυπωσιακή αλλαγή στους αντίστοιχους χώρους. Παρακάτω παρουσιάζονται οι υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες εξαιτίας των 4G δικτύων.

- Τηλεϊατρική (telemedicine).
- Ανοικτή και εξ' αποστάσεως εκπαίδευση (e-learning).
- Διαδραστική, κινητή τηλεόραση και video.
- Τηλεπαρουσία (tele-presence).
- Πρόσβαση σε πληροφορίες.
- Εξ' αποστάσεως εργασία – τηλε-εργασία (tele-working) και online βοήθεια στην εργασία.

Αυτό γίνεται εφικτό με χρήση φορητών πολυμεσικών συσκευών.

- Επικοινωνία μεταξύ μηχανών.
- Εικονική πλοήγηση (virtual navigation).
- Σταθμός πληροφορίας (infostation).
- Εφαρμογές τηλεγεωδαισίας (tele-geoprocessing).
- Εφαρμογές διαχείρισης κρίσεων.
- Κινητά δίκτυα υπολογιστών.
- Ευφυείς αγορές.
- Ασφάλεια.
- Υπηρεσίες βασισμένες στη γεωγραφική θέση.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των δικτύων της 4^{ης} γενιάς είναι η δυνατότητα που έχουν να διασυνδέουν τις διαφορετικές ασύρματες τεχνικές πρόσβασης μεταξύ τους. Για παράδειγμα, τα WPANs και WLANs, όπως είναι το WiFi, αλλά και τα WMANs, όπως το WiMAX, χρησιμοποιούνται ως προέκταση

των προηγούμενων δικτύων 3G, προκειμένου οι συσκευές οι οποίες είναι συνδεδεμένες σε ένα WPAN δίκτυο να μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα συνδυασμό 3G και WLAN πρόσβασης, έχοντας τη δυνατότητα να επιλέξουν αυτήν που προσφέρει πιο πολλά πλεονεκτήματα τη δεδομένη χρονική στιγμή.

3.4 Το δίκτυο LTE

Η τεχνολογία Long Term Evolution (LTE) είναι μια τεχνολογική πλατφόρμα που θα επιτρέπει στις επιχειρήσεις να επιτύχουν ακόμη υψηλότερες ταχύτητες σε μεγαλύτερο εύρος ζώνης φάσματος. Οι εργασίες σχετικά με την LTE ξεκίνησαν στο 3GPP το 2004, οι επίσημες LTE εργασίες άρχισαν το 2006 και ολοκληρώθηκαν με την 3GPP Release 8 προδιαγραφή το Μάρτη του 2009. Οι αρχικές υλοποιήσεις του LTE ξεκίνησαν στα τέλη του 2009.

Η LTE είναι μέρος της εξελικτική πορείας του GSM για την κινητή ευρυζωνικότητα. Ο γενικός στόχος για την LTE είναι να παρέχει μια εξαιρετικά υψηλής απόδοσης τεχνολογία ραδιο-πρόσβασης που θα προσφέρει πολύ υψηλή ταχύτητα και θα μπορεί εύκολα να συνυπάρχει με τα προγενέστερα δίκτυα. Προϋποθέτει χρήση αρχιτεκτονικής πρωτοκόλλου Internet (IP) του δικτύου και έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίξει τη φωνή στον τομέα πακέτων.

Τα εμπορικά δίκτυα LTE ξεκίνησαν για πρώτη φορά από την TeliaSonera στη Νορβηγία και τη Σουηδία το Δεκέμβριο του 2009. Από το Νοέμβριο του 2012, υπήρχαν 117 εμπορικά δίκτυα LTE σε διάφορα στάδια της εμπορικής υπηρεσίας. Πολλές μελέτες βρίσκονται σε εξέλιξη με 130 LTE αναπτύξεις μέχρι το 2012. Τον Ιούνιο του 2008, το Next Generation Mobile Networks Alliance (NGMN) LTE επιλέχθηκε ως η πρώτη τεχνολογία που συνδυάζει επιτυχώς τις απαιτήσεις του. Η τεχνολογία 4G Αμερικής, η GSMA, η UMTS Forum και άλλες παγκόσμιες οργανώσεις επανέλαβαν την υποστήριξή τους για την εξέλιξη της LTE. Τα LTE προϊόντα έχουν δοκιμαστεί, δοκιμάζονται και ανακοινώθηκαν στην αγορά από τους κατασκευαστές που είναι ήδη μέρος ενός καλά σχεδιασμένου LTE οικοσυστήματος. Το LTE οικοσύστημα βασίζεται στην οικονομική κλίμακα και το πεδίο εφαρμογής του συνόλου του 3GPP στην οικογένεια τεχνολογιών.

Τα πρώτα διαθέσιμα στην αγορά LTE έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smartphones) ήταν τα Samsung Galaxy Indulge (από τη MetroPCS) και τα HTC Thunderbolt. Αρχικά, οι υπεύθυνοι διαχείρισης των δικτύων είχαν σκοπό να αναβαθμίσουν τα συστήματά τους σε μια τεχνολογία που ονομαζόταν UMB. Ωστόσο, όλες οι μεγάλες εταιρείες κινητής τηλεφωνίας αποφάσισαν να συνεχίσουν με την τεχνολογία LTE. Εξέλιξη του LTE αποτελεί το LTE Advanced.

Η τεχνολογία LTE χρησιμοποιεί Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης (OFDMA) στην κάτω ζεύξη. Αυτή είναι κατάλληλη για την εξασφάλιση υψηλών τιμών δεδομένων στο υψηλό εύρος ζώνης φάσματος που κυμαίνεται στα 10 Mbps σε 5 MHz του εύρους ζώνης. Η προσέγγιση OFDMA είναι επίσης εξαιρετικά ευέλικτη στην καναλοποίησης, με την LTE να λειτουργεί σε διάφορα μεγέθη καναλιών που κυμαίνονται από 1,4 έως 20 MHz, ενισχύοντας επίσης τη φασματική απόδοση.

Οι δυνατότητες της τεχνολογίας LTE περιλαμβάνουν:

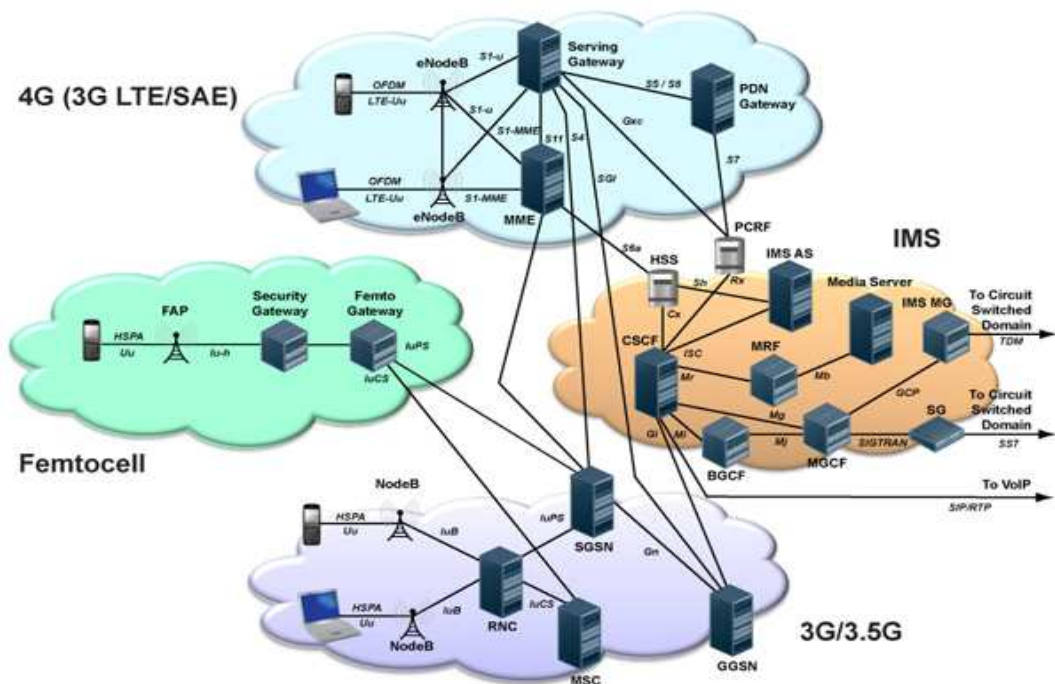
- Downlink data rates κορυφής, μέχρι 326 Mbps με 20 MHz εύρος ζώνης.
- Uplink data rates κορυφής, έως 86,4 Mbps με 20 MHz εύρος ζώνης.
- Λειτουργία τόσο σε TDD και FDD καταστάσεις.
- Κλιμάκωση εύρους ζώνης έως 20 MHz, καλύπτοντας 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz και κατά τη φάση της μελέτης.
- Αυξημένη φασματική απόδοση πάνω από 6 Release HSPA από δύο έως τέσσερις φορές.
- Μειωμένη λανθάνουσα κατάσταση, μέχρι 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) μετ'επιστροφής χρόνου μεταξύ του εξοπλισμού χρήστη και του σταθμού βάσης, και σε λιγότερο από 100 ms χρόνου μετάβασης από ανενεργές καταστάσεις σε ενεργές.

Η LTE τεχνολογία αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και εξέλιξη του GSM/UMTS. Ο στόχος του LTE εντοπίζεται στην αύξηση της

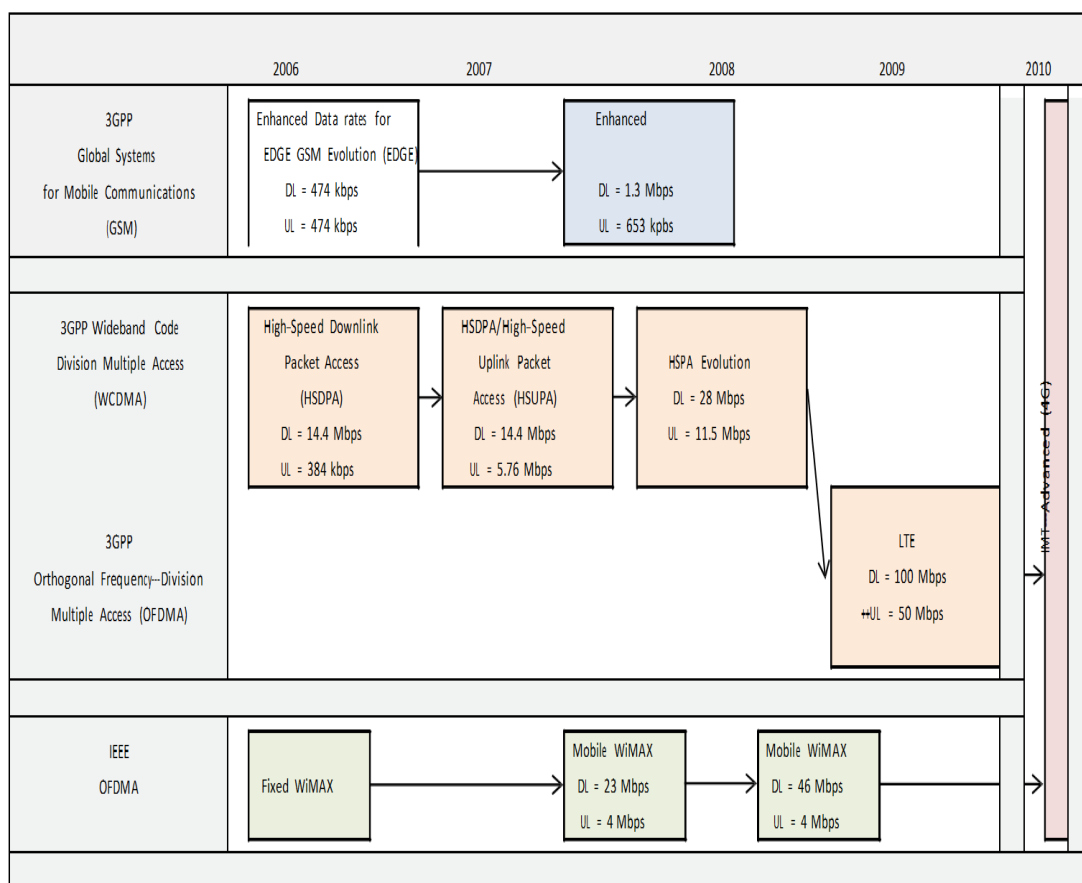
χωρητικότητας και της ταχύτητας των υπαρχόντων δικτύων με τη χρήση καινοτόμων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας και διαμόρφωσης του σήματος. Επίσης, λειτουργεί σε διαφορετικό εύρος ζώνης συχνοτήτων αφού η διεπαφή του δεν είναι συμβατή με τα δίκτυα 2ης και 3ης γενιάς που ήδη υπάρχουν.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου βασίζεται σε μια απλοποιημένη μορφή αρχιτεκτονικής IP, το Evolved Packet Core (EPC). Αυτό σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει το GPRS Core Network και υποστηρίζει την χωρίς εμόδια μετάδοση δεδομένων και φωνής ακόμα και σε δίκτυα που διαθέτουν πιο παλιά τεχνολογία (GSM, UMTS,CDMA2000). Η απλούστερη αρχιτεκτονική στοχεύει σε χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα.

Το LTE αν και αναφέρεται ως σύστημα κινητής τηλεφωνίας 4ης γενιάς (4G) αυτό δεν ισχύει, εφόσον δεν ανταποκρίνεται, επαρκώς, στις απαιτήσεις που έχει ορίσει ο διεθνής οργανισμός ITU-R. Γι' αυτό το λόγο, το αναβαθμίστηκε σε LTE Advanced προκειμένου να πληροί τις προϋποθέσεις εκείνες που θα το χαρακτηρίσουν ως σύστημα 4G.



Εικόνα 6 : Το 3G και LTE δίκτυο



Εικόνα 7 : Πορεία εξέλιξης της ασύρματης τεχνολογίας για WiMAX και LTE προς την ITU

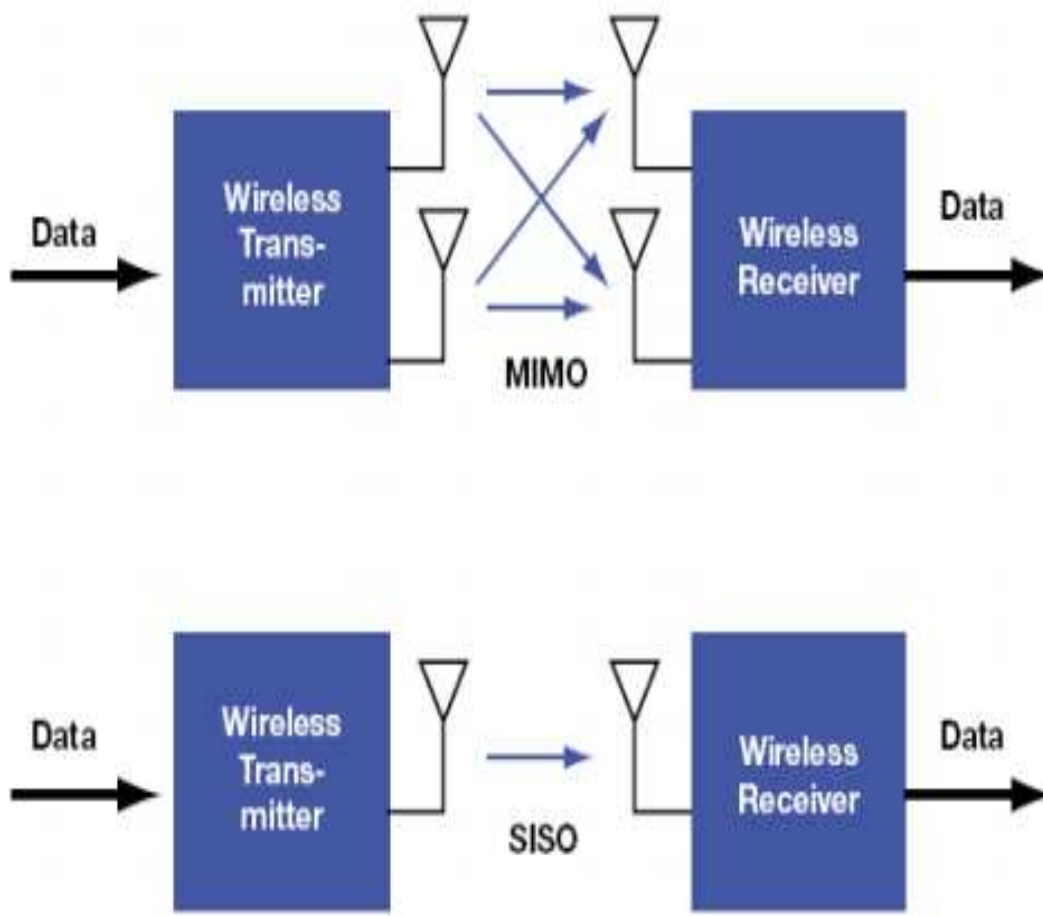
3.5 Έξυπνες κεραιές

3.5.1 Εισαγωγή – Εξέλιξη των κεραιών

Η ζήτηση για ασύρματες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες έχει αυξηθεί σε σημαντικό βαθμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η επιστημονική κοινότητα να αναζητά ολοένα και περισσότερο νέους τρόπους που θα συντελέσουν στην αύξηση της φασματικής απόδοσης των ασύρματων δικτύων αλλά και τη μείωση της παρεμβολής από γειτονικά δίκτυα.

Με την εξέλιξη της επιστήμης αλλά και με την αύξηση των φασματικών απαιτήσεων άρχισε να χρησιμοποιείται και η τεχνική OFDM. Η μελέτη της πολυπλεξίας ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας είχε ήδη ξεκινήσει από τη δεκαετία του 1980, όμως τα συστήματα δεν μπορούσαν να είναι υλοποιήσιμα εξαιτίας του υψηλού κόστους τους. Με το συνδυασμό αυτής της τεχνικής με άλλες τεχνικές πολλαπλής προσπέλασης, όπως είναι οι OFDMA, OFDM-TDMA, OFDM-CDMA, επιτεύχθηκε αποτελεσματική χρησιμοποίηση του φάσματος και εξάλειψη της παρεμβολής. Ωστόσο, οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και η ανάγκη για ανάπτυξη δικτύων υψηλών ταχυτήτων, έκαναν επείγουσα την ανάγκη να βρεθούν πιο καινοτόμες νέες λύσεις. Αυτό οδήγησε στο να εμφανιστούν και να υλοποιηθούν οι έξυπνες κεραιές.

Οι ερευνητές, σε αυτό το επίπεδο, προσπαθούν πλέον να υλοποιήσουν συστήματα MIMO (multi-input multi-output), δηλαδή συστήματα με πολλές κεραιές στον πομπό και πολλές κεραιές στο δέκτη. Έτσι θα υπάρχει η δυνατότητα εξυπηρέτησης ταυτόχρονα πολλών χρηστών αλλά επίτευξης σημαντικής αύξησης του συνολικού κέρδους που προστίθεται στο λαμβανόμενο σήμα. Η σύγκριση των MIMO κεραιών με τις συμβατικές κεραιές παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



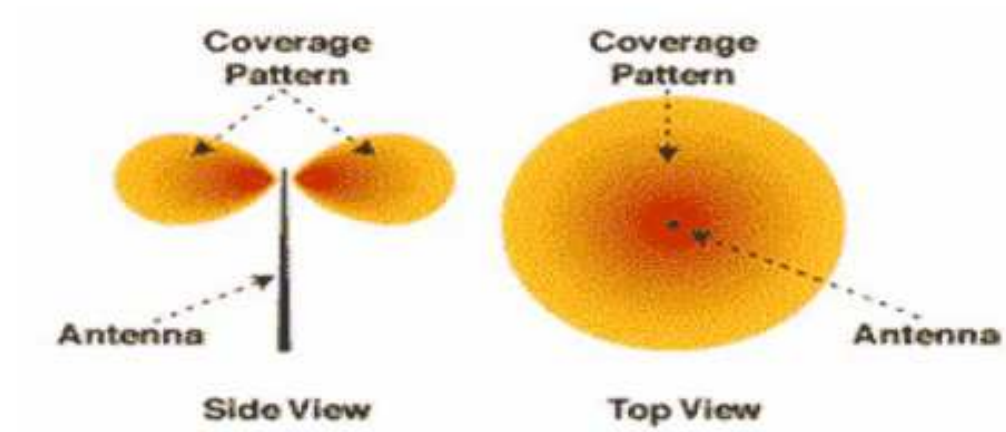
Εικόνα 8 : Σύγκριση MIMO και SISO κεραιών.

Το πιο βασικό χαρακτηριστικό των έξυπνων κεραιών είναι ότι οδηγούν στο διαχωρισμό των σημάτων και του χώρου. Το γεγονός αυτό μπορεί να κάνει εύκολη τη λήψη σημάτων τα οποία χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα, την ίδια χρονική στιγμή, με σχεδόν καθόλου παρεμβολή μεταξύ τους.

Μια μέθοδος που πραγματοποιεί χωρικό διαχωρισμό, είναι οι ανάπτυξη κεραιών που παράγουν έναν αριθμό από σταθερούς λοβούς ακτινοβολίας. Με τη χρήση αλγορίθμων καθορίζεται κάθε φορά ο λοβός ακτινοβολίας ο οποίος και βελτιστοποιεί το σήμα του εκάστοτε χρήστη. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται “τεχνική μεταγωγής λοβών” (switched beams) και είναι σχετικά απλή μέθοδος υλοποίησης του συστήματος έξυπνων κεραιών. Κάποιες άλλες τεχνικές έξυπνων κεραιών βασίζονται στις λεγόμενες προσαρμοστικές μεθόδους (adaptive solutions) και χαρακτηρίζονται ως πιο προηγμένες τεχνικές υλοποίησης.

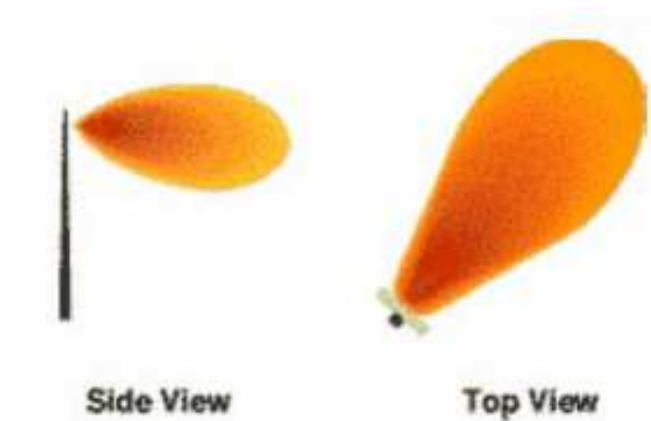
3.5.2 Είδη κεραιών και συστημάτων κεραιών

Ομοιοκατευθυντικές κεραίες:



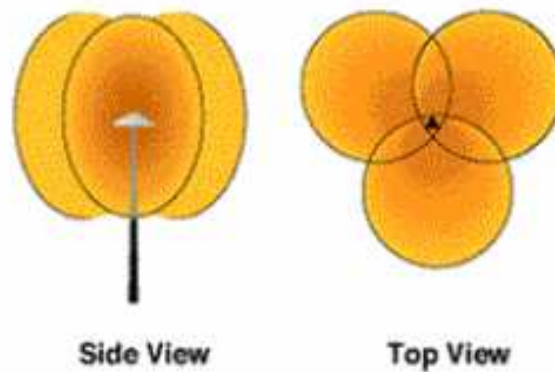
Εικόνα 9 : Ομοιοκατευθυντική κεραία.

Κατευθυντικές κεραίες:



Εικόνα 10 : Κατευθυντική κεραία.

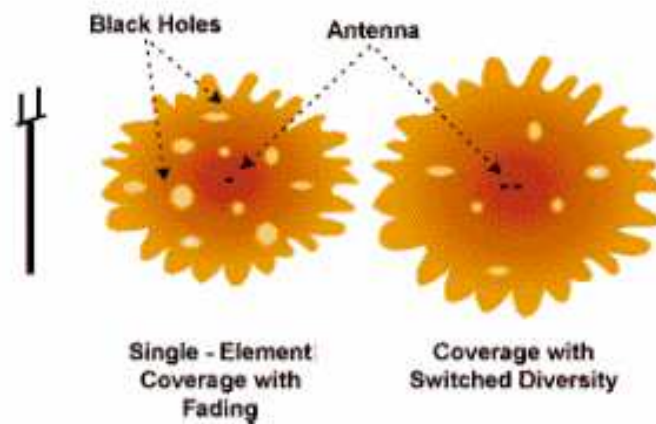
Συστήματα κεραιών που διαχωρίζουν το χώρο σε τομείς (Sectorized Systems):



Εικόνα 11 : Σύστημα που διαχωρίζει το χώρο γύρω από την κεραία σε τρεις τομείς.

Συστήματα με πολλές κεραίες σε ένα σταθμό βάσης (Diversity Systems):

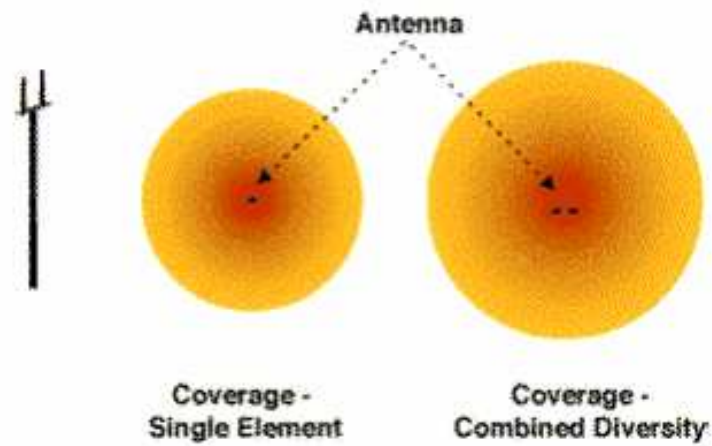
Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η διαφορά του διαγράμματος ακτινοβολίας σε ένα μόνο στοιχείο (αριστερό διάγραμμα) και της τεχνικής διαχωρισμού με εναλλαγή κεραιών σε περιβάλλον διαλείψεων.



Εικόνα 12 : Τεχνική διαχωρισμού με εναλλαγή κεραιών σε περιβάλλον διαλείψεων.

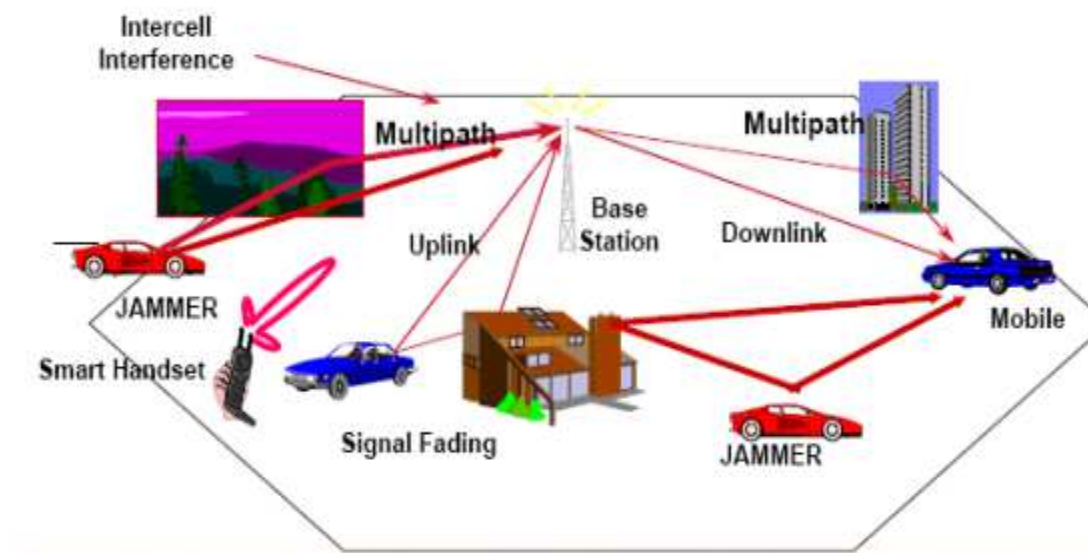
Στο επόμενο σχήμα υπάρχει η σύγκριση των διαγραμμάτων ακτινοβολίας ενός μόνο στοιχείου (αριστερό διάγραμμα) με εκείνο που προκύπτει με την τεχνική υπέρθεσης κεραιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι και στα δύο σχήματα

εντοπίζεται αύξηση του κέρδους της κεραίας αλλά και της περιοχής κάλυψής της με τη χρήση των δύο προαναφερθέντων τεχνικών.



Εικόνα 13 : Τεχνική υπέρθεσης κεραιών.

Συστήματα έξυπνων κεραιών:



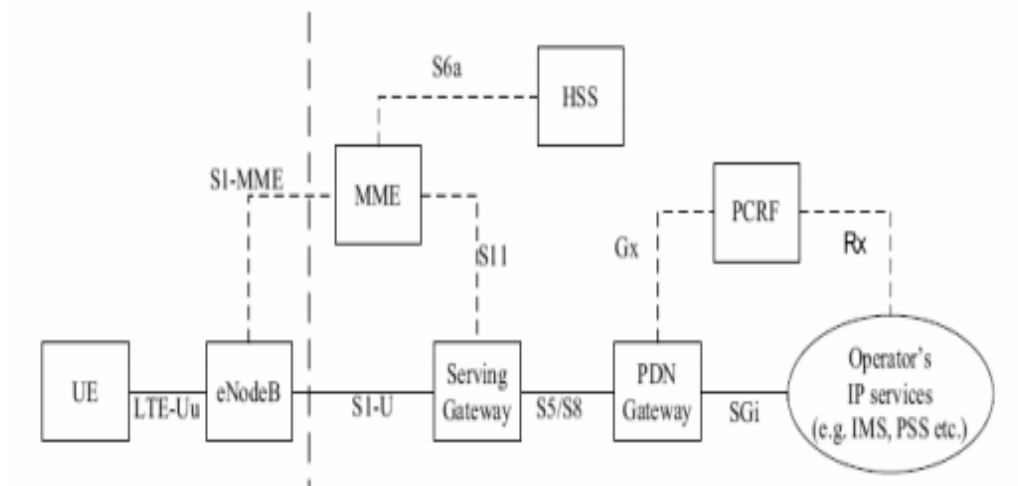
Εικόνα 14 : Σύστημα έξυπνων κεραιών για χρήση σε μια αστική περιοχή.

3.6 Αρχιτεκτονική LTE

Η τεχνολογία LTE έχει σχεδιαστεί προκειμένου να υποστηρίζει μόνο υπηρεσίες που βασίζονται στη μεταγωγή πακέτου (packets switched) σε αντίθεση με το μοντέλο circuit-switched που κυριαρχεί στα προηγούμενα κυψελωδή συστήματα. Ο σκοπός της τεχνολογίας αυτής είναι να παρέχει συνδεσιμότητα Internet Protocol (IP) μεταξύ User Equipment (UE) και του Packet Data Network (PDN). Αυτό προϋποθέτει να μην υπάρχει καμία διακοπή στις εφαρμογές των τελικών χρηστών κατά την διάρκεια της κινητικότητας.

Με τον όρο LTE συμπεριλαμβάνεται και η εξέλιξη του radio access μέσω του Evolved-UTRAN (E-UTRAN). Το E-UTRAN συνδέεται με την εξέλιξη της non-radio access αρχιτεκτονικής, μέσω του System Architecture Evolution (SAE), το οποίο περιλαμβάνει το Evolved Packet Core (EPC) δίκτυο. Με άλλα λόγια το LTE και το SAE συνθέτουν το Evolved Packet System (EPS).

Το EPS με τη σειρά του, παρέχει στον χρήστη για πρόσβαση στο διαδίκτυο συνδεσιμότητα IP σε ένα PDN όπως και για running services όπως το Voice over IP (VoIP). Ένα EPS φορέας είναι ενωμένος με ένα QoS. Πολλαπλοί φορείς μπορούν να δημιουργηθούν από ένα χρήστη για να παρέχουν διαφορετικό QoS streams ή συνδεσιμότητα με διαφορετικά PDNs. Για παράδειγμα, ένας χρήστης μπορεί να συμμετέχει σε μια κλήση φωνής (VoIP) εκτελώντας την ίδια στιγμή web browsing ή File Transfer Protocol (FTP) download. Ένας VoIP φορέας μπορεί να παρέχει το απαραίτητο QoS για κλήση φωνής, ενώ ένας άλλος φορέας μπορεί να είναι κατάλληλος για web browsing ή FTP session. Το δίκτυο μπορεί ωστόσο να παρέχει ικανοποιητική ασφάλεια και μυστικότητα για τον χρήστη και προστασία του δικτύου έναντι κακόβουλης χρήσης . Αυτό επιτεύχθηκε από διάφορα στοιχεία του δικτύου EPS τα οποία έχουν διαφορετικούς ρόλους.



Εικόνα 15 : Αρχιτεκτονική LTE

Η παραπάνω εικόνα δείχνει τη συνολική αρχιτεκτονική δικτύου περιλαμβάνοντας τα στοιχεία δικτύου και τα τυποποιημένες διεπαφές. Στο υψηλό επίπεδο, το δίκτυο αποτελείται από το CN (EPC) και στο access network (E-UTRAN) ενώ το CN αποτελείται από πολλούς λογικούς κόμβους, το δίκτυο πρόσβασης αποτελείται ουσιαστικά από μόνο έναν κόμβο, το Evolved NodeB (eNodeB) που συνδέει με το UEs. Το καθένα από αυτά τα στοιχεία δικτύου είναι συνδεδεμένα με την βοήθεια των διεπαφών που είναι τυποποιημένες για να επιτραπεί η δυνατότητα να δουλεύουν μαζί. Αυτό δίνει την δυνατότητα στους παρόχους δικτύου, να αντλούν διαφορετικά στοιχεία από διαφορετικούς παρόχους. Στην πραγματικότητα οι πάροχοι δικτύων μπορούν να επιλέξουν να χωρίσουν τις φυσικές εφαρμογές ή να συγχωνεύσουν αυτά τα λογικά στοιχεία δικτύων ανάλογα με τις εμπορικές εκτιμήσεις. Η λειτουργική διάσπαση μεταξύ του EPC και του E-UTRAN παρουσιάζεται παρακάτω.

3.7 OFDMA

Η OFDMA προέρχεται από την OFDM (ορθογώνια Διάρθρωση συχνότητας

Πολυπλεξίας), ένα ψηφιακό multi-φορέα διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί την αρχή ότι οι πληροφορίες μπορούν να διαβιβάζονται σε ένα ράδιο-κανάλι μέσω μεταβολών του φέροντος σήματος στην συχνότητα, φάση ή στο μέγεθος. Αντί να μεταδίδει όλες τις πληροφορίες με μία μόνο φέρουσα RF (ραδιοσυχνότητα) σήματος, το υψηλό ποσοστό δεδομένων ροής εισόδου είναι πολυπλεκτικό σε ένα παράλληλο συνδυασμό χαμηλού ρυθμού δεδομένων ροές. Οι παράλληλες ροές είναι διαμορφωμένες σε ξεχωριστούς υπομεταφορείς (subcarriers) στο πεδίο ορισμού συχνότητας μέσω της χρήσης του αντίστροφου γρήγορου Μετασχηματισμού Fourier (IFFT) και μεταδίδεται μέσω του καναλιού. Στο δέκτη, το σήμα αποδιαμορφώνεται με μία FFT διαδικασία για να μετατρέψει μια ποικίλης δυσκολίας και πολυπλοκότητας κυματομορφή πίσω στις φασματικές της συνιστώσες, ανακτώντας τους αρχικούς υπομεταφορείς με την διαμόρφωσή τους και με αυτόν τον τρόπο την αρχική ψηφιακή ροή bit.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι φυσικού επιπέδου: το OFDM φυσικό επίπεδο και το OFDMA φυσικό επίπεδο.

- OFDM Φυσικό επίπεδο.

Το OFDM φυσικό επίπεδο βασίζεται στην OFDM διαμόρφωση σε χρήση broadcasting. Η OFDM διαμόρφωση αναφέρεται σε μία μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης σύμφωνα με την οποία το σήμα διαχωρίζεται σε μικρής συχνοτικής μπάντας κανάλια, σε διαφορετικές συχνότητες. Το OFDM φυσικό επίπεδο αναφέρεται κυρίως στη περίπτωση όπου τα SS είναι πύλες και επεκτείνονται με πολλά κανάλια σε σπίτια και επιχειρήσεις. Είναι δηλαδή η λογική των Modem που επεκτείνονται μέσα στο ενσύρματο δίκτυο. Το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει διαχωρισμό σε κανάλια κατά το uplink δηλαδή κατά τη μεταφορά δεδομένων από το SS στο σταθμό βάσης. Για το Uplink συγκεκριμένα υπάρχουν 16 υποκανάλια. Επίσης να πούμε ότι το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει Time Division Duplexing (TDD) και Frequency Division Duplexing (FDD) εργασίες, τόσο για FDD όσο και για ημιαμφίδρομους (Half-Duplex) FDD subscriber stations (SS). Για να γίνουν τα παραπάνω περισσότερο κατανοητά να πούμε ότι το TDD έχει την έννοια της τοποθέτησης δύο ροών δεδομένων μέσα σε ένα σήμα χωρίζοντας το σήμα σε τμήματα με το καθένα να έχει πολύ μικρή

διάρκεια. Τα τμήματα αυτά συγκεντρώνονται ξανά στο δέκτη. Επίσης το FDD αναφέρεται στη μέθοδο εκείνη όπου δύο διαφορετικά σήματα συνδυάζονται όταν είναι να μεταβιβαστούν σε μία γραμμή ή κανάλι επικοινωνίας.

Το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει διαχωρισμό των downlink δεδομένων, δηλαδή των δεδομένων από το σταθμό βάσης στον SS. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση του πρωτοκόλλου Space Time Coding (STC) και τη χρήση Adaptive Antenna Systems (AAS) με Spatial Division Multiple Access (SDMA). Τέλος, το SDMA είναι ένας τρόπος δορυφορικής επί των πλείστων, επικοινωνίας όπου βελτιστοποιεί τη χρήση του ραδιοφάσματος και ελαχιστοποιεί το κόστος συστημάτων με το να εκμεταλλευθεί τις κατευθυντικές ιδιότητες των κεραιών πιάτων.

- OFDMA Φυσικό επίπεδο

Αρχικά να πούμε ότι το OFDMA το οποίο αναφέρεται και ως «πολλαπλών χρηστών OFDM», θεωρείτε ως μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης για ασύρματα δίκτυα 4ης γενιάς. Επίσης πρέπει να επισημάνουμε ότι το OFDMA PHY χρησιμοποιείται όχι μόνο στο πρότυπο 802.16 αλλά και σε κάποια υποπρότυπα του 802.11. Το OFDMA φυσικό επίπεδο μοιάζει στη λειτουργία με αυτό του OFDM. Διαθέτει και αυτό διαχωρισμό σε υποκανάλια (subchannelization) τόσο στην uplink όσο και στην downlink μετάβαση. Το πρότυπο υποστηρίζει πέντε διαφορετικά σχήματα διαχωρισμού σε υπο-κανάλια. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να σημειωθεί πως σε ένα σύστημα OFDM παρατηρούνται τα ακόλουθα :

- Σε ένα κλασικό FDM σύστημα παράλληλης μετάδοσης δεδομένων η συνολικά διαθέσιμη μπάντα συχνοτήτων διαιρείται σε έναν αριθμό μη επικαλυπτόμενων υποκαναλιών
- Στο OFDM τα υποκανάλια είναι επικαλυπτόμενα
- Το μέγιστο στο φάσμα του κάθε υποκαναλιού συμπίπτει με τα φασματικά μηδενικά των 2 γειτονικών του υποκαναλιών
- Μικρό κομμάτι πληροφορίας μεταδίδεται σε διαφορετικά υποκανάλια, αντί όλος ο όγκος της πληροφορίας να μεταδίδεται στο

βασικό κανάλι.

SC-FDMA

Η LTE χρησιμοποιεί μια νέα τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Single Carrier Frequency Division Multiple Access που ουσιαστικά δημιουργεί έναν ενιαίο φορέα κυματομορφής και το πηγαίνει προς το επιθυμητό μέρος του πεδίου συχνότητας. Αυτή η νέα τεχνική παρέχει ισχυρή αντίσταση σε πολλαπλές διαδρομές χωρίς το πρόβλημα της υψηλής PAR (Peak-to-average ratio) του Gaussian θορύβου που εμφανίζεται σε OFDMA όταν έχουμε αύξηση των subcarriers.

3.8 LTE Advanced

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, τα δίκτυα LTE εξασφαλίζουν επίτευξη υψηλής ποιότητας υπηρεσιών, προσφέροντας την δυνατότητα για δημιουργία υψηλών ρυθμών μετάδοσης πληροφοριών. Παρόλα αυτά, όμως, δεν είναι δίκτυα τέταρτης γενιάς σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχει θεσπίσει η ITU-R. Κατατάσσονται, θα λέγαμε, ανάμεσα στην γενιά 3.9G και στην γενιά 4G. Ωστόσο, εδώ και καιρό έχει αναπτυχθεί και ελεγχθεί η εξέλιξη των δικτύων LTE η οποία ονομάζεται LTE Advanced.

Ως κύριος στόχος, της νέας αυτής εξελιγμένης έκδοσης των LTE, αναφέρεται η ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση της LTE ασύρματης πρόσβασης. Τα δίκτυα LTE advanced χρησιμοποιούν βασικές δομές και τεχνολογίες των δικτύων LTE αλλά συγχρόνως τις συνδυάζουν με καινοτόμες τεχνικές για την βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας. Οι βασικές απαιτήσεις της ITU-R για τα δίκτυα LTE Advanced είναι οι εξής:

- Μέγιστος Ρυθμός Μετάδοσης για την κίνηση downlink 1Gbps, και για την κίνηση uplink 500Mbps.

- Εύρος Ζώνης Μετάδοσης μεγαλύτερο από περίπου 70 MHz στην κίνηση downlink και 40 MHz στην κίνηση uplink.
- Καθυστέρηση από ανενεργή κατάσταση σε κατάσταση πλήρους σύνδεσης μικρότερη των 5ms.
- Ρυθμός διέλευσης ακραίου χρήστη δύο φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο στα LTE.
- Μέσος ρυθμός διέλευσης χρήστη σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερος από αυτόν των LTE δικτύων.
- Χωρητικότητα (Απόδοση Φάσματος) τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή των LTE.
- Μέγιστη αποδοτικότητα φάσματος για την κίνηση downlink 30bps/Hz και για την κίνηση uplink 15bps/Hz.
- Η φορητότητα παραμένει στα ίδια επίπεδα με τα LTE.

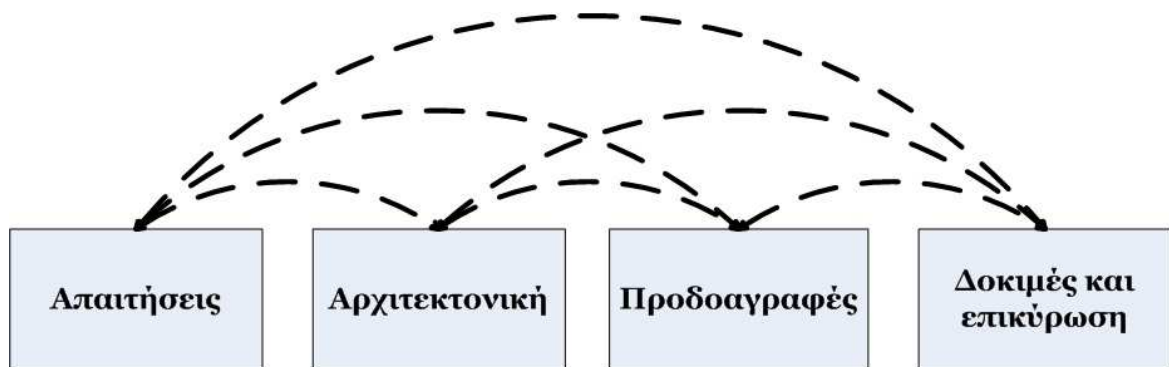
Τα συστήματα LTE έχουν ξεκινήσει να υιοθετούνται σε όλο τον κόσμο ως η κύρια τεχνολογία κινητής επικοινωνίας. Ειδικότερα η έκδοση 10 του LTE ήταν η πρώτη που κάλυπτε τις απαιτήσεις IMT-Advanced ώστε να θεωρηθεί τέταρτης γενιάς και για το λόγο αυτό ονομάστηκε LTE-Advanced (ή LTE-A). Καθώς οι τεχνολογίες δεύτερης και τρίτης γενιάς ξεκινούν σταδιακά να καταργούνται, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας έχουν σε πολλές χώρες προχωρήσει στην κατασκευή νέων LTE-A δικτύων. Σίγουρα θα περάσουν χρόνια μέχρι να ολοκληρωθεί η μετάβαση στα συστήματα τέταρτης γενιάς και στο μεσοδιάστημα τα δίκτυα LTE-A θα συνυπάρχουν με παλαιότερες τεχνολογίες, όπως το GSM και το CDMA.

Το LTE-A είναι πιθανόν το πιο σύνθετο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών που αναπτύχθηκε ποτέ. Ενσωματώνει χαρακτηριστικά που θα ήταν οικονομικά πολύ δύσκολο να εφαρμοστούν μέχρι πριν από μια δεκαετία. Σήμερα, με την πρόοδο της τεχνολογίας τα χαρακτηριστικά του LTE-A μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στους σταθμούς βάσης και τις κινητές συσκευές.

Υπεύθυνος για τον καθορισμό των προδιαγραφών για το LTE-A είναι αποκλειστικά ο οργανισμός 3GPP. Ο οργανισμός αυτός παράγει προδιαγραφές όχι μόνο για το LTE αλλά και για κινητά δίκτυα δεύτερης και τρίτης γενιάς, εξυπηρετώντας περισσότερες από 5 δισεκατομμύρια συνδέσεις. Για το λόγο αυτό έχει θεσπίσει σαφείς κανονισμούς ως προς τη διαδικασία της προτυποποίησης όπως και αυστηρή δομή στην ανάθεση των αρμοδιοτήτων.

Η διαδικασία προτυποποίησης είναι συνεχής διαδικασία, εξελίσσοντας αδιάκοπα τα υφιστάμενα πρότυπα ώστε να καλύψουν νέες ανάγκες για υπηρεσίες και χαρακτηριστικά. Τα στάδια της διαδικασίας, σύμφωνα και με την Εικόνα 15, αποτελούνται από:

- τον αρχικό καθορισμό των απαιτήσεων,
- την αρχιτεκτονική, όπου αποφασίζονται οι δομικές μονάδες και οι διεπαφές,
- το λεπτομερή καθορισμό των προδιαγραφών, και τέλος
- τη δοκιμαστική περίοδο και επικύρωση.



Εικόνα 16 : Στάδια διαδικασίας προτυποποίησης

Τα στάδια αυτά μπορεί να είναι διαδοχικά, αλλά και με φάσεις επικάλυψης όταν κρίνεται απαραίτητο. Παραδείγματος χάριν, αλλαγές στις τεχνικές λεπτομέρειες μπορεί να αποδειχτούν αναγκαίες μέσω της δοκιμαστικής διαδικασίας. Η τελευταία κάποιες φορές δε θεωρείται μέρος της διαδικασίας προτυποποίησης παρόλα αυτά γίνεται παράλληλα με άλλα στάδια και η

συνεισφορά της στην τελική μορφή του προτύπου είναι εξαιρετικά σημαντική. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν από τη δοκιμαστική διαδικασία έχουν προκύψει σταθερά αποτελέσματα, οπότε είναι δυνατό να αρχίσει και η διαδικασία υλοποίησης.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, ο χρόνος που απαιτείται από τη στιγμή που το πρότυπο ολοκληρώνεται μέχρι την εμπορική εκμετάλλευσή του είναι περίπου ένα με δύο χρόνια, αν και αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως αν πρόκειται για νέο πρότυπο ή αποτελεί επέκταση προϋπάρχοντος.

Αξίζει να σημειωθεί πως, αν και ανεξάρτητη, η 3GPP λαμβάνει υπόψη τις συστάσεις του οργανισμού ITU, καθώς και τους περιορισμούς που μπορεί να επιβάλλει μια συγκεκριμένη γεωγραφική ζώνη, όπως λειτουργία σε συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων ή ειδικές συνθήκες ασφάλειας. Οι προδιαγραφές αναπτύσσονται με το σκεπτικό της απροβλημάτιστης παγκόσμιας περιαγωγής και την εύκολη διακίνηση των τερματικών. Αυτό, δυστυχώς, σημαίνει πως πολλές, τοπικά επιβαλλόμενες προδιαγραφές μετατρέπονται σε καθολικές προδιαγραφές αφού ένα τερματικό πρέπει να καλύπτει τις αυστηρότερες των προδιαγραφών που ενδεχομένως συναντήσει για να εξασφαλιστεί η απροβλημάτιστη περιαγωγή.

Τη στιγμή αυτή έχει οριστικοποιηθεί η έκδοση 11, ενώ η έκδοση 12 είναι στο στάδιο της ανάπτυξης με εκτιμώμενη ημερομηνία οριστικοποίησης τον Σεπτέμβριο του 2014.

3.8.1 Στάδια εξέλιξης

Το LTE στην πρώτη επίσημη έκδοση του (Έκδοση 8) επιτυγχάνει θεωρητικά ταχύτητες της τάξης των 100 Mbps, αν και τέτοια επίπεδα αφορούν ιδανικές συνθήκες που σπάνια συναντώνται. Το κύριο δίκτυό του, αποτελεί εξέλιξη του κύριου δικτύου στο GPRS και ονομάζεται Evolved Packet Core (EPC), ενώ η ασύρματη διεπαφή είναι η εξέλιξη του Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) των UMTS δικτύων και ονομάζεται evolved-UTRAN (e-UTRAN). Το δίκτυο του LTE στο σύνολό του είναι αποκλειστικά δίκτυο μεταγωγής πακέτου, και υποστηρίζει ποιότητα υπηρεσίας, καθώς και σχήματα

Frequency Division Duplex (FDD) και Time Division Duplex (TDD). Κύρια χαρακτηριστικά του είναι η χαμηλή καθυστέρηση, η μεγάλη φασματική ευελιξία και απόδοση, και η χρήση τεχνολογίας Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) στο downlink και Single-carrier FDMA (SC-FDMA) στο uplink.

Η έκδοση που ακολούθησε (Έκδοση 9), εμπλούτισε την προϋπάρχουσα έκδοση, χωρίς τροποποιήσεις στην υποδομή και αρχιτεκτονική. Με την βελτίωση της δυνατότητας μεταδόσεων MIMO 4x4, δηλαδή τέσσερις κεραίες παράλληλης μετάδοσης στο δέκτη και τέσσερις στον πομπό, τριπλασίασε σχεδόν τη μέγιστη ταχύτητα, αγγίζοντας τα 300 Mbps στο downlink, και 75 Mbps στο uplink. Η έκδοση αυτή, εισήγαγε ακόμα το MBSFN για υπηρεσίες όπως Mobile TV, και έθεσε συγκεκριμένες προδιαγραφές για την υποστήριξη αυτό-οργανώσιμων (self-organizing) και ετερογενών δικτύων (femtocells, picocells).

Οι εκδόσεις αυτές δεν κάλυπταν πλήρως τις προδιαγραφές του IMT-Advanced, και για αυτό αρχικά χαρακτηρίστηκαν 3.9G τεχνολογίες. Όμως, υπό την πίεση του μάρκετινγκ, τελικά κατάφεραν να χαρακτηριστούν και να προωθηθούν εμπορικά ως συστήματα τέταρτης γενιάς, με τις μετέπειτα ανώτερες και επαρκείς βάσει IMT-Advanced εκδόσεις να διαφοροποιούνται με τον όρο «πραγματικό 4G».

Η έκδοση 10 που ακολούθησε, κατατέθηκε για έγκριση το 2009, οριστικοποιήθηκε το 2011, και βελτιώνει αρκετά στοιχεία των προηγούμενων εκδόσεων. Η έκδοση αυτή επέτρεπε βελτιωμένες τεχνικές MIMO έως 8x8, και εισήγαγε τη δυνατότητα συνάθροισης των φορέων (carrier aggregation), αυξάνοντας το μέγιστο εύρος ζώνης από τα 20 MHz στα 100 MHz. Με αυτό τον τρόπο, η μέγιστη ταχύτητα της έκδοσης αυτής φθάνει και ξεπερνάει το 1 Gbps στο downlink και τα 500 Mbps στο uplink. Πέραν των παραπάνω, η νέα έκδοση εισάγει ή βελτιώνει αρκετά ακόμα χαρακτηριστικά. Τα σημαντικότερα από αυτά, είναι η δυνατότητα Coordinated Multipoint (CoMP) μετάδοσης και λήψης, η αναβάθμιση της δυνατότητας του δικτύου για συντονισμό, με στόχο την αντιμετώπιση παρεμβολών στα ετερογενή δίκτυα, η διασύνδεση μεταξύ των eNodeBs (evolved NodeBs), την εξέλιξη δηλαδή των NodeBs στη νέα έκδοση, η

υποστήριξη relaying, καθώς και σαφείς προδιαγραφές των HeNBs (Home eNodeBs), δηλαδή των σταθμών βάσης των femtocells για την τεχνολογία LTE-A.

Η έκδοση αυτή ήταν η πρώτη που κάλυπτε τις απαιτήσεις IMT-Advanced ώστε να θεωρηθεί 4G. Για αυτό το λόγο, η έκδοση ονομάστηκε LTE-Advanced και τέθηκε υποψήφια στον οργανισμό ITU για το παγκόσμιο πρότυπο 4G. Στην Εικόνα 6 διακρίνονται τα στάδια εξέλιξης του LTE χρονικά, μαζί με τις κυριότερες επεκτάσεις που σηματοδοτούσε κάθε έκδοση.

Οι διεργασίες για την εξέλιξη και βελτίωση του LTE-A φυσικά δε σταμάτησαν εκεί και ήδη βρισκόμαστε στην Έκδοση 11. Αντίθετα, η εξέλιξη είναι συνεχής και υποστηρίζεται έντονα από την ισχυρή αποδοχή παγκοσμίως του LTE-A ως πρότυπο 4G. Μαζί με το Mobile WiMAX του WiMAX Forum, το LTE του 3GPP αποτελούν τα πλέον κυρίαρχα και εμπορικά διαθέσιμα συστήματα που μπόρεσαν να χαρακτηριστούν 4ης γενιάς. Ωστόσο, αν και το Mobile WiMAX προηγήθηκε του LTE (2006-2008), άργησε να υλοποιηθεί και έχασε σύντομα έδαφος εμπορικά, με αποτέλεσμα την προτίμηση των παρόχων ή και την μετακίνησή τους από Mobile WiMAX σε LTE. Οι ανώτερες υπηρεσίες που προσφέρει το LTE και το μικρότερο κόστος σε σχέση με τον ανταγωνισμό, το έχουν καταστήσει τον ισχυρότερο υποψήφιο τεχνολογίας 4G, και λόγω της σχεδόν καθολικής αποδοχής του, πιθανότατα το πρώτο παγκόσμια υιοθετημένο πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας.

3.8.2 Προδιαγραφές

Οι σχεδιαστικοί στόχοι του IMT-Advanced ήταν αυτοί που καθόρισαν τη βάση της θέσπισης των ελάχιστων προδιαγραφών του LTE-A. Το 3GPP τις ανανεώνει, προσαρμόζει και ενημερώνει όποτε κάτι τέτοιο κρίνεται απαραίτητο.

Αν και ο πρωταρχικός στόχος ήταν να καλυφθούν οι απαιτήσεις του IMT-Advanced, σε πολλά στοιχεία οι επιδόσεις ξεπερνούν κατά πολύ τις προδιαγραφές αυτές, αποτελώντας μια μακροπρόθεσμη εγγύηση για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών στο χώρο των κινητών τηλεπικοινωνιών. Πιο

συγκεκριμένα, ως μέγιστη επιτεύξιμη ταχύτητα τέθηκε να είναι τουλάχιστον το 1 Gbps για το downlink, ενώ για χρήστες με υψηλή κινητικότητα η ταχύτητα αναμένεται να φτάνει στα 100 Mbps. Ο στόχος για το uplink τέθηκε να είναι 500 Mbps. Η μέγιστη ταχύτητα χρήστη που υποστηρίζεται φτάνει τα 350 km/h.

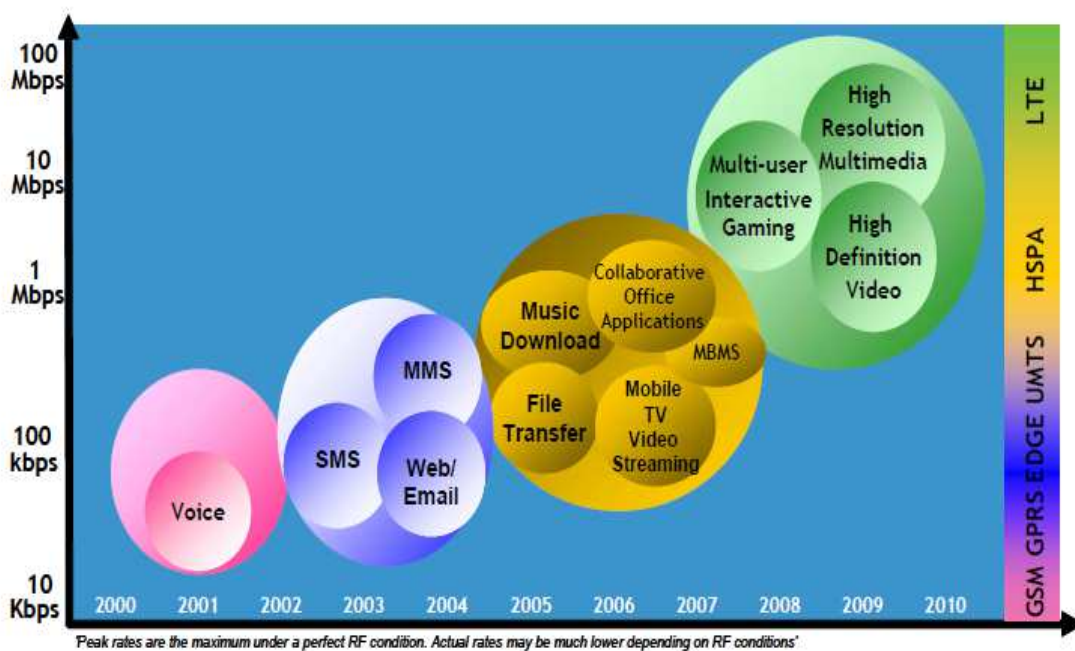
Πέρα από τη μέγιστη ταχύτητα, ορίστηκε η ελάχιστη συνολική χωρητικότητα του δικτύου, που εκφράζεται μέσω του βαθμού εκμετάλλευσης του φάσματος. Η μετρική αυτή ονομάζεται spectral efficiency ή φασματική απόδοση, μετριέται σε bps/Hz, και τέθηκαν στόχοι τόσο για το σύνολο του κελιού όσο και για τις περιοχές στα όριά του. Συγκεκριμένα, θεωρώντας ιδανικές συνθήκες και με ανάθεση όλων των διαθέσιμων πόρων στον υπό εξέταση σύνδεσμο, το σύστημα οφείλει να υποστηρίζει φασματική απόδοση της τάξης των 15 bps/Hz στο downlink και 6.75 bps/Hz στο uplink.

Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε και στη μέγιστη επιτρεπόμενη καθυστέρηση ώστε να διευκολυνθούν διαδραστικές εφαρμογές και άλλες υπηρεσίες για τις οποίες η καθυστέρηση είναι κρίσιμης σημασίας. Συγκεκριμένα, για μετάβαση από κατάσταση αδράνειας σε κατάσταση σύνδεσης η μέγιστη καθυστέρηση ορίστηκε στα 100 ms, ενώ αντίστοιχα για μετάβαση από κατάσταση αναμονής σε ενεργή κατάσταση στα 10 ms.

Οι απαιτήσεις για κάλυψη δικτύου, συγχρονισμό δικτύου καθώς και διαχείριση των πόρων συχνοτήτων ακολουθούν τις απαιτήσεις του LTE (Έκδοση 8). Έμφαση δόθηκε και στη συμβατότητα των τερματικών, αφού κρίθηκε απαραίτητο ένα τερματικό έκδοσης 8 ή έκδοσης 10 να λειτουργεί απροβλημάτιστα και ανεξάρτητα από το αν το περιβάλλον είναι LTE ή LTE-A. Το ίδιο σημαντικό είναι και η αρμονική συνύπαρξη μεταξύ των συστημάτων, δηλαδή η λειτουργία LTE και LTE-A στο ίδιο φάσμα, όπως και η ύπαρξη συστημάτων GSM EDGE Radio Access Network (GERAN)/UTRA/e-UTRA σε γειτονικά κανάλια. Η ευελιξία χρήσης φάσματος του LTE ισχύει και για το LTE-A με την προσθήκη της δυνατότητας χρήσης φάσματος μεγαλύτερου των 20MHz μέσω της συνάθροισης φορέων (carrier aggregation). Κατά αυτόν τον τρόπο, το μέγιστο φάσμα που μπορεί να ανατεθεί σε ένα μοναδικό χρήστη γίνεται πλέον 100 MHz.

3.9 Το LTE βελτιώνει την ποιότητα εμπειρίας

Αν οι 3G/3.5G τεχνολογίες, όπως το HSPA / EV-DO προσφέρουν σημαντικά υψηλότερα ποσοστά bit από τις 2G τεχνολογίες, με το LTE παρέχεται ακόμη υψηλότερη απόδοση αιχμής και πολύ χαμηλότερο latency. Όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα, αυτά τα δίκτυα προσφέρουν στην ποιότητα Εμπειρίας (QoE) των συνδρομητών τους προσδοκίες όσον αφορά τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, όπως Voice Over IP, Multi-User Gaming Over IP, High Definition Video On DEMAND και η Live TV. Αυτό θα συνεχίσει να βελτιώνει την ποιότητα της παροχής για όλες τις εφαρμογές (e-mail, internet περιήγηση, MMS, κ.λπ.). Η βελτιωμένη ταχύτητα και το χαμηλό latency που παρέχονται από LTE θα προσφέρουν μια πολύ βελτιωμένη εμπειρία του τελικού χρήστη για όλες τις εταιρικές υπηρεσίες.



Εικόνα 17 : Ασύρματες επικοινωνίες και εφαρμογές

Εκτός από τις τυπικές εταιρικές εφαρμογές, αναμένουμε ένα αυξημένο ενδιαφέρον από τις κάθετες αγορές, όπου στις πληροφορίες η ακρίβεια, η αξιοπιστία και η αμεσότητα είναι το κλειδί, όπως:

- ιατρικές εφαρμογές
- επικοινωνία μηχανής-προς - μηχανή
- πλοήγηση στο διαδίκτυο

Η μαζική αγορά θα επωφεληθεί από τη βελτίωση που παραδίδεται από το LTE για όλες τις εφαρμογές. Στην κορυφή αυτών των βελτιώσεων, το LTE θα επιτρέπει την εισαγωγή νέων υπηρεσιών, όπως βίντεο υψηλής ευκρίνειας (HD ή τηλεόραση) και multi-user διαδραστικά παιχνίδια :

- HD - τηλεόραση απαιτεί μεταξύ 10 έως 20 Mbits / s εύρους ζώνης (18 Mbits / s , για παράδειγμα με το Blue Ray πρότυπο) , η οποία είναι υψηλότερη από τις τρέχουσες δυνατότητες της HSPA .
- Interactive παιχνίδια πολλαπλών χρηστών είναι εξαιρετικά ευαίσθητα σε λανθάνουσα κατάσταση: το πολύ χαμηλό latency που προσφέρεται από το LTE (λιγότερο από 10ms σε σχέση με 60ms με HSPA) είναι το κλειδί.

Τέλος, το LTE θα διαδραματίσει καίριο ρόλο στην ανάπτυξη των N – urple υπηρεσιών στο σπίτι (IP TV , Internet , τηλέφωνο). Παρατηρούμε μια αυξανόμενη ανάγκη για ευρυζωνική πρόσβαση στο σπίτι και το ίδιο θα ισχύει και στις κινητές υπηρεσίες για δύο κύριους λόγους .

- Πρώτον, καθώς οι συνδρομητές έχουν συνηθίσει σε υψηλότερες ταχύτητες στο σπίτι , θα απαιτήσουν την ίδια ποιότητα των υπηρεσιών, έτσι ώστε να επωφεληθούν από μια απρόσκοπτη εμπειρία.
- Ο δεύτερη λόγος είναι η δυνατότητα προσφοράς μεγαλύτερου εύρους ζώνης σε απομακρυσμένες περιοχές όπου το throughput ADSL δεν είναι πλέον επαρκές και η οπτική ίνα μπορεί να μην είναι οικονομικά βιώσιμη σε σύγκριση με το LTE. Στις περιοχές αυτές η ίδια υποδομή LTE θα προσφέρει υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, καθώς και ευρυζωνική πρόσβαση στο σπίτι, εξασφαλίζοντας την οικονομία.

3.10 Επίλογος

Υπηρεσίες είτε είναι πραγματικού χρόνου, είτε μη πραγματικού χρόνου θα πρέπει να έχουν εξαιρετικά καλή QoS, κρατώντας το bit-rate όσο πιο χαμηλά γίνεται. Για να καλυφθούν αυτές οι απαιτήσεις έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι πακέτων προγραμματισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ QOE ΠΑΝΩ ΣΕ LTE

4.1 Εισαγωγή

Η προδιαγραφή LTE παρέχει Quality of Service (QoS) των πολυμεσικών υπηρεσιών με γρήγορη σύνδεση, υψηλή κινητικότητα και ασφάλεια. Ωστόσο, οι προδιαγραφές 3GPP δεν έχουν ορίσει αλγόριθμους προγραμματισμού για την υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο και μη πραγματικό χρόνο υπηρεσιών εφαρμογής. Αυτό έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας ποικιλίας από αλγόριθμους προγραμματισμού τα τελευταία χρόνια. Η επίδοση αποτελεί βασικό παράγοντα για την αξιολόγηση των αλγορίθμων προγραμματισμού. Ωστόσο, η ανάλυση των επιδόσεων και της αξιολόγησης για τους υπάρχοντες αλγόριθμους περιορίζονται σε QoS παραμέτρων (π.χ. από την άποψη της απόδοσης, την απώλεια πακέτων και την καθυστέρηση) ή / και μετρήσεις δικαιοσύνης. Είναι σαφές πώς αυτοί οι αλγόριθμοι προγραμματισμού εκτελούνται από την άποψη των μετρήσεων σε Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) (π.χ. βαθμολογία MOS), η οποία είναι πιο στενά συνδεδεμένη με την εμπειρία του τελικού χρήστη ή την αντιληπτή ποιότητα χρήστη.

Η σημαντική τεχνολογική ανάπτυξη, όπως είναι το Διαδίκτυο, τα πολυμέσα και οι υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο, οδήγησε στην προσδοκία ότι η τεχνολογία 3GPP Long-Term Evolution (LTE) θα πρέπει να είναι σε θέση να επιτύχει ένα υψηλό ποσοστό για την υποστήριξη των δεδομένων πολυμεσικών εφαρμογών (π.χ. VoIP, gaming και βίντεο ροής), μέσω του κινητού / ασύρματων δικτύων σε οποιαδήποτε στιγμή και οπουδήποτε.

Η LTE χρησιμοποιεί την ορθογώνια Διαίρεση συχνότητας Πολυπλεξίας, επίσης γνωστή ως OFDMA, ως μέσο για τη διαβίβαση των δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης. Η OFDMA παρέχει δεδομένα υψηλού ρυθμού με τη διαίρεση της ζώνης συχνοτήτων σε ένα σύμπλεγμα κοινών ορθογώνιων

subcarriers. Αυτό ενισχύει τις δυνατότητες του συστήματος, δεδομένου ότι προσφέρει δεδομένα υψηλού ρυθμού, υποστηρίζοντας διαφορετικό φάσμα πολυχρηστών, καθώς και τη δημιουργία επιλεκτικής αντίστασης στη συχνότητα εξασθένισης των ραδιοφωνικών σταθμών.

Η ποιότητα υπηρεσιών (QoS) του LTE πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκριθεί στην προσδοκία των χρηστών για βελτιστοποίηση της ισορροπίας μεταξύ της χρήσης και της δικαιοσύνης. Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και μη πραγματικού χρόνου θα πρέπει να έχουν εξαιρετική QoS και ελάχιστο bit-rate αντιστοίχως. Για να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις QoS για διαφορετικές υπηρεσίες, πολλοί αλγόριθμοι πακέτων προγραμματισμού έχουν αναπτυχθεί για να κατανέμουν περιορισμένη συχνότητα και πόρους σε χρόνο αποτελεσματικά και δίκαια, σε πραγματικό χρόνο και μη πραγματικό χρόνο κυκλοφορίας για όλες τις συσκευές μεταφοράς δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των κινητών και των ασύρματων δικτύων. Παραδείγματα τέτοιων αλγορίθμων προγραμματισμού, οι οποίοι αναλύονται στη συνέχεια είναι:

- Proportional Fairness (PF),
- Exponential Proportional Fairness
- Modified Largest Weight Delay First (M-LWDF)

4.2 Αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού

Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες προγραμματισμού που ακολουθούνται από τα ασύρματα δίκτυα, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν ποικιλία ροών όπως η κατανομή των πόρων. Οι διαδικασίες αυτές θα μπορούσε να είναι η απολαβή καναλιού, η μέση τιμή, καθώς και η καθυστέρηση στην άφιξη πακέτων.

1. Proportional Fairness (PF)

Ο αλγόριθμος Proportional Fairness (PF) ανήκει σε εκείνους τους αλγορίθμους που απασχολούνται με δίκτυα High Data Rate (HDR) και εφαρμόζονται για να επιλέξουν μεταξύ του συνολικού ρυθμού δεδομένων και του

δίκαιου ποσοστού δεδομένων του κάθε χρήστη. Ο PF εκχωρεί πόρους ραδιοσυχνοτήτων μετά την ανάλυση της ποιότητας εμπειρίας (QoE) του καναλιού, καθώς και το παρελθόν του χρήστη διεκπεραίωσης. Για το λόγο αυτό το ακίνητο PF καθίσταται ως μια τέλεια επιλογή προγραμματισμού για την κυκλοφορία σε μη-πραγματικό χρόνο. Προκειμένου να διασφαλισθεί η δίκαιη αντιμετώπιση μεταξύ των ροών , ο στόχος είναι να μεγιστοποιηθεί η οντότητα συνολικής απόδοσης του δικτύου.

2. Modified Largest Weight Delay First (M - LWDF)

Ο αλγόριθμος Modified Largest Weight Delay First (M – LWDF) είναι ένα είδος αλγορίθμου που σχεδιάστηκε για την υποστήριξη δεδομένων πολλών χρηστών σε πραγματικό χρόνο σε CDMA – HDR συστήματα. Ο M - LWDF θεωρεί παραλλαγές στιγμιαίου καναλιού και στην περίπτωση της υπηρεσίας βίντεο λαμβάνει υπόψη τις καθυστερήσεις σε αυτή την υπηρεσία. Ως εκ τούτου, διαμορφώνει πολλαπλά δεδομένα. Οι χρήστες έχουν διαφορετικής ποιότητας υπηρεσιών (QoS) απαιτήσεις. Ο αλγόριθμος M - LWDF κάνει χρήση των πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση του καναλιού, προσπαθώντας να διατηρήσει μια ισορροπία μεταξύ των σταθμισμένων καθυστερήσεων των πακέτων .

3. Exponential Proportional Fairness (EXP / PF)

Ο αλγόριθμος Exponential Proportional Fairness (EXP / PF) είναι ένα είδος αλγορίθμου, ο οποίος ρυθμίζει τις εφαρμογές πολυμέσων σε ένα σύστημα Adaptive Coding & Modulation/Time Division Multiplexing (ACM / TDM) του συστήματος. Αυτό το είδος αλγορίθμου μπορεί έχει ταυτόχρονα υπηρεσία στο χρήστη σε πραγματικό αλλά και σε μη - πραγματικό χρόνο, και έτσι μπορεί να ενισχύσει την προτεραιότητα της ροής σε πραγματικό χρόνο σε σχέση με τη ροή σε μη πραγματικό χρόνο.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στόχος της πτυχιακής εργασίας ήταν να παρουσιαστεί η Ποιότητα Εμπειρίας στα Long Term Evolution δίκτυα μέσα από την μελετή τους, δεισιδύοντας στις έννοιες των QoS και QoE αλλά και αναλύοντας το δίκτυο LTE περιγράφοντας τα χαρακτηριστικά του αλλά και την δομή του. Στο τέλος έγινε σαφής η σημαντικότητα της Ποιότητας εμπειρίας, καθώς οι απαιτήσεις των σύγχρονων καιρών, οδηγουν σε ένα ενοποιημένο και λειτουργικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας, το οποίο θα επικεντρώνεται ολοένα και περισσότερο στους χρήστες, παρέχοντας τους πληθώρα υπηρεσιών.

Ο τομέας της κινητής τηλεφωνίας είναι ένας ταχύτατα εξελισσόμενος τομέας ο οποίος στις μέρες μας βρίσκεται σε ένα στάδιο μετεξέλιξης. Οι Τηλεπικοινωνίες και η Πληροφορική είναι θεμέλιοι λίθοι για όλες τις επιχειρήσεις, ανεξαρτήτως του αντικειμένου στο οποίο δραστηριοποιούνται, από την παραγωγική διαδικασία και τη διαχείριση πόρων, ως την προώθηση και τη διάθεση των προϊόντων και υπηρεσιών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τεχνολογικοί κολλοσοί οργανισμοί και φορείς να συμμετέχουν σε έναν αδιάκοπο αγώνα δρόμου ώστε να καινοτομήσουν και να είναι οι πρώτοι που θα εξελίσουν τις ασύρματες τεχνολογίες.

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει επίσημος ορισμός για τις ασύρματες τεχνολογίες. Κάποιες προσπάθειες προσανατολίζονται σε μια τεχνολογία multi gigabit ταχύτητας όπως την LTE-A (Long Term Advanced), όπου η εξέλιξη θα επιτευχθεί μέσα από έναν τρόπο που αξιοποιούνται συγκεκριμένες ζώνες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (millimeter-wave bands) χρησιμοποιώντας κεραία 64 στοιχείων που θα πρέπει να τοποθετηθεί στις φορητές συσκευές. Άλλες προσπάθειες επικεντρώνονται στην εξ ολοκλήρου αλλαγή της υφιστάμενης αρχιτεκτονικής των δικτύων με χρήση μεγάλων τμημάτων (blocks) φάσματος υψηλής συχνότητας σε συνδυασμό με την MIMO τεχνολογία. Όπως μαρτυρούν όλες οι προσπάθειες η τεχνολογία θα είναι έτοιμη γύρω στο 2020 και υπόσχεται την συνεχή και απανταχού διαθεσιμότητα με αδιάλειπτη διαλειτουργικότητα,

υψηλής χωρητικότητας δίκτυα με 1.000 φορές γρηγορότερες ταχύτητες, περισσότερο λογισμικό και virtual λειτουργίες δικτύων.

Η νέα γενιά, που ίσως να ονομαστεί 5G, όνομα που χρησιμοποιείται σε ορισμένες ερευνητικές μελέτες και δεν είναι επίσημο, αναμένεται να βελτιώσει τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές που προσφέρονται από αυτό. Με την τεχνολογία αυτή θα θεωρείται ο χρήστης ως επίκεντρο, σε αντίθεση με τα 3G που έχουν τον χειριστή ή τα 4G που έχουν την υπηρεσία ως επίκεντρο.

Το νέο δίκτυο 5G αν θα είναι μια νέα τεχνολογία πρόσβασης στο Internet αποτελεί μια ερώτηση που παραμένει ανοιχτή και που η κοινότητα αναμένεται να δώσει την απάντηση και να πάρει θέση.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

CHOI J. (2009), Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE): Concept, Architecture, Parameters and Performance, KAIST, Korea.

LORENZ P. (n.d.), QoS and QoE in the Next Generation Networks and Wireless Networks, IEEE.

MAYURI, R. & MANISH, P. (2012), *4G Wireless Technology: A Survey Paper*, Proceedings of the National Conference "NCNTE-2012" at Fr. C.R.I.T., Vashi, Navi Mumbai.

FRICKE, M. HECKWOLF, A. HERBER, R. NITSCH, R. SCHWARZE, S. VOB, S. & WEVERING, S. (2012), *Requirements of 4G-Based Mobile Broadband on Future Transport Networks*, Journal of Telecommunications and Information Technology, Germany.

SWEDENBURG, D. & PFLUM, M. (2010), *4G Wireless Technology*, Airspan Technical Symposium.

DELOIT, (2011), *The impact of 4G technology on commercial interactions, economic growth, and U.S. competitiveness*.

[MUVVA, B. MAIPAKSANA, B. & REDDY, M. (2012), *4G and Its Future Impact: Indian Scenario*, International Journal of Information and Electronics Engineering, vol. 2, No. 4, India.

BHANDARE, T. (2008), LTE and WiMAX Comparison, Sants Clara University.

Ali Alfayly, Is-Haka Mkwawa, Lingfen Sun & Emmanuel Ifeakor (2012), QoE-based Performance Evaluation of Scheduling Algorithms over LTE, School of Computing and Mathematics, Plymouth University, U.K.

Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2011). 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. Elsevier, ISBN: 978-0-12-385489-6.

3GPP TR 36.913 v11.o.0. (2012). Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced) (Release 11).

3gamerica. (2010). Transition to 4G: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced. Rysavy Research/3G Americas. [Online] Available: http://www.3gamerica.org/documents/3G_Americas_RysavyResearch_HSPA-LTE_Advanced_FINAL.pdf

ALI ALFAYLY, IS-HAKA MKWAWA, LINGFEN SUN & EMMANUEL IFEACHOR (2012), QoE-based Performance Evaluation of Scheduling Algorithms over LTE, School of Computing and Mathematics, Plymouth University, U.K.

ΚΩΤΣΟΠΟΥΛΟΣ Σ., ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΙΔΗΣ Γ. (1997), Κινητή Τηλεφωνία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

RAPPAPORT TH. S. (2006), Ασύρματες Επικοινωνίες - Αρχές και Πρακτική, 2η έκδοση, Εκδόσεις Γκιούρδας (μεταφρασμένο).

ΘΕΟΛΟΓΟΥ Μ. Ε. (2007), Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Τζιόλα.

ΚΑΝΑΤΑΣ Α., ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Φ., ΠΑΝΤΟΣ Γ. (2008), Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

JOHNSTON A., SINNREICH H. (2006), "Internet Communications Using SIP, 2nd edition", Wiley Publishing.

CASNER S. & JACOBSON V. (1999), "Compressing IP/UDP/RTP headers for low-speed serial links." RFC 2508, Internet Engineering Task Force.

International Telecommunication Union, "Methods for Subjective Determination of Transmission Quality," ITU Recommendation P.800.

International Telecommunication Union, "Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ), An Objective Method for End-to-end Speech Quality Assessment of Narrowband Telephone Networks and Speech Codecs," ITU-T Recommendation P.862, Feb.2001.

European Telecommunications Standards Institute, "Speech Communication Quality from Mouth to Ear of 3.1 kHz Handset Telephony across Networks," Tech. Report. ETR 250.

ITU, "Recommendation G.107. E-model, a computational model for use in transmission planning."

IXIA (2011), Quality of Service (QoS) and Policy Management in Mobile Data Networks.

EKSTROM H. (2009), QoS Control in the 3GPP Evolved Packet System, IEEE Communications Magazine.

CANFORA G., Di PENTA M., ESPOSITO R., & VILLANI M. (n.d.), A Framework for QoS-Aware Binding and Re-Binding of Composite Web Services, Research Centre on Software Technology, University of Sannio, Italy.

MOSER O., ROSENBERG F. & DUSTDAR S. (2008), Non-Intrusive Monitoring and Service Adaptation for WS-BPEL, Technical University Vienna, Austria.

