



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ LTE ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ LTE ΜΕ ΧΡΗΣΗ JAVA SE**

**Θεόδωρος Δ. Τσιούτσιας
Δημήτριος Π. Παυλής**

Επιβλέπουσα: Αλωνισιώτη Αθανασία, Επίκουρος Καθηγήτης

ΑΘΗΝΑ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2015

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάλυση Δικτύου LTE και Υλοποίηση Λογισμικού
Προσομοίωσης Δικτύου LTE Με Χρήση JAVA SE

Θεόδωρος Δ. Τσιούτσιας

A.M.: 1115200700266

Δημήτριος Π. Παυλής

A.M.: 1115200700233

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Αλωνισιώτη Αθανασία, Επίκουρος Καθηγήτης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σύστημα Long Term Evolution (LTE) του Παγκόσμιου Συστήματος Κινητών Τηλεπικοινωνιών (UMTS) γνωστό και ως Εξελιγμένο Σύστημα Πακέτων (EPS) είναι μια καινοτόμα κίνηση στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών. Μια τέτοια επαναστατική κίνηση υποκινείται από την ακατάπαυστη αύξηση της ζήτησης συνδέσεων γρήγορων ταχυτήτων στα δίκτυα, χαμηλών χρόνων καθυστέρησης, χαμηλών ρυθμών σφαλμάτων και ελαστικότητας διότι οι νέοι χρήστες και οι εφαρμογές δικτύων εξαρτώνται πολύ από αυτές τις απαιτήσεις για να απολαμβάνουν επαρκή λειτουργικότητα και απόδοση.

Το 3GPP έχει ερευνήσει το LTE του UMTS για την κάλυψη μελλοντικών απαιτήσεων και την διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας του προτύπου. Ο στόχος του είναι η τεχνολογία ραδιο-πρόσβασης με υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, χαμηλότερες λανθάνουσες καταστάσεις και βέλτιστη υποστήριξη για τις υπηρεσίες πακέτων, όπως multimedia, παιχνίδια και υπηρεσίες διαδικτύου. Η τηλεφωνία θα υποστηριχθεί από τη μεταφορά φωνής μέσω IP πρωτοκόλλου (VoIP) με τουλάχιστον εξίσου καλή ποιότητα όπως στο κύκλωμα μεταγωγής τηλεφωνίας.

Το 3GPP LTE υπόσχεται υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και στην ανερχόμενη και στην κατερχόμενη ζεύξη, φασματική επάρκεια, χαμηλούς χρόνους καθυστέρησης και χαμηλό ρυθμό σφαλμάτων. Αυτοί οι στόχοι λειτουργίας και επίδοσης του 3GPP LTE είναι αξιέπαινοι και μπορούν να επιτευχθούν με αρκετή σιγουριά.

Το πρότυπο του LTE είναι σχεδιασμένο, αξιοποιώντας πληθώρα τεχνολογιών, ώστε να παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στη καθοδική ζεύξη (downlink) της τάξης των 300 Mbps και στην ανοδική (uplink) μέχρι και 75 Mbps. Επίσης παρέχει Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service - QoS) η οποία ορίζει καθυστέρηση διάδοσης μικρότερη από 5ms στο δίκτυο ραδιο-πρόσβασης.

Κύριος στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός λογισμικού προσομοίωσης που να υπακούει στις θεμελιώδεις αρχές του δικτύου LTE και η υλοποίηση βασικών οντοτήτων του Εξελιγμένου Συστήματος Πακέτων, όπως επίσης η εξήγηση και ο σχολιασμός των λειτουργιών αυτής της προσομοίωσης αλλά και των κύριων συστατικών του δικτύου LTE.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Συστήματα Τηλεπικοινωνιών

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη, 3GPP, κινητή τηλεφωνία, Εξελιγμένος πυρήνας πακέτων, προσομοίωση

ABSTRACT

The Long Term Evolution (LTE) System is a standard of the Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), also known as Evolved Packet System (EPS). It is an innovation in the wireless communications. This revolution is powered by the non stop increase in demand for faster networks with low latency, low rate of errors and elasticity, because of all the new users and applications depend on all the above mentioned requirements to function efficiently.

3GPP has already held researches to cover LTE System's future needs and ensure the standard's reliability. The purpose of these researches is the development of a radio technology with high data rates, lower latency and optimal support for packet services such as multimedia, gaming and network services. Telephony is going to be supported with at least the same quality as the packet-switched system.

LTE System promises high downlink and uplink rates, range sufficiency, minimum latency and packet error rate. The targeted system function and performance are going to be met for sure.

LTE Standard is designed, making use of lots of groundbreaking new technologies, in order to achieve downlink speed of up to 300 Mbps and downlink speed of up to 75 Mbps. Moreover the system's Quality of Service specifies latency at less than 5ms in radio access technology.

The main purpose of this Project is the implementation of a system, subjected to the fundamental principals of the LTE network that simulates the basic functionality of the LTE system's entities and to comment and explain its function.

SUBJECT AREA: Telecommunication Systems

KEYWORDS: Long Term Evolution, 3GPP, mobile telephony, Evolved Packet Core, simulation

Ταπεινά αφιερωμένη στις οικογένειές μας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την καθηγήτριά μας, κυρία Αθανασία Αλωνισιώτη, καθώς και όσους μας στήριξαν κατά την περίοδο ανάπτυξής της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 Γενική Επισκόπηση	13
1.1.1 Από το UTS στο LTE	13
1.1.2 Η εξέλιξη στο 4G	14
1.1.3 Οι Απαιτήσεις του LTE/SAE	14
1.1.4 Καταναλωτικές απαιτήσεις	15
1.1.5 Η Διαδικασία τυποποίησης του 3GPP.....	15
2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ	17
2.1 Εισαγωγή.....	17
2.2 Συνολική επισκόπηση αρχιτεκτονικής	17
2.3 Ο Πυρήνας του Δικτύου	18
2.3.1 Στοιχείο Εφαρμογής Πολιτικής και Χρέωσης	18
2.3.2 Home Subscription Server	19
2.3.3 Packet Data Network Gateway	19
2.3.4 Serving Gateway (S-GW)	20
2.3.5 Mobility Management Entity (MME)	20
2.4 Δίκτυο Πρόσβασης	20
2.5 Αρχιτεκτονική Περιαγωγής (Roaming)	21
2.6 Διασύνδεση με τα άλλα δίκτυα	22
2.7 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων.....	22
2.7.1 User Plane	22
2.7.2 Control Plane.....	22
2.8 Οι Διεπαφές του Δικτύου E-UTRAN.....	22
2.9 Radio Interface Πρωτόκολλα	23
2.9.1 Packet Data Convergence Protocol (PDCP)	23
2.9.2 Radio Link Controller (RLC).....	24
2.9.3 Medium Access Control (MAC)	24

2.9.4	Physical layer (PHY)	24
3.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΡΟΕΣ ΤΟΥ LTE	26
3.1	Εισαγωγή.....	26
3.2	Αρχική σύνδεση.....	26
3.3	Αποσύνδεση διεπαφής S1	27
3.4	Αποσύνδεση από το δίκτυο	27
4.	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	29
4.1	Γενικά	29
4.2	Το δίκτυο	29
4.2.1	Επιλογές και παραδοχές σχεδίασης	29
4.3	Το κινητό (UE).....	34
4.4	Επεξήγηση των βασικών λειτουργιών.....	37
4.4.1	Σύνδεση στο δίκτυο (Initial Attach).....	37
4.4.2	Κλήση φωνής (VoIP)	38
4.4.3	Μήνυμα Κειμένου (SMS)	39
4.4.4	Περιήγηση στο Διαδίκτυο (Data)	40
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	41
5.1	Επόμενα βήματα	41
	ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ	42
	ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	43
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σχέσεις μεταξύ στοιχείων του δικτύου	29
Σχήμα 2: Διάγραμμα μηνυμάτων αρχικής σύνδεσης	38
Σχήμα 3: Διάγραμμα μηνυμάτων κλήσης φωνής.....	39
Σχήμα 4: Διάγραμμα αποστολής γραπτών μηνυμάτων.....	39
Σχήμα 5: Διάγραμμα μεταφοράς δεδομένων περιήγησης	40
Σχήμα 6: Επόμενο βήμα εφαρμογής	41

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Γραφική διεπαφή Σταθμού Βάσης	30
Εικόνα 2: Γραφική διεπαφή χρήστη κόμβου MME	31
Εικόνα 3: Γραφική διεπαφή χρήστη στοιχείου SGW	32
Εικόνα 4: Γραφική διεπαφή χρήστη στοιχείου PGW	33
Εικόνα 5: Γραφική διεπαφή χρήστη στοιχείου SIP	34
Εικόνα 6: Οθόνη ρυθμίσεων εφαρμογής κινητού	35
Εικόνα 7: Οθόνη περιήγησης διαδικτύου	36
Εικόνα 8: Οθόνη κλήσης κινητού.....	36
Εικόνα 9: Οθόνη μηνυμάτων εφαρμογής κινητού.....	37

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μετάφραση αγγλικής ορολογίας στην ελληνική γλώσσα.....	42
Πίνακας 2: Ακρωνύμια και ανάπτυξή τους.....	43

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο Ανάλυση Δικτύου LTE και Υλοποίηση Λογισμικού Προσομοίωσης Δικτύου LTE Με Χρήση JAVA SE, αναπτύχθηκε με σκοπό την έρευνα σε βάθος των θεμελιωδών αρχών που διέπουν τη λειτουργία ενός συστήματος LTE.

Το θέμα επιλέχθηκε με βάση τα ενδιαφέροντά μας και λόγω της θέλησής μας να ασχοληθούμε με την ανάπτυξη εφαρμογών σε περιβάλλον Java και Android.

Η εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του ΕΚΠΑ, το Νοέμβριο του 2015.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Επισκόπηση

Η πρόσφατη αύξηση της κινητής χρήσης δεδομένων και η εμφάνιση νέων εφαρμογών έχουν εμπνεύσει το 3GPP για να εργαστεί πάνω στο LTE.

Το LTE του UMTS είναι ένα από τα πιο πρόσφατα βήματα σε μια σειρά προώθησης κινητών συστημάτων τηλεπικοινωνιών. Ο σκοπός του προγράμματος, το οποίο ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 2004, ήταν να καθορίσει την μακροπρόθεσμη εξέλιξη του UMTS του 3GPP. Το UMTS ήταν επίσης ένα 3GPP πρόγραμμα που μελέτησε διάφορες υποψήφιες τεχνολογίες πριν επιλεγεί το Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) για το δίκτυο ραδιο-πρόσβασης (RAN).

Οι όροι UMTS και WCDMA είναι τώρα συμβατοί παρόλο που δεν ήταν σε καμία περίπτωση πριν επιλεγεί αυτή η τεχνολογία. Με τον ίδιο τρόπο το πρόγραμμα LTE είναι αναπόφευκτα συνδεδεμένο με την υποκείμενη τεχνολογία η οποία περιγράφεται ως εξέλιξη του UMTS παρόλο που το LTE και το UMTS έχουν πολύ λίγα κοινά.

Το UMTS RAN έχει δύο κυρίως στοιχεία :

1. Το UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) , το οποίο είναι το air interface περιλαμβάνοντας το εξοπλισμό του χρήστη (UE) ή κινητό τηλέφωνο, και
2. Το UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) το οποίο περιλαμβάνει τον Radio Network Controller (RNC) και τον σταθμό βάσης που είναι γνωστό ως Node B (NB).

Επειδή το LTE είναι η εξέλιξη του UMTS , τα ισοδύναμα στοιχεία του LTE συνεπώς ονομάζονται Evolved UTRA (E-UTRA) και Evolved UTRAN (E-UTRAN). Αυτοί είναι οι επίσημοι όροι που χρησιμοποιούνται για να περιγραφεί το RAN και αναμένεται να βελτιώσουν την απόδοση του τελικού χρήστη, τον τομέα της χωρητικότητας και την μείωση του latency στο επίπεδο του χρήστη με αποτέλεσμα να βελτιωθεί σημαντικά η εμπειρία των χρηστών με πλήρη κινητικότητα. Ωστόσο το σύστημα είναι κάτι περισσότερο από το RAN δεδομένου ότι υπάρχει ένα παράλληλο 3GPP πρόγραμμα ονομαζόμενο System Architecture Evolution (SAE), το οποίο ορίζει όλα τα νέα IP πακέτα του Core Network (CN) γνωστό ως Evolved Packet Core (EPC).

Ο συνδυασμός του EPC και του evolved RAN (E-UTRA, E-UTRAN) είναι το Evolved Packet System (EPS).

Το LTE έχει τεθεί σε απαιτήσεις απόδοσης που στηρίζονται στις τεχνολογίες του φυσικού επιπέδου όπως την ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)) και τα συστήματα πολλαπλής εισόδου-πολλαπλής εξόδου (Multiple-Input Multiple-Output -MIMO)), έξυπνες κεραίες για να επιτύχουν αυτούς τους στόχους.

Οι κύριοι στόχοι του LTE είναι ο υψηλότερος ρυθμός απόδοσης, χαμηλότερο κόστος και χαμηλότερο latency, ώστε να επιτρέπει ευέλικτη επέκταση φάσματος στο υπάρχον ή στο νέο φάσμα συχνότητας και να επιτρέπει την συνύπαρξη με άλλες 3GPP ράδιο τεχνολογίες πρόσβασης (Radio Access Technologies-RATs).

1.1.1 Από το UTS στο LTE

Μετά την έκδοση 99, το 3GPP μετά από ένα χρόνο σταμάτησε την ονοματοδοσία εκδόσεων και επέλεξε ένα νέο σχήμα που ξεκίνησε με την έκδοση 4. Η έκδοση 4 παρουσίασε την 1.28 Mgrps περιορισμένης ζώνης έκδοση του W-CDMA γνωστή ως

Time Domain Synchronous Code Division Multiple Access (TD-SCDMA). Μετά από αυτό ήταν η έκδοση 5 στην οποία το High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) εισήγαγε τις packet-based υπηρεσίες δεδομένων στο UMTS με τον ίδιο τρόπο που το GPRS έκανε για το GSM στην έκδοση 97.

Η ολοκλήρωση των πακέτων δεδομένων για το UMTS επιτεύχθηκε στην έκδοση 6 με την προσθήκη του High Speed Uplink Packet Access (HSUPA), αν και ο επίσημος όρος για αυτή την τεχνολογία είναι Enhanced Dedicated Channel (E-DCH). HSDPA και HSUPA είναι πλέον γνωστά ως High Speed Packet Access (HSPA).

Η έκδοση 7 περιείχε την πρώτη εργασία πάνω στο LTE/SAE με την ολοκλήρωση των μελετών σκοπιμότητας και τις περαιτέρω βελτιώσεις που έγιναν στο HSPA όπως η κατερχόμενη σύνδεση MIMO, 64QAM στην κατερχόμενη σύνδεση και 16QAM στην ανερχόμενη σύνδεση.

Η έκδοση 8 συνεχίζει να εξελίσσεται με την προσθήκη μικρότερων χαρακτηριστικών όπως το dual cell HSDPA και 64QAM με MIMO. Η κύρια εργασία της έκδοσης 8 ωστόσο είναι η προδιαγραφή των LTE και SAE.

Η εργασία πέρα από την έκδοση 8 είναι υπό εξέλιξη με την οποία το LTE θα ενισχυθεί με την έκδοση 10 και προωθείται ως LTE-Advanced, μια υποψήφια τεχνολογία για την διεθνή ένωση τηλεπικοινωνιών (ITU) το πρόγραμμα IMT-Advanced, γνωστό ως 4G.

1.1.2 Η εξέλιξη στο 4G

Οι αρμοδιότητες των ραδιοδιεπαφών για κινητά WiMax και UMB είναι πολύ παρόμοιες με εκείνους του LTE. Και τα τρία συστήματα υποστηρίζουν ευέλικτα εύρη ζώνης, FDD/TDD duplexing, OFDMA στην κατερχόμενη σύνδεση και σχήματα MIMO. Υπάρχουν μερικές διαφορές όπως στη ανερχόμενη σύνδεση του LTE που είναι βασισμένη στο SC-FDMA έναντι του OFDMA στα κινητά WiMax και UMB. Η απόδοση των τριών συστημάτων επομένως αναμένεται να είναι παρόμοια με μικρές διαφορές.

Παρόμοια με την πρωτοβουλία IMT-2000, η ομάδα εργασίας ITU-R 5D έχει εκφράσει τις απαιτήσεις για IMT-προηγμένα συστήματα. Μεταξύ των άλλων αυτές οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν μέσους όρους ρυθμών δεδομένων κατερχόμενης σύνδεσης 100Mbit/s στο δίκτυο ευρείας περιοχής και μέχρι 1Gbit/s για τα σενάρια τοπικής πρόσβασης ή χαμηλής κινητικότητας. Επίσης στην διάσκεψη παγκόσμιων ραδιοεπικοινωνιών το 2007 (WRC- 2007), το μέγιστο ενός νέου φάσματος 428MHz προσδιορίζεται για τα IMT συστήματα που περιλαμβάνουν επίσης ένα φάσμα 136MHz καταμετρημένο σε συνολική βάση.

Και το 3GPP και το IEEE 802LMSC αναπτύσσουν τα πρότυπά τους για την υποβολή τους στο IMT- advanced. Ο στόχος των προτύπων, του IMT-advanced και του IEEE 802.16m είναι να ενισχυθούν περαιτέρω τα φασματικά ποσοστά αποδοτικότητας και των δεδομένων εφόσον υποστηρίζουν την συμβατότητα με προηγούμενες εκδόσεις. Ως τμήμα των εξελίξεων των προτύπων του LTE-advanced και του IEEE 802.16, διάφορες ενισχύσεις συμπεριλαμβανομένης της υποστήριξης για ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης από 20 MHz και την υψηλότερη τάξη του MIMO συζητούνται για να καλύψουν τις απαιτήσεις του IMT-advanced.

1.1.3 Οι Απαιτήσεις του LTE/SAE

Το E-UTRA αναμένεται να υποστηρίξει διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένου του web browsing, FTP, video streaming, VoIP, online gaming,

real time video, push-to-talk και push-to-view. Επομένως το LTE είναι σχεδιασμένο για υψηλό ρυθμό δεδομένων και χαμηλή καθυστέρηση του συστήματος. Η ικανότητα του εύρους ζώνης ενός UE αναμένεται να είναι 20MHz για μετάδοση και λήψη. Ο πάροχος υπηρεσιών μπορεί ωστόσο να αναπτύξει τις κυψέλες με οποιοδήποτε από τα εύρη ζώνης που απαριθμούνται στον πίνακα. Αυτό δίνει ευελιξία στους παρόχους υπηρεσιών για να προσαρμόσουν την προσφορά εξαρτώμενη από το ποσό του διαθέσιμου φάσματος ή την δυνατότητα να αρχίσει με το περιορισμένο φάσμα για χαμηλότερο άμεσο κόστος και αύξηση του φάσματος για πρόσθετη χωρητικότητα.

Πέρα από τις μετρικές το LTE στοχεύει επίσης στην ελαχιστοποίηση του κόστους και της κατανάλωσης ισχύος εξασφαλίζοντας την αντίστροφη συμβατότητα και οικονομικώς αποδοτική μετακίνηση από τα συστήματα UMTS. Οι ενισχυμένες πολλαπλής διανομής υπηρεσίες, η υποστήριξη για την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) και η ελαχιστοποίηση του αριθμού των επιλογών και περιπτώσεων χαρακτηριστικών στην αρχιτεκτονική είναι μέσα στους στόχους. Η φασματική απόδοση στην κατερχόμενη σύνδεση (DL) του LTE θα είναι 3 έως 4 φορές αυτή της έκδοσης 6 HSDPA ενώ η ανερχόμενη σύνδεση (UL) θα είναι 2 έως 3 φορές αυτής της έκδοσης 6 HSUPA. Επιπλέον περισσότερες μεταβιβάσεις στα συστήματα 2G/3G από το LTE έχουν σχεδιαστεί να είναι ομοιόμορφες.

1.1.4 Καταναλωτικές απαιτήσεις

Οι ευρυζωνικές συνδρομές αναμένονται να φτάσουν στα 3,4 δισεκατομμύρια μέχρι το 2014 και περίπου 80% των καταναλωτών που θα χρησιμοποιήσουν την κινητή ευρυζωνικότητα. Υπάρχουν ενισχυτικές προβλέψεις ισχυρών στοιχείων της αυξανόμενης ευρυζωνικής χρήσης. Οι καταναλωτές καταλαβαίνουν και εκτιμούν τα πλεονεκτήματα της κινητής ευρείας ζώνης. Οι περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούν ήδη τα κινητά τους τηλέφωνα και πολλοί συνδέουν τα notebooks στα ασύρματα LANs.

Το βήμα προς την πλήρη κινητή ευρεία ζώνη είναι διαισθητικό και απλό, ειδικά με το LTE που προσφέρει τη παντού κάλυψη και περιαγωγή με την ύπαρξη των 2G και 3G δικτύων. Η εμπειρία με την τεχνολογία HSPA δείχνει ότι όταν οι χειριστές παρέχουν καλή κάλυψη υπηρεσιών και τερματικών, η κινητή ευρυζωνική χρήση απογειώνεται. Η κυκλοφορία των πακέτων δεδομένων προσπέρασε την κυκλοφορία φωνής κατά την διάρκεια του Μαΐου 2007, βασισμένο σε ένα παγκόσμιο μέσο όρο φορτίου του WCDMA δικτύου. Αυτό ήταν κυρίως λόγω της εισαγωγής του HSPA στα δίκτυα. Σε πολλές περιπτώσεις η κινητή ευρεία ζώνη μπορεί να ανταγωνιστεί με τη σταθερή ευρεία ζώνη στην τιμή, στην απόδοση, στην ασφάλεια και στην ευκολία. Οι χρήστες μπορούν να ξοδέψουν τη λιγότερη χρονική οργάνωση της σύνδεσης WLAN, ανησυχώντας για την ασφάλεια ή χάνοντας την κάλυψη και περισσότερο χρόνο χρησιμοποιώντας την υπηρεσία. Διάφορες ευρυζωνικές εφαρμογές ενισχύονται σημαντικά με την κινητικότητα. Τα κοινοτικά sites, οι μηχανές αναζήτησης, εφαρμογές παρουσιάσεων και οι σελίδες με περιεχόμενο διανομής όπως το YouTube είναι μερικά παραδείγματα. Με την κινητικότητα, αυτές οι εφαρμογές γίνονται σημαντικά πολυτιμότερες στους χρήστες. Το περιεχόμενο που παράγεται από τον χρήστη είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον, επειδή αλλάζει τα σχέδια της κυκλοφορίας που καθιστούν τη δυνατότητα της ανερχόμενης σύνδεσης πιο σημαντική από ποτέ. Οι υψηλοί ρυθμοί και το σύντομο latency του LTE επιτρέπουν επίσης τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως το gaming και η τηλεδιάσκεψη.

1.1.5 Η Διαδικασία τυποποίησης του 3GPP

Το συνεργάσιμο πρότυπο τυποποίησης που τόσο επιτυχώς παρήγαγε το σύστημα GSM έγινε η βάση για την ανάπτυξη του συστήματος UMTS. Προς όφελος της

παραγωγής των παγκόσμιων προτύπων, η συνεργασία του UMTS και του GSM επεκτάθηκε πέρα από το ETSI για περιβάλει τις τοπικές Οργανώσεις Ανάπτυξης Προτύπων (Standards Development Organizations (SDOs)) από την Ιαπωνία (ARIB και TTC), την Κορέα (TTA), την Βόρεια Αμερική (ATIS) και την Κίνα (CCSA).

Έτσι γεννήθηκε το 3GPP, το οποίο μέχρι το 2008 υπερηφανευόταν για πάνω από 300 μεμονωμένες επιχειρήσεις-μέλη. Η επιτυχής δημιουργία μιας τέτοιας μεγάλης και σύνθετης προδιαγραφής συστημάτων όπως αυτή για το UMTS ή το LTE απαιτεί ένα καλά δομημένο οργανισμό με πραγματικές εργασιακές διαδικασίες. Το 3GPP διαιρείται σε τέσσερις ομάδες τεχνικών προδιαγραφών (Technical Specification Groups-TSGs), κάθε μια από τις οποίες αποτελείται από ένα αριθμό ομάδων εργασίας (Working Groups-WGs) με την ευθύνη για μια συγκεκριμένη πτυχή των προδιαγραφών.

Ένα διακριτικό χαρακτηριστικό των μεθόδων εργασίας αυτών των ομάδων είναι η με συναίνεση οδηγημένη προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων. Αυτό διευκολύνει την ανοιχτή συζήτηση και την επαναληπτική βελτίωση των τεχνικών προσφορών, οδηγώντας συχνά στην συγχώνευση των προσφορών των πολλαπλάσιων επιχειρήσεων στην αναζήτηση για την βέλτιστη λύση. Όλα τα έγγραφα που υποβάλλονται στο 3GPP είναι διαθέσιμα δημόσια στη σελίδα του 3GPP, συμπεριλαμβανομένων των συνεισφορών από τις μεμονωμένες επιχειρήσεις, τις τεχνικές αναφορές και τις τεχνικές προδιαγραφές. Στην επίτευξη της συναίνεσης γύρω από μια τεχνολογία, τα WGs λαμβάνουν υπόψη ποικίλες εκτιμήσεις που περιλαμβάνουν αλλά που δεν περιορίζονται στην απόδοση, το κόστος εφαρμογής, την πολυπλοκότητα και τη συμβατότητα με τις προηγούμενες εκδόσεις ή επεκτάσεις.

Οι προσομοιώσεις συχνά χρησιμοποιούνται για να συγκρίνουν την απόδοση των διαφορετικών τεχνικών, ειδικά στα WGs που εστιάζουν στο φυσικό επίπεδο (air interface) και στις απαιτήσεις της απόδοσης. Αυτό απαιτεί την συναίνεση των εμπλεκόμενων για τις τιμές των παραμέτρων προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται για την σύγκριση, με σκοπό να υλοποιηθούν τα σενάρια που θα ενδιαφέρουν τους παρόχους των δικτύων.

Η διαδικασία τυποποίησης του LTE εγκαινιάστηκε σε ένα εργαστήριο στο Τορόντο τον Νοέμβριο του 2004, όταν μια ευρεία σειρά των επιχειρήσεων που συμμετέχουν στην επιχείρηση κινητής επικοινωνίας παρουσίασαν τα οράματά τους για την μελλοντική εξέλιξη των προδιαγραφών που αναπτύσσονται στο 3GPP. Αυτά τα οράματα περιέλαβαν και τις δύο αρχικές αντιλήψεις για τις απαιτήσεις οι οποίες έπρεπε να ικανοποιηθούν και οι προτάσεις για τις κατάλληλες τεχνολογίες να ανταποκρίνονται με εκείνες τις απαιτήσεις.

2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ

2.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέραμε , το LTE έχει σχεδιαστεί να υποστηρίζει μόνο packet switched υπηρεσίες σε αντίθεση με το circuit switched μοντέλο προηγούμενων κυψελωδών συστημάτων. Σκοπός του είναι να παρέχει συνδεσιμότητα Internet Protocol (IP) μεταξύ User Equipment (UE) και του Packet Data Network (PDN) χωρίς καμία διακοπή στις εφαρμογές τελικών χρηστών κατά την διάρκεια κινητικότητας. Ενώ ο όρος LTE περιλαμβάνει την εξέλιξη του radio access μέσω του Evolved-UTRAN (E-UTRAN), συνοδεύεται από μια εξέλιξη της non-radio access υπό τον όρο του System Architecture Evolution (SAE), το οποίο περιλαμβάνει το Evolved Packet Core (EPC) δίκτυο. LTE και SAE αποτελούν το Evolved Packet System (EPS).

Το EPS χρησιμοποιεί την έννοια των EPS φορέων (bearers) για να δρομολογήσουν την IP κίνηση από μία πύλη μέσα στο PDN στον UE. Ένας φορέας είναι μία ροή IP πακέτου με καθορισμένο Quality of Service (QoS) μεταξύ της πύλης και του UE. Το E-UTRAN και το EPC προετοιμάζουν και ελευθερώνουν φορείς σαν προαπαιτούμενα από τις εφαρμογές.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την αρχιτεκτονική του δικτύου EPS, δίνοντας μια επισκόπηση των παρεχόμενων λειτουργιών από το Core Network (CN) και το E-UTRAN.

2.2 Συνολική επισκόπηση αρχιτεκτονικής

Το EPS παρέχει στον χρήστη συνδεσιμότητα IP σε ένα PDN για πρόσβαση στο διαδίκτυο 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. 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. Τα στοιχεία δικτύων EPC και το E-UTRAN περιγράφονται λεπτομερέστερα πιο κάτω.

2.3 Ο Πυρήνας του Δικτύου

Το Core Network (ονομάζεται EPC στο SAE) είναι υπεύθυνο για το συνολικό έλεγχο του UE και την ανάπτυξη των φορέων. Τα κύρια λογικά nodes του EPC είναι :

- PDN Gateway (P-GW)
- Serving Gateway (S-GW)
- Mobility Management Entity (MME).

Επιπλέον , το EPC περιλαμβάνει επίσης άλλα λογικά nodes και λειτουργίες όπως το Home Subscriber Server (HSS) και το Policy Control και Charging Rules Function (PCRF). Από το EPS μόνο παρέχεται ένα bearer path από συγκεκριμένο QoS, ο έλεγχος των multimedia εφαρμογών όπως το VoIP παρέχεται από το IP Multimedia Subsystem (IMS) το οποίο θεωρείται ότι είναι εκτός του EPS.

Τα λογικά CN nodes φαίνονται στην παραπάνω εικόνα και περιγράφονται με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω.

2.3.1 Στοιχείο Εφαρμογής Πολιτικής και Χρέωσης

Το PCRF είναι το τμήμα της αρχιτεκτονικής του δικτύου που συγκεντρώνει πληροφορίες από και προς το δίκτυο, συστήματα λειτουργικής υποστήριξης καθώς και άλλες πηγές (όπως portals) σε πραγματικό χρόνο, υποστηρίζοντας τη δημιουργία κανόνων και στην συνέχεια αυτόματες ευφυείς αποφάσεις πολιτικής για κάθε συνδρομητή στο δίκτυο. Ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να προσφέρει πολλαπλές υπηρεσίες, τα επίπεδα του quality of service (QoS) και κανόνες χρέωσης.

Το PCRF είναι το στοιχείο δικτύου το οποίο είναι υπεύθυνο για το Policy and Charging Control (PCC). Αυτό παίρνει αποφάσεις για το πώς θα χειριστεί τις υπηρεσίες του QoS και παρέχει πληροφορίες στο PCEF που βρίσκεται στην P-GW και εφόσον ενδείκνυται στο BBERF (Bearer Binding and Event Reporting Function) που βρίσκεται στην S-GW έτσι ώστε οι κατάλληλοι φορείς και η επιτήρηση να μπορούν να ιδρυθούν. Το PCRF είναι μέρος του PCC πλαισίου. Το PCRF είναι ένας server συνήθως τοποθετημένος με άλλα CN στοιχεία σε κέντρα λειτουργίας switching.

Οι πληροφορίες του PCRF που παρέχονται στο PCEF ονομάζονται κανόνες PCC . Το PCRF θα στείλει τους κανόνες PCC οπότε ένας νέος φορέας πρόκειται να δημιουργηθεί. Η ίδρυση των φορέων απαιτείται, για παράδειγμα όταν το UE αρχικά συνδέεται με το δίκτυο και ο προεπιλεγμένος φορέας θα είναι έτοιμος για λειτουργία και στη συνέχεια όταν ένας ή περισσότεροι αφιερωμένοι φορείς είναι τακτοποιημένοι. Το PCRF θα είναι σε θέση να παρέχει τους κανόνες PCC που βασίζονται κατόπιν αιτήσεως καθενός από την P-GW και επίσης από την S-GW στη περίπτωση PMIP , όπως στην περίπτωση συνδέσεων, και που βασίζονται επίσης κατόπιν αιτήσεως από την Application Function (AF) που βρίσκεται στο Service Domain.

Σε αυτό το σενάριο το UE έχει κάνει σήμα άμεσα με την περιοχή υπηρεσιών, πχ με το IMS και το AF ωθεί τις πληροφορίες του QoS σε PCRF το οποίο λαμβάνει μια απόφαση PCC και ωθεί του κανόνες PCC στην P-GW και τις πληροφορίες χαρτογράφησης φορέων στην S-GW στην περίπτωση PMIP S5/S8. Οι φορείς EPC τακτοποιούνται μετά βασισμένοι σε εκείνους.

Οι συνδέσεις μεταξύ του PCRF και των άλλων κόμβων φαίνονται παραπάνω. Κάθε PCRF μπορεί να συνδεθεί με ένα ή περισσότερα AF, P-GW, και S-GW. Υπάρχει μόνο ένα PCRF που συνδέεται με κάθε σύνδεση PDN που έχει ένα απλό UE.

2.3.2 Home Subscription Server

Το Home Subscription Server (HSS) είναι η αποθήκευση στοιχείων συνδρομής για όλα τα μόνιμα στοιχεία χρηστών. Καταγράφει επίσης την θέση του χρήστη στο επίπεδο του επισκεπτόμενου κόμβου όπως οι MME. Είναι ένας δρομολογητής βάσης δεδομένων που διατηρείται στις κεντρικές εγκαταστάσεις του εγχώριου παρόχου. Το HSS αποθηκεύει το πρωτότυπο profile του συνδρομητή, το οποίο περιέχει τις πληροφορίες για τις υπηρεσίες που είναι κατάλληλες για τον χρήστη, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών για τις επιτρεπόμενες PDN συνδέσεις και εάν η περιαγωγή σε ένα συγκεκριμένο επισκεπτόμενο δίκτυο επιτρέπεται ή όχι. Για την υποστήριξη της κινητικότητας μεταξύ non-3GPP ANS, το HSS αποθηκεύει επίσης τις ταυτότητες εκείνου του P-GW που είναι σε χρήση. Το μόνιμο κλειδί που χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την αυθεντικότητα του φορέα που στέλνεται σε ένα επισκεπτόμενο δίκτυο για την επικύρωση του χρήστη και την παραγωγή των επόμενων κλειδιών για την κρυπτογράφηση και την προστασία, είναι αποθηκευμένα στο Authentication Center (AuC) το οποίο είναι χαρακτηριστικό μέρος του HSS. Σε όλη τη σχετική σηματοδότηση με αυτές τις λειτουργίες το HSS αλληλεπιδρά με το MME.

Το HSS θα πρέπει να είναι ικανό να συνδεθεί με κάθε MME σε ολόκληρο το δίκτυο, όπου το UEs του επιτρέπεται να κινηθεί. Για κάθε UE τα αρχεία HSS θα δείξουν μια εξυπηρέτηση MME το χρόνο και μόλις αναφέρει η νέα MME ότι εξυπηρετεί το UE, το HSS θα ακυρώσει την θέση από την προηγούμενη MME.

2.3.3 Packet Data Network Gateway

Η Packet Data Network Gateway (P-GW) είναι ο δρομολογητής μεταξύ του EPS και των εξωτερικών δικτύων πακέτων δεδομένων. Είναι το συντονιστής κινητικότητας του πιο υψηλού επιπέδου στο σύστημα και συνήθως ενεργεί ως σημείο IP της σύνδεσης για το UE. Εκτελεί έλεγχο κίνησης και λειτουργίες φιλτραρίσματος όπως απαιτείται από την εν λόγω υπηρεσία. Ομοίως στη S-GW το P-GW διατηρείται στις εγκαταστάσεις των παρόχων σε μια κεντρική τοποθεσία. Τυπικά το P-GW διαθέτει τη IP διεύθυνση στο UE και το UE χρησιμοποιεί αυτό για να επικοινωνήσει με τους άλλους IP hosts στα εξωτερικά δίκτυα πχ το διαδίκτυο. Είναι επίσης πιθανό ότι το εξωτερικό PDN με το οποίο το UE συνδέεται να διαθέτει την διεύθυνση που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από το UE και η P-GW ανοίγει όλη την κυκλοφορία σε εκείνο το δίκτυο. Η διεύθυνση IP διατίθεται πάντα όταν το UE ζητά μια σύνδεση PDN, η οποία συμβαίνει τουλάχιστον όταν το UE συνδέεται με το δίκτυο και μπορεί να συμβεί στην συνέχεια όταν μια νέα συνδεσιμότητα PDN απαιτείται.

Η P-GW εκτελεί την απαραίτητη λειτουργία Dynamic Configuration Protocol (DHCP) ή ρωτά έναν εξωτερικό DHCP εξυπηρετητή και παραδίδει την διεύθυνση στο UE. Μόνο IPv4, IPv6 ή και τις δύο διευθύνσεις μπορούν να διατεθούν ανάλογα με την ανάγκη και το UE μπορεί να επισημάνει εάν θέλει να λάβει τη διεύθυνση στην σηματοδότηση συνδέσεων, ή εάν επιθυμεί να εκτελέσει την διαμόρφωση των διευθύνσεων αφότου συνδεθεί το link layer.

Το P-GW περιλαμβάνει το PCEF το οποίο σημαίνει ότι εκτελεί τις λειτουργίες των πυλών έλεγχου και το φιλτράρισμα όπως απαιτείται από τις πολιτικές που τίθενται για το UE και την εν λόγω υπηρεσία και συλλέγει και εκθέτει τις σχετικές πληροφορίες χρέωσης.

Η P-GW είναι ο συντονιστής κινητικότητας του υψηλότερου επιπέδου στο σύστημα. Όταν ένα UE κινείται από μια S-GW σε μια άλλη οι φορείς πρέπει να μεταστραφούν σε P-GW. Η P-GW θα λάβει μια ένδειξη να μετατρέψει την ροή από την νέα S-GW. Η εικόνα παρουσιάζει τις συνδέσεις P-GW που έχουν στους περιβάλλοντες λογικούς

κόμβους, και απαριθμεί τις κύριες λειτουργίες σε αυτές τις διεπαφές. Η κάθε P-GW μπορεί να συνδεθεί με ένα ή περισσότερα PCRF, S-GW και το εξωτερικό δίκτυο. Για ένα δεδομένο UE που συνδέεται με την P-GW υπάρχει μόνο μια S-GW, αλλά οι συνδέσεις σε πολλά εξωτερικά δίκτυα και αντίστοιχα σε πολλά PCRFs μπορεί να πρέπει να υποστηριχθούν, αν η συνδεσιμότητα σε πολλαπλό PDN υποστηρίζεται μέσω μιας P-GW.

2.3.4 Serving Gateway (S-GW)

Όλα τα πακέτα IP των χρηστών μεταφέρονται μέσω της S-GW, η οποία χρησιμεύει ως συντονιστής κινητικότητας για τους φορείς δεδομένων όταν οι UE κινούνται μεταξύ των κόμβων. Διατηρεί επίσης τις πληροφορίες για τους φορείς όταν το UE είναι σε κατάσταση αδράνειας και αποθηκεύει προσωρινά τα δεδομένα της κατερχόμενης σύνδεσης ενώ το MME αρχίζει το paging του UE για να επανεγκαθιδρύσει τους φορείς. Επιπλέον, η S-GW εκτελεί διαχειριστικές λειτουργίες στο επισκεπτόμενο δίκτυο όπως η συλλογή πληροφοριών για την χρέωση (πχ ο όγκος των δεδομένων που στέλνονται ή λαμβάνονται από τον χρήστη), και νόμιμη παρεμπόδιση. Εξυπηρετεί επίσης ως συντονιστής κινητικότητας για την αλληλεπίδραση με άλλες 3GPP τεχνολογίες όπως GPRS και το UMTS.

2.3.5 Mobility Management Entity (MME)

Το MME είναι ο βασικός κόμβος ελέγχου για το δίκτυο πρόσβασης του LTE.

Είναι υπεύθυνο για τον αργό τρόπο ανίχνευσης του UE και διαδικασία τηλεειδοποίησης συμπεριλαμβανομένων των αναμεταδόσεων. Περιλαμβάνεται στην διαδικασία ενεργοποίησης/απενεργοποίησης των φορέων και είναι επίσης υπεύθυνο για την επιλογή του S-GW για ένα UE στην αρχική σύνδεση και στο χρόνο του intra-LTE handover που περιλαμβάνει τον επανεντοπισμό κόμβων Core Network (CN). Είναι υπεύθυνο για την αυθεντικότητα του χρήστη (από την αλληλεπίδραση με το HSS).

Η σηματοδότηση Non-Access Stratum (NAS) ολοκληρώνεται στο MME και είναι επίσης αρμόδια για την δημιουργία και την κατανομή των προσωρινών ταυτοτήτων των UE. Ελέγχει την έγκριση του UE για να εγκατασταθεί στην υπηρεσία του πάροχου Public Land Mobile Network (PLMN) και να επιβάλει περιορισμούς περιαγωγής του UE. Το MME είναι το σημείο τερματισμού στο δίκτυο για την προστασία του λογαριασμού/ακεραιότητας για σηματοδότηση NAS και χειρίζεται τη βασική διαχείριση ασφάλειας. Η νόμιμη παρεμβολή της σηματοδότησης υποστηρίζεται επίσης από το MME. Το MME παρέχει επίσης τη λειτουργία ελέγχου επιπέδου για την κινητικότητα μεταξύ των δικτύων πρόσβασης LTE και 2G/3G με την S3 διεπαφή που τερματίζει στην MME από την SGSN. Το MME επίσης τερματίζει την S6a διεπαφή προς το HSS για περιαγωγή του UE.

2.4 Δίκτυο Πρόσβασης

Το δίκτυο πρόσβασης του LTE, E-UTRAN αποτελείται απλά από ένα δίκτυο eNodeBs, όπως φαίνεται στην εικόνα. Για μια κανονική χρήση (σε αντίθεση με το broadcast) δεν υπάρχει κανένας κεντρικός ελεγκτής σε E-UTRAN. Ως εκ τούτου η αρχιτεκτονική E-UTRAN λέγεται ότι είναι επίπεδη. Τα eNodeBs διασυνδέονται κανονικά το ένα με το άλλο μέσω μιας διεπαφής γνωστής ως X2 και στο EPC μέσω της διεπαφής S1-ιδιαίτερα στην MME μέσω της S1-MME διεπαφής και στην S-GW μέσω της S1-U. Τα πρωτόκολλα που τρέχουν μεταξύ των eNodeBs και του UE είναι γνωστά ως Access

Stratum (AS) πρωτόκολλα. Το E-UTRAN είναι υπεύθυνο για όλες τις ραδιοσυνδεδεμένες λειτουργίες οι οποίες μπορούν να είναι συνοψισμένες εν συντομία όπως:

Radio Resource Management: Αυτό καλύπτει όλες τις λειτουργίες σχετικές με τους φορείς όπως ο ράδιο-έλεγχος φορέων, ο ράδιο-έλεγχος αποδοχής, ο ράδιο-έλεγχος κινητικότητας, ο σχεδιασμός και η δυναμική κατανομή των πόρων στους UE και στην ανερχόμενη και κατερχόμενη σύνδεση.

Header Compression: Αυτό βοηθά να εξασφαλίζει αποδοτική χρήση του radio interface με την συμπίεση των headers των IP πακέτων οι οποίες θα μπορούσαν διαφορετικά να αντιπροσωπεύουν μία ενδεικτική δαπάνη, ειδικά για τα μικρά πακέτα όπως το VoIP.

Security: Όλα τα πακέτα στέλνονται πάνω σε μια κρυπτογραφημένη ράδιο διεπαφή.

Συνδεσιμότητα στο EPC: Αυτό περιέχει την σηματοδότηση προς το MME και το διαδρομή φορέα προς το S-GW.

Από την πλευρά των δικτύων, όλες αυτές οι λειτουργίες βρίσκονται στα eNodeBs , κάθε ένα από αυτά μπορεί να είναι υπεύθυνο για την διαχείριση πολλαπλών κυψελών. Αντίθετα από μερικές προηγούμενες τεχνολογίες 2G και 3G , το LTE ενσωματώνει την λειτουργία των ράδιο-ελεγκτών στο eNodeB. Αυτό επιτρέπει την σφιχτή αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών στρωμάτων πρωτοκόλλων του δικτύου πρόσβασης, μειώνοντας την λανθάνουσα κατάσταση και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα.

Τέτοιος κατανομημένος έλεγχος εξαλείφει την ανάγκη για υψηλή διαθεσιμότητα, εντατική επεξεργασία η οποία έχει στην συνέχεια την δυνατότητα να μειώσει το κόστος και να αποφύγει τα 'μοναδικά σημεία αποτυχίας'. Επιπλέον, δεδομένου ότι το LTE δεν υποστηρίζει την soft handover δεν υπάρχει καμία ανάγκη για μια συγκεντρωμένη data-combining λειτουργία στο δίκτυο. Μια συνέπεια της έλλειψης ενός κεντρικού κόμβου ελέγχου είναι ότι, όπως το UE κινείται το δίκτυο πρέπει να μεταφέρει όλες τις σχετικές πληροφορίες με ένα UE δηλ. το πλαίσιο UE μαζί με οποιαδήποτε αποθηκευμένα στοιχεία από το ένα eNodeB στο άλλο. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της διεπαφής S1 που συνδέει το δίκτυο πρόσβασης με το CN είναι γνωστό ως S1-flex. Αυτό είναι μια έννοια με το οποίο οι πολλαπλοί CN κόμβοι (MME/S-GWs) μπορούν να εξυπηρετήσουν μια κοινή γεωγραφική περιοχή, που συνδέεται με ένα δίκτυο πλέγματος με το σύνολο των eNodeBs σε εκείνη την περιοχή. Ένα eNodeB μπορεί να εξυπηρετηθεί από πολλαπλά MME/S-GWs. Το σύνολο των MME/S-GWnodes που εξυπηρετεί μια κοινή περιοχή καλείται δεξαμενή MME/S-GWs και η περιοχή που καλύπτεται από μια τέτοια δεξαμενή καλείται περιοχή δεξαμενών.

Αυτή η έννοια επιτρέπει σε UEs στη κυψέλη που ελέγχεται από ένα eNodeB να μοιραστεί μεταξύ πολλαπλών CN κόμβων, παρέχοντας την δυνατότητα για την διανομή φορτίου και επίσης στην εξάλειψη των ενιαίων σημείων αποτυχίας για τους CN κόμβους. Το πλαίσιο του UE παραμένει κανονικά με την ίδια MME εφόσον το UE βρίσκεται μέσα στην περιοχή δεξαμενών.

2.5 Αρχιτεκτονική Περιαγωγής (Roaming)

Ένα δίκτυο που λειτουργεί από έναν χειριστή σε μια χώρα είναι γνωστό ως Public Land Mobile Network (PLMN). Η περιαγωγή όπου επιτρέπεται στους χρήστες να συνδεθούν με το PLMN εκτός από εκείνους οι οποίοι εγγράφονται άμεσα , είναι ένα ισχυρό χαρακτηριστικό γνώρισμα για τα κινητά δίκτυα και το LTE/SAE δεν εξαιρείται. Ένας περιπλανώμενος χρήστης είναι συνδεδεμένος με το E-UTRAN, το MME και το S-GW το επισκεπτόμενο δίκτυο LTE. Ωστόσο το LTE/SAE επιτρέπει στο P-GW είτε στο επισκεπτόμενο είτε στο εγχώριο δίκτυο να χρησιμοποιηθεί.

Η χρησιμοποίηση του P-GW του εγχώριου δικτύου επιτρέπει στον χρήστη να έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες του εγχώριου χειριστή ακόμα και σε ένα επισκεπτόμενο δίκτυο. Μια P-GW στο επισκεπτόμενο δίκτυο επιτρέπει την έναρξη στο Internet στο επισκεπτόμενο δίκτυο.

2.6 Διασύνδεση με τα άλλα δίκτυα

Το EPS υποστηρίζει επίσης την αλληλεπίδραση και την κινητικότητα (handover) με τα δίκτυα χρησιμοποιώντας άλλες ραδιο τεχνολογίες πρόσβασης (Radio Access Technologies), ειδικότερα GSM, UMTS, CDMA2000 και WiMAX. Η αρχιτεκτονική για την αλληλεπίδραση με δίκτυα 2G και 3G GPRS/UMTS φαίνεται στην εικόνα 15. Η S-GW ενεργεί ως συντονιστής κινητικότητας για την αλληλεπίδραση με άλλες 3GPP τεχνολογίες όπως το GSM και το UMTS ενώ η P-GW εξυπηρετεί ως συντονιστής επιτρέποντας την απρόσκοπτη κινητικότητα στα non-3GPP δίκτυα όπως το CDMA2000 ή το WiMAX.

2.7 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων

2.7.1 User Plane

Ο σωρός πρωτοκόλλων για το επίπεδο χρήστη (user plane), διαιρείται σε τρία υπό-επίπεδα : το Packet Data Convergence Protocol (PDCP), το Radio Link Control (RLC) και το MAC. Αυτά τα πρωτόκολλα μεταφέρουν δεδομένα από την μία πλευρά του δικτύου στο άλλο. Το PDCP και το RLC πρωτόκολλο είναι όμοια στο eNB και στο UE, εκτελώντας λειτουργίες όπως η συμπίεση των επιγραφών, κρυπτογράφηση και εκτελώντας acknowledged-mode πρωτόκολλα.

Το MAC πρωτόκολλο ωστόσο συμπεριφέρεται διαφορετικά στο eNB και στο UE. Αυτό είναι κυρίως επειδή ο προγραμματιστής τρέχει μέσα στο eNB, καθορίζονται από το υπό-πλαίσιο στο υπό-πλαίσιο στο οποίο οι UEs στην κυψέλη πρέπει να τους επιτρέπεται η πρόσβαση στο δίκτυο.

2.7.2 Control Plane

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο σωρός πρωτοκόλλων για το επίπεδο ελέγχου. Τα πρωτόκολλα PDCP, RLC και MAC συμπεριφέρονται ακριβώς όπως στο επίπεδο χρήστη, παρόλο που στο επίπεδο ελέγχου οι λειτουργίες τους είναι να μεταφέρουν το μήνυμα ελέγχου από το RRC το οποίο μπορεί να περιέχει μήνυμα Non Access Stratum (NAS) παρά τα στοιχεία των χρηστών.

Το RRC επίπεδο σε ένα eNB δημιουργεί αποφάσεις handover βασισμένες στις μετρήσεις της γειτονικής κυψέλης από το UE, ειδοποιήσεις για τα UEs στον αέρα, συστήματα πληροφοριών broadcast, αναφορά μετρήσεων ελέγχων UE όπως περιοδικότητα αναφορών του Channel Quality Information (CQI) και διαθέτει προσωρινές αναγνωριστικές κυψέλες σε ενεργούς UE.

Το πρωτόκολλο NAS το οποίο τρέχει μεταξύ το MME και UE χρησιμοποιείται για έλεγχο όπως σύνδεση δικτύου, πιστοποίηση, δημιουργία φορέων και διαχείριση κινητικότητας. Όλα τα NAS μηνύματα είναι κρυπτογραφημένα και πλήρους προστασία από το MME και το UE.

2.8 Οι Διεπαφές του Δικτύου E-UTRAN

Οι παρακάτω διεπαφές έχουν καθοριστεί για το EPC:

- S1-MME: Διεπαφή για το πρωτόκολλο ελέγχου των εφαρμογών μεταξύ του E-UTRAN και MME.

- S1-U: Διεπαφή για S1 δεδομένα επιπέδου χρηστών για κάθε φορέα μεταξύ του E-UTRAN και της πύλης εξυπηρέτησης. Αυτή η διεπαφή ενεργοποιεί την πύλη εξυπηρέτησης to anchor the inter eNB handover.
- S3: Διεπαφή που παρέχει σύνδεση μεταξύ του SGSN και MME, διευκολύνοντας την ανταλλαγή πληροφοριών για τη κινητικότητα μεταξύ της inter-3GPP πρόσβασης δικτύων.
- S4: Διεπαφή μεταξύ του SGSN και πύλης εξυπηρετητή. Παρέχει υποστήριξη στο επίπεδο χρήστη για την υποστήριξη της κινητικότητας μεταξύ του πυρήνα GPRS και πύλης εξυπηρέτησης
- S5: Διεπαφή που παρέχει user plane tunneling tunnel management function μεταξύ της πύλης εξυπηρέτησης και την πύλη PDN. Ενεργοποιεί την πύλη εξυπηρέτησης για να συνδεθεί με πολλαπλές πύλες PDN για παροχή διαφορετικών υπηρεσιών IP για το UE. Ωστόσο χρησιμοποιείται για τον επαναπροσδιορισμό της πύλης εξυπηρέτησης ενωμένο με την κινητικότητα του UE.
- S6a: Διεπαφή μεταξύ του MME και HSS. Χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεδομένων εγγραφής και πιστοποίησης για επικύρωση και έγκριση πρόσβασης χρήστη στο evolved packet system
- Gx: Διεπαφή που παρέχει μεταφορά της πολιτικής QoS και charging rules από το PCRF στο Policy and Charging Enforcement Function (PCEF) μέσα στο PDN gateway.
- S11: Διεπαφή επιπέδου ελέγχου μεταξύ των MME και πύλης εξυπηρέτησης αναγκαίο για την διαχείριση του EPS φορέα.

2.9 Radio Interface Πρωτόκολλα

Η παρακάτω εικόνα δείχνει την δομή των ράδιο-πρωτοκόλλων τα οποία περιγράφονται παρακάτω. Αρχίζοντας από την κορυφή της εικόνας, το επίπεδο RRC (Radio Resource Control) υποστηρίζει όλες τις διαδικασίες σηματοδότησης μεταξύ του τερματικού και του eNodeB. Αυτό περιλαμβάνει την διαδικασία κινητικότητας όπως επίσης τη διαχείριση τερματικής σύνδεσης. Η σηματοδότηση από το EPC επίπεδο ελέγχου μεταφέρεται στο τερματικό μέσω του RRC πρωτοκόλλου, ως εκ τούτου η σύνδεση μεταξύ του RRC και των ανώτερων επιπέδων.

2.9.1 Packet Data Convergence Protocol (PDCP)

Το Packet Data Convergence Protocol (PDCP) επίπεδο λειτουργεί ως πύλη μεταξύ διαφόρων υψηλών επιπέδων του σωρού πρωτοκόλλων (RRC, RTP, UDP, TCP, etc) και του RLC επιπέδου.

Οι κύριες λειτουργίες του PDCP είναι:

- Passing SDUs received from its higher layers to its peer via the RLC.
- Οι μονάδες δεδομένων μεταφέρονται ως PDUs.
- Λαμβάνει PDUs από το RLC και αφαιρεί SDU δεδομένα από αυτά για να τα περάσει σε υψηλότερα επίπεδα.
- Συμπίεση/αποσυμπίεση headers.
- Κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση.

2.9.2 Radio Link Controller (RLC)

Το Radio Link Controller (RLC) ενεργεί ως διεπαφή και buffer μεταξύ υψηλότερων επιπέδων του σωρού πρωτοκόλλων (συνήθως στο PDCP στο επίπεδο χρήστη) και του επιπέδου MAC, το οποίο σχεδόν δεν έχει αποθηκευτική χωρητικότητα και λειτουργεί περισσότερο ως δρομολογητής παρά για οτιδήποτε άλλο. Οι κύριες λειτουργίες του RLC είναι:

- Passing SDUs received απο τα υψηλότερα επίπεδα to its peer μέσω MAC. Οι μονάδες δεδομένων περνούν ως PDUs.
- Λαμβάνει PDU απο το MAC και αφαιρεί SDU δεδομένα απο αυτά για να τα περάσει στα ψηλότερα στρώματα.
- Ξανά δίνει εντολή στο λαμβανόμενο PDUs.
- Acknowledged τρόπος λειτουργίας.

Τα SDUs είναι απλά block δυαδικών δεδομένων οργανωμένα σε οκταδικές σειρές.

2.9.3 Medium Access Control (MAC)

Το Medium Access Control (MAC) επίπεδο είναι ένα πρωτόκολλο που τρέχει και στο UE και στο eNB. Έχει διαφορετική συμπεριφορά όταν για το καθένα, γενικά δίνει εντολές στο eNB και ανταποκρίνεται σε αυτές το UE. Όπως το όνομα προτείνει, το MAC μεσολαβεί και ελέγχει την πρόσβαση στο μέσο διαμοιρασμού μετάδοσης.

Οι κύριες λειτουργίες του MAC είναι:

- Παρέχει λειτουργίες μεταφοράς δεδομένων στο RLC μέσω λογικών καναλιών.
- Πολυπλεξία δεδομένων απο ένα ή περισσότερα λογικά κανάλια μέσα σε block μεταφοράς. Αυτά μεταφέρονται στο φυσικό επίπεδο στα κανάλια μεταφοράς.
- Διόρθωση λάθους μέσω HARQ2.
- Αποφασίζει για το ποιο UE θα επιτρέπεται να στείλει ή να λάβει δεδομένα σε διαμοιρασμένους φυσικούς πόρους (eNB MAC μόνο).

Τέλος, το MAC παραδίδει τις ροές μεταφορών στο επίπεδο PHY, το οποίο θα εφαρμόσει κανάλι κωδικοποίησης και διαμόρφωσης πριν την εκπομπή πάνω στη ραδιο-διεπαφή.

2.9.4 Physical layer (PHY)

Ο ρόλος του PHY επιπέδου είναι να παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων με τα φυσικά κανάλια στα υψηλότερα επίπεδα RLC και MAC.

Η παρακάτω εικόνα περιγράφει το μοντέλο eNodeB του φυσικού επιπέδου για παράδειγμα στο κανάλι μεταφοράς SCH της κατερχόμενης σύνδεσης.

Σε κάθε TTI (Transmission Time Interval), το φυσικό επίπεδο λαμβάνει ένα ορισμένο αριθμό ομάδων μεταφοράς (Transport Blocks) για μετάδοση. Σε κάθε ομάδα μεταφοράς προστίθεται ένα CRC (Cyclic Redundancy Check) ή το σύνολο των bits που χρησιμοποιούνται από λαμβάνον τέρμα για να το ανιχνεύσουν τα σφάλματα μετάδοσης. Τα blocks προστατεύονται από ένα αυτοδύναμο σχήμα κωδικοποίησης καναλιού (όπως η συνέλικτική ή στρόβιλη κωδικοποίηση) και προσαρμοσμένο μέγεθος για να σιγουρευτούν πως το κωδικοποιημένο πακέτο ταιριάζει στο μέγεθος του φυσικού καναλιού. Αυτή η φάση είναι υπο τον έλεγχο της MAC HARQ (Hybrid ARQ) διαδικασίας η οποία μπορεί να προσαρμόσει τον ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού (που

σημαίνει την ανθεκτικότητα στα σφάλματα μετάδοσης) βασισμένο στις πληροφορίες που αναφέρονται από την λαμβάνουσα οντότητα.

Το interleaving είναι μια διαδικασία για να βελτιώσει την ανθεκτικότητα στα σφάλματα της ράδιο μετάδοσης. Όταν ένα λάθος εμφανίζεται σε ένα κωδικοποιημένο πακέτο που μεταδίδεται πάνω στη ράδιο διεπαφή, αυτό θα χρησιμοποιηθεί στα πολλαπλά διαδοχικά bits ή σύμβολα. Στην λαμβάνουσα πλευρά, η ενέργεια του de-interleaving θα έχει την επίδραση της διάδοσης λανθασμένων bits σε όλη την εκπεμπόμενη ακολουθία στα διαφορετικά block μεταφοράς. Αυτό θα διευκολύνει τον αποκωδικοποιητή του καναλιού να ανακτηθούν τα ακριβή bits που διαβιβάστηκαν αρχικά, δεδομένου ότι ένα block θα επηρεαστεί από ένα μικρότερο μέρος.

Στην διαδικασία διαμόρφωσης δεδομένων, η πραγματική διαμόρφωση είναι υπο τον έλεγχο του προγραμματιστή της MAC. Η χαρτογράφηση των πόρων αφορά την κατάτμηση (segmentation) των διαβιβασθέντων δεδομένων στα blocks των πόρων. Η χαρτογράφηση των κεραιών αφορά την χαρτογράφηση των blocks των πόρων στις διαθέσιμες πύλες κεραιών (MIMO).

Οι διαδικασίες CRC και interleaving δεν ελέγχονται από τα υψηλότερα στρώματα. Για εκείνες τις δύο λειτουργίες το PHY επίπεδο χρησιμοποιεί στατικούς παραμέτρους και αλγόριθμους που καθορίζονται από τα πρότυπα του E-UTRAN. Όπως αναφέρεται πιο πάνω, υπάρχουν τα παρόμοια μοντέλα για άλλα κανάλια μεταφοράς. Η μετάδοση πάνω από τα άλλα κανάλια μεταφοράς όπως το PCCH για το paging ή το BCCH για το σύστημα αναμετάδοσης πληροφοριών δεν είναι ευέλικτη από άποψη κωδικοποίησης ή διαμόρφωσης καναλιού. Για αυτόν τον τύπο καναλιού μεταφοράς, το πρότυπο E-UTRAN δεν προτείνουν οποιεσδήποτε επιλογές ή εναλλακτικές λύσεις.

3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΡΟΕΣ ΤΟΥ LTE

3.1 Εισαγωγή

Στο παρακάτω κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε κάποια βασικά Call Flows του δικτύου LTE και να παραθέσουμε παράλληλα τις σχεδιαστικές παραδοχές που υιοθετήσαμε κατά την υλοποίηση του LTE Simulator.

3.2 Αρχική σύνδεση

Η διαδικασία σύνδεσης σε LTE δίκτυο είναι παρόμοια με τη σύνδεση του GPRS σε 2G/3G. Φέρνει το UE από την κατάσταση EMM_DEREGISTERED στην EMM_REGISTERED κατάσταση. Επιπρόσθετα η διαδικασία προβλέπει το defaultSAEBearer για το UE και ως εκ τούτου διαθέτει τις απαιτούμενες διευθύνσεις IP για το συνδρομητή στο εξωτερικό δίκτυο μεταφοράς πακέτων δεδομένων.

1. Το UE συνδέεται με το servingcell και το αντίστοιχο eNB. Το UE στέλνει το μήνυμα Attachrequest (NAS), συμπεριλαμβανομένων IMSI/oldGuti, oldTAI, oldGUMMEI και oldECGI. Το eNB επιλέγει ένα διαθέσιμο MME και προωθεί το μήνυμα σε αυτό.
2. Το πρώτο καθήκον του MME είναι να εντοπίσει και να επικυρώσει τον συνδρομητή. Έτσι, έρχεται σε επαφή με το HSS (στην περίπτωση που χρησιμοποιείται IMSI για την ταυτοποίηση) ή το old MMK (στην περίπτωση που το UE ταυτοποιείται μέσω του oldGuti) με IdentificationRequest (GTP-C). Η απάντηση θα πρέπει να περιέχει το IMSI (όταν επικοινωνεί με παλιά MME) και μερικούς φορείς πιστοποίησης για το συνδρομητή.
3. Με τη χρήση φορέων πιστοποίησης από τα παλιά MME / HSS τα νέα MME μπορούν να ξεκινήσουν μια διαδικασία ελέγχου ταυτότητας (NAS). Ο μηχανισμός ελέγχου ταυτότητας είναι ο ίδιος όπως στο 3G.
4. Μετά την επιτυχή επικύρωση του νέου MME μπορεί να αρχίσει η ενημέρωση του HSS και να κατεβάσει τα δεδομένα εγγραφής από εκεί. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των διαδικασιών Diameter, UPDATELOCATION και INSERTSUBSCRIBERDATA. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας το HSS θα αναγκάσει επίσης το παλιό MME να διαγράψει τα αποθηκευμένα δεδομένα για το συνδρομητή χρησιμοποιώντας τη λειτουργία CANCELALLOCATION.
5. Με βάση τα στοιχεία εγγραφής του νέου MME πρέπει να αποφασίσει αν ένα defaultbearer πρέπει να δημιουργηθεί ή όχι. Το defaultaccesspointname(default APN) βοηθά το MME στην επιλογή του κατάλληλου SAE GW. Σε αυτό το SGW το μήνυμα CREATDEFAULT BEARERREQUEST (GTP-C) αποστέλλεται. Το SAE GW θα δημιουργήσει τώρα το S5 / S8tunnel. Αυτό γίνεται με το ίδιο μήνυμα, αλλά αποστέλλονται στο PDN/GW.
6. Όταν οι πόροι EPC για το DefaultBearer ετοιμάζονται, το νέο MME μπορεί να δώσει το μήνυμα ATTACHACCEPT στο eNB. Το μήνυμα S1-AP που θα περιέχει είναι το αίτημα αρχικής ρύθμισης Πλαισίου και θα κρατήσει επίσης το αναγνωριστικό τελικό σημείο του tunnel που διατίθεται από το SGW για την διεπαφή S1-U interface. Το ENB δημιουργεί το Radio Bearer για το Default SAE Bearer και επιστρέφει το ATTACHCOMPLETE στο MME. Το μήνυμα S1-AP είναι αυτό που θα κρατήσει το TEID διαθέσιμο από το eNB για τη διεπαφή S1-U. Μέσω μιας διαδικασίας UPDATE BEARER το MME θα δώσει αυτή την παράμετρο στο S-GW.

7. Τώρα το Default SAE Bearer είναι ολοκληρωμένο και το UE είναι σε κατάσταση EMM_REGISTERED και ECM_CONNECTED.

3.3 Αποσύνδεση διεπαφής S1

- Μετά τη σύνδεση το UE είναι σε κατάσταση EMM_Registered.
 - Το default bearer έχει κατανεμηθεί (RRC_Connected+ ECM_Connected) ακόμα και αν δεν μεταδίδει ή λαμβάνει δεδομένα.
 - Αν υπάρχει μια μεγάλη περίοδος αδράνειας από το UE, το Admission Control πρέπει να ελευθερώσει τους πόρους. (RRC_Idle + ECM_Idle)
1. Το ENB μπορεί να στείλει το μήνυμα S1 Releaserequest (S1-AP) στο MME για να ζητήσει την απελευθέρωση όλων των πόρων EUTRAN για ένα UE. Το μήνυμα μπορεί για παράδειγμα να προκληθεί από την ανίχνευση μιας πολύ μακράς περιόδου αδράνειας
 2. Όταν το MME παίρνει μια ειδοποίηση για να απελευθερώσει το UE από το EUTRAN,θα απελευθερώσει το S1 tunnel που διατίθεται για τους SAE Bearers του UE. Αυτό γίνεται με την αποστολή ενός μηνύματος UPDATEBEARERREQUEST (GTP-C) στο SERVING GW. Στο μήνυμα περιέχεται ή ένδειξη της αποδέσμευσης των πόρων S1.
 3. Παράλληλα με το προηγούμενο βήμα, το MME θα στείλει το S1-AP μήνυμα S1 RELEASECOMMAND στο eNB. Θα προκαλέσει την απελευθέρωση του UE για την διεπαφή στον αέρα με το μήνυμα RRC CONNECTIONRELEASE (RRC). Αυτό θα φέρει το UE σε κατάσταση RRC_IDLE και με αυτό και στη κατάσταση CM_IDLE. Το UE λαμβάνει γνώση με την εντολή RELEASE RRC CONNECTION ACK.

3.4 Αποσύνδεση από το δίκτυο

- Μπορεί να ενεργοποιηθεί από το UE ή από το δίκτυο (MME,SGSN ή HSS)
- Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας Detach όλα τα SAE Bearers με τα αντίστοιχα tunnels και Radiobearers θα διαγράφονται.
- Το LTE-UE θα χάνει όλα τα προσωρινά Ids (GUTI,C-RNTI και IPADDRESS)

Η μετάβαση σε κατάσταση EMM_DEREGISTERED επιτυγχάνεται με την NAS Detach διαδικασία. Η διαδικασία Detach επιτρέπει:

- Το UE να πληροφορεί το δίκτυο ότι δε χρειάζεται άλλο να έχει πρόσβαση στο EPS.
- Το δίκτυο να πληροφορεί το UE ότι δε χρειάζεται άλλο να έχει πρόσβαση στο EPS
- Το UE αποσυνδέεται είτε έμμεσα (implicitly) είτε άμεσα (explicitly): Explicit αποσύνδεση: Το δίκτυο ή το UE ζητά ρητά να αποσυνδεθεί.

Implicit αποσύνδεση: Το δίκτυο αποσυνδέει το UE,χωρίς να το ενημερώσει.Αυτό συνήθως είναι η περίπτωση όταν το δίκτυο προϋποθέτει ότι δεν είναι σε θέση να επικοινωνήσει με το UE, πχ λόγω των radio συνθηκών.

Η διαδικασία αποτελείται από την DETACH REQUEST / DETACH ACCEPT διαδικασία μεταξύ UE και MME και τη διαδικασία DELETE BEARER μεταξύ MME και GW και PDN

GW. Επιπλέον, στο τέλος της διαδικασίας S1RELEASE μεταξύ MME και ENB διαγράφονται οι Radio πόροι.

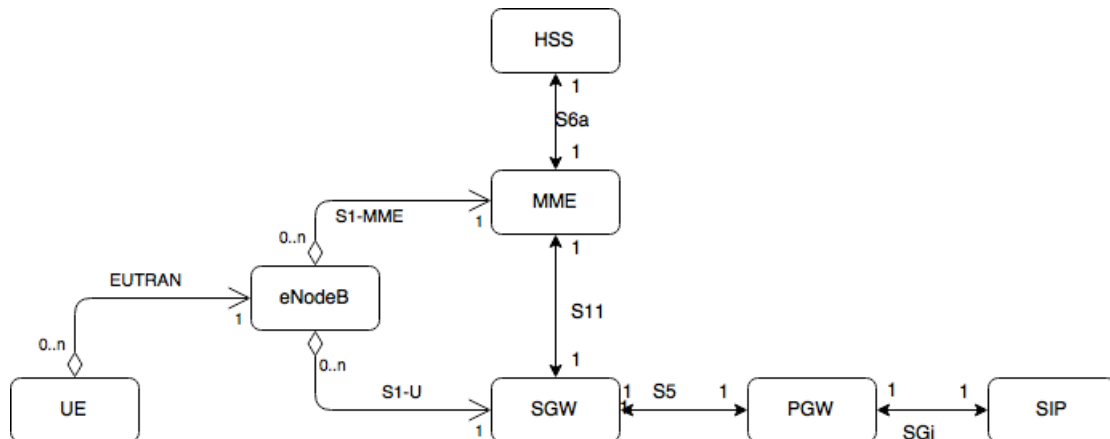
4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

4.1 Γενικά

Η εφαρμογή χωρίζεται σε δυο βασικά μέρη:

- Την προσομοίωση του Δικτύου
- Την εφαρμογή του κινητού (UE)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων του δικτύου που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας:



Σχήμα 1: Σχέσεις μεταξύ στοιχείων του δικτύου

4.2 Το δίκτυο

Για την ανάπτυξη των προσομοιώσεων των βασικών κόμβων του LTE χρησιμοποιήθηκε Java SE (JDK 1.8). Η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε NetBeans 8.0.1. Για τις ανάγκες versioning της εφαρμογής δημιουργήθηκε ένα SVN Repository. Το repo μπορεί να βρεθεί στη διεύθυνση <https://svn.riouxsvn.com/ltesimulation>.

Η προσομοίωση του δικτύου μας αποτελείται από το σταθμό βάσης (eNodeB), το MME, το HSS, το SGW, το PGW και το SIP. Κάθε ένας από τους κόμβους προσομοιώνει τις βασικές λειτουργίες των κόμβων ενός πραγματικού δικτύου LTE αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες.

4.2.1 Επιλογές και παραδοχές σχεδίασης

Κάθε κόμβος του δικτύου LTE στον LTESimulation, αναπαρίσταται με την δημιουργία ενός Graphical User Interface το οποίο προσομοιώνει τα interfaces του κάθε κόμβου του δικτύου και ξεκινά τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων.

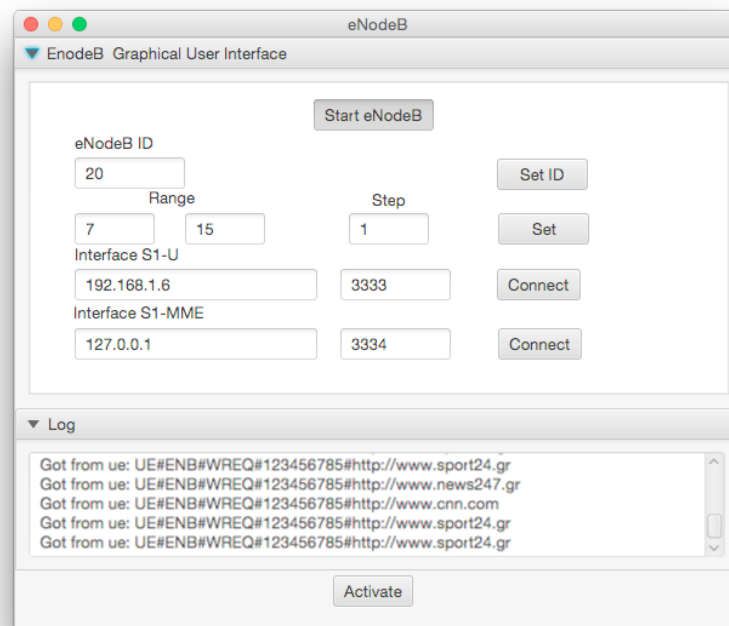
Το κάθε GUI ξεκινά την αρχικοποίησή του περιμένοντας από την χρήστη να το κάνει start κάνοντας κλικ το κουμπί Start. Επίσης κάθε GUI παρέχει μια οθόνη στο κάτω μέρος του που γίνεται logging της εφαρμογής.

Γενικά, κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής, έγινε η παραδοχή ότι σε όποια διεπαφή, ο χρήστης πρέπει να ορίσει μόνο πόρτα, εκεί σηκώνεται ένα socket για την επικοινωνία με το άλλο στοιχείο της διεπαφής.

Παρακάτω γίνεται ανάλυση για τις βασικές λειτουργίες των κόμβων του δικτύου.

• Σταθμός Βάσης (eNodeB)

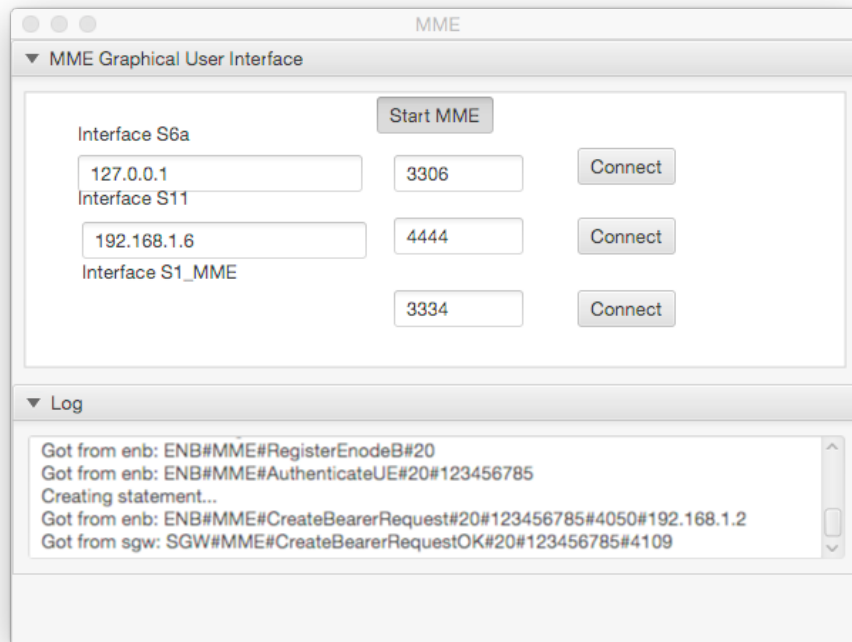
Στο πεδίο eNodeB ID ο χρήστης δίνει στο σταθμό βάσης ένα μοναδικό ID το οποίο είναι η ταυτότητα του eNodeB στο δίκτυο. Στα πεδία Range και Step, ο χρήστης ορίζει το διάστημα διευθύνσεων που θα σαρώσει ο σταθμός βάσης και το βήμα της σάρωσης αυτής. Ο χρήστης δίνει την διεύθυνση που τρέχει το SGW (interface S1-U) μαζί με την πόρτα όπου έχει σηκωθεί το socket του. Έπειτα ο χρήστης δίνει την διεύθυνση στο interface S1-MME και την πόρτα αυτού του interface, για την σύνδεση με το MME. Τέλος ο χρήστης επιλέγει το κουμπί “Activate” ώστε να αρχίσει η προσομοίωση της ραδιοτεχνολογίας.



Εικόνα 1: Γραφική διεπαφή Σταθμού Βάσης

• Κόμβος MME

Δίνοντας την διεύθυνση στο interface S6a, το MME μπορεί να συνδεθεί με τον Home Subscriber Server. Συμπληρώνοντας την διεύθυνση και την πόρτα του interface S11, το MME μπορεί να συνδεθεί με το SGW. Τέλος δίνοντας την πόρτα του interface S1-MME ενεργοποιούμε το socket μέσω του οποίου θα συνδεθεί με το eNodeB.



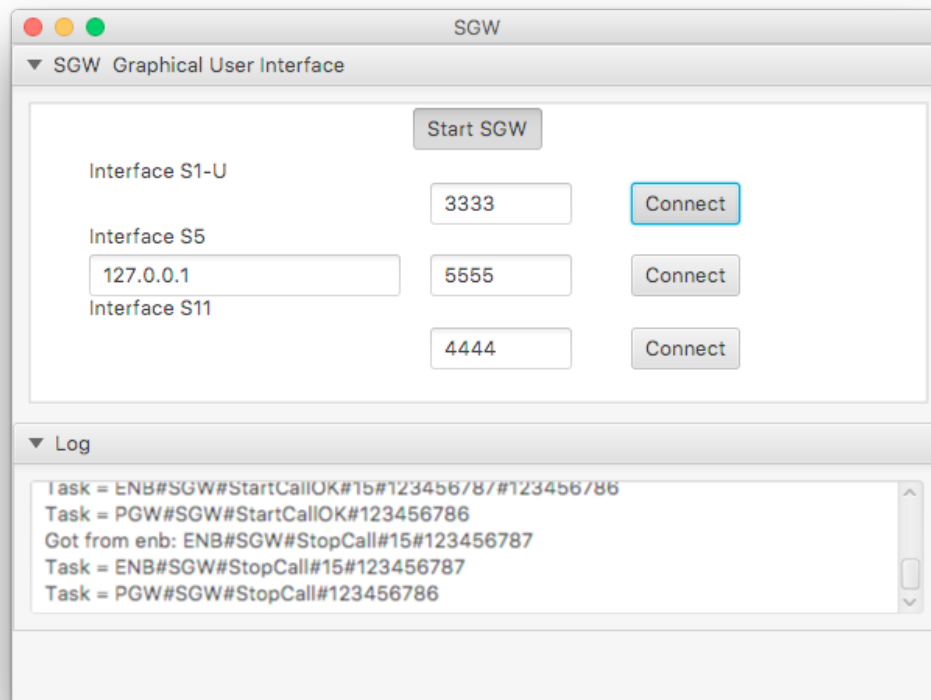
Εικόνα 2: Γραφική διεπαφή χρήστη κόμβου MME

- Home Subscriber Server

Ο Home Subscriber Server είναι μια MySQL βάση (LTE) που αποτελείται από ένα πίνακα με το όνομα Subscribers με πεδία τους μοναδικούς αριθμούς IMSI , IMEI και αριθμό τηλεφώνου κάθε συνδρομητή που είναι εγγεγραμμένος και έχει το δικαίωμα σύνδεσης στο δίκτυο.

- Κόμβος SGW

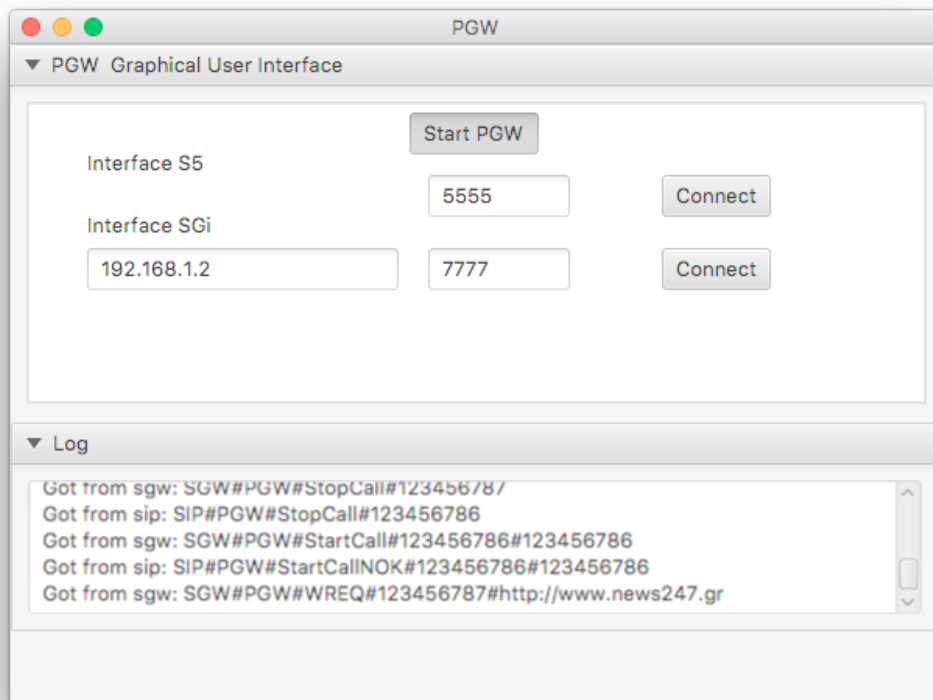
Στο SGW GUI ο χρήστης αφού πατήσει το Start SGW, ορίζει την πόρτα του socket της διεπαφής S1-U ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η επικοινωνία με τα eNodeB. Στη συνέχεια ο χρήστης δίνει στο σύστημα την διεύθυνση και την πόρτα στην οποία τρέχει το interface S5 με σκοπό να γίνει η σύνδεση με το PGW. Τέλος, δίνοντας την πόρτα του interface S11 σηκώνεται το socket πάνω στο οποίο θα συνδεθεί το MME.



Εικόνα 3: Γραφική διεπαφή χρήστη στοιχείου SGW

- Κόμβος PGW

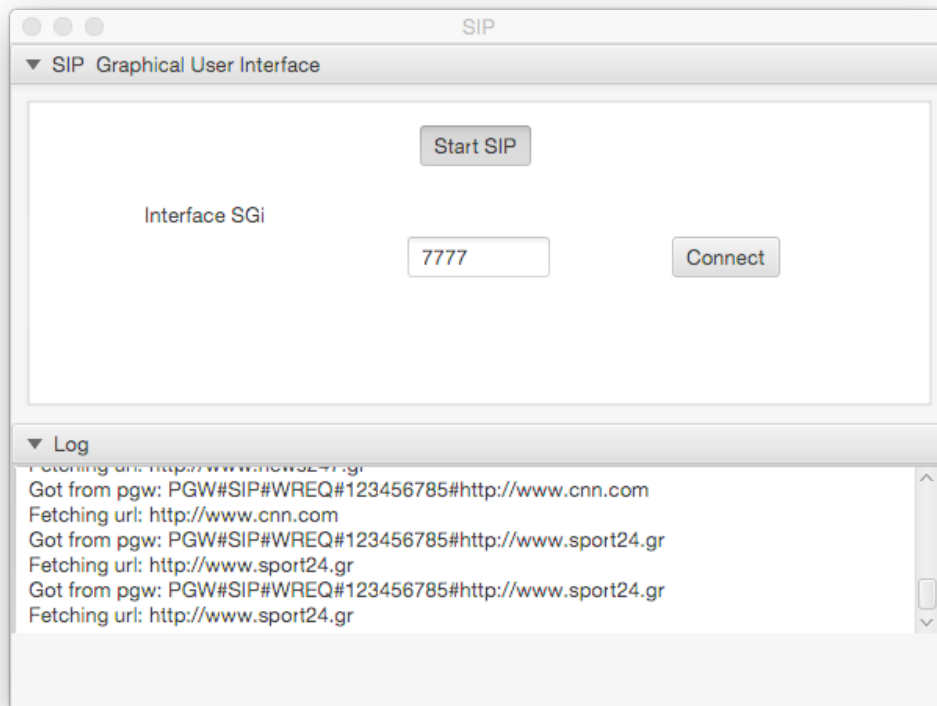
Στο PGW GUI ο χρήστης δίνει την πόρτα στην οποία σηκώνεται το socket του interface S5 που θα συνδεθεί το SGW. Έπειτα ο χρήστης θα συμπληρώσει την διεύθυνση και την πόρτα στην οποία έχει σηκωθεί το socket του SIP.



Εικόνα 4: Γραφική διεπαφή χρήστη στοιχείου PGW

•Κόμβος SIP

Ο κόμβος SIP αποτελεί παραδοχή για τη σχεδίαση της εφαρμογής. Αυτός ο κόμβος προσομοιώνει τη λειτουργία ενός SIP server που είναι υπεύθυνος για τη μετάδοση φωνής μέσα στο δίκτυο, ενός Messaging server μέσω του οποίου μεταδίδονται τα μηνύματα κειμένου και της διεπαφής με ένα εξωτερικό δίκτυο IP μέσω του οποίου διαδίδονται τα μηνύματα για την περιήγηση στο διαδίκτυο. Στο γραφικό, ο χρήστης εισάγει την πόρτα όπου θα σηκωθεί το socket μέσω του οποίου θα υπάρχει επικοινωνία με το PGW.



Εικόνα 5: Γραφική διεπαφή χρήστη στοιχείου SIP

4.3 Το κινητό (UE)

Η προσομοίωση του κινητού αποτελείται από μία εφαρμογή Android η οποία αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας το Android Studio 1.4. Η εφαρμογή είναι συμβατή με συσκευές που έχουν Android SDK 10 ή νεότερο. Αυτή η έκδοση επιλέχθηκε με βάση το υπάρχον υλικό και με σκοπό να μας επιτραπεί να επιβεβαιώσουμε τη σωστή λειτουργία της εφαρμογής. Όπως και στο προηγούμενο μέρος της εργασίας έτσι και για τις ανάγκες αυτού του μέρους δημιουργήθηκε ένα SVN repository που μπορεί να βρεθεί στη διεύθυνση <https://svn.riouxsvn.com/ltesimulationue>.

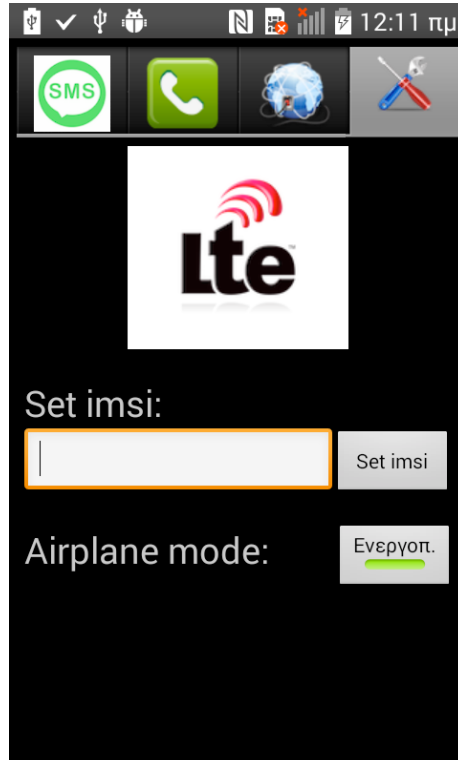
Στο σημείο αυτό θα περιγραφούν οι παραδοχές για την ανάπτυξη τη εφαρμογής.

Κάθε κινητό αναγνωρίζεται στο σύστημα από τον μοναδικό 9-ψήφιο αριθμό IMSI. Για τις ανάγκες της εφαρμογής ο χρήστης αναθέτει στη συσκευή του τον αριθμό IMSI της επιλογής του. Βέβαια η σύνδεση στο δίκτυο προϋποθέτει να μπορεί να επιβεβαιωθεί ο IMSI αριθμός από το ίδιο το δίκτυο. Μετά τη σύνδεση στο δίκτυο, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καλέσει άλλους συνδεδεμένους χρήστες, να στείλει μηνύματα κειμένου καθώς και να περιηγηθεί στο διαδίκτυο. Για να αποδειχτεί η ικανότητα του δικτύου να μεταφέρει δεδομένα περιήγησης στο διαδίκτυο, θεωρήθηκε αρκετό να παρουσιάζεται στο χρήστη ο HTML κώδικας της σελίδας που ζητήθηκε από το χρήστη.

Η εφαρμογή αποτελείται από τέσσερις οθόνες. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι τέσσερις οθόνες της εφαρμογής:

- Οθόνη ρυθμίσεων

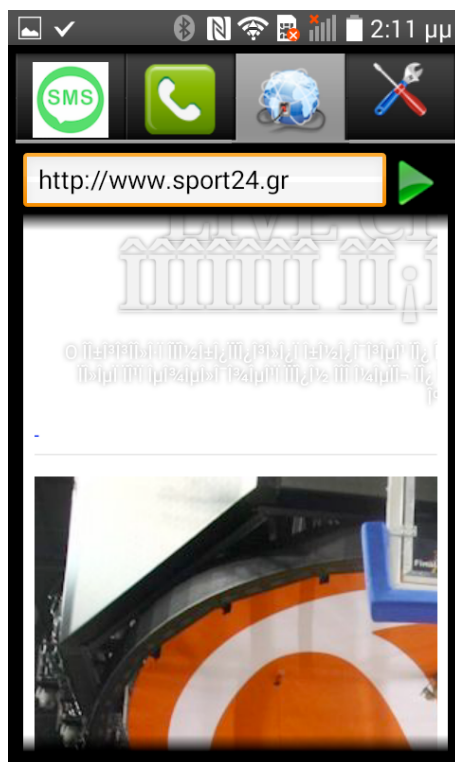
Αυτή είναι η οθόνη που υποδέχεται το χρήστη στην εφαρμογή. Ο χρήστης δεν μπορεί να προχωρήσει πέρα από αυτήν, μέχρι να αναθέσει στη συσκευή του, τον μοναδικό αριθμό IMSI και να απενεργοποιήσει τη λειτουργία πτήσης ώστε να μπορεί να βρεθεί από κάποιον σταθμό βάσης και να συνδεθεί στο δίκτυο. Μόλις η συσκευή συνδεθεί, ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στις επόμενες οθόνες.



Εικόνα 6: Οθόνη ρυθμίσεων εφαρμογής κινητού

- Οθόνη Internet

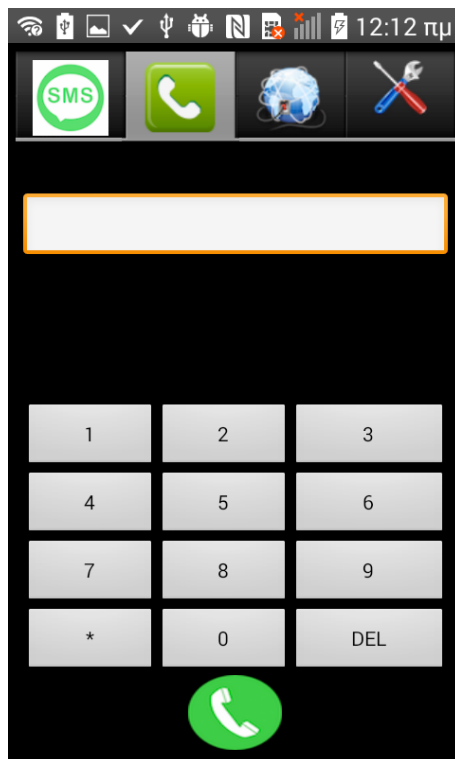
Από εδώ ο χρήστης μπορεί να περιηγηθεί στο διαδίκτυο μέσω του δικτύου που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας. Στο πρώτο πλαίσιο ο χρήστης εισάγει τη διεύθυνση της σελίδας που θέλει να επισκεφτεί και επιλέγοντας το κουμπί επάνω και δεξιά της οθόνης, στο δεύτερο πλαίσιο εμφανίζεται η σελίδα.



Εικόνα 7: Οθόνη περιήγησης διαδικτύου

- Οθόνη Κλήσης

Από την οθόνη αυτή, ο χρήστης μπορεί να καλέσει άλλους χρήστες του δικτύου εισάγοντας τον αριθμό τηλεφώνου και επιλέγοντας το κουμπί έναρξης κλήσης.

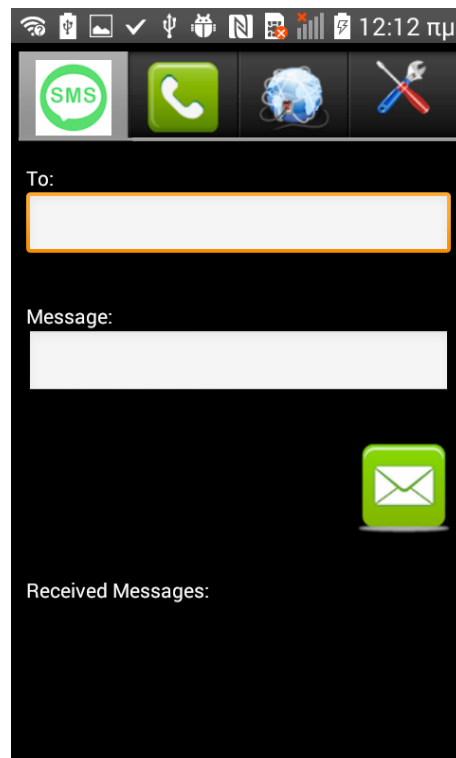


Εικόνα 8: Οθόνη κλήσης κινητού

- Οθόνη Μηνυμάτων

Από αυτή την οθόνη ο χρήστης αποστέλλει μηνύματα κειμένου, εισάγοντας τον αριθμό τηλεφώνου και το κείμενο της επιλογής του. Στο κάτω μέρος της οθόνης

παρουσιάζονται σε λίστα τα εισερχόμενα μηνύματα κειμένου που έχουν παρληφθεί μέσω του δικτύου.



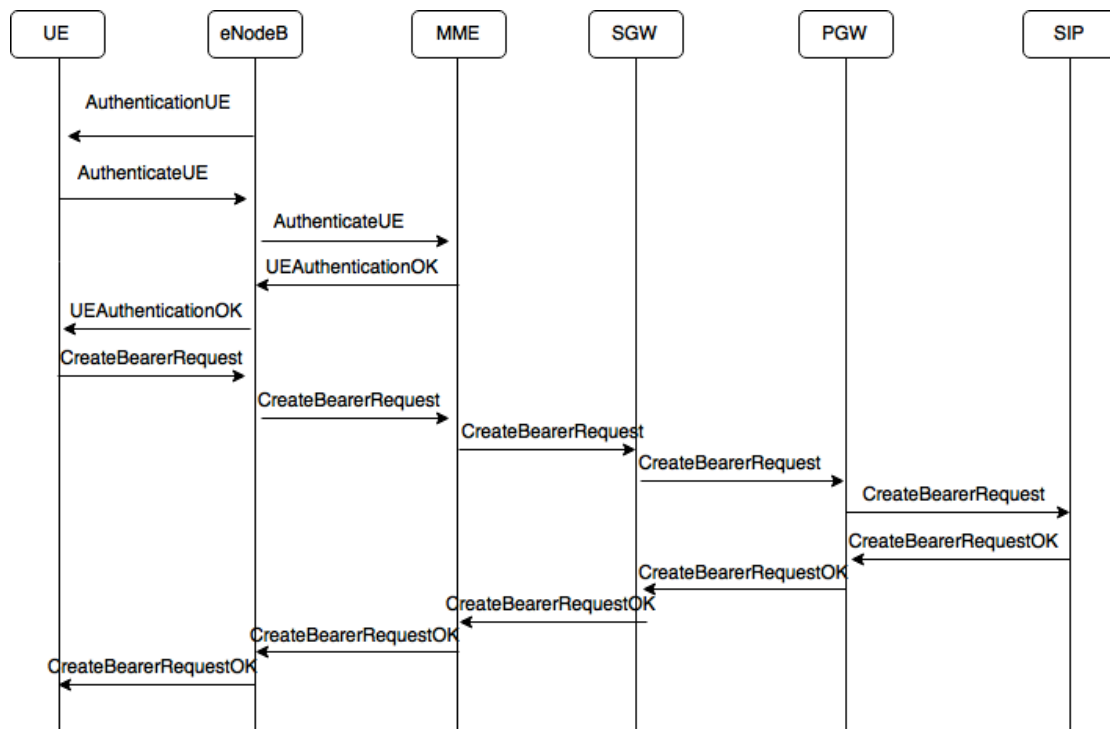
Εικόνα 9: Οθόνη μηνυμάτων εφαρμογής κινητού

4.4 Επεξήγηση των βασικών λειτουργιών

4.4.1 Σύνδεση στο δίκτυο (Initial Attach)

Το κινητό μετά την απενεργοποίηση της λειτουργίας πτήσης ανοίγει ένα TCP socket στην πόρτα 5000. Ο κάθε σταθμός βάσης σαρώνει το δίκτυο στη διεπαφή που έχει οριστεί από το χρήστη και όταν βρει κινητό στέλνει το μήνυμα **AuthenticationUE**. Το κινητό όταν λάβει το μήνυμα αποστέλλει στο eNodeB το μήνυμα **AuthenticateUE**. Το μήνυμα αυτό προωθείται στο MME με σκοπό να διασταυρωθεί η εγκυρότητα του IMSI που έχει αποσταλεί. Ανάλογα με το αποτέλεσμα της διασταύρωσης του IMSI, το MME απαντάει με **UEAuthenticationOK** ή **UEAuthenticationNOK**. Όταν το κινητό λάβει τη θετική απάντηση από το δίκτυο απαντάει με μήνυμα τύπου **CreateBearerRequest**. Με αυτό τον τύπο μηνύματος το κινητό ενημερώνει το eNodeB για τον αριθμό της πόρτας όπου θα δεχτεί UDP μηνύματα φωνής κατά τη διάρκεια κλήσης. Με τον ίδιο τρόπο ενημερώνεται κάθε στοιχείο του δικτύου με τη σειρά eNodeB, MME, SGW, PGW, SIP και μετά με την αντίθετη φορά. Όταν κάποιος κόμβος δέχεται μήνυμα τέτοιου τύπου δεσμεύει μία πόρτα όπου αργότερα κατά τη διαδικασία προετοιμασίας της κλήσης φωνής θα σηκωθεί ένα UDP socket υπεύθυνο για τη μεταφορά φωνής. Όλοι οι πόροι που δεσμεύονται κατά τη διαδικασία σύνδεσης αντιστοιχίζονται με το μοναδικό αριθμό IMSI της συσκευής.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ των στοιχείων του δικτύου και του κινητού κατά τη διαδικασία σύνδεσης στο δίκτυο:



Σχήμα 2: Διάγραμμα μηνυμάτων αρχικής σύνδεσης

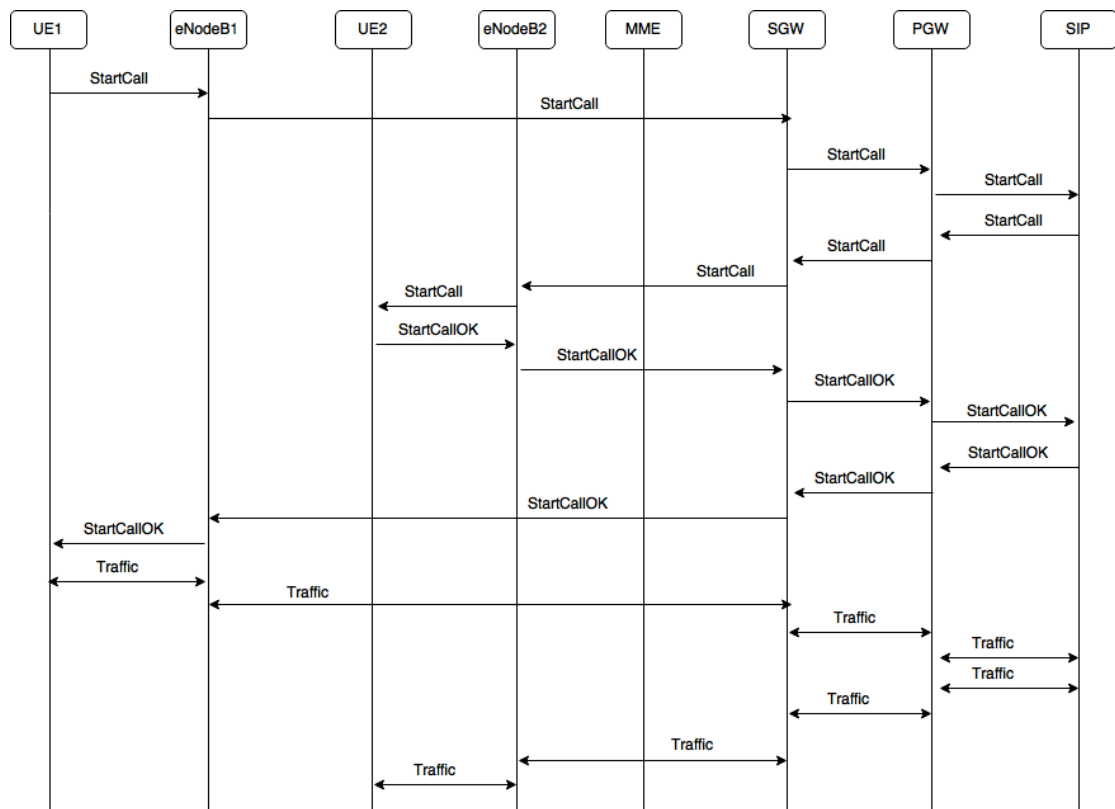
4.4.2 Κλήση φωνής (VoIP)

Η μεταφορά φωνής στο δίκτυο γίνεται μέσω UDP sockets με UDP μηνύματα μεγέθους 16000 bit. Όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως κάθε στοιχείο του δικτύου έχει δεσμεύσει ένα ζεύγος πορτών από τις οποίες θα γίνει η διάδοση φωνής από και προς το κινητό. Το κινητό αφού δεχτεί τα απαραίτητα στοιχεία από το χρήστη στέλνει μήνυμα τύπου StartCall. Το μήνυμα διαδίδεται με τη σειρά callerUE, eNodeB, SGW, PGW, SIP. Στον κόμβο SIP εξάγεται από τον αριθμό τηλεφώνου, το IMSI του χρήστη που θα δεχτεί την κλήση. Με αυτόν τον τρόπο διαπιστώνεται η κατάσταση του χρήστη (διαθέσιμος ή όχι).

- Στην περίπτωση που ο χρήστης είναι διαθέσιμος διαδίδεται προς το κινητό που θα δεχτεί την κλήση, μήνυμα τύπου **StartCall** με τη σειρά SIP, PGW, SGW, eNodeB, calleeUE. Όταν ο χρήστης αποδεχτεί το αίτημα κλήσης διαδίδεται προς το αρχικό κινητό το μήνυμα **StartCallOK**, αλλιώς στέλνεται μήνυμα τύπου **StartCallNOK**.
- Στην περίπτωση που ο χρήστης δεν είναι διαθέσιμος στέλνεται στο αρχικό κινητό μήνυμα τύπου **StartCallNOK**.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της κλήσης, δε μεταδίδονται δεδομένα του χρήστη (user plane traffic) μέσω του MME.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ των στοιχείων:

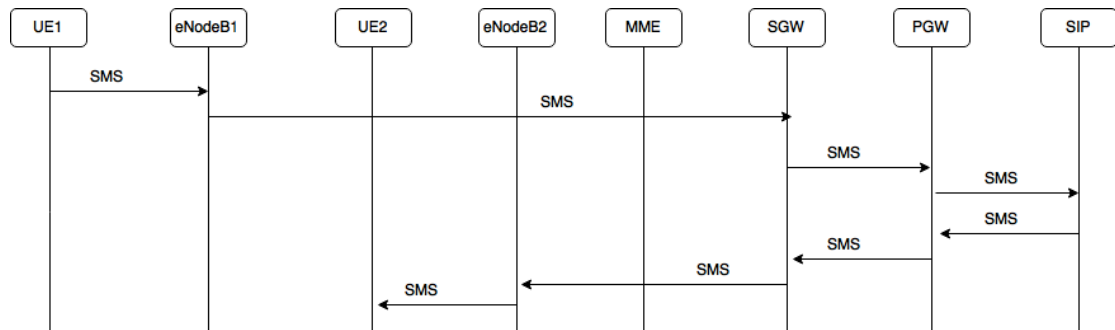


Σχήμα 3: Διάγραμμα μηνυμάτων κλήσης φωνής

4.4.3 Μήνυμα Κειμένου (SMS)

Τα μηνύματα κειμένου μεταδίδονται στο δίκτυο, με τη μορφή TCP πακέτων. Ο χρήστης εισάγει τον αριθμό τηλεφώνου όπου θέλει να παραδοθεί το μήνυμα, τυπώνει το μήνυμα και το αποστέλλει. Σε εκείνη τη στιγμή αποστέλλεται από το κινητό μήνυμα τύπου **SMS**. Το μήνυμα διαβιβάζεται στα υπόλοιπα στοιχεία του δικτύου με τη σειρά eNodeB, SGW, PGW, SIP. Στον κόμβο SIP αν βρεθεί η χρήστης με αριθμό τηλεφώνου ίδιο με αυτόν που παρείχε ο αρχικός χρήστης, τότε μεταδίδεται στο δίκτυο μήνυμα τύπου **SMS** προς το κινητό με σειρά SIP, PGW, SGW, eNodeB, παραλήπτης. Στην μετάδοση μηνύματος κειμένου δε συμμετέχει ο κόμβος MME καθώς αφορά κίνηση χρήστη (user plane traffic).

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διαδικασία μετάδοσης μηνύματος κειμένου στο δίκτυο:

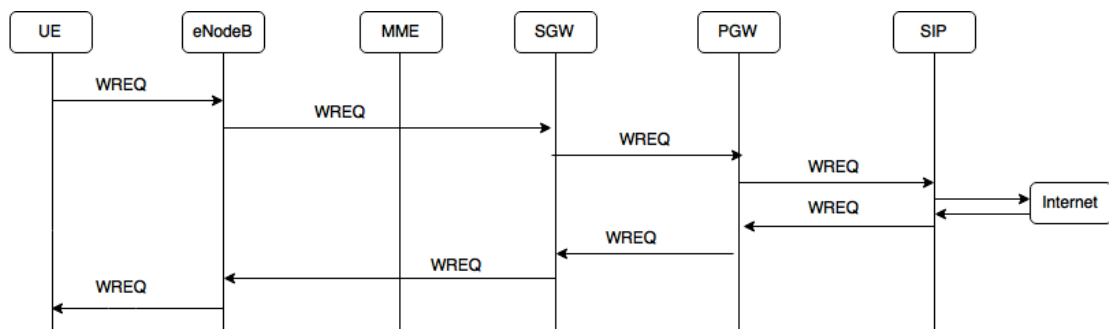


Σχήμα 4: Διάγραμμα αποστολής γραπτών μηνυμάτων

4.4.4 Περιήγηση στο Διαδίκτυο (Data)

Στην οθόνη Internet ο χρήστης εισάγει τη διεύθυνση που επιθυμεί να επισκεφτεί. Από το κινητό αποστέλλεται μήνυμα τύπου **WREQ**, με τελικό αποδέκτη τον κόμβο SIP. Αφού και αυτή η διαδικασία αφορά διάδοση κίνησης χρήστη (user plane traffic), το MME δεν εμπλέκεται σε αυτή. Το μήνυμα διαβιβάζεται στα στοιχεία του δικτύου με τη σειρά eNodeB, SGW, PGW, SIP. Λόγω της παραδοχής ότι ο SIP προσομοιώνει το εξωτερικό IP δίκτυο με το οποίο συνδέεται ο πυρήνας του LTE μέσω της διεπαφής SGi, χρησιμοποιείται το Jsoup API για την πρόσβαση στον κώδικα της σελίδας που ζήτησε ο χρήστης. Αφού λάβει ο SIP τα δεδομένα από το δίκτυο τα χωρίζει σε μηνύματα 500 χαρακτήρων και τα στέλνει πίσω στο κινητό με μήνυμα τύπου **WREQ**. Κάθε μήνυμα που παραλαμβάνεται από το κινητό εγγραφεται σε αρχείο html στην εσωτερική του μνήμη. Όταν παραλάβει και το τελευταίο μήνυμα, το κινητό φορτώνει το αρχείο στην οθόνη.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα μηνυμάτων:



Σχήμα 5: Διάγραμμα μεταφοράς δεδομένων περιήγησης

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

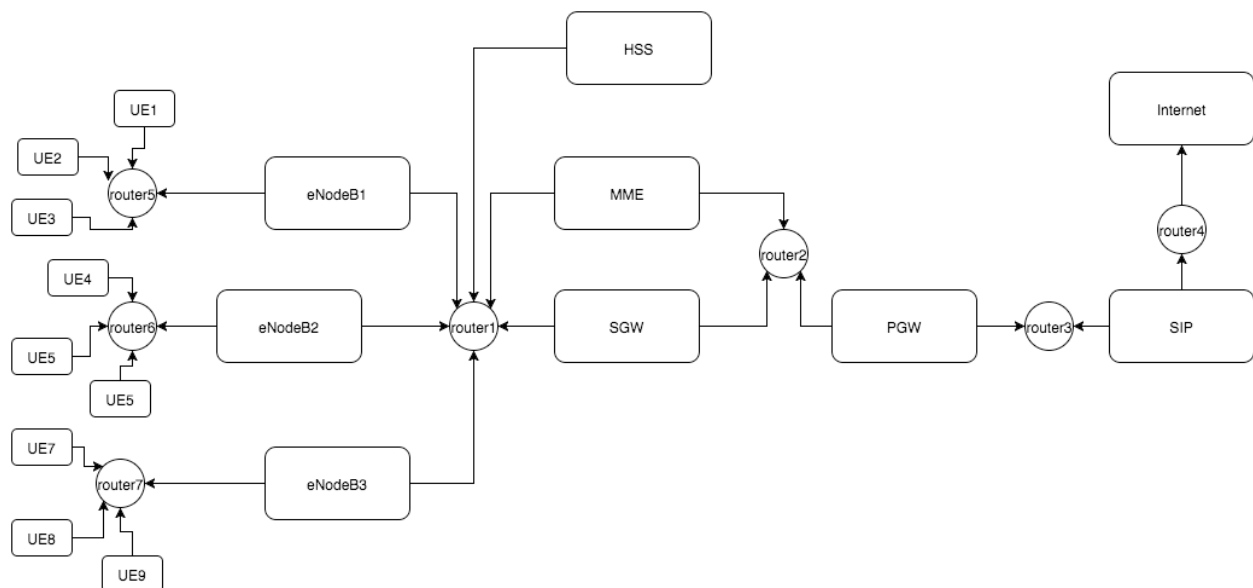
Η εξέλιξη του LTE έχει ήδη αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τα συστήματα τηλεπικοινωνιών. Ο κύριος λόγος της άνετης επικράτησής του είναι το γεγονός ότι λειτουργεί με βάση τη μεταφορά δεδομένων μέσω πακέτων. Σε αυτή την καινοτομία οφείλει την τεράστια αύξηση ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων καθώς και την απλοποίηση της εγκατάστασής του.

Απόδειξη του παραπάνω αποτελεί η εφαρμογή που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας. Με ένα πρόγραμμα γραμμένο σε Java SE και δύο προσωπικούς υπολογιστές είναι εφικτή η προσοίωση ενός δικτύου LTE σε μικρογραφία. Με αυτούς τους ελάχιστους πόρους σε υλικό, δημιουργήθηκε ένα δίκτυο ικανό να εξυπηρετήσει μέχρι και πέντε κλήσεις φωνής χωρίς πρόβλημα.

5.1 Επόμενα βήματα

Σαν επόμενο βήμα για την εφαρμογή, με σκοπό την αύξηση της αποτελεσματικότητάς της, θα ήταν η εκτέλεση κάθε κόμβου του δικτύου σε διαφορετικό υλικό (υπολογιστή / server), κάτι που ήδη υποστηρίζεται. Έτσι θα υπάρχει αφθονία σε πόρους, με αποτέλεσμα την ικανότητα εξυπηρέτησης περισσότερων κινητών.

Άλλο ένα βήμα θα ήταν η ανάπτυξη της εφαρμογής ώστε ο χρήστης να μπορεί να επιλέξει τη διεπαφή για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων καθώς και των κινητών. Έτσι θα μπορούσε ο χρήστης να οδηγηθεί στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6: Επόμενο βήμα εφαρμογής

Με αυτόν τον τρόπο κάθε κόμβος θα είχε διαφορετική διεπαφή για την επικοινωνία με τους κόμβους γύρω του, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα λάθους λόγω μεγάλης κίνησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Evolved Packet System	Εξελιγμένο Σύστημα Πακέτων
Universal Mobile Telecommunication System	Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών
Voice over IP	Μεταφορά φωνής μέσω πρωτοκόλλου IP
Radio Access Network	Δίκτυο Ραδιο-Πρόσβασης
Quality of Service	Ποιότητα Υπηρεσιών
Standards Development Organizations	Οργανώσεις Ανάπτυξης Προτύπων
Technical Specification Groups	Ομάδες Τεχνικών Προδιαγραφών

Πίνακας 1: Μετάφραση αγγλικής ορολογίας στην ελληνική γλώσσα

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

LTE	Long Term Evolution
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
EPS	Evolved Packet System
3GPP	Third Generation Partnership Project
VoIP	Voice over IP
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
SAE	System Architecture Evolution
LAN	Local Area Network
CN	Core Network
SDOS	Standards Development Organizations
TSGs	Technical Specification Groups
IP	Internet Protocol
UE	User Equipment
PDN	Packet Data Network
FTP	File Transfer Protocol
eNodeB	Evolved Node B
PGW	Packet Data Network Interface
S-GW	Serving Gateway
MME	Mobility Management Entity
HSS	Home Subscription Server
PCRF	Policy Control Charging Rules Function
IMS	IP Multimedia Subsystem
AF	Application Function
DHCP	Dynamic Configuration Protocol
NAS	Non Access Stratum
PLMN	Public Land Mobile Network
RAT	Radio Access Technologies
MAC	Medium Access Control
PHY	Physical Layer
PCEF	Policy Charging Enforcement Function

Πίνακας 2: Ακρωνύμια και ανάπτυξη τους

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Motorola Technical white paper, Long Term Evolution(LTE):A Technical Overview.
- [2] Motorola White paper :Long Term Evolution (LTE).
- [3] Ericsson White paper :LTE – An Introduction
- [4] LTE The UMTS Long Term Evolution, from theory to practice, Stefania Sesia , Isam Toufik, Mathew Baker.
- [5] LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access,Harri Holma,Antti Toskala.
- [6] <http://www.3gpp.org/> The Mobile Broadband Standard
- [7] <http://www.ngmn.org/> Next Generation Mobile Networks
- [8] Ch. Cox, An Introduction to LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications,John Wiley & Sons Ltd, 2012.