



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ**

**ΝΕΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**  
**ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 4<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ**

**ΙΩΑΝΝΑ ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΑΚΗ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**Επιβλέπων**  
**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ**

**Επιστημονικός Υπεύθυνος**  
**ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΟΡΙΝΘΙΟΣ**

**Λαμία, 2018**



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF SCIENCE**

**INFORMATICS AND COMPUTATIONAL BIOMEDICINE**

**NEW SERVICES & EVOLUTION OF 4<sup>TH</sup> GENERATION  
MOBILE COMMUNICATION NETWORKS**

**IOANNA PAPATHANASAKI**

**Master thesis  
GEORGIOS STAMOULIS**

**Lamia 2018**





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ  
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ**

**«ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ  
ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ»**

**ΝΕΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ  
ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 4<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ**

**ΙΩΑΝΝΑ ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΑΚΗ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Επιβλέπων**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ**

**Λαμία, 2018**

«Υπεύθυνη Δήλωση μη λογοκλοπής και ανάληψης προσωπικής ευθύνης»

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, και γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα και ενυπογράφως ότι η παρούσα εργασία με τίτλο [Νέες Υπηρεσίες και η εξέλιξη των δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών 4ης γενιάς ]

αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές από τις οποίες χρησιμοποίησα δεδομένα, ιδέες, φράσεις, προτάσεις ή λέξεις, είτε επακριβώς (όπως υπάρχουν στο πρωτότυπο ή μεταφρασμένες) είτε με παράφραση, έχουν δηλωθεί κατάλληλα και ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Η ΔΗΛΟΥΣΑ

Ημερομηνία

Υπογραφή

ΝΕΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ  
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 4<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ

**ΙΩΑΝΝΑ ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΑΚΗ**

**Τριμελής Επιτροπή:**

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ

ΒΑΒΟΥΓΓΙΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

**Επιστημονικός Σύμβουλος:**

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΟΡΙΝΘΙΟΣ

## Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς. Πιο αναλυτικά θα μελετήσουμε τις νέες υπηρεσίες που παρέχονται από τα δίκτυα αυτά σε σύγκριση πάντα με τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών των προηγούμενων γενιών.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των χαρακτηριστικών των δικτύων τηλεπικοινωνιών προηγούμενων γενεών (1G, 2G/GSM, 3G/UMTS).

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται το δίκτυο 4<sup>ης</sup> γενιάς πιο αναλυτικά. Παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, η λειτουργικότητα του καθώς και οι δυνατότητες τις οποίες παρέχει.

Ακολούθως παρουσιάζεται ένα νέο χαρακτηριστικό στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, η δυνατότητα για απευθείας σύνδεση τερματικών συσκευών. Εν συνεχεία αναλύονται εκτενώς τα μοντέλα επικοινωνίας μεταξύ συσκευών, τα οποία διαφέρουν από τα κλασσικά μοντέλα (Bluetooth, Wi-Fi) στις ασύρματες επικοινωνίες, στον τρόπο εδραίωσης των καναλιών.

Επιπροσθέτως γίνεται παρουσίαση 2 άλλων καινοτόμων χρήσεων του δικτύου LTE. Αρχικά αναλύεται η τεχνολογική εξέλιξη VoLTE, η χρήση δηλαδή του δικτύου για υπηρεσίες φωνής με χρήση μεταγωγής πακέτου, και ακολουθεί η χρήση του δικτύου για κρίσιμες επικοινωνίες (δηλαδή σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης).

Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία, καθώς και οι μελλοντικές επεκτάσεις του δικτύου 4<sup>ης</sup> γενιάς.

## Abstract

The purpose of this thesis is the presentation of 4<sup>th</sup> generation telecommunication networks. We will see more about the new services that are provided from 4<sup>th</sup> generation networks, comparing to the previous.

In chapter 1 the technical characteristics of the previous networks (1G, 2G/GSM, and 3G/UMTS) are presented.

In chapter 2 the 4G telecommunication network is presented more thoroughly. We can see its technical characteristics, its functionality and the opportunities it can offer.

Following that a new characteristic of communication networks is presented, the direct communication between two devices. After that the models for communication establishment are described and we can see the differences from the classic wireless technologies (Bluetooth, WI-Fi).

Furthermore we see more about two innovative uses of LTE, the VoLTE service and the use of the network in critical communications.

Finally this thesis closes with the conclusions that have emerged from this thesis and some future extensions.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	10
1.2 ΔΙΚΤΥΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ.....	10
1.3 ΔΙΚΤΥΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ.....	10
1.4 ΔΙΚΤΥΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ.....	12
2. ΔΙΚΤΥΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ.....	16
2.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	16
2.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΚΑΙ ΚΑΝΑΛΙΑ.....	21
2.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 4 <sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ.....	23
3. ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ (DEVICE 2 TO DEVICE COMMUNICATION).....	26
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	26
3.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	28
4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ VOICE OVER LTE (VoLTE).....	32
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	32
4.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ IMS.....	33
5. ΔΙΚΤΥΑ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	37
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	37
5.2 ΔΙΚΤΥΑ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ LTE.....	40
6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	43
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	46
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	49

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο τομέας των δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών είναι μια από τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται με εκρηκτικούς ρυθμούς την τελευταία 30-ετία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ανάγκες των ανθρώπων αυξάνονται με ραγδαίους ρυθμούς, το οποίο έχει ως συνέπεια η τεχνολογία να εξελίσσεται παράλληλα για να μπορεί να τις ικανοποιήσει. Επίσης, αντίστροφα η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας δημιούργησε νέα δυνατότητες οι οποίες λόγω της ευρείας αποδοχής τους μετατράπηκαν σύντομα σε ανάγκες.

### 1.2 ΔΙΚΤΥΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 1<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ (1G)

Η αρχή στα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών έγινε με το δίκτυο πρώτης γενιάς ή αλλιώς 1G. Τα δίκτυα αυτά κάνουν χρήση αναλογικού σήματος. Το πρώτο δίκτυο εγκαταστάθηκε στο Ιαπωνία το 1979, ενώ μέχρι το 1985 παρόμοια δίκτυα είχαν εισαχθεί στην Σκανδιναβία και την Αμερική. Τα δίκτυα πρώτης γενιάς είναι στενής ζώνης και κάνουν χρήση της τεχνικής Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Multiple Access, FDMA). Η επικοινωνία ήταν πλήρως αμφίδρομη, το οποίο σημαίνει ότι ο χρήστης μπορούσε να μιλά και να ακούει ταυτόχρονα. Επίσης δινόταν η πιθανότητα αποστολής γραπτών μηνυμάτων σε συγκεκριμένες συσκευές. Αυτό όμως που προκαλούσε αρκετά μεγάλο πρόβλημα ήταν ο θόρυβος που υπήρχε στο κανάλι επικοινωνίας και ο οποίος οδήγησε στην ανάγκη εξέλιξης του δικτύου.

### 1.3 ΔΙΚΤΥΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 2<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ (GSM)

Το 1991 ήρθαν στο προσκήνιο καινούρια δίκτυα στενής ζώνης, που χρησιμοποιούσαν ψηφιακές τεχνικές και έδιναν πολύ καλή λύση στο πρόβλημα του θορύβου σημαντικότερο από αυτά τα δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς ήταν το Global System for Mobile communications (GSM). Το δίκτυο αυτό λόγω της ανώτερης ποιότητας υπηρεσίας που παρείχε εδραιώθηκε πολύ γρήγορα σε όλο τον κόσμο. Είχε πολλές καινοτομίες αλλά βασικότερη ήταν η χρήση ψηφιακού σήματος σε αντίθεση με το 1<sup>ης</sup> γενιάς που έκανε χρήση αναλογικού σήματος

Το GSM αρχικά έκανε χρήση 2 ζωνών συχνοτήτων με συνολικό εύρος ζώνης 25MHz για την αποστολή και την λήψη των δεδομένων. Η πρώτη ζώνη συχνοτήτων εφαρμογής του συστήματος ήταν τα 890-915MHz (Κατεύθυνση Uplink) και τα 935-960MHz (Κατεύθυνση Downlink). Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν και άλλες ζώνες συχνοτήτων. Για την αποστολή και τη λήψη των δεδομένων το τεματικό χρησιμοποιεί 2 συχνότητες (μία στην κατεύθυνση uplink και μια στην κατεύθυνση downlink) χρησιμοποιώντας τεχνική FDD (Frequency Division Duplex). Σε κάθε

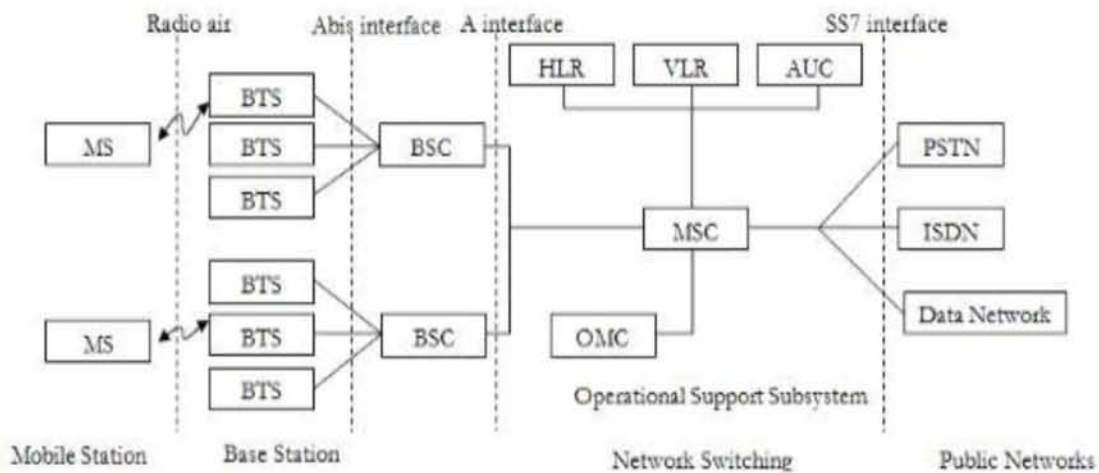
συχνότητα μπορούν να έχουν πρόσβαση ως 8 τερματικά, τα οποία μοιράζονται τη συχνότητα με τεχνική Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Χρόνου (Time Division Multiple Access, TDMA). Στην πράξη η συχνότητα χωρίζεται σε χρονοθυρίδες (timeslots) στο πεδίο του χρόνου. Έτσι κατά την μετάδοση των δεδομένων κάθε χρήστης στέλνει (και λαμβάνει) μόνο στην χρονοθυρίδα της συχνότητας που του έχει ανατεθεί και όταν τελειώσει το χρονικό περιθώριο σταματά την μετάδοση, έτσι ώστε να προχωρήσει ο επόμενος και περιμένει μέχρι να έρθει ξανά η δικιά του σειρά για να μεταδώσει ξανά.

Η ζώνη λήψης δεδομένων αποτελείται από κανάλια με μέγεθος 200KHz το καθένα. Υπάρχουν 2 είδη καναλιών, τα Κανάλια Κίνησης (Traffic Channels) και τα Κανάλια Ελέγχου (Control Channels). Τα κανάλια κίνησης χρησιμεύουν για την μετάδοση φωνής ή δεδομένων από τον χρήστη, ενώ τα κανάλια ελέγχου για την επικοινωνία αποκλειστικά και μόνο του κινητού τερματικού και του σταθμού βάσης. Στην κανονική λειτουργία κάθε κανάλι επικοινωνίας μπορεί να χρησιμοποιείται το πολύ από 8 χρήστες. Το σύστημα του δικτύου 2<sup>ης</sup> γενιάς αποτελείται από 3 βασικά υποσυστήματα, το υποσύστημα σταθμών βάσης (Base Station Subsystem, BSS), το Υποσύστημα Δικτύου Μεταγωγής (Network Switching Subsystem, NSS) και το Υποσύστημα Υποστήριξης Λειτουργίας (Operations Support Subsystem, OSS).

Το υποσύστημα σταθμών βάσης αποτελείται από το σύστημα του πομποδέκτη. Είναι δηλαδή υπεύθυνο για την αποστολή και την λήψη των μηνυμάτων προς και από τον χρήστη. Επίσης είναι υπεύθυνο για την μετάδοση των δεδομένων μεταξύ του κινητού τερματικού και του Κέντρου Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών (Mobile Switching Center, MSC). Επιπλέον είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των καναλιών επικοινωνίας. Το υποσύστημα δικτύου και εναλλαγής είναι ίσως το σημαντικότερο από τα 3 υποσυστήματα του δικτύου 2<sup>ης</sup> γενιάς. Αρχικά είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με άλλα δίκτυα όπως τα ISDN και τα PSTN.

Επίσης είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των συνδρομητών καθώς περιέχει 2 πολύ σημαντικές βάσεις δεδομένων, τον Καταχωρητή Θέσης Έδρας (Home Location Register, HLR) και τον Καταχωρητή Θέσης Επισκέπτη (Visitor Location Register, VLR). Η HLR περιέχει 2 ειδών πληροφορίες, την μόνιμη και την δυναμική. Η μόνιμη περιλαμβάνει την Διεθνή Ταυτότητα Συνδρομητή (International Mobile Subscriber Identity, IMSI), τον αριθμό κλήσης κάθε συνδρομητή και το κλειδί ελέγχου αυθεντικότητας. Η δυναμική πληροφορία περιλαμβάνει δεδομένα όπως την κατάσταση του κινητού τερματικού καθώς και παραμέτρους ελέγχου αυθεντικότητας. Η VLR περιλαμβάνει παρόμοια πληροφορία με αυτήν της HLR με επιπλέον την προσωρινή ταυτότητα συνδρομητή (Temporary International Mobile Subscriber Identity, TIMSI).

Το Υποσύστημα Υποστήριξης Λειτουργίας είναι υπεύθυνο για την ομαλή λειτουργία του δικτύου. Πιο αναλυτικά είναι υπεύθυνο για την διαχείριση, την παρακολούθηση, την διάγνωση και την αντιμετώπιση προβλημάτων ολόκληρου του συστήματος. Για να μπορεί να το πετύχει αυτό είναι συνδεδεμένο και μετά άλλα 2 υποσυστήματα ώστε να μπορεί να τα παρακολουθεί και έχει καθαρά υποστηρικτικό χαρακτήρα. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι το υποσύστημα αυτό παρέχεται αποκλειστικά και μόνο στο προσωπικό της εταιρίας που είναι υπεύθυνο για την παροχή υπηρεσιών στο δίκτυο. Στην συνέχεια παρουσιάζεται σχηματικά η αρχιτεκτονική του δικτύου 2<sup>ης</sup> γενιάς και στο οποίο μπορούμε να δούμε πως επικοινωνούν τα υποσυστήματα μεταξύ τους.[7]

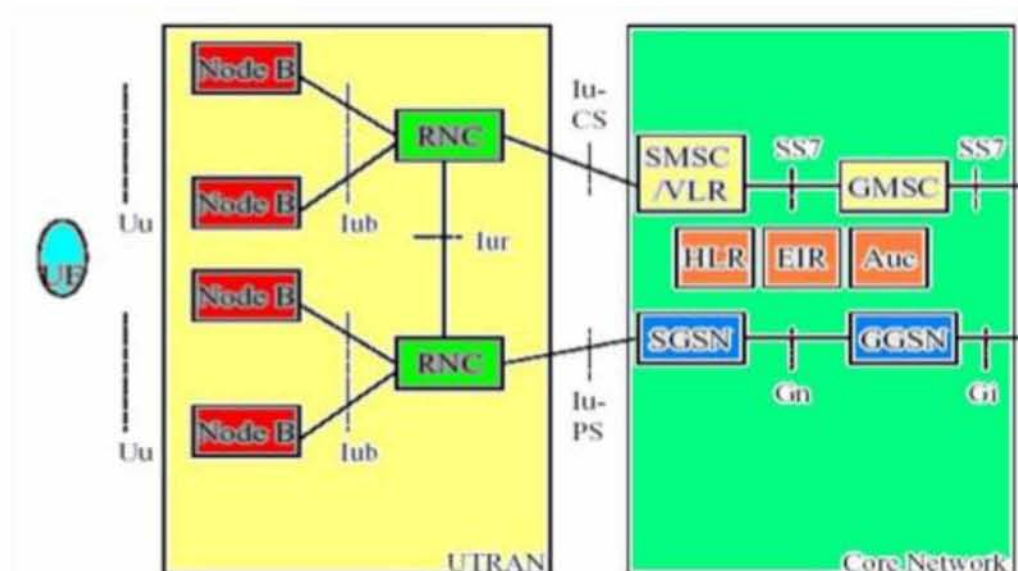


Εικόνα 1 - Αρχιτεκτονική GSM [36]

Οι ταχύτητες τόσο στο downlink όσο και το uplink στο δίκτυο 2<sup>ης</sup> γενιάς ήταν χαμηλές εφόσον είναι δίκτυο στενής ζώνης. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για περαιτέρω εξέλιξη του οπότε είχαμε τη δημιουργία του δικτύου πακέτων General Packet Radio Service (GPRS) με ταχύτητες ως 144kbps. Στη συνέχεια όμως είχαμε και την εξέλιξη του GPRS σε Enhanced-GPRS ή EGPRS, όπως έμεινε γνωστό, το οποίο υποστήριζε ταχύτητες ως 384kbps. Όσο όμως ευρέως διαδεδομένο και αν ήταν το δίκτυο 2<sup>ης</sup> γενιάς, όσο και αν εξελίχθηκε στην πορεία, υπήρχε η επιθυμία για ακόμα καλύτερες ταχύτητες με ακόμα λιγότερο κόστος. Σε αυτό κλήθηκαν να απαντήσουν τα συστήματα 3<sup>ης</sup> και στη συνέχεια 4<sup>ης</sup> Γενιάς που περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

#### 1.4 ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 3<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ (UMTS)

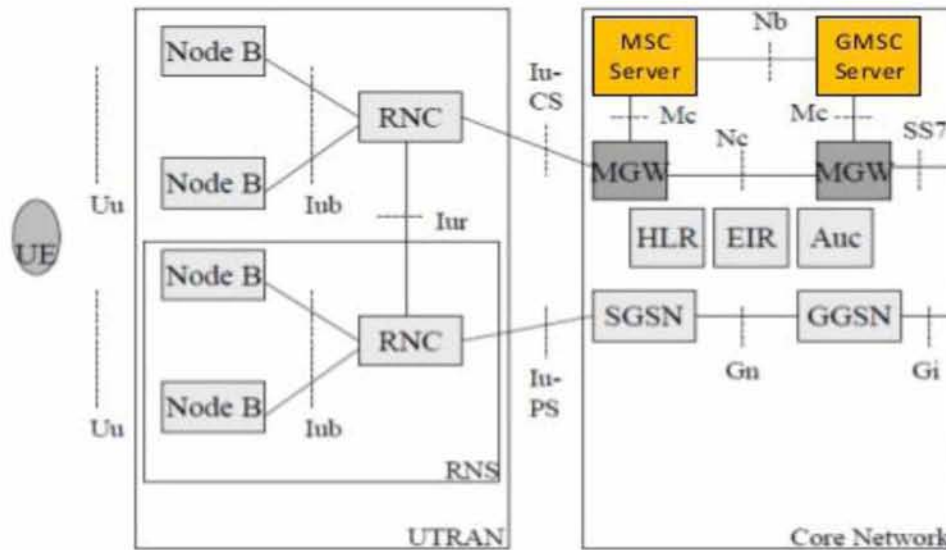
Το UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) ή Δίκτυο Κινητών Τηλεπικοινωνιών 3<sup>ης</sup> γενιάς (3G Mobile Network) είναι ουσιαστικά η εξέλιξη του GSM και τα οποία ήρθαν στο προσκήνιο στις αρχές της δεκαετίας του 2000. Κάνουν χρήση της τεχνικής Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Κώδικα (Code Division Multiple Access, CDMA) στο οποίο οι χρήστες μπορούν να εκπέμπουν ταυτόχρονα στο ίδιο κανάλι χρησιμοποιώντας μια ζώνη συχνοτήτων. Στα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς είχαμε αρκετές εκδόσεις όπου η καθεμία αποτελεί βελτίωση της προηγούμενης. Η αρχική έκδοση ολοκληρώθηκε το 1999 και γι αυτό ονομάστηκε R99. Στην αρχική αυτή έκδοση η διαχείριση των κλήσεων και των μεταγωγών ήταν αποκλειστική ευθύνη του MSC. Στην συνέχεια απεικονίζεται η αρχιτεκτονική της αρχικής έκδοσης του UMTS. [35]



**Εικόνα 2 - Αρχιτεκτονική R99 [37]**

Η επόμενη έκδοση ήταν η έκδοση 4 και στην οποία έγινε μια προσπάθεια πλήρους διαχωρισμού του επιπέδου ελέγχου από το επίπεδο χρήστη. Στην συνέχεια παρατίθεται η αρχιτεκτονική της δεύτερης έκδοσης του δικτύου 3<sup>ης</sup> γενιάς.

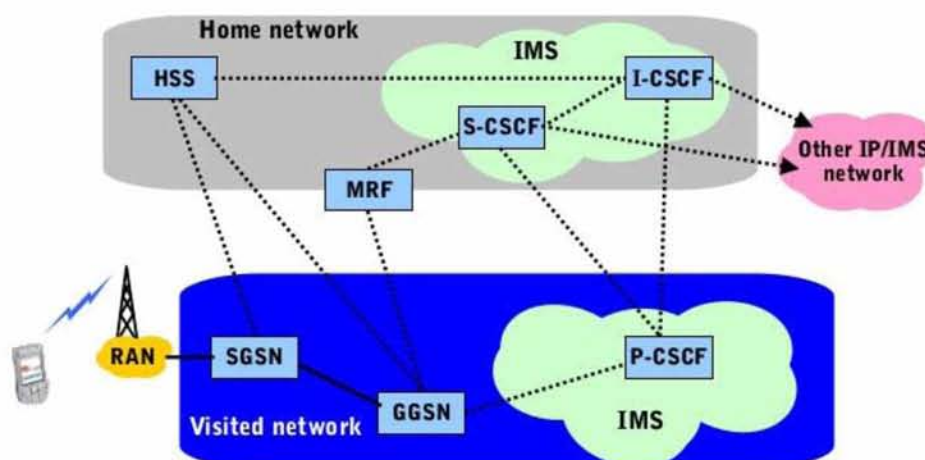




**Εικόνα 3 - Αρχιτεκτονική Release 4 [38]**

Στην έκδοση 5 του UMTS έχουμε από πλευράς αρχιτεκτονικής την δημιουργία του IP Multimedia Subsystem (IMS). Το IMS είναι ένα σύστημα το οποίο υποστηρίζει multimedia λειτουργίες και το οποίο είχε ως στόχο την κατάργηση μεταγωγής με κυκλώματα στις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Σημείωσε μεγάλη επιτυχία στην σταθερή τηλεφωνία και όχι τόσο στην κινητή. Επίσης σε αυτή την έκδοση, είχαμε εξέλιξη του HLR σε Home Subscriber Server (HSS), η οποία τώρα εκτός από τις πληροφορίες για τους συνδρομητές περιέχει και όλες τις πληροφορίες για να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά ο IMS. Στην συνέχεια παρατίθεται σχηματικά η αρχιτεκτονική της έκδοσης 5 του δικτύου τηλεπικοινωνιών 3<sup>ης</sup> γενιάς.

Στην ίδια έκδοση εισήχθηκε το πρωτόκολλο HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) το οποίο βελτίωσε σημαντικά την ταχύτητα των δεδομένων στο downlink.



**Εικόνα 4 - Αρχιτεκτονική Release 5 [39]**

Η έκδοση 6 του UMTS περιείχε όχι μόνο εξέλιξη του IMS αλλά και έγιναν προσπάθειες για αύξηση στις ταχύτητες του uplink. Αυτό έγινε με την χρήση του πρωτοκόλλου High Speed Uplink Packet Access (HSUPA). Το πρωτόκολλο αυτό εισάγει ένα καινούριο κανάλι, το E-DHκαι συντελεί επίσης και στην βελτίωση της κάλυψης του δικτύου και στην μείωση των καθυστερήσεων στα κανάλια που χρησιμοποιούνται για το uplink.

Στις εκδόσεις 7 και 8 έχουμε αύξηση των ταχυτήτων στο downlink και το uplink καθώς και εισαγωγή της διαχείρισης κλήσεων έκτακτης ανάγκης από το IMS. Μια μεγάλη όμως καινοτομία της έκδοσης αυτής είναι η χρήση των κεραιών Πολλαπλών Εισόδων και Πολλαπλών Εξόδων (Multiple Input Multiple Output antennas - MIMO). Η τεχνολογία αυτή βρίσκει ιδανική εφαρμογή σε μέρη όπου τα μονοπάτια μετάδοσης είναι περισσότερα του ενός μέχρι την μετάδοση του μηνύματος. Η τεχνολογία αυτή έχει ως στόχο την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου [27].

Τα πλεονεκτήματα των δικτύων τηλεπικοινωνιών 3<sup>ης</sup> γενιάς είναι αρκετά και μερικά από αυτά παρατίθενται στην συνέχεια:

- Αύξηση ρυθμού μετάδοσης δεδομένων
- Ταυτόχρονη υποστήριξη μεγαλύτερου όγκους δεδομένων και φωνής.
- Δυνατότητα αυθεντικοποίησης του δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένο το κινητό

Επίσης εξαιτίας των δυνατοτήτων που διαθέτει βρίσκει εφαρμογή σε αρκετές τεχνολογικές εξελίξεις όπως:

- Τηλεδιασκέψεις
- Τηλεϊατρική
- Video On Demand
- Mobile TV

## 2 ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 4<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ

### 2.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα Δίκτυα Κινητών Τηλεπικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G Mobile Networks) είναι η εξέλιξη του UMTS, και κατ'επέκταση και του GSM, εισήχθησαν στο τέλος της δεκαετίας του 2000. Λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας οι υπηρεσίες που προσφέρει είναι πολύ καλύτερες από αυτές των προηγούμενων δικτύων. Το βασικό 4G Δίκτυο είναι το Long Term Evolution (LTE), το οποίο

αναπτύχθηκε από το 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project), όπως και ο προκάτοχός του το UMTS. Το LTE έτυχε επίσης μεγάλης εξέλιξης από την αρχική του έκδοση. Ας δούμε όμως πιο αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της εξέλιξης αυτής καθώς και την διαφορά της κάθε έκδοσης από την προηγούμενη[4][9][27].

#### ➤ *Release 8*

Η 8<sup>η</sup> έκδοση ήταν και η αρχική που ορίστηκε το 2006. Είχε πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις προηγούμενες κατηγορίες δικτύων όπως:

- Ταχύτητα 150Mbps για το downlink και 50Mbps για το uplink.
- Πολύ μικρές καθυστερήσεις (< 5ms).
- Τουλάχιστον 200 ενεργές συνδέσεις ανά κανάλι.
- Υψηλή φασματική απόδοση (16 bps/Hz).
- Πολλές κατηγορίες εύρους ζώνης: 1.4MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz. το οποίο παρέχει καλύτερη προσαρμοστικότητα στο δίκτυο σε περιοχές με ποικίλα εύρη ζώνης.
- Κυψέλες με μεταβλητό μέγεθος

Επίσης στην αρχική έκδοση του LTE ορίστηκαν και τα κανάλια επικοινωνίας καθώς και ένα καινούριο πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων, στα οποία όμως θα αναφερθούμε στην συνέχεια. Ας δούμε τώρα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επόμενων εκδόσεων.

#### ➤ *Release 9*

Στην επόμενη έκδοση του δικτύου η οποία ορίστηκε το 2008 δεν υπήρχαν σημαντικές αλλαγές. Πιο αναλυτικά οι βελτιώσεις που έγιναν ήταν στα πιο υψηλά επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων. Αρχικά υπάρχουν βελτιώσεις στον εντοπισμό θέσης σε σχέση με την τεχνολογία GPRS (General Packet Radio Service) που κάνει χρήση των δικτύων 3G. Επιπλέον υπάρχει παροχή υποστήριξης λειτουργίας της μετάδοσης η οποία είναι βασισμένη στο δίκτυο ενιαίας συχνότητας.

#### ➤ *Release 10*

Στην τρίτη έκδοση του δικτύου 4<sup>ης</sup> γενιάς, το οποίο ορίστηκε το 2009 υπήρχαν σημαντικές βελτιώσεις σε σύγκριση με αυτές της προηγούμενης έκδοσης κάνοντας το συγκρίσιμο με μια ενσύρματη σύνδεση. Μερικές από αυτές παρατίθενται στην συνέχεια:



- Ταχύτητα 1Gbps για το downlink και 500Mbps για το uplink.
- Μεγαλύτερη φασματική απόδοση (30bps/Hz).
- Μεγέθυνση εύρους ζώνης με έως και τα 100MHz στο downlink και 40MHz στο uplink.
- Καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών.

#### ➤ *Release 11*

Ο στόχος της επόμενης έκδοσης των δικτύων LTE που ορίστηκε το 2010 ήταν η αύξηση της χωρητικότητας. Επίσης έχουμε σημαντικές βελτιώσεις στα τεχνικά χαρακτηριστικά των δικτύων καθώς και εισαγωγή καινούριων λειτουργιών, τα οποία παρατίθενται στην συνέχεια.

- Αύξηση φασματικής απόδοσης
- Αύξηση αριθμού ταυτόχρονα συνδεδεμένων χρηστών στο δίκτυο
- Αύξηση ταχύτητας στα 3Gbps στο downlink και στα 1,5Gbps στο uplink.
- Εισαγωγή κόμβων αναμεταδοτών.
- Εισαγωγή συντονισμένης λειτουργίας πολλαπλών σημείων (Coordinated Multipoint transmission/reception - CoMP)[9]

Οι κόμβοι αναμεταδότες είναι ουσιαστικά σταθμοί βάσης. Έχουν μεγάλη χωρητικότητα κυψελών και είναι πολύ χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης κάτι που τους καθιστά ιδανικούς για χρήση σε απομακρυσμένες περιοχές, οι οποίες αποτελούν πρόκληση για όλους τους παρόχους. Η συντονισμένη λειτουργία πολλαπλών σημείων είναι μια σημαντική καινοτομία της 4<sup>ης</sup> έκδοσης του LTE (Long Term Evolution). Κάνει χρήση Tx και Rx κεραιών, τις πρώτες στο downlink και τις δεύτερες στο uplink. Το σημαντικό πλεονέκτημα των κεραιών Tx που τις κάνει ιδανικές για το downlink είναι ότι έχουν τη δυνατότητα μετάδοσης υψηλής ποιότητας σήματος. Αυτή η λειτουργία παρέχει σημαντική βελτίωση στην απόδοση του δικτύου στις κυψέλες. Επίσης δίνει την δυνατότητα πολλών τρόπων εγκατάστασης των κεραιών ανάλογα με το δίκτυο και την λειτουργικότητα που θέλουμε να έχει[8][26].

#### ➤ *Release 12*

Η επόμενη έκδοση των δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς ορίστηκε το 2011 και είχε ως στόχο την επέκτασή τους και σε υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης. Επίσης είχε ως στόχο την παροχή τεχνικών προδιαγραφών για λειτουργικά στοιχεία και διεπαφές μεγάλης σημασίας. Μερικές από τις βελτιώσεις που παρείχε η έκδοση αυτή παρατίθενται στην συνέχεια:

- Αύξηση μεγέθους ραδιοδιαύλων στα 20MHz (προηγούμενες εκδόσεις 5-10MHz).
- Αύξηση πυκνότητας δικτύου το οποίο είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη χωρητικότητα δεδομένων.
- Βελτίωση λειτουργικότητας femtocell.
- Αποδοτικότερη εκμετάλλευση του φάσματος με χρήση των πρωτοκόλλων FDD (Frequency Division Duplex) και TDD (Time Division Duplex).
- Βελτίωση πλατφόρμας επικοινωνίας μεταξύ συσκευών (D2D) με παροχή ασφάλειας και ιδιωτικότητας σε δημόσια δίκτυα.

Τα femtocell ουσιαστικά είναι ένας μικρός χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης κυψελοειδής σταθμός βάσης. Συνήθως αυτό το είδος σταθμού βάσης χρησιμοποιείται σε σπίτια ή σε μικρές επιχειρήσεις λόγω του μεγέθους του. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που το κάνουν τόσο διαδεδομένο είναι τα ακόλουθα. Αρχικά έχει την δυνατότητα παροχής πολλών υπηρεσιών βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο την ικανοποίηση του πελάτη. Επίσης λόγω της εύκολης εγκατάστασης του συντελεί όχι μόνο στην μείωση του κόστους αλλά και του χρόνου εγκατάστασης του δικτύου.

Επιπλέον ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα που διαθέτει η τεχνολογία αυτή είναι ότι είναι πολύ εύκολα επεκτάσιμο, κάτι που το καθιστά ιδανικό σε μια μικρή επιχείρηση η οποία μπορεί στο μέλλον να θελήσει επέκταση του δικτύου της και με μικρό κόστος. Ένα άλλο πολύ βασικό πλεονέκτημα είναι ότι λόγω του μεγέθους του αλλά και των τεχνικών του χαρακτηριστικών παρέχει την κάλυψη και την χωρητικότητα που ικανοποιεί τον κάθε πελάτη. Τέλος το μέγεθος του το καθιστά ιδανικό για εγκατάσταση σε αγροτικές περιοχές καθώς έχει την δυνατότητα επικοινωνίας με μεγαλύτερες κεραιές, των οποίων η εγκατάσταση μπορεί να είναι πολύ ακριβή σε αυτές τις απομακρυσμένες περιοχές.

#### ➤ *Release 13*

Η 6<sup>η</sup> έκδοση του LTE ορίστηκε το 2012 και είχε σημαντικές βελτιώσεις από την προηγούμενη έκδοση. Πιο αναλυτικά τα καινούρια χαρακτηριστικά της έκδοσης αυτής είναι τα ακόλουθα:

- Πλήρης αξιοποίηση των υπαρχόντων υποδομών LTE για μείωση στην κατανομή πόρων καθώς και πιστοποίηση του χρήστη.
- Σημαντικές βελτιώσεις στην επικοινωνία μεταξύ συσκευών.

- Συνεχής προστασία ιδιωτικότητας του χρήστη χωρίς επιπρόσθετη επιβάρυνση της μπαταρίας της συσκευής του χρήστη.
- Βελτίωση ασφάλειας των παρεχόμενων υπηρεσιών και προστασία από κακόβουλες επιθέσεις στα δημόσια δίκτυα.
- Συνεχής σάρωση για παροχή προσωποποιημένων προϊόντων και υπηρεσιών προς τον χρήστη.
- Βελτίωση ταυτόχρονης μετάδοσης πολλών δεδομένων από πολλούς χρήστες.
- Προσπάθεια για μείωση καθυστερήσεων.
- Σημαντική βελτίωση του συστήματος εντοπισμού θέσης ακόμα και σε εσωτερικούς χώρους.

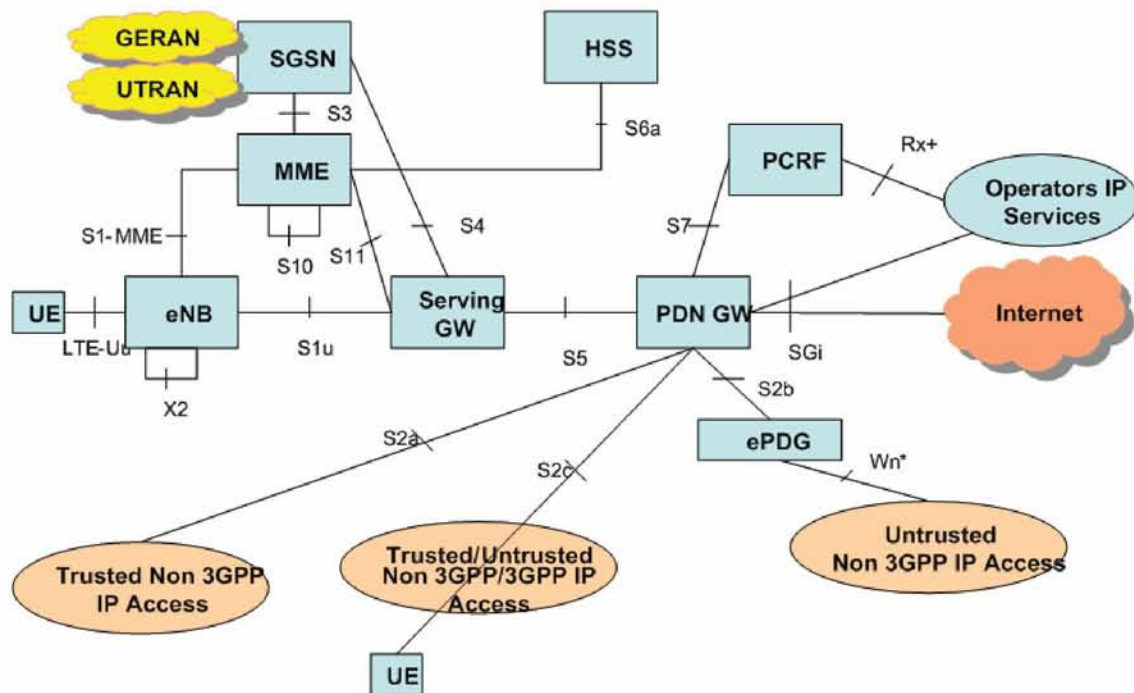
#### ➤ *Release 14*

Η τελευταία έκδοση των δικτύων τηλεπικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς η οποία ορίστηκε το 2014, ήταν ουσιαστικά ο προάγγελος των δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών 5<sup>ης</sup> γενιάς. Αυτό σημαίνει ότι τα χαρακτηριστικά της είναι αρκετά εξελιγμένα καθώς έπρεπε να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για την επόμενη γενιά δικτύων. Πιο αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της παρούσας έκδοσης είναι τα ακόλουθα:

- Σημαντική μείωση καθυστερήσεων σε <1ms.
- Βελτίωση συστήματος εντοπισμού θέσης.
- Ενίσχυση μετάδοσης πολυμέσων.
- Χρήση μαζικών συστημάτων Πολλαπλών κεραιών (Multiple Input Multiple Output antennas - MIMO).
- Έναρξη απευθείας επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων (V2X)

Στην προηγούμενη έκδοση είδαμε για επικοινωνία μεταξύ συσκευών. Στην έκδοση αυτή έγινε η προσπάθεια επικοινωνίας οχημάτων με μια σειρά συσκευών όπως άλλα οχήματα (V2V), οδικές υποδομές (V2I), πεζούς (V2P) αλλά και δίκτυα (V2N). Η μεγάλη εξέλιξη όμως αυτής της τεχνολογίας αναμένεται με την εδραίωση του δικτύου τηλεπικοινωνιών 5<sup>ης</sup> γενιάς, καθώς τα χαρακτηριστικά του δικτύου αυτού ευνοούν περισσότερο την εφαρμογή του. Επίσης τα μαζικά συστήματα πολλαπλών κεραιών είναι ιδανικά για αυτή την κατηγορία δικτύων καθώς η χρήση τους αυξάνει την χωρητικότητα των καναλιών, αυξάνοντας έτσι τον όγκο των δεδομένων που

μπορούν να μεταφερθούν ταυτόχρονα, προσφέροντας ακόμα καλύτερες υπηρεσίες προς τους χρήστες. Στη συνέχεια παρατίθεται σχηματικά η αρχιτεκτονική του δικτύου 4<sup>ης</sup> γενιάς.



Εικόνα 5 - Αρχιτεκτονική LTE [40]

Το HSS είναι το αντίστοιχο HLR με το AuC (Authentication Center) των προηγούμενων γενιών δικτύων. Είναι δηλαδή υπεύθυνο για την αποθήκευση των στοιχείων των χρηστών και ενημέρωση της βάσης όποτε είναι απαραίτητο. Επίσης είναι υπεύθυνο για την δημιουργία πληροφοριών ασφαλείας οι οποίες αποστέλλονται στο HLR. Το MME (Mobility Management Entity) είναι υπεύθυνο για την διαχείριση χρηστών και των συνεδριών. Είναι υπεύθυνο για την αυθεντικοποίηση του χρήστη καθώς και για την έναρξη εφαρμογής κρυπτογραφικών αλγορίθμων και αλγορίθμων διασφάλισης ακεραιότητας. Ο PCRF (Policy and Charging Rules Function) είναι ο server ο οποίος είναι υπεύθυνος για την διαχείριση και την αποστολή QoS (Quality of Service) πληροφοριών για κάθε συνεδρία. Τέλος ο Serving Gateway είναι το σημείο τερματισμού της διεπαφής των πακέτων δεδομένων προς το E-UTRAN ενώ το PDN Gateway είναι το σημείο τερματισμού της διεπαφής προς το δίκτυο πακέτων δεδομένων[28].

## 2.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΚΑΙ ΚΑΝΑΛΙΑ

Στην 4<sup>η</sup> γενιά δικτύων γίνεται η εφαρμογή ενός καινούριου πρωτοκόλλου για την μεταφορά των δεδομένων. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται Ορθογώνια Πολλαπλή Διάρθρωση Συχνότητας

(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA)[10]. Το πρωτόκολλο αυτό είναι ουσιαστικά ένας συνδυασμός των πρωτοκόλλων Πολλαπλής Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Multiple Access, FDMA) και Πολλαπλής Διαίρεσης Χρόνου (Time Division Multiple Access, TDMA) με βασική διαφορά όμως την ύπαρξη ευελιξίας κατά την διάρκεια της επικοινωνίας. Ακόμα προσφέρει μείωση στην πολυπλοκότητα υλοποίησης του δικτύου αλλά έχει και το μειονέκτημα της αύξησης κατανάλωσης ισχύος. Σε αυτό το πρόβλημα έρχεται να δώσει λύση το πρωτόκολλο Ενιαίου Φορέα – Πολλαπλής Διαίρεσης Συχνότητας (Single Carrier – Frequency Division Multiple Access, SC - FDMA). Το πρωτόκολλο αυτό δεν διαφέρει πολύ από το OFDMA παρά μόνο στο ότι προκαλεί μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Η ιδιότητα του αυτή το καθιστά ιδανικό για χρήση στο uplink ενώ το πρωτόκολλο OFDMA είναι ιδανικό για χρήση στο downlink.

Το πρωτόκολλο αυτό έχει πολλά πλεονεκτήματα τα οποία παρουσιάζονται στην συνέχεια. Αρχικά κάνει χρήση μεγαλύτερου εύρους ζώνης το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης των δεδομένων. Επίσης κάνει χρήση πολλαπλών παράλληλων χαμηλού ρυθμού ροών κάνοντας την μετάδοση ακόμα πιο γρήγορη. Επιπλέον κατά την μετάδοση των δεδομένων κατοχυρώνεται ένα σύνολο καναλιών αποκλειστικά σε έναν χρήστη, και το δίκτυο εκμεταλλευόμενο την πολυμορφία του δικτύου έχει την ικανότητα να αποφύγει τα κενά κανάλια αξιοποιώντας έτσι πλήρως τους διαθέσιμους πόρους.

Για την μεταφορά των δεδομένων γίνεται η χρήση καναλιών. Τα κανάλια αυτά αν και ορίστηκαν στην έκδοση 8 δεν μπήκαν σε λειτουργία μέχρι την έκδοση 9 που ήταν πιο τεχνολογικά εξελιγμένη οπότε και ήταν απαραίτητη η χρήση τους στις υπηρεσίες που παρέχονταν. Στο δίκτυο τηλεπικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς γίνεται η χρήση 3 επιπέδων καναλιών, των λογικών καναλιών, των καναλιών μεταφοράς και των φυσικών. Τα λογικά κανάλια καθορίζουν το περιεχόμενο της πληροφορίας που μεταδίδεται, τα κανάλια μεταφοράς καθορίζουν τον τρόπο μεταφοράς των δεδομένων ενώ τα φυσικά κανάλια καθορίζουν τον τρόπο μετάδοσης. Τα κανάλια είναι διαφορετικά τόσο για το uplink όσο και το downlink οπότε στην συνέχεια θα δούμε ξεχωριστά τα χαρακτηριστικά τους[5][34].

#### ❖ *Downlink*

Τα λογικά κανάλια που ανήκουν στο downlink είναι τα ακόλουθα:

- DTCH (Dedicated Traffic Channel): Αποκλειστικό Κανάλι Μεταφοράς δεδομένων από κινητό σε κινητό.

- DCCH (Dedicated Control Channel): Αποκλειστικό κανάλι ελέγχου -> μεταφορά μηνυμάτων σηματοδότησης.
- BCCH (Broadcast Control Channel): Κανάλι ελέγχου Ευρυεκπομπής -> μεταφορά μηνυμάτων από τον σταθμό βάσης σε ολόκληρη την κυψέλη.
- PCCH (Paging Control Channel): Κανάλι ελέγχου αναζήτησης -> Αποστολή μηνυμάτων από τον σταθμό βάσης σε κινητά με κατάσταση RRC\_IDLE.
- CCCH (Common Control Channel): Κανάλι κοινού ελέγχου -> Αποστολή μηνυμάτων από τον σταθμό βάσης σε κινητά που μεταβαίνουν από κατάσταση RRC\_IDLE σε RRC\_CONNECTED.
- MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services): Υπηρεσία πολυμέσων εκπομπής.

Τα κανάλια μεταφοράς που ανήκουν στο downlink είναι τα ακόλουθα:

- DL-SCH (Downlink Shared Channel): Κοινόχρηστο κανάλι κάτω ζεύξης -> μεταφορά πλειονότητας μηνυμάτων σηματοδότησης και δεδομένων.
- PCH (Paging Channel): Κανάλι αναζήτησης -> μεταφορά μηνυμάτων αναζήτησης από το PCCH.
- BCH (Broadcast Channel): Κανάλι Ευρυεκπομπής -> Μεταφορά Broadcast πληροφορίας.
- MCH (Multicast Channel): Κανάλι πολυεκπομπής: Μεταφορά δεδομένων από MBMS

Τα φυσικά κανάλια που ανήκουν στο downlink είναι τα ακόλουθα:

- PD-SCH (Physical Downlink Shared Channel): Φυσικό κοινόχρηστο κανάλι κάτω ζεύξης -> Μεταφορά δεδομένων και μηνυμάτων σηματοδότησης.
- PBCH (Physical Broadcast Channel): Φυσικό κανάλι Ευρυεκπομπής -> μεταφορά Broadcast πληροφορίας προς όλους τους χρήστες της κυψέλης.
- PMCH (Physical Multicast Channel): Φυσικό κανάλι πολυεκπομπής -> Μεταφορά δεδομένων από το MCH.

#### ❖ *Uplink*

Τα λογικά κανάλια που ανήκουν στο uplink είναι τα ακόλουθα:

- DTCH (Dedicated Traffic Channel): Αποκλειστικό κανάλι μεταφοράς δεδομένων από κινητό σε κινητό.
- DCCH (Dedicated Control Channel): Αποκλειστικό κανάλι ελέγχου -> Μεταφορά μηνυμάτων σηματοδότησης.
- CCCH (Common Control Channel): Κανάλι κοινού ελέγχου -> Αποστολή μηνυμάτων σε κινητά που μεταβαίνουν από την κατάσταση RRC\_IDLE σε RRC\_CONNECTED.

Τα κανάλια μεταφοράς που ανήκουν στο uplink είναι τα ακόλουθα:

- UL-SCH (Uplink Shared Channel): Κοινόχρηστο κανάλι άνω ζεύξης -> Μεταφορά πλειονότητας μηνυμάτων σηματοδότησης και δεδομένων.
- RACH (Random Access Channel): Κανάλι τυχαίας πρόσβασης -> Ειδικό κανάλι επικοινωνίας του κινητού με το δίκτυο.

Τα φυσικά κανάλια που ανήκουν στο uplink είναι τα ακόλουθα:

- PUSCH (Physical Uplink Shared Channel): Φυσικό κοινόχρηστο κανάλι άνω ζεύξης -> Μεταφορά δεδομένων και μηνυμάτων σηματοδότησης.
- PRACH (Physical Random Access Channel): Φυσικό κανάλι τυχαίας πρόσβασης -> Μεταφορά τυχαίας πληροφορίας του RACH.

## 2.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 4<sup>HS</sup> ΓΕΝΙΑΣ

Τα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών 4<sup>HS</sup> γενιάς κάνουν χρήση μια αρχιτεκτονικής διαφορετικής από αυτές των προηγούμενων κατηγοριών δικτύων. Αυτό συμβαίνει γιατί το δίκτυο LTE δίνει περισσότερες δυνατότητες στους χρήστες με πολύ καλύτερες ταχύτητες ώστε να παρέχεται η ποιότητα που υπόσχεται το δίκτυο αυτό. Οπότε η αρχιτεκτονική πρέπει όχι μόνο να είναι ικανή να ικανοποιήσει αυτές τις απαιτήσεις αλλά να έχει και σχετικά μικρό κόστος ώστε να μην καθιστά απαγορευτική την εγκατάστασή της. Έτσι δημιουργήθηκε η αρχιτεκτονική SAE (System Architecture Evolution) η οποία καλύπτει όλες τις παραπάνω προδιαγραφές και απαιτήσεις.

Η αρχιτεκτονική SAE βασίζεται και εξελίσσει την αρχιτεκτονική Δικτύου Κορμού (Core Network) των προηγούμενων γενιών δικτύων κινητών επικοινωνιών έτσι ώστε να έχουμε

απλοποιημένες λειτουργίες και βελτιστοποίηση του κόστους. Λειτουργεί πλήρως βασισμένη στην IP αρχιτεκτονική σε αντίθεση με τα προηγούμενα δίκτυα κινητών επικοινωνιών τα οποία κάνουν χρήση μεταγωγής κυκλώματος για τις υπηρεσίες φωνής. Επίσης έχει αυξημένη χωρητικότητα καθιστώντας ιδανικό για χρήση στο δίκτυο LTE, το οποίο υπόσχεται στους χρήστες του υψηλές ταχύτητες μετάδοσης πληροφορίας. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής αυτής είναι ότι μειώνει σημαντικά τις καθυστερήσεις στα 10ms περίπου. Τέλος ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η χρήση περιορισμένου αριθμού ειδών κόμβων το οποίο καθιστά την εγκατάσταση του πολύ οικονομική.

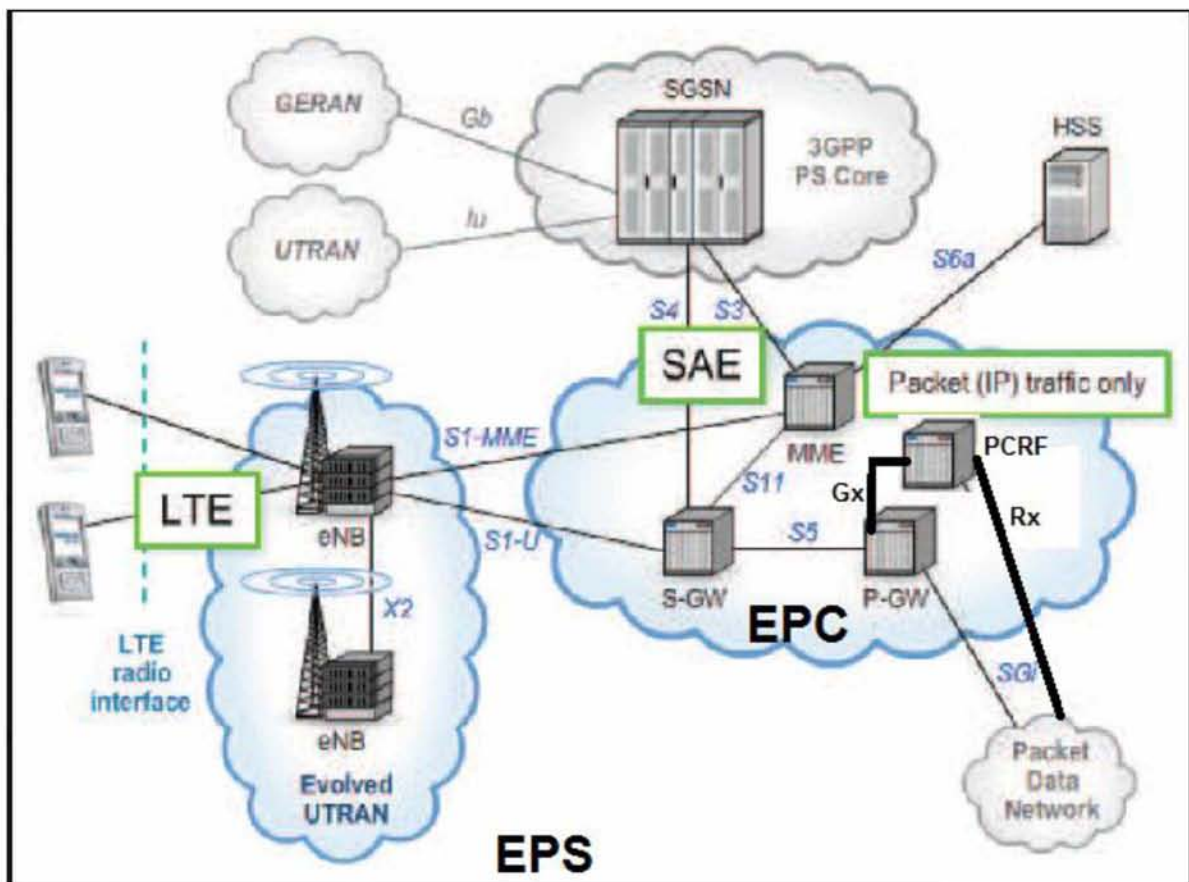
Αυτό όμως που αποτελεί ίσως το κυριότερο χαρακτηριστικό της SAE αρχιτεκτονικής είναι το EPC (Evolved Packet Core) το οποίο είναι ουσιαστικά ένα σύνολο στοιχείων και αποτελείται από τα MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (SGW), PDN Gateway (PGW) και την Λειτουργία Πολιτικής και Κανόνων Χρέωσης (Policy and Charging Rules Function, PCRF). Ας δούμε όμως τις λειτουργίες αναλυτικά:

- Οντότητα Διαχείρισης της Κινητικότητας (Mobility Management Entity, MME)
  - ✦ Παρακολούθηση συσκευής όταν είναι σε IDLE mode.
  - ✦ Επιλογή Service Gateway της συσκευής του χρήστη.
  - ✦ Παροχή προσωρινής ταυτότητας της συσκευής.
  - ✦ Διαχείριση κλειδιού ασφαλείας.
  - ✦ Επικοινωνία με HSS (Home Subscriber Server) για αυθεντικοποίηση της συσκευής και την εφαρμογή των περιορισμών περιαγωγής.
  
- Serving Gateway (S-GW)
  - ✦ Διαχείριση κινητικότητας του χρήστη.
  - ✦ Διαχωρισμός δικτύου ραδιοπρόσβασης από το κεντρικό δίκτυο.
  - ✦ Αποθήκευση μονοπατιών από τους eNB προς τους PDN Gateways.
  
- PDN Gateway (P-GW)
  - ✦ Παροχή συνδεσιμότητας με εξωτερικά δίκτυα πακέτων δεδομένων.
  - ✦ Δίνει την δυνατότητα σύνδεσης στην συσκευή με πολλαπλά P-GW για να αποκτήσει πρόσβαση σε πολλά PDN.
  
- Λειτουργία Πολιτικής και Κανόνων Χρέωσης (PCRF)



- ✦ Ανίχνευση υπηρεσιών που εκτελούνται στην συσκευή για να γίνει η απαραίτητη χρέωση όπου αυτό κριθεί απαραίτητο.

Στη συνέχεια θα δούμε σχηματικά την SAE αρχιτεκτονική για να γίνει πιο κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας της [2].



Εικόνα 6 – LTE SAE αρχιτεκτονική [41]

### 3 ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ (DEVICE TO DEVICE COMMUNICATION)

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απευθείας επικοινωνία μεταξύ συσκευών ήταν μια καινοτομία της έκδοσης 12 ή αλλιώς της 5<sup>ης</sup> έκδοσης του δικτύου τηλεπικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί την προσπάθεια της 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του IMT-Advanced

(International Mobile Telecommunications - Advanced). Το IMT-Advanced είναι ένα πρότυπο το οποίο δημιουργήθηκε από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών το οποίο έχει ως στόχο την παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας προς τους χρήστες.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του προτύπου αυτού είναι τα ακόλουθα. Αρχικά το βασικότερο ίσως χαρακτηριστικό του είναι ότι έχει υψηλό επίπεδο λειτουργικότητας ενώ έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει ταυτόχρονα πολλές υπηρεσίες χωρίς όμως να υπάρχει αύξηση του κόστους. Επίσης, έχει όχι μόνο συμβατότητα με τα άλλα δίκτυα αλλά και δυνατότητα διασύνδεσης με αυτά. Ακόμα ένα άλλο χαρακτηριστικό του προτύπου αυτού είναι ότι παρέχει υπηρεσίες υψηλής ποιότητας χάρη στις ψηλές ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων (100Mbps σε δίκτυα υψηλής κινητικότητας και 1Gbps σε δίκτυα χαμηλής κινητικότητας.)

Ας δούμε όμως τώρα ποιες είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να έχει ένα δίκτυο για να μπορεί να θεωρηθεί ότι οι υπηρεσίες του είναι υψηλής ποιότητας[3].

- Φασματική απόδοση

Τα τεστ για τον προσδιορισμό των τιμών πραγματοποιήθηκαν σε 4 διαφορετικά περιβάλλοντα: σε εσωτερικούς χώρους, σε μικροκυψέλες, σε περιβάλλοντα για βασική αστική κάλυψη και σε περιβάλλοντα για υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας και έγιναν τόσο για το uplink όσο και για το downlink. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν παρατίθενται στην συνέχεια:

Εσωτερικοί χώροι: 3bps/Hz για το downlink και 2,25bps/Hz για το uplink.

Μικροκυψέλες: 2,6bps/Hz για το downlink και 1,8bps/Hz για το uplink.

Βασική αστική κάλυψη: 2bps/Hz για το downlink και 1,4bps/Hz για το uplink.

Υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας: 1,1bps/Hz για το downlink και 0,7bps/Hz για το uplink.

- Κορυφαία φασματική απόδοση

Για την μέτρηση της κορυφαίας φασματικής απόδοσης κατά την διεξαγωγή των τεστ δεν υπήρχαν λάθη στις μεταδόσεις. Οι τιμές οι οποίες προέκυψαν είναι 15bps/Hz για το downlink και 6,75bps/Hz για το uplink. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές οι τιμές που προέκυψαν είναι οι ελάχιστες δυνατές το οποίο σημαίνει ότι ένα δίκτυο μπορεί να έχει και καλύτερες τιμές.

- Φασματική απόδοση στο σύνορο της κυψέλης

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατίθενται στην συνέχεια και είναι για κάθε κατεύθυνση των δεδομένων.

Εσωτερικοί χώροι: 0.1bps/Hz για το downlink και 0.07bps/Hz για το uplink.

Μικροκυβέλες: 0.075bps/Hz για το downlink και 0.05bps/Hz για το uplink.

Βασική αστική κάλυψη: 0.06bps/Hz για το downlink και 0.03bps/Hz για το uplink.

Υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας: 0.04bps/Hz για το downlink και 0.015bps/Hz για το uplink.

- Εύρος ζώνης

Αν και το ελάχιστο εύρος ζώνης ορίστηκε στα 40MHz, οι εταιρίες ενθαρρύνονται να παρέχουν εύρη ζώνης τα οποία να αγγίζουν τα 100MHz ώστε να είναι καλύτερη η ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες.

- Καθυστερήσεις

Οι καθυστερήσεις μετρήθηκαν σε 2 επίπεδα, στο επίπεδο του ελέγχου που είναι η καθυστέρηση που προκύπτει από την μετάβαση της συσκευής από την κατάσταση IDLE στην κατάσταση ACTIVE και στο επίπεδο χρήστη που είναι η καθυστέρηση που προκύπτει από την μετάβαση ενός πακέτου από την συσκευή του χρήστη στο σταθμό βάσης. Στην πρώτη περίπτωση η μέγιστη καθυστέρηση ορίστηκε στα 100ms ενώ στην δεύτερη στα 10ms.

- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων βασισμένος στην κίνηση του χρήστη.

Για την διεξαγωγή του συγκεκριμένου τεστ αρχικά ορίστηκαν καταστάσεις με διαφορετικές ταχύτητες. Πιο αναλυτικά η πρώτη κατάσταση είναι η στασιμότητα με ταχύτητα 0km/h, η δεύτερη είναι όταν ο χρήστης είναι πεζός όπου η ταχύτητα  $v$  είναι  $0 < v < 10$  km/h, η τρίτη είναι όταν ο χρήστης κινείται με όχημα με  $v$   $10 < v < 120$  km/h και τελευταία όταν ο χρήστης είναι σε όχημα αλλά κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα  $v$   $120 < v < 530$  km/h.

Επίσης δεν έγιναν τα τεστ για όλες τις καταστάσεις σε όλα τα δυνατά περιβάλλοντα αλλά επιλέχθηκαν 2 με 3 καταστάσεις για κάθε περιβάλλον. Για το περιβάλλον των εσωτερικών χώρων επιλέχθηκαν οι καταστάσεις της στασιμότητας και του πεζού. Για το περιβάλλον των μικροκυβελών αλλά και της βασικής αστικής κάλυψης χρησιμοποιήθηκαν οι καταστάσεις στασιμότητα, πεζός και όχημα και τέλος στο

περιβάλλον της υψηλής ταχύτητας έγινε χρήση των καταστάσεων οχήματος και οχήματος μεγάλης ταχύτητας. Τα αποτελέσματα τα οποία λήφθηκαν παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Εσωτερικοί χώροι: 1bps/Hz για το uplink.

Μικροκυψέλες: 0.75bps/Hz για το uplink.

Βασική αστική κάλυψη: 0.55bps/Hz για το uplink.

Υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας: 0.25bps/Hz για το uplink.

- **Μεταπομπή (Handover)**

Η μεταπομπή μετρήθηκε σε 2 περιπτώσεις, στην Intra-frequency και στην Inter-frequency. Στην πρώτη ο χρήστης κινείται μέσα στα όρια της κυψέλης και δεν αλλάζει συχνότητα ενώ στην δεύτερη αλλάζει κανάλι επικοινωνίας. Οι μετρήσεις οι οποίες λήφθηκαν είναι οι ακόλουθες.

Intra-frequency μεταπομπή: 27.5ms

Inter-frequency handover στην ίδια ζώνη φάσματος: 40 ms

Inter-frequency handover ανάμεσα σε 2 ζώνες φάσματος: 60 ms

- **Χωρητικότητα VoIP (Voice over IP)**

Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν την ελάχιστη χωρητικότητα διαιρούμενη με το εύρος ζώνης και παρατίθενται στην συνέχεια.

Εσωτερικοί χώροι: 50 ενεργοί χρήστες/τομέα/MHz

Μικροκυψέλες: 40 ενεργοί χρήστες/τομέα/MHz

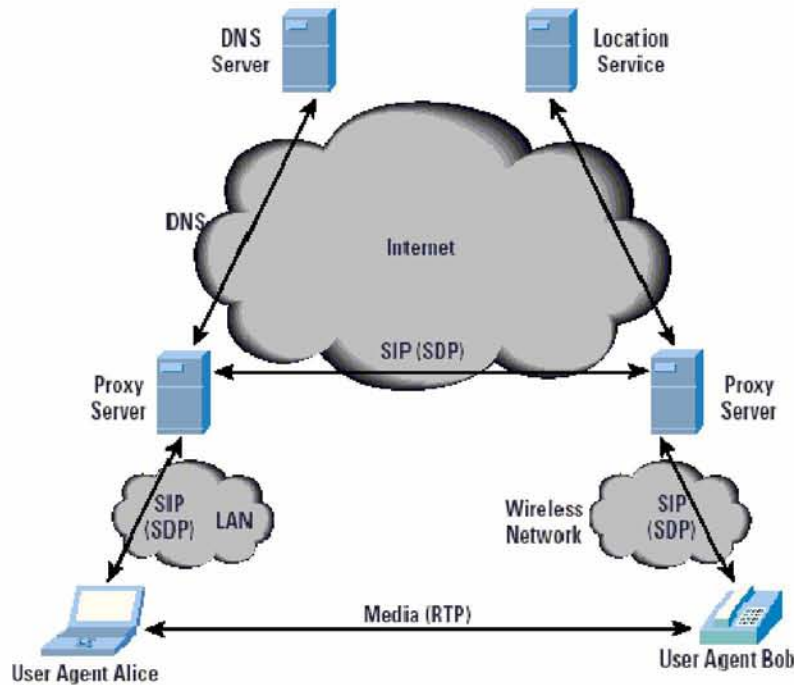
Βασική αστική κάλυψη: 40 ενεργοί χρήστες/τομέα/MHz.

Υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας: 30 ενεργοί χρήστες/τομέα/MHz

## 3.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Σε αυτή την ενότητα θα δούμε αναλυτικά πως γίνεται η εδραίωση της επικοινωνίας μεταξύ δυο συσκευών καθώς και η διαχείριση της. Η εδραίωση της επικοινωνίας γίνεται με τη χρήση του πρωτοκόλλου SIP (Session Initiation Protocol). Το πρωτόκολλο SIP ανήκει στο επίπεδο της εφαρμογής και είναι υπεύθυνο για την έναρξη, την τροποποίηση και τον τερματισμό real-time συνεδριών σε ένα δίκτυο IP (Internet Protocol). Συνήθως δουλεύει πάνω από το UDP (User

Datagram Protocol) για λόγους απόδοσης χωρίς όμως αυτό να αποκλείει την λειτουργία του και πάνω από το πρωτόκολλο TCP (Transmission Control Protocol).

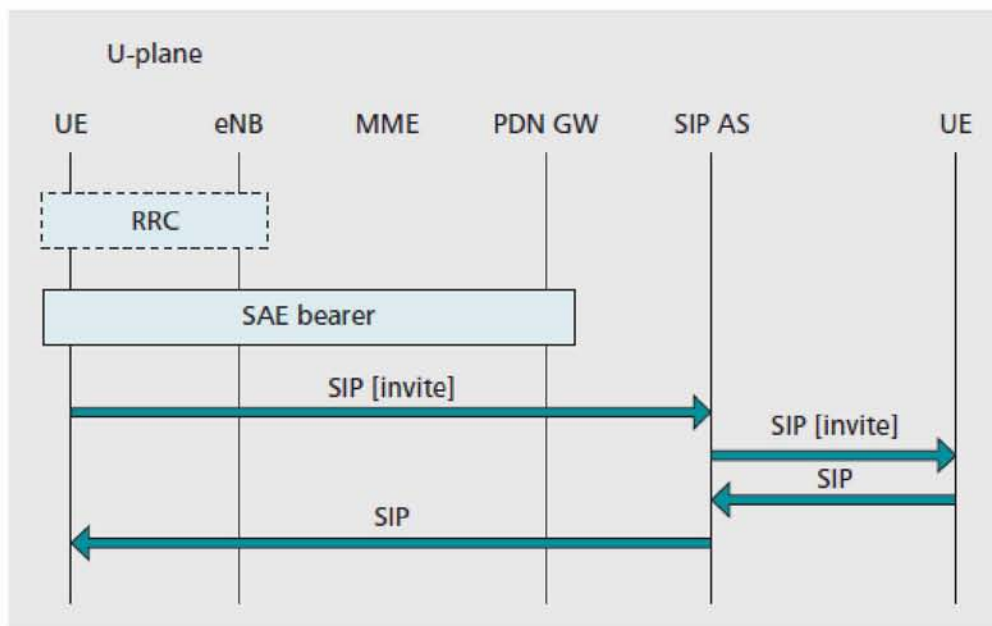


Εικόνα 7 - Οντότητες SIP και πρωτόκολλα[42]

Οι οντότητες που λαμβάνουν μέρος στην εδραίωση μιας συνεδρίας με την χρήση του πρωτοκόλλου SIP είναι οι ακόλουθες:

- Πελάτης: Στέλνει αιτήματα SIP.
- Διακομιστής: Λαμβάνει και επεξεργάζεται τα αιτήματα που λαμβάνει.
- Διακομιστής Ανακατεύθυνσης: Χρησιμοποιείται κατά την αρχικοποίηση της συνεδρίας για να αποφασίσει την διεύθυνση της καλούμενης συσκευής.
- Διακομιστής proxy: Ανάλογα το αίτημα που πρέπει να στείλει λειτουργεί και ως client και ως server.
- Διακομιστής Καταχωρήσεων: Εκτός από την αποδοχή αιτημάτων REGISTER αποθηκεύει τις πληροφορίες που λαμβάνει στην υπηρεσία τοποθεσίας.
- Υπηρεσία Τοποθεσίας: περιέχει πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία της καλούσας συσκευής καθώς και μια βάση δεδομένων με SIP διευθύνσεις.

Για την διαχείριση της συνεδρίας η SAE παρέχει συνδεσιμότητα με το διαδίκτυο με στόχο την εύρεση του SIP AppServer. Επίσης τα MME, PDN Gateway ρυθμίζουν τα IP κανάλια και την σύνδεση ανάμεσα στην συσκευή του χρήστη και το PDN. Στη συνέχεια παρατίθεται σχηματικά η εδραίωση της συνεδρίας όπως επίσης παρουσιάζονται αναλυτικά και οι οντότητες που λαμβάνουν μέρος.



Εικόνα 8 - Έναρξη συνεδρίας SIP (Doppler et al. 2009)[12]

Ας δούμε τώρα συνοπτικά πως γίνεται η εδραίωση επικοινωνίας μεταξύ 2 συσκευών με ανίχνευση της κίνησης των καναλιών. Στην εδραίωση της συνεδρίας τον βασικότερο ρόλο παίζει ο PDN Gateway, καθώς περιέχει ένα πίνακα δρομολόγησης για την πραγματοποίηση της δρομολόγησης των IP πακέτων. Ο PDN στέλνει πακέτα προς τον eNB της συσκευής με την οποία θέλει να επικοινωνήσει αλλά λαμβάνει και πακέτα τα οποία δρομολογεί προς το διαδίκτυο.

Η πύλη έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει τυχόν D2D κίνηση χάρη στη λειτουργικότητα του. Πιο αναλυτικά η πύλη είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία των IP headers των πακέτων που δρομολογούνται οπότε ξέρει και ποιον eNB χρησιμοποιεί κάθε συσκευή. Στη συνέχεια ο eNB στέλνει αίτημα στη συσκευή να ελέγξει αν η συσκευή με την οποία θέλει να έρθει σε επικοινωνία είναι σε εφικτή απόσταση για την δημιουργία D2D καναλιού ή αν θα πρέπει να γίνει χρήση ασύρματου δικτύου κυψελών. Αν ικανοποιούνται όλες οι συνθήκες τότε ο eNB δημιουργεί το κανάλι ανάμεσα στις 2 συσκευές ώστε να αρχίσει η επικοινωνία.

Η δημιουργία συνεδρίας ανάμεσα σε 2 συσκευές με ανίχνευση κίνησης έχει 2 πολύ βασικά πλεονεκτήματα. Το βασικότερο είναι ότι η τεχνική αυτή μπορεί να βρει εφαρμογή σε κάθε περι-

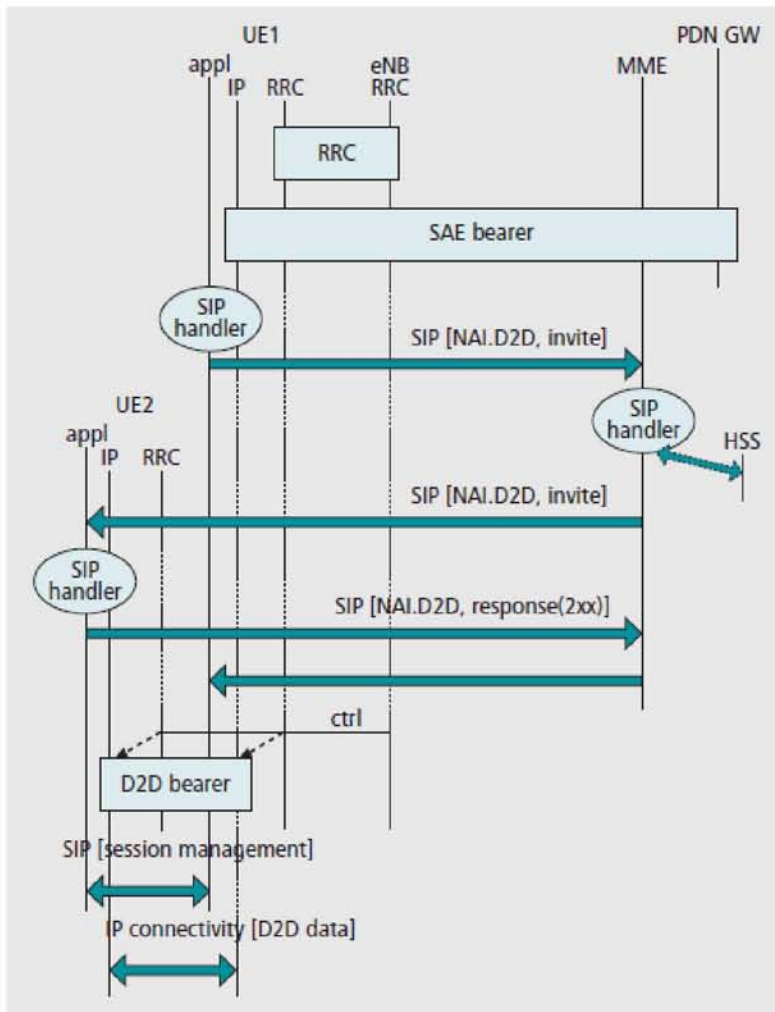


to-peer επικοινωνία χωρίς καθόλου αλλαγή του τρόπου εδραίωσης του καναλιού. Επίσης όλη η διαδικασία είναι εντελώς διαφανής προς τον χρήστη. Ας δούμε τώρα έναν άλλο τρόπο εδραίωσης καναλιού ανάμεσα σε 2 συσκευές, την αποκλειστική SAE σηματοδότηση.

Η εδραίωση D2D συνεδρίας με την χρήση αποκλειστικής σηματοδότησης έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με την μεθοδολογία ανίχνευσης κίνησης. Το σημαντικότερο από αυτά είναι ότι προκαλεί αρκετά μικρότερη επιβάρυνση στο δίκτυο. Επίσης ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα είναι ότι η συσκευή που θέλει να αρχίσει την επικοινωνία αποφασίζει εάν θα κάνει χρήση D2D συνεδρίας ή αν θα κάνει συνεδρία με την χρήση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Ας δούμε τώρα τα βήματα που ακολουθούνται για την εδραίωση του καναλιού για να αρχίσει η επικοινωνία.

Αρχικά ο χρήστης επιλέγει την D2D συνεδρία με την επιλογή της SIPURI μορφής με τοπική επέκταση. Στην συνέχεια η συσκευή εντοπίζει την επέκταση οπότε και ενθυλακώνει το μήνυμα πρόσκλησης SIP σε ένα μήνυμα στο επίπεδο ελέγχου στο MME οπότε και εδραιώνεται η συνεδρία. Παρατηρούμε ότι το μήνυμα το στέλνει στο MME και όχι σε μια θύρα TCP/IP ή UDP/IP στο επίπεδο χρήστη. Με αυτό τον τρόπο η εδραίωση της επικοινωνίας γίνεται πολύ πιο γρήγορα.[12][24]

Στην συνέχεια βλέπουμε σχηματικά πως γίνεται η εδραίωση με αποκλειστική SAE σηματοδότηση.



Εικόνα 9 - Εδραίωση με αποκλειστική SAE σηματοδότηση (Doppler et al. 2009) [12]

## 4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Voice over LTE (VoLTE)

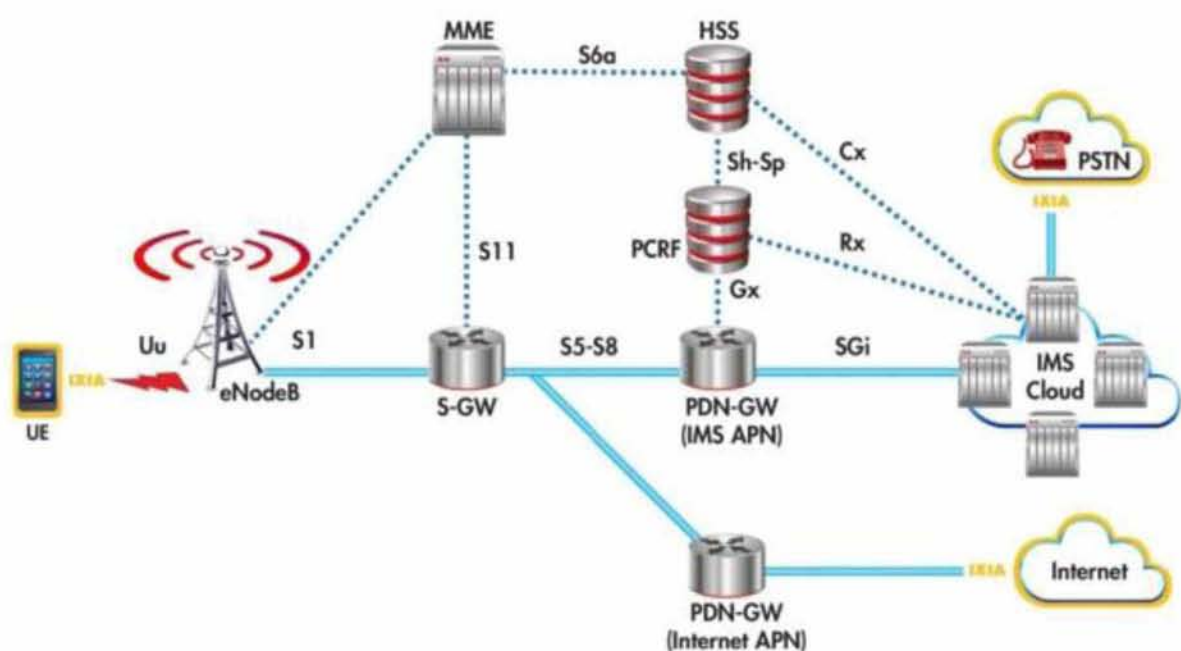
### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογική εξέλιξη στα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς έδωσε τροφή για την ανάπτυξη καινούριων τεχνολογιών οι οποίες μπορούν να αλλάξουν τα πράγματα όπως τα ξέρουμε ήδη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η τεχνολογία VoLTE. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μέρος της Επόμενης Γενιάς Δικτύων (Next Generation Networks - NGN) και εγγυάται αύξηση στην ταχύτητα και την ποιότητα της κλήσης χωρίς να προκαλεί επιβάρυνση στην μπαταρία της συσκευής. Επίσης, έχει την δυνατότητα ταυτόχρονης μετάδοσης δεδομένων και HD ποιότητας φωνής κάνοντας την κλήση ακόμα καλύτερη. Παράλληλα αν ο χρήστης μεταβεί από μια



περιοχή που έχει κάλυψη 4G σε περιοχή με κάλυψη 3G κάνει αυτόματα την μεταβίβαση χωρίς να διακοπεί η κλήση και χωρίς να μειωθεί καθόλου η ποιότητα της [13].

Ακόμα ένα βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι η αυξημένη φασματική απόδοση που προσφέρει η οποία είναι 3 φορές μεγαλύτερη από αυτή που προσφέρει το δίκτυο 3<sup>ης</sup> γενιάς και 6 φορές μεγαλύτερη από την φασματική απόδοση του δικτύου 2<sup>ης</sup> γενιάς. Επίσης χάρη στην ενσωμάτωση της φωνής και των δεδομένων στο ίδιο δίκτυο έχουμε αυτόματα μικρότερη πολυπλοκότητα στο δίκτυο το οποίο έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση του κόστους. Στην συνέχεια παρουσιάζεται σχηματικά η αρχιτεκτονική του VoLTE[14][15].



Εικόνα 10 - Αρχιτεκτονική VoLTE (Rankin et al. 2013) [16]

Αυτό όμως που μπορεί εύκολα να αναρωτηθεί κάποιος είναι με ποιον τρόπο το VoLTE τα εγγυάται αυτά. Και φυσικά η απάντηση είναι στην χρήση της αρχιτεκτονικής IMS (IP Multimedia Subsystem).

## 4.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ IMS

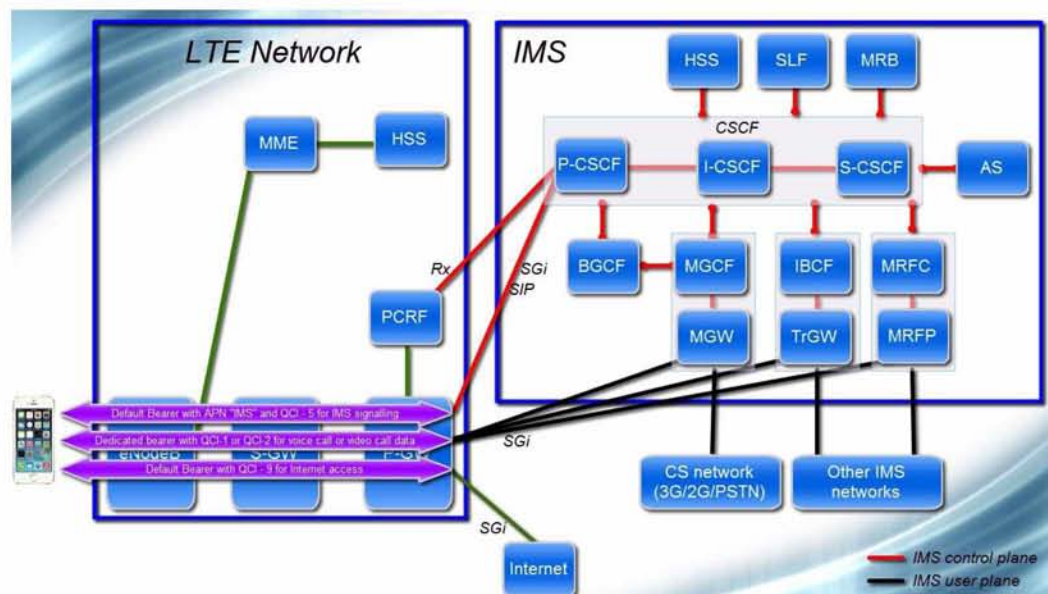
Η IMS είναι αρχιτεκτονική ορισμένη από την εταιρία 3GPP και παρέχει στους χρήστες υπηρεσίες υψηλής ποιότητας όπως email, περιήγηση στο διαδίκτυο, τηλεδιασκέψεις, VoLTE κλπ. Η αρχιτεκτονική αυτή αποτελεί κατηγορία της επόμενης γενιάς δικτύων (NGN) η οποία ουσιαστικά εκπροσωπεί την ιδέα ότι όλα τα δεδομένα που μετακινούνται σε ένα δίκτυο θα

πρέπει να μεταφέροντα μέσα σε IP πακέτα. Το βασικό πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής αυτής είναι ότι έχει την δυνατότητα ενσωμάτωσης πολλών υπηρεσιών, χαρακτηριστικό που την καθιστά ως την μελλοντική υπηρεσία ευρείας χρήσης.

Ας δούμε τώρα περισσότερα σχετικά με την αρχιτεκτονική IMS. Τα βασικά στοιχεία που την αποτελούν παρατίθενται στην συνέχεια[13][25]:

- ✦ Εξοπλισμός χρήστη: Χρησιμοποιεί για την παροχή του IMS πρωτοκόλλου καθώς και για σύνδεση με άλλες τεχνολογίες.
- ✦ Λειτουργία ελέγχου κλήσης με Proxy (Proxy – Call Session Control Function, P-CSCF): Χρησιμοποιεί για τον έλεγχο και την αποστολή των σημάτων που λαμβάνει από τον εξοπλισμό χρήστη προς τους κατάλληλους προορισμούς. Επίσης είναι υπεύθυνο για τον καθορισμό του επιπέδου QoS της συνεδρίας.
- ✦ Λειτουργία ελέγχου κλήσης με διερεύνηση (Interrogating – Call Session Control Function, I-CSCF): Αποτελεί σημείο διέλευσης όλων των συνδέσεων προς όλους τους συνδρομητές. Το δίκτυο μπορεί να διαθέτει περισσότερα από ένα I-CSCFs.
- ✦ Εξυπηρέτηση λειτουργίας ελέγχου κλήσης (Serving – Call Session Control Function, S-CSCF): Είναι υπεύθυνο για την διατήρηση της κλήσης, την εγγραφή του χρήστη όπως επίσης και για το ποια δεδομένα θα λάβει ο Application Server σχετικά με την SIP συνεδρία.
- ✦ Διακομιστής εφαρμογών (Application Server): Παρέχει διάφορες υπηρεσίες στο IMS ανάλογα με το δίκτυο αφού η 3GPP δεν υπαγορεύει στους προγραμματιστές πώς να προγραμματίσουν τον AppServer δίνοντας τους έτσι την δυνατότητα να κάνουν χρήση όποιας τεχνολογίας επιθυμούν.
- ✦ Λειτουργία απόφασης πολιτικής (Policy Decision Function, PDF): Παίρνει αποφάσεις σχετικά με την πολιτική βασιζόμενο στις πληροφορίες που έχει λάβει από το P-CSCF με την χρήση IP μηχανισμών.
- ✦ HSS (Home Subscriber Server): Είναι η κεντρική βάση δεδομένων του δικτύου η οποία περιέχει όλες τις πληροφορίες σχετικά με τα προφίλ των χρηστών και την κατάσταση των συσκευών τους.
- ✦ Διακομιστής πολυμέσων: Χρησιμοποιεί στον έλεγχο και την επεξεργασία των ροών των μέσων. Κάνει χρήση πρωτοκόλλων τα οποία καθορίζονται από τον IETF (Internet Engineering Task Force) και τα οποία είναι τα ακόλουθα: SIP (Πρωτόκολλο έναρξης συνεδρίας), AAA (Πρωτόκολλο για αυθεντικοποίηση, Εξουσιοδότηση και Λογιστική) και RTP (Real-Time Transport Protocol).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται σχηματικά η αρχιτεκτονική IMS καθώς και ο τρόπος σύνδεσης και επικοινωνίας όλων των στοιχείων που την αποτελούν.



Εικόνα 11–IMS αρχιτεκτονική [43]

Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό που παρέχει η αρχιτεκτονική IMS στο δίκτυο είναι η Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service, QoS) που παρέχει. Το QoS είναι απαραίτητο για να μπορεί το δίκτυο να ανταπεξέλθει στις προδιαγραφές που ορίζει το LTE. Πιο αναλυτικά θα πρέπει να μπορεί να αποφύγει συμφόρηση στα κανάλια, να πετυχαίνει ελάχιστα ποσοστά λαθών και φυσικά να έχει πολύ μικρές καθυστερήσεις. Γι αυτό το λόγο δεν μπορεί να γίνει χρήση της αρχιτεκτονικής που δημιουργήθηκε για το 3G καθώς και δεν μπορεί να οριστεί πολιτική QoS αλλά ποτέ δεν εφαρμόστηκε στην πράξη, κάτι που δεν επιτρέπεται να γίνει για το LTE και ειδικά για την τεχνολογία VoLTE. Έχουν οριστεί 2 σχήματα για την εξασφάλιση του QoS με το ένα να έχει δημιουργηθεί από την 3GPP ενώ το δεύτερο από την ETSI TISPAN. Ας δούμε όμως το καθένα πιο αναλυτικά[13].

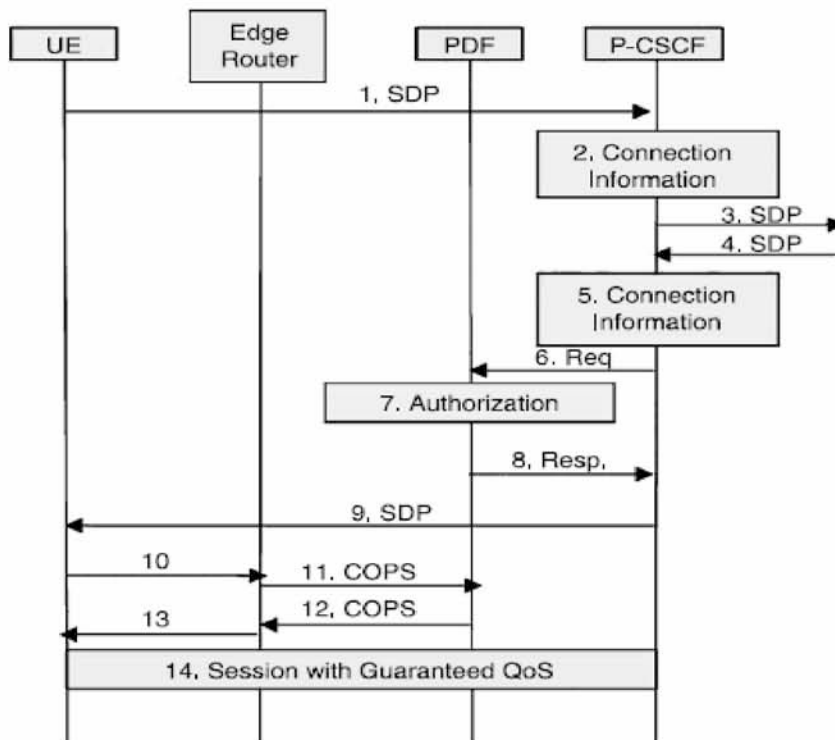
#### ✦ 3GPP

Το πρότυπο που ορίστηκε από την 3GPP για την διασφάλιση της ποιότητας στο δίκτυο αποτελείται από 4 κλάσεις ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι:

- Κλάση ομιλίας, η οποία χρησιμοποιείται όταν μεταδίδονται ομιλία και δεδομένα.
- Κλάση streaming η οποία χρησιμοποιείται όταν ο χρήστης κάνει χρήση εφαρμογών που μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.

- Κλάση διάδρασης όταν γίνεται χρήση εφαρμογών τύπου ηλεκτρονικού εμπορίου για παράδειγμα.
- Κλάση για εφαρμογές που εκτελούνται στο παρασκήνιο όπως email, FTP κλπ.

Στη συνέχεια μπορούμε να δούμε σχηματικά την ροή των σημάτων που αποστέλλονται για την εγκατάσταση του QoS σε μια συνεδρία.



Εικόνα 12 - Εγκατάσταση QoS (Magedanz, Gouveia. 2006) [13]

#### ✦ ETSI TISPAN

Το πρότυπο που ορίστηκε από την ETSI TISPAN πραγματοποιεί έλεγχο εισόδου βασισμένο στο διαθέσιμο εύρος ζώνης καταφέροντας με αυτό τον τρόπο να προλάβει τυχόν συμφόρηση του δικτύου. Το πρότυπο QoS που προτάθηκε έχει 2 προσεγγίσεις το εγγυημένο QoS και το σχετικό QoS. Το Εγγυημένο QoS παρέχει υπηρεσίες με κλειδωμένες τιμές για όλες τις παραμέτρους (εύρος ζώνης, καθυστερήσεις κλπ) ενώ το Σχετικό QoS κάνει διαφοροποίηση των υπηρεσιών που παρέχει δίνοντας πάντα προτεραιότητα σε υπηρεσίες υψηλής προτεραιότητας.

Επίσης προστέθηκαν 2 καινούρια υποσυστήματα στο δίκτυο για την διασφάλιση του QoS. Το πρώτο υποσύστημα είναι το Υποσύστημα Προσάρτησης Δικτύου (Network Attached

Storage, NAS) του οποίου λειτουργία είναι η δυναμική παροχή διεύθυνσης IP καθώς και η παροχή παραμέτρων διαμόρφωσης της συσκευής του χρήστη. Το δεύτερο υποσύστημα είναι το Υποσύστημα Ελέγχου Εισαγωγής Πόρων το οποίο με την βοήθεια του SPDF, το οποίο έχει εξουσιοδότηση από τον φορέα του δικτύου, ελέγχει τους πόρους που επιλέγονται για το QoS. Λόγω της ποικιλίας των δικτύων που υπάρχουν δημιουργήθηκαν 3 διαφορετικοί μηχανισμοί QoS οι οποίοι παρατίθενται στην συνέχεια:

- QoS με διαμεσολάβηση: Το σύστημα δεν διαθέτει δικούς του πόρους για διασφάλιση του QoS αλλά στέλνει αίτημα στον διαχειριστή της υπηρεσίας ο οποίος αφού δει την υπηρεσία που πρέπει να προσφέρει το σύστημα του παρέχει τους αντίστοιχους πόρους που χρειάζεται.
- QoS με αίτηση χρήστη με πολιτική push-pull: Το σύστημα διαθέτει δικούς του πόρους αλλά παρόλα αυτά στέλνει αίτημα στον διαχειριστή υπηρεσίας για διασφάλιση πόρων.
- QoS με αίτηση χρήστη με πολιτική pull: Το σύστημα διαθέτει δικούς του πόρους με μόνη διαφορά ότι τώρα δεν αιτείται εξουσιοδότηση από τον διαχειριστή του συστήματος [13].

Η τεχνολογία VoLTE είναι μια ταχέως εξελισσόμενη υπηρεσία η οποία έχει έρθει και στην Ελλάδα από τον όμιλο COSMOTE με στόχο να αλλάξει την καθημερινότητα πολλών Ελλήνων. Η τεχνολογία αυτή έχει την δυνατότητα να προσφέρει υπηρεσίες υψηλής ποιότητας στους χρήστες της, κάτι που θα ωφελήσει σημαντικά τους Έλληνες..

## 5. ΔΙΚΤΥΑ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είδαμε μια σημαντική ευκολία που μας παρέχει το δίκτυο 4<sup>ης</sup> γενιάς και η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις υπηρεσίες επικοινωνίας που υπάρχουν, οπότε ας δούμε τώρα μια ακόμα χρήση των δυνατοτήτων του δικτύου LTE, την εφαρμογή του σε Δίκτυα Κρίσιμων Επικοινωνιών (Critical Communications over LTE), τα οποία μπορούν να φανούν πολύ χρήσιμα στις Υπηρεσίες Δημόσιας Προστασίας και Αντιμετώπισης Καταστροφών (Public Protection and Disaster Relief, PPDR), όπως Αστυνομία, ΕΚΑΒ, πυροσβεστική, πολιτική προστασία, λιμενικό κλπ.

Τα δίκτυα κρίσιμων τηλεπικοινωνιών έχουν εξειδικευμένη χρήση. Πιο συγκεκριμένα τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται από υπηρεσίες PPDR και έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις λόγω της φύσης των υπηρεσιών που παρέχουν καθημερινά. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που συμβεί ένα τροχαίο ατύχημα θα πρέπει άμεσα να κληθούν στο σημείο οι ομάδες διάσωσης για να μη κινδυνεύσουν οι ζωές θυμάτων. Αν όμως υπάρχει κάποιο πρόβλημα στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών τότε θα είναι αδύνατη η ειδοποίηση των αρχών αυτών[23][31].

Τα δίκτυα αυτά πρέπει να έχουν κάποια χαρακτηριστικά που τα κάνουν να διαφέρουν από τα απλά δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών και τα οποία παρατίθενται στην συνέχεια:

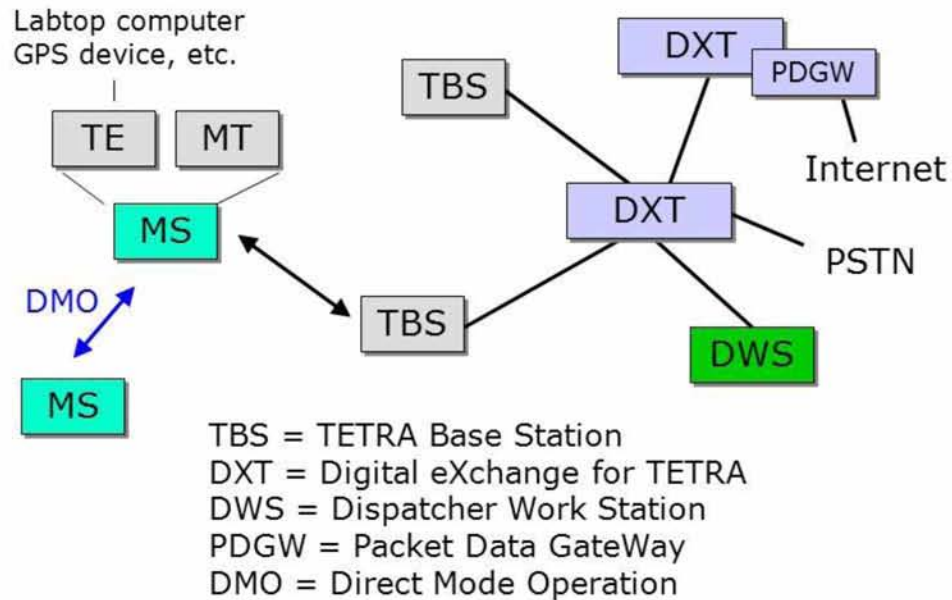
- Αντοχή σε περίπτωση πολλαπλών σφαλμάτων.
- Παροχή προτεραιότητας σε δεδομένα κρίσιμης σημασίας.
- Διασφάλιση ακεραιότητας και εμπιστευτικότητας των δεδομένων που μεταφέρονται.
- Ύπαρξη μεγάλης χωρητικότητας στο δίκτυο για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.
- Μεγάλη κάλυψη.
- Διαλειτουργικότητα με άλλα δίκτυα.
- Παροχή υποστήριξης των υπηρεσιών που παρέχονται.
- Δυνατότητα τροποποίησης προτεραιότητας περιστατικού.
- Ύπαρξη τρόπων διασφάλισης της λειτουργικότητας του δικτύου (πχ εξωτερική πηγή παροχής ενέργειας).

Γι αυτό το λόγο στις αρχές της δεκαετίας του 90' ο οργανισμός ETSI δημιούργησε το πρώτο δίκτυο τηλεπικοινωνιών με εφαρμογή σε κρίσιμες υπηρεσίες, το TETRA.

Το δίκτυο TETRA (Terrestrial Trunked Radio) έχει την δυνατότητα παροχής ασφάλειας και αξιοπιστίας κατά την μεταφορά των δεδομένων καθώς και την δυνατότητα διασύνδεσης με δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών και το διαδίκτυο. Κάνει χρήση του πρωτοκόλλου TDMA για την μεταφορά των δεδομένων και αποτελείται από 4 λογικά κανάλια όπου το καθένα αποτελείται από 4 χρονοθυρίδες με 25 KHz εύρος. Επίσης έχει την δυνατότητα ταυτόχρονης μετάδοσης ομιλίας και δεδομένων του ίδιου χρήστη σε διαφορετικές χρονοθυρίδες. Η ιδιαιτερότητα του δικτύου αυτού έγκειται στο ότι μπορεί να λειτουργήσει και ως απλό δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών σε διαφορετικές συχνότητες. Πιο συγκεκριμένα για τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης γίνεται χρήση των συχνοτήτων από 380 μέχρι 400 MHz. Στη συνέχεια παρατίθεται σχηματικά η αρχιτεκτονική του δικτύου TETRA[33][17].



## TETRA architecture



Εικόνα 13 - Αρχιτεκτονική TETRA[44]

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα του δικτύου TETRA. Αρχικά παρέχει ασφαλή, αξιόπιστη και υψηλής ποιότητας επικοινωνία, κάτι που το καθιστά ιδανικό για την χρήση την οποία προορίζεται. Επίσης έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί και με άλλες συσκευές εκτός του δικτύου TETRA. Επιπλέον ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι έχει την δυνατότητα καθορισμού διαφορετικών επιπέδων προτεραιότητας ανάλογα το περιστατικό, το οποίο είναι πολύ σημαντικό για την χρήση του από υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης[30][22].

Το δίκτυο αυτό όμως όσα πλεονεκτήματα και αν είχε μειονεκτούσε σε κάποια σημεία. Τα βασικότερα από αυτά είναι τα ακόλουθα. Αρχικά είχε χαμηλή φασματική απόδοση όπως και αδυναμία μετάδοσης μεγάλου όγκου δεδομένων. Επίσης η αρχιτεκτονική του δεν έδινε δυνατότητες εξέλιξης του λογισμικού οπότε υπήρχε η πιθανότητα σε ορισμένες περιπτώσεις να μην μπορούσε να λειτουργήσει. Τέλος, ένα ακόμα μειονέκτημα του δικτύου αυτού είναι το υψηλό κόστος που είχε για την εγκατάσταση αλλά και την χρήση του. Έτσι γεννήθηκε η ανάγκη για εξέλιξη των δικτύων για κρίσιμες επικοινωνίες ενώ σε αυτή την αλλαγή συντέλεσε

και η εμφάνιση του LTE, το οποίο παρέχει πολλές δυνατότητες και σχεδόν ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις των κρίσιμων δικτύων.

## 5.2 ΔΙΚΤΥΑ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ LTE

Το δίκτυο TETRA παρόλο που ήταν ικανό να υποστηρίξει τα δίκτυα κρίσιμων τηλεπικοινωνιών δεν επαρκούσε με την αύξηση των απαιτήσεων στο πέρας του χρόνου. Έτσι η εξέλιξη των δικτύων τηλεπικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς οδήγησε και στην αναβάθμιση των κρίσιμων δικτύων[18]. Τα χαρακτηριστικά που είχε όμως το δίκτυο LTE δεν ήταν αυτά που έπρεπε να έχει το κρίσιμο δίκτυο οπότε έπρεπε να τροποποιηθεί ελαφρά για να ικανοποιεί τα κριτήρια του. Για το λόγο αυτό έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για να γίνει αυτή η μετάβαση με ομαλό τρόπο και λαμβάνοντας υπόψη τις επενδύσεις που έχουν γίνει παγκόσμια σε υποδομές TETRA. Παρουσιάζουμε πιο αναλυτικά τα πιθανά βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να γίνει πρακτικά η μετάβαση από τα Δίκτυα TETRA στα Δίκτυα Κρίσιμων Επικοινωνιών βασισμένα στο LTE[21].

1. Θεωρούμε σαν βήμα 0 την τωρινή κατάσταση, στην οποία υπάρχουν ήδη δυνατότητες για παροχή κρίσιμων τηλεπικοινωνιών φωνής και δεδομένων στενής ζώνης από το Δίκτυο TETRA και παράλληλα είναι δυνατή η παροχή ευρυζωνικών μη-κρίσιμων υπηρεσιών δεδομένων πάνω από δημόσια δίκτυα LTE δηλαδή δίκτυα που ανήκουν και λειτουργούνται από Mobile Network Operators (MNOs). Αυτό είναι δυνατό με χρήση κινητών τηλεφώνων που έχουν διπλή λειτουργικότητα (dual mode) και άρα μπορούν να έχουν πρόσβαση και στα δύο δίκτυα. Παρόμοιες λύσεις υπάρχουν ήδη από το 2017 και σήμερα όλες οι μεγάλες εταιρείες του χώρου των κρίσιμων επικοινωνιών έχουν υλοποιήσει σχετικές λύσεις.
2. Το πρώτο βήμα είναι η απόδοση του ελέγχου των συνδρομητών που κάνουν χρήση δημόσιων δικτύων και υπηρεσιών LTE στον οργανισμό PPDR που χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες αυτές. Αυτό για να γίνει δυνατό θα πρέπει ο οργανισμός PPDR να μετατραπεί σε Mobile Virtual Network Operator (MVNO). Με τον τρόπο αυτό επιτρέπεται οι οργανισμοί PPDR να διαχειρίζονται οι ίδιοι τους συνδρομητές τους. Επίσης οι συσκευές που κάνουν χρήση LTE μπορούν να κάνουν χρήση εφαρμογών που επιτρέπουν για παράδειγμα μη-κρίσιμες επικοινωνίες συνόλων χρηστών (Group Communications).
3. Το δεύτερο βήμα θα μπορούσε να είναι η απόκτηση Ιδιωτικού (Private) Οικείου Εξυπηρετητή Συνδρομητών HSS (Home Subscriber Server) από τον οργανισμό PPDR για τον καλύτερο χειρισμό των χρηστών του ιδίως σε θέματα Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service, QoS). Το βήμα αυτό θα μπορούσε να γίνει μαζί με το 1<sup>ο</sup> Βήμα.



4. Το τρίτο βήμα είναι η ανάπτυξη ιδιωτικού(private) δικτύου LTE για εφαρμογές PPDR. Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η ανεξάρτηση από τα δημόσια δίκτυα τηλεπικοινωνιών τουλάχιστον σε περιοχές όπου η ανάπτυξη ιδίου δικτύου δικαιολογείται οικονομικά (κυρίως αναμένεται σε πυκνοκατοικημένες γεωγραφικά περιοχές, δηλαδή με βάση πληθυσμιακά κριτήρια). Παράλληλα στις υπόλοιπες περιοχές οι υπηρεσίες ενός δημόσιου δικτύου θα συνεχίσουν να είναι απαραίτητες. Η ανάπτυξη ιδιωτικού δικτύου LTE απαντά σε αριθμό από αιτιάσεις σχετικά με την ασφάλεια των δημόσιων δικτύων, όταν αυτά χρησιμοποιούνται για ευαίσθητες υπηρεσίες (αστυνομία κλπ). Όμως από την άλλη πλευρά για να γίνει δυνατή μια τέτοια λύση είναι απαραίτητη η εξασφάλιση εύρους ζώνης για τα ιδιωτικά δίκτυα LTE. Γενικά, έχει προταθεί ένα μέρος του φάσματος συχνοτήτων που θα απελευθερωθεί πανευρωπαϊκά από το νέο ψηφιακό μέρισμα στην περιοχή των 700 MHz να διατεθεί για ιδιωτικά PPDR δίκτυα. Σημειώνουμε ότι μέχρι αυτό το βήμα το δίκτυο TETRA θα συνεχίζει να προσφέρει τις κρίσιμες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων στενής ζώνης παράλληλα με τις ευρυζωνικές μη-κρίσιμες υπηρεσίες που θα προσφέρονται από το LTE.
5. Το τέταρτο βήμα είναι η παροχή κρίσιμων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών από το LTE. Για να γίνει αυτό είναι απαραίτητη η υλοποίηση σε εμπορικό επίπεδο των λειτουργιών που αφορούν τις κρίσιμες τηλεπικοινωνίες που ορίστηκαν στην 3GPP Release 12 και τις επόμενες αυτής. Επειδή η παροχή κρίσιμων τηλεπικοινωνιών από το LTE αναμένεται να είναι μια σταδιακή διαδικασία κατά το βήμα αυτό το TETRA συνεχίζει να παρέχει κρίσιμες τηλεπικοινωνίες στενής ζώνης.
6. Στο πέμπτο βήμα είναι δυνατή η πλήρης απενεργοποίηση του TETRA εφόσον το δίκτυο LTE έχει αναλάβει πλέον όλες τις κρίσιμες τηλεπικοινωνίες. Η πλήρης απενεργοποίηση του TETRA εξαρτάται από τεχνοοικονομικούς και πολιτικούς παράγοντες και θα σημάνει την απελευθέρωση του φάσματος που χρησιμοποιεί καθώς και για την μείωση του λειτουργικού κόστους.

Για να ανταποκριθούν με αποτελεσματικότητα στο παραπάνω σενάριο που αναμένεται να διαρκέσει πάνω από 10 χρόνια πολλές εταιρείες έχουν ήδη υβριδικά TETRA/LTE προϊόντα ραδιοδικτύου και τερματικά. Ο συνδυασμός TETRA/LTE έχει αρκετές δυνατότητες οι οποίες παρουσιάζονται στην συνέχεια. Αρχικά τα χαρακτηριστικά του TETRA συνδυάζονται με τις δυνατότητες του LTE τόσο για τα ιδιωτικά όσο και τα δημόσια δίκτυα. Επίσης συνδυάζονται οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων (φωτογραφίες, βίντεο) με υπηρεσίες του TETRA για μετάδοση φωνής και δεδομένων σε κρίσιμα δίκτυα βγάζοντας ως αποτέλεσμα ένα δίκτυο που

έχει τη δυνατότητα μετάδοσης φωνής, εικόνας και βίντεο ταυτόχρονα σε πολλούς χρήστες εάν τύχει κάποιο κρίσιμο συμβάν[19][21].

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον συνδυασμό των δυο αυτών δικτύων παρουσιάζονται στην συνέχεια.

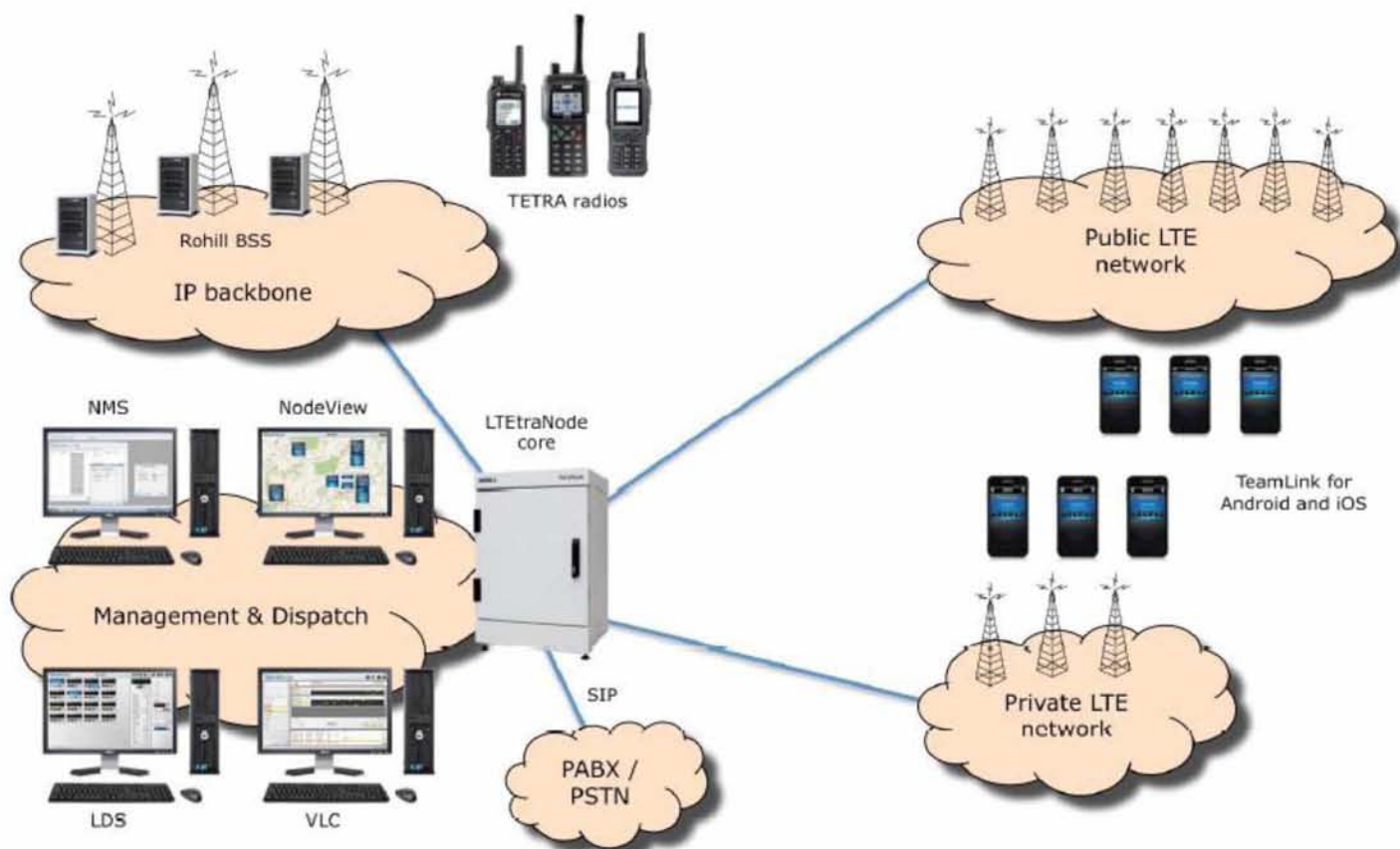
- Σύνδεση LTE και TETRA για κάλυψη ακόμα και σε εσωτερικούς χώρους.
- Χρήση TETRA ως επιλογή σε συμβάντα έκτακτης ανάγκης και LTE για καθημερινή χρήση στα κρίσιμα δίκτυα.
- Δημιουργία δικτύου με δυνατότητα πολύ υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων τόσο σε αστικές όσο και αγροτικές περιοχές.
- Παροχή υπηρεσιών με καλύτερη ασφάλεια χάρη στο συνδυασμό των τεχνικών προστασίας των δεδομένων του κάθε δικτύου.
- Αύξηση χωρητικότητας δικτύου χάρη στις δυνατότητες που προσφέρει το δίκτυο 4<sup>ης</sup> γενιάς.
- Δημιουργία δικτύου με πολύ χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και το οποίο είναι και φιλικό προς το περιβάλλον.

Τα μειονεκτήματα που έχει το υβριδικό δίκτυο είναι τα ακόλουθα.

- Αύξηση πολυπλοκότητας λόγω συνδυασμού 2 δικτύων.
- Μεγάλη δυσκολία στην πλήρη σύνδεση των 2 δικτύων λόγω του ότι έχουν δυο εντελώς διαφορετικές τεχνολογίες.
- Ανάγκη αναθεώρησης μηχανισμών ασφαλείας καθώς λόγω του ότι το δίκτυο είναι συνδυασμός LTE–TETRA τα πρότυπα δεν μπορούν να δοθούν από την 3GPP.
- Ανάγκη διασφάλισης άριστης επικοινωνίας μεταξύ των δυο δικτύων ώστε να είναι ευχάριστη η εμπειρία των χρηστών και όχι να προκύπτουν προβλήματα.
- Πρέπει να δοθεί από τους χρήστες ιδιαίτερη προσοχή στους κανόνες ασφαλείας για να είναι σε θέση να παίρνουν σωστές αποφάσεις σχετικά με την διαχείριση ρίσκου και την δημιουργία κατάλληλης πολιτικής ασφαλείας.

Όπως μπορούμε να δούμε μπορεί το δίκτυο αυτό να έχει αρκετά πλεονεκτήματα που μπορούν να λύσουν πολλά από τα υπάρχοντα προβλήματα αλλά ταυτόχρονα προκύπτουν και αρκετά μειονεκτήματα. Η σύνδεση 2 διαφορετικών δικτύων μπορεί να ακούγεται εύκολη αλλά όταν μιλάμε για 2 δίκτυα με διαφορετική λειτουργικότητα και αρχιτεκτονική τα πράγματα περιπλέκονται. Επειδή όμως αυτή η τεχνική είναι η καλύτερη που μπορεί να δημιουργηθεί με

τα σημερινά δεδομένα βρίσκεται σε χρήση, τουλάχιστον μέχρι να προκύψει κάτι καλύτερο. Στην συνέχεια παρουσιάζεται σχηματικά η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του δικτύου[20][21].



Εικόνα 14 - Αρχιτεκτονική Υβριδικού δικτύου(Rohill White Paper 2015)[21]

## 6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι μια πολύ καλή εξέλιξη του δικτύου 3<sup>ης</sup> γενιάς. Με τα μοναδικά χαρακτηριστικά που διαθέτει έχει την ικανότητα όχι μόνο να λύνει τα προβλήματα που υπήρχαν από τα δίκτυα προηγούμενης γενιάς αλλά να αυξάνει και την ικανοποίηση των χρηστών από την χρήση των παρεχόμενων υπηρεσιών. Έφερε πολλά και σημαντικά πλεονεκτήματα τα οποία οδήγησαν σε σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις οι οποίες με τα προηγούμενα δίκτυα ακόμα και σαν σκέψεις ήταν ουτοπικές.

Αρχικά ένα βασικό χαρακτηριστικό του δικτύου LTE είναι η μείωση της καθυστέρησης και η αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Αυτό σε συνδυασμό με την χρήση ενός καινούριου πρωτοκόλλου για την μετάδοση δεδομένων, του OFDMA, δίνει στους χρήστες την δυνατότητα μετάδοσης μεγάλου όγκου δεδομένων τα οποία μπορεί να είναι συνδυασμός φωνής και ήχου

και τα οποία να μεταδίδονται ταυτόχρονα. Αυτή η εξέλιξη ήταν πολύ σημαντική καθώς αυξάνει την ικανοποίηση του χρήστη από τις παρεχόμενες υπηρεσίες το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της χρήσης του δικτύου.

Μια σημαντική καινοτομία του δικτύου κινητών τηλεπικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς η οποία εξετάστηκε λεπτομερώς στα πλαίσια της διπλωματικής είναι η δυνατότητα απευθείας επικοινωνίας μεταξύ συσκευών (Device to Device communication). Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών, η οποία δεν προσφέρονταν από δίκτυα κινητών επικοινωνιών προηγούμενων γενιών, είναι η προσπάθεια της 3GPP να καλύψει τις απαιτήσεις που ορίζει το πρότυπο IMT-Advanced, το οποίο χρησιμοποιείται σε υπηρεσίες και πρότυπα με πολύ δυνατά χαρακτηριστικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι υπηρεσίες που παρέχονται να είναι άριστης ποιότητας, αλλά και ασφαλής στη χρήση κάτι που κάνει την υπηρεσία αυτή να υπερέχει έναντι των παρόμοιων αντίστοιχων υπηρεσιών που προσφέρουν διάφορα ασύρματα δίκτυα.

Μια άλλη πολύ βασική καινοτομία του LTE με την οποία ασχολήθηκε η διπλωματική είναι η δημιουργία της υπηρεσίας Voice over LTE (VoLTE). Η υπηρεσία αυτή είναι ουσιαστικά η εξέλιξη της τεχνολογίας VoIP και η εφαρμογή της είναι στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πολύ καλή ποιότητα επικοινωνίας για υπηρεσίες φωνής με μεταγωγή πακέτου. Πιο αναλυτικά η ποιότητα της φωνής που μεταδίδεται είναι άριστη ενώ αν ο χρήστης μεταβεί από περιοχή που έχει κάλυψη LTE σε περιοχή που δεν έχει την ώρα που κάνει χρήση της υπηρεσίας η κλήση όχι μόνο δεν διακόπτεται αλλά συνεχίζει κανονικά με την ποιότητα φυσικά που παρέχει το νέο δίκτυο κινητών επικοινωνιών. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση της αρχιτεκτονικής IMS. Η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί να εγγυηθεί τα ανωτέρω γιατί βασίζεται στην λογική All-IP, δηλαδή ότι τα δεδομένα που μεταδίδονται ενθυλακώνονται σε πακέτα IP το οποίο έχει ως αποτέλεσμα όχι μόνο αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης αλλά και διατήρηση της ποιότητας ακέραιης. Επίσης η αρχιτεκτονική αυτή έχει εγγυημένη την ποιότητα υπηρεσιών το οποίο σε μια υπηρεσία επικοινωνίας μεταξύ χρηστών είναι πολύ σημαντική ενώ και η προστασία των δεδομένων από τυχόν παραβιάσεις είναι ζωτικής σημασίας.

Τέλος μια ακόμα σημαντική νέα χρήση του δικτύου LTE(σε σχέση με τα προηγούμενα δίκτυα κινητών επικοινωνιών) που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής είναι στα δίκτυα κρίσιμων τηλεπικοινωνιών. Σε περίπτωση ενός μαζικού ατυχήματος μπορεί να κάνει την διαφορά ανάμεσα στη ζωή και το θάνατο των ανθρώπων η ειδοποίηση των αρχών για άμεση επέμβαση. Γι αυτό το λόγο πρέπει να μην γίνεται χρήση των απλών δικτύων τηλεπικοινωνιών που μπορεί να βρεθούν εκτός υπηρεσίας εύκολα αλλά δικτύων ειδικά σχεδιασμένων για κρίσιμες τηλεπικοινωνίες. Αρχικά δημιουργήθηκε το δίκτυο TETRA το οποίο μπορεί να

ικανοποιούσε τις απαιτήσεις των κρίσιμων δικτύων αλλά ήταν στενής ζώνης και άρα δεν μπορούσε να παρέχει τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που επιτυγχάνει το LTE.

Η λύση που προτείνεται για την εξέλιξη των κρίσιμων τηλεπικοινωνιών είναι ο συνδυασμός των 2 αυτών δικτύων. Η προσπάθεια σύνδεσης δυο δικτύων διαφορετικής αρχιτεκτονικής είναι ένα πολύ δύσκολο εγχείρημα το οποίο μόνο αν γίνει σωστά μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αλλά τη στιγμή αυτή αποτελεί την καλύτερη λύση.

Το δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι μια τεχνολογία με πολλά καινούρια χαρακτηριστικά που ικανοποιούν πολύ περισσότερες απαιτήσεις χρηστών από τα δίκτυα του παρελθόντος. Επειδή όμως πάντα οι απαιτήσεις των χρηστών αυξάνονται ακόμα περισσότερο ήδη έχουν ορισθεί και σύντομα θα λειτουργήσουν δίκτυα 5<sup>ης</sup> Γενιάς σε εμπορικό επίπεδο. Αυτά προσπαθούν να δώσουν ακόμα καλύτερες λύσεις σε μερικά θέματα ώστε να μεγιστοποιηθεί η ποιότητα παροχής υπηρεσιών προς τους χρήστες. Μερικά από αυτά παρατίθενται στην συνέχεια:

- Αύξηση ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Ακόμα και αν ο ρυθμός μετάδοσης που παρέχει το LTE είναι πολύ υψηλός, οι χρήστες πάντα θέλουν κάτι καλύτερο. Έτσι θα μπορούσε μελλοντικά να βρεθεί κάποιος τρόπος να ικανοποιηθεί αυτή η απαίτηση ώστε οι χρήστες να μένουν ακόμα πιο ευχαριστημένοι από τις παρεχόμενες υπηρεσίες.
- Μείωση καθυστερήσεων και αύξηση κάλυψης. Ένα συχνό πρόβλημα είναι η μειωμένη κάλυψη όλων των περιοχών της χώρας μας. Η γεωγραφική διαμόρφωση της Ελλάδας καθιστά την πλήρη κάλυψη όλων των περιοχών ιδιαίτερα δύσκολη και αρκετά ακριβή λόγω των πολλών βουνών αλλά και το ότι η χώρα μας αποτελείται από πολλά νησιά. Η εύρεση τρόπου κάλυψης και των αγροτικών αλλά και των νησιωτικών περιοχών με τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών τελευταίας γενιάς είναι πολύ σημαντική καθώς μπορεί να είναι ένας τρόπος επίλυσης αρκετών προβλημάτων των συγκεκριμένων περιοχών.
- Μείωση ενεργειακής κατανάλωσης. Ένα βασικό πρόβλημα των νέων τεχνολογιών γενικότερα είναι ότι όσο περισσότερες δυνατότητες παρέχονται τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλο λειτουργικό κόστος στους σταθμούς βάσης αλλά και σε όλες τις συσκευές που κάνουν χρήση του δικτύου, οπότε να μην είναι οι χρήστες πρόθυμοι να κάνουν χρήση των νέων τεχνολογιών. Οπότε είναι αρκετά σημαντικό να βρεθούν μηχανισμοί για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης χωρίς όμως να μειώνεται η ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται.

- Βελτίωση κρίσιμων δικτύων. Η δημιουργία του υβριδικού δικτύου μπορεί να είναι καλύτερη λύση από την χρήση των 2 δικτύων που το αποτελούν ξεχωριστά αλλά δεν αποτελεί την ιδανική λύση. Η ένωση 2 διαφορετικών αρχιτεκτονικά δικτύων είναι όχι μόνο πολύ δύσκολη αλλά δεν μπορεί και να λύσει όλα τα προβλήματα που υπάρχουν. Επίσης δημιουργεί αρκετά προβλήματα καθώς είναι ένα πολύπλοκο δίκτυο που η εγκατάσταση του μπορεί να είναι από πολύ δύσκολη έως αδύνατη.

Βλέπουμε ότι παρόλο που η τεχνολογία LTE είναι η κορυφαία μέχρι στιγμής που υπάρχει σε ευρεία χρήση υπάρχουν αρκετά ανοιχτά ζητήματα τα οποία καλό θα ήταν να λυθούν στο μέλλον και να δημιουργηθεί ένα καινούριο δίκτυο με ακόμα καλύτερα χαρακτηριστικά που να μπορεί όχι μόνο να λύσει τα υπάρχοντα προβλήματα αλλά να εξελίξει και τεχνολογίες που δεν μπόρεσε το LTE, όπως είναι το Internet of Things και την επικοινωνία μεταξύ συσκευών με την χρήση αισθητήρων. Επειδή όμως πάντα η τεχνολογία εξελίσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς καθημερινά αυτό που μπορούμε να κάνουμε είναι να περιμένουμε και να δούμε τι εξελίξεις θα ακολουθήσουν.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Li, G. Liu, H. (2006) Downlink Resource Allocation for Multi-Cell OFDMA System. IEEE Transactions on Wireless Communications. 5(12). [Accessed at 4 May 2018]
2. Beming, P. Frid, L. Hall, G. et al (2007) LTE-SAE Architecture and performance. Ericsson review No 3. [Accessed at 21 May 2018]
3. Report ITU-R M.2134 (2008). Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s)[Accessed 19 May 2018]
4. Dahlman, E. Furuskar, A. Jading, Y. et al. (2008) Key features of the LTE radio interface. Ericsson review No 2. [Accessed at 4 May 2018]
5. Kumar, S. Hamed, E. et al. LTE Radio Analytics Made Easy and Accessible. Available at: [www.acm.org](http://www.acm.org). [Accessed at 4 May 2018]
6. Krenik, B. 4G Wireless Technology: When will it happen? What does it offer?. IEEE Asian Solid-State Circuits Conference. [Accessed at 30 April 2018]



7. Gu, G. Peng G., (2010) The survey of GSM Wireless Communication System. International Conference on Computer and Information Application [Accessed at 18 January 2018]
8. Bhat, P. Nagata, S. Campoy, L. Berberana, I. et al. (2012) LTE-Advanced: An operator Perspective. IEEE Communications Magazine [Accessed at 30 April 2018]
9. Ye, S. Wong, S.H. Worrall, C. (2013) Enhanced Physical Downlink Control Channel in LTE Advanced Release 11. IEEE Communications Magazine [Accessed at 30 April 2018]
10. Shen, Z. Papasakellariou, A. Montojo, J. Gerstenberger, D. Xu, F. (2012) Overview of 3GPP LTE-Advanced Carrier Aggregation for 4G Wireless Communications. IEEE Communications Manager [Accessed 1 May 2018]
11. Qualcomm Technologies, Inc. (2016) Delivering on the LTE Advanced promise.
12. Doppler K. Rinne M. Wijting C. Ribeiro C. Hugl K. (2009) Device-to-Device Communications as an Underlay to LTE-Advanced Networks, IEEE Communications Magazine [Accessed 18 May 2018]
13. Magedanz Th. (2006)IMS – The IP Multimedia System as NGN Service Delivery Platform, Available at: [www.springer.com](http://www.springer.com) [Accessed 28 May 2018]
14. Palamara M. (2010) VoLTE for public safety broadband networks, Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/presentation/508a/12dfddcc3a3e98e968ff165f5cb5951eed13.pdf> [Accessed 28 May 2018]
15. Peswani B. Tiwan M. (2016) Evolution of VoLTE – The more Affluent Voice Calling over LTE, International Journal of Engineering and Management Research, Vol(6) Issue(1) [Accessed 28 May 2018]
16. Rankin J. Costache A. Zeto J. (2013) Validating VoLTE A definitive guide to successful deployments, Available through: [https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2013/11/validating\\_volte\\_first\\_edition.pdf](https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2013/11/validating_volte_first_edition.pdf) [Accessed 28 May 2018]
17. Marijan M. Borivoj M. (2008) General System Architecture of TETRA Network for Public Safety Services, 50<sup>th</sup> International Symposium ELMAR-2008, 10-12 September 2008, Zadar, Croatia [Accessed 5 June 2018]
18. Ferrus R. Sallent O. (2014) Extending the LTE/LTE-A Business Case, IEEE Vehicular Technology Magazine [Accessed 10 June 2018]

19. TETRA+Critical Communications Association, Tetra and LTE Working Together, [Accessed 10 May 2018]
20. TETRA+Critical Communications Association, A discussion on the use of commercial and dedicated networks for delivering Mission Critical Mobile Broadband Services, [Accessed 10 May 2018]
21. ROHILL white paper (2015) LTE for Critical Communications [Accessed 14 June 2018]
22. GSMA white paper, Network 2020: Mission Critical Communications [Accessed 14 June 2018]
23. AIRWAVE white paper (2014) Whitepaper: A true measure of network resilience [Accessed 14 June 2018]
24. <https://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/back-issues/table-contents-23/sip.html>
25. <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/109-ims>
26. <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
27. <http://www.3gpp.org/specifications/67-releases>
28. <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-network-infrastructure-and-elements>
29. <https://tcca.info/>
30. <https://www.cosmote.gr/cs/cosmote/gr/ote-tetra-services.html>
31. <https://www.airwavesolutions.co.uk/airwave-in-action/data-over-lte/>
32. <https://www.airwavesolutions.co.uk/airwave-in-action/public-safety-applications/>
33. [http://apothetirio.teiep.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/354/tlp\\_000122a.pdf?sequence=2](http://apothetirio.teiep.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/354/tlp_000122a.pdf?sequence=2)
34. <https://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/physical-logical-transport-channels.php>
35. [Υλικό μαθήματος Ειδικά θέματα δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.](#)
36. <http://img2018beauty.pw/signaling-architecture-in-gsm.html>
37. <https://www.slideshare.net/ApitanKongcharoen/umts-r99-architecture>
38. <https://www.slideshare.net/HenryChikwendu/part-1-fundamentals-of-3-g>
39. <https://www.slideshare.net/gprsiya/02-umts-network-architecturenew>
40. <http://go.radisys.com/rs/radisys/images/paper-lte-protocol-signaling.pdf>
41. <http://newtopics-world.blogspot.com/2016/03/lte-sae-architecture.html>



42. <https://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/back-issues/table-contents-23/sip.html>
43. <https://www.youtube.com/watch?v=eSirToMMosQ>
44. <https://slideplayer.com/slide/3893186/>

## 8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### I. ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΕΙΜΕΝΟΥ

3GPP: 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Program

AAA: Authentication, Authorization and Accounting Protocol – Πρωτόκολλο Αυθεντικοποίησης, Εξουσιοδότησης κα Λογοδοσίας

AuC: Authentication Center– Κέντρο Αυθεντικοποίησης

BCH: Broadcast Channel – Δίαυλος εκπομπής

BCCH: Broadcast Control Channel–Δίαυλος ελέγχου εκπομπής

BSS: Base Station Subsystem – Υποσύστημα Σταθμού Βάσης

CCCH: Common Control Channel – Κοινό κανάλι ελέγχου

CDMA: Code Division Multiple Access–Πρωτόκολλο πολλαπλής διαίρεσης κώδικα

DCCH: Dedicated Control Channel – Αποκλειστικό κανάλι ελέγχου

DL-SCH: Downlink – Shared Channel – Κοινόχρηστο κανάλι Downlink

DTCH: Dedicated Traffic Channel – Αποκλειστικό κανάλι κίνησης

EPC: Evolved Packet Core

FDD: Frequency Division Duplex – Αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας

FDMA: Frequency Division Multiple Access–Πολλαπλή διαίρεση συχνότητας

GPRS: General Packet Radio Service

GSM: Global System for Mobile Communications – Παγκόσμιο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών

HLR: Home Location Registry

HSS: Home Subscriber Subsystem – Υποσύστημα Αρχικού Συνδρομητή

I-CSCF: Interrogating – Call Session Control Function

IETF: Internet Engineering Task Force

IMS: Ip Multimedia Subsystem – Υποσύστημα IP Πολυμέσων

IMSI: International Mobile Subscriber Identity – Διεθνής Ταυτότητα Χρήστη

IMT- Advanced: International Mobile Telecommunications – Advanced

IP: Internet Protocol

LTE: Long Term Evolution

MBMS: Multimedia Broadcast Multicast Services

MCH: Multicast Channel – Κανάλι Πολυεκπομπής

MSC: Mobile Switching Center – Κέντρο μεταγωγής κινητών τηλεπικοινωνιών

MME: Mobility Management Entity – Οντότητα Διαχείρισης κινητικότητας

NGN: Next Generation Networks – Δίκτυα επόμενης γενιάς

NSS: Network Switching Subsystem – Υποσύστημα μεταγωγής δικτύου

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access–Ορθογώνια Πολλαπλή Διαίρεση Συχνότητας

OSS: Operation Support Subsystem – Υποσύστημα Υποστήριξης λειτουργίας

PBCH: Physical Broadcast Channel – Φυσικό Κανάλι Εκπομπής

PCCH: Paging Control Channel – Κανάλι ελέγχου τηλεειδοποίησης

PCH: Paging Channel–Κανάλι Τηλεειδοποίησης

PCRF: Policy and Charging Rules Function – Λειτουργία Πολιτικής και Κανόνων Χρέωσης

P- CSCF: Proxy – Call Session Control Function

PDF: Policy Decision Function – Λειτουργία Απόφασης Πολιτικής

PD – SCH: Physical Downlink – Shared Channel

PMCH: Physical Multicast Channel – Φυσικό Κανάλι Πολυεκπομπής

PRACH: Physical Random Access Channel–Φυσικό Κανάλι Τυχαίας Προσπέλασης

PUSCH: Physical Uplink Shared Channel–Φυσικό Κοινόχρηστο Κανάλι στο Uplink

QoS: Quality of Service – Ποιότητα Υπηρεσιών

RACH: Random Access Channel – Κανάλι Τυχαίας Πρόσβασης

RTP: Real-time Transport Protocol–Πρωτόκολλο Real – Time Μεταφοράς Δεδομένων

S-CSCF: Serving – Call Session Control Function

SC- FDMA: Single Carrier – Frequency Division Multiple Access

SIP: Session Initiation Protocol – Πρωτόκολλο Έναρξης Συνεδρίας

TCP: Transmission Control Protocol – Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης

TDD: Time Division Duplex – Αμφίδρομη Διαίρεση Χρόνου

TDMA: Time Division Multiple Access–Πρωτόκολλο Πολλαπλής Διαίρεσης Χρόνου

TIMSI: Temporary International Mobile Subscriber Identity–Προσωρινή Διεθνής Ταυτότητα Χρήστη

UDP: User Datagram Protocol

UL- SCH: Uplink – Shared Channel – Κοινόχρηστο Κανάλι στο uplink

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System – Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών τηλεπικοινωνιών

VLR: Visitor Location Registering

VoIP: Voice over IP

VoLTE: Voice over LTE

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access – Πολλαπλή Διαίρεση Κώδικα Ευρείας Ζώνης

## II. ΛΕΞΙΚΟ ΟΡΩΝ

CoMP: Coordinated Multi Point

ETSI: European Telecommunications Institute