



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 4<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ»**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΧΡΥΣΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΤΡΑΤΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΣΥΝΟΨΗ</b>	Σελ. 7
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	Σελ. 9

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

1.1 <a href="#">Ασύρματα δίκτυα 1<sup>ης</sup> γενιάς</a>	Σελ.10
1.2 <a href="#">Ασύρματα δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς</a>	Σελ.11
1.3 <a href="#">Ασύρματα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς</a>	Σελ.12

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LTE

2.1 <a href="#">Τεχνολογίες 4<sup>ης</sup> Γενιάς που πληρούν το IMT-ADVANCED</a>	Σελ.14
2.1.1 <a href="#">Αναφορά σε τεχνολογίες WIMAX2.0 και UMB</a>	Σελ.15
2.2 <a href="#">Πορεία του LTE και LTE-A</a>	Σελ.16
2.2.1 <a href="#">Βασικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό του LTE</a>	Σελ.18
2.2.2 <a href="#">Αρχιτεκτονική δικτύου LTE</a>	Σελ.19
2.3 <a href="#">Ανάλυση LTE-A Release 12</a>	Σελ.20
2.3.1 <a href="#">Βελτιώσεις LTE-Advanced –release 12</a>	Σελ.23
2.3.2 <a href="#">Βελτιώσεις HSPA+</a>	Σελ.27
2.3.3 <a href="#">Βελτιώσεις σε δίκτυο και υπηρεσίες</a>	Σελ.29
2.4 <a href="#">Ανάλυση συστήματος 4G LTE</a>	Σελ.31

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ

3.1 <a href="#">Χαρακτηριστικά δικτύων 4G</a>	Σελ.35
3.1.1 <a href="#">Ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεση συχνότητας (OFDM)</a>	Σελ.37
3.1.2 <a href="#">Single Carrier Frequency Division Multiple Access</a>	Σελ.38
3.1.3 <a href="#">Έξυπνες κεραίες</a>	Σελ.39
3.1.4 <a href="#">Τεχνικές δικτύων μεταγωγής</a>	Σελ.44
3.1.5 <a href="#">Πρωτόκολλο διαδικτύου - έκτη έκδοση (IPv6)</a>	Σελ.47
3.2 <a href="#">Απαιτήσεις δικτύων 4G</a>	Σελ.50

3.3	<a href="#"><u>Αρχιτεκτονική των δικτύων 4G</u></a>	Σελ.52
3.4	<a href="#"><u>Ασφάλεια δικτύων 4G</u></a>	Σελ.54
3.4.1	<a href="#"><u>Ασφάλεια του δικτύου 4G απο τη μεριά των παρόχων</u></a>	Σελ.55
3.5	<a href="#"><u>Υπηρεσίες δικτύων 4G</u></a>	Σελ.62
3.5.1	<a href="#"><u>Ποιότητα υπηρεσιών δικτύων 4G</u></a>	Σελ.65
3.6	<a href="#"><u>Επόμενη γενιά δικτύων 5G</u></a>	Σελ.65
3.6.1	<a href="#"><u>Χαρακτηριστικά της 5<sup>ης</sup> γενιάς</u></a>	Σελ.67
	<a href="#"><u>Συμπεράσματα</u></a>	Σελ.68
	<a href="#"><u>Ορολογία ασύρματων δικτύων</u></a>	Σελ.69
	<a href="#"><u>Βιβλιογραφία</u></a>	Σελ.79

## **ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ**

[Εικόνα 1.2 Μέγιστοι και πρακτικοί ρυθμοί μετάδοσης των κινητών δικτύων](#)

[Εικόνα 2.1 Παγκόσμιος χάρτης και υιοθέτηση του LTE από την πλειονότητα των χωρών](#)

[Εικόνα 2.2 Στάδια εξέλιξης των εκδόσεων LTE και χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης LTE-A.](#)

[Εικόνα 2.2.2 Αρχιτεκτονική του LTE](#)

[Εικόνα 2.2.3 Δίκτυο E-Utran](#)

[Εικόνα 2.2.4 Συστατικά του EPC](#)

[Εικόνα 2.3 Εξέλιξη του LTE από το release-8 μέχρι το release-12](#)

[Εικόνα 2.4 Χρονοδιάγραμμα υλοποιήσεων του LTE-A release-12](#)

[Εικόνα 2.5 Τα μέρη του συστήματος LTE.](#)

[Εικόνα 2.6 Τα μέρη του συστήματος έτσι όπως τα παραθέτει στο LTE Link Level Simulator](#)

[Εικόνα 3.1 Η λειτουργία ενός συστήματος OFDM.](#)

[Εικόνα 3.2 Απεικόνιση OFDMA και SC-FDMA.](#)

[Εικόνα 3.3 Κεραία LTE Sorensen Dual MIMO 1800 MHz.](#)

[Εικόνα 3.4 Έξυπνη κεραία MIMO.](#)

[Εικόνα 3.5 Δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος.](#)

[Εικόνα 3.6 Δίκτυο μεταγωγής πακετών](#)

[Εικόνα 3.7 Διαφορές του IPv4 με το IPv6](#)

[Εικόνα 3.8 Η πρόταση της 3GPP για την αρχιτεκτονική του LTE](#)

[Εικόνα 3.9 Βασική Αρχιτεκτονική LTE/SAE](#)

[Εικόνα 3.14 4G στην καθημερινή μας ζωή](#)

## **ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1.1 Τεχνολογία ταχύτητα και χαρακτηρισθηριστικά των δικτύων πριν την εμφάνιση των 4G.

Πίνακας 3.10 Κίνδυνοι και τρόποι αντιμετώπισης στο επίπεδο χρήστη

Πίνακας 3.11 Κίνδυνοι και τρόποι αντιμετώπισης στο επίπεδο πρόσβασης-εισόδου.

Πίνακας 3.12 Κίνδυνοι και τρόποι αντιμετώπισης στο επίπεδο μεταβίβασης.

Πίνακας 3.13 Κίνδυνοι και τρόποι αντιμετώπισης στο επίπεδο υπηρεσιών του δικτύου

## Σύνοψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι να πραγματοποιηθεί μία ανάλυση σχετικά με τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Το συγκεκριμένο θέμα, αποτελεί το νεότερο στάδιο στην ανάπτυξη που παρουσιάζουν τα δίκτυα επικοινωνίας, με απώτερο στόχο την βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών καθώς και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών εφαρμογών και υπηρεσιών που μας παρέχονται.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή όσον αφορά τα δίκτυα επικοινωνίας που προϋπήρχαν, τις δυνατότητές τους, την απήχηση που είχαν στο αγοραστικό κοινό καθώς και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούσαν τα επικοινωνιακά δίκτυα της εκάστοτε εποχής.

Το δεύτερο κεφάλαιο, μας παρουσιάζει τόσο τις εταιρείες που συμμετείχαν στην υλοποίηση των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς, με την 3GPP να αναδεικνύεται «νικήτρια» με το LTE, όσο και τις απαιτήσεις που είχε ορίσει η ITU (International Telecommunication Union). Αξιοσημείωτο είναι, πως στο συγκεκριμένο κεφάλαιο καταγράφεται η εξέλιξη της τεχνολογίας του LTE σε LTE-Advanced, με σημαντικότερο όλων την εκτεταμένη αναφορά σχετικά με την τελευταία έκδοση του LTE-A, δηλαδή το release-12, η οποία δημοσιεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2015 και αναμένεται να υλοποιηθεί στις αρχές του 2016. Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς θεωρούνται ως το προπύργιο για τη δημιουργία των «εξυπνων-πολεων».

Εν συνεχεία, το τρίτο κεφάλαιο μας εντάσσει στα χαρακτηριστικά των δικτύων 4G δηλαδή στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται-υιοθετούνται, στις υπηρεσίες, στην ασφάλεια ακόμα και στην αρχιτεκτονική που κατέχουν τα δίκτυα επικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς.

Τέλος, γίνεται μια μικρή αναφορά όσον αφορά τις επόμενες γενιές δικτύων επικοινωνιών, τις υπηρεσίες, τις καινοτομίες, τις δυνατότητες αλλά και τους στόχους που έχουν θέσει οι αρμόδιοι φορείς.

## **Abstract**

The purpose of this project is to perform an analysis of the 4th generation networks. This theme is the newest stage in development of communication networks, with a view to improve the quality of services and development of new technologies, applications and services that we provided. Initially, in the first chapter is an historical overview regarding the communication networks that existed before, their capabilities, the impact they had in customers and the technologies that used in communication networks of each era.

The second chapter presents both the companies involved in the implementation of 4G networks by 3GPP to emerge "victorious" with LTE, and the requirements where set by the ITU (International Telecommunication Union). It is remarkable, that in this chapter show the evolution of technology LTE to LTE-Advanced, the most important of all the extensive reporting on the latest LTE-A, and the version which is the release-12, which was published in February 2015 and is expected be implemented in early 2016 and is regarded as the start of creation of "smart-cities."

Subsequently, the third chapter brings us to network characteristics that 4G technologies used-employed, services, safety and even architecture holding the 4th generation communications networks.

Finally, a brief mention on the next generation communications networks, services, innovations, possibilities and goals set by the competent organisms.



## **Πρόλογος**

Στις μέρες μας, γινόμαστε μάρτυρες της ταχέως αναπτυσσόμενης τεχνολογίας. Μιάς τεχνολογίας, η οποία μας δίνει κάθε μέρα και καινούριες δυνατότητες – εμπειρίες, όπως εκείνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των κινητών τηλεφώνων και γενικότερα των συσκευών οι οποίες κάνουν χρήση των multimedia υπηρεσιών. Όλες αυτές οι τεχνολογίες, συμβαδίζουν και με τις δυνατότητες των εκάστοτε δικτύων.

Το 2015 είναι μία χρονιά ορόσημο για τα δίκτυα επικοινωνιών διότι μεταβαίνουμε σε μία 4<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα, τα οποία θα αλλάξουν ριζικά την καθημερινή ζωή αλλά και θα αποτελέσουν μία καινούρια βάση για τις επόμενες γενιές δικτύων.

Ενώ το όραμα του 4G είναι γνωστό και υλοποιείται εδώ και 5 χρόνια σε άλλες χώρες, ήρθε η ώρα να εφαρμοστεί παγκοσμίως. Από τη στιγμή που έχει ξεκινήσει η μελέτη και υλοποίηση των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς έχουν βγεί έξι νέες εκδόσεις – βελτιώσεις, με την τελευταία να γίνεται γνωστή τον Φεβρουάριο του 2015 και ονομάζεται LTE-A release-12 και να αναμένεται να υλοποιηθεί πλήρως στις αρχές του 2016.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

## ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### 1.1 Ασύρματα δίκτυα 1<sup>ης</sup> γενιάς

Τα ασύρματα δίκτυα 1<sup>ης</sup> γενιάς (1G), αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και έλαβαν χώρα στις περιοχές των Η.Π.Α. αλλά και της Ιαπωνίας. Παρ'όλα αυτά, το πρώτο ασύρματο δίκτυο με κυψελωτή δομή παρουσιάστηκε στην Ευρώπη την δεκαετία του 1980. Η κυψελωτή δομή των ασύρματων δικτύων 1<sup>ης</sup> γενιάς, δηλαδή η διαίρεση της περιοχής κάλυψης σε μικρότερα κελιά (κυψέλες) αλλά και η δυνατότητα χρήσης ίδιων συχνοτήτων στο ίδιο δίκτυο και με πολύ μικρό ποσοστό φαινομένων παρεμβολής, ήταν μία επαναστατική μέθοδος που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα.

Όσον αφορά τις κυψέλες, η κάθε μία έχει ένα σταθμό βάσης όπου εκεί γίνεται η υλοποίηση αλλά και η δρομολόγηση της κλήσης. Η εκάστοτε κυψέλη έχει συγκεκριμένη ακτίνα και αυτό εξαρτάται από την κεραία που θα χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, η επιλογή της κεραίας γίνεται σύμφωνα με κάποια κριτήρια. Τα δύο πιο σημαντικά κριτήρια είναι ο γεωγραφικός τόπος, δηλαδή αν η περιοχή κάλυψης είναι μία πεδιάδα ή μία ορεινή περιοχή με λόφους και το άλλο κριτήριο είναι ο αριθμός χρηστών που υπάρχει στην περιοχή κάλυψης. Όσο πιο πυκνοκατοικημένη είναι μια περιοχή τόσο περισσότερες κεραίες με μικρή ακτίνα χρειάζονται. Όταν κάνουμε λόγο για κυψέλη μικρής ακτίνας σημαίνει μικρότερη του ενός χιλιομέτρου.

Σε αντίθεση με την κυψέλη μεγάλης ακτίνας που έχει μήκος έως τριάντα χιλιόμετρα. Τα χαρακτηριστικά των δικτύων πρώτης γενιάς τα οποία πρέπει να αναφερθούν είναι: α) ότι δέκτης και πομπός επικοινωνούσαν μέσω της ίδιας συχνότητας, β) η επικοινωνία τερματίζει σε περίπτωση όπου είτε ο πομπός είτε ο δέκτης έβγαινε εκτός εμβέλειας του κυττάρου αφού δεν είχε αναπτυχθεί ακόμα η τεχνολογία handover, γ) τα δίκτυα είχαν ελάχιστη χωριτικότητα, δ) η μετάδοση της φωνής γινόταν με αναλογικούς τρόπους και τεχνολογίες. Συστήματα τέτοιου τύπου είναι Advanced Mobile Phone Services (AMPS), US Digital Cellular Standard IS-54 (USDC), European Total Access Communication System (ETACS). Τέλος, η τεχνική πολυπλεξίας που χρησιμοποίησε η πρώτη γενιά ήταν πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiple Access - FDMA).[\[1\]](#)

## 1.2 Ασύρματα δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς

Λόγω της περιορισμένης δυνατότητας των δικτύων 1<sup>ης</sup> γενιάς αλλά και της ζήτησης από το αγοραστικό κοινό, γρήγορα υπήρξε η ανάγκη για βελτίωση των δικτύων και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την γέννηση των δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς, το οποίο ήταν τόσο καλύτερο από το προηγούμενο αλλά και τόσο αξιόπιστο όπου υπάρχουν μέχρι και σήμερα.

Μία καινοτομία που έφερε η τεχνολογία των δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς είναι η ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων, η οποία γίνεται με την τεχνική της TDMA (time division multiple access) καθώς και με τη CDMA (code division multiple access). Την τεχνική TDMA, χρησιμοποιεί το σύστημα δεύτερης γενιάς γνωστό σε όλους με το όνομα GSM (Global System for Mobile). Το GSM αναπτύχθηκε στην Ευρώπη από την European Technical Standards Institute (ETSI). Το GSM χρησιμοποιήθηκε σε 140 χώρες και από 350 εκατομμύρια χρήστες. Η ζώνη λειτουργίας του είναι 800-900 MHz. Όμως υπάρχουν και αρκετά παράγωγα τα οποία χρησιμοποιούν τις ζώνες των 1800 ή 1900 MHz. Ο κυριότερος λόγος ήταν η έλλειψη χωρητικότητας στη ζώνη (φάσμα) συχνοτήτων της τάξης των 900 Mhz όπου είναι η ζώνη λειτουργίας.

Τα δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς μας πρόσφεραν νέες υπηρεσίες, εκ των οποίων η πιο σημαντική και διαχρονική υπηρεσία που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα, είναι τα SMS (μηνύματα) καθώς και ένα είδος διαδικτύου, το οποίο σε παρέπεμπε στη σελίδα του εκάστοτε παρόχου και παρείχε πληροφορίες με υπέρογκο κόστος.

Η ευρεία ανάπτυξη και χρήση της τεχνολογίας 2G, είχε σαν αποτέλεσμα την αναγκαία εξέλιξη της αλλά και την ανάπτυξη τεχνολογιών, όπως:

1. HSCSD (High Speed Circuit- Switched Data)
2. GPRS (General Packet Radio Services)
3. EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution).

Αρχικά, η HSCSD έχει να κάνει με την αύξηση τους ρυθμούς μετάδοσης GSM στα 14.4 kbps. Αυτό σημαίνει 57.6 kbps για χρήση τεσσάρων χρονοθυρίδων. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας, είναι ότι λειτούργησε στο GSM. Από την άλλη μεριά, το μεγαλύτερο μειονέκτημά της που συναντάμε, είναι ότι οι χρονοθυρίδες δέσμευαν εύρος ζώνης του δικτύου, ακόμα και όταν δεν χρησιμοποιούνταν.

Την αδυναμία της τεχνολογίας του HSCSD έρχεται να καλύψει το GPRS, όπου δίνει τη δυνατότητα δέσμευσης των χρονοθυρίδων, μόνο όταν αυτές είναι απαραίτητες για τη μετάδοση δεδομένων. Επιπλέον, καταλαμβάνει και τις 8 χρονοθυρίδες και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να επιτυγχάνει ρυθμό μετάδοσης έως και 171,2 kbps. Τέλος, η τεχνολογία EDGE εισάγει την ψηφιακή διαμόρφωση 8-PSK, όπου ο ρυθμός μετάδοσης φτάνει έως και 547,2kbps αλλά χωρίς αποσφαλμάτωση και με τον χρήστη να κάνει χρήση και των 8 χρονοθυρίδων ταυτόχρονα.

Ο συνδυασμός του EDGE με το GPRS λέγεται EGPRS (enhanced GPRS) και με αυτόν επιτυγχάνονται ρυθμοί μετάδοσης έως και 384 Kbps. Οι τεχνολογίες HSCSD, GPRS και EDGE εξέλιξαν τόσο πολύ τις δυνατότητες της τεχνολογίας του 2G, γεγονός που οδήγησε την εποχή εκείνη να ονομαστεί 2.5G. [2]

### 1.3 Ασύρματα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς

Τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς, κάνουν την εμφάνισή τους το 2002 και θεωρούνται επαναστατικά, διότι πλέον ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων έχει φτάσει τα 2Mbps και η επικοινωνία αναβαθμίζεται μέσω μίας νέας τεχνολογίας, της VOIP (voice over IP) η οποία θα χρησιμοποιηθεί ακόμα και στα σταθερά τηλέφωνα. Επιπλέον, προσφέρονται νέες υπηρεσίες, όπως η υποστήριξη μεταφοράς φωνής και ήχου, η υποστήριξη μεταγωγής πακετών για πρόσβαση στο διαδίκτυο, η υποστήριξη πολυμέσων υψηλών απαιτήσεων και επιδόσεων όπως GPS (Global Positioning System), εφαρμογές- υπηρεσίες που βασίζονται στην ακριβή τοποθεσία που βρίσκεται ο χρήστης καθώς και η τηλε-ιατρική.

Τα δίκτυα 3G είναι τα δίκτυα που χρησιμοποιήθηκαν από τους περισσότερους χρήστες, δηλαδή 780 εκατομμύρια παγκοσμίως. Τα πρότυπα 3<sup>ης</sup> γενιάς που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των κινητών τερματικών με το δίκτυο είναι το CDMA2000, WCDMA και το EDGE.

Αρχικά, το πρότυπο CDMA2000 είναι πλήρως συμβατό με τις τεχνολογίες 2<sup>ης</sup> γενιάς με ταχύτητες μεταφοράς 2Mbps. Το WCDMA είναι ένα σύστημα βασισμένο στο CDMA που εισάγει μια νέα δομή καναλιών εύρους 5 MHz και επιτυγχάνει ταχύτητες έως και 2 Mbps.

Τέλος, το EDGE είναι ένα σύστημα βασισμένο σε πολλαπλή πρόσβαση, με διαίρεση χρόνου που προέρχεται από τα συστήματα GSM και IS-136 είναι συμβατό με αυτά και προσφέρει ταχύτητες μέχρι και 473 kbps. Το EDGE είχε χρησιμοποιηθεί και νωρίτερα στα 2<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα. Είναι άξιο αναφοράς ότι το UMTS είχε δημοσιευθεί από τον ETSI το 1996 ως πρόταση αναβάθμισης του GSM με το όνομα WCDMA (Wideband-CDMA) όπου κάνει την χρήση της τεχνικής spread spectrum. Τα δίκτυα επικοινωνιών 3G απογοήτευσαν διότι αρχικά στόχευαν να είναι ένα παγκόσμιο πρότυπο που θα χρησιμοποιείται αυτούσιο από όλους τους παρόχους και έφτασε στο σημείο στην Αμερική μόνο να υπάρχουν τρία διαφορετικά καθώς διαφορετικό ήταν και στην Ιαπωνία.

Επιπλέον, στόχος της ανάπτυξης των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς είναι η παροχή των κινητών υπηρεσιών « οπουδήποτε » και « κάθε στιγμή ». Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης κινητών δικτύων τρίτης γενιάς μπορεί να μετακινείται οπουδήποτε και να εξυπηρετείται ακόμα και σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κάλυψη από συστήματα τρίτης γενιάς, αλλά υπάρχουν άλλου είδους ασύρματα δίκτυα.

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη της τεχνολογίας HSPA(High-Speed-Access-Packet). Η HSPA στόχο είχε την γρηγορότερη μεταγωγή πακετών στα δίκτυα 3ης γενιάς. Μεταγωγή πακετών και για Upload αλλά και για download. Τα πρωτόκολλα αυτά ονομάζονται HSUPA (High-Speed-uplink-Access-Packet) και HSDPA (High-Speed-Downlink-Access-Packet) αντίστοιχα.

Το HSDPA πρωτόκολλο χρησιμοποιούνταν για την καθοδική ζεύξη μεταγωγής πακετών και έφτανε τα 14.4Mbps ενώ για την ανοδική ζεύξη μεταγωγής πακέτων χρησιμοποιούνταν το πρωτόκολλο HSUPA με μέγιστο ρυθμό που έφτανε τα 5.8 Mbps. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί είναι ρυθμοί υπό ιδανικές συνθήκες και πως η HSPA τεχνολογία δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια που υπήρχε η τρίτη γενιά δικτύων διότι μέχρι εκείνη τη στιγμή τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς ήταν απογοητευτικά. Για τον λόγο αυτό μετά την εμφάνιση της HSPA τεχνολογίας εταιρείες πάροχοι και κωλοσοί των τηλεπικοινωνιών ονόμασαν την τεχνολογία 3.5<sup>ης</sup> γενιάς. Εν κατακλείδι τα δίκτυα 3G όταν εμφανίστηκαν ήταν ανέτοιμα να επιτύχουν τους στόχους που είχαν τεθεί αλλά μέχρι το τέλος της τεχνολογίας κατάφεραν να επιτύχουν τους στόχους όχι ολοκληρωτικά αλλά σε ένα επιθυμητό επίπεδο.

ΓΕΝΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
<b>2G</b>	<b>TDMA / CDMA</b>	<b>9.6 - 14.4 kbps</b>	Οι δυνατότητες επιτυγχάνονται επιτρέποντας σε πολλούς χρήστες να συνηπάρχουν σε ένα μονό κανάλι μέσω πολυπλεξίας .2G έδωσαν τη δυνατότητα στα κινητά τηλέφωνα να χρησιμοποιούνται για ανταλλαγή δεδομένων μέσω μιας φωνητικής επικοινωνίας.
<b>3G</b>	<b>CDMA2000 UMTS EDGE</b>	<b>3.1Mbps(peak) 500-700 kbps</b>	Η 3η γενιά παρέχει υψηλές ταχύτητες στο διαδίκτυο Είναι υπόβαθρο για ευκαιρίες τόσο στις βιντεο-κλήσεις video-streaming .Καθολική πρόσβαση και φορητότητα σε διαφορετικούς τύπους συσκευών γίνονται δυνατές
<b>3.5G</b>	<b>HSPA</b>	<b>14.4Mbps(peak) 1-3Mbps</b>	3.5G υποστηρίζουν ακόμα υψηλότερες ταχύτητες και βελτιώσεις για μεταφορά δεδομένων

**Πίνακας 1.1** Τεχνολογία ταχύτητα και χαρακτηριστηριστικά των δικτύων πριν την εμφάνιση των 4G

Στο παραπάνω κουτάκι αποδίδω επιγραμματικά τις γενιές δικτύων, τις τεχνολογίες που βασίστηκε η καθε γενιά, τις ταχύτητες που μπόρεσαν να επιτύχουν αλλά και διάφορα χαρακτηριστικά που τις έκαναν να είναι πολύ σημαντικές και το υπόβαθρο για τις επόμενες γενιές, όπως το 4G που θα αναλύσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Είναι άξιο αναφοράς ότι η τεχνολογία HSPA σχεδόν πενταπλασίασε το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Εκείνη την εποχή ήταν τόσο επανασταστικό και καινοτόμο όπου πολλοί έσπευσαν να κάνουν λόγο για τεχνολογία 3.9G.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι τεχνολογίες 2G, 3G και 4G . Από την μια απεικονίζονται οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης δηλαδή υπο ιδανικές συνθήκες καθώς και οι τεχνολογίες οι οποίες τις επιτυγχάνουν. Οι πρακτικοί ρυθμοί μετάδοσης είναι προφανώς μειωμένοι καθώς σημαντικό ρόλο για τις επιδόσεις της εκάστοτε τεχνολογίας διαδραματίζει ο γεωγραφικός τόπος και το πλήθος των χρηστών όπου κάνουν χρήση του δικτύου.[3]



**Εικόνα 1.2** Μέγιστοι και πρακτικοί ρυθμοί μετάδοσης των κινητών δικτύων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LTE

#### 2.1 Τεχνολογίες 4<sup>ης</sup> Γενιάς που πληρούν το IMT-ADVANCED

Η ITU-R (international telecommunication union) ανακοίνωσε τον Οκτώβριο του 2010 ότι δύο συστήματα πληρούν τις απαιτήσεις του IMT-ADVANCED.

Το ένα σύστημα είναι το LTE- Advanced και το άλλο είναι το WIMAX 2.0 που στην πραγματικότητα είναι η βελτιωμένη έκδοση του WIMAX στο πλαίσιο της IEEE 802.16m προδιαγραφής. Πέρα από αυτά τα δύο συστήματα – τεχνολογίες, υπάρχει και ένα τρίτο σύστημα - τεχνολογία το UMB της εταιρείας Qualcomm που στόχο είχε να υποστηρίξει τα ασύρματα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Το σχέδιο της Qualcomm ναυάγησε διότι τα αναταγωνιστικά συστήματα – τεχνολογίες ήταν πιο πλήρη και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα σχεδόν κανένας φορέας εκμετάλλευσης ασύρματων δικτύων να μην κάνει χρήση της τεχνολογίας UMB. Συνεπώς απόμειναν οι τεχνολογίες των LTE-Advanced και WIMAX ώστε να μονοπωλήσουν την αγορά των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς. Όμως από αυτές τις δύο τεχνολογίες, το LTE-Advanced έχει μακράν τη μεγαλύτερη υποστήριξη από τους παρόχους και είναι η τεχνολογία που επικρατεί αυτή τη στιγμή παγκοσμίως.



Εικόνα 2.1 Παγκόσμιως χάρτης και υιοθέτησι του LTE απο την πλειονότητα των χωρών

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζονται με γαλάζιο χρώμα οι χώρες οι οποίες χρησιμοποιούν το LTE-A, με μπλέ χρώμα εκείνες που έχει προγραμματιστεί να

χρησιμοποιήσουν το LTE-A και με γκρι χρώμα εμφανίζονται οι χώρες που δεν έχει γίνει γνωστό αν και τι θα χρησιμοποιήσουν. Έτσι είναι διαμορφωμένος ο παγκόσμιος χάρτης μέχρι στιγμής.

Η χώρα μας υιοθέτησε το LTE το έτος 2013, αν και οι εργασίες - προετοιμασίες είχαν ξεκινήσει νωρίτερα. Άξιο αναφοράς είναι ότι το 2014 οι χώρες που είχαν LTE ήταν 76 ενώ τον επόμενο χρόνο εκτινάχθηκαν στις 124. Η πρώτη χώρα στην οποία χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία LTE, είναι η Σκανδιναβία κατά το έτος 2010.

Επίσης, ο στόχος της ITU-R είναι να υπάρξει μια παγκόσμια τεχνολογία, η οποία θα αναφέρεται στα δίκτυα των τηλεπικοινωνιών και αυτό τείνει να επιτευχθεί με το LTE-A. [4]

### 2.1.1 Αναφορά σε τεχνολογίες WIMAX2.0 και UMB

Πρώτα από όλα θα αναφερθούμε στην τεχνολογία της WiMax, η οποία προταγωνιστούσε στην εποχή πριν την εμφάνιση του 4G. Η WiMax2.0 είναι η τεχνολογία η οποία έθεσε υποψηφιότητα για τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Παρ'όλο που οι διαφορές με την επικρατούσα τεχνολογία, δηλαδή η LTE-A δεν είναι πολύ μεγάλες, όταν συγκρίνονται παρατηρούμε ότι η WiMax2.0 φαίνεται υποδιέστερη απέναντι στον «αντίπαλό» της, στα εξής σημεία:

1. Η πιο βασική διαφορά είναι το εύρος ζώνης όπου για την Lte είναι 100 Mhz ενώ το WiMax2.0 έχει 40 MHz ευρος ζώνης.
2. Η LTE-A χρησιμοποιεί την OFDMA για downlink και SC-OFDMA για uplink, ενώ η Wimax2.0 χρησιμοποιεί τόσο για downlink όσο και για uplink SOFDMA.
3. Η WiMax2.0 έχει περιορισμένο φάσμα επιλογών για ανάπτυξη, καθιστώντας δύσκολο για τους υπάρχοντες φορείς (δίκτυα που βασίζονται σε 3GPP legacy πρότυπα) να αναπτυχθούν.
4. Η LTE-A μπορεί να χειριστεί ταχύτητες κινητής τηλεφωνίας έως 450-500 km/hr (max), ενώ η WiMax2.0 μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες μέχρι και 120 Km/hr.
5. Η WiMax2.0 δεν έχει συμβατότητα με τις προηγούμενες τεχνολογίες δικτύων όπως 2G και 3G, σε αντίθεση με την LTE-A όπου είναι συμβατή με όλες.

Από την άλλη μεριά έχουν και ομοιότητες, όπως το γεγονός ότι η αρχιτεκτονική και της WiMax2.0 και της LTE-A είναι All-in-IP. Επίσης και οι δύο χρησιμοποιούν MIMO κεραίες. Πέρα από τις διαφορές των δύο τεχνολογιών είναι σημαντικό να αναφέρουμε μερικά από τα χαρακτηριστικά της WiMax2.0 τεχνολογίας.

Το εύρος ζώνης αλλά και το φάσμα της WiMax2.0 την καθιστούν κατάλληλη για παροχή φορητής, κινητής, ευρυζωνικής συνδεσιμότητας σε πόλεις και χώρες, μέσα από μια ποικιλία συσκευών παρέχοντας μια ασύρματη εναλλακτική λύση, για την καλωδιακή και ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL) για "last mile" ευρυζωνική πρόσβαση. Πλέον αυτό μπορεί να επιτευχθεί με σχετικά χαμηλό κόστος που έχει να κάνει με την ανάπτυξη του δικτύου της WiMax2.0, το οποίο είναι πλέον οικονομικά βιώσιμο, παρέχοντας ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο σε απομακρυσμένες περιοχές. Τέλος, χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης τεχνολογίας αποτελεί η παροχή των δεδομένων, των τηλεπικοινωνιών μέσω VOIP (Voice Over IP) αλλά και υπηρεσιών IPTV (Triple Play).

Παρ' όλα αυτά, πολλά εμπορικά, ιστορικά και πολιτικά στοιχεία πέραν των τεχνικών παραγόντων ενδέχεται να επηρεάσαν την τεχνολογία που «κέρδισε». Σε αντίθεση με την WiMax2.0 τεχνολογία που αφενός έχασε την διμοτικότητα της και την αξιοπιστία της στις αγορές και σε εταιρείες, αφετέρου αναγκαστικά χάνει πολλούς πελάτες μεγάλης δυναμικότητας στον χώρο των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων γενικότερα.[5]

Στο σημείο αυτό, θα αναφερθούμε στην τεχνολογία που φέρει το όνομα UMB. Το όνομά της προήλθε από το όνομα ενός σχεδίου της 3GPP2, που είχε στόχο να βελτιώσει το CDMA2000, πρότυπο κινητής τηλεφωνίας για την επόμενη γενιά εφαρμογών και απαιτήσεων. Το Νοέμβριο του 2008, η Qualcomm, μέγας χορηγός του UMB προτύπου, ανακοίνωσε ότι τελειώνει η ανάπτυξη της τεχνολογίας, κάτι που βοήθησε το LTE-A στην επικράτησή του. Το UMB προοριζόταν για την λεγόμενη τέταρτης γενιάς τεχνολογία. Οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος ζώνης, μικρό χρόνο αναμονής, όπου είναι υποκείμενες σε δίκτυο TCP/IP με υψηλό επίπεδο υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα η φωνή που είναι στην κορυφή. Η ευρεία χρήση των 4G δικτύων υπόσχεται να δημιουργήσει εφαρμογές που δεν είχαν προηγουμένως επιτευχθεί και πλέον να υπάρχουν και να χρησιμοποιούνται παντού. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών περιλαμβάνει η αναπαραγωγή βίντεο υψηλής ευκρίνειας, streaming μέσω κινητού τηλεφώνου, παιχνίδια online σε κινητά τηλέφωνα και πολλά άλλα.

Το UMB κάνει χρήση του OFDMA, ώστε να εξαλειφθούν πολλά από τα μειονεκτήματα της CDMA τεχνολογίας που χρησιμοποιείται από τον προκάτοχό του. Μερικά από τα χαρακτηριστικά του UMB που πρέπει να αναφερθούν είναι:

- τα υψηλά ποσοστά μετάδοσης δεδομένων.
- η μείωση των λαθών κάνοντας χρήση της Forward Link (FL) τεχνικής που υπάρχει στις προηγούμενες κεραιές. Οι κεραιές αυτές είναι η MIMO, η SDMA και η Beamforming, οι οποίες παρέχουν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας μέσω της χρήσης της ταχείας τηλεειδοποίησης και της ημι-συνδεδεμένης κατάστασης.
- η νέα επεκτάσιμη αρχιτεκτονική IP που υποστηρίζει διατεχνολογικές μεταβιβάσεις.
- οι νέοι μηχανισμοί μετεκπομπής που υποστηρίζουν υπηρεσίες πραγματικού χρόνου διαμέσω του δικτύου και καταμήκος διαφορετικών εναέριων τεχνολογιών.[6][7]

## 2.2 Πορεία του LTE και LTE-A

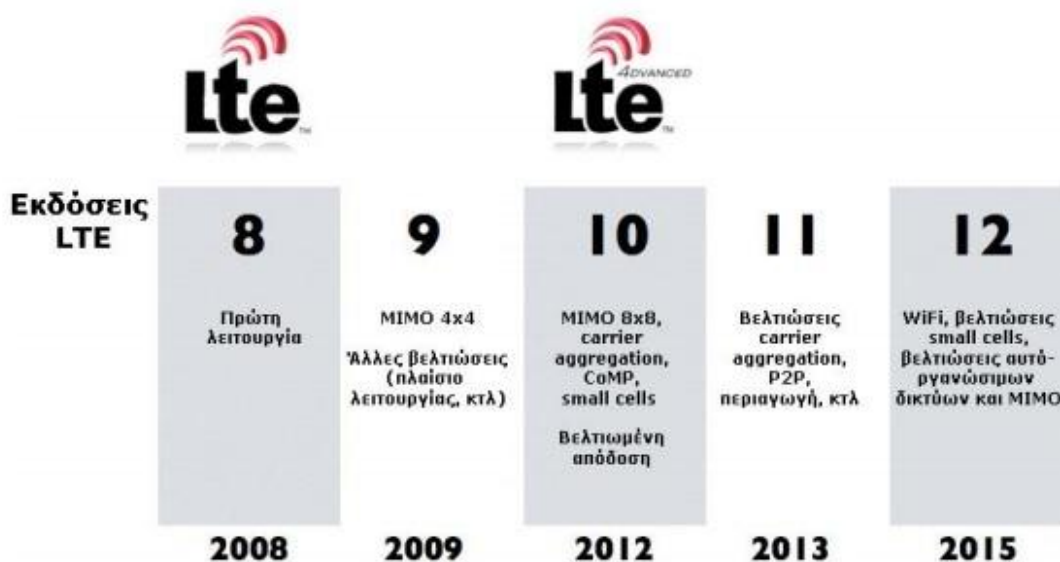
Το LTE-Advanced δεν έφτασε τυχαία στο σημείο να είναι συνυφασμένο με τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε το πως ξεκίνησε και εξελίχθηκε το LTE σαν πρότυπο για την 4G τεχνολογία.

Το LTE δημιουργήθηκε από την 3GPP και προτάθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 2004. Η τεχνολογία βασίζεται σε προυπάρχοντα δίκτυα, όπως GSM/EDGE και UMTS /HSPA με μεγαλύτερες ταχύτητες σε καθοδική ζεύξη και ανοδική ζεύξη, καλύτερες τεχνικές διαμόρφωσης, αυξημένη χωρητικότητα και εύρος ζώνης καθώς και πληθώρα άλλων υπηρεσιών για εκείνη την εποχή που εμφανίστηκε.



Το 2008, η ITU-R ανακοινώνει τις προδιαγραφές των 4G δικτύων, οι οποίες ονομάζονται IMT-Advanced και είναι 600Mbps καθοδικής ζεύξης (downlink) και αντίστοιχα 270Mbps ανοδικής ζεύξης (uplink) με 40 MHz εύρος ζώνης. Επίσης, μέσα στις προδιαγραφές εντάσσονται η ολοκληρωμένη και ασφαλή all-in-IP τεχνολογία καθώς και η υπερ-ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο από τα κινητά τηλέφωνα, τα modem, laptops, tablets, smartphones και άλλα. Επιπλέον, θα πρέπει να παρέχονται υπηρεσίες όπως είναι η πρόσβαση στο διαδίκτυο, η τηλεφωνία μέσω IP δηλαδή VOIP (τεχνολογία που θα έπρεπε να έχει επιτευχθεί από την εποχή των 3G), οι υπηρεσίες τυχερών παιχνιδιών καθώς και η συνεχή ροή οπτικοακουστικών πολυμέσων.

Μέχρι τότε, το LTE είχε 300 Mbps downlink και 75Mbps uplink σε ιδανικές συνθήκες. Η τεχνική διαμόρφωσης της καθοδικής ζεύξης είναι η OFDM και η τεχνική διαμόρφωσης της ανοδικής ζεύξης είναι η SC-FDMA. Τότε η 3GPP άρχισε να μελετά πως να ενισχύσει τις δυνατότητες του LTE, με αποτέλεσμα την βελτιστοποίηση του και την μετονομασία της τεχνολογίας αυτής σε LTE-Advanced όπου είχε την δυνατότητα μετάδοσης 1Gbps στην καθοδική ζεύξη και 500Mbps στην ανοδική ζεύξη με εύρος ζώνης 100MHz σε πέντε χρονοθυρίδες των 20MHz. Πλέον με το LTE-A όχι μόνο είχαν εκπληρωθεί οι απαιτήσεις του IMT-Advanced αλλά είχαν σχεδόν διπλασιαστεί οι ταχύτητες που πρόσφεται το LTE-A σε σχέση με τις προδιαγραφές του IMT-A. Η έκδοση που προαναφέραμε είναι η έκδοση 8 (release-8) του 2008. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα στάδια εξέλιξης της τεχνολογίας LTE με αποκορύφωμα την έκδοση 12 του 2015 (release12) την οποία θα αναλύσουμε εκτενέστερα στο κεφάλαιο αυτό.[8][9]



Εικόνα 2.2 Στάδια εξέλιξης των εκδόσεων LTE και χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης LTE-A.

### 2.2.1 Βασικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό του LTE

Το LTE σχεδιάστηκε ακολουθώντας κάποιες αρχές ώστε να ανταποκριθεί αποτελεσματικά στην αυξανόμενη ζήτηση. Μια από τις βασικές αρχές όπου τέθηκε αρχικά είναι η απόδοση στο ίδιο επίπεδο με ενσύρματη ευριζωνική σύνδεση. Ένας στόχος του LTE ήταν να δημιουργήσει ένα διαδικτυακό περιβάλλον για τα κινητά το ίδιο ή και καλύτερο από αυτό που επιτυγχάνεται σήμερα στα αστικά κέντρα μέσω της ευρυζωνικής ενσύρματης πρόσβασης. Τα δύο χαρακτηριστικά που ικανοποιούν τους χρήστες ως αναφορά τα δίκτυα είναι οι υψηλές ταχύτητες και ο χαμηλός χρόνος απόκρισης. Για να προωθήσει η 3GPP τις υψηλές ταχύτητες και την υψηλή διακίνηση πληροφοριών-δεδομένων έθεσε σαν μέγιστο ρυθμό μεταφοράς των δεδομένων τα 100Mbps για καθοδική ζεύξη και τα 50 Mbps για ανοδική ζεύξη. Οι ταχύτητες που μπορούν να επιτευχθούν όμως έχουν να κάνουν και με την απόσταση από τον σταθμό βάσης(κομβο), συνεπώς βασικός στόχος για το σχεδιασμό του LTE ήταν να επιτευχθεί ένας μέσος όρος downlink τέσσερις φορές παραπάνω από τις ταχύτητες του HSPA και τρεις φορές μεγαλύτερη ταχύτητα στην ανοδική ζεύξη. Για να επιτευχθούν αυτοί οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων έπρεπε να βελτιωθεί η φασματική απόδοση τεσσereίς φορές παραπάνω από ότι ήταν εκείνη την εποχή. Επιπλέον έπρεπε να βελτιωθεί και η μετάδοση δεδομένων στα κελιά. Το άλλο βασικό χαρακτηριστικό είναι να μείνει σε χαμηλό επίπεδο η καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων διότι σε συγκεκριμένες εφαρμογές όπως μετάδοση ήχου όπως γίνεται στο VOIP σε διαδικτυακά παιχνίδια και άλλες εφαρμογές είναι σημαντικό να μην υπάρχει καθόλου καθυστέρηση (delay) και Jitter. Με την λέξη jitter εννοούμε πόσο συχνά έχουμε καθυστέρηση στην αποστολή ή λήψη δεδομένων. Μια καλή μέτρηση της καθυστέρησης που μπορεί να έχουμε είναι 10ms και παρακάτω όπου και αυτό είναι αποδεκτό από τον σχεδιασμό του LTE. Τα συστήματα που χρησιμοποιούμε ακόμα και σήμερα δηλαδή το Adsl φτάνει τα επίπεδα 20-40ms. Βέβαια είναι άξιο να αναφέρουμε ότι αυτές οι χρονοκαθυστερήσεις είναι υπό ιδανικές συνθήκες και σε ιδανικό δίκτυο. Παρ' όλα αυτά το Lte έχει στοχεύσει στην μείωση της χρονοκαθυστερήσης και έτσι θα βελτιωθούν και οι υπηρεσίες που παρέχονται αλλά και η ποιότητα τους.

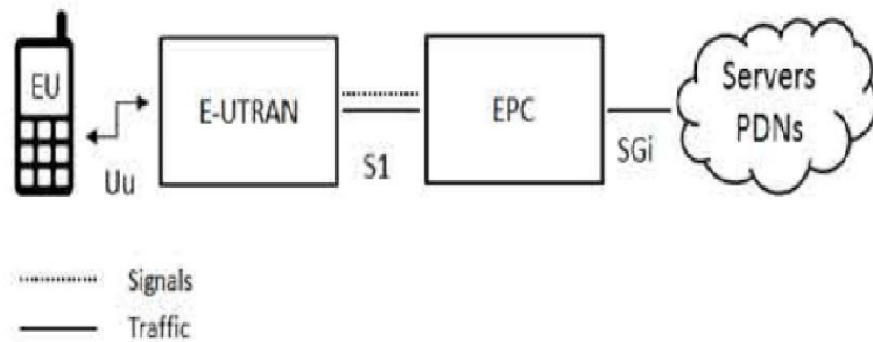
Μια άλλη βασική απαίτηση των προδιαγραφών ήταν και η ευέλικτη χρήση του φάσματος συχνοτήτων(ραδιοφασματος). Η μπάνα συχνοτήτων μαζί με το ευρύ φάσμα που ανήκει σε φορείς εκμετάλλευσης ασύρματων δικτύων ποικίλει σημαντικά. Όμως το LTE είχε σχεδιαστεί ώστε να είναι παγκόσμιο πρότυπο και όχι όπως συνέβαινε στις προηγούμενες τεχνολογίες των 3G και 2G. Για να καταφέρει να επιτύχει τον στόχο του το LTE και να είναι ελκυστικό απέναντι στις επιχειρήσεις και τους φορείς εκμετάλλευσης ασύρματων δικτύων η 3GPP αποφάσισε να έχει ευελυξία φάσματος σε υψηλό βαθμό. Οι φορείς μπορούν να αναπτύξουν το LTE στα 900MHz ,1800 MHz ,700 MHz και 2.6 GHz. Επιπλέον το LTE υποστηρίζει ένα μεγάλο αριθμό ευριζωνικών καναλιών των :1.4 MHz ,3 MHz ,5 MHz,10 MHz,15 MHz,20 MHz. Το LTE επιπλέον υποστηρίζει την FDD και την TDD.

Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό για το LTE είναι η συνεργασία με τα προϋπάρχοντα συστήματα όπως της 3<sup>ης</sup> γενιάς ασύρματα δίκτυα καθώς και με συστήματα που δεν ανήκουν στην 3GPP. Είναι μια πολύ βασική απαίτηση για τα LTE δίκτυα η συνύπαρξη με τα 2G και 3G συστήματα διότι μόνο έτσι θα καταφέρει κοινήτικότητα Handoff και περιαγωγή. Επίσης εάν θέλει πραγματικά το LTE να μονοπώλησει την αγορά και να επιτύχει παγκοσμίως θα πρέπει να συνεργαστεί και με άλλα συστήματα όπως τα 3GPP2 ,CDMA και δίκτυα WiMax.

Το τελευταίο από τα βασικά χαρακτηριστικά για το σχεδιασμό του LTE είναι η μείωση του κόστους του Megabyte. Είναι πολύ σημαντικό διότι όλες οι υπηρεσίες που παρέχονται στο χρήστη σαν επανάσταση από τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς κάνουν χρήση του διαδικτύου και κατεπέκταση αυτές τις υπηρεσίες που παρέχονται στον καταναλωτή της πληρώνει μέσω των Megabytes. Για αυτό το λόγο για να μπορέσει να καταλήξει στο κόστος του megabyte δημιούργησε έναν αριθμό κριτηρίων όπου από εκεί προκύπτει η τελική του τιμή. Μερικά από αυτά τα κριτήρια είναι η υψηλή χωρτικότητα, η υψηλή φασματική απόδοση διεπαφής αέρος, δυνατότητα ανάπτυξης του υπάρχοντος φάσματος και η επαναχρησιμοποίηση των κελιών και του εξοπλισμού μεταφοράς με προγενέστερα συστήματα ώστε να είναι πιο αποδοτικό. Συνήπαρξη με άλλα συστήματα που δεν είναι 3GPP ώστε να επιτευχθεί ένα παγκόσμιο πρότυπο ώστε να έχει και ανάλογα κέρδη. Επίσης η IP αρχιτεκτονική όπου θα το βοηθήσει για μεγαλύτερη ανάπτυξη. Υποστήριξη των δικτύων χαμηλού κόστους τύπου Backhaul. Σταθμοί βάσης χαμηλής ισχύος και απαιτήσεις χώρου με σκοπό κάποια στιγμή να τοποθετηθούν νέοι σταθμοί βάσης.[10]

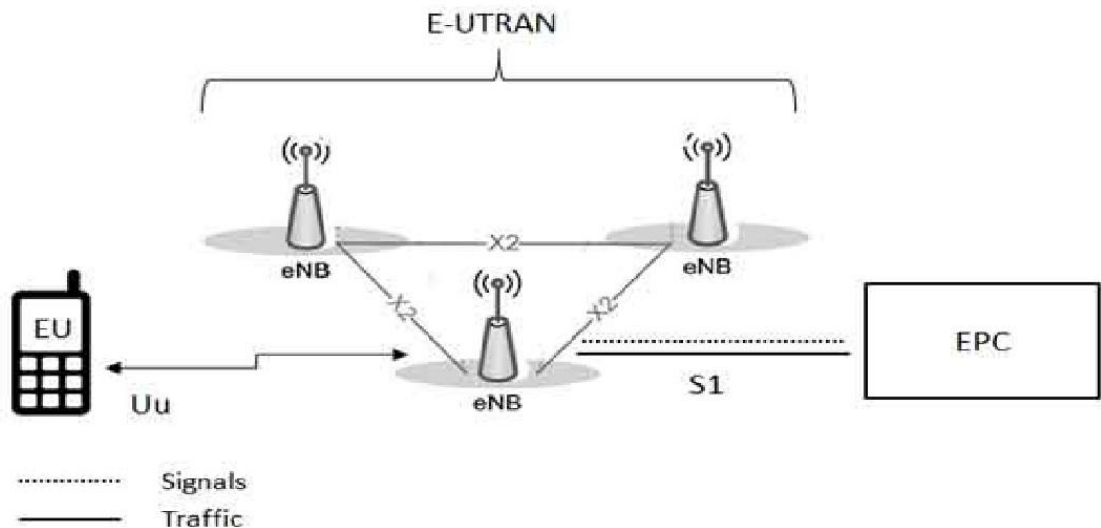
## 2.2.2 Αρχιτεκτονική δικτύου LTE

Η αρχιτεκτονική του δικτύου LTE αποτελείται από τρία βασικά συστατικά όπου αυτά είναι ο εξοπλισμός του χρήστη (UE) , το e-UTRAN και το κύριο δίκτυο όπως αυτά φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.2.2 Αρχιτεκτονική του LTE

Αρχικά η συσκευή **UE** θα μπορούσε να είναι είτε ένα smartphone είτε ένα tablet ή laptop ή γενικότερα μια τεραματική συσκευή. Η τεραματική συσκευή λοιπον συνδέεται μέσω μιας διεπαφής Uu με το E-Utran.



Εικόνα 2.2.3 Δίκτυο E-Utran

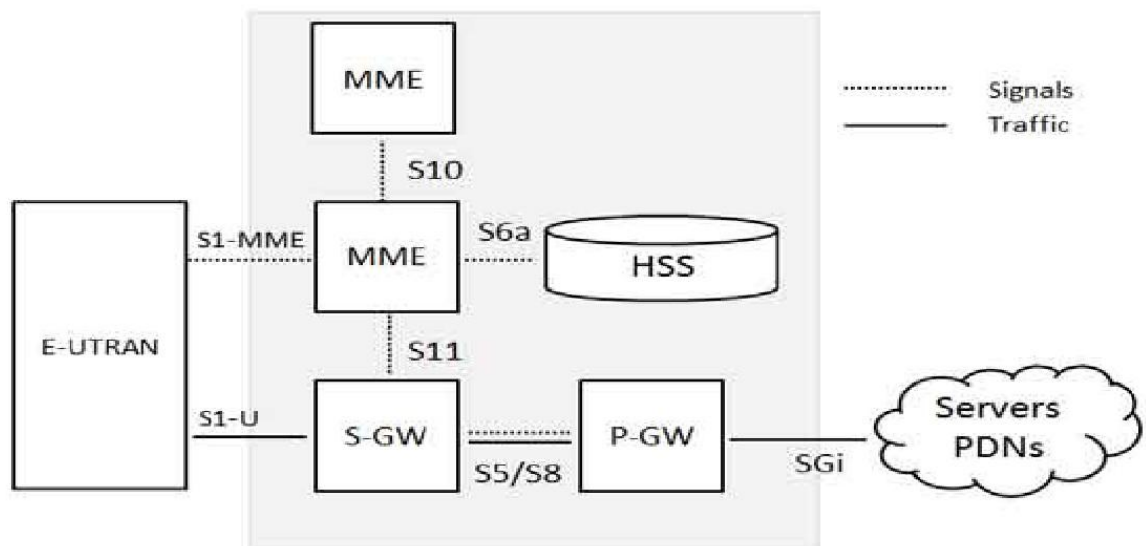
Εν συνεχεία είναι το δίκτυο πρόσβασης E-Utran το οποίο αποτελείται από eNodeBs. Ο κάθε e-NodeB είναι ένας σταθμός βάσης ο οποίος ελέγχει τις κινήσεις μέσα σε ένα ή περισσότερα κελιά. Η Lte κινητή επικοινωνεί με μόλις ένα σταθμό βάσης και ένα κελί τη φορά και υπάρχουν οι δύο παρακάτω διεργασίες που κάνει ο κόμβος:

1. στέλνει μεταδόσεις σε όλα τα κινητά που εξυπηρετεί για την καθοδική ζεύξη και δέχεται μεταδόσεις από αυτά στην ανοδική ζεύξη, με τη χρήση αναλογικών και ψηφιακών λειτουργιών επεξεργασίας σήματος της εναέριας διεπαφής του LTE.
2. ο eNB ελέγχει εάν λειτουργία χαμηλού επιπέδου όλων των κινητών τηλεφώνων του, με την αποστολή μηνυμάτων, όπως είναι οι εντολές παράδοσης που σχετίζονται με αυτές τις μεταδόσεις σηματοδότησης.

Κάθε σταθμός βάσης συνδέεται με το EPC μέσω της διεπαφής S1. Μπορεί επίσης να συνδέεται με τον κοντινό τους σταθμό βάσης από τη διεπαφή X2, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για τη σηματοδότηση και την προώθηση πακέτων κατά τη διάρκεια της μεταβίβασης.

Ένας ιδιόκτητος eNB (HeNB) είναι ένας σταθμός βάσης που έχει αγοραστεί από έναν χρήστη για να παρέχει κάλυψη μέσα στο σπίτι. Ένας HeNB ανήκει σε μια κλειστή ομάδα συνδρομητών (CSG) και μπορεί να προσεγγιστεί μόνο με κινητά τηλέφωνα με USIM που ανήκει επίσης στην κλειστή ομάδα συνδρομητών.

Εν συνεχεία έχουμε το EPC(envolved packet core) το οποίο θα απεικονήσουμε και θα αναλύσουμε.



**Εικόνα 2.2.4 Συστατικά του EPC**

Η Home Subscriber Server (HSS) είναι μονάδα με κεντρική βάση δεδομένων που περιέχει πληροφορίες για όλους τους συνδρομητές και τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου.

Κατόπιν, είναι το δίκτυο πακέτων δεδομένων (PDN-**Packet data network**), η πύλη (P-GW) είναι το σημείο επαφής του EPC με τον έξω κόσμο μέσω της διεπαφής Sgi. Κάθε δίκτυο πακέτων δεδομένων προσδιορίζεται από ένα όνομα του σημείου πρόσβασης (APN). Η πύλη PDN έχει τον ίδιο ρόλο με τον κόμβο στήριξης GPRS (GGSN) και του κόμβου εξυπηρέτησης υποστήριξη GPRS (SGSN) με το UMTS και GSM.

Οι S-GW πύλη (**Serving gateway**) ενεργεί ως δρομολογητής και προωθεί τα δεδομένα μεταξύ του σταθμού βάσης και της πύλης PDN. Υπάρχουν και άλλες νόμιμες λειτουργίες παρακολούθησης, που κάνουν δρομολόγηση και προώθηση των πακετών, μεταφορά πακετών και σε uplink και σε downlink, υποστήριξη για το λογαριασμό του κάθε χρήστη και φόρτιση κατά τη διάρκεια λειτουργίας.

Ο φορέας διαχείρισης της κινητικότητας (**mobility management entity**) ελέγχει τη λειτουργία υψηλού επιπέδου του κινητού, με την αποστολή μηνυμάτων σηματοδότησης για θέματα όπως η ασφάλεια και η διαχείριση των ροών δεδομένων. Επίσης το MME είναι το σημείο στο οποίο είναι νόμιμη η παρακολούθηση της σηματοδότησης. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι το MME διαχειρίζεται χιλιάδες από τα στοιχεία των eNBs το οποίο είναι μια κύρια διαφορά σε σχέση με τις προγενέστερες πλατφόρμες των 2G, 3G.

**Policy Control and Charging Rules Function** (PCRF) είναι υπεύθυνη για τις αποφάσεις σχετικά με τον έλεγχο των πολιτικών, όπως και για τον έλεγχο των λειτουργιών χρέωσης. Παρέχει την εξουσιοδότηση για την ποιότητα υπηρεσίας, κρίνει πως θα αντιμετωπιστεί μια ροή δεδομένων και αν κάτι τέτοιο είναι ευθυγραμμισμένο με το προφίλ συνδρομής του χρήστη.[39][40]

### 2.3 Ανάλυση LTE-A Release 12

Όπως είδαμε στην εικόνα 2.2 όπου απεικονίζονται τα στάδια εξέλιξης των εκδόσεων LTE, σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει εκτενέστερη αναφορά και ανάλυση για την τελευταία έκδοση του LTE, το release-12. Αυτή η καινούρια έκδοση ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2014 και δημοσιεύτηκε τον Μάρτιο του 2015 και αναμένεται να λειτουργήσει το 2016. Συνεπώς είναι ότι πιο πρόσφατο έχει δημοσιευθεί από την 4G America για το LTE-A.

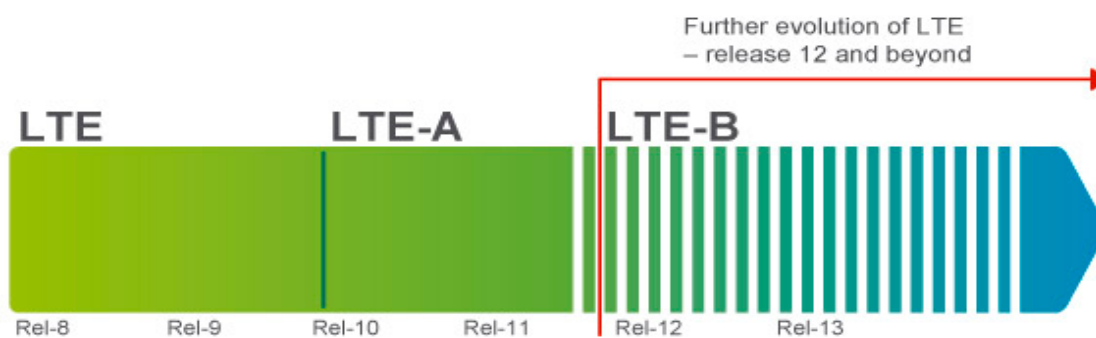
Αρχικά το LTE έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει 6.6 δισεκατομμύρια κινητές συνδέσεις παγκοσμίως. Επιπλέον κάνει και την εμφάνιση του στην βιομηχανία των κινητών τηλεφώνων η οποία αντιμετωπίζει για πρώτη φορά την ανάγκη να διευκολύνει την ραγδαία αύξηση της μεταδιδόμενης πληροφορίας μέσα σε ένα φάσμα χρόνου το οποίο θα μετριάσει μέχρι την επόμενη δεκαετία.

Ο βασικός σκοπός του release-12 είναι να παρέχει στους φορείς εκμετάλλευσης ασύρματων δικτύων νέες επιλογές οι οποίες αφορούν την αύξηση της χωρικότητας, την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε επίπεδο δικτύου, την μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας του κόστους την στήριξη ποικίλων εφαρμογών και τύπων δικτύων, την ενδυνάμωση της τηλεπικοινωνίας και την παροχή μιας πληρέστερης γρηγορότερης και πιο αξιόπιστης εμπειρίας στους πελάτες.

Σε μια συνάντηση που είχαν η ομάδα εργασίας του 3GPP με τους κορυφαίους διαχειριστές και πωλητές εξοπλισμού συμπέραναν ότι το release-12 παρέχει βελτιώσεις και νέες δυνατότητες οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις νέες κατηγορίες :

- LTE μικρο-κελιών και ετερογενών δικτύων
- LTE πολλαπλών κεραιών MIMO
- LTE παροχές εγγύτητας
- LTE διαδικασίες για την στήριξη ποικίλων τύπων δικτύων

Το release-12 έχει επίσης ενδυναμώσει το UMTS/HSPA στους παρακάτω τομείς: UMTS ετερογενή δίκτυα, SIB/βελτίωση εκπομπών και βελτιώσεις όσον αφορά το HNB, DCH, MTC και WLAN. Βέβαια πρέπει να αναφερθεί ότι το release-12 στηρίζεται στις καινοτομίες του release-10 και release-11 για να αυξήσει περαιτέρω την αποδοτικότητα του και τις ικανότητες-δυνατότητες του.



Εικόνα 2.0.5 Εξέλιξη του LTE από το release-8 μέχρι το release-12

### 2.3.1 Βελτιώσεις LTE-Advanced –release 12

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναλύσουμε τις αναβαθμίσεις όπου έγιναν στις κεραιές MIMO , στα μικρο-κελιά, σε εφαρμογές όπως MTC/M2M , σε αναβαθμίσεις όσον αφορά την εγγύτητα των υπηρεσιών, στη αυτο-βελτίωση των δικτύων ,της κινητικότητας των ετερογενών δικτύων ,στην μετάδοση πολυμέσων και πολλαπλών υπηρεσιών.

#### **Downlink MIMO Enhancements(βελτιώσεις κεραιών MIMO καθοδικής ζεύξης)**

Το release-12 χαρακτηρίζει δύο βελτιωμένα κανάλια τύπου CSI: με τέσσερις φορές μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης PMI (Precoding Matrix Index), ενίσχυση και απεριοδική ανατροφοδότηση του PUSCH (Physical uplink shared channel). Οι βελτιώσεις του CSI ενεργοποιούν το eNB (envolved Node B) για να ολοκληρώσουν την παράδοση των πακέτων δεδομένων ταχύτερα, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση φάσματος.

Επίσης η τελευταία έκδοση του LTE τετραπλασιάζει την κωδικοποίηση και στοχεύει κυρίως στην σταυρωτή (κάθετη) πόλωση κεραιών και ως εκ τούτου την επαναχρησιμοποίηση

της κωδικοποίησης με οχτώ φορές μεγαλύτερη μετάδοση. Εκτός από τον αυξημένο ρυθμό κωδικοποίησης ένας νέος τρόπος είναι η απεριοδική ανατροφοδότηση και γίνεται με την PUSCH λειτουργία.

### **Small Cells (μικρά κελιά-κυψέλες)**

Ποικίλες βελτιώσεις μικροκελιών αξιοποιήθηκαν στο release-12. Η μελέτη σε φυσικό επίπεδο –στρώμα έγινε για να βελτιώσει την αποδοτικότητα του φάσματος του συστήματος και αυτό το πετυχαίνει αυξάνοντας την αποδοτικότητα της μετάδοσης. Για την αποτελεσματική λειτουργία του στρώματος των μικρο-κελιών εισήχθησαν μηχανισμοί στο release-12, που περιλαμβάνουν περιορισμό των παρεμβολών μέσω ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των μικρο-κελιών (small cells), εντοπισμό κελιών, σημάτων, διαδικασιών και ραδιοσυγχρονισμό (radio based synchronization) ο οποίος βασίζεται στην ακρόαση του δικτύου (network listening). Για φασματική βελτίωση της απόδοσης του Release-12 η υψηλότερη υποστηριζόμενη διαμόρφωση αυξήθηκε από 64-QAM σε 256-QAM και για το PDSCH και για το PMCH.

Επιπλέον το υψηλότερο επίπεδο-στρώμα εστίασε στην ευρωστία της κινητικότητας μειώνοντας το φορτίο σηματοδοσίας απέναντι στο κεντρικό δίκτυο εξαιτίας της μεταβίβασης και βελτίωσε την ανα χρήστη ικανότητα διαβίβασης δεδομένων και την χωριτηκότητα του συστήματος χρησιμοποιώντας διπλή συνδεσιμότητα. Η διπλή συνδεσιμότητα έγινε βασικός στόχος των μετέπειτα αντικειμένων μελέτης στο release-12. Αυτό αναφερόταν σε περιπτώσεις όπου ο εξοπλισμός (συσκευή) του χρήστη δεν είναι ικανός να χρησιμοποιήσει ασύρματες πηγές οι οποίες προέρχονταν από τουλάχιστον δύο διαφορετικά σημεία του δικτύου: ένα Master eNodeB και ένα Secondary eNodeB συνδέθηκαν με ένα μη ιδανικό backhaul. Η ευρωστία της κινητικότητας μπορεί να βελτιωθεί διατηρώντας τον έλεγχο του επιπέδου τερματισμού σε έναν macro-node (μακρο-κόμβο), καθώς επιτρέπει την εκφόρτωση του χρήστη σε pico κόμβους μέσα στην μάκρο κάλυψη. Αυτή η λύση θα μπορούσε να μειώσει την κυκλοφορία σημάτων προς το κεντρικό δίκτυο διατηρώντας έτσι τα επιθυμητά επίπεδα κινητικότητας στις μακροκυψέλες.

### **MTC/M2M**

Το release-12 ενισχύει την LTE-Advanced τεχνολογία και της δίνει την δυνατότητα να υποστηρίξει τις MTC/M2M εφαρμογές. Εστιάζει πάνω στο χαμηλό κόστος και την εκτεταμένη κάλυψη. Όσον αφορά τις χαμηλού κόστους βελτιώσεις, μια νέα UE κατηγορία εισάγεται με μειωμένη ταχύτητα δεδομένων και ενιαία κεραία λήψης.

Ένα άλλο αντικείμενο μελέτης εργασίας αξιολόγησε τις RAN λύσεις, εσοκλείοντας τις UE Power Consumptions Optimizations (MTCeUEPCOP) (Ισχύς κατανάλωσης βελτιστοποίησης) και Small Data and Device Triggering Enhancements (MTCe-SDDTE). Μια νέα τεχνολογία εξοικονόμησης ενέργειας εισήχθη σαν μέρος της UEPCOP εργασίας ενώ οι πληροφορίες βοήθειας για την ρυθμίση των παραμέτρων εισήχθη ως μέρος της SDDTE.



## **Proximity Services - ProSe (Εγγύτητα υπηρεσιών)**

Όσον αφορά τις επικοινωνίες σε μικρή απόσταση οι χρήστες επικοινωνούν απευθείας και όχι μέσω του κυτταρικού δικτύου. Οι επικοινωνίες κοντινής απόστασης χωρίζονται στην άμεση ανακάλυψη και την άμεση επικοινωνία.

Το ProSe δίνει την δυνατότητα στους παρόχους, όταν οι χρήστες είναι σε κοντινή απόσταση να έχουν απόδοση υψηλής ισχύος, προστασία της ιδιωτικής ζωής καθώς και φασματικά αποδοτική και επεκτάσιμη πλατφόρμα. Αυτό μπορεί να συμβαίνει απευθείας στο επίπεδο EPC (Evolved Packet Core) αφού πρώτα έχει εξουσιοδοτηθεί από τον χρήστη/πάροχο.

## **UE Receiver enhancements**

Η πυκνή τοποθέτηση των κυττάρων στα ετερογενή δίκτυα και οι διάφοροι τύποι έξυπνων κεραιών MIMO συντελούν στην βελτίωση του δέκτη όσον αφορά τις παρεμβολές. Το release-12 για πρώτη φορά τώρα εισάγει μια νέα κατηγορία όσον αφορά τον εξοπλισμό του δέκτη το οποίο ονομάζεται network assisted interference cancellation and suppression (NAICS) δεκτών. Η βασική αρχή πίσω από το δέκτη NAICS είναι η ανταλλαγή ημι-στατικών πληροφοριών διαμόρφωσης των κυττάρων ανάμεσα σε γειτονικά eNBs διαμέσου διπλής Backhaul διεπαφής.

## **Self – Optimizing Networks (SON)**

Στην κυψελοειδή τεχνολογία επικοινωνιών αυτο-βελτιστόποίηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία οι ρυθμίσεις του συστήματος είναι αυτόνομες και συνεχώς προσαρμόζονται ανάλογα με τον όγκο της πληροφορίας η οποία διακινείται μέσα στο δίκτυο ,ανάλογα με την τοπολογία, τη διάδοση αλλά και το ποσοστό παρεμβολών. Τα SONs του release-12 εστιάζουν στις πτυχές της διαλειτουργικότητας των χαρακτηριστικών που υπάρχουν ενώ παράλληλα επικεντρώνονται στην εισαγωγή πρόσθετων χαρακτηριστικών.

## **HetNet mobility**

Τα ετερογενή δίκτυα μπορούν αναπτυχθούν σε απλής η πολλαπλής μετάδοσης περιβάλλοντα. Η κινητικότητα των χρηστών από LTE-macro σε micro-BTs στρώμα και αντίστροφα είναι απαραίτητη γιατί με την εκφόρτωση από το ένα στρώμα στο άλλο επιτυγχάνεται αποσυμφόρηση στο κυρίως δίκτυο.

Η εκτίμηση της κατάστασης της κινητικότητας ενός χρήστη (UE- τερματική συσκευή) βασίζεται στον αριθμό των έμπειρων κυτταρικών αλλαγών σε μια δεδομένη χρονική στιγμή χωρίς ωστόσο να λαμβάνει ρητά υπ' όψιν το μέγεθος του κυττάρου και επομένως η εκτίμηση της κινητικότητας ίσως να μην είναι τόσο ακριβής όσο στο μακρο-περιβάλλον. Το αντικείμενο εργασίας «Enhancements mobility» δηλαδή «βελτιώσεις

κινητικότητας» παρέχει τα μέσα για την βελτίωση της συνολικής απόδοσης του δικτύου σε σχέση με το ποσοστό αποτυχίας του HO και του Ping-Pong στα HetNet περιβάλλοντα.

### **Multimedia Broadcast/Multicast Services**

Οι διαχειριστές πρέπει να έχουν εργαλεία και μεθόδους για την διατήρηση της υπηρεσίας όταν ένας κόμβος ή η διεπαφή αποτυγχάνουν. Στο release-12 οι βελτιώσεις του συστήματος MBMS δίνουν την δυνατότητα ανάκτησης των συστημάτων για να καλύψουν όλους τους MBMS κόμβους και διεπαφές. Η βάση των μηχανισμών ανάκτησης MBMS αποτελείται από την αποκατάσταση των MBMS συνεδριών. Για παράδειγμα, όταν υπάρχει μόνιμη αποτυχία στην SM διαδρομή, αυτή η τεχνολογική βελτίωση επιτρέπει στην πύλη MBMS να επιλέξει μια εναλλακτική MME (mobility management entity).

Επιπλέον, αν και η υποστήριξη των MBMS υπηρεσιών έχει εισαχθεί στην release-9 δεν έχουν υπάρξει UE μετρήσεις που να έχουν οριστεί και που να μπορούν να αναφερθούν στο δίκτυο, έτσι ώστε να συμβάλλουν στην παρακολούθηση της ποιότητας του σήματος στο UE. Έχει αποφασιστεί ότι η διαχείριση της ομάδας διευκόλυνσης των υπηρεσιών επικοινωνίας για την δημόσια ασφάλεια θα βασίζεται στις MBMS υπηρεσίες που προσφέρονται από την LTE στο release-12, με σκοπό την δημιουργία καλύτερων εργαλείων έτσι ώστε το δίκτυο να παρακολουθείται και να ρυθμίζεται από τις MBMS λειτουργίες.

Τέλος, το αντικείμενο εργασίας της release-12 όσον αφορά τα Group Calls MBMS Congestion παρέχει μηχανισμούς για να αντιμετωπιστεί η κατάσταση υπερφόρτωσης της κυψέλης του δικτύου.

### **Local Internet Protocol Access and Selected Internet Protocol Traffic Offload**

Στο τοπικό δίκτυο είναι εγκατεστημένα μαζί το LIPA και το SIPTO με τις βελτιώσεις τους. Το SIPTO επιτρέπει την αποσυμφόρηση του δικτύου από τον κόμβο RAN μέσω της λειτουργίας Public Data Network Gateway. Αυτό επίσης εκτείνεται σε μια ποικιλία RAN (Radio Access Network) κόμβων που κυμαίνονται από eNB σε HeNB και από NodeB σε HNB. Όταν αποσυμφορηθεί το δίκτυο, τότε μειώνεται ο φόρτος εργασίας ιδιαίτερα για τις σταθερές και τις ομαδικές UEs.

Το "SIPTO" στο τοπικό δίκτυο κάνει την εμφάνισή του από το release-10, όμως στο release-12 έχει δύο σημαντικές διαφορές σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση: α) όσον αφορά την τοποθεσία του PGW που επιτρέπει την εκφόρτωση δηλαδή την αποσυμφόρηση του δικτύου και β) την συνεγκατάσταση του Stand alone και του PGW. Το σύνολο των RAN κόμβων που εξυπηρετούνται από την ίδια πύλη συνθέτουν αυτό που ονομάστηκε "Local home network".

## **Enhanced Interference Management and Traffic Adaptation**

Το LTE για να διαχειριστεί τις παρεμβολές που δέχεται το δίκτυό του αλλά και να προσαρμόσει την κυκλοφορία του συστήματος σε επιθυμητά επίπεδα χρησιμοποιεί δύο τρόπους, τον FDD και τον TDD.

Το αντικείμενο εργασίας του EIMTA είναι να επιλέγει την διαμόρφωση που θα χρησιμοποιήσει ανάλογα με το φάσμα. Αυτό συνήθως διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ίδιο σε όλο το σύνολο. Εισάγεται στο LTE η δυναμική προσαρμογή των uplink-downlink αναλογιών με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση των TDD πόρων.

Για να καταστεί δυνατή η προσαρμογή της κυκλοφορίας, ένα UE έχει ρυθμιστεί με δύο διαφορετικές TDD διαμορφώσεις από το δίκτυο. Το UE στην συνέχεια ακολουθεί μια δομή διαμόρφωσης για την uplink και μια άλλη δομή για την διαμόρφωση των downlink επικοινωνιών.

### **FDD-TDD Carrier Aggregation (CA)**

Στο release-12 έχει προσδιοριστεί ότι τα UEs θα λειτουργούν σε TDD και FDD φάσμα από κοινού. Η κύρια λύση που πρέπει να καθοριστεί είναι το CA ανάμεσα σε έναν αριθμό από TDD και FDD φορείς. Το CA ανάμεσα στο FDD και το TDD φάσμα θα επιτρέπει την βελτίωση περιαγωγής του χρήστη και θα επιτρέπει έναν καλύτερο τρόπο να διαιρεθεί το φορτίο στο δίκτυο μεταξύ του FDD και του TDD φάσματος. Επιπλέον, η CA λειτουργία στήριξης της διπλής συνδεσιμότητας ανάμεσα στο FDD και στο TDD προσδιορίζεται σε ένα μεγαλύτερο βαθμό. Η διπλή συνδεσιμότητα παρέχει ένα εργαλείο για να συνδεθούν τα UEs με τα κύτταρα που λειτουργούν είτε με TDD είτε με FDD.

### 2.3.2 Βελτιώσεις HSPA+

Η HSPA τεχνολογία έκανε την εμφάνισή της στα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Χωρίζεται σε δύο διαφορετικά είδη, την HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) και την HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). Η HSPA+, δεν θα πρέπει να συγχέεται με το LTE, το οποίο χρησιμοποιεί μια νέα διεπαφή αέρα που βασίζεται στην OFDMA τεχνολογία. Η HSPA+ είναι μια εξέλιξη του HSPA που αναβαθμίζει το υφιστάμενο δίκτυο 3G και παρέχει νέες μεθόδους στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους, με σκοπό να επιτύχουν τις ταχύτητες 4G χωρίς ανάπτυξη μιας νέας διασύνδεσης με τον πομποδέκτη. Δηλαδή, η 4G τεχνολογία κληρονομεί και βελτιώνει την τεχνολογία HSPA με στόχο να επιτευχθούν υψηλές ταχύτητες σε uplink και downlink.

Στις παρακάτω ενότητες θα αναλύσουμε με ποιόν τρόπο βελτιώνεται ο μηχανισμός HSPA. Το Rel-12 ορίζει πολλούς τομείς για την ενίσχυση HSPA που περιλαμβάνουν τα ετερογενή δίκτυα UMTS, SIB / Broadcast βελτιστοποιήσεις, βελτιώσεις στο uplink, έκτακτης ανάγκης για το Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN), MTC (Machine Type Communications), HNB mobility, Dedicated channel (DCH) και HNB Positioning for UTRA.

## UMTS HetNets

Για την βελτίωση των UMTS HetNets πρέπει να αναπτυχθούν νέα χαρακτηριστικά, όπως μετριασμός της παρεμβολής και βελτίωση της κινητικότητας. Ακόμα υπάρχουν βελτιώσεις για την επέκταση της Serving Cell Change διαδικασίας για ταχύτερη αντικατάσταση του Serving Cell μέσα στο ετερογενές δίκτυο.

## System Information Broadcast (SIB) Enhancements

Προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος πληροφοριών, ένα νέο δεύτερο κανάλι εκπομπής πληροφοριών μπορεί να ρυθμιστεί. Από το release-12 και έπειτα, τα SIBs εισάγονται τόσο στο σύστημα μετάδοσης πληροφοριών όσο και στο δεύτερο σύστημα μετάδοσης πληροφοριών του καναλιού. Οι περισσότερες από τις υφιστάμενες αρχές και διαδικασίες για την ανάγνωση των πληροφοριών του συστήματος διατηρούνται για το δεύτερο κανάλι εκπομπής του συστήματος.

## Further Enhanced Uplink (F-EUL)

Η 3GPP έχει αναπτύξει διάφορα χαρακτηριστικά για να βελτιώσει το uplink και το downlink του HSPA. Στο release-12 υπάρχουν οκτώ νέες βελτιστοποιήσεις ώστε να βελτιωθεί το HSPA, όπως φαίνονται παρακάτω:

1. επιτρέπει υψηλό bitrate στον χρήστη σε περίπτωση μικτής κίνησης,
2. ρυθμός προσαρμογής για την βελτίωση της ισχύος του σήματος,
3. βελτιώσεις στον χειρισμό της δυναμικής κίνησης σχετικά με EEA,
4. βελτιώσεις στην EUL κάλυψη τόσο για μονή όσο και multi-Radio Access Bearer συνδιασμούς,
5. μια πιο αποτελεσματική προσέγγιση για UTRAN σε περίπτωση υπερφόρτωσης uplink,
6. μειώνοντας το κανάλι ελέγχου όταν λειτουργεί το HSPA,
7. μηχανισμοί για την συμπίεση δεδομένων μεταξύ της UE και του RAN,
8. χαμηλή πολυπλοκότητα στην ανεύρεση λύσης για uplink.

## Βελτιώσεις για HNB Mobility

Οι βελτιώσεις όσον αφορά την HNB κινητικότητα είναι τηλέφωνο προώθησης πρόσβασης καναλιού (CELL\_FACH) και κυττάρων, κανάλι ειδοποίησης (CELL\_PCH) και UTRAN, εγγραφή περιοχής σε κανάλι ειδοποίησης (URA\_PCH) στήριξης των HNBs. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή μιας μεθόδου για προσωρινή διαχείριση του ασύρματου δικτύου του χρήστη. Η HNB-GW διαθέτει μπλοκ του URNTIs καθορίζοντας ένα πρόθεμα URNTI σε κάθε ετερογενή κόμβο και είναι υπό τον έλεγχό της.

## **HNB Positioning for UTRA**

Ενώ τα HNBs έχουν γενικά μικρή ακτίνα κυττάρων και ως εκ τούτου με βάση την τοποθέτηση των κυττάρων-ID μπορεί να είναι επαρκή, σε συνθήκες πυκνοκατοικημένων περιοχών χρειάζεται βελτιωμένη τοποθέτηση των UEs και θεωρείται απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί Standalone Serving Mobile Location Center (SAS).

## **Machine Type Communications (MTC)**

Το release-12 τυποποίησε μια νέα λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας για το MTC το οποίο αναμένεται να βοηθήσει στην βελτίωση του HSPA αλλά χωρίς μεγάλες αλλαγές στις προδιαγραφές.

### 2.3.3 Βελτιώσεις σε δίκτυο και υπηρεσίες

Το release-12 περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά για βελτιώσεις στο δίκτυο και τις υπηρεσίες για MTA (Mobile Data Applications), για τη δημόσια ασφάλεια, ασύρματο δίκτυο(wi-fi), χωρητικότητα και σταθερότητα του συστήματος, διαδικτυακή επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο(webRTC) και περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας στο δίκτυο.

## **MTA (Mobile Data Applications)**

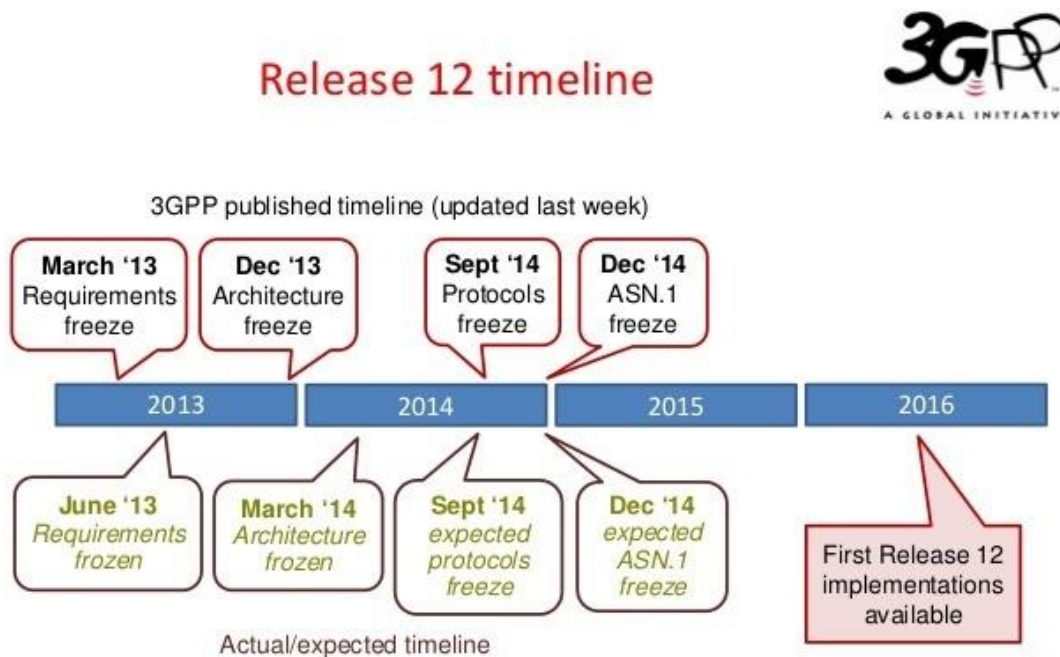
Μια τρίτη κυκλοφορία των βελτιώσεων που αναπτύσσονται για συσκευές MTC και τα δεδομένα των εφαρμογών των smartphones με το όνομα "Machine-Type and other mobile data applications Communications Enhancements (MTCe) (μτφ. Μηχανή-Type και άλλες κινητές εφαρμογές δεδομένων Βελτιώσεις Επικοινωνιών (MTCe)). Τα δύο βασικά στοιχεία είναι οι βελτιώσεις σε συσκευές ενεργοποίησης, η μικρή μετάδοση δεδομένων (SDDTE) και οι UE βελτιστοποιήσεις κατανάλωσης ενέργειας (UEPCOP). Όσον αφορά τις συσκευές ενεργοποίησης, οι αλλαγές είναι στην προστασία της ενεργοποιημένης συσκευής, δηλαδή εμποδίζει την λήψη SMS από αριθμούς, λογαριασμούς αμφιβόλου προέλευσης και αύξηση της σηματοδότησης. Επίσης έχει αναπτυχθεί τεχνολογία για την αποστολή μικρής ποσότητας δεδομένων και τέλος το release-12 περιλαμβάνει μια νέα λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας (PSM) για συσκευές.

## **Public safety (δημόσια ασφάλεια)**

Οι LTE βελτιώσεις για την δημόσια ασφάλεια υποστηρίζονται ευρέως από όλες τις κυβερνήσεις σε όλο το κόσμο και τυποποιείται από την 3GPP με εγγύτητα υπηρεσιών (Prose) και Group Call/Communication System Enablers για LTE (GCSE\_LTE).

## WI-FI interworking

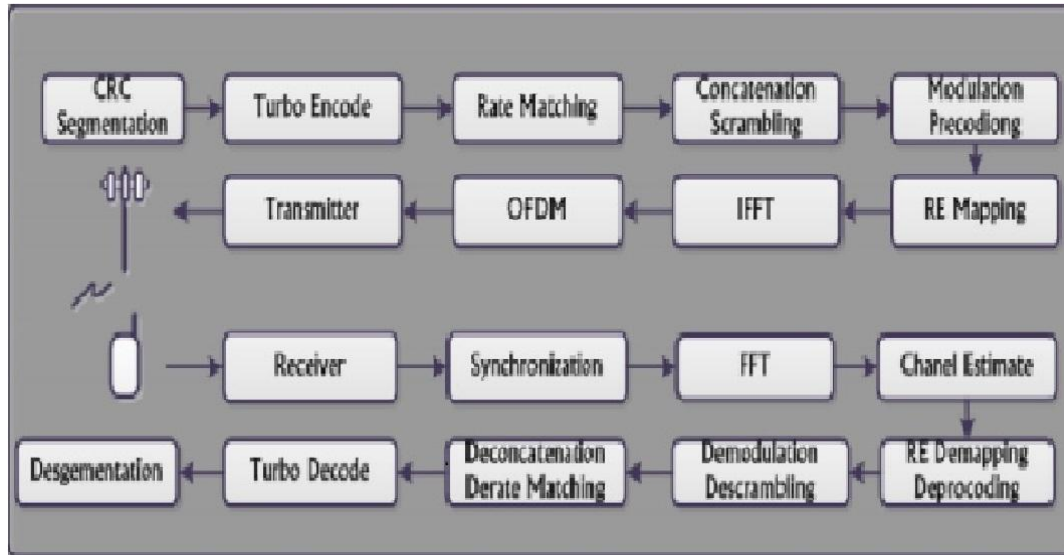
Όσο εξελίσσονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας σε all-in-IP, μεγαλώνει η μεταφορά δεδομένων και περιορίζεται η χωρητικότητα του δικτύου. Το σημαντικότερο για τα wi-fi όσον αφορά την κυτταρική διασυνεργασία παραμένει ουσιώδης. Το release-12 παρέχει πληροφορίες για την βελτίωση του Wi-Fi σαν ένα σημείο πρόσβασης για τα κινητά δίκτυα στους τομείς της επιλογής δικτύου, SaMOG και βελτιστοποιημένης εκφόρτωσης. [11]



Εικόνα 2.6 Χρονοδιάγραμμα υλοποιήσεις του LTE-A release-12

## 2.4 Ανάλυση συστήματος 4G LTE

Σε αυτό το υπο- κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα μέρη του συστήματος του LTE. Θα δούμε από ποια μέρη αποτελείται και τι εξυπηρετεί το καθένα. Το σύστημα του κυκλώματος το οποίο θα αναλύσουμε φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.7 Τα μέρη του συστήματος LTE.

Αρχικά βλέπουμε το **CRC(Cyclic Redundancy Check) Segmentation** ή αλλιώς έλεγχος κυκλικού πλεονασμού. Ο CRC είναι ένας κώδικας ανίχνευσης λαθών που χρησιμοποιείται για να ανιχνεύει αλλαγές σε δεδομένα που δεν έχουν επεξεργαστεί ακόμα. Το CRC είναι ιδιαίτερα γνωστό και χρήσιμο διότι ανίχνευει τα σφάλματα που προκαλούνται από τον θόρυβο, πολύ συχνό φαινόμενο στα κανάλια μετάδοσης. Όσον αφορά το σχήμα βλέπουμε ότι τοποθετείται CRC έλεγχος στην είσοδο του turbo κωδικοποιητή. Αυτό σημαίνει ότι όταν περάσει η πληροφορία από το CRC είναι ασφαλής ώστε να κωδικοποιηθεί χωρίς να υπάρχει το πρόβλημα επανακωδικοποίησης που σημαίνει λιγότερος χρόνος στην κωδικοποίηση.

Εν συνεχεία έχουμε τον **Turbo Encoder** όπου τον αναφέραμε νωρίτερα. Ο turbo κωδικοποιητής αποτελείται από δύο παράλληλους κωδικοποιητές οι οποίοι είναι RSC - recursive systematic convolutional, και χωρίζονται με έναν εσωτερικό interleaver. Κάθε κωδικοποιητής διέρχεται από μια συνάρτηση διάτρησης (interleaver) μέσω των οποίων επιλέγεται η έξοδος που θα συμμετέχει στη μεταδιδόμενη πληροφορία. Έτσι μεταβάλλουμε μόνο τον ρυθμό κωδικοποίησης χωρίς να επηρεάζεται οτιδήποτε άλλο. Οι κύριοι λόγοι που χρησιμοποιούνται turbo encoders στο LTE είναι η απόδοση BER (Bit-Error-Rate) που υπερβαίνει εκείνων των συμβατικών συνελκτικών κωδικοποιητών και ότι κάνουν χρήση του μηχανισμού rate-matching.

Κατόπιν συναντάμε το **Rate Matching** που βοηθά να αυξήσουμε την ταχύτητα μεταγωγής που είναι βασισμένη στις συνθήκες των καναλιών διότι τα κανάλια χαμηλών διαστρεβλώσεων μπορούν να κωδικοποιήσουν με ρυθμό κοντά στη μονάδα ενώ στα υποβαθμισμένα κανάλια μπορούμε να αυξήσουμε τον αριθμό των bit αποσφαλμάτωσης.

Τέλος, με τη συνένωση των μπλοκ κωδικών, τα κωδικοποιημένα κομμάτια είναι έτοιμα για μεταφορά προς το PDSCH για την επεξεργασία.

Όσον αφορά την καθοδική ζευξη (downlink) στα συστήματα Lte γίνονται **κρυπτογραφημένα (Scrambling)**. Οι κωδικολέξεις παράγονται καθώς τα αποτελέσματα του καναλιού κωδικοποίησης κρυπτογραφούνται από μια ακολουθία κρυπτογράφησης επιπέδου bit. Διαφορετικές ακολουθίες κρυπτογράφησης χρησιμοποιούνται σε γειτονικά κελιά έτσι ώστε να εξασφαλίσουν ότι η παρεμβολή είναι τυχαία και ότι οι μεταδόσεις από διαφορετικά κελιά διαχωρίζονται πριν από την αποκωδικοποίηση. Αυτή είναι η κρυπτογράφηση που γίνεται στην εκπεμπόμενη πληροφορία. Από την άλλη μεριά όταν η πληροφορία φτάνει στη μεριά του δέκτη πρέπει να **αποκρυπτογραφηθεί (descrambling)** αντιστρέφει τις εργασίες που εκτελούνται από τον scrambler. Η ίδια γεννήτρια ψευδοτυχαίας ακολουθίας χρησιμοποιείται. Ωστόσο, υπάρχουν διαφορές μεταξύ του επιπέδου bit κρυπτογράφησης και του επιπέδου bit αποκρυπτογράφησης.

Μετά την κρυπτογράφηση και την αποκρυπτογράφηση έχουμε την **διαμόρφωση πριν από την κωδικοποίηση του σήματος (Modulation precoding)**. Στις ψηφιακές επικοινωνίες η διαμόρφωση είναι η ενέργεια που γίνεται ώστε να εξάγουμε το ψηφιακό σήμα-πληροφορία σε μορφή bit. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διαμόρφωσης ενός σήματος όπως διαμόρφωση πλάτους (ASK - Amplitude Shift Keying), διαμόρφωση συχνότητας (FSK - Frequency Shift Keying) και διαμόρφωση φάσης (PSK - Phase Shift Keying). Όταν το σήμα φτάσει στην μεριά του δέκτη πρέπει να γίνει η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή αποδιαμόρφωση.

Ακολουθώς έχουμε την **χαρτογράφηση των στοιχείων (Resource Element Mapping / Demapping)** όπου είναι μια διαδικασία όπου τοποθετεί τα στοιχεία του πλέγματος πόρων στις θέσεις που καθορίζονται στο πρότυπο. Χαρτογράφηση γίνεται ουσιαστικά με τη δημιουργία δεικτών στο πλέγμα πόρων του δικτύου και τοποθετώντας διάφορα είδη πληροφοριών εντός του δικτύου. Φυσικά με την χαρτογράφηση έχουμε και αποχαρτογράφηση (Demapping).

Βλέποντας το σχήμα το επόμενο βήμα είναι ο **γρήγορος μετασχηματισμός Fourier (FFT)** του σήματος όπου είναι ένας αλγόριθμος που μας βοηθά στον αποδοτικότερο και γρηγορότερο υπολογισμό του διακριτού μετασχηματισμού Fourier (DFT). Με την λειτουργία του FFT, μειώνεται ο αριθμός των πράξεων και κατά συνέπεια μειώνεται και ο χρόνος υπολογισμού που απαιτείται για τον υπολογισμό του DFT. Ο αντίστροφος γρήγορος μετασχηματισμός Fourier (IFFT) είναι η αντίστροφη διαδικασία και σε αυτή την περίπτωση το σήμα εκπροσωπείται στο πεδίο του χρόνου.

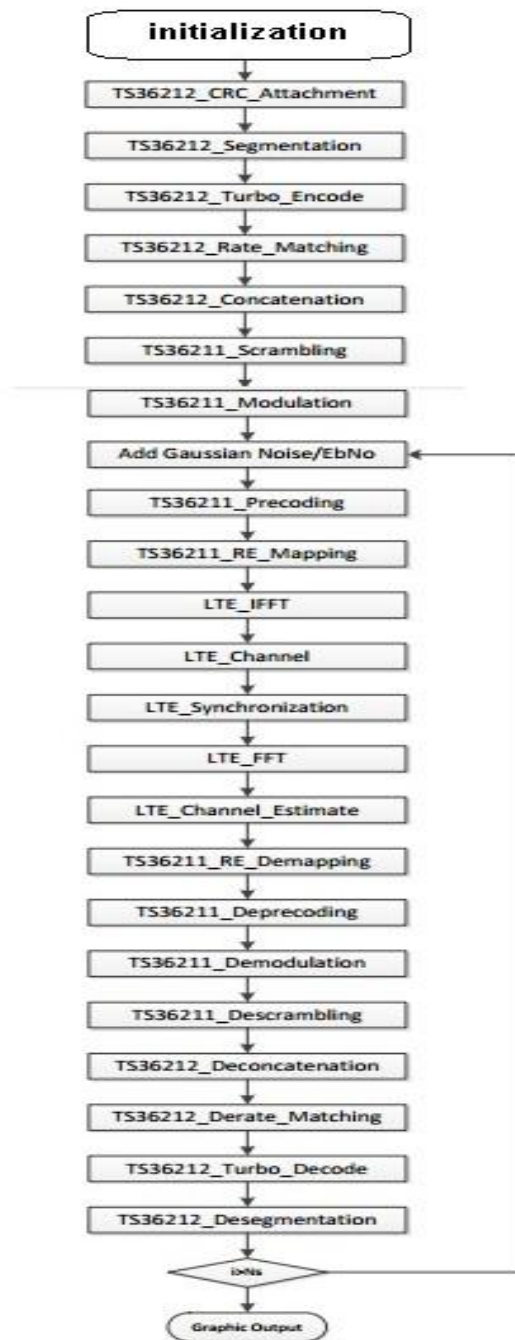
Η μέθοδος της **ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (OFDM)** είναι πολύ σημαντική τεχνική που εφαρμόζεται στα LTE συστήματα όσον αφορά την καθοδική ζευξη (downlink). Πλεονεκτεί σε σχέση με άλλες μεθόδους διότι επιδεικνύει αντοχή σε περιβάλλοντα με θόρυβο και εξασθένηση, ανθεκτικότητα εξασθένησης σε κανάλια πολλαπλών διαδρομών, υψηλή φασματική απόδοση, χαμηλή πολυπλοκότητα, καθώς υποστηρίζει και προηγμένα χαρακτηριστικά όπως συχνοεπιλεκτικό προγραμματισμό και μετάδοση MIMO. Η κύρια ιδέα λοιπόν είναι η υποδιαίρεση της μεταδιδόμενης πληροφορίας ενός ευρυζωνικού σήματος (wideband) και η ανάθεσή της σε πολλά παράλληλα υπο-φέροντα στενής ζώνης (narrowband) τα οποία υπο-φέροντα χρησιμοποιούν - QPSK, 16QAM, 64QAM - μεθόδους διαμόρφωσης.



Με αυτό τον τρόπο η πληροφορία μεταδίδεται σε μικρότερα κομμάτια και με διαφορετική συχνότητα από τα υπο-φέροντα, με μικρότερο ρυθμό μετάδοσης, όμως ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης παραμένει σταθερός και η διάρκεια του κάθε συμβόλου είναι μεγαλύτερη. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται η διασυμβολική παρεμβολή και το ποσοστό λαθών.

Μετά από όλες τις ενέργειες -διαδικασίες που αναφέραμε το σήμα-πληροφορία φτάνει στον πομπό όπου εκπέμπεται και εν συνεχεία ο δέκτης κάνει λήψη του σήματος-πληροφορίας όπου αρχίζει η διαδικασία ώστε να έρθει το σήμα -πληροφορία σε μορφή αντιληπτή από τον άνθρωπο δηλαδή θα γίνουν όλες οι ενέργειες που έχουν γίνει μέχρι εκείνη τη στιγμή ανάποδα όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5.

Η μόνη ενέργεια που πρέπει να γίνει πρώτου ξεκινήσει η αντίστροφη διαδικασία είναι ο συγχρονισμός. Ο **συγχρονισμός(Synchronization)** είναι πολύ σημαντικός διότι αν δεν προκύψει σε επιθυμητό βαθμό έχουμε θόρυβο, διασυμβολική παρεμβολή, καθυστέρηση ακόμα και αναγκαία επανεκπομπή της πληροφορίας που συνεπάγεται με καθυστέρηση. Υπάρχουν δύο διαδικασίες συγχρονισμού: συγχρονισμός αναζήτησης κελιού και χρονοδιάγραμμα συγχρονισμού. Όπως φαίνεται και στο σχήμα στην μεριά του δέκτη πλέον έχουμε γρήγορο μετασηματισμό Foutier(FFT), εκτίμηση καναλιού (channelestimate), αποχαρτογράφηση (demapping), αποδιαμόρφωση (demodulation), αποκρυπτογράφηση (descrambling), decocantation και tutbo αποκωδικοποίηση.[12]



Εικόνα 2. 8 Τα μέρη του συτήματος έτσι όπως τα παραθέτει στο LTE Link Level Simulator

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ

#### 3.1 Χαρακτηριστικά δικτύων 4G

Τα γενικά χαρακτηριστικά των 4G δικτύων είναι οι συγκρητικά υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων της τάξης 100Mbps και πάνω, με υψηλού επιπέδου ποιότητα υπηρεσιών αλλά ταυτόχρονα σε χαμηλό κόστος. Η τόσο υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την τεχνική της Ορθογωνικής Πολυπλεξίας Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM), η οποία επίσης συμβάλει στον περιορισμό των λαθών, στην αποδοτικότερη χρήση του εύρους ζώνης και στην εξάλειψη της διασυμβολικής παρεμβολής. Εφόσον αναφερθήκαμε στην OFDM (Ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας) πρέπει να προσθέσουμε ότι είναι το σύστημα μετάδοσης καθοδικής ζεύξης (downlink) για το LTE ενώ στην ανοδική ζεύξη (uplink), χρησιμοποιείται η SC-FDMA (Single-carrier FDMA), η οποία μπορεί να θεωρηθεί επίσης ως ένα γραμμικά προ-κωδικοποιημένο σύστημα OFDM που είναι γνωστό ως διακριτός μετασχηματισμός Fourier (DFT- spread OFDM). Ωστόσο, η SC-FDMA έχει επιλεγεί για την ανοδική ζεύξη λόγω της μικρότερης PAPR του μεταδιδόμενου σήματος σε σύγκριση με την OFDM. Οι χαμηλές τιμές PAPR οφελούν τον σταθμό βάσης, από την άποψη της αποτελεσματικότητας της ισχύος εκπομπής, η οποία μεταφράζεται επίσης σε αυξημένη κάλυψη. Επιπλέον, ένα χαρακτηριστικό της τεχνολογίας των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς, είναι οι κεραίες πολλαπλών εισόδων και εξόδων MIMO (multiple input multiple output). Τα δίκτυα για να πετύχουν τέτοιους στόχους, αποτελούνται από κύκλωμα μεταγωγής πακετών και όλα τα στοιχεία τους είναι ψηφιακά. Στόχος για τα δίκτυα 4G είναι η κάλυψη υπηρεσιών. Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω θα πρέπει να παρέχονται σε μεγαλύτερο αριθμό χρηστών απ' ότι τα δίκτυα 3G. Αυτό είναι απολύτως εφικτό χάρη στην υψηλότερη επάρκεια φάσματος, η οποία επιτυγχάνεται με την χρήση νέων τεχνικών ραδιοεπικοινωνίας και κάλυψης. Τα 4G συστήματα εμπεριέχουν μέσα τους τα συστήματα 3G και 2G κυψελωτά συστήματα και αυτό είναι εφικτό λόγω της τεχνολογίας LTE-Advanced.

Σε αυτό το σημείο, θα παραθέσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς ανεξαρτήτως τεχνολογίας (WiMax,LTE-A):

1. Φυσικές τεχνικές μεταδόσεις όπως τις κεραίες:
  - MIMO που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη εξαιρετικά υψηλής φασματικής απόδοσης με την βοήθεια χωρικών μετατοπίσεων, συμπεριλαμβανομένης της κεραίας MIMO και των χρηστών.
  - Στο πεδίο της συχνότητας - εξισορρόπησης, για παράδειγμα διαμόρφωση πολλαπλών φερουσών (OFDM) στην κατερχόμενη ζεύξη ή απλής φέρουσας συχνότητας – domain - εξισορρόπησης (SC-FDE) στην ανερχόμενη ζεύξη: Για την αξιοποίηση του ακίνητου καναλιού συχνότητας χωρίς πολλές εξισώσεις.
  - Στο πεδίο της συχνότητας στατιστικής πολυπλεξίας, για παράδειγμα SC-FDMA στο uplink μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης bit με την ανάθεση

διαφορετικών υπο-καναλιών σε διαφορετικούς χρήστες με βάση τις συνθήκες του καναλιού.

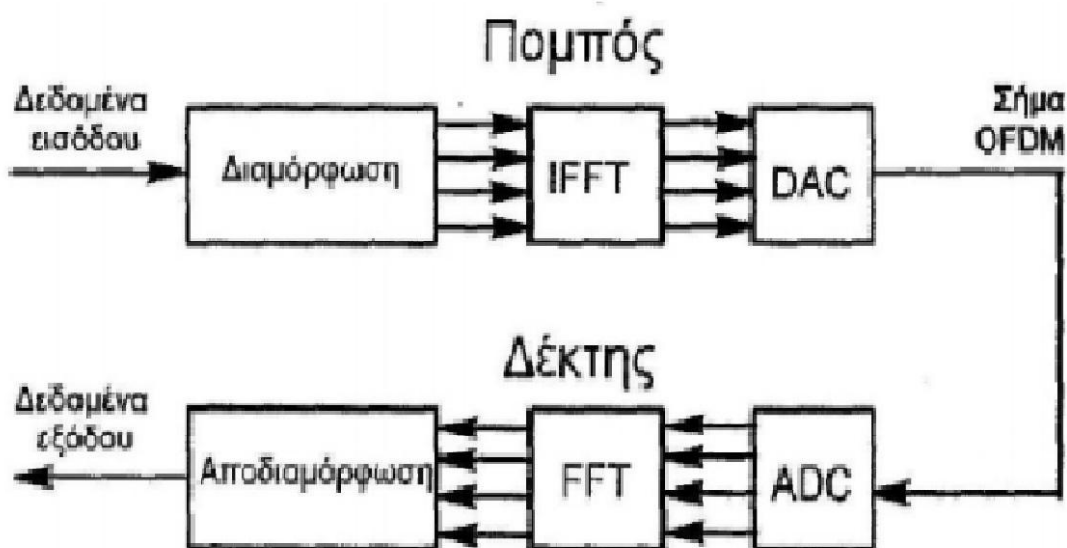
- ο Turbo-coders για διόρθωση σφαλμάτων για να ελαχιστοποιηθεί το απαιτούμενο SNR (signal to noise ratio) στην πλευρά της λήψης.
2. Σταθμό προγραμματισμού για να χρησιμοποιήσετε το χρονικά μεταβαλλόμενο κανάλι.
  3. Η προσαρμογή ζεύξης δηλαδή η προσαρμοσμένη διαμόρφωση και οι κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων.
  4. IP κινητών τηλεφώνων που χρησιμοποιείται για την κινητικότητα.
  5. IP-based femtocells.

Επιπροσθέτως, με την τεχνολογία της 4<sup>ης</sup> γενιάς δικτύων υπάρχουν και πλεονεκτήματα, τα οποία ο χρήστης αντιλαμβάνεται με την πρώτη χρήση. Κάποια πλεονεκτήματα που είναι ευκόλως αντιληπτά και παραθέτονται παρακάτω:

- **Εύκολη Εγκατάσταση:** Το 4G είναι πολύ εύκολο στην εγκατάσταση και στη συντήρηση. Το μόνο που χρειάζεται είναι ένα κινητό τηλέφωνο, το οποίο να είναι συμβατό με την τεχνολογία 4G ή μια κάρτα PC ή ένα stick σε θύρα USB που να μπορείτε εύκολα να συνδέσετε σε ένα φορητό υπολογιστή. Δεν υπάρχει ανάγκη για μόντεμ, καλώδια και ειδικό λογισμικό. Είναι ίσως ο απλούστερος και ευκολότερος τρόπος για απευθείας σύνδεση στο διαδίκτυο.
- **Υψηλή Ταχύτητα:** Όπως έχουμε προαναφέρει η ταχύτητα των συνδέσεων 4G είναι περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερες από τους προκατόχους του. Για παράδειγμα, μπορείτε να κατεβάσετε μια ολόκληρη ταινία σε λίγα μόνο λεπτά, σε αντίθεση με τα προηγούμενα γενιάς δίκτυα που χρειάζονταν ώρες. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης streaming βίντεο ζωντανά χωρίς διακοπές.
- **Καλύτερο Σήμα:** Το 4G είναι η τελευταία λέξη της τεχνολογίας του διαδικτύου και αυτό συνεπάγεται με καλύτερο σήμα. Στην πραγματικότητα, το 4G είναι γνωστό ότι έχει ένα πιο αξιόπιστο σήμα από οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία που διατίθενται στην αγορά. Στις μέρες μας, το διαδίκτυο αποτελεί ένα αναγκαίο εργαλείο για την προσωπική μας ζωή και αναγκαίο πλέον για επαγγελματική χρήση ενώ είναι πολύ σημαντικό για τον χρήστη να έχει συνεχώς πρόσβαση στο Internet.
- **Ευρεία Κάλυψη:** Η κάλυψη του δικτύου 4G είναι πολύ μεγαλύτερη από κάθε άλλη προγενέστερη τεχνολογία. Αυτό συμβαίνει διότι είναι αναγκαίο ο χρήστης να έχει παντού κάλυψη διότι πλέον όλες οι υποχρεώσεις-ανάγκες που έχει μπορούν να υλοποιηθούν και από το κινητό του τηλέφωνο ή από κάποια άλλη τερματική συσκευή. Επίσης στην εποχή που διανύουμε είναι πιο εύκολο να επιτευχθεί διότι έχουμε την δυνατότητα να κάνουμε χρήση των νέων τεχνολογιών και των έξυπνων κέραιων.
- **Ασφάλεια:** Το πρωτόκολλό του κάνει χρήση του σχεδίου ασφαλείας, που είναι η πιο προηγμένη ασύρματη τεχνολογία. Έχει πολύ ισχυρό και αξιόπιστο δίκτυο, το οποίο εμποδίζει την παροχή πληροφοριών από τα ληφθέντα ή σε περίπτωση που πραγματοποιηθεί hacking. Το θέμα της ασφάλειας όμως, θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω διότι είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για τα δίκτυα επικοινωνίας 4<sup>ης</sup> γενιάς.

### 3.1.1 Ορθογωνική Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM)

Το σύστημα μετάδοσης καθοδικής ζεύξης του LTE, βασίζεται στην OFDMA, η οποία είναι μια εκδοχή πολλών χρηστών του συστήματος της OFDM διαμόρφωσης. Η διαφορά μεταξύ τους είναι ότι σε αντίθεση με την OFDM, η OFDMA είναι μία μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης. Μία ακόμη διαφορά, αφορά στην απόδοση – η OFDMA είναι ανεπαρκής από την οπτική γωνία της αποδοτικής χρήσης του φάσματος, επειδή σπαταλά ένα σημαντικό τμήμα του φάσματος για την υλοποίηση διαστημάτων προστασίας (guard intervals). Τέτοιες σπατάλες εύρους ζώνης, δεν είναι αποδεκτές από την 4<sup>η</sup> γενιά δικτύων και ο λόγος είναι ότι το διαθέσιμο φάσμα είναι μικρό σε σχέση με την ζήτηση. Η OFDM έχει λύσει αυτό το πρόβλημα μειώνοντας δραστικά τη σπατάλη φάσματος με τη διαπλοκή των μνημάτων σε διάφορα κανάλια τα οποία απέχουν συχνοτικά σε πολύ μικρό βαθμό. Επίσης πλεονεκτεί σε σχέση με άλλες μεθόδους διότι επιδεικνύει αντοχή σε περιβάλλοντα με θόρυβο, εξασθένηση, ανθεκτικότητα εξασθένησης σε κανάλια πολλαπλών διαδρομών, υψηλή φασματική απόδοση, χαμηλή πολυπλοκότητα, καθώς υποστηρίζει και προηγμένα χαρακτηριστικά όπως συχνοεπιλεκτικό προγραμματισμό και μετάδοση MIMO. Τα κανάλια της OFDM είναι ορθογώνια μεταξύ τους ώστε να είναι σίγουρο ότι δεν θα παρεμβάλεται το ένα κανάλι στο άλλο. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει το ότι, παρόλο που τα κανάλια είναι πολύ κοντά στις συχνότητες και τα φάσματα τους επικαλύπτονται, τα μηνύματα σε διαφορετικά κανάλια δεν παρεμποδίζουν το ένα το άλλο δεδομένου ότι η ανάγνωση σε ένα κανάλι γίνεται στο σημείο όπου όλα τα άλλα είναι μηδενικά (null). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται με πολύ αποδοτικό τρόπο το φάσμα συχνοτήτων. Από την άλλη μεριά το OFDM μειονεκτεί στον τομέα της ενέργειας δηλαδή σπαταλά πολύ ενέργεια και αυτός είναι ο λόγος που δεν χρησιμοποιήθηκε στα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Βέβαια γίνεται η χρήση του στα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς διότι είναι η μόνη τεχνολογία η οποία ικανοποιεί τις σημαντικότερες απαιτήσεις όπως υψηλή κάλυψη και χωρικότητα, υψηλή ποιότητα υπηρεσιών με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος.

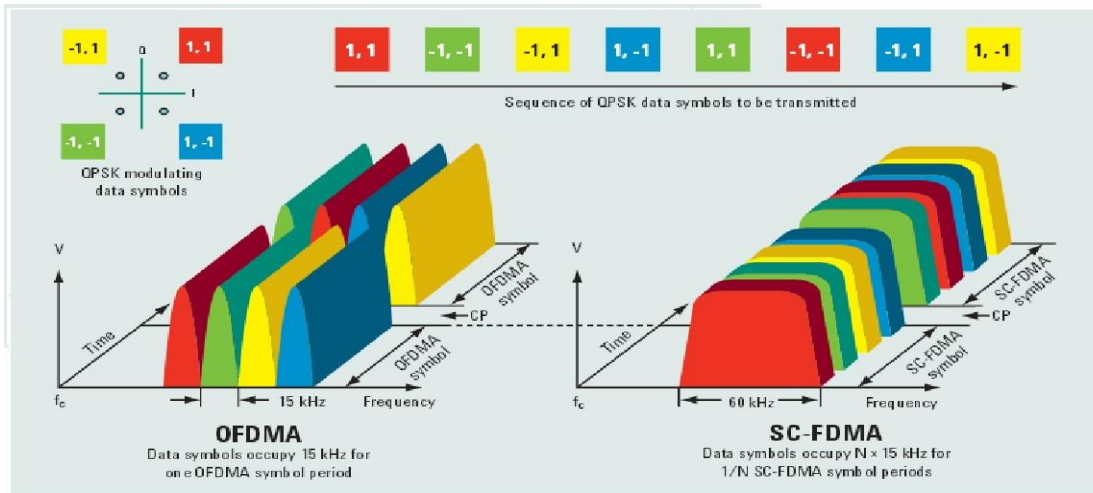


Εικόνα 3.1 Η λειτουργία ενός συστήματος OFDM.

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε τον τρόπο που λειτουργεί ένα σύστημα OFDM. Αρχικά έχουμε τα δεδομένα εισόδου όπου εισάγονται στον διαμορφωτή και διαμορφώνονται ανάλογα με την μέθοδο διαμόρφωσης. Εν συνεχεία πραγματοποιείται διαμόρφωση καναλιού ανάλογα με το που αντιστοιχεί το κάθε πακέτο δεδομένων. Μετά τον καθορισμό των δεδομένων του κάθε καναλιού έχουμε τον αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier ώστε να ληφθεί μια αναπαράσταση του σήματος OFDM στο πεδίο του χρόνου. Τέλος έχουμε την μετατροπή από ψηφιακή σε αναλογική μορφή. Αυτές είναι οι ενέργειες που εκτελούνται στην μεριά του πόμπου. Όσον αφορά τη μεριά του δέκτη εκτελεί την αντίστροφη λειτουργία δηλαδή ψηφιοποιεί το λαμβανόμενο σήμα και εκτελεί ένα μετασχηματισμό FFT στο λαμβανόμενο σήμα ώστε να έρθει στην μορφή που ήταν μετά την διαμόρφωση. Στην έξοδο δίνονται τα περιεχόμενα των καναλιών τα οποία και αποδιαμορφώνονται προκειμένου να συνδιαστούν τα δεδομένα και να υλοποιηθούν ξανά στην μεριά του δέκτη όπως τα έστειλε ο πομπός. [13][14][15]

### 3.1.2 Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

Το Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνική για την επικοινωνία uplink υψηλής ταχύτητας δεδομένων και έχει υιοθετηθεί από το 3GPP για την επόμενη γενιά των κυψελοειδών συστημάτων, που ονομάζεται Long-Term Evolution (LTE) δηλαδή για τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Η SC-FDMA είναι μια τροποποιημένη μορφή του OFDM με παρόμοιες επιδόσεις και την πολυπλοκότητα απόδοσης. Αυτό συχνά θεωρείται ως DFT κωδικοποίηση του OFDM όπου τα σύμβολα δεδομένων στο πεδίο του χρόνου μετασχηματίζονται στο πεδίο συχνότητας με ένα διακριτό μετασχηματισμό Fourier (DFT), πρώτου περάσει από το πρότυπο διαμόρφωσης OFDM. Το SC-FDMA κληρονομεί όλα τα πλεονεκτήματα του OFDM έναντι άλλων γνωστών τεχνικών, όπως TDMA και CDMA. Το μείζον πρόβλημα στην επέκταση GSM TDMA και CDMA ευρείας ζώνης για ευρυζωνικά συστήματα είναι η αύξηση της πολυπλοκότητας με τη λήψη σήματος πολλαπλών διαδρομών. Το κύριο πλεονέκτημα του SC-FDMA, είναι η ευρωστία του έναντι του σήματος πολλαπλών διαδρομών διάδοσης, η οποία το καθιστά κατάλληλο για ευρυζωνικά συστήματα. Επίσης ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα είναι το χαμηλό PAPR (Peak to Average Power Ratio). Τα OFDM σήματα έχουν υψηλότερο μέγιστο από τη μέση αναλογία. Ο λόγος που συμβαίνει είναι ότι στο πεδίο του χρόνου ένα πολλαπλό σήμα είναι το άθροισμα πολλών σημάτων στενής ζώνης. Μερικές φορές το άθροισμα είναι μεγάλο και κάποιες άλλες φορές το άθροισμα είναι μικρό αυτό συμβαίνει διότι η μέγιστη τιμή του σήματος είναι ουσιαστικά μεγαλύτερη από την μέση τιμή. Αυτό το υψηλό PAPR είναι ένα από τις πιο σημαντικές προκλήσεις στην υλοποίηση που αντιμετωπίζει το OFDM γιατί μειώνει την αποδοτικότητα και ως εκ τούτου αυξάνεται το κόστος των ενισχυτών ισχύος RF που είναι ένα από τα πιο ακριβά εξαρτήματα. Αλλιώς ο ίδιος ενισχυτής ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά η ισχύς εισόδου στο PA πρέπει να μειωθεί. Αυτό είναι γνωστό σαν είσοδος υποχώρησης και τα αποτελέσματα είναι χαμηλότερα του μέσου όρου του σηματοθορυβικού λόγου(SNR) στον δέκτη και ως εκ τούτου μειώνεται η εμβέλεια. [16][17][18]



Εικόνα 3.2 Απεικόνιση OFDMA και SC-FDMA

### 3.1.3 Έξυπνες κεραιές

Αρχικά ο ορισμός της «έξυπνης κεραιάς» αναφέρεται σε κάθε συστοιχία κεραιών συνδεδεμένη με έναν επεξεργαστή σημάτων, ο οποίος μπορεί να προσαρμόσει την ακτινοβολία της κεραιάς με σκοπό να ενισχύσει σήματα που μας ενδιαφέρουν και να απορρίψει τις παρεμβολές. Για να το επιτύχει αυτό υπάρχουν δύο προσεγγίσεις.

Η πρώτη προσέγγιση λέγεται “switched beam” δηλαδή εναλλαγή λοβών, προϋποθέτει την ύπαρξη προκατασκευασμένων σταθερών λοβών. Όπως περίπου τα υπάρχοντα συστήματα κινητής τεχνολογίας χωρίζουν το χώρο σε υποτμήματα των 120 μοιρών, έτσι και αυτά τα συστήματα χωρίζουν το χώρο σε ακόμα μικρότερα τμήματα τα οποία αναλαμβάνουν διαδοχικά την κάλυψη του χρήστη. Από αυτή την υλοποίηση λαμβάνουμε τη βέλτιστη απόδοση λαμβανόμενης ισχύος και καλύτερη κατευθυντικότητα.

Η δεύτερη προσέγγιση που λέγεται “adaptive array”(προσαρμοστική συστοιχία) δηλαδή προσαρμογής, χρησιμοποιεί αλγόριθμους για να συνθέσει σε πραγματικό χρόνο τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της συστοιχίας και άρα να έχουμε κάλυψη του χρήστη. Για την υλοποίηση αυτή χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος κατεύθυνσης άφιξης (direction of arrival-DOA) για το συνεχή εντοπισμό του λαμβανόμενου σήματος από το χρήστη. Αυτή η προσέγγιση είναι βέλτιστη αλλά και πιο πολύπλοκη.

Η εφαρμογή των έξυπνων κεραιών στα συστήματα Wi-Fi προσφέρει τις εξής βελτιώσεις:

- Υψηλότερο κέρδος κεραιάς για εκτεταμένη διάρκεια ζωής, εκτεταμένο εύρος και υψηλότερη ισχύ εξόδου.
- Το multipath diversity gain για βελτιωμένη αξιοπιστία συμπεριλαμβανομένου πιο «δυνατή» (εύρωστη) διαχείριση των υπηρεσιών που απαιτούν υψηλό Quality of Service (QoS), όπως VoIP.
- Συμπύεση της παρεμβολής.
- Μειωμένη παρεμβολή σε άλλα συστήματα κατά την μετάδοση

[19]

## LTE και Έξυπνες κεραιές

Το σύστημα LTE (Long Term Evolution), το οποίο είναι ευρέως διαδεδομένο και ως 4G ασύρματα δίκτυα, σχεδιάστηκε εξ αρχής με στόχο την εξέλιξη της τεχνολογίας ραδιοπρόσβασης (radio access) έτσι ώστε όλες οι υπηρεσίες να στηρίζονται στη μεταγωγή πακέτων (packet switched) και όχι στη μεταγωγή κυκλώματος (circuit switched), όπως τα προυπάρχοντα κινητά δίκτυα. Όσο αφορά στην αρχιτεκτονική του δικτύου, ο όρος LTE αντιπροσωπεύει την εξέλιξη της ραδιοπρόσβασης και καλείται Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E- UTRAN), ενώ η εξέλιξη των συστατικών στοιχείων του δικτύου που δεν αποτελούν τη ραδιο-διεπαφή (non-radio aspects) καλύπτονται από τον όρο System Architecture Evolution (SAE) ο οποίος περιλαμβάνει και το Evolved Packet Core (EPC) δίκτυο. Οι δύο αυτοί όροι (LTE και SAE) συνθέτουν το Evolved Packet System (EPS). Χαρακτηριστικά του δικτύου όπως η επίπεδη αρχιτεκτονική (flat architecture) καθώς και η χρήση της μεταγωγής πακέτων και του IP πρωτοκόλλου (Internet Protocol) για την επικοινωνία, συμβάλλουν καθοριστικά στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί. Οι πιο χαρακτηριστικοί από τους οποίους είναι η βελτίωση της ρυθμαπόδοσης και η μείωση της καθυστέρησης σε επίπεδο χρήστη, η καλύτερη αντιμετώπιση της κινητικότητας και η υποστήριξη handover ακόμα και σε άλλες σταθερής γραμμής ή ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης. Επίσης, εξέχουσα σημασία στην εκπλήρωση των απαιτήσεων του δικτύου κατέχουν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε φυσικό επίπεδο. Η Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) που αναφέραμε παραπάνω και η Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) κεραιές συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας του συστήματος και του εξοπλισμού των χρηστών (User Equipment), επιτρέπουν ευέλικτη ανάπτυξη του ραδιοφάσματος σε υπάρχοντα ή νέα φάσματα συχνοτήτων και τέλος καθιστούν δυνατή τη συνύπαρξη του με άλλες 3GPP Radio Access Technologies (RATs). [20][21]





Εικόνα 3.3 Κεραία LTE Sorensen Dual MIMO 1800 MHz

### Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των έξυπνων κεραιών.

Αρχικά θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα των έξυπνων κεραιών:

1. Αύξηση του αριθμού των χρηστών. Λόγω της φύσης των έξυπνων κεραιών που έχουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της ίδιας συχνότητας, με αποτέλεσμα τον αυξημένο όγκο χρηστών. Περισσότεροι χρήστες στην ίδια συχνότητα σημαίνει ότι ο πάροχος δικτύου έχει χαμηλότερο κόστος λειτουργίας σε σχέση με την αγορά νέου χώρου συχνότητας.
2. Μεγαλύτερη εμβέλεια: Καθώς η έξυπνη κεραία επικεντρώνεται στο κέρδος από την συσκευή επικοινωνίας, το εύρος λειτουργίας αυξάνει. Αυτό επιτρέπει να αυξηθεί ο χώρος κάλυψης που εξυπηρετείται από μια έξυπνη κεραία. Αυτό μπορεί να δώσει μια εξοικονόμηση κόστους για τους φορείς εκμετάλευσης ασύρματων δικτύων, δεδομένου ότι δεν θα χρησιμοποιηθούν περισσότερες κεραιές και σταθμοί βάσης για την παροχή κάλυψης.
3. Ασφάλεια: Έξυπνες κεραιές παρέχουν βεβαίως αυξημένη ασφάλεια, καθώς τα σήματα δεν εκπέμπονται προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως σε μια παραδοσιακή Omnidirectional κεραία. Αυτό σημαίνει ότι αν κάποιος επιθυμούσε να παρακολουθήσει μεταδόσεις θα πρέπει να είναι στην ίδια τοποθεσία με έναν από τους χρήστες ή μεταξύ των δύο συσκευών επικοινωνίας.
4. Λιγότερες παρεμβολές: Παρεμβολή η οποία συνήθως προκαλείται από τις μεταδόσεις που ακτινοβολούν σε όλες τις κατευθύνσεις είναι λιγότερο πιθανό να συμβούν λόγω

της κατευθυντικότητας που εισήγαγε η έξυπνη κεραία. Αυτό βοηθά εξίσου την ικανότητα επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων και την επίτευξη μεγαλύτερης εμβέλειας.

5. Μεγαλύτερο εύρος ζώνης: Το διαθέσιμο εύρος ζώνης αυξάνεται από την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων, καθώς μπορούν να αξιοποιήσουν τα πολλά μονοπάτια (multipath) που μπορεί να ακολουθήσει ένα σήμα για να φτάσει σε μια συσκευή.

Από την άλλη μεριά υπάρχουν και τα μειονεκτήματα που είναι τα παρακάτω:

1. Πολυπλοκότητα: Ένα μειονέκτημα στις έξυπνες κεραίες είναι ότι είναι πολύ πιο περίπλοκες από ό, τι οι παραδοσιακές κεραίες. Αυτό σημαίνει ότι οι βλάβες ή προβλήματα μπορεί να είναι πιο δύσκολο να διαγνώσουν, δυσκολότερο στο να επιλυθούν και περισσότερο πιθανό να συμβουν ειδικότερα στην αρχή της χρήσης τους.
2. Μεγαλύτερο κόστος αγοράς οι έξυπνες κεραίες: πιο ακριβές δεδομένου ότι οι έξυπνες κεραίες είναι εξαιρετικά πολύπλοκες στην λειτουργία τους, χρησιμοποιώντας την τελευταία λέξη της τεχνολογίας επεξεργασίας είναι πολύ πιο ακριβές από ό, τι οι παραδοσιακές κεραίες. Ωστόσο, αυτό το κόστος θα πρέπει να σταθμίζεται έναντι του κόστους του χώρου συχνότητας.
3. Μεγαλύτερο μέγεθος. Λόγω των συστοιχιών των κεραίων που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα έξυπνων κεραίων, είναι πολύ μεγαλύτερες σε μέγεθος από τα παραδοσιακά συστήματα.
4. Τοποθεσία: το σημείο τοποθέτησης μιας έξυπνης κεραίας είναι πολύ σημαντικό και δεν είναι το ίδιο με τις παραδοσιακές κεραίες. Για παράδειγμα, σε ένα οδικό σύστημα, έξυπνων κεραίων είναι καλύτερα να βρίσκονται μακριά από το δρόμο, σε αντίθεση με τις κανονικές κεραίες οι οποίες είναι καλύτερα βρίσκονται κατά μήκος του δρόμου. [22]

### Έξυπνες κεραίες MIMO

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω εξέχουσα σημασία στην εκπλήρωση των απαιτήσεων του LTE κατέχουν οι έξυπνες κεραίες τύπου MIMO (Multiple input multiple output).

Οι κεραίες πολλαπλής εισόδου - πολλαπλής εξόδου χρησιμοποιούνται από τα 4G δίκτυα. MIMO είναι μια μέθοδος για τον πολλαπλασιασμό των δυνατοτήτων μιας ραδιοζεύξης χρησιμοποιώντας κεραίες πολλαπλής εκπομπής και λήψης για την αξιοποίηση πολλαπλών διαδρομών. Οι κεραίες MIMO έχουν γίνει ένα ουσιαστικό στοιχείο της ασύρματης επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των προτύπων IEEE 802.11n (Wi-Fi), IEEE 802.11ac (Wi-Fi), HSPA + (3G), WiMAX (4G), και Long Term Evolution (4G).

Θεωρητικά η λέξη "MIMO" αναφέρεται κυρίως στη θεωρητική χρήση πολλαπλών κεραίων τόσο του πομπού όσο και του δέκτη. Η σύγχρονη χρήση, του "MIMO" αναφέρεται στη τεχνική για την αποστολή και τη λήψη περισσότερων από ένα σήμα δεδομένων στο ίδιο

ραδιοφωνικό κανάλι ταυτόχρονα μέσω πολλαπλών διαδρομών πολλαπλασιασμού. Μια κεραία MIMO έχει τεχνικές διαφορές από την έξυπνη κεραία που αναπτύχθηκαν για να βελτιώσουν τις επιδόσεις ενός σήματος data, όπως beamforming και ποικιλομορφία.

Η τεχνολογία MIMO έχει τυποποιηθεί για ασύρματα LAN, 3G δικτύων κινητής τηλεφωνίας, καθώς και 4G δικτύων κινητής τηλεφωνίας και τώρα είναι σε ευρεία εμπορική χρήση. Οι Greg Raleigh και V. κ. Jones ίδρυσαν την εταιρεία Airgo Networks το 2001, για να αναπτύξουν την τεχνολογία MIMO-OFDM chipset για ασύρματα LAN. Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) δημιούργησε μια ομάδα στα τέλη του 2003 για να αναπτύξει ένα πρότυπο ασύρματου δικτύου LAN που παρέχει τουλάχιστον 100 Mbit/s του χρήστη ρυθμαπόδοση δεδομένων. Υπάρχουν δύο κύριες ανταγωνιστικές προτάσεις: TGn Sync υποστηρίχθηκε από εταιρείες όπως η Intel και η Philips, και WWiSE υποστηρίχθηκε από εταιρείες όπως Airgo Networks, Broadcom, και Texas Instruments. Και οι δύο ομάδες συμφώνησαν ότι το πρότυπο 802.11n θα βασίζεται στην τεχνολογία MIMO-OFDM με 20 MHz και το κανάλι 40 MHz.

Το πρώτο 4G κινητό πρότυπο προτάθηκε από την NTT DoCoMo το 2004. Το LTE βασίζεται στην τεχνολογία MIMO-OFDM και συνεχίζει να αναπτύσσεται από την 3η γενιά των σχεδίων εταιρικής σχέσης (3GPP). Το LTE καθορίζει downlink έως 300 Mbit/s, το uplink έως και 75 Mbit/s και παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας όπως χαμηλός χρόνος αναμονής. Το LTE Advanced προσθέτει υποστήριξη για picocells, femtocells και multi-carrier κανάλια έως 100 MHz.

Τεχνικές χωρικής πολυπλεξίας που κάνουν τους δέκτες πολύ περίπλοκους και συνδυάζεται με ορθογώνια συχνότητα-πολυπλεξίας με διαίρεση (OFDM) όπου τα προβλήματα που δημιουργούνται από ένα multi-path κανάλι αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά. Το IEEE 802.11n, που κυκλοφόρησε τον Οκτώβριο του 2009, συνιστά MIMO-OFDM. Η τεχνολογία MIMO σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί σε πρότυπα κινητών τηλεφώνων όπως το πρόσφατο 3GPP και 3GPP2. Επιπλέον, υποστηρίζει τα κυτταρικά περιβάλλοντα.

Η MIMO τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μη ασύρματα συστήματα επικοινωνίας. Ένα παράδειγμα είναι η οικιακή δικτύωση με πρότυπο το ITU-T G.9963, το οποίο ορίζει powerline-communications system, το οποίο χρησιμοποιεί τεχνολογία και τεχνικές MIMO για να μεταδώσει πολλαπλά σήματα σε πολλαπλά καλώδια AC. [23][24][25]



Εικόνα 3.4 Έξυπνη κεραία MIMO.

### 3.1.4 Τεχνικές δικτύων μεταγωγής

Τα δίκτυα μεταγωγής αποτελούνται από κόμβους συνδεδεμένους μεταξύ τους οι οποίοι αναλαμβάνουν τη δρομολόγηση της εκπεμπόμενης από τον εκάστοτε αποστολέα πληροφορίας. Δεδομένα που εισέρχονται στο δίκτυο δρομολογούνται από κόμβο σε κόμβο μέχρι να φτάσει στον προκαθορισμένο αποδέκτη. Για λόγους αύξησης της αξιοπιστίας οι συνδέσεις των κόμβων γίνονται με τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρχει εναλλακτικός δρόμος μεταξύ των τερματικών σημείων. Υπάρχουν τρεις βασικοί μέθοδοι αποκατάστασης σύνδεσης δύο τερματικών σταθμών στα δίκτυα μεταγωγής:

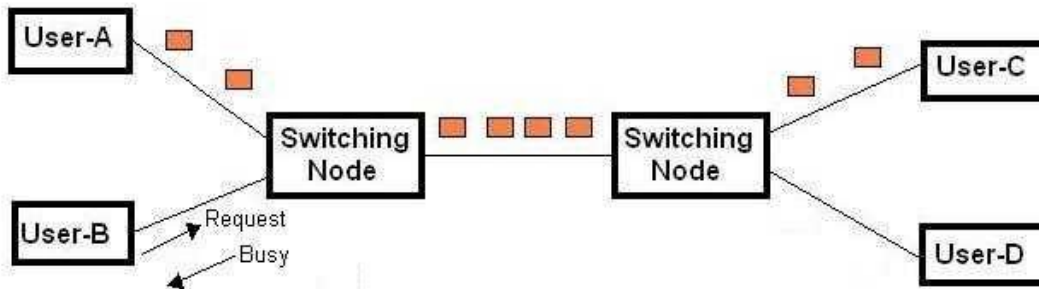
- Μεταγωγή κυκλώματος(Circuit switching)
- Μεταγωγή μηνυμάτων (Message switching)
- Μεταγωγή πακετών(Packet switching)

Από αυτές τις τρεις κατηγορίες αυτές που αφορούν τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι η μεταγωγή κυκλώματος που αντικαταστάθηκε από την μεταγωγή πακετών.

#### **Μεταγωγή κυκλώματος**

Αυτό το είδος τεχνικής μεταγωγής χρησιμοποιείται στα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Η μεταγωγή κυκλώματος είναι η τεχνική κατά την οποία αφιερώνεται μια φυσική ζεύξη μεταξύ των συνδρομητών για όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας τους. Η σύνδεση είναι τμηματική και αποτελείται από τμήματα γραμμών που συνδέουν τους κόμβους μεταξύ τους. Με τη μεταγωγή κυκλώματος κάθε γραμμή που καταλαμβάνεται για μια σύνδεση χρησιμοποιείται

αποκλειστικά για την επικοινωνία δύο και μόνο συνδρομητών. Στην περίπτωση μεταγωγής κυκλώματος η γραμμή παραμένει κατειλημμένη ακόμα και κατά τα χρονικά διαστήματα όπου δεν μεταφέρονται δεδομένα. Έχει αποδειχθεί στατιστικά ότι ο κενός χρόνος σε μια σύνδεση δύο σημείων είναι σχετικά μεγάλος. Όμως με την τεχνική μεταγωγής κυκλώματος έχουμε το πλεονέκτημα ότι σε μια αποκατασταθείσα σύνδεση οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν όλη τη μεταφορική ικανότητα (throughput) της γραμμής με μόνη καθυστέρηση την αρχική για την αποκατάσταση της σύνδεσης.



Εικόνα 3.5 Δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος

### Μεταγωγή μηνυμάτων

Όπως είδαμε παραπάνω η χρήση της μεταγωγής κυκλώματος παρουσιάζει δύο προβλήματα. Το πρώτο είναι ότι την ώρα της αποστολής μηνυμάτων πρέπει να είναι διαθέσιμοι και οι δύο τερματικοί/υπολογιστικοί σταθμοί. Το δεύτερο είναι ότι για την αποκατάσταση της επαφής, αλλά και καθόλη τη διάρκεια της, οι γραμμές είναι κατειλημμένες από τους τερματικούς σταθμούς, είτε επικοινωνούν είτε όχι.

Η τεχνική μεταγωγής μηνυμάτων διευκολύνει στην επίλυση αυτών των προβλημάτων. Το δίκτυο εκμεταλλεύεται τις φυσικές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων για την αποστολή μηνυμάτων όλων των συνδρομητών. Σε κάθε μήνυμα είναι σημειωμένη η διεύθυνση του παραλήπτη, ούτως ώστε ο κάθε κόμβος να το προωθεί στον επόμενο όταν φυσικά βρει ελεύθερο κανάλι.

Οι κόμβοι ενός τέτοιου δικτύου μεταγωγής μηνυμάτων αποθηκεύουν τα μηνύματα που λαμβάνουν πριν τα αποστείλουν στον επόμενο κόμβο. Λόγω του ότι κάθε κόμβος αποθηκεύει το μήνυμα πριν το μεταδώσει, η τεχνική αυτή ονομάζεται και store-and-forward (αποθήκευση και προώθηση). Μερικά από τα πλεονεκτήματα της τεχνικής μεταγωγής μηνυμάτων έναντι της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος είναι:

- Δεν υπάρχει πρόβλημα εάν την ώρα που ο αποστολέας στέλνει το μήνυμα ο αποδέκτης δεν είναι σε θέση να το δεχτεί διότι μπορεί να το αποθηκεύσει και να το στείλει αργότερα.
- Η εκμετάλλευση των φυσικών συνδέσεων είναι πολύ καλύτερη αφού ένα κανάλι μπορεί να διεκπεραιώσει μηνύματα πολλών χρηστών.

- Η τεχνική μεταγωγής μηνυμάτων παρέχει την δυνατότητα πολλαπλής αποστολής ενός μηνύματος σε πολλούς χρήστες.
- Ο έλεγχος σφαλμάτων και γενικά οι διαδικασίες προστασίας από τα σφάλματα μπορούν να γίνουν από το δίκτυο.
- Οι δύο τερματικοί σταθμοί έχουν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν μηνύματα σε διαφορετικό κωδικα και διαφορετική ταχύτητα. Την μετατροπή αυτή κάνουν οι ακραίοι κόμβοι στους οποίους έχει δηλωθεί από πριν με ποια ταχύτητα και με ποιο κώδικα συνεννοείται ο συγκεκριμένος τερματικός σταθμός.

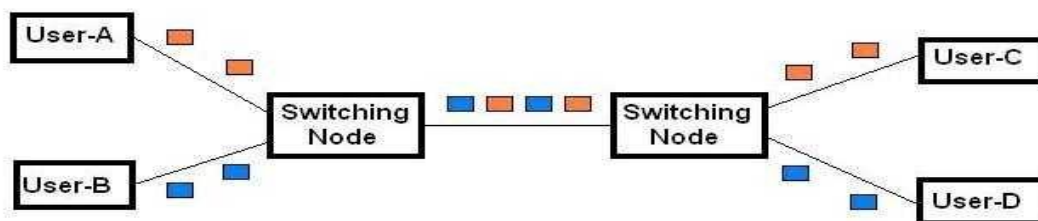
Από την άλλη μεριά ένα βασικό μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι δεν είναι ότι δεν είναι κατάλληλη για real time εφαρμογές επειδή όπως προαναφέραμε αποθηκεύει το μήνυμα και όταν είναι ελεύθερος ο δέκτης το αποστέλνει.

Η τεχνική μεταγωγής μηνυμάτων χρησιμοποιείται λιγότερο από τις άλλες δύο.

### Μεταγωγή πακετών

Με την τεχνική μεταγωγής πακετών έγινε η προσπάθεια εκμετάλευσης των πλεονεκτημάτων των άλλων δύο ειδών μεταγωγής δηλαδή της μεταγωγής κυκλώματος και της μεταγωγής μηνυμάτων και ταυτόχρονα ελαχιστοποίησης των μειονεκτημάτων τους. Το κάθε μήνυμα που πρέπει να μεταφερθεί μέσω του δικτύου χωρίζεται σε πακέτα . Το μήκος των πακετών που τεμαχίζονται είναι συνήθως 128 ή 256 χαρακτήρες. Οι μέθοδοι προώθησης των πακετών είναι δύο: Datagram και Virtual-circuit.

Με τη μέθοδο Datagram τα πακέτα ενός μηνύματος θα φθάσουν στον παραλήπτη χρησιμοποιώντας το καθένα το δικό του συντομότερο δρομο. Τα πακέτα ενώ έχουν τον ίδιο προορισμό δεν ακολουθούν όλα τον ίδιο δρόμο και λόγω αυτού υπάρχει πιθανότητα να φθάσουν στον παραλήπτη με διαφορετική σειρά από αυτή που ξεκίνησαν. Αυτό όμως δεν αποτελεί πρόβλημα για την ορθή επανατοποθέτηση του αφού το κάθε πακέτο εμπεριέχει μια πληροφορία για την θέση του. Αυτό όμως σημαίνει ότι απαιτείται από τους τελικούς σταθμούς η χρήση πρωτοκόλλων ανωτέρου επιπέδου.



Εικόνα 3.6 Δίκτυο μεταγωγής πακετών

Επιπλέον η άλλη μέθοδος είναι η Virtual-circuit στην οποία πριν αποσταλούν τα πακέτα αποκαθίσταται από τους ενδιάμεσους κόμβους μια σταθερή νοητή σύνδεση μεταξύ των δύο ανταποκριτών σταθμών από όπου θα περάσουν όλα τα πακέτα μηνύματος.

Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των δύο τεχνικών είναι ότι με την Virtual-circuit ο δρόμος για όλα τα πακέτα μιας σύνδεσης καθορίζεται μια φορά στην αρχή και μετά παραμένει ο ίδιος μέχρι τη διακοπή της. Ενώ στη δεύτερη ο κάθε κόμβος επιλέγει κάθε φορά και για κάθε πακέτο τον καλύτερο δρόμο. Η πρώτη τεχνική δεν πρέπει να παρομοιαστεί με την μεταγωγή κυκλώματος καθώς το κάθε πακέτο κρατείται προσωρίνα σε κάθε κόμβο πριν ακολουθήσει την πορεία του ενώ η γραμμή παραμένει κοινόχρηστη για περισσότερους χρήστες. Με αυτήν την τεχνική οι κόμβοι δεν επιλέγουν για κάθε πακέτο και διαφορετικό δρόμο.

Τα πλεονεκτήματα της virtual-circuit έναντι της datagram είναι:

- Γρήγορη και σωστή ταξινόμηση των παραλειφθέντων μηνυμάτων.
- Έλεγχος ορθότητας της σειράς λήψης των πακετών.
- Επιβεβαίωση του ότι όλα τα πακέτα παραλήφθηκαν σωστά.
- Μικρές διακυμάνσεις χρόνου απόκρισης λόγω της σταθερής διαδρομής.
- Υπάρχει η δυνατότητα flow control ούτως ώστε αν ο παραλήπτης έχει προσωρινή αδυναμία λήψης ειδοποιεί τον αποστολέα να σταματήσει μέχρι νεότερας εντολής.
- Μικρό overhead καθώς δεν απαιτείται η ύπαρξη της πλήρους διεύθυνσης του παραλήπτη σε κάθε πακέτο.

Τα πλεονεκτήματα της Datagram είναι:

- Αυξημένη διαθεσιμότητα καθώς αν ένας κόμβος χαλάσει τα νοητά κυκλώματα (virtual-circuit) που διέρχονται από τον κόμβο αυτό θα χάσουν, ενώ με τη datagram τα πακέτα θα διοχετευθούν από εναλλακτικούς δρόμους μέσω άλλων κόμβων.
- Ευκολία αναδρομολόγησης καθώς σε κάθε περίπτωση συμφόρησης σε κάποια μέρη του δικτύου με την τεχνική virtual circuit είναι αρκετά πιο δύσκολο να βρουν νέο «δρόμο» απ'ότι με την datagram.
- Στη datagram δεν χρειάζεται να δοθούν Call request και call Accept. [26]

### 3.1.5 Πρωτόκολλο διαδικτύου - έκτη έκδοση (IPv6)

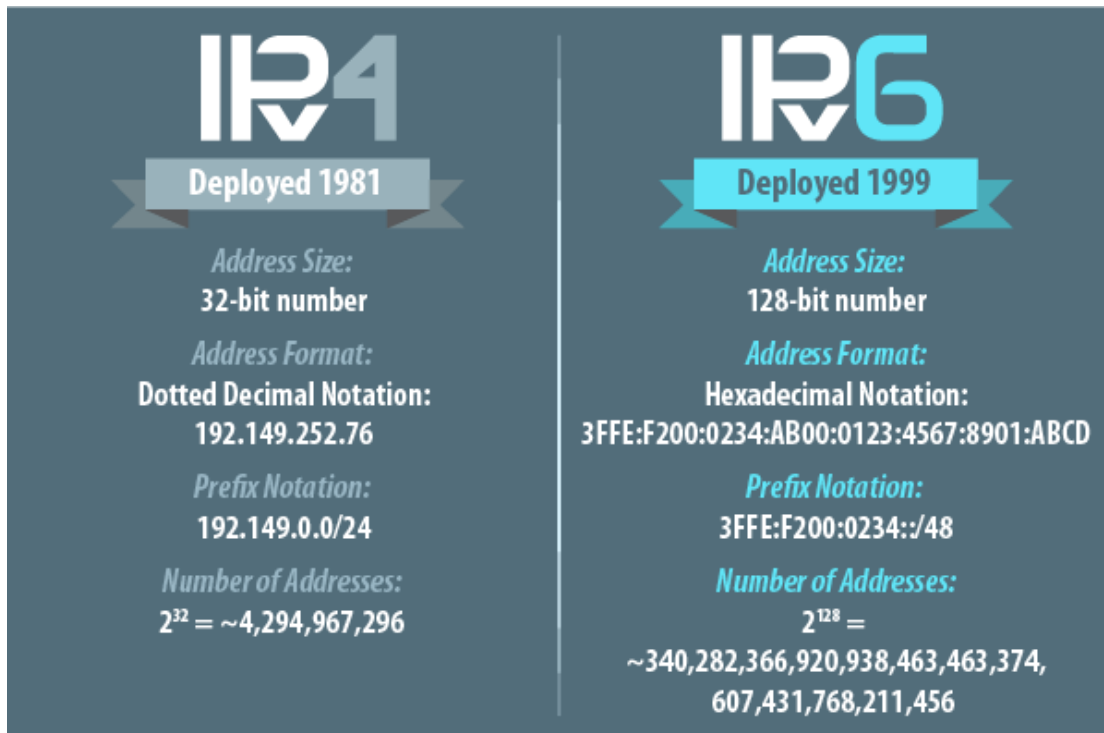
Σε αντίθεση με το 3G δίκτυο, το οποίο βασίζεται σε δύο παράλληλες υποδομές, την μεταγωγή κυκλώματος και μεταγωγή πακέτων σε κόμβους του δικτύου, το 4G θα βασίζεται μόνο στα πακέτα μεταγωγής. Αυτό θα απαιτήσει χαμηλής καθυστέρησης μετάδοση δεδομένων. Μέχρι τη στιγμή που το 4G αναπτύχθηκε, η διαδικασία της IPv4 διεύθυνσιοδοτησης εξάντληται και αναμένεται να είναι στο τελικό στάδιο. Ως εκ τούτου, στο πλαίσιο της 4G, η IPv6 είναι απαραίτητη για να υποστηρίξει ένα μεγάλο αριθμό συσκευών. Με την αύξηση του αριθμού των διαθέσιμων διευθύνσεων IP, η IPv6 καταργεί την ανάγκη για μετάφραση διευθύνσεων δικτύου, μια μέθοδο που μοιράζονται σε έναν περιορισμένο αριθμό διευθύνσεων ανάμεσα σε μια μεγαλύτερη ομάδα συσκευών, αν και θα

εξακολουθήσει να απαιτείται για την επικοινωνία με συσκευές που βρίσκονται στο υφιστάμενα δίκτυα IPv4. Από τον Ιούνιο του 2009, η Verizon έχει αναρτήσει προδιαγραφές που απαιτούνται για τις συσκευές που θα κάνουν χρήση του δικτύου 4G και θα υποστηρίζουν το πρωτόκολλο διαδικτύου IPv6.

Η σύγκλιση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, η εξάπλωση του INTERNET και η σταδιακή αντικατάσταση της συμβατικής τηλεφωνίας με VOIP δημιουργεί την αναγκαιότητα της μετεξέλιξης του IP σε ένα πιο ευέλικτο πρωτόκολλο με μεγαλύτερες δυνατότητες και κυρίως την κάλυψη της έλλειψης διευθύνσεων που παρατηρείται λόγω της ραγδαίας αύξησης των χρηστών του Ιντερνετ. Η IPv6 διαθέτει τα εξής νέα χαρακτηριστικά:

- Αυξημένου μήκους πεδία από 4 σε 16 Byte που αυτό σημαίνει ότι υποστηρίζει  $3.4 * 10^{28}$  ένα εξαιρετικά μεγάλο πλήθος IP αν αναλογισθεί κανείς ότι ο πληθυσμός της γης φτάνει τα 10 δις άτομα ( $10 * 10^9$ ).
- Επιτρέπει πολλαπλές διευθύνσεις IP σε κάθε θύρα συσκευής π.χ άλλη διεύθυνση για εταιρική και άλλη για δημόσια χρήση
- Διαθέτει βελτιωμένους μηχανισμούς ώστε να επιτρέπει στους δρομολογητές την ταχύτερη επεξεργασία των πακέτων και αυξημένες δυνατότητες σε ρυθμίσεις.
- Επιτρέπει χαρακτηρισμό των πακέτων ανάλογα με το είδος των δεδομένων που μεταφέρονται ιδιαίτερα για real time εφαρμογές.
- Προβλέπει δυνατότητες κινητικότητας ενός H/Y που θα απαιτήσουν οι μελλοντικές εφαρμογές.
- Παρέχει βελτιωμένη ασφάλεια κυρίως σε authentication και privacy.
- Καταργεί το broadcasting και διαχειρίζεται το multicasting με αποδοτικότερο τρόπο περιορίζοντας έτσι τις άσκοπες εκπομπές προς κάθε κατεύθυνση. [27][28]





Εικόνα 3.9 Διαφορές του IPv4 με το IPv6

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται οι διαφορές ανάμεσα στις δύο τεχνολογίες αλλά πιο σημαντικό απ' όλα είναι ο αριθμός των διευθύνσεων. Ενδιάμεσα υπάρχει το IPv5 το οποίο δεν χρησιμοποιήθηκε σχεδόν ποτέ και ο αριθμός των διευθύνσεων έφτανε το  $2^{64}$ .

### 3.2 Απαιτήσεις για τα δίκτυα 4G

Όπως είναι φυσιολογικό στην περίπτωση κάθε προϊόντος έτσι και για τα δίκτυα 4G υπάρχουν απαιτήσεις από το καταναλωτικό κοινό. Πρώτα απ' όλα το νέο 4G δίκτυο απαιτείται να έχει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης πληροφορίας. Ικανοποιητικές θα θεωρούνται οι ταχύτητες που θα φτάσουν τουλάχιστον 10-20 Mbits/sec για ακίνητα περιβάλλοντα και 2Mbits/sec για κινούμενα περιβάλλοντα. Αυτές οι επιδόσεις είναι ευκόλως εφικτές αν αναλογισθεί κανείς ότι έχουν ήδη επιτευχθεί ταχύτητες μετάδοσης της τάξεως 20-30Mbits/sec μέσω συστημάτων MMAC στην Ιαπωνία Hyperlan2 στην Ευρώπη και IEEE802.11 στην Αμερική. Πέρα από τις υψηλές ταχύτητες μετάδοσης πληροφορίας σημαντικό ρόλο έχει και η χωριτικότητα των δικτύων η οποία θα πρέπει να δεκαπλασιαστεί σε σχέση με αυτή των δικτύων 3G. Οι χρήστες θα είναι περισσότεροι με αποτέλεσμα να υπάρχει εκθετική αύξηση στη διακίνηση πολυμεσικών δεδομένων.

Επιπλέον απαίτηση του καταναλωτικού κοινού στα 4<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα θα μπορούσε να θεωρηθεί και το χαμηλό κόστος ανα byte ώστε να μην καθιστούν οι υπηρεσίες και κατά συνέπεια η τεχνολογία 4G απρόσιτη λόγω των αυξημένων τιμών που θα είναι απαγορευτική για τον καταναλωτή. Σε μια τέτοια περίπτωση θα σήμαινε αποτυχία της τεχνολογίας αυτής όσο ολοκληρωμένη και καινοτόμα αν είναι. Σίγουρα απαίτηση μπορεί να θεωρηθεί και η ποιότητα των υπηρεσιών (QoS). Στις μέρες μας όλα στον κλάδο της πληροφορικής αλλά και των δικτύων χαρακτηρίζονται από τον δείκτη QoS (quality of services). Τα ασύρματα δίκτυα λόγω περιορισμένου εύρους ζώνης χωλώνουν σε περίπτωση ταυτόχρονης χρήσης του δικτύου από πολλούς χρήστες. Συνεπώς αναγκαία απαίτηση είναι η υψηλού επιπέδου ποιότητα των υπηρεσιών. Επιπλέον πέρα από τις απαιτήσεις που θέτει το καταναλωτικό κοινό είναι και οι στόχοι των κατασκευαστών κινητών συσκευών καθώς και των φορέων εκμετάλλευσης ασύρματης επικοινωνίας και οι απαιτήσεις που πρέπει να εξυπηρετεί το LTE είναι:

- Ρυθμοί Μετάδοσης: Επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στον κατερχόμενο και 50 Mbps στον ανερχόμενο σύνδεσμο για εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz.
- Αποδοτικότητα φάσματος: Επίτευξη 2-3 φορές μεγαλύτερης αποδοτικότητας φάσματος σε σχέση με την έκδοση 6 του προτύπου 3GPP (HSDPA).
- Εύρος Ζώνης: Κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 5, 10, 15 και 20 MHz. Επίσης, μπορεί να γίνει και χρήση εύρους ζώνης μικρότερου των 5 MHz (1.5 MHz και 2.5 MHz) για επιπλέον ευελιξία.
- Ρυθμαπόδοση: Επίτευξη 3-4 φορές μεγαλύτερης μέσης ρυθμαπόδοσης χρήστη ανά MHz στον κατερχόμενο σύνδεσμο και αντίστοιχα 2-3 φορές μεγαλύτερης για τον ανερχόμενο σύνδεσμο συγκριτικά με τις εκδόσεις 6
- Mode Λειτουργίας: Λειτουργία της τεχνολογίας LTE τόσο σε FDD όσο και TDD mode και του προτύπου 3GPP (HSDPA και HSUPA).
- Ποιότητα Υπηρεσίας: Υποστήριξη από άκρο σε άκρο ποιότητας υπηρεσίας QoS, για την υποστήριξη απαιτητικών υπηρεσιών σε Quality of Service (QoS) όπως είναι οι VoIP εφαρμογές.
- Διαλειτουργικότητα: Δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας με μη-3GPP πρότυπα επικοινωνιών καθώς και με τα υπάρχοντα UTRAN/GSM/EDGE Radio Access

Network (GERAN) συστήματα κινητών επικοινωνιών. Επίσης, υποστήριξη δυνατότητας handover από και προς τα συστήματα αυτά.

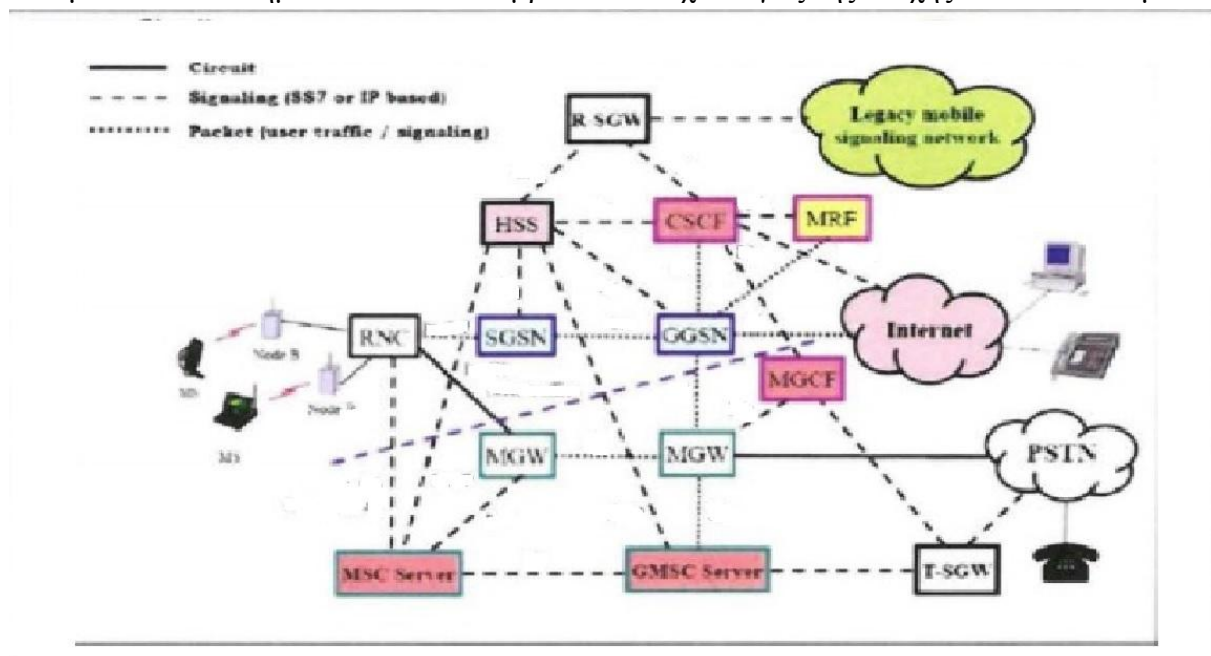
- Κινητικότητα: Δυνατότητα βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος για χαμηλές ταχύτητες κίνησης των χρηστών (0-15 χμ/ώρα) καθώς και δυνατότητα υποστήριξης χρηστών που κινούνται σε πολύ υψηλές ταχύτητες.
- Καθυστέρηση: Σημαντική μείωση του χρόνου Round-Trip Time (RTT) από το χρήστη έως το σταθμό βάσης στα 5 ms - 10 ms

Τέλος απαίτηση πέρα από τις τέχνης και τεχνολογικής φύσεως είναι η υγιείς συνήπαρξη του ανθρώπου με την τεχνολογία 4G. Όπως είναι γνωστό στόχος –απαίτηση είναι η εξέλιξη των δικτύων 4G, είναι η αύξηση των ρυθμών μετάδοσης της πληροφορίας και ταυτόχρονα μεγάλο αριθμό χρηστών. Αυτό συνεπάγεται με αύξηση του απαιτούμενου λαμβανόμενου σήματος και αυτό με την σειρά του σημαίνει αύξηση των σταθμών βάσης-κεραιών. Δηλαδή σε μέτρο νοσοκομεία κτήρια όπου συνήθως ο αριθμός των ανθρώπων-χρηστών είναι πολύ μεγάλος για να επιτευχθούν και οι απαιτήσεις-στόχοι του 4G θα πρέπει να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός κεραιών. Εύλογο ερώτημα είναι αν επηρεάζεται η υγεία του ανθρώπου από την υπερβολική έκθεση της ακτινοβολίας των κεραιών.[29]

### 3.3 Αρχιτεκτονική των δικτύων 4G

Τα 4G δίκτυα όπως έχουμε προαναφέρει είναι δίκτυα που βασίζονται στο μοντέλο μεταγωγής πακέτου μέσω της τεχνολογίας LTE, η οποία τα υποστηρίζει. Επίσης, η ιδιαιτερότητα της τεχνολογίας 4G βασίζεται στην ιδέα του «ALL-IN-IP» δηλαδή όλες οι υπηρεσίες να γίνονται μέσω της IP. Η βάση της αρχιτεκτονικής των δικτύων 4G είναι τα προϋπάρχοντα δίκτυα επικοινωνιών 2G και 3G. Τα 4G δίκτυα στην πραγματικότητα αποτελούν την εξέλιξη των δικτύων που αναφέραμε με καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά και σαφώς πολυπλοκότερη αρχιτεκτονική δομή.

Τα δίκτυα τελευταίας γενιάς (τέταρτης) λόγω του ότι είναι μια καινούρια τεχνολογία, δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα κάποιο μοντέλο αρχιτεκτονικής δομής. Για την ώρα, την καλύτερη πρόταση και επικρατέστερη για αρχιτεκτονική δομή την έχει καταθέσει η εταιρεία που έχει αναπτύξει την τεχνολογία LTE και δεν είναι άλλη από την 3GPP. Η πρότασή της πλεονεκτεί σε σχέση με τις άλλες διότι υποστηρίζει τόσο circuit όσο και packet switched μετάδοση δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι είναι συμβατό από τεχνολογίες της εποχής του GSM και μετά.



Εικόνα 3.8 Η πρόταση της 3GPP για την αρχιτεκτονική του LTE

Σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα στην οποία απεικονίζεται η πρόταση της 3GPP, όσον αφορά την αρχιτεκτονική δομή βλέπουμε αρχικά το HSS (Home Subscriber Server), το οποίο είναι η κεντρική βάση για την αποθήκευση πληροφοριών για το προφίλ του χρήστη καθώς και της αναγνώρισή του. Στη συνέχεια έχουμε το CSCF (Call state control function) το οποίο είναι ένα σύνολο λειτουργιών. Οι λειτουργίες αυτές είναι:

- **ICGW** (Incoming Call Gateway) : το οποίο λειτουργεί ως το πρώτο σημείο εισόδου και πραγματοποιεί τη δρομολόγηση των κλήσεων.
- **CCF** (Call Control Function) : λειτουργία που ευθύνεται για την έναρξη και την λήξη των κλήσεων, την διαχείριση των διαφόρων «call events»(π.χ. εκτροπή

κλήσεων, αναγνώριση κλήσεων κ.α ) και για την εγγραφή του χρήστη σε υπηρεσίες και εφαρμογές.

- **SPD** (serving profile database): είναι μια βάση δεδομένων που αλληλεπιδρά με το HSS για να λάβει πληροφορίες για το προφίλ των συνδρομητών.
- **PCSCF** (Proxy-CSCF): ο οποίος λειτουργεί ως Proxy Server όταν η διεύθυνση του ανακαληφθεί από κάποιο τερματικό και στην ουσία εισέρχεται στο υποσύστημα πολυμέσων του πρωτοκόλλου IP.
- **IMS** (ip multimedia subsystem): έχει σαν στόχο την παροχή multimedia services και χρήση του “packet switched domain” για την μεταφορά πολυμεσικής πληροφορίας και σηματοδοσίας. Το IMS περιλαμβάνει το **I-CSCF** και ένα σημείο επαφής εντός του δικτύου του παρόχου για όλες τις αιτούμενες συνδέσεις προς τους συνδρομητές του δικτύου αυτού. Το **S-CSCF** είναι το κυρίως λειτουργικό τμήμα του IMS και ευθύνεται για την διαχείριση των συνόδων.

Έπειτα από τις λειτουργίες της **CSCF** έχουμε τους **MGW** (Media gateway) και **MGCF** (Media Gateway Control Function). Ο MGW μεταφέρει την οφέλιμη πληροφορία των πολυμέσων, ρυθμίζει τον φόρτο κίνησης, συνδέεται με το UTRAN μέσω της διεπαφής και αποτελεί τερματικό σημείο του PSTN. Η MGCF είναι υπεύθυνη για την μετατροπή πρωτοκόλλων μεταξύ παλιών συστημάτων και εκείνων του ελέγχου του ALL-IP δικτύου. Γενικότερα, ευθύνεται για την σηματοδοσία που προέρχεται από το PSTN.

- **MSC Server και GMSC** : Ο MSC είναι ο κεντρικός κόμβος ελέγχου στο CS domain υπεύθυνος για τον έλεγχο κλήσεων ενώ παράλληλα εκτελεί τον έλεγχο συνδέσεων των media channels στο MGW.
- Ο **GMSC** χρησιμοποιείται για προώθηση των ενεργών κλήσεων αλλά και για τα μηνύματα προς τους χρήστες.
- **MRF** (Multimedia Resource Function): είναι υπεύθυνη για την πραγματοποίηση της επεξεργασίας των ροών πολυμεσικών δεδομένων.
- **T-SGW** και **R-SGW** (Transport Signally Gateway Function) και (Roaming Signalling Gateway Function) : Η πρώτη είναι υπεύθυνη για την σηματοδοσία από το PSTN και PLMN ενώ η R-SGW παρέχει επικοινωνία με το 2G/R99 και με το MSC/VLR.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι μία από τις βασικές τεχνολογίες για τα 4G δίκτυα ονομάζεται Open Wireless Architecture (OWA), υποστηρίζοντας πολλαπλές ασύρματες διασυνδέσεις αέρα σε μια ανοικτή πλατφόρμα αρχιτεκτονικής. Επίσης, μία Open Wireless Architecture (OWA) είναι η SDR. Η τελική μορφή των 4G συσκευών μπορεί να εμπεριέχουν μία ποικιλία από διαφορετικά πρότυπα. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικά με τη χρήση της τεχνολογίας SDR, η οποία κατηγοριοποιείται στην περιοχή σύγκλισης της συχνότητας. [\[30\]](#)[\[31\]](#)[\[32\]](#)

### 3.4 Ασφάλεια δικτύων 4G

Όπως έχουμε αναφέρει μέχρι στιγμής πέρα από την επικοινωνία η γενιά του 4G θα μας προσφέρει υπηρεσίες πληρωμής, διαπραγματικές συναλλαγές κ.α. Αυτό αυτομάτως συνεπάγεται και με υψηλού βαθμού ασφάλεια ώστε ο πελάτης-χρήστης να αισθάνεται ασφαλής ώστε να προβεί σε τέτοιου είδους ενέργειες. Η ανάγκη της ασφάλειας έχει προκύψει αρκετά χρόνια αλλά όσο εξελίσσεται η τεχνολογία τόσο μεγαλώνει και το επίπεδο ασφαλείας που θα πρέπει να διέπει τα δίκτυα. Όσον αφορά το 4G είναι ένα κομβικό σημείο για την ασφάλεια διότι από την μια μεριά η 4G επικοινωνία θα γίνεται μέσω VOIP (voice over ip) από την άλλη μεριά όμως οι επικοινωνίες αλλά και οι υπηρεσίες που βασίζονται στο IP είναι πιο ευάλωτες στις υποκλοπές από αυτές που βασίζονται στο TDM. Αποκάλεσα το VoIP σαν κομβικό σημείο διότι είναι μια τεχνολογία η οποία θα χαρακτηρίσει τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς επιτυχή ή ανεπιτυχή. Υπάρχουν πολλοί κακόβουλοι τρόποι ώστε να επιτεθεί κάποιος στο σύστημα όπως το man-in-the-middle connection που δεν είναι τίποτα παραπάνω από τον τρίτο μέσα στην επικοινωνία ενός ζεύγους χρηστών. Άλλος τρόπος επίθεσης, συχνός στις μέρες μας, είναι η επίθεση με άρνηση υπηρεσίας. Παρ' όλα αυτά στόχος των ασύρματων δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι η δημιουργία μηχανισμών που να χρησιμοποιούνται για την προστασία των κακόβουλων επιθέσεων. Όσοι ασχολούνται με την ασφάλεια γενικότερα γνωρίζουν ότι ένα πληροφοριακό σύστημα- ένα δίκτυο- ποτέ δεν θα είναι ασφαλές λόγω της δομής του από την βάση δηλαδή την δομή των πρωτοκόλλων που ισχύουν. Ο μόνος τρόπος για να επιτύχουμε υψηλό ποσοστό ασφάλειας είναι η ανάπτυξη ολοκληρωμένων μηχανισμών που να αναλαμβάνουν την ασφάλεια του συνόλου του δικτύου, κάτι που είναι ιδιαίτερα δύσκολο αν αναλογιστεί κανείς την ύπαρξη ετερογενών δικτύων.

Επιπλέον πρέπει να αναφερθεί ότι η ασφάλεια στα δίκτυα θα πρέπει να έχει και φραγμούς. Για παράδειγμα το κόστος είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος δηλαδή οι μηχανισμοί ασφαλείας να έχουν χαμηλό κόστος. Σε αντίθετη περίπτωση το κόστος θα έχει αντίκτυπο στον χρήστη-πελάτη. Επίσης, πολύ σημαντική παράμετρος είναι η διαθεσιμότητα του δικτύου. Πέρα από την ασφάλεια του δικτύου θα πρέπει να μην διακόπτεται η ροή της λειτουργίας του. Τέλος, η σημαντικότερη παράμετρος είναι η ποιότητα υπηρεσιών που δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να είναι χαμηλή. Η επιτυχημένη ασφάλεια των 4G δικτύων θα είναι κληρονομιά για τις επόμενες γενιές δικτύων ενώ εάν συμβεί το αντίθετο τα 4G δίκτυα θα θεωρούνται αποτυχημένα.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθούμε πιο συγκεκριμένα και από τεχνικής άποψης όσον αφορά την ασφάλεια των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς της κινητής τηλεφωνίας. Αρχικά, πρέπει να αναφέρουμε ότι σημαντικό ρόλο στην ασφάλεια θα έχουν οι φορείς εκμετάλλευσης των κινητών δικτύων ή αλλιώς πάροχοι (π.χ. Cosmote, Vodafone, Wind,...). Συνεπώς θα πρέπει οι πάροχοι να συγκροτήσουν ένα τμήμα που να αφορά τη διαχείριση ασφαλείας για την 4<sup>η</sup> γενιά δικτύων. Η αρχιτεκτονική ασφαλείας των δικτύων 4G LTE έχει γνωστά τρωτά σημεία στην ασφάλειά της και αυτό συμβαίνει διότι κάνει χρήση πρωτοκόλλου διαδικτύου (IP) με βάση τις αδυναμίες ασφαλείας. Η 3GPP έχει συμπεριλάβει την ασφάλεια στην εξέλιξη της αρχιτεκτονικής του συστήματός της από την ίδρυσή της, όμως υπάρχουν πολλές διαφορετικές απόψεις από τους παρόχους. Από την άποψη της παροχής υπηρεσιών και εργασιών από τους φορείς τους δίνεται η δυνατότητα να διαχειριστούν και το LTE και το IP. Αυτό οδηγεί σε πολύπλοκες απαιτήσεις διαχείρισης της ασφάλειας για τους φορείς. Στη

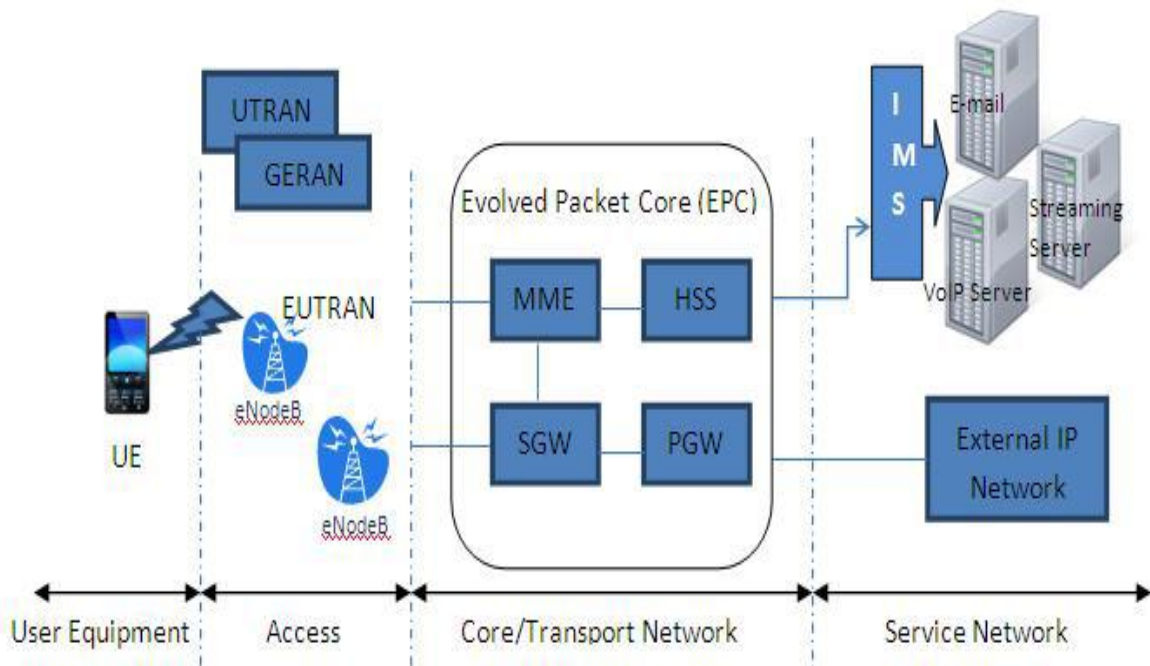
συνέχεια θα αναφερθούμε σε ένα ευρύ φάσμα για τα ζητήματα ασφάλειας των παρόχων που πρέπει να εξετάστον κατά τη λειτουργία των δικτύων 4G LTE.

### 3.4.1 Ασφάλεια του δικτύου 4G από τη μεριά των παρόχων

Αρχικά το LTE είναι σχεδιασμένο με ισχυρές κρυπτογραφικές τεχνικές και αμοιβαία πιστοποίηση μεταξύ των στοιχείων του δικτύου LTE με τους μηχανισμούς ασφαλείας που είναι ενσωματωμένοι στην αρχιτεκτονική του. Ωστόσο, αξιόπιστοι οργανισμοί του κλάδου έχουν εντοπίσει τρωτά σημεία στην ασφαλεία του δικτύου. Η μεγαλύτερη καινοτομία που έχουν φέρει τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι το «all-in-IP». Αυτό συνεπάγεται ότι οι επιτιθέμενοι μπορούν να στοχεύσουν φορητές συσκευές και τα δίκτυα με το spam, υποκλοπές, κακόβουλο λογισμικό, IP-πλαστογράφιση δεδομένων και την κλοπή υπηρεσίας, DDoS επιθέσεις και πολλές άλλες παραλλαγές των επιθέσεων στον κυβερνοχώρο. Από την άλλη μεριά οι πάροχοι επικεντρώνονται στην αύξηση της κερδοφορίας των επιχειρήσεων με 4G εφαρμογές και υπηρεσίες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι χρήστες να είναι ευάλλωτοι σε κακόβουλες ενέργειες, επιθέσεις. Άρα σημαντικό ρόλο για την ασφαλεία των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς έχει η επένδυση των παρόχων στην ασφαλεία των συστημάτων τους. Η αρχιτεκτονική του 4G LTE που αναπτύχθηκε από το 3GPP, λαμβάνοντας υπόψη τις αρχές της ασφαλείας από την έναρξή της και ο σχεδιασμός της βασίζεται σε πέντε ομάδες ασφαλείας:

1. Την ασφαλεία της πρόσβασης στο δίκτυο, για την παροχή ασφαλούς πρόσβασης στην υπηρεσία από τον χρήστη.
2. Τομέας ασφαλείας δικτύου, για την προστασία των στοιχείων-δεδομένων του δικτύου και την εξασφάλιση σηματοδότησης και ανταλλαγής δεδομένων των χρηστών.
3. Τομέας ασφαλείας χρήστη, για τον έλεγχο της ασφαλούς πρόσβασης σε κινητούς σταθμούς.
4. Τομέας ασφαλείας εφαρμογών, για τη δημιουργία ασφαλών επικοινωνιών μέσω του στρώματος εφαρμογής.
5. Προβολή και διαμόρφωση της ασφαλείας, δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να ελέγξει αν τα χαρακτηριστικά ασφαλείας είναι σε λειτουργία.

Κατά την εξέταση της αρχιτεκτονικής του 4G LTE, η 3GPP, η NGMN και η διεθνή ένωση τηλεπικοινωνιών (ITU) έχουν εντοπίσει αδυναμίες στην ασφαλεία των δικτύων και τις προτεινόμενες στρατηγικές αντιμετώπισης των αδυναμιών. Η εξέταση και η εφαρμογή των μέτρων ενίσχυσης της ασφαλείας αφορά κατά κύριο λόγο τους φορείς εκμετάλλευσης των κινητών δικτύων. Ως εκ τούτου, η ασφαλεία των δικτύων και των υπηρεσιών LTE θα ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των παρόχων. Στο άμεσο μέλλον θα διαδραματίσει πολύ σημαντικό ρόλο η ασφαλεία των δικτύων και θα είναι πολύ δύσκολο για τους παρόχους να φτάσουν σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Δύσκολο διότι υπάρχει μια ποικιλία προτύπων ασφαλείας διαφορετικά σε κάθε χρήστη, ένα περιβάλλον χρηστών όπου όλο και αυξάνεται όπως και οι επιτιθέμενοι στο δίκτυο.



Εικόνα 3.9 Βασική Αρχιτεκτονική LTE/SAE

Στην εικόνα που βλέπουμε παραπάνω αποδίδεται η αρχιτεκτονική του LTE 4G μοντέλου που είναι χωρισμένο στην συσκευή του χρήστη (UE) ,στην πρόσβαση (Access), στον διαβιβαστή πακετών του δικτύου (EPC) και τέλος το δίκτυο μεταφορών και υπηρεσιών. Εν συνεχεία θα γίνει ανάλυση και των τεσσάρων κατηγοριών παραθέτοντας και αναλύοντας πιθανούς κινδύνους αλλά και δίνοντας μια πιθανή λύση.

<b>User Equipment</b>	
<b>Κίνδυνοι</b>	<b>Αντιμετώπιση</b>
Φυσικές επιθέσεις	Ενημέρωση χρήστη
Η έλλειψη προτύπων ασφαλείας και ελέγχων	Δημιουργία προτύπων ασφαλείας
Κίνδυνος απώλειας δεδομένων, απορρήτου	Ισχυρή πιστοποίηση, εξουσιοδότηση, κρυπτογράφηση
Επίπεδο εφαρμογών Virus Malwares	Anti-Virus

Πίνακας 3.10 Κίνδυνοι και τρόποι αντιμετώπισης στο επίπεδο χρήστη



**Συσκευή του χρήστη (UE):** UEs είναι οι συσκευές των συνδρομητών που τις χρησιμοποιούν ώστε να συνδεθούν στο δίκτυο LTE και το σημείο αυτό είναι η αγχύλειος φτέρνα όσον αφορά την ασφάλεια για την αρχιτεκτονική του LTE.

Οι κίνδυνοι που εγκυμονούν οι UEs για το δίκτυο LTE είναι φυσικές επιθέσεις, η έλλειψη προτύπων ασφαλείας και ελέγχων στα Ues, κίνδυνος απώλειας δεδομένων και προσβολή είτε από Virus είτε από Malwares είτε από Phishing.

Όταν αναφέρομαι σε φυσική επίθεση εννοώ για παράδειγμα μια συσκευή ενός συνδρομητή να κάνει συνεχώς κλήση και εν συνεχεία απόρριψη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται πόροι του ραδιοφάσματος στο κελί και να επηρεαστεί αρνητικά η απόδοση του δικτύου. Κάτι τέτοιο φυσικά θα μπορούσε να είναι καταστροφικό σε περίπτωση που υπήρχαν αρκετές συσκευές σε ένα κελί όπου να κάνουν την ίδια ενέργεια συνεχώς.

Τρόπος αντιμετώπισης των παραπάνω κινδύνων ασφαλείας είναι να γίνει καταρχήν ενημέρωση των χρηστών σε περίπτωση που αντιληφθούν πρόβλημα είτε στην συσκευή τους είτε στο δίκτυο. Βέβαια ο προφανής τρόπος είναι να γίνεται αναγνώριση συμφόρησης κυκλοφορίας δεδομένων μέσα στο δίκτυο από μια μηχανή ελέγχου όπου θα απομακρύνει (στερεί το σήμα) συσκευές με τέτοιου είδους «συμπεριφορές» από το δίκτυο.

Εν συνεχεία έχουμε την έλλειψη προτύπων ασφαλείας και ελέγχων στις συσκευές. Στις μέρες μας υπάρχει μια πληθώρα έξυπνων τηλεφώνων, tablet και άλλων συσκευών που κάνουν χρήση του δικτύου 4G LTE από πολλούς κατασκευαστές, με διαφορετικά και ανοικτά λειτουργικά συστήματα (OS) και λογισμικά, όπου συνδέονται στο δίκτυο LTE. Επιπλέον, οι περισσότερες συσκευές, στερούνται εργαλεία διαχείρισης της ασφάλειας. Οι πάροχοι επιλέγουν να επιτρέψουν σε "απροστάτευτες" συσκευές να συνδεθούν στο δίκτυό τους με αποτέλεσμα να παρέχουν ένα σημείο εισόδου για επιτιθέμενους.

Ο τρόπος για να ανταπεξέλθουν οι πάροχοι και κατεπέκταση το δίκτυο σε τέτοιου είδους κινδύνους είναι να δημιουργηθούν πιο ισχυρά πρότυπα πιστοποίησης εξουσιοδότησης και κρυπτογράφησης. Η UE, πρέπει να διαθέτει ισχυρούς μηχανισμούς ελέγχου ταυτότητας για την επαλήθευση πρόσβασης των χρηστών στην συσκευή.

Επιπροσθέτως ένας άλλος κίνδυνος για τις συσκευές χρήστη (UEs) είναι η απώλεια δεδομένων και απορρήτου. Έρευνες λένε ότι το 90% των κωδικών πρόσβασης των χρηστών σε συσκευές LTE είναι ευάλωτες στις επιθέσεις. Ένας εισβολέας μπορεί να έχει πρόσβαση στα δεδομένα του χρήστη, και να αποσπάσει πληροφορίες όσον αφορά την ταυτότητα του, την οικονομική του κατάσταση και γενικότερα να έχει πρόσβαση σε λογαριασμούς του χρήστη. Η απώλεια δεδομένων και απορρητού μπορεί να καταπολεμηθεί με μηχανισμό πιστοποίησης του χρήστη όπου θα του επιτρέπει την πρόσβαση σε ευαίσθητα στοιχεία μόνο εάν έχει επαληθευτεί η ταυτότητα του χρήστη. Επίσης από τη μεριά τους οι κατασκευαστές μπορούν να δώσουν τη δυνατότητα στο χρήστη να διαχειριστεί τα αρχεία του δυναμικά, δηλαδή να μην επιτρέπει σε μια εικόνα ή ένα έγγραφο να αλλαχτεί, να μετακινηθεί σε άλλο φάκελο αλλά το μόνο που μπορεί να κάνει να το διαβάσει ώστε να μειωθούν οι υποκλοπές. Πάντως αυτό είναι ένα πολύ λεπτό ζήτημα διότι θα πρέπει να συνεργαστούν οι εταιρείες κατασκευής τηλεφώνων, οι φορείς εκμετάλλευσης ασύρματων δικτύων αλλά και το LTE ώστε να υπάρξει ένα ολοκληρωτικό σύστημα ασφαλείας χωρίς τρωτά σημεία.

Ένας άλλος κίνδυνος για τις συσκευές είναι τα γνωστά σε όλους Virus Malwares και Phishing τα οποία υπάρχουν εδώ και αρκετά χρόνια. Κάθε φορά που ένας χρήστης κάνει λήψη εφαρμογών και περιεχομένου εκθέτει τη συσκευή του σε κινδύνους όπως virus,

malware, spam, phishing και παρόμοιες απειλές που φέρνουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα του λογισμικού της συσκευής, τη χρήση εύρους ζώνης του δικτύου και του συνδρομητή. Τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί κατά 4000% οι επιθέσεις στα κινητά τηλέφωνα και αναμένεται τώρα με το 4G να αυξηθούν. Για την προστασία του ο χρήστης θα πρέπει να χρησιμοποιεί Anti-Virus ή anti-malwares κάτι που θα μπορούσαν να το κάνουν και οι εταιρείες που παράγουν λογισμικό για κινητά τηλέφωνα. Βέβαια δεν τολμάει καμιά να το κάνει διότι σε μια τέτοια περίπτωση θα έχει πιο ακριβή τιμή με αποτέλεσμα να έχει πρόβλημα ανταγωνισμού.

Όπως βλέπουμε και στην εικόνα 3.9 μετά από το user equipment συναντάμε το Access (πρόσβαση) το οποίο αναλύουμε στη συνέχεια. Στον παρακάτω πίνακα παραθέτονται κίνδυνοι για την ασφάλεια του δικτύου και τρόποι για την αντιμετώπισή τους.

<b>Access</b>	
<b>Κίνδυνοι</b>	<b>Αντιμετώπιση</b>
<b>Υποκλοπές, MITM επιθέσεις, DoS</b>	Πιστοποίηση, εξουσιοδότηση, κρυπτογράφηση
<b>Ψεύτικος κόμβος</b>	Δίκτυο παρακολούθησης IPS συστήματα
<b>Παραβίαση απορρήτου</b>	Ασφάλεια αρχιτεκτονικής

**Πίνακας 3.11 Κίνδυνοι και τρόποι αντιμετώπισης στο επίπεδο πρόσβασης-εισόδου.**

Ψεύτικοι κόμβοι: Σε αντίθεση με τους προγενέστερους σταθμούς βάσης, οι μικρότεροι LTE κόμβοι δεν έχουν απαγορευτικό κόστος κατά συνέπεια είναι εφικτό να έχει κάποιος στην κατοχή του ένα αντίστοιχο κόμβο LTE. Επομένως οι εισβολείς μπορούν να εισάγουν ψεύτικο κόμβο στο δίκτυο LTE. Ο ψεύτικος κόμβος μπορεί να μιμηθεί τον κόμβο του διαχειριστή, και το σημείο τομής μετάδοσης φωνής και δεδομένων από το UE. Ο εισβολέας μπορεί στη συνέχεια να αφογκράζεται παθητικά ή να ανακατευθύνει την κίνηση του χρήστη σε ένα διαφορετικό δίκτυο. Αυτό το είδος κινδύνων αντιμετωπίζεται δραστικότερα με τα δίκτυα παρακολούθησης.

Δίκτυο παρακολούθησης είναι τα ασύρματα συστήματα ανίχνευσης εισβολής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση ψεύτικων κόμβων για την ασφάλεια του δικτύου. Αυτό συνεπάγεται πως οι πάροχοι για την ασφάλεια των δικτύων τους θα πρέπει να τα παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο. Είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα παραβιαστεί το σύστημα ασφαλείας, όμως το πιο σημαντικό είναι πόση ώρα θα παραμείνει, άρα στόχος είναι να εντοπίσουν και να καταπολεμηθούν όσο το δυνατόν γρηγορότερα οι επιθέσεις.

Υποκλοπές και MITM(Man-in-the-middle) επιθέσεις: Οι επιτιθέμενοι μπορούν να επωφεληθούν από μια γνωστή αδυναμία στο δίκτυο LTE όπου η ταυτότητα του χρήστη μεταβιβάζεται και εμφανίζεται χωρίς κρυπτογράφηση, σε μορφή απλού κειμένου μεταξύ του χρήστη και του κόμβου, κατά τη διάρκεια της αρχικής διαδικασίας. Αυτό επιτρέπει στον επιτιθέμενο να "ακούει" και να παρακολουθεί την κυτταρική τοποθεσία του χρήστη. Αυτό σημαίνει υποκλοπή προσωπικών στοιχείων, αναμετάδοση και σε άλλους χρήστες του δικτύου παρά τη θέληση του χρήστη.

Η 3GPP καθορίζει την ασφάλεια πρόσβασης στο TS 33.203 που περιλαμβάνει μηχανισμούς ελέγχου ταυτότητας που σχετίζονται με την προστασία και την κυκλοφορία μεταξύ των χρηστών και των δικτύων κορμού. Ισχυρή κρυπτογράφηση και ταυτοποίηση του χρήστη στον κόμβο θα αποτρέψει έναν μεγάλο αριθμό επιθέσεων στο δίκτυο. Η κωδικοποίηση πρέπει να εφαρμοστεί μεταξύ του χρήστη και του κόμβου για να αποτρέψει

τους hackers να εκμεταλλεύονται την IMSI τηλεειδοποίηση και ταυτοποίηση θέσης, προστατεύοντας έτσι τα τρωτά σημεία των συνδρομητών της ιδιωτικής ζωής και της ασφάλειας.

**Προστασία Προσωπικών Δεδομένων:** οι επιτιθέμενοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν μηχανισμούς εντοπισμού για να εντοπίσουν τηλέφωνα με την πολλαπλή αποστολή αιτήματος τηλεειδοποίησης και συσχετίζοντας την προσωρινή ταυτότητα (TMSI) του τηλεφώνου με την σελιδοποιημένη μόνιμη ταυτότητα IMSI. Επιπλέον οι επιτιθέμενοι μπορούν να προσδιορίσουν την παρουσία ενός συγκεκριμένου τηλεφώνου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Για την αντιμετώπιση τέτοιου είδους προβλημάτων, αλλαγές πρέπει να γίνουν στην αρχιτεκτονική σχεδίαση του δικτύου.

Οι πάροχοι πρέπει να εξετάσουν εκ των προτέρων την ασφάλεια στη φάση του σχεδιασμού του δικτύου και την αρχιτεκτονική επεκτασιμότητα των δικτύων που επιτρέπουν λειτουργίες ασφαλείας στα δίκτυα LTE.

Εν συνεχεία, θα μεταβούμε στο κομμάτι της Evolved packet core(EPC): Το EPC είναι ο πυρήνας του δικτύου LTE που διαχειρίζεται την ταυτοποίηση του χρήστη, το δικαίωμα πρόσβασης, την κατανομή διευθύνσεων IP σχετικά με την σηματοδότηση και την ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών (QoS) και την ασφάλεια.

<b>Core/Transport network</b>	
<b>Κίνδυνοι</b>	<b>Αντιμετώπιση</b>
<b>Μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση</b>	Αρχιτεκτονική Ασφαλείας: VPNs, VLANs
<b>DoS και DDoS επιθέσεις</b>	Κρυπτογράφηση, IKE / IPSec
<b>Επιθέσεις overbilling (διεύθυνση IP αεροπειρατεία)</b>	Παρακολούθηση του δικτύου, διαχείριση και εξισορρόπηση φορτίου

**Πίνακας 3.12 Κίνδυνοι και τρόποι αντιμετώπισης στο επίπεδο μεταβίβασης**

Ένας από τους κυριότερους κινδύνους που αντιμετωπίζουμε σε αυτό τον τομέα είναι η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Όσον αφορά την παράνομη πρόσβαση οι πάροχοι πρέπει να διασυνδέουν τα συστήματα πιστοποίησης της αυθεντικότητας τους ώστε να επιτρέπουν στους συνδρομητές να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, ακόμη και κατά την περιαγωγή. Μη αξιόπιστα συστήματα περιαγωγής πρέπει να συνδεθούν με το δίκτυο LTE MNOs ώστε να εξασφαλίζεται η συνέχεια των υπηρεσιών κατά την περιαγωγή.

**Αρχιτεκτονική Ασφάλειας:** Για την αντιμετώπιση των τρωτών σημείων που βασίζονται στο IP 3GPP συνιστά τη χρήση του IPSec. Η τελική απόφαση για την εφαρμογή ανάπτυξης IPSec είτε ελέγχου της κυκλοφορίας είτε του χρήστη ή και τα δύο είναι υποχρέωση του παρόχου. Η επόμενη γενιά του δικτύου κινητής τηλεφωνίας (NGMN) συνιστά τη χρήση VPNs με στόχο να εξασφαλίσει τη μετάδοση στον πυρήνα. Όπως επίσης προτείνεται, η χρήση των VLANs για το δίκτυο και τον διαχωρισμό της κυκλοφορίας ως μέτρο ασφαλείας. Αυτό θα απομονώσει την κίνηση σηματοδότησης σε συγκεκριμένες ζώνες του δικτύου ή διαδρομές, όπως ορίζεται από το VLAN. Αυτά τα μέτρα θα περιορίσουν τη ζημιά που έγινε από τους εισβολείς από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, υποκλοπές, πλαστογράφηση και άλλες επιθέσεις.

Δεδομένου ότι η αρχιτεκτονική LTE είναι επίπεδη (flat-architecture), όλη η κυκλοφορία σηματοδότησης που δημιουργείται στο EUTRAN ρέει στο MME. Αν το φορτίο σηματοδότησης είναι καλοήθης ή κακόβουλο μπορεί υπερβαίνει την προβλεπόμενη χωρητικότητα του MME, τότε η υπηρεσία μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο. Αυτό στην ουσία, είναι μια ευπάθεια που μπορεί να έχουν τα δίκτυα (επιθέσεις DoS).

Εξισορρόπηση φορτίου: Οι φορείς εκμετάλλευσης οφείλουν να προστατεύουν τα δίκτυά τους από αυξομειώσεις που απευθύνονται σε οποιοδήποτε από τα στοιχεία του EPC. Πολιτικές για την διαμόρφωση, και ιεράρχηση των όγκων κυκλοφορίας θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την πρόληψη της υπερφόρτωσης. Αυτές θα βοηθήσουν ώστε να μειωθούν οι επιθέσεις σε DoS / DDoS. Ο χειριστής μπορεί να εξετάσει τη διεξαγωγή χιπ χοπ από την ανάλυση των στοιχείων του δικτύου για τη διασφάλιση της ασφάλειας μεταξύ των στοιχείων. Ανάπτυξη της ασφάλειας πύλες, firewalls, IDS και IPS συνιστώνται από πολλούς πωλητές υποδομής.

Ένας εισβολέας μπορεί να κάνει χρήση της διεύθυνσης IP ενός άλλου και έτσι να χρεώνει το λογαριασμό του. Ο επιτιθέμενος στη συνέχεια χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες δεδομένων LTE σε βάρος του συνδρομητή. Εναλλακτικά, όταν μια διεύθυνση IP είναι εκ νέου σε άλλο συνδρομητή μπορεί να συμβεί overbilling επίθεση.

<b>Service Network</b>	
<b>Κίνδυνοι</b>	<b>Αντιμετώπιση</b>
<b>Μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση</b>	Ισχυροί αλγόριθμοι ταυτοποίησης
<b>Υπηρεσία επιθέσεις κατάχρηση, κλοπή της υπηρεσίας</b>	Ενεργοποίηση πρωτόκολλων ασφαλείας
<b>Spoof δίκτυο, αεροπειρατεία συνόδου</b>	Εφαρμογή ασφαλείας θυρών

**Πίνακας 3.13 Κίνδυνοι και τρόποι αντιμετώπισης στο επίπεδο υπηρεσιών του δικτύου**

Τέλος έχουμε τον τομέα του service network. Σύμφωνα με το 3GPP, υποσύστημα πολυμέσων IP (IMS) είναι ένας τρόπος για την επίτευξη των πολυμέσων (φωνή, βίντεο, δεδομένα κλπ) ανεξάρτητα από τον τύπο πρόσβασης, παροχής υπηρεσιών ή τη συσκευή του χρήστη που χρησιμοποιείται στην αρχιτεκτονική LTE. Διαχείριση ασφαλείας στην IMS είναι ιδιαίτερα σημαντική, δεδομένου ότι έχει επιπτώσεις σε QoS και τη δυνατότητα των εφαρμογών.

Η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση: Η ανοικτή και καταναμημένη αρχιτεκτονική του IMS δημιουργεί ένα πλήθος σημείων διανομής που πρέπει να διασφαλιστεί. Με την IP ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των παρόχων, με ποικιλόμορφη προσφορά υπηρεσιών και ποικίλα πρότυπα ασφαλείας είναι συχνά οι μη αξιόπιστες ζώνες που μπορεί να κάνουν τον πυρήνα του IMS ευάλωτο. Μεγάλος όγκος κίνησης πολυμέσικων δεδομένων χρειάζονται αξιόπιστους μηχανισμούς προστασίας από επιθέσεις στο διαδίκτυο.

Ασφάλεια των συνόρων: Η IMS πρέπει να έχει δίκτυο ασφαλείας των «συνόρων» για την προστασία από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση μέσω άλλων δικτύων. Οι συνδρομητές θα έχουν πρόσβαση στο IMS μέσω του διαδικτύου και αυτό το μη αξιόπιστο σημείο εισόδου,

πρέπει να προστατεύεται ιδιαίτερα. Οι πάροχοι πρέπει να εξασφαλίσουν και να ελέξουν τα σύνορά του δικτύου τους και να επενδύσουν σε υποδομές ασφάλειας όπως τα firewalls, το φιλτράρισμα πακέτων, μετάφραση διευθύνσεων VPN, και δυνατότητες κρυπτογράφησης.

Υπηρεσία επιθέσεων και κλοπή υπηρεσιών :η κατάχρηση και κλοπή της υπηρεσίας αποτελούν κίνδυνο όσον αφορά την εξυπηρέτηση των συνδρομητών και την απώλεια εσόδων για τον πάροχο. Η κατάχρηση της υπηρεσίας επιτυγχάνεται από τον συνδρομητή και κερδίζει περισσότερο προνόμιο υπηρεσίας από αυτές που διατίθενται για το χρήστη. Ένας από τους τρόπους κλοπής της υπηρεσίας επιτυγχάνεται από τη συσκευή του χρήστη που απελευθερώνει την καθιερωμένη ροή πολυμέσων μεταξύ του UE και IMS πυρήνα μετά από αίτηση Bye.

Ενεργοποίηση πρωτοκόλλων ασφαλείας: Τα πρωτόκολλα ασφαλείας προσφέρουν προστασία σε διάφορα επίπεδα, όπως ασφάλεια στο επίπεδο υποδοχής (SSL), ασφάλεια του στρώματος μεταφορών (TLS) και datagram TLS (DTLS). Ο φορέας εκμετάλλευσης πρέπει να σχεδιάσει τα δίκτυα και να επιτρέψει σταθερή λειτουργία με πρωτόκολλα ασφαλείας. Αυτά τα πρωτόκολλα επιτρέπουν ασφαλείς συνδέσεις για τη διαβίβαση των δεδομένων μεταξύ του UE και της υπηρεσίας IMS.

Οι λόγοι που υπάρχουν οι παραπάνω κίνδυνοι στην ασφάλεια του δικτύου και του χρήστη είναι:

- **Κατανεμημένο δίκτυο ανοικτής αρχιτεκτονικής**
- **Σύνθετα επιχειρηματικά μοντέλα (IS / υπηρεσία κοινής χρήσης)**
- **Αποκεντρωμένη ευθύνη για την ασφάλεια**
- **Ελαχιστοποίηση σε δαπάνες ασφάλειας**

**Κατανεμημένο δίκτυο και την ανοικτή αρχιτεκτονική(Distributed network & open Architecture):** Η 4G LTE αρχιτεκτονική δίνει με αυτό ένα τέλος στο διαχωρισμό δικτύων που ανήκουν και λειτουργούν από έναν μόνο πάροχο και με την ασφάλεια που τη συνοδεύει. Με κληρονομιά τις τεχνολογίες, οι φορείς εκμετάλλευσης θα μπορούσαν να επιβάλουν πολιτικές ασφάλειας για τη δική τους υποδομή, την εξασφάλιση της περιμέτρου τους και να είναι εύλογη βεβαιότητα ότι ένας συνδρομητής, ενώ είναι στην πλατφόρμα τους προστατεύει. Ως αποτέλεσμα, οι συμμετέχοντες ΠΔΚ στην αγορά LTE, μοιράζονται τους κινδύνους για την ασφάλεια και απειλές για τις αντίστοιχες υποδομές και υπηρεσίες που είναι διασυνδεδεμένες μέσα σε μια υπηρεσία παροχής δικτύου. Κατανεμημένο δίκτυο και ανοικτή αρχιτεκτονική επιτρέπει την αδύναμη προστασία σε μια συσκευή ή διεπαφή που παρέχει το σημείο εισόδου για εισβολείς που επιθυμούν να θέσουν σε κίνδυνο το δίκτυο LTE.

**Συγκρότημα επιχειρηματικά μοντέλα με τις υποδομές (IS) και την κατανομή των υπηρεσιών(Complex business models with infrastructure (IS) and service sharing):** Το LTE προσφέρει δυνατότητες κοινής χρήσης δικτύου που παρουσιάζουν νέα επιχειρηματικά

μοντέλα για τους παρόχους. Η υπηρεσία θα μπορούσε να προσφερθεί στους τελικούς πελάτες μέσω ενός εικονικού δικτύου, όπου ένας πάροχος κατέχει το E-UTRAN, ενώ ένας άλλος πάροχος κατέχει το MMES. Το κόστος παροχών θα οδηγήσει τους παρόχους σε διάφορα μοντέλα κοινής χρήσης υποδομών με νέες πηγές εσόδων και κοινή χρήση επιχειρηματικών μοντέλων. Αυτοί οι τύποι των ρυθμίσεων LTE φέρουν μαζί τους προκλήσεις όπως διασφάλιση της συνεπούς ασφάλειας και διαχείρισης της ασφάλειας σε όλους τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων. Πολλαπλοί πάροχοι με ποικίλους ελέγχους ασφαλείας και τα πρότυπα διασύνδεσης με κοινόχρηστη βάση των στοιχείων-δεδομένων του δικτύου που αποτελούν απειλή για τα επίπεδα ασφάλειας.

**Αποκεντρωμένη ευθύνη(Decentralised accountability):** Οι πάροχοι που επιθυμούν να παρουσιάσουν end to end επίπεδα ασφάλειας για τους συνδρομητές που θα βρουν προβληματικό το γεγονός ότι ένας ενιαίος πάροχος δεν έχει μονομερή απόφαση πέρα από τον έλεγχο των παραμέτρων της ασφάλειας των δικτύων και των λειτουργιών LTE. Για παράδειγμα, τα πρότυπα ασφαλείας θα ποικίλουν ανάλογα με την παγκόσμια περιαγωγή ή την επιλογή της εφαρμογής, βασισμένο στις ρυθμίσεις ασφαλείας του φορέα παροχής υπηρεσιών της εφαρμογής. Αυτή η αποκεντρωμένη ευθύνη και ο ελλιπής έλεγχος σχετικά με την ασφάλεια της υπηρεσίας του LTE θα επιδεινωθούν αν φιλοξενούνται και υπηρεσίες cloud που διεισδύσουν στην αγορά δημιουργώντας νέα και σύνθετα μοντέλα λειτουργίας.

**Η ελαχιστοποίηση των δαπανών ασφαλείας(Minimising security spend):** Οι LTE φορείς γρήγορα αποθαρρύνονται από τα εκατομμύρια δολάρια που απαιτούνται για μια πλήρη εγκατάσταση IPSec μαζί με άλλες αναπτύξεις υποδομών ασφαλείας. Υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των σχεδίων του δικτύου των μεγάλων επιχειρήσεων και των μικρότερων φορέων με περιορισμένους πόρους.[33][34]

### 3.5 Υπηρεσίες δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς

Μερικές από τις υπηρεσίες που προσφέρουν τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς, συναντώνται ήδη σε εκείνες της προηγούμενης, δηλαδή στα 3<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα. Η σημαντική διαφορά παρουσιάζεται στην καλύτερη ποιότητα και ταχύτητα. Λόγω της αύξησης των δυνατοτήτων των δικτύων, θα δοθεί η ευκαιρία στους χρήστες να παρακολουθήσουν υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση στα κινητά τους τηλέφωνα.

Τα 4<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα θα εισάγουν υπηρεσίες καινούριες για τον καταναλωτή, όπως αποτελεί η τηλεδιάσκεψη, η μετάδοση υψηλής ποιότητας βίντεο χωρίς να σημειώνονται διακοπές, η τεχνολογία VoIP και η υψηλής ταχύτητας μετάδοση δεδομένων. Η 4<sup>η</sup> γενιά δικτύων θα επιτρέπει την πανταχού κάλυψη υπηρεσιών και επικοινωνίας. Συγκεκριμένα, κάποιες από τις υπηρεσίες που θα αναλύσουμε παρακάτω είναι η τηλειατρική, η τηλεπαρουσία, οι ευφυείς αγορές, η εικονική πλοήγηση και η ασφάλεια.

1. **Τηλειατρική :** είναι μια επιστήμη που έχει γνωρίσει άνθηση τα τελευταία χρόνια, λόγω της σημαντικότητάς της και αναμένεται η βελτίωσή της με τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς.

Ένας τρόπος με τον οποίο θα επιτευχθεί αυτό, είναι η πρόσβαση σε ιατρικά αρχεία αλλά και η τηλεδιάσκεψη με ιατρούς ανά πάσα στιγμή, κάνοντας απλώς χρήση του κινητού τους τηλεφώνου.

2. **Τηλεπαρουσία** : είναι μια υπηρεσία, η οποία αποτελεί εξέλιξη των σημερινών συστημάτων τηλεδιάσκεψης. Οι χρήστες θα έχουν την αίσθηση ότι βρίσκονται στον χώρο όπου πραγματοποιείται η διάσκεψη. Αναφερόμαστε στην λεγόμενη εικονική πραγματικότητα. Η ιδέα αυτή υπάρχει εδώ και αρκετά χρόνια, όμως η υλοποίησή της οφείλεται στις δυνατότητες των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς.
3. **Ευφυείς αγορές** : Εισερχόμενος ο χρήστης σε ένα κατάστημα, θα έχει την δυνατότητα το τερματικό του να συνδέεται αυτόματα με τον πάροχο πληροφοριών του καταστήματος, ώστε να λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τα προϊόντα που πωλούνται. Δηλαδή, θα γίνεται ενημέρωση πληροφοριών στο κινητό τηλέφωνο του χρήστη σχετικά με τις τιμές, τις ποσότητες προϊόντων, τις υπάρχουσες προσφορές και όλες οι πληροφορίες αυτές θα δίνονται από μία βάση δεδομένων του καταστήματος.
4. **Εικονική πλοήγηση** : Μέχρι σήμερα, η μετάδοση από το ένα σημείο στο άλλο είχε ως περιορισμό την απόσταση και την κατεύθυνση των δρόμων. Με την εικονική πλοήγηση, εμπλουτίζεται η ήδη υπάρχουσα υπηρεσία με πληροφορίες, όπως η κίνηση στους δρόμους, ένα ατύχημα που μπορεί να έχει συμβεί ή τυχόν έργα που εκτελούνται. Επίσης, μπορεί να υπάρξει ενημέρωση όσον αφορά ιστορικά μνημεία, αξιοθέατα ή μουσεία στην επιλεγμένη διαδρομή.
5. **Ασφάλεια** : Η ασφάλεια των εφαρμογών είναι ένα αναγκαίο χαρακτηριστικό γνώρισμα των δικτύων, το οποίο σχετίζεται με την αξιοπιστία απέναντι στους χρήστες αλλά αποτελεί και έναν οικονομικό πόρο καθώς μέσα σε ένα ασφαλές δίκτυο μπορούν να πραγματοποιηθούν διαδικτυακές αγορές , διατραπεζικές πληρωμές, δηλαδή ηλεκτρονικές πληρωμές. Τέλος, ο τομέας των υπηρεσιών είναι εκείνος που θα αποσβέσει, θα επιφέρει με άλλα λόγια, τα κύρια έσοδα για την τεχνολογία - εξέλιξη των ασύρματων δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς.
6. **HD-Voice** : δεν είναι τίποτα άλλο από την τεχνολογία που υπήρχε και στα 3G δίκτυα, αλλά πλέον βελτιωμένο και με πολύ καλύτερη ποιότητα ήχου μέσω των 4G δικτύων. Ο υψηλής ευκρίνειας ήχος, είναι μια τεχνολογία η οποία απομονώνει τον θόρυβο από το περιβάλλον και επιτρέπει στην φωνή του ομιλητή να ακούγεται καλύτερα και ευκρινέστερα, δίχως παρεμβολές από το περιβάλλον. Αναγκαίο βέβαια είναι η συσκευή του χρήστη όπως και του συνομιλητή, να υποστηρίζει το HD-Voice και να είναι υπό την κάλυψη 4G δικτύου.
7. **Voip (Voice-over-IP)**: Ακόμη μια υπηρεσία που θα ενσωματωθεί στα 4G είναι εκείνη του Voip, η οποία έχει σχεδιαστεί εδώ και χρόνια αλλά τα δίκτυα 3G στα οποία είχε προγραμματιστεί να κάνει την εμφάνισή της, δεν είχαν τις κατάλληλες περγαμινές ώστε να την υποστηρίξουν. Η Voip είναι η τεχνική μετάδοσης της φωνής πάνω από δίκτυα IP, που μετασχημάτισε ουσιαστικά την τηλεφωνία έτσι ώστε αυτή να γίνει μια IP δικτυακή εφαρμογή αλλά και τις τηλεφωνικές συσκευές να είναι πλέον σταθμοί ενός τοπικού δικτύου Ethernet όπως και οι υπολογιστές. Πλέον συναντάμε παντού συστήματα που ενωποιούν τηλεφωνία, video-conference, video mail, σύντομα μηνύματα και οποιοδήποτε multimedia περιεχόμενο από διάφορα πληροφοριακά συστήματα προσφέροντας ολοκληρωμένη επικοινωνία μεταξύ των χρηστών. Όσον

αφορά τη λειτουργία των συστημάτων Voip η βασική αρχή τους είναι ο κατακερματισμός του αναλογικού τμήματος της φωνής σε διαδοχικά τμήματα συγκεκριμένης μικρής διάρκειας τα οποία στη συνέχεια ψηφιοποιούνται και συμπιέζονται ώστε κάθε τέτοιο δείγμα να έχει μικρό μήκος σε byte για να μπορεί να φορτωθεί πάνω σε IP πακέτα. Στη συνέχεια τα δίκτυα Ip μπορούν να μεταφέρουν πακέτα φωνής είτε μέσω των τοπικών δικτύων είτε μέσω των ρούτερ σε οποιοδήποτε αποδέκτη του INTERNET. Πολύ σημαντικό ρόλο έχει η ποιότητα της φωνής που μεταδίδεται ώστε να μην υπάρχει ηχώ ή επικάλυψη της φωνής, καθυστέρηση κωδικοποίησης, καθυστέρηση επεξεργασίας, καθυστέρηση δικτύου, αστάθεια καθυστέρησης και απώλεια πακετών. Το οποιοδήποτε πρόβλημα επιλύθηκε και τα συστήματα Voip μας προσφέρουν πλεονεκτήματα έναντι των μέχρι τώρα τεχνολογιών όπως :1) Μείωση κόστους σε ακριβές υπεραστικές κλήσεις, που γίνεται μέσω σύνδεσης INTERNET και είναι εφικτή η τηλεφωνική συνδιάλεξη με οποιονδήποτε χρήστη του διαδικτύου. 2)Αποδοτικότερη εκμετάλλευση κοινών δικτυακών πόρων δηλαδή ενοποιημένη μετάδοση φωνής-data. 3) Ενοποίηση εφαρμογών πληροφορικής και τηλεφωνίας με αναρίθμητες νέες εφαρμογές που αυξάνουν την παραγωγικότητα και αυτοματοποιούν διαδικασίες και λειτουργίες. 4)Ευελιξία από την χρήση του διαδικτύου ως προέκταση του τηλεφωνικού δικτύου. Γενικότερα οφέλη από τις ενοποιημένες Multimedia επικοινωνίες με νέες εφαρμογές. Για παράδειγμα κλήση από τηλέφωνο σε κάμερα εποπτείας για τον έλεγχο ασφάλειας. [35]



Εικόνα 3.14 4G στην καθημερινή μας ζωή



### 3.5.1 Ποιότητα υπηρεσιών δικτύων 4G

Η ποιότητα υπηρεσιών, όπως ορίστηκε, είναι ιδιαίτερα σημαντική στις περιπτώσεις εφαρμογών πραγματικού χρόνου (Real time), όπως για παράδειγμα αυτές που βασίζονται στο πρωτόκολλο VoIP (Voice over IP), στα παιχνίδια μέσω διαδικτύου που είναι συχνό φαινόμενο να είναι και αυτά πραγματικού χρόνου, την προβολή βίντεο και τηλεόρασης και άλλες εφαρμογές ή υπηρεσίες. Για να γίνει η ποιότητα υπηρεσιών πιο ρεαλιστική, τα δίκτυα δίνουν τη δυνατότητα στους διαχειριστές τους να κατανέμουν σωστά και αποδοτικά τους πόρους τους. Τα 4G δίκτυα λόγω του ετερογενούς χαρακτήρα τους, ουσιαστικά παρέχουν μια πλατφόρμα διαχείρισης των διαφόρων τεχνολογιών. Η παροχή ποιοτικών υπηρεσιών στα δίκτυα 4G είναι πολύ δύσκολο διότι χρήζει επίλυσης πολλών ζητημάτων σε διαφορετικές μεταξύ τους τεχνολογίες. Εξαιτίας της πιθανής μετακίνησης του χρήστη από δίκτυο σε δίκτυο κατά τη διάρκεια μιας κλήσης ή του «τρεξίματος» μιας εφαρμογής, η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από τον πάροχο της υπηρεσίας. Η μεγαλύτερη πρόκληση είναι η υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε ένα τέτοιο δίκτυο.

Αυτό είναι δύσκολο επίτευγμα γιατί δε μιλάμε πια για ενιαίες συνθήκες αλλά για μεταβλητούς ρυθμούς μετάδοσης, μεταβλητά χαρακτηριστικά καναλιών, μεταβλητή κατανομή εύρους ζώνης και γενικότερα απώλεια σταθερών συνθηκών λειτουργίας. Αναφορικά με την QoS των υπηρεσιών του ετερογενούς αυτού δικτύου, ορίζονται τέσσερα διαφορετικά επίπεδα. Έτσι έχουμε QoS σε επίπεδο πακέτου η οποία αφορά στη μεταβλητότητα καθυστέρησης (jitter), τη ρυθμοαπόδοση (throughput) και το ποσοστό λαθών, QoS σε επίπεδο συναλλαγής η οποία αφορά το χρόνο που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί μια συναλλαγή και στο ποσοστό απολεσθέντων πακέτων, QoS σε επίπεδο κυκλώματος που περιλαμβάνει την απόρριψη καινούριων ή ήδη υπαρχόντων κλήσεων και εξαρτάται κυρίως από την ικανότητα του δικτύου να εγκαταστήσει και να διατηρήσει το κύκλωμα σε όλη την έκτασή του και έχουμε, τέλος, QoS σε επίπεδο χρήστη που εξαρτάται από την κινητικότητα του χρήστη μέσα στη κυψέλη και το είδος της εφαρμογής.

### 3.6 Επόμενη γενιά δικτύων 5G

Οι έρευνες έχουν ήδη ξεκινήσει (8 Οκτωβρίου 2012) από το Κέντρο Έρευνας Επικοινωνιακών Συστημάτων του πανεπιστημίου του Surrey, που έχει εξασφαλίσει 35 εκατομμύρια λίρες για τον σκοπό αυτό, με κοινή χρηματοδότηση μεταξύ της βρετανικής κυβέρνησης και μιας κοινοπραξίας σημαντικών διεθνών φορέων εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας και παρόχων συμπεριλαμβανομένων Samsung, Telefonica Europe, Fujitsu Laboratories Europe όπου θα προσφερθούν τις υποδομές ώστε να γίνουν οι δοκιμές στις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας που επιθυμούν να αναπτύξουν ένα πρότυπο κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια και ραδιοφάσμα, ενώ παράλληλα παρέχει υψηλότερη ταχύτητα από τις σημερινές ταχύτητες 4G, με φιλοδοξία η νέα τεχνολογία να είναι έτοιμη μέσα στην επόμενη δεκαετία. Πλέον οδηγούμαστε στα 5ης γενιάς δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ή 5η γενιά ασύρματων συστημάτων (5G), όπου θεωρείται ως το επίπεδο τελειότητας της ασύρματης επικοινωνίας στην κινητή τεχνολογία. Τα κινητά δεν είναι μόνο

ένα εργαλείο-μέσο επικοινωνίας, αλλά εξυπηρετούν και πολλούς άλλους σκοπούς. Το 5G φέρνει μια νέα επαφή ώστε να καταστεί στη πραγματική ζωή, αναγκαία η χρήση κινητής συσκευής διότι μέσω αυτής εκτελείς ένα μέρος των εργασιών ενεργειών που κάνουμε καθημερινά. Ο επικεφαλής του προγράμματος αναφέρει ότι θα είμαστε σε θέση να χρησιμοποιήσουμε τις έξυπνες πόλεις, αυτοκίνητα χωρίς οδηγούς, χειρουργικές επεμβάσεις από απόσταση.// Το νέο δίκτυο 5G αναμένεται να βελτιώσει τις υπηρεσίες και εφαρμογές που προσφέρονται από αυτό. Η τεχνολογία αυτή θεωρεί τον χρήστη ως επίκεντρο, σε αντίθεση με τα 3G που έχουν τον χειριστή ως επίκεντρο ή τα 4G που έχουν την υπηρεσία ως το επίκεντρο. Η 5G κινητή τεχνολογία έχει αλλάξει τα μέσα που χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα σε πολύ υψηλό εύρος ζώνης. Οι 5G τεχνολογίες περιλαμβάνουν όλα τα είδη των προηγμένων χαρακτηριστικών που την κάνουν πιο ισχυρή και ανταγωνιστική στο προσεχές μέλλον. Τα τερματικά θα έχουν πρόσβαση σε διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες ταυτόχρονα και το τερματικό θα πρέπει να είναι σε θέση να συνδυάζει διαφορετικές ροές από διαφορετικές τεχνολογίες. Κάθε δίκτυο θα είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών, ενώ ο τερματικός σταθμός θα κάνει την τελική επιλογή μεταξύ των διαφόρων ασύρματων / κινητών παροχών πρόσβασης στο δίκτυο για μια συγκεκριμένη υπηρεσία. Η παραπάνω τεχνολογία πρόκειται να είναι μια νέα επανάσταση στην αγορά κινητής τηλεφωνίας. Μέσω της τεχνολογίας 5G, τώρα ο καθένας θα είναι σε θέση να χρησιμοποιεί σε όλο τον κόσμο τα κινητά. Πρόκειται για μία τεχνολογία που έχει εξαιρετικές δυνατότητες στα δεδομένα και έχει την ικανότητα να συνδέσει μαζί απεριόριστο όγκο κλήσεων και πολύ μεγάλο αριθμό δεδομένων να μεταδίδονται στο πιο πρόσφατο κινητό λειτουργικό σύστημα. Οι ταχύτητες των μελλοντικών δικτύων 5G θα είναι 100 φορές πιο υψηλές από τις σημερινές δηλαδή 800Gbps. Οι μπάντες θα είναι τρεις, με την πρώτη να αναμένεται σε χρήση το 2020, ενώ θα ακολουθήσουν οι άλλες δύο. Εταιρείες που σχετίζονται με την αναπτυσσόμενη τεχνολογία 5G αναφέρουν ότι μπορούν να βασιστούν σε αυτή για να κατασκευάσουν αυτοκίνητα χωρίς οδηγούς, τα οποία θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά και με τις συγκοινωνιακές υποδομές –οι οποίες επίσης θα χρησιμοποιούν 5G. Δηλαδή πλέον με το 5G θα μπορούμε να οραματιστούμε το μέλλον μας μέσα σε μια «έξυπνη -πόλη» όπου μια πληθώρα δεδομένων θα επεξεργάζονται σε σταθμούς βάσης και κατόπιν θα γίνονται προγραμματισμένες ενέργειες. Το μέλλον του 5G διαγράφεται λαμπρο αν αναλογιστεί κανείς ότι εταιρείες που είναι ανταγωνιστές σε άλλα πεδία, σκοπεύουν να συνεργαστούν σε ό,τι αφορά την ανάπτυξη της νέας αυτής τεχνολογίας.. Μπορεί να είναι στο μέλλον η τεχνολογία που θα αναλάβει την παγκόσμια αγορά.

### 3.6.1 Χαρακτηριστικά της 5<sup>ης</sup> γενιάς

Μερικά από τα χαρακτηριστικά των δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς που τα καθιστούν καινοτόμα στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και επικοινωνιών είναι τα παρακάτω:

- παρέχει έως και 25 Mbps ταχύτητα σύνδεσης
- λαμβάνει όλες τις υπηρεσίες παράδοσης από επιχειρηματική προοπτική
- υποστηρίζει εικονικό ιδιωτικό δίκτυο
- παρέχει εργαλεία-μηχανισμούς εποπτείας του συνδρομητή για γρήγορη δράση
- υψηλής ποιότητας υπηρεσίες βοηθούν στην αποφυγή σφαλμάτων
- προσφέρει απομακρυσμένη διάγνωση
- ο χρόνος αναμονής του 5G θα είναι 1ms

Πρέπει να σημειωθεί βέβαια ότι δεν έχουμε μια πλήρη εικόνα αυτή τη στιγμή για το πως ακριβώς θα είναι τα 5<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα επικοινωνιών όμως μπορούμε να στηριχθούμε πάνω σε κάποιες μελέτες που έχουν γίνει από μεγάλες εταιρείες και οργανισμούς του κλάδου των τηλεπικοινωνιών. Το 2014 για παράδειγμα η GSMHistory έδωσε 3 διαφορετικές «απεικονίσεις» του ασύρματου δικτύου 5G.

Η πρώτη ονομάζεται «εξαιρετικά αποδοτικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας»(super-efficient mobile network) το οποίο θα παρέχει καλύτερη απόδοση του δικτύου και χαμηλότερο κόστος επένδυσης. Δηλαδή το κόστος θα αυξάνεται ανάλογα με τον όγκο των δεδομένων που διακινούνται απο τον χρήστη.

Η δεύτερη ονομάζεται υπερ-γρήγορο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (super-fast mobile network) και περιλαμβάνει την επόμενη γενιά των μικρών κυττάρων που είναι πυκνά και συγκεντρώνονται για να δώσουν μία συνεχή κάλυψη τουλάχιστον των αστικών περιοχών και να πάρει τον κόσμο στο τελευταίο σύνορο της αληθινής "κινητικότητα ευρείας περιοχής." Αυτό θα απαιτήσει πρόσβαση σε ραδιοφάσμα κάτω των 4 GHz ίσως μέσω της πρώτης παγκοσμίως εκτέλεσης του Dynamic Spectrum Access.

Η τρίτη ονομάζεται converged fiber-wireless network η οποία χρησιμοποιεί για πρώτη φορά, ασύρματη πρόσβαση στο ίντερνετ, μόντες συχνοτήτων όπου το κάθε κανάλι απέχει χιλιοστά από το άλλο (20-60 GHz), έτσι ώστε να επιτρέπει το πολύ-μεγάλο εύρος ζώνης καναλιών και να είναι σε θέση να υποστηρίζει ταχύτητες πρόσβασης στα δεδομένα έως και 10 Gbit /s.[36][37][38]

## Συμπεράσματα

Μετά από τη μέλετη και την εκτενή ανάλυση των δικτύων επικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς, καταλήγω σε κάποια συμπεράσματα που έχουν να κάνουν με την τεχνολογία 4G, με το μέλλον των δικτύων επικοινωνιών και άλλα που θα αναφέρω στη συνέχεια.

Αρχικά τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς μας προσφέρουν υψηλότερες ταχύτητες από τα προγενέστερα, καθολική κάλυψη δικτύου(last mile), την δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων μέσω IP (all-in-IP). Λόγω των υψηλότερων ταχυτήτων καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών, δημιουργία καλύτερων εφαρμογών. Αυτά είναι τα χαρακτηριστικά που ένας χρήστης αντιλαμβάνεται όταν βρίσκεται μέσα σε ένα δίκτυο 4<sup>ης</sup> γενιάς. Όμως τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς διαδραματίζουν και έναν άλλο ρόλο στις τηλεπικοινωνίες.

Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς θα μπορούσα να χαρακτηρίσω ότι βρίσκονται στο χρονικό μεταίχιμο των δικτύων επικοινωνιών διότι από την μια μεριά βελτιώνει τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς από την άποψη του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, με αποτέλεσμα να είναι πιο προσιτές κάποιες υπηρεσίες όπου μέχρι πρότινος δεν ήταν εφικτές. Άρα σε αυτή τη περίπτωση έχουμε βελτίωση των δυνατοτήτων του δικτύου. Από την άλλη μεριά όμως εισάγει καινοτόμες τεχνολογίες όπως αυτο-οργάνωση κυψελών, χρήση Femtocell κυτάρρων τα οποία χρησιμοποιούνται στα ετερογενή δίκτυα αλλά και χαμηλότερη σπατάλη ενέργειας για τους σταθμούς βάσης. Αυτά είναι κάποια χαρακτηριστικά τα οποία ο χρήστης δεν τα καταλαβαίνει-αντιλαμβάνεται όμως είναι χαρακτηριστικά τα οποία είναι η βάση για τις επόμενες γενιές δικτύων. Συνεπώς τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι η μετάβαση από το παρόν στο μέλλον στις «έξυπνες πόλεις». Μετά το 2020 όπου θα ξεκινήσουμε να μεταβαίνουμε στα 5<sup>ης</sup> γενιας δίκτυα θα αλλάξει η υφή της πραγματικότητας. Η καθημερινότητα θα αλλάξει και όλα όσα θεωρούμε σήμερα αδύνατον να συμβούν τότε θα είναι η πραγματικότητα.

## Ορολογία ασύρματων δικτύων

Επειδή η πτυχιακή εργασία αναφέρεται στη μελέτη δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς και σε τεχνολογίες οι οποίες είτε υπάρχουν είτε έχουν σχεδιαστεί για μελλοντική χρήση φυσικό είναι ο αναγνώστης να μην έχει γνώση για αυτές. Για να κατανοεί εις βάθος αυτά που αναγράφονται ώστε να μπορεί να βγάλει και δικά του συμπεράσματα, έχω δημιουργήσει το παρακάτω εννοιολογικό λεξικό το οποίο θα ενημερώνει και θα ερμηνεύει τις τυχόν άγνωστες τεχνολογίες-υπηρεσίες .

### **1)AMPS (Advanced Mobile Phone Services),**

Η AMPS Inc.είναι μια εταιρεία που ήταν θυγατρική της AT&T. Η εταιρεία δημιουργήθηκε το 1978 με την κατασκευή και τη λειτουργία των νέων προηγμένων συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, με τη συντομογραφία AMPS. Η AMPS αναπτύχθηκε από τον Bell Labs για να αντικαταστήσει την παλιότερη τεχνολογία. Η AMPS κατασκεύασε ένα από τα πρώτα σύγχρονα κινητά τηλεφωνικά συστήματα, το οποίο παρέμεινε σε λειτουργία μέχρι το 2008.

### **2)Backhaul**

Σε ένα ιεραρχικό δίκτυο τηλεπικοινωνιών το τμήμα backhaul του δικτύου περιλαμβάνει τις ενδιάμεσες συνδέσεις μεταξύ του πυρήνα του δικτύου και των μικρότερων υποδίκτυων.

### **3) CDMA(Code division multiple access)**

Code division multiple access (CDMA) είναι μια μέθοδος πρόσβασης που χρησιμοποιείται από τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών.CDMA είναι πολλαπλής πρόσβασης, όπου αρκετοί πομποί μπορούν να στείλουν πληροφορίες ταυτόχρονα σε περισσότερα από ένα κανάλια επικοινωνίας.

### **4)CRC(Cyclic Redundancy Check)**

Ο CRC είναι ένας κώδικας ανίχνευσης λαθών που χρησιμοποιείται για να ανιχνεύει αλλαγές σε δεδομένα που δεν έχουν επεξεργαστεί ακόμα.

### **5)DCH(dedicated channel)**

Αποκλειστικό κανάλι το οποίο χρησιμοποιείται απο την τεχνολογία UMTS στα 4<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα και συγκεκριμένα σο release-12.

### **6)EDGE(Enhanced Data rates for Global Evolution)**

Το EDGE είναι ένα σύστημα βασισμένο σε πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου που προέρχεται από τα συστήματα GSM και IS-136 είναι συμβατό με αυτά και προσφέρει ταχύτητες μέχρι και 473 kbps. Το EDGE είχε χρησιμοποιηθεί και νωρίτερα στα 2ης γενιάς δίκτυα.

### **7)EPC(Envolved Packet Core)**

Envolved Packet Core (EPC) είναι ένα πλαίσιο για την παροχή υπηρεσιών φωνής και δεδομένων σε ένα δίκτυο 4G Long-Term Evolution (LTE).Επίσης το EPC είναι ο πυρήνας του δικτύου LTE που διαχειρίζεται την ταυτοποίηση του χρήστη, το δικαίωμα πρόσβασης και την κατανομή διεύθυνσης IP.

### **8)ETSI(European Technical Standards Institute)**

Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) είναι ένας ανεξάρτητος, μη κερδοσκοπικός, οργανισμός τυποποίησης στον τομέα των τηλεπικοινωνιών στην Ευρώπη, με παγκόσμια προβολή.Ο ETSI παράγει διεθνώς ισχύοντα πρότυπα για τις τεχνολογίες των πληροφοριών και των επικοινωνιών (ΤΠΕ), συμπεριλαμβανομένων της σταθερής τηλεφωνίας , κινητής τηλεφωνίας, καθώς και τις τεχνολογίες μετάδοσης του Internet.

### **9) E-UTRAN (Evolved UTRAN)**

Είναι το interface της 3GPP's για το LTE και στόχο έχει την αναβάθμιση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

### **10)FDD(Frequency-division-duplexing)**

Frequency-division duplexing σημαίνει ότι ο πομπός και ο δέκτης λειτουργούν σε διαφορετικές φέρουσες συχνότητες. Ο σταθμός πρέπει να είναι σε θέση να αποστέλλει και να λαμβάνει πληροφορίες ταυτόχρονα. και να το κάνει με ελαφρά μεταβολή της συχνότητας με την οποία στέλνει και λαμβάνει. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας ονομάζεται αμφίδρομη λειτουργία ή λειτουργία μετατόπισης.

### 11) Femtocells

Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, femtocell είναι ένα μικρό κελί-κυψέλη το οποίο είναι σχεδιασμένο για χαμηλής ενέργειας χρήση στο σπίτι ή μικρή επιχείρηση. Συνήθως το φάσμα ενός τυπικού σταθμού βάσης μπορεί να είναι μέχρι 35 χιλιόμετρα (22 μίλια), ενός microcell είναι μικρότερη από δύο χιλιόμετρα, ενός picocell είναι 200 μέτρα ή μικρότερη και του femtocell είναι της τάξης των 10 μ..

### 12) Forward Link(FL)

Forward link είναι η σύνδεση ενός σταθμού βάσης με έναν χρήστη ο οποίος κινείται. Εάν για την σύνδεση αυτή χρειαστεί δορυφορική αναμετάδοση τότε το forward link θα αποτελείται από δύο ανερχόμενες ζεύξεις και μια κατερχόμενη.

### 13)Full Duplex(Ταυτόχρονα αμφίδρομη)

Στη μορφή αυτής της επικοινωνίας τα data μεταδίδονται ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις, εργάζονται δηλαδή ταυτόχρονα οι πομποί και οι δέκτες των δύο ανταποκριτών. Είναι για παράδειγμα σαν τον δρόμο διπλής κατεύθυνσης όπου τα αυτοκίνητα μπορούν και κινούνται και προς τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα και έτσι στην περίπτωση full duplex επικοινωνίας δεν υπάρχει turnaround time.

### 14)GPRS (General Packet Radio Services)

General packet radio service (GPRS) είναι μια τεχνολογία προσανατολισμένη στη μετάδοση πακέτων δεδομένων με αποτέλεσμα αυτό να δίνει την δυνατότητα να έχουμε και INTERNET μέχρι και 60 kbits/sec. Το Gprs υλοποιήθηκε από τον ETSI αλλά σήμερα χρησιμοποιείται και εξελίσσεται από την 3GPP. Το GPRS χρησιμοποιήθηκε από τα 2.5G και 3G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

### 15)GSM (Global System for Mobile)

Το GSM είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων. Το πρότυπο GSM δεν είναι μόνο Ευρωπαϊκό πρότυπο, αφού υιοθετήθηκε από πολλές άλλες χώρες των άλλων Ηπείρων, εκμεταλλευόμενο διάφορες ζώνες συχνοτήτων όπως την GSM 900,GSM 1800,GSM 1900 και την E(extended)-GSM 900.

**16)Half duplex**

Στην περίπτωση αυτή η επικοινωνία στο κανάλι μετάδοσης μπορεί να διεξάγεται είτε προς τη μια κατεύθυνση είτε προς την άλλη αλλά όχι ταυτόχρονα. Η ροή των δεδομένων στο κανάλι επικοινωνίας αλλάζει κατεύθυνση ανάλογα με το ποιος είναι κάθε φορά πομπός και ποιος ο δέκτης. Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου απαιτείται εναλλαγή της πληροφορίας.

**17)Handover**

Στα κυψελοειδή τηλεπικοινωνιακά συστήματα, ο όρος handover αναφέρεται στη διαδικασία μεταβίβασης της τρέχουσας κλήσης ή δεδομένων από ένα κανάλι-κυψέλη που συνδέεται με το δίκτυο πυρήνα σε άλλο κανάλι-κυψέλη.

**18)Handoff**

Handoff είναι η διαδικασία αλλαγής καναλιού μιας συσκευής όταν εξέρχεται από τα όρια μιας κυψέλης και εισέρχεται σε μια άλλη ενώ η διαδικασία της κλήσης είναι ακόμα σε εξέλιξη.

**19)HNB(Home Node B)**

Ένα από τα στοιχεία της 3<sup>ης</sup> γενιάς δικτύων είναι το HNB. Ένα femtocell εκτελεί πολλές λειτουργίες του κόμβου B, αλλά είναι βελτιστοποιημένη για χρήση μέσα σε εσωτερικούς χώρους και για μικρή κάλυψη hotspot.

**20)HSCSD (High Speed Circuit- Switched Data)**

Υψηλή ταχύτητα μεταγωγής κυκλώματος δεδομένων (HSCSD), είναι μια βελτίωση του κυκλώματος μεταγωγής δεδομένων (CSD), όπου είναι ο μηχανισμός μετάδοσης δεδομένων της κινητής τηλεφωνίας του GSM συστήματος. Πλέον το HSCSD είναι τέσσερις έως έξι φορές ταχύτερο από το CSD, με ρυθμούς δεδομένων έως 57,6 kbit/s.

**21)HSPA(High Speed Access Packet)**

Το Hspa είναι μια τεχνολογία η οποία αναπτύχθηκε το 2010 και στόχο είχε την γρηγορότερη μεταγωγή πακετών στα δίκτυα 3ης γενιάς. Μεταγωγή πακετών και για Upload αλλά και για download. Τα πρωτόκολλα αυτά ονομάζονται HSUPA και HSDPA αντίστοιχα.



Επιπλέον χαρακτηριστικό του HSPA είναι ότι αυξάνει την ταχύτητα του στα download στα 14 Mbit/s και του upload στα 7,6 Mbit/s.

## **22) IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced)**

Είναι οι απαιτήσεις που εκδίδονται από την ITU-R της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU), το 2008 για το τι κυκλοφορεί ως 4G κινητό τηλέφωνο και όσον αφορά τη πρόσβαση στο internet. Για παράδειγμα οι απαιτήσεις για τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι να παρέχει μια ολοκληρωμένη ασφάλεια σε όλους, all-in-IP mobile broadband, όπου αφορά φορητούς υπολογιστές, ασύρματα modems, έξυπνα τηλέφωνα, και άλλες φορητές συσκευές. Εγκαταστάσεις για ultra-broadband Internet, IP Τηλεφωνία, παιχνίδια, και streaming multimedia μπορούν να παρέχονται στους χρήστες.

## **23) LIPA(Local IP Access)/SIPTO(Selected Internet IP Traffic Offload)**

Το LIPA είναι για IP δίκτυα με μέγεθος κατοικίας / επιχείρησης, και ισχύει μόνο για εσωτερικούς χώρους και για femtocell και picocell δίκτυα, ενώ η SIPTO είναι για πρόσβαση στο Διαδίκτυο και στις δύο femtocell και macrocell ρυθμίσεις.

## **24)MBMS(Multimedia Broadcast Multicast Service)**

Είναι μια προδιαγραφή point-to-multipoint interface για τα υφιστάμενα και επερχόμενα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, η οποία έχει σχεδιαστεί για να παρέχει αποτελεσματική παράδοση της μετάδοσης και πολλαπλής διανομής υπηρεσιών, τόσο στο εσωτερικό ενός κυττάρου, καθώς και μέσα στον πυρήνα του δικτύου.

## **25)M2M(Machine to Machine)**

Μηχάνημα σε μηχάνημα αναφέρεται σε τεχνολογίες που επιτρέπουν την ασύρματη και ενσύρματη επικοινωνία συστημάτων με άλλες συσκευές του ίδιου τύπου. Μηχάνημα σε μηχάνημα είναι ένας ευρύς όρος, δεδομένου ότι δεν εντοπίζει συγκεκριμένο ασύρματο ή ενσύρματο δίκτυο επικοινωνιών ή πληροφοριών.

## **26)MME(mobility management entity)**

Πρόκειται για τη μονάδα που επεξεργάζεται τη σηματοδότηση μεταξύ της συσκευής χρήστη και του κύριου δικτύου. Είναι υπεύθυνο για την πρόσβαση στο δίκτυο

LTE. Επίσης σε περίπτωση αδρανοποίησης μιας συσκευής είναι υπεύθυνο για τον εντοπισμό, τη διαδικασία σελιδοποίησης συμπεριλαμβανομένων των αναμεταδόσεων

### **27) Multipath Diversity Gain**

Είναι μια τεχνική η οποία χρησιμοποιείται από της έξυπνες κεραιές MIMO το οποίο στηρίζεται στις πολλαπλές διαδρομές αλλά και στο κέρδος μέσω της πολυμορφίας

### **28) PAPR (Peak to Average Power Ratio)**

Το PAPR είναι η μέγιστη τιμή της μέσης ισχύος μετάδοσης. Είναι μέτρο αξιολόγησης μιας μετάδοσης όπως της OFDM και της SC-OFDM. Τα OFDM σήματα έχουν υψηλότερο μέγιστο από τη μέση αναλογία. Ο λόγος που συμβαίνει είναι ότι στο πεδίο του χρόνου ένα πολλαπλό σήμα είναι το άθροισμα πολλών σημάτων στενής ζώνης. Μερικές φορές το άθροισμα είναι μεγάλο και κάποιες άλλες φορές το άθροισμα είναι μικρό αυτό συμβαίνει διότι η μέγιστη τιμή του σήματος είναι ουσιαστικά μεγαλύτερη από την μέση τιμή. Αυτό το υψηλό PAPR είναι ένα από τις πιο σημαντικές προκλήσεις στην υλοποίηση που αντιμετωπίζει το OFDM γιατί μειώνει την αποδοτικότητα και ως εκ τούτου αυξάνεται το κόστος των ενισχυτών ισχύος RF που είναι ένα από τα πιο ακριβά εξαρτήματα. Αλλιώς ο ίδιος ενισχυτής ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά η ισχύς εισόδου στο PA πρέπει να μειωθεί. Αυτό είναι γνωστό σαν είσοδος υποχώρησης και τα αποτελέσματα είναι χαμηλότερα του μέσου όρου του σηματοθορυβικού λόγου στον δέκτη και ως εκ τούτου μειώνεται η εμβέλεια.

### **29) PGW (Public Data Network Gateway)**

Η πύλη παρέχει συνδεσιμότητα από την συσκευή του χρήστη σε εξωτερικά δίκτυα πακέτων δεδομένων με το να είναι το σημείο εισόδου και εξόδου της κυκλοφορίας για τη συσκευή του χρήστη. Ένα UE μπορεί να έχει ταυτόχρονα συνδεσιμότητα με περισσότερα από ένα PGW για την πρόσβαση σε πολλαπλά δίκτυα.

### **30) Picocell**

Ένα picocell είναι ένα μικρό κινητό σταθμό βάσης που συνήθως καλύπτει μια μικρή περιοχή, όπως ένα κτίριο (γραφεία, εμπορικά κέντρα, σταθμούς τρένων, κ.λπ.), ή πιο πρόσφατα σε αεροσκάφη. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε κυψελωτά δίκτυα για την επέκταση της κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους όπου εξωτερικά σήματα δεν φτάνουν καλά, ή να προσθέσετε χωρητικότητα του δικτύου σε περιοχές με πολύ πυκνή τηλεφωνική χρήση, όπως σταθμούς τρένων ή στάδια. Τα Picocells παρέχουν κάλυψη και χωρητικότητα σε περιοχές

που είναι δύσκολη ή δαπανηρή η πρόσβαση χρησιμοποιώντας τις πιο παραδοσιακές macrocell. Ένα picocell έχει ακτίνα 200 μέτρα

### **31) PMCH(Physical Multicast Channel)**

Το κανάλι αυτό καθορίζει το φυσικό στρώμα για τη μετάδοση πολυμέσων και υπηρεσιών Multicast (MBMS). Το PMCH έχει σχεδιαστεί για μία συχνότητα δικτύου και απαιτεί ότι οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν με αυστηρό συγχρονισμό της ώρας τα ίδια διαμορφωμένα σύμβολα.

### **32) PMI (Precoding Matrix Index)**

Το PMI χρησιμοποιείται για να βελτιστοποιήσει την κατανομή των πόρων μεταξύ των διαφόρων συσκευών τελικού χρήστη (UEs) που ζητούν την υπηρεσία. Πιο αποδοτική χρήση των πόρων σημαίνει ότι ένα σύστημα μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους χρήστες ταυτόχρονα.

### **33) PDSCH(Physical downlink shared channel)**

Είναι ένα φυσικό κανάλι που βρίσκεται στην καθοδική ζεύξη του LTE.

### **34) PUSCH(Physical uplink shared channel)**

Είναι ένα φυσικό κανάλι που βρίσκεται στην ανοδική ζεύξη του LTE και είναι μέρος του PDSCH.

### **35)RAN(Radio Access Network)**

Το RAN είναι μέρος ενός κινητού τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Βρίσκεται ανάμεσα σε μια συσκευή όπως ένα κινητό τηλέφωνο, υπολογιστή ή οποιαδήποτε τερματική συσκευή και παρέχει σύνδεση με το δίκτυο πυρήνα. Ανάλογα με το πρότυπο, τα κινητά τηλέφωνα και άλλες ασύρματες συσκευές είναι varyingly ή γνωστή ως εξοπλισμός χρήστη (UE), τερματικού εξοπλισμού κινητών σταθμών (MS)

### **36)System Architecture Evolution (SAE)**

System Architecture Evolution (SAE) είναι η βασική αρχιτεκτονική του δικτύου LTE που είναι πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας του 3GPP. SAE είναι η εξέλιξη του δικτύου GPRS Core, με κάποιες διαφορές:

- απλούστερη αρχιτεκτονική
- all-in-IP δίκτυο
- υποστήριξη για την υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερη λανθάνουσα κατάσταση δικτύων πρόσβασης
- υποστήριξη και κινητικότητα ανάμεσα σε πολλαπλό ετερογενές δίκτυο συμπεριλαμβανομένου και του E-UTRA, 3GPP legacy systems κ.α

### **37) TDMA(Time division multiple access)**

TDMA είναι ένα είδος πολυπλεξίας με διαίρεση χρόνου. Διαίρεση χρόνου πολλαπλής πρόσβασης (TDMA) είναι μια μέθοδος πρόσβασης για κοινόχρηστα δίκτυα μεσαιού μεγεθους. Αυτό επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται την ίδια συχνότητα καναλιού διαιρώντας το σήμα σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Το TDMA χρησιμοποιείται στα κυταρικά δίκτυα 2ης γενιάς στο GSM και σε πολλές άλλες τεχνολογίες.

### **38)UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)**

Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (UMTS) είναι μια τρίτη γενιά συστημάτων κινητής τηλεφωνίας για δίκτυα που βασίζονται στο πρότυπο GSM. Αναπτύσσεται και συντηρείται από την 3GPP. Το UMTS είναι συστατικό στοιχείο της διεθνούς ένωσης τηλεπικοινωνιών IMT-2000. Ο σκοπός του UMTS ήταν να παρέχει τηλεπικοινωνίες φωνής δεδομένων και πολυμέσων σε ενοποιημένο περιβάλλον κινητής επικοινωνίας, υποστηρίζοντας τη διασύνδεση με το GSM και επιτυγχάνοντας παγκόσμια περιαγωγή.

### **39) URNTI**

Εκχωρείται από το SRNC και προσδιορίζει μοναδικά το UE στο UTRAN.

### **40) USDC (US Digital Cellular Standard IS-54)**

Το IS-54 διατηρεί τη συμβατότητα με τα προηγμένα συστήματα κινητής τηλεφωνίας (AMPS) με πολλούς τρόπους. Είναι μια ψηφιακή επέκταση των ενισχυτών και έτσι είναι γνωστό και ως ψηφιακό AMPS (D-AMPS). Ένα άλλο όνομα για το IS-54 είναι US Digital Cellular Standard (USDC).

**41) WLAN**

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN) είναι ένα ασύρματο δίκτυο υπολογιστών που συνδέει δύο ή περισσότερες συσκευές με ασύρματη μέθοδος διανομής (συχνά διασποράς φάσματος ή OFDM) μέσα σε μια περιορισμένη περιοχή, όπως ένα σπίτι, σχολείο, εργαστήριο υπολογιστών ή κτίριο γραφείων.

**42) ITU-R (international telecommunication union)**

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών είναι ο αρμόδιος οργανισμός για τις τηλεπικοινωνίες και την διακίνηση της πληροφορίας. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών είναι υπεύθυνη για το διαμερισμό του φάσματος των ραδιοκυμάτων σε όλες τις χώρες, προωθεί τη συνεργασία μεταξύ των χωρών για την εγκατάσταση δορυφόρων στο διάστημα, εργάζεται για τη βελτίωση των υποδομών για τις τηλεπικοινωνίες στις αναπτυσσόμενες χώρες και δημιουργεί παγκόσμια πρότυπα. Παράλληλα, οργανώνει εκθέσεις και συνέδρια, όπως το ITU TELECOM WORLD, που προσελκύει εκπροσώπους από κυβερνήσεις και φορείς των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής για ανταλλαγή ιδεών. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών δραστηριοποιείται σε χώρους των τηλεπικοινωνιών όπως το broadband Internet, ασύρματη τεχνολογία, αεροναυτική και θαλάσσια πλοήγηση, ραδιοαστρονομία, μετεωρολογία μέσω δορυφόρων και πολλά άλλα.

**43) TGn Sync**

Είναι μια από τις δύο ομάδες οι οποίες συνέβαλαν στην διαμόρφωση της έξυπνης κεραίας MIMO. Η ομάδα TGn Sync προτείνει «επέκταση» στο μέγεθος του καναλιού από 20 MHz σε 40 MHz, το οποίο θα ενισχύσει την μέγιστη απόδοση σε 315M bit / sec. Η αλλαγή θα μειώσει τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών από 22 σε 11 στη ζώνη των 5 GHz,.

**44) TDD (Time division duplexing)**

Είναι μια εφαρμογή της TDM όπου διαχωρίζει και επιστρέφει τα σήματα. Αυτό δίνει την δυνατότητα για μια ολόκληρη διπλή επικοινωνία πάνω σε μισή διπλή επικοινωνία. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της TDD είναι στην περίπτωση όπου υπάρχει ασυμμετρία της ανοδικής ζεύξης και κατερχόμενης ζεύξης δεδομένων.

**45) 3GPP (3rd Generation Partnership Project)**

Η 3GPP είναι μια ομάδα τηλεπικοινωνιακών εταιρειών που στόχο είχαν την ανάπτυξη τεχνολογιών για τις τηλεπικοινωνίες. Οι πρώτες εταιρείες που οραματίστηκαν την ένωση ήταν οι Nortel Networks and AT&T Wireless το 1998 με το όνομα 3Gip. Εν συνεχεία ενστερνίστηκαν την ιδέα τους και άλλες εταιρείες από την ευρωπαϊκή και ασιατική αγορά με αποτέλεσμα από το 2000 και μετά να έχει πάρει την ονομασία που όλοι γνωρίζουμε σήμερα. Η 3GPP δημιούργησε το LTE-A για τα 4G.Ενώ για τα 2G δημιούργησε τις τεχνολογίες GPRS, EDGE και για τα 3G τα HSPA.

#### **46) QAM(Quadrature amplitude modulation)**

Διαμόρφωση τετραγωνισμού πλάτους (QAM) είναι ένας αναλογικός αλλά και ψηφιακός τρόπος διαμόρφωσης. Μεταφέρει δύο αναλογικά σήματα μήνυμα ή δύο ψηφιακά streams, με την διαμόρφωση πλάτους των δύο φερόντων κυμάτων, χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση πλάτους-shift (ASK) για το ψηφιακό σύστημα διαμόρφωσης ή διαμόρφωση πλάτους (AM) για την αναλογική διαμόρφωση.

#### **47) WwiSE(World-Wide Spectrum Efficiency)**

Είναι μια από τις δύο ομάδες οι οποίες συνέβαλαν στην διαμόρφωση της έξυπνης κεραίας MIMO. Η ομάδα προτείνει, την υπάρχουσα δομή του καναλιού στα 20 MHz που είναι υιοθετημένη αυτή η δομή σχεδόν από όλα τα έθνη. Αυτό που προωθεί η ομάδα WwiSE είναι δύο κεραίες MIMO και στα δύο άκρα της ασύρματης σύνδεσης και αλλαγές στον Media Access Control(MAC) για την ενίσχυση της απόδοσης σε ένα κανάλι για να επιτύχει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 135M bit / sec.

## **Βιβλιογραφία**

[1]Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/1G>

[2]Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/2G>

[3]Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/3G>

[4]Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/4G#IMT-Advanced\\_requirements](https://en.wikipedia.org/wiki/4G#IMT-Advanced_requirements)

[5]Πηγή:[http://www.researchgate.net/post/4G\\_technologies\\_WiMax\\_and\\_LTE\\_What\\_are\\_the\\_main\\_technical\\_differences](http://www.researchgate.net/post/4G_technologies_WiMax_and_LTE_What_are_the_main_technical_differences)

[6]Πηγή:[https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.16](https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.16)

[7]Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra\\_Mobile\\_Broadband](https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra_Mobile_Broadband)

[8]Πηγη: [https://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_%28telecommunication%29](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_%28telecommunication%29)

[9]Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_Advanced](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_Advanced)

[10]Πηγη: 1.3.2 Key requirments of LTE απο το βιβλιοFundametals of LTE του Arunabha Ghosh, Jun Zhang Jeffrey G.Andrews,Rias Muhamed

[11]Πηγή:4G\_Americas\_-\_3GPP\_Release\_12\_Executive\_Summary\_-\_February\_2015

[12]Πηγή: Dr. Weidong Xiang και διατίθεται ελεύθερα στην ιστοσελίδα:  
<http://www.mathworks.com/>

[13]Πηγή: Κεφάλαιο 4.2.1 OFDMA how it works το βιβλίο Fundametals of LTE του Arunabha Ghosh, Jun Zhang Jeffrey G.Andrews,Rias Muhamed

[14]Πηγή: Κεφάλαιο 14.8.3 OFDMA απο το βιβλίο Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα Υπολογιστών 7<sup>η</sup> εκδοση Άρης Αλεξόπουλος και Γιώργος Λαγογιάννης.

[15]Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal\\_frequency-division\\_multiple\\_access](https://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiple_access)

[16]Πηγή: Από paper με τίτλο Single-carrier FDMA in Lte November 2009 IXIA

[17]Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Single-carrier\\_FDMA](https://en.wikipedia.org/wiki/Single-carrier_FDMA)

[18]Πηγή:Κεφαλαιο 17.2.1 Schedulling supported in LTE Sc-FDMA Uplink απο το βιβλίο The UMTS Long Term Evollution From Theory to Practise edited by Stefania Sesia Issam Toufik Matthew Baker

[19]Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_antenna](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_antenna)

[20]Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_antenna](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_antenna)

[21]Πηγή: 11.2 Mimo schemes in Lte Uplink απο το βιβλίο The UMTS Long Term Evollution From Theory to Practise edited by Stefania Sesia Issam Toufik Matthew Baker

[22]Πηγή:<http://4g-communication-techniques.blogspot.gr/2013/03/advantages-and-disadvantage-of-smart.html>

[23]Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>

[24]Πηγή : Κεφάλαιο 5 Multiple Antena Transmission And Reception Απο το βιβλίο βιβλίο Fundamentals of LTE του Arunabha Ghosh, Jun Zhang Jeffrey G.Andrews,Rias Muhamed

[25]Πηγή: <http://www.networkworld.com/article/2318288/uc-voip/802-11n-update--tgn-sync-vs-wwise.html>

[26]Πηγή: Κεφάλαιο 10.1.3 Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα Υπολογιστών 7<sup>η</sup> έκδοση 2010 Άρης Αλεξόπουλος-Γιώργος Λαγογιάννης

[27]Πηγή:Κεφάλαιο 16 παράγραφος 16.3 TCP/IP Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα Υπολογιστών 7<sup>η</sup> έκδοση 2010 Άρης Αλεξόπουλος-Γιώργος Λαγογιάννης

[28]Πηγή : [https://en.wikipedia.org/wiki/4G#IPv6\\_support](https://en.wikipedia.org/wiki/4G#IPv6_support)

[29]Πηγή: Κεφάλαιο 1.3.2 Key requirements of LTE από το βιβλίο Fundamentals of LTE του Arunabha Ghosh, Jun Zhang Jeffrey G.Andrews,Rias Muhamed

[30]Πηγή: Κεφάλαιο 1.5 LTE Network Architecture από το βιβλίο Fundamentals of LTE του Arunabha Ghosh, Jun Zhang Jeffrey G.Andrews,Rias Muhamed

[31]Πηγή:[http://www.rcrwireless.com/20140513/network-infrastructure/lte/lte-network\\_architecture-diagram](http://www.rcrwireless.com/20140513/network-infrastructure/lte/lte-network_architecture-diagram)

[32]Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/4G>

[33]Πηγή: [https://www.csiac.org/journal\\_article/4g-lte-security-mobile-network-operators](https://www.csiac.org/journal_article/4g-lte-security-mobile-network-operators)

[34]Πηγή: <http://airccse.org/journal/nsa/7215nsa05.pdf>

[35]Πηγή:Κεφάλαιο 2.4.3 Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα Υπολογιστών 7<sup>η</sup> έκδοση 2010 Άρης Αλεξόπουλος-Γιώργος Λαγογιάννης

[36] Πηγή:<https://en.wikipedia.org/wiki/5G>

[37] Πηγή:<http://www.gsmhistory.com/5g/>

[38]Πηγή: <http://gr.pcmag.com/5g-diktua/15035/feature/pos-tha-allaxei-ton-kosmo-mas-to-5g>

[39] Πηγή: [http://www.tutorialspoint.com/lte/lte\\_network\\_architecture.htm](http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm)

[40] Πηγή: Κεφάλαιο 1.5 LTE network Architecture από το βιβλίο Fundamentals of LTE του Arunabha Ghosh, Jun Zhang Jeffrey G.Andrews,Rias Muhamed