



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

**< ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ >**

**< ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΙΜΟ ΚΑΙ OFDMA
ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4G >**

<ΜΠΟΥΡΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ>

A.M <1047180>

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ПАТРА 2019

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: < ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ 4G ΔΙΚΤΥΟ >	5
1.1< ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΠΟΥ ΔΙΕΠΟΥΝ ΤΟ 4G >	5
1.1.1< Εισαγωγή στο 4G και θετικά, αρνητικά >.....	5
1.1.2< Κυψελωτό Δίκτυο >.....	6
1.1.3< Σύγκριση LTE με WiMAX >.....	7
1.2 < ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ 4G ΔΙΚΤΥΟΥ >	9
1.2.1< Πρότυπο LTE-Standard >.....	9
1.2.2< Πρότυπο LTE-Advance >.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: < ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MIMO ΚΑΙ 4G >.....	13
2.1 < ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ MIMO >	13
2.1.1< Παρουσίαση MIMO >.....	13
2.1.2< Άλλες κατηγορίες πριν το MIMO >.....	14
2.2 < ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ MIMO ΣΤΟ 4G >	15

2.2.1< Βασικές Τεχνικές ΜΙΜΟ στο 4G >.....	15
2.2.2< Αποτελεσματικότητα ΜΙΜΟ και νέες τεχνολογίες >.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: < ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΟΦDM ΚΑΙ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΟ 4G > ...	18
3.1 < ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΟΦDM >	18
3.1.1< Λειτουργία ΟΦDM >.....	18
3.1.2< Θετικά Αρνητικά τεχνολογίας ΟΦDM >.....	19
3.2 < ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΟΦDM ΣΤΟ 4G >	20
3.2.1< Διαφορά ΟΦDM με το ΟΦDMA >.....	20
3.2.2< Θετικά Αρνητικά Τεχνολογίας ΟΦDMA >.....	21
3.2.3< Περιγραφή Λειτουργίας SC-FDMA >.....	21
3.2.4< Συνεισφορά ΟΦDMA και SC-FDMA στο 4G >.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: <ΕΠΙΛΟΓΟΣ >	24
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	26

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

- WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access
- LTE: Long-Term Evolution
- EDGE: Enhanced Data rates for GSM Evolution
- HSPA: High Speed Packet Access
- GSM: Global system for mobile communications
- UMTS: Universal Mobile Telecommunications System
- MIMO: Multiple-Input and Multiple-Output
- SISO: Single-Input and Single-Output
- MISO: Multiple Input Single Output
- SIMO: Single Input Multiple output
- MU-MIMO: Multi-user MIMO
- OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- FDM: Frequency Division Multiplexing
- OFDMA: Orthogonal frequency-division multiple access
- FDMA: Frequency-Division Multiple Access
- SC-FDMA: Single-carrier FDMA
- DFT: Discrete Fourier Transform
- IFFT: Inverse Fast Fourier Transform
- FFT: Fast Fourier Transform

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: <ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ 4G ΔΙΚΤΥΟ >

1.1 <Βασικές Έννοιες που διέπουν το 4G >

1.1.1 <Εισαγωγή στο 4G και θετικά, αρνητικά>

Το δίκτυο 4G είναι η τέταρτη γενιά του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Ακολουθείται από την 3G γενιά (που χρησιμοποιείται ακόμα) και από την 2G γενιά. Η 2G γενιά δημιουργήθηκε το 1990 και μπορούσε ο χρήστης να χρησιμοποιεί τον κινητό του για να κάνει κλήσεις αλλά και να στέλνει μηνύματα. Η 3G γενιά «ήρθε» το 2003 και έφερε αρκετές καινοτομίες. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα μέσω του κινητού του να έχει σύνδεση στο διαδίκτυο, να μπορεί δηλαδή να κατεβάζει μουσική, ταινίες, να ενημερώνεται για τις εξελίξεις της καθημερινότητας, χωρίς να χρειάζεται απαραίτητα υπολογιστή. Η 4G τεχνολογία κάνει ότι έκανε και το 3G αλλά με ποιο μεγάλη ταχύτητα.¹

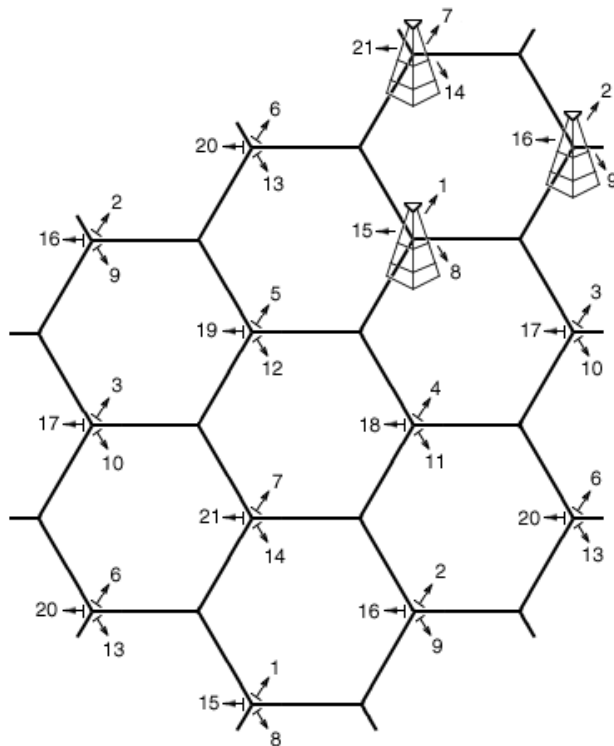
Το 4G προσέφερε πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την προηγούμενη γενιά. Αρχικά ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα είναι η ταχύτητα του δικτύου. Μεταφέροντας δεδομένα με μεγαλύτερο ρυθμό, οι χρήστες μπορούν να έχουν μια σταθερή σύνδεση που θα χρησιμοποιηθεί σε απαιτητικές εφαρμογές. Επίσης το δίκτυο 4G προσφέρει μεγάλη κάλυψη σε σχέση με το WiFi που η χρήση του είναι σε ένα περιορισμένο εύρος. Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ασφάλεια που προσφέρει το 4G δίκτυο. Στο 4G δίκτυο τα δεδομένα που στέλνει και λαμβάνει ο χρήστης είναι κρυπτογραφημένα σε σχέση με το WiFi, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ευαίσθητες πληροφορίες των χρηστών να είναι δύσκολα προσπελάσιμες από κακόβουλα λογισμικά.²

Το 4G βέβαια εκτός από τα θετικά παρουσιάζει και αρνητικές πτυχές. Αρχικά πολλές περιοχές δεν υποστηρίζουν 4G τεχνολογία με αποτέλεσμα να υπάρχει καθυστέρηση στην σύνδεση. Ακόμα οι απαιτήσεις του 4G είναι υψηλές με αποτέλεσμα η μπαταρία στο κινητό να μειώνεται αρκετά γρήγορα. Τέλος ένα ακόμα αρνητικό αντίκτυπο είναι ότι ο άνθρωπος εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων που του δίνονται ασχολείται συνέχεια με το κινητό χωρίς μερικές φορές να μπορεί να αντιληφθεί τι γίνεται στο περιβάλλον του.³

1.1.2 <Κυψελωτό Δίκτυο >

Πριν γίνει η ανάλυση για την λειτουργία του 4G δικτύου χρήζει ανάγκη να περιγράψουμε το πως λειτουργεί ένα δίκτυο τηλεφωνίας ή το κυψελωτό δίκτυο. Η βασική ιδέα είναι ότι μια γεωγραφική περιοχή χωρίζεται σε κυψελίδες που είναι για τηλεπικοινωνιακές καλύψεις. Οι κυψελίδες συνήθως είναι εξάγωνα και κάθε μια έχει από μια συχνότητα. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι οι ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλες κυψελίδες σε απόσταση βέβαια που δεν θα υπάρχουν παρεμβολές. Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα των κυψελίδων είναι η διάσπαση της όταν υπάρχει αυξημένη τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Συγκεκριμένα σε αυτή την περίπτωση η κυψελίδα διασπάται σε μικρότερες κυψέλες μικρής ακτίνας, με αποτελέσματα να αυξάνεται η χωρητικότητα της. Τέλος αναφορά θα πρέπει να γίνει και στην μεταφορά του χρήστη από την μια κυψέλη σε άλλη όταν η μια εξασθενεί. Όταν ο χρήστης κινείται τότε η συχνότητα που δίνει στην κυψέλη μειώνεται με αποτέλεσμα να γίνει αλλαγή αυτής. Αυτό επιτυγχάνεται ηλεκτρονικά χωρίς να υπάρχει καμία καθυστέρηση, ώστε να γίνει αντιληπτή από τον χρήστη.

Η ίδια τεχνική που παρουσιάστηκε παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την σύνδεση των κινητών τηλεφώνων. Το κυψελωτο δίκτυο χρησιμοποιείται από τους πάροχους καλύπτοντας μεγάλες γεωγραφικές περιοχές συνδέοντας στο τέλος όλα τα τηλέφωνα μεταξύ τους σε διακόπτες. Σε πόλεις κάθε κυψέλη απέχει από την άλλη περίπου 800 μέτρα, ενώ σε αγροτικές περιοχές 8 χιλιόμετρα.⁴



Εικόνα 1.1: δίκτυο με διάσπαση κυψελών ⁴

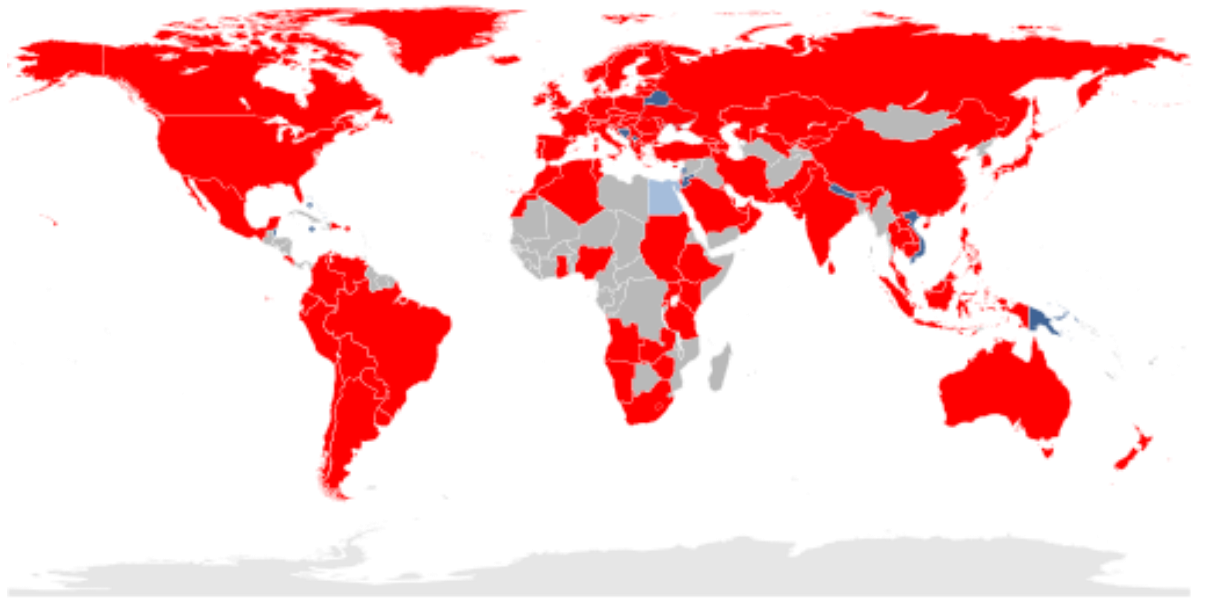
1.1.3 <Σύγκριση LTE με WiMAX >

Σημαντικό είναι κάποιος να γνωρίζει πως λειτουργεί το 4G δίκτυο. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενεές, το 4G δίκτυο δεν υποστηρίζει σύνδεση με κλασσικά ηλεκτρονικά κυκλώματα αλλά όλα βασίζονται στο IP-πρωτόκολλο.⁵ Πριν αυτό λανσαριστεί δύο ήταν οι τεχνολογίες που θα μπορούσαν να το υποστηρίξουν, το WiMAX και το LTE, με το δεύτερο να κερδίζει την «μάχη» για λόγους θα που αναλυθούν παρακάτω.

Το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) ορίζεται σαν μια τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης που λειτουργεί περίπου σαν το WiFi, με την διαφορά ότι εξασφαλίζει μεγαλύτερη εμβέλεια σε σχέση με το αυτό. Για ιστορικούς λόγους αναφέρεται ότι το WiMAX δημιουργήθηκε το 2001 από το WiMAX forum.⁶ Αρχικά θεωρήθηκε σαν ένα τεχνολογική επιτυχία που θα μπορούσε επάξια να χρησιμοποιηθεί στα ασύρματα δίκτυα. Η πτώση της άρχισε από το 2008 όταν άρχισε να εμφανίζεται και το LTE. Η αδυναμία της Clearwire να αναπτύξει δίκτυο με την τεχνολογία WiMAX, εξαιτίας της έλλειψης χρημάτων, των αργών ταχυτήτων και των

χρονοβόρων διαδικασιών για να καλύψει όλη την επικράτεια, οδήγησαν σε άλλες εταιρίες να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία LTE που μέσα σε 16 μήνες μπόρεσε και κάλυψε τα 2/3 του αμερικάνικου πληθυσμού. Επίσης ένας ακόμα παράγοντας που οδήγησε την συρρίκνωση της παραπάνω τεχνολογίας είναι η ραγδαία ανάπτυξη των smartphones. Η μεγάλη ανάπτυξη οδήγησε σε ζήτηση πολλών δεδομένων, έτσι οι μεγάλες εταιρίες κινητής τηλεφωνίας βλέποντας την σταθερότητα που προσέφερε το LTE άρχισαν να σχεδιάζουν τα πρωτόκολλα τους πάνω σε αυτήν την τεχνολογία. Ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας είναι η καθυστέρηση του πρώτου WiMAX κινητού, αλλά και η αλλαγή των δικτύων κορμού σε οπτική ίνα, που πρόσφερε πιο γρήγορη σύνδεση στο διαδίκτυο από ότι πριν.

Έτσι αφού το WiMAX δεν μπορούσε να ανταγωνιστεί την LTE τεχνολογία αναγκάστηκε να προσαρμοστεί πάνω σε αυτή, με αποτέλεσμα όλα τα δίκτυα να σχεδιάζονται πάνω στην LTE τεχνολογία. Το WiMAX συνέχισε να λειτουργεί σε μερικές περιοχές του πλανήτη και κυρίως στην Αφρική, βέβαια και εκεί τα τελευταία χρόνια υπάρχει πτώση, καθώς φαίνεται να κυριαρχεί η LTE τεχνολογία.⁷ Στην παρακάτω εικόνα με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται οι χώρες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία, με ανοιχτό μπλε χώρες που κάνουν δοκιμαστική χρήση, ενώ με σκούρο μπλε οι χώρες που προσπαθούν να το εγκαταστήσουν.



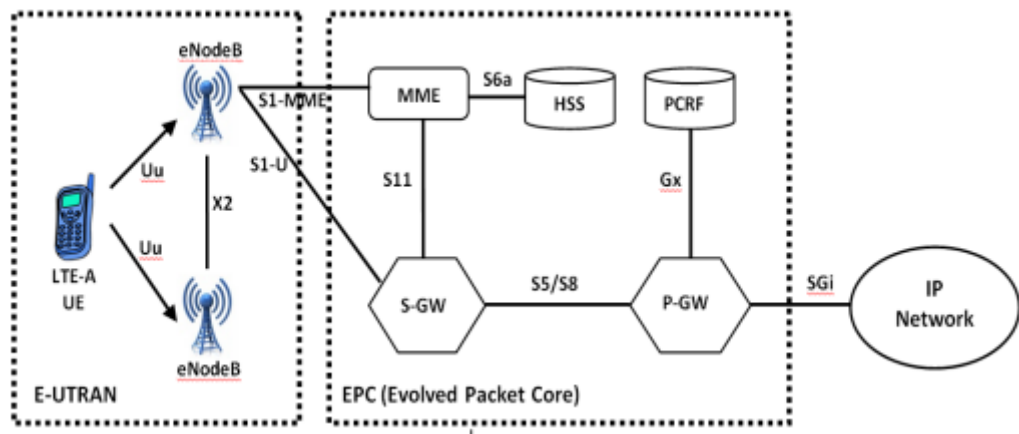
Εικόνα 1.2 : Εξάπλωση LTE στον κόσμο⁸

1.2 <Βασικά πρότυπα 4G δικτύου>

1.2.1 <Πρότυπο LTE-Standard >

Έχοντας αναλύσει παραπάνω την υπεροχή της LTE τεχνολογίας έναντι της WiMAX υπάρχει ανάγκη να επισημανθούν τα βασικά χαρακτηριστικά και σχεδιασμός αυτής της τεχνολογίας.

Το LTE στάνταρ αναπτύχθηκε από την 3GPP, χρησιμοποιείται για γρήγορες ασύρματες συνδέσεις με χρήση κινητών τηλεφώνων και βασίστηκε πάνω στις εξής τεχνολογίες: GSM/EDGE και UMTS/HSPA. Σκοπός του είναι να αυξήσει την χωρητικότητα των ασύρματων δικτύων κάνοντας χρήση νέων DSP τεχνικών που αναπτύχθηκαν στην αρχή του 2000. Ενώ παράλληλα ένας ακόμα στόχος είναι ο διαφορετικός σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής του δικτύου βασισμένο σε IP-διευθύνσεις, ώστε να μειωθεί η καθυστέρηση μεταφοράς δεδομένων σε σχέση με το 3G δίκτυο. Η επόμενη έκδοση του LTE είναι η LTE-advance που δημιουργήθηκε το 2011 και ουσιαστικά αυτή η έκδοση είναι απόλυτα συμβατή με το 4G δίκτυο.



Εικόνα 1.3 : Αρχιτεκτονική LTE-δικτύου⁹

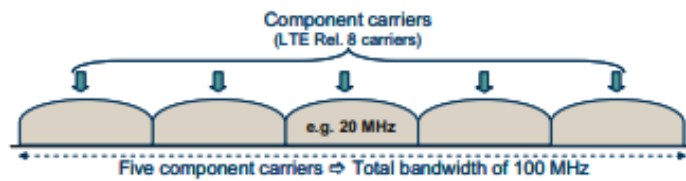
Το δεξιά μέρος (E-UTRAN) χρησιμοποιείται για να συνδέονται ασύρματα τα κινητά τηλέφωνα με τις κεραιές από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Συγκεκριμένα το LTE-A UE περιγράφει τα κινητά τηλέφωνα και άλλες συσκευές που υποστηρίζουν την LTE-τεχνολογία. Το eNodeB είναι ουσιαστικά οι κόμβοι που βρίσκονται σε ολόκληρο το δίκτυο και συνδέουν τις συσκευές στο κύριο δίκτυο μέσω διεπαφών.

Το αριστερό μέρος (EPC-δίκτυο κορμού) είναι το σημαντικότερο μέρος του δικτύου. Αποτελείται από διακόπτες τηλεφωνίας που επιτρέπουν στον χρήστη να συνδεθεί με το δίκτυο του, έτσι ώστε να έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο. Το δίκτυο αποτελείται από πέντε κόμβους, αρχικά είναι το MME που θεωρείται κεντρικός κόμβος και είναι υπεύθυνος για την ασφάλεια, την κινητικότητα και την παρακολούθηση της κινητής συσκευής. Ο δεύτερος κόμβος είναι ο S-GW και η λειτουργία του είναι να μεταφέρει την κίνηση των χρηστών μεταξύ των τερματικών και ενός εξωτερικού δικτύου. Ο P-GW αποτελεί τον τρίτο κόμβο του σχήματος και ορίζεται σαν PDN-GateWay, συνδέει το δίκτυο EPC με ένα εξωτερικό και κάνει δρομολόγηση πακέτων από και προς τα PDN δίκτυα. Το HSS αποτελεί την βάση δεδομένων όλων των χρηστών κινητής τηλεφωνίας και περιλαμβάνει όλα τα δεδομένα των χρηστών, ενώ ακόμα είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο ταυτότητας του χρήστη αλλά και για την εγκατάσταση της σύνδεσης. Τέλος η λειτουργία PCRF χρησιμοποιείται για την χρέωση χρήστη στο EPC δίκτυο.

1.2.2 <Πρότυπο LTE-Advance>

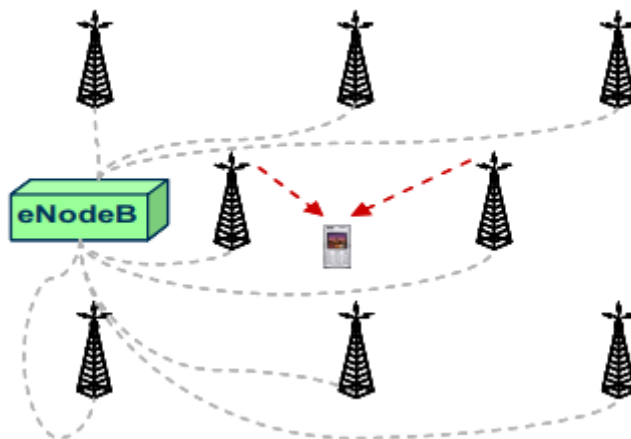
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το LTE δεν είναι απόλυτα συμβατό με το 4G καθώς δεν τηρεί τα στάνταρ που έχουν τεθεί από τον ITU-R. Έτσι «γεννήθηκε» το LTE-Advance που ουσιαστικά είναι μια νέα έκδοση του LTE. Όντας μια εξέλιξη το LTE-Advance πρέπει να μπορεί να δουλέψει στο φάσμα συχνοτήτων που δούλευε και το LTE χωρίς να υπάρχουν προβλήματα στις συσκευές που χρησιμοποιούσαν την προηγούμενη έκδοση. Επίσης χρειάζεται να εκπληρώσει και να περάσει όλα τα στάνταρ που έχουν τεθεί από το ITU-R, αυτά αφορούν την χωρητικότητα, την μεταφορά δεδομένων αλλά και χαμηλό κόστος ανάπτυξης.

Όπως είναι φανερό το στάνταρ LTE-Advance έχει κάποιες διαφορές με το LTE που χρειάζεται να αναλυθούν. Αρχικά είναι η μετάδοση σε ευρύτερη ζώνη και η κοινή χρήση του φάσματος συχνοτήτων. Ακόμα από την LTE έκδοση υποστηριζόταν η μετάδοση δεδομένων σε διαφορετικά φάσματα συχνοτήτων που είχαν αρχή από 1,25MHz έως 20MHz. Για να αυξηθεί η μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της συσσώρευσης των φορέων(carrier aggregation), έτσι το εύρος συχνοτήτων έφτασε τα 100MHz.



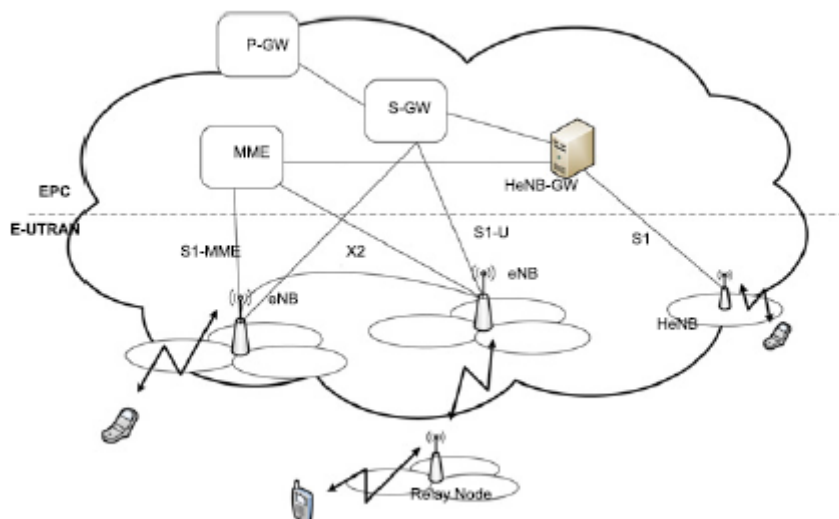
Εικόνα 1.4 : Συσσώρευση φορέων⁹

Επίσης η χρήση πολλαπλών κεραιών(MIMO, γίνεται αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο) που σε συνδυασμό με την τεχνική που αναφέρθηκε παραπάνω μπόρεσαν και αύξησαν σημαντικά την ταχύτητα στα 1,5GHz, παραπάνω δηλαδή από το όριο που είχε θέσει η ITU-R για το 4G. Παράλληλα η καινούργια έκδοση εισήγαγε την έννοια της Coordinated multi-point μετάδοσης που έχει ως σκοπό να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος και να χρησιμοποιήσει τους πόρους με βέλτιστο τρόπο.



Εικόνα 1.5: Coordinated multi-point μετάδοση⁹

Τέλος η προσπάθεια να μειωθεί η απόσταση του πομπού και του δέκτη οδήγησε στην εισαγωγή repeaters. Αυτοί μπορούν να αποκωδικοποιούν και να κωδικοποιούν τα πακέτα που έχουν τελικό προορισμό τους χρήστες με σκοπό να μην υπάρχει θόρυβος και άρα απώλεια πληροφορίας. Βέβαια ο παραπάνω τρόπος επιφέρει καθυστέρηση που οφείλεται βέβαια στην αποθρονοποίηση του σήματος.⁹



Εικόνα 1.6 : Αρχιτεκτονική LTE-Advance⁹

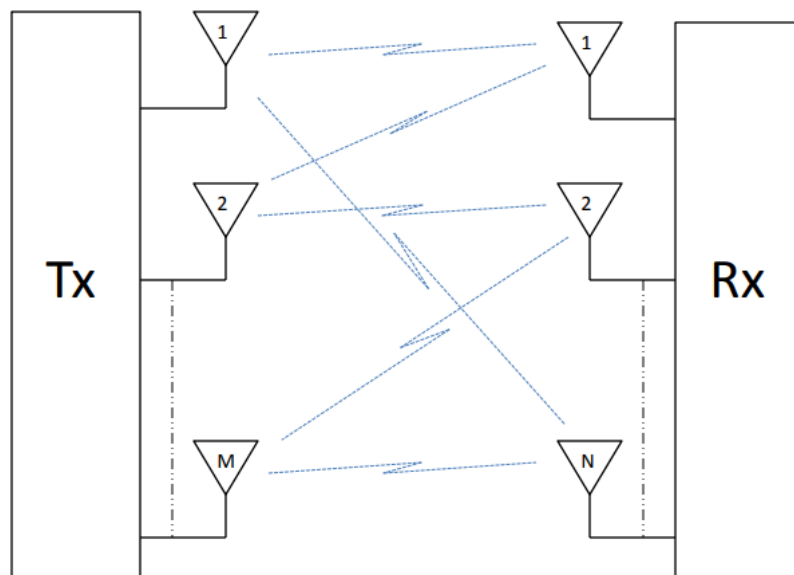
Στα επόμενα δύο κεφάλαια θα αναπτυχθούν δύο από τις σημαντικότερες τεχνολογίες που αποτελούν το 4G. Αυτές είναι το OFDM και το MIMO.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: <ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MIMO ΚΑΙ 4G>

2.1 <Γενική Περιγραφή MIMO>

2.1.1 <Παρουσίαση MIMO>

Όπως είναι γνωστό η ασύρματη μετάδοση παρουσιάζει απώλειες λόγω του μέσου διάδοσης(για παράδειγμα, αέρας) αλλά και από τις παρεμβολές άλλων χρηστών. Μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για να αυξήσει την χωρητικότητα του δικτύου λέγεται MIMO. Η παραπάνω τεχνολογία έχει σημαντική επίδραση στον τρόπο λειτουργίας του WiFi, στο 3G δίκτυο, στο WiMAX αλλά και στο LTE,LTE-Advance. Η MIMO τεχνολογία αναφέρεται στην χρήση πολλαπλών κεραιών στον πομπό και στον δέκτη, αλλά στην σύγχρονη εκδοχή του θεωρείται σαν μια τεχνική για την αποστολή και λήψη δεδομένων ταυτόχρονα μέσω του ίδιου καναλιού εκμεταλλευόμενο την πολλαπλή διάδοση.¹⁰

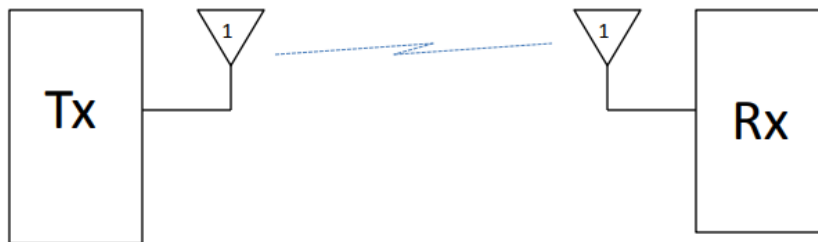


Εικόνα 2.1: Λειτουργία τεχνικής MIMO¹¹

2.1.2 <Άλλες κατηγορίες πριν το MIMO>

Πριν αναλυθεί με λεπτομέρειες η τεχνολογία MIMO είναι ανάγκη να παρουσιαστούν κάποιες τεχνικές πριν αυτή εδραιωθεί.

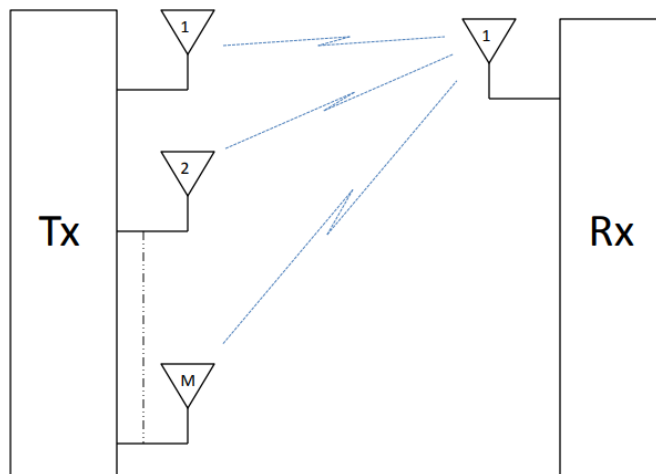
Αρχικά είναι η περίπτωση SISO:



Εικόνα 2.2: Λειτουργία τεχνικής SISO¹¹

Το παραπάνω σύστημα είναι η πιο απλή τεχνολογία κεραιών. Οι μονές συχνότητες είναι ευάλωτες στην εξασθένηση και για αυτό δεν μπορεί να είναι αξιόπιστες.

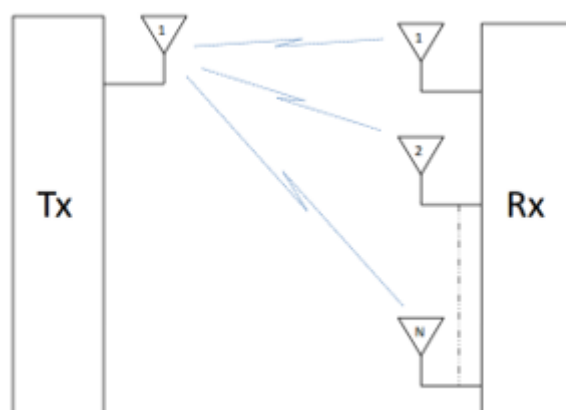
Μια άλλη κατηγορία είναι η MISO:



Εικόνα 2.3: Λειτουργία τεχνικής MISO¹¹

Σε αυτή την περίπτωση γίνεται χρήση πολλαπλών κεραιών στον πομπό και μια μόνο στο δέκτη με σκοπό να βελτιωθεί η ταχύτητα μετάδοσης αλλά και να μην υπάρχουν σφάλματα.

Τέλος μια άλλη κατηγορία είναι η SIMO:



Εικόνα 2.4 : Λειτουργία τεχνικής SIMO¹¹

Στην παραπάνω κατηγορία ο πομπός στέλνει σήματα σε πολλούς δέκτες, με αποτέλεσμα να έχει περισσότερες πιθανότητες ώστε να μην χαθούν τα δεδομένα του.

2.2 <Συνεισφορά και λειτουργία MIMO στο 4G>

2.2.1 <Βασικές Τεχνικές MIMO στο 4G >

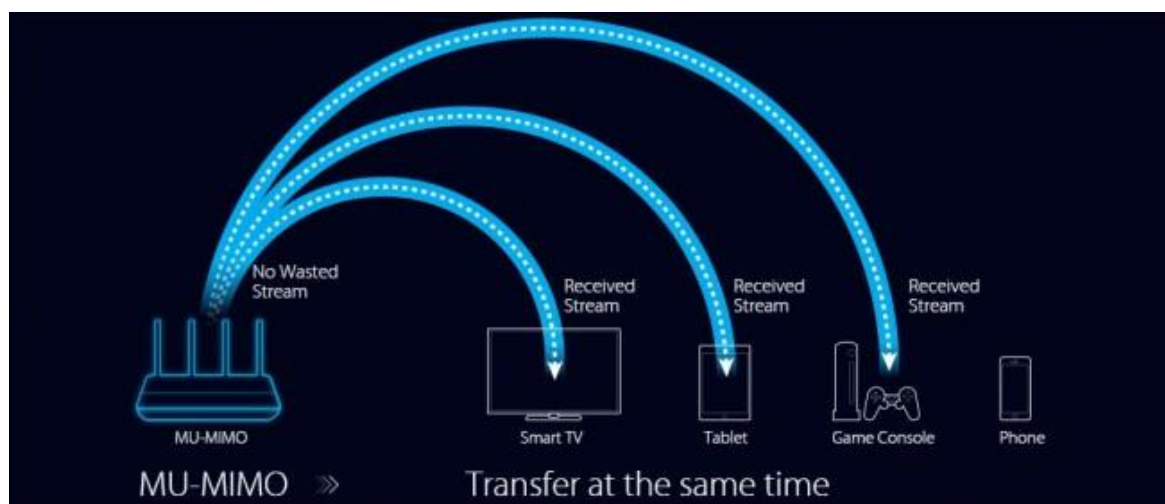
Όπως έχει αναφερθεί η τεχνολογία MIMO είναι αρκετά σημαντική για το LTE και το LTE-Advance. Ειδικότερα ισχύει ότι κάθε κινητό στο LTE-Advance έχει οχτώ κεραιές εκπομπής όπως και στα κέντρα εκπομπής υπάρχουν άλλες οχτώ για υψηλότερη απόδοση.

Τα οφέλη που έχει η MIMO τεχνολογία είναι αρκετά. Αρχικά παρέχει στους καταναλωτές αξιοπιστία στην κλήση τους όταν βρίσκονται σε περιοχές με χαμηλό σήμα. Παράλληλα τα δίκτυα γίνονται μεγαλύτερα και προσφέρουν περισσότερα δεδομένα στον χρήστη.

Το LTE-Advance είναι μια απαιτητική τεχνολογία και έτσι για να μπορέσει να καλύψει τους στόχους του βασίστηκε σε πολλές MIMO τεχνολογίες. Αυτές με μια ματιά είναι η ποικιλομορφία στον χώρο, η πολυπλεξία και το precoding.

Όσο αφορά την ποικιλομορφία στον χώρο, εκμεταλλεύεται της διάφορες διαδρομές που υπάρχουν ανάμεσα στον δέκτη και τον πομπό, ώστε να κάνει το σήμα ποιο δυνατό. Συγκεκριμένα το ίδιο σήμα στέλνεται από κάθε κεραία αλλά το καθένα με διαφορετική κωδικοποίηση, αυτό έχει ως αποτέλεσμα αυτός που λαμβάνει το σήμα να έχει ποικιλία στην επιλογή του. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται σε περιοχές που υπάρχουν σήματα με χαμηλή ισχύ όπως στα άκρα μια κυψελίδας.¹²

Η πολυπλεξία στον χώρο δημιουργεί ένα αριθμό από ανεξάρτητα κανάλια μετάδοσης μεταξύ πομπού και δέκτη, ώστε να μεταδίδονται περισσότερα από δύο σήματα παράλληλα. Με την βοήθεια της επεξεργασίας σημάτων αυτά τα σήματα μπορούν να ληφθούν ανεξάρτητα το ένα με το άλλο από τον δέκτη. Στην παραπάνω κατηγορία ανήκει και η τεχνολογία MU-MIMO που χρησιμοποιείται τόσο στην ζεύξη ανόδου όσο και στην ζεύξη καθόδου. Όσο αφορά την πρώτη, το eNodeB (υλικό που επικοινωνεί με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας¹³) προγραμματίζει, ώστε πολλά κινητά να εκπέμπουν την ίδια συχνότητα και ώρα στην ίδια πηγή. Ωστόσο όμως για να είναι σε θέση το eNodeB να αντιστοιχίζει τις σωστές συχνότητες πρέπει τα σήματα που στέλνονται να είναι ορθογώνια. Για την ζεύξη καθόδου το eNodeB μπορεί να προγραμματίσει ώστε να γίνεται ταυτόχρονη μετάδοση με πολλούς χρήστες.¹⁴



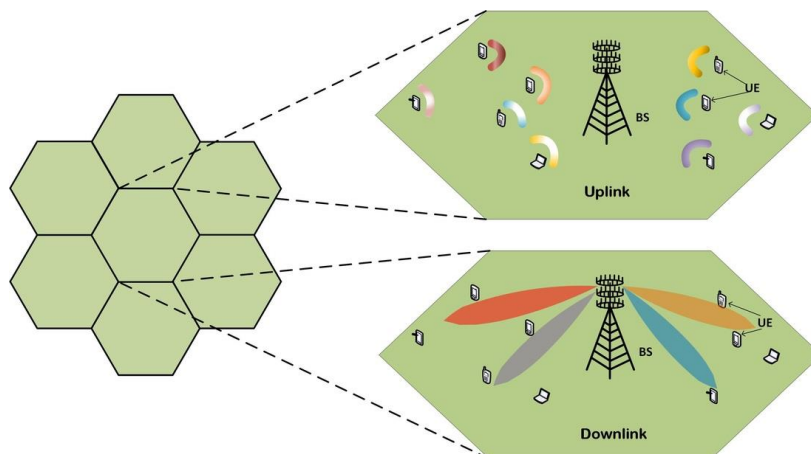
Εικόνα 2.5 : Λειτουργία MU-MIMO¹⁵

Στο precoding, ο πομπός έχει την δυνατότητα να γνωρίζει το κανάλι μετάδοσης που παρέχεται από τον δέκτη. Με την βοήθεια της ανατροφοδότησης ο πομπός μπορεί να αλλάξει τον κώδικα του ώστε να ωφεληθεί από το κανάλι μετάδοσης με σκοπό να πετύχει μεγαλύτερη ταχύτητα στην αποστολή πακέτων.¹²

2.2.2<Αποτελεσματικότητα MIMO και νέες τεχνολογίες>

Η αποτελεσματικότητα που έχει η τεχνολογία MIMO εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Μερικοί από αυτούς είναι ο αριθμός των κεραιών που πρέπει να υπάρχουν τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη, ο θόρυβος που υπάρχει στο λαμβανόμενο σήμα αλλά και η περιοχή στην οποία βρίσκεται το κανάλι. Σε περιοχές που είναι πυκνοκατοικημένες η τεχνολογία MIMO λειτουργεί καλύτερα σε σχέση με περιοχές που βρίσκονται στην ύπαιθρο.¹²

Όπως έχει αναφερθεί η MIMO τεχνολογία συγκαταλέγεται και συμβάλει στην σωστή λειτουργία του 4G δικτύου. Με την πάροδο του χρόνου βέβαια αλλά και την ανάγκη για μεγαλύτερη απόδοση η τεχνολογία MIMO μεταμορφώνεται σε τεχνολογία Massive MIMO. Η παραπάνω τεχνολογία αποτελεί το μέλλον και προβλέπεται χρήση της για τα δίκτυα 5G. Η διαφορά θα είναι ότι οι κεραιές εκπομπής θα είναι μεγαλύτερες από ότι πριν με αποτελέσματα να εξυπηρετούν περισσότερους χρήστες. Μερικά από τα οφέλη του είναι ότι θα μειώσει ακόμα περισσότερο την καθυστέρηση που υπάρχει στο δίκτυο αλλά και ότι δεν θα υπάρχει μεγάλη σπατάλη ενέργειας.¹⁶



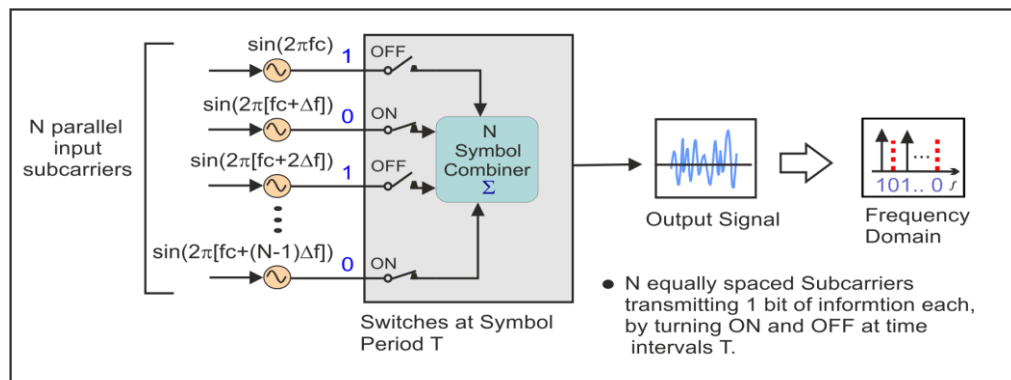
Εικόνα 2.6 : Λειτουργία Massive-MIMO¹⁶

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : <ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ OFDM ΚΑΙ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΟ 4G >

3.1 <Περιγραφή της τεχνολογίας OFDM >

3.1.1 <Λειτουργία OFDM>

Ένα από τα σημαντικά στοιχεία που ορίζουν το 4G είναι και το OFDM. Πρόκειται για μια μέθοδο κωδικοποίησης ψηφιακών δεδομένων σε πολλαπλές συχνότητες. Το OFDM είναι ένα δημοφιλές σχήμα που εκτός από το 4G χρησιμοποιείται στην ψηφιακή τηλεόραση, στο ασύρματο δίκτυο και την πρόσβαση στο διαδίκτυο. Η παραπάνω μέθοδος αναπτύχθηκε το 1966 από τα Bell Labs αλλά έγινε εντατική χρήση τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια.¹⁷ Το OFDM είναι μια ειδική μορφή της FDM τεχνολογίας που η πληροφορία χωρίζεται σε μικρότερα κομμάτια και το καθένα κωδικοποιείται και μεταδίδεται ανεξάρτητα. Η διαφορά του FDM με το OFDM έγκειται στο γεγονός ότι το OFDM κάνει καλύτερη διαχείρισή του χώρου. Συγκεκριμένα το FDM «θέλει» ένα κενό ανάμεσα στους φέροντες(carriers), κενό στο οποίο δεν μπορεί να μεταδοθεί πληροφορία. Ενώ το OFDM χρησιμοποιεί ειδικά subcarriers που το ένα με το άλλο είναι ορθογώνια μεταξύ τους.¹⁸



Simple OFDM Generation

Εικόνα 3.1 : Αρχιτεκτονική OFDM¹⁹

Τα δεδομένα που μεταδίδονται σε ένα OFDM σήμα, διαδίδονται κατά μήκος των φερόντων (carriers) που κουβαλούν ωφέλιμη πληροφορία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός δεδομένων που λαμβάνεται από κάθε carrier, έτσι η παρεμβολές από αντανακλάσεις είναι μικρότερες. Επίσης στην OFDM τεχνολογία στα δεδομένα γίνεται δειγματοληψία μόνο όταν το σήμα είναι σταθερό και δεν φτάνουν άλλα σήματα με καθυστέρηση που θα μπορούσαν να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά του σήματος. Επίσης η κατανομή δεδομένων σε πολλούς carriers έχει θετικές επιδράσεις. Συγκεκριμένα οι παρεμβολές που υπάρχουν στις διαδρομές δεν μεταβάλλουν όλα τα carriers αλλά μόνο ένα μέρος, που σε συνδυασμό με τεχνικές κωδικοποίησης σφαλμάτων πολλά από τα κατεστραμμένα δεδομένα γίνονται ωφέλιμα ξανά.¹⁸

3.1.2 <Θετικά Αρνητικά τεχνολογίας OFDM>

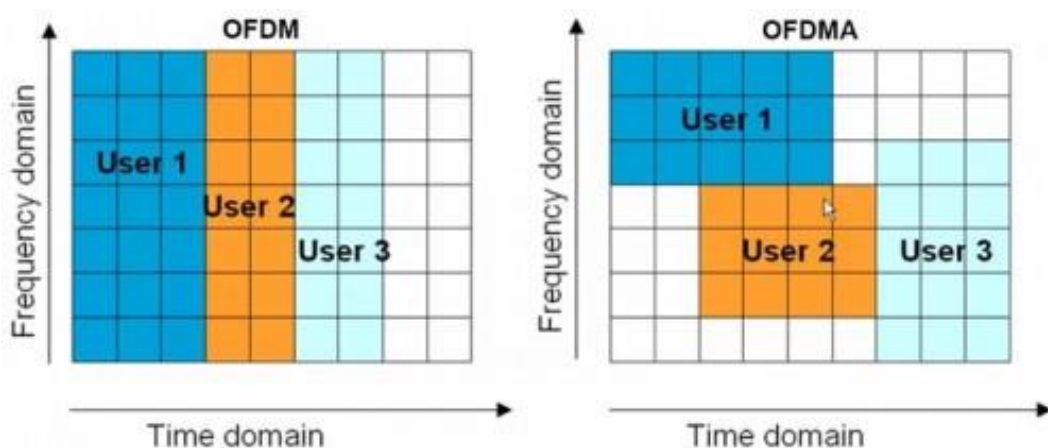
Η τεχνολογία OFDM είναι σημαντική για το 4G αλλά έχει και κάποιες αρνητικές πτυχές. Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούν τα θετικά και τα αρνητικά της παραπάνω τεχνολογίας. Όσο αφορά τα πλεονεκτήματα, η τεχνολογία αυτή είναι ανθεκτική στην εξασθένηση του σήματος γιατί το διαιρεί σε μικρότερα τμήματα. Επίσης η παραπάνω τεχνολογία έχει αντοχή στις παρεμβολές επειδή έχουν περιορισμένο εύρος ζώνης και δεν επηρεάζει τα άλλα κανάλια. Ακόμα στην τεχνολογία OFDM δεν χάνονται όλα τα δεδομένα. Εκτός από τις θετικές πτυχές υπάρχουν και μερικά αρνητικά στοιχεία. Ένα από αυτά είναι ότι οι ενισχυτές που υπάρχουν όταν το σήμα έχει θόρυβο δεν μπορεί να λειτουργήσουν τόσο αποτελεσματικά, ενώ ένα ακόμα αρνητικό σημείο είναι ότι η συχνότητα των carriers είναι ευαίσθητη σε μερικά σημεία.¹⁷

3.2 <Χρήση τεχνολογιών OFDM στο 4G >

Η τεχνολογία OFDM μπορεί να είναι αρκετά δημοφιλής και να έχει χρησιμοποιηθεί και συνδυαστεί σε πολλές τεχνολογίες αλλά όπως αναφέρθηκε παραπάνω έχει και μερικά καθοριστικά αρνητικά στοιχεία. Για αυτόν τον λόγο έχουν αναπτυχθεί άλλες τεχνικές που βασίζονται στο OFDM, αυτές είναι το OFDMA και το SC-FDMA.²⁰

3.2.1 <Διαφορά OFDM με το OFDMA>

Η τεχνολογία OFDMA σε γενικές γραμμές είναι μια έκδοση πολλαπλών χρηστών του OFDM. Η πολλαπλή πρόσβαση γίνεται μέσω εκχώρησης υποφερόντων (subcarriers) σε ατομικές ροές δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιτρέπεται ταυτόχρονη μετάδοση χαμηλού ρυθμού δεδομένων από τους χρήστες. Αυτό ουσιαστικά είναι και η μεγαλύτερη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στο OFDM και OFDMA. Επίσης η παραπάνω τεχνολογία βασίζεται στην ανατροφοδότηση (feedback) για την κατάσταση του καναλιού που μεταδίδεται το σήμα. Με αποτέλεσμα αν το κανάλι είναι σε καλή κατάσταση μεταδίδονται σε μεγαλύτερο ρυθμό τα δεδομένα.²¹



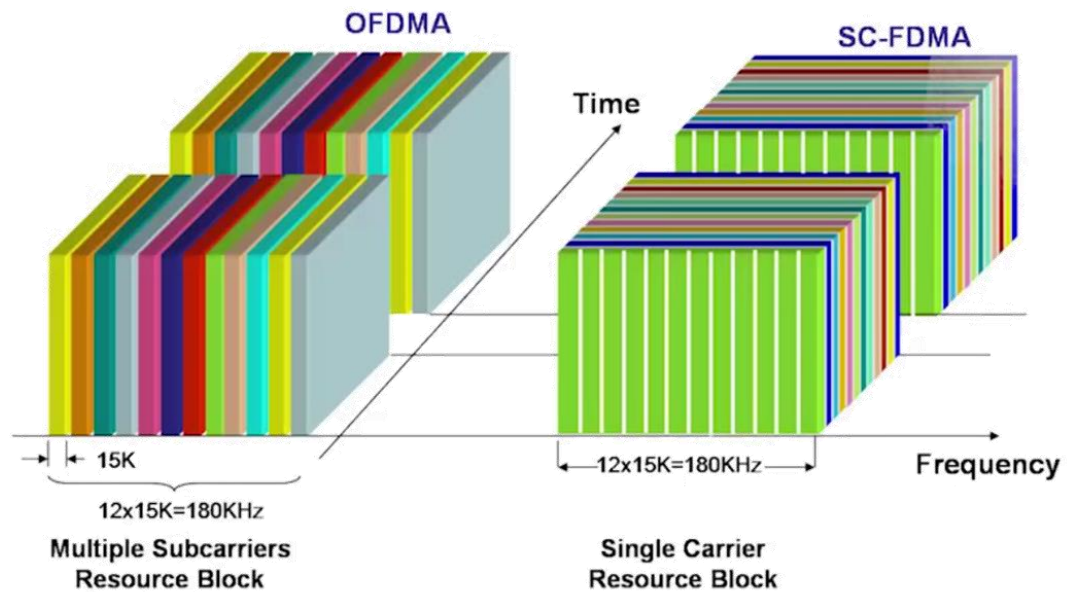
Εικόνα 3.2 : Διαφορά OFDM και OFDMA²¹

3.2.2 <Θετικά Αρνητικά Τεχνολογίας OFDMA>

Όπως όλες οι τεχνολογίες έτσι και το OFDMA έχει και θετικές πλευρές αλλά και αρνητικές. Συγκεκριμένα όσο αφορά τα θετικά, η OFDMA τεχνολογία προσφέρει μια ποικιλία στις συχνότητες, αφού διανέμει όλους τους φέροντες σε όλο το χρησιμοποιημένο φάσμα. Επίσης επιτρέπει την τροφοδοσία σε κάθε κανάλι αλλά και σε κάθε υπό -κανάλι. Παράλληλα παρέχει ευελιξία σε διάφορες συχνοτικές μπάντες, με μικρές τροποποιήσεις στην διεπαφή του αέρα. Εκτός από τα θετικά υπάρχουν και αρνητικές πτυχές. Αρχικά ένα από τα σημαντικότερα είναι η ευαισθησία στην μετατόπιση συχνότητας αλλά και στην φάση του θορύβου. Επιπροσθέτως τα περίπλοκα ηλεκτρονικά κυκλώματα που υπάρχουν στο OFDMA από άποψη κατανάλωσης ενέργειας δεν είναι τόσο αποτελεσματικά. Τέλος η ποικιλομορφία που υπάρχει μπορεί να χαθεί αν ανατεθούν λίγοι sub-carriers σε κάθε χρήστη.²²

3.2.3 <Περιγραφή Λειτουργίας SC-FDMA >

Μια παραπλήσια τεχνολογία με το OFDMA που χρησιμοποιείται στο 4G δίκτυο είναι το SC-FDMA. Το SC-FDMA μπορεί να θεωρηθεί και σαν ένα γραμμικό OFDMA γιατί έχει μια επιπρόσθετη επεξεργασία με τον αλγόριθμο DFT.²³ Συγκεκριμένα πριν γίνει η εφαρμογή του αντίθετου μετασχηματισμού Fourier, τα σύμβολα κωδικοποιούνται με τον DFT. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι κάθε subcarrier μετά τον IFFT θα περιέχει ένα μέρος από κάθε σύμβολο. Ουσιαστικά αυτή είναι η διαφορά των δύο τεχνολογιών, κατά τα άλλα οι δύο τεχνολογίες έχουν παρόμοια λειτουργία. Η παρακάτω θα κάνει ακόμα πιο κατανοητή την διαφορά ανάμεσα στο OFDMA και στο SC-FDMA.²¹



Εικόνα 3.3 : Διαφορά OFDMA με SC-FDMA²¹

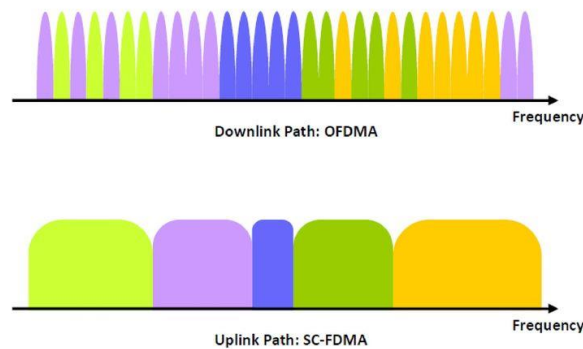
3.2.4 <Συνεισφορά OFDMA και SC-FDMA στο 4G>

Ο λόγος που παραπάνω αναφέρθηκαν οι δύο τεχνολογίες είναι ότι το OFDMA χρησιμοποιείται στην ζεύξη καθόδου, ενώ το SC-OFDMA στην ζεύξη ανόδου.²⁰

Το SC-OFDMA ενσωματώνει διάφορα σήματα αναφοράς για την αναδιαμόρφωση δεδομένων δηλαδή έχει σχέση με μετάδοση δεδομένων στο φυσικό επίπεδο και τον έλεγχο των σημάτων. Επίσης ελέγχει και τον ήχο του καναλιού αλλά αυτή η λειτουργία δεν έχει σχέση με την ζεύξη ανόδου, απλά ρυθμίζει την ποιότητα του καναλιού μετάδοσης. Στην συνέχεια τα σήματα αναφοράς έχουν μερικά χαρακτηριστικά που είναι επιθυμητά για την ζεύξη ανόδου. Ένα από αυτό είναι η καλές ιδιότητες αυτοσυσχέτισης για την ακριβή εκτίμηση των καναλιών. Ακόμα σταθερό εύρος συχνοτήτων σε όλα τα sub-carriers για αμερόληπτες εκτιμήσεις καναλιών. Επιπροσθέτως μπορεί να μειώσει τις παρεμβολές των σημάτων που μεταδίδονται με τους ίδιους πόρους. Τέλος ένα σημαντικός λόγος για τον οποίο γίνεται χρήση του SC-OFDMA στην ζεύξη ανόδου είναι ότι η παραπάνω τεχνολογία έχει περιορισμούς στην χρήση πόρων, πράγμα που είναι απαραίτητο για τα κινητά τηλέφωνα.²⁴

OFDMA and Single Carrier-FDMA (SC-FDMA)

FREQUENCY DOMAIN REPRESENTATION OF DOWNLINK AND UPLINK LTE ACCESS TECHNOLOGIES



52

Εικόνα 3.4 : Συχνότητα στην ζεύξη καθόδου και ανόδου²⁵

Όσο αφορά το downlink οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι ο συνδυασμός του OFDMA με το MIMO. Με τον συνδυασμό των δύο τεχνολογιών τα συστήματα μπορούν να προσεγγίσουν μεγάλες ταχύτητες (χιλιάδες Mbits/s) και να επιτύχουν φασματική απόδοση αρκετά εκατοντάδων bits/s. Οι βελτιώσεις στον ρυθμό που μεταδίδονται τα δεδομένα αλλά και η αποτελεσματικότητα του φάσματος συνάδουν από το γεγονός ότι και οι δύο τεχνολογίες εξάγουν παράλληλη μετάδοση πληροφορίας τόσο στο πεδίο της συχνότητας όσο και στο πεδίο του χρόνου. Η αποτελεσματική εφαρμογή της μίξης των δύο τεχνολογιών βασίζεται στο FFT αλγόριθμο αλλά και σε αυτόν του Alamouti.²⁶

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : <ΕΠΙΛΟΓΟΣ>

Όπως φαίνεται και παραπάνω η 4G γενία έφερε επανάσταση στον κόσμο με τις ασύλληπτες ταχύτητες αλλά και με την τεχνολογική άνεση που πρόσφερε στον μέσο άνθρωπο.

Στην εποχή που βρισκόμαστε τώρα η 4G τεχνολογία δεν είναι κάτι άγνωστο για τους ποιο πολλούς ανθρώπους, καθώς χρησιμοποιείται για αρκετά χρόνια (Στην Ελλάδα από το 2014). Όμως αρκετοί δεν γνωρίζουν τις βασικές έννοιες που την διέπουν. Σε ένα κόσμο που αλλάζει γρήγορα, είναι ανάγκη να αναλύσουμε τις βασικές πτυχές της τεχνολογίας 4G, να καταδείξουμε τις θετικές και αρνητικές επιπτώσεις να καταρίψουμε μύθους και άλλα στοιχεία.

Αυτό προσπάθησα να κάνω παραπάνω, δηλαδή ένας μέσος χρήστης να μπορέσει να καταλάβει την φιλοσοφία της τεχνολογίας, να δει τα αρνητικά αλλά και τα θετικά στοιχεία και να ενστερνιστεί βασικές γνώσεις για τον σχεδιασμό της τεχνολογίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. What is 4G? Available at: <https://www.4g.co.uk/what-is-4g/>. (Accessed: 14th January 2019)
2. How Safe Is Surfing on 4G vs. Wi-Fi? Available at: <https://us.norton.com/internetsecurity-wifi-how-safe-is-surfing-on-4g-vs-wi-fi.html>. (Accessed: 14th January 2019)
3. What are the advantages and disadvantages of 4G technology? - Quora. Available at: <https://www.quora.com/What-are-the-advantages-and-disadvantages-of-4G-technology>. (Accessed: 15th January 2019)
4. Cellular network. *Wikipedia* (2018).
5. 4G. *Wikipedia* (2019).
6. WiMAX. *Wikipedia* (2019).
7. The rise and fall of WiMAX | Wireless and Mobile Telecommunications. Available at: <https://wirelesstelecom.wordpress.com/2012/05/29/the-rise-and-fall-of-wimax-2/>. (Accessed: 15th January 2019)
8. LTE. *Βικιπαίδεια* (2015).
9. Singh, R. K. & Singh, R. 4G LTE Cellular Technology: Network Architecture and Mobile Standards. **5**, 6 (2016).
10. MIMO. *Wikipedia* (2019).

11. NCAT-MIMOin4GWireless_10_23_2012.pdf. Available at:
https://ewh.ieee.org/r3/cnc/presentations/docs/Josan_Sept2012/NCAT-MIMOin4GWireless_10_23_2012.pdf
12. LTE MIMO theory and practice. Available at:
<https://www.unwiredinsight.com/2013/lte-mimo>. (Accessed: 15th January 2019)
13. eNodeB. *Wikipedia* (2018).
14. Lee, J., Han, J.-K. & Zhang, J. MIMO Technologies in 3GPP LTE and LTE-Advanced. *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.* **2009**, 302092 (2009).
15. Stobing, C. What Is MU-MIMO, and Do I Need It on My Router? *How-To Geek* Available at: <https://www.howtogeek.com/242793/what-is-mu-mimo-and-do-i-need-it-on-my-router/>. (Accessed: 15th January 2019)
16. Massive MIMO - Prof Tharm Ratnarajah. Available at:
<http://www.profratnarajah.org/massive-mimo.html>. (Accessed: 15th January 2019)
17. Orthogonal frequency-division multiplexing. *Wikipedia* (2019).
18. Maude. An Introduction To Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM). *Nutaq* Available at: <https://www.nutaq.com/blog/introduction-orthogonal-frequency-division-multiplex-ofdm>
19. Concepts of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) and 802.11 WLAN. Available at:
http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm_basicprinciplesoverview.htm. (Accessed: 15th January 2019)
20. Navita & Amandeep. Performance analysis of OFDMA, MIMO and SC-FDMA technology in 4G LTE networks. in *2016 6th International Conference -*

Cloud System and Big Data Engineering (Confluence) 554–558 (IEEE, 2016).

doi:10.1109/CONFLUENCE.2016.7508181

21. 4G - LTE/LTE-A. Available at:
https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2014_2/rafaelreis/ofdma_scdma.html. (Accessed: 15th January 2019)
22. Orthogonal frequency-division multiple access. *Wikipedia* (2018).
23. Single-carrier FDMA. *Wikipedia* (2018).
24. SC-FDMA is Implemented in LTE Uplink. *EEWeb Community* Available at:
<https://www.eeweb.com/member-projects/sc-fdma-is-implemented-in-lte-uplink>.
(Accessed: 15th January 2019)
25. LTE in a Nutshell - Physical Layer.pdf. Available at:
<https://home.zhaw.ch/kunr/NTM1/literatur/LTE%20in%20a%20Nutshell%20-%20Physical%20Layer.pdf>
26. study paper on MIMO_OFDM.pdf. Available at:
http://tec.gov.in/pdf/Studypaper/study%20paper%20on%20MIMO_OFDM.pdf