

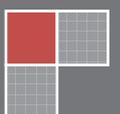
2014

Στατιστική επεξεργασία δεδομένων παρεμβολής/χωρητικότητας σε OFDMA/LTE/4G

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φοιτήτρια : Κωνσταντίνα Κωστοπούλου
Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Ασημακόπουλος

Ναύπακτος
Σεπτέμβριος
2014



ΣΧΟΛΗ : ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΜΗΜΑ : ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνα Κωστοπούλου

“Στατιστική επεξεργασία δεδομένων παρεμβολής/χωρητικότητας σε OFDMA/LTE/4G”

Επιβλέπων Καθηγητής

Γεώργιος Ασημακόπουλος

**Ναύπακτος
Σεπτέμβριος 2014**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που μου στάθηκε όλα αυτά τα χρόνια δίπλα μου και με στήριξε σε ότι αποφάσεις πήρα. Έπειτα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους που μου στάθηκαν με τις γνώσεις τους και την προσωπικότητα τους δίπλα μου και με βοήθησαν όλα αυτά τα χρόνια.

Κωνσταντίνα Κωστοπούλου

Σεπτέμβριος 2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πτυχιακή αυτήν εργασία θα μελετήσουμε διεξοδικά τα σύγχρονα δίκτυα και τις τεχνολογίες LTE, OFDMA και 4G. Τα δίκτυα αυτά έχουν παρουσιάσει τεράστια άνοδο και ραγδαία εξέλιξη όλα αυτά τα χρόνια και έχουν επηρεάσει σε τεράστιο βαθμό την σημερινή κατάσταση των ασύρματων δικτύων και της τηλεφωνικής επικοινωνίας. Η εργασία μας θα είναι χωρισμένη σε δυο μέρη όπου στο ένα θα υπάρχει το θεωρητικό κομμάτι στο οποίο θα αναλύουμε εκτενώς μέσα από μελέτη που θα πραγματοποιήσουμε όλες τις πτυχές των παραπάνω τεχνολογιών και σε ένα δεύτερο κομμάτι το οποίο θα αποτελέσει το πρακτικό μέρος της πτυχιακής μας εργασίας. Βασικός στόχος της πτυχιακής αυτής εργασίας αποτελεί η πλήρης κατανόηση των αλγορίθμων με τους οποίους αποδίδονται με αποτελεσματικό τρόπο ραδιοπόροι σε δίκτυα τεχνολογίας OFDMA/LTE/4G. Για τον λόγο αυτόν στο πρακτικό μέρος της εργασίας αυτής θα περιέχεται μια διεξοδική επισκόπηση και έρευνα αλγορίθμων αλλά και μια επεξεργασία δεδομένων όπου θα μελετήσουμε την απόδοση των ραδιοπόρων σε δίκτυα τεχνολογίας OFDMA

ABSTRACT

In this thesis work we will study thoroughly modern networks and technologies LTE, OFDMA and 4G. These networks have experienced tremendous rise and rapid development over the years and have influenced enormously the current state of wireless networks and telephone communication. Our work is divided into two parts where one would have the theoretical part which will analyze extensively through study will fulfill all aspects of these technologies in a second piece which will be the practical part of our graduation work . The main objective of this thesis work is a thorough understanding of algorithms which effectively rendered with radio resources in technology networks OFDMA/LTE/4G. For this reason the practical part of this work will present a comprehensive overview and study of algorithms and a data processing where we will study the performance of radio resources in OFDMA networks technology

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	11
2.1 Εισαγωγή.....	11
2.2 Η εξέλιξη των Τηλεπικοινωνιών.....	13
2.2.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή.....	17
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: OFDMA	19
3.1 Εισαγωγή.....	19
3.2 Βασικές αρχές.....	21
3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	25
3.4 Τεχνικές Κατανομής Ραδιοπόρων.....	26
3.5 Παρεμβολές.....	28
4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: LTE	31
4.1 Εισαγωγή.....	31
4.2 Long Term Evolution	33
4.2.1 LTE-Advanced	37
4.3 Χωρητικότητα	38
4.4 Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές.....	41
5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 4G	43
5.1 Εισαγωγή.....	43

5.2 Η τεχνολογία 4G.....	45
5.3 Πως λειτουργεί	49
5.4 Γενικά χαρακτηριστικά	50
5.4.1 Χωρητικότητα	51
<i>BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	54

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.1 : OFDM ραδιοπόροι, σύμβολα και υποφερόντα.....	22
Εικόνα 3.2 : OFDMA μετάδοση κατά ζεύξης αναθέτοντας σε ξεχωριστούς χρήστες άλλα υποφερόντα	22
Εικόνα 3.3 : Συχνότητες για OFDMA	24
Εικόνα 5.1 : Ταχύτητες 4G συγκριτικά με προηγούμενες γενιές.....	46
Εικόνα 5.2 : Σύγκριση παραμέτρων και χαρακτηριστικών 4G με παλαιότερες γενιές	51

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης άνω ζεύξης.....	38
Πίνακας 4.2 : Μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης κάτω ζεύξης.....	39
Πίνακας 4.3 : Προδιαγραφές Long Term Evolution	42

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βασικός σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας αποτελεί η διεξοδική μελέτη πάνω στο ιδιαίτερα σύγχρονο ζήτημα των νέων τεχνολογιών που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια που είναι τα δίκτυα OFDMA/LTE/4G. Βασικός στόχος αποτελεί η κατανόηση των αλγορίθμων που θα παρουσιάσουμε με τους οποίους αποδίδονται με αποτελεσματική μέθοδο ραδιοπόροι στα δίκτυα που προαναφέραμε.

Αντικείμενο της εργασίας αυτής αποτελεί η έρευνα των κατάλληλων αλγορίθμων για τη απόδοση Ραδιοπόρων (μπλοκ συχνοτήτων) σε δίκτυα τεχνολογίας OFDMA. Εκεί θα πραγματοποιηθεί η απαραίτητη επεξεργασία όλων των στοιχείων που θα ληφθούν από τις προσημειώσεις και εκεί θα γίνει η κατάλληλη αξιολόγηση των ανάλογων αποτελεσμάτων που θα λάβουμε.

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία με θέμα «Στατιστική επεξεργασία δεδομένων παρεμβολής/χωρητικότητας σε δίκτυα OFDMA/LTE/4G» χωρίζεται σε δυο μέρη όπου το πρώτο θα αποτελεί το θεωρητικό μέρος όπου και θα πραγματοποιηθεί διεξοδική έρευνα για την άντληση πληροφοριών που περιέχουν τις τρεις αυτές τεχνολογίες και το δεύτερο θα περιέχει το πρακτικό κομμάτι όπου θα περιλαμβάνεται επισκόπηση και έρευνα αλγορίθμων και επεξεργασία δεδομένων.

Στην εν λόγω πτυχιακή εργασία, αρχικά, στο θεωρητικό κομμάτι, θα παρουσιάσουμε ένα εισαγωγικό κεφάλαιο το οποίο θα αφορά τις σύγχρονες τεχνολογίες στα ασύρματα δίκτυα και στην κινητή τηλεφωνία αλλά και γενικότερα στον τομέα των τηλεπικοινωνιών στην σημερινή εποχή μέσα από μια ιστορική αναδρομή που θα παρουσιάσουμε.

Στην συνέχεια σε τρία ξεχωριστά κεφάλαια θα μελετήσουμε χωριστά τις τρεις αυτές τεχνολογίες έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να τις κατανοήσουμε όσο το

δυνατόν καλύτερα και να βγάλουμε στο τέλος πιο χρήσιμα συμπεράσματα. Έτσι θα παρουσιάσουμε ένα κεφάλαιο για τα OFDMA δίκτυα όπου θα μελετάμε τις βασικές αρχές, τις τεχνικές κατανομής ραδιοπόρων, τις παρεμβολές αλλά και τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα που εμφανίζουν τα δίκτυα αυτά.

Στην συνέχεια θα μελετήσουμε τα δίκτυα LTE, τι είναι, την χωρητικότητα τους, τις παρεμβολές τους αλλά και διάφορα άλλα βασικά χαρακτηριστικά και προδιαγραφές που έχουν καθώς επίσης και την πιο πρόσφατη τεχνολογία που αποτελεί κομμάτι της τέταρτης γενιάς την τεχνολογία LTE Advanced.

Μετέπειτα, θα παρουσιάσουμε την τελευταία τεχνολογία που μελετάμε στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία που είναι τα δίκτυα τέταρτης γενιάς είτε όπως είναι ευρέως γνωστά στην σημερινή εποχή τα δίκτυα 4G. Στο κεφάλαιο αυτό θα μιλήσουμε για την συγκεκριμένη τεχνολογία, τι είναι, πως λειτουργεί, τα γενικά της χαρακτηριστικά αλλά θα εστιάσουμε στον τομέα και την σημαντικότητα της χωρητικότητας των εν λόγω δικτύων.

Τέλος, στο δεύτερο κομμάτι της εργασίας μας θα παρουσιάσουμε τα πρακτικό κομμάτι της εργασίας εκ του οποίου θα αντλήσουμε τα πιο χρήσιμα συμπεράσματα της εργασίας αυτής μέσα από τα αποτελέσματα που θα λάβουμε από τα δεδομένα που θα αντλήσουμε από τους αλγόριθμους των δικτύων αυτών.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

2.1 Εισαγωγή

Ο κλάδος της κινητής τηλεφωνίας και των σύγχρονων δικτύων αποτελεί έναν εξαιρετικά ταχύτατα αναπτυσσόμενο κλάδο που στην σύγχρονη εποχή είναι σε επίπεδο μετεξέλιξης μιας και η μετάβαση του από τρίτη σε τέταρτη γενιά είναι γεγονός. Στην τεράστια ανάπτυξη του συγκεκριμένου κλάδου μεγάλο ρόλο έπαιξαν οι υψηλότερες ανάγκες της σημερινής εποχής οι οποίες απαιτούν έναν ενοποιημένο και ιδιαίτερα δραστηριοποιημένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας που θα έχει την δυνατότητα να προσφέρει περισσότερες υπηρεσίες στους χρήστες του.¹

Με τον τρόπο αυτόν, η βιομηχανία του κλάδου αυτού παρουσιάζει τεράστια ανάπτυξη σαν ένα σύγχρονο μοντέλο το οποίο εστιάζει στα νέα πολυμέσα τα οποία προσφέρουν την ευχέρεια να παρέχουν στους χρήστες νέες υπηρεσίες. Τα δίκτυα HSPA και LTE, τα οποία μελετάμε στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, παρουσιάζουν μεγάλη ανταπόκριση στις καινούριες τάσεις συγκριτικά με προηγούμενα έτη, εμφανίζοντας πολύ μεγαλύτερη βελτίωση σε ότι αφορά την απόδοση του φάσματος τους αλλά και την ανοδική τάση που έχουν στην χωρητικότητα των σταθμών βάσεων τους.²

¹ Α. Νικολιδάκη, (2011), *Μελέτη και Αξιολόγηση Επίδοσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε LTE Δίκτυα*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πληροφορικής, Πειραιάς.

² Θ. Κυριακόπουλος, (2013), *Η ανάπτυξη του LTE στην Ελλάδα*, Τεχνική Βιβλιοθήκη, Μάιος, Θεσσαλονίκη.

Οι εν λόγω βελτιώσεις σε σχέση με δίκτυα τρίτης γενιάς, παρέχουν στα παραπάνω δίκτυα την ευχέρεια να δίνουν μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, ελαττωμένες καθυστερήσεις, μεγάλη βελτίωση στο σύνολο των υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες αλλά και να διατηρήσουν ταυτόχρονα πιο χαμηλά στάδια σε ότι έχει να κάνει με το λειτουργικό κόστος.³

Γενικότερα, πριν από περίπου 100 χρόνια, η χρησιμότητα των ραδιοσυχνοτήτων ήταν ιδιαίτερα περιορισμένη καθώς οι εφαρμογές της είχαν ως πεί το πλείστον άμεση σχέση με την μετάδοση ήχου και οι ανάγκες της μετάδοσης μεγαλύτερου εύρους συχνοτήτων ήταν αρκετά πιο χαμηλά σε σύγκριση με τα σημερινά δεδομένα.⁴

Έχοντας σαν βάση πως οι συχνότητες εκείνης της εποχής ήταν ιδιαίτερα χαμηλές παρείχαν μια πιο γενική και εύκολη διάδοση καθώς δεν χρειαζόταν οπτική επαφή πομπού και δέκτη, αλλά το φάσμα αυτό χρησιμοποιούνταν ευρέως κυρίως στην αρχή της διάδοσης των ραδιοεπικοινωνιών όπου την περίοδο εκείνη ήταν το πιο μικρό κομμάτι από αυτό έχοντας συχνότητες από 0.1 μέχρι και 30 MHz.

Στα μέσα του προηγούμενου αιώνα, ξεκίνησε να εξελίσσεται ένα καινούριο μέσο το οποίο είχε κάνει την εμφάνιση του για πρώτη φορά λίγο πιο πριν. Η τεχνολογία αυτήν περιελάμβανε μετάδοση εικόνας μέσω της τηλεόρασης, έχοντας τεράστιες διαφορές με τα προηγούμενα μέσα που είχαν αναπτυχθεί καθώς η μεγαλύτερη διαφορά ήταν η μετάδοση κάθε διαύλου όπου χρειαζόταν να υπάρχει αρκετά πιο μεγάλο εύρος.⁵

Στο καινούριο αυτό μέσο αποδόθηκε ένα αρκετά μεγαλύτερο κομμάτι συχνοτήτων, που κατά κύριο λόγο άρχιζε από τους 47MHz και έφτανε έως 862MHz. το συγκεκριμένο εύρος διαχωρίστηκε σε διάφορες ομάδες συχνοτήτων με κάποια κομμάτια μεταξύ των διαχωρισμών αυτών να αποδίδονται σε διαφορετικές

³ Α. Νικολιδάκη, (2011), *Μελέτη και Αξιολόγηση Επίδοσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε LTE Δίκτυα*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πληροφορικής, Πειραιάς.

⁴ Nokia Telecommunications, (1999), *Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)*, whitepaper.

⁵ Θ. Κυριακόπουλος, (2013), *Η ανάπτυξη του LTE στην Ελλάδα*, Τεχνική Βιβλιοθήκη, Μάιος, Θεσσαλονίκη.

χρησιμότητες, όπως για παράδειγμα τα FM στο οποίο υπήρχε ένα εύρος 20MHz μέχρι και 100MHz.⁶

Όλες οι παραπάνω χρήσεις δεν χρειαζόταν μεγάλο εύρος συχνοτήτων, και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να μην δημιουργείται κανένα πρόβλημα κατά την σπατάλη υψηλότερου κομματιού συχνοτήτων κάτω δηλαδή από το 1GHz της τηλεόρασης, που τις τελευταίες δεκαετίες δημιουργήθηκε με τεράστια ταχύτητα και περίπου σε όλες τις τοποθεσίες σε ολόκληρη την γη έχοντας ολοκληρωτική κάλυψη του περιβάλλοντος στο οποίο αποδιδόταν.⁷

2.2 Η εξέλιξη των Τηλεπικοινωνιών

Παρά το γεγονός πως τα ασύρματα δίκτυα ευρείας ζώνης έχουν εμφανίσει μεγάλη άνοδο στον ρυθμό μετάδοσης των πληροφοριών τα προηγούμενα χρόνια, τα ενσύρματα δίκτυα επικοινωνιών παραμένουν να δίνουν πιο μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης των πληροφοριών.⁸

Το ψηφιακό ISDN πραγματοποιήθηκε το 1984 και αναπτύχθηκε για να προσφέρει μια ολοκληρωμένη ψηφιακή υπηρεσία στους χρήστες των υπηρεσιών τηλεφωνίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Η συγκεκριμένη υπηρεσία αντικατέστησε το αναλογικό τηλεφωνικό σύστημα σε ψηφιακό σύστημα. Ο όγκος των υπηρεσιών ο οποίος παρέχεται είναι τεράστιος και περιέχει διάφορες υπηρεσίες όπως η μεταφορά

⁶ Κ. Κουλουμπίνης, (2013), *Συστήματα 4G LTE και αρχική σχεδίαση δικτύου (LTE Dimensioning)*, Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα..

⁷ Θ. Κυριακόπουλος, (2013), *Η ανάπτυξη του LTE στην Ελλάδα*, Τεχνική Βιβλιοθήκη, Μάιος, Θεσσαλονίκη.

⁸ Α. Κανατάς, Φ. Κωνσταντίνου, Γ. Παντος, (2008), *Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

πληροφοριών μεταξύ χρηστών, δίχως το δίκτυο να αλλοιώνει το μέσο, έχοντας διάφορες υπηρεσίες οι οποίες δρουν συμπληρωματικά.⁹

Το ISDN παρέχει 2 δυνατότητες σύνδεσης την κύρια και την πρωτεύουσα. Στην κύρια σύνδεση παρέχονται 2 ψηφιακά κανάλια B των 64kbps και ένα ψηφιακό κανάλι D των 16 kbps. Η πρωτεύουσα σύνδεση, από την άλλη, παρέχει 30 κανάλια B και ένα μοναδικό κανάλι D των 64kbps στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ιαπωνία και 23 κανάλια B και 1 κανάλι D στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής παρέχοντας ταχύτητες E1 και T1 αντίστοιχα.¹⁰

Το ISDN ευρείας ζώνης αποτελεί μια επέκταση του ISDN το οποίο έχει δυνατότητες μετάδοσης και στο narrowband αλλά και στο broadband. Εάν θα έπρεπε να δοθεί ένας ορισμός θα χρησιμοποιήσουμε τον διεθνή ορισμό που υπάρχει στην παγκόσμια βιβλιογραφία όπου ορίζεται μια υπηρεσία είτε ένα σύστημα το οποίο χρειάζεται ένα κανάλι μετάδοσης το οποίο θα έχει την δυνατότητα να στηρίξει πιο μεγάλα ποσοστά από ότι στο ξεκίνημα του. τα αρχικά ποσοστά ανέρχονται σχεδόν από 1.5 σε 2 Mbps.

Η ψηφιακή γραμμή DSL αποτελεί μια ιδιαίτερη μορφή τεχνολογίας μετάδοσης πληροφοριών η οποία δραστηριοποιείται πάνω σε κλασσική τηλεφωνική γραμμή αλλά κατορθώνει να έχει πιο μεγάλο ρυθμό μετάδοσης από ότι ένα κλασικό μόντεμ. Οι εκδόσεις αυτής της μορφής που ακολούθησαν μετέπειτα ήταν το ADSL, ADSL2, ADSL2+, που προσέφεραν πιο μεγάλες ταχύτητες έχοντας παράλληλα διαφορετικό εύρος ζώνης.¹¹

Η τεχνολογία VHDSL αποτελεί μια τεχνολογία DSL η οποία παρέχει πιο γρήγορους ρυθμούς μετάδοσης πληροφοριών από άλλες τεχνολογίες που προαναφέρθηκαν. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην χρήση της FTTN είτε FTTC αρχιτεκτονικής. Η πιο εξελιγμένη έκδοση της συγκεκριμένης τεχνολογίας ήταν

⁹ B. Eylert, (2005) *The Mobile Multimedia Business: Requirements and Solutions*, John Wiley & Sons, Paris.

¹⁰ Θ. Κυριακόπουλος, (2013), *Η ανάπτυξη του LTE στην Ελλάδα*, Τεχνική Βιβλιοθήκη, Μάιος, Θεσσαλονίκη.

¹¹ P. Lesquyer, T. Lucidarme, (2008), *Evolved Packet System (EPS)*, The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS, John Wiley & Sons.

το VDSL2 το οποίο προσφέρει ταχύτητες υψηλότερες από 200 Mbps σε πιο μικρή απόσταση, 100 Mbps σε 500m και 50Mbps σε ένα χιλιόμετρο.¹²

Η τεράστια διάδοση της χρησιμότητας των οπτικών ινών στα τηλεφωνικά δίκτυα και η υποχρέωση για υψηλότερες ταχύτητες προκάλεσαν την ευρεία αποδοχή του SONET το οποίο λειτουργεί σαν ένα μέσο εκ του οποίου μεταδίδονται δεδομένα με ψηφιακές μεθόδους. Οι ρυθμοί μετάδοσης της συγκεκριμένης τεχνολογία ακολούθησαν την ιεραρχία του SDH το οποίο ήταν ένα πρότυπο τεχνολογίας για την καινούρια μετάδοση πληροφοριών σε οπτικά κυρίως μέσα.

Στις τεχνολογίες οπτικών ινών το Μήκος Κύματος Πολυπλεξίας αποτελεί μια τεχνολογία η οποία πολυπλέκει ένα σύνολο οπτικών μέσων σε μια κοινή ίνα κάνοντας χρήση διαφορετικών μήκων κύματος ενός laser. Με την χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου υπάρχει η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας αλλά και πολλαπλασιασμού χωρητικότητας.¹³

Το δίκτυο PON αποτελεί ένα είδος αρχιτεκτονικής δικτύου το οποίο αποτελείται από ίνες καλωδίωσης και διάφορα σήματα κάνοντας χρήση ενός συστήματος point-to-multipoint το οποίο αφήνει σε μια κοινή οπτική ίνα να υποστηρίξει και άλλους χώρους.

Το ασύρματο LAN (WLAN) προσφέρει διάφορες υπηρεσίες πληροφοριών με μεγάλο ρυθμό μετάδοσης σε μια μικρή τοποθεσία έχοντας κινητικότητα χρηστών. Τα συγκεκριμένα συστήματα δρουν στις ζώνες ISM στα 2.4 GHZ έως και τα 5.8 αλλά κυρίως στην ζώνη των 5.2 με μερικές παραλλαγές ανά τοποθεσία.¹⁴

Το GSM αποτελεί ένα πιο επιτυχημένο σύστημα 2^{ης} γενιάς το οποίο άρχισε να λειτουργεί σαν ένα ευρωπαϊκό σύστημα αλλά κατέληξε να έχει μια διεθνή μορφή. Η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν διαδόθηκε μονάχα στην Αμερική. Παρά το

¹² A. Hamza,(2009), *Long Term Evolution (LTE) – A Tutorial*, October 13, London.

¹³ Α. Νικολιδάκη, (2011), *Μελέτη και Αξιολόγηση Επίδοσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε LTE Δίκτυα*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πληροφορικής, Πειραιάς.

¹⁴ Α.Κανατάς, Φ. Κωνσταντίνου, Γ. Παντος, (2008), *Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

γεγονός αυτό, όμως, η βόρειο-αμερικάνικη κοινωνία πήρε την απόφαση το 2001 να χρησιμοποιήσει το σύστημα WCDMA το οποίο ορίστηκε μέσα από το 3GPP. Για να προετοιμαστούν για την είσοδο της συγκεκριμένης τεχνολογίας αρκετές ομάδες έκαναν χρήση εκείνη την περίοδο του συστήματος GSM/GPRS.¹⁵

Η εν λόγω τεχνολογία βελτιώθηκε για να εξυπηρετεί τις ανάγκες των δικτύων της γενιάς 2.5 έχοντας την ονομασία EDGE, η οποία ήταν μια μέθοδος διαμόρφωσης 8-PSK. Η συγκεκριμένη τακτική επέφερε μεγάλες επιρροές στο λογισμικό σταθμών βάσης και παρείχε μέχρι και τριπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από τον αρχικό της προηγούμενης τεχνολογίας.¹⁶

Στην συνέχεια, υπήρξε η τεχνολογία η τεχνολογία HSDPA, έχοντας σαν βασικότερο στόχο την πιο αποδοτική και αποτελεσματική χρήση των πηγών του συστήματος UMTS, ως επί το πλείστον σε ότι έχει να κάνει με την χρησιμότητα τους για προσφορά υπηρεσιών και λειτουργιών internet και μεταφοράς πληροφοριών αλλά και την ανοδική τάση του ρυθμού μετάδοσης πληροφοριών.

Η εξέλιξη του HSPA είναι η τεχνολογία HSPA+ και είναι κομμάτι της έκδοσης εφτά της 3GPP και δημιουργήθηκε με κυριότερο στόχο την πιο αποδοτική χρήση των πηγών του προηγούμενου συστήματος από αυτό κυρίως για ότι έχει να κάνει με το δίκτυο της ολική μετάδοσης λειτουργιών διαμέσου του κλάδου packet-switched το οποίο αποτελεί ένα είδος παράλληλης βελτίωσης σε ποιότητα και μεταφορά πληροφοριών.¹⁷

Μετάπειτα έχουμε το Wimax το οποίο είναι ένα είδος ασύρματης δικτύωσης που δρα με παρόμοιο τρόπο με το κλασικό Wi-fi εξασφαλίζοντας εμβέλεια επικοινωνίας έως εκατό μέτρα. Η έκδοση για κινητή τηλεφωνία της εν λόγω τεχνολογίας επικεντρώνεται στο πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε το 2005 έχοντας

¹⁵ P. Lesquyer, T. Lucidarme, (2008), *Evolved Packet System (EPS)*, The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS, John Wiley & Sons.

¹⁶ B. Eylert, (2005) *The Mobile Multimedia Business: Requirements and Solutions*, John Wiley & Sons, Paris.

¹⁷ Α. Νικολιδάκη, (2011), *Μελέτη και Αξιολόγηση Επίδοσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε LTE Δίκτυα*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πληροφορικής, Πειραιάς.

τέλειες συνθήκες και μεγάλες ταχύτητες φτάνοντας έως και 70 Mbit/sec σε απόσταση σχεδόν 48km.¹⁸

Τέλος, είχαμε την τεχνολογία LTE η οποία αποτελεί την νέα γενιά ασύρματων δικτύων επικοινωνιών η οποία αντικαθιστά την προηγούμενη τεχνολογία των 3G και παρέχει στους χρήστες καλύτερες υπηρεσίες και λειτουργίες με υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης, κάτι δηλαδή το οποίο δεν πέτυχαν προηγούμενες τεχνολογίες.

Ο συνδυασμός ενσύρματων και ασύρματων τεχνολογιών παρουσιάζουν τα τελευταία χρόνια τεράστια αύξηση στον ρυθμό μετάδοσης και είναι κάτι το οποίο θα συνεχιστεί και στο μέλλον παρέχοντας ρυθμό μετάδοσης μέχρι και Tbps. Σε ότι αφορά τα ασύρματα δίκτυα θα πρέπει να παρουσιάσουν μεγαλύτερη άνοδο στον ρυθμό μετάδοσης των πληροφοριών.¹⁹

Οι ασύρματες εφαρμογές παρουσιάζουν πολύ μεγάλο πλεονέκτημα καθώς έχουν την ευχέρεια να προσφέρουν ευρυζωνική πρόσβαση, δίχως να υπολογίζεται η τοποθεσία στη οποία βρίσκεται κάποιος χρήστης αλλά και η κινητικότητα του. μια ασύρματη επιλογή έχει την ευχέρεια παράλληλα να προσφέρει χαμηλού κόστους ευρυζωνική κάλυψη σε σχέση με τα καινούρια ενσύρματα συστήματα.²⁰

2.2.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή

Η πρώτη γενιά (1G) ξεκίνησε να δραστηριοποιείται στις αρχές της δεκαετίας του 1980 όπου η επικοινωνία πραγματοποιούνταν με την χρήση αναλογικού

¹⁸ Κ. Κουλουμπίνης, (2013), Συστήματα 4G LTE και αρχική σχεδίαση δικτύου (LTE Dimensioning), Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα..

¹⁹ Α. Νικολιδάκη, (2011), *Μελέτη και Αξιολόγηση Επίδοσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε LTE Δίκτυα*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πληροφορικής, Πειραιάς.

²⁰ Θ. Κυριακόπουλος, (2013), *Η ανάπτυξη του LTE στην Ελλάδα*, Τεχνική Βιβλιοθήκη, Μάιος, Θεσσαλονίκη.

σήματος όπως ήταν για παράδειγμα το σύστημα AMPS το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα των τεχνολογιών εκείνης της γενιάς.²¹

Η δεύτερη γενιά (2G) ξεκίνησε να λειτουργεί στις αρχές της δεκαετίας του 1990, μετά δηλαδή από μια δεκαετία από την πρώτη γενιά, έχοντας επικοινωνία με την χρήση ψηφιακού σήματος όπως ήταν για παράδειγμα η τεχνολογία GSM την οποία αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο της εν λόγω πτυχιακής εργασίας που καλούμαστε να εκπονήσουμε.

Η Τρίτη γενιά (3G) ξεκίνησε την δράση της περίπου στα τέλη της δεκαετίας του '90 έχοντας παγκόσμια ενάρμοση και περιαγωγή (roaming). Χαρακτηριστικές τεχνολογίες της συγκεκριμένης γενιάς αποτέλεσαν οι UMTS και CDMA2000. Στην συνέχεια, αναπτύχθηκε το IMT (International Mobile Telecommunications) που αναπτύχθηκε το 2000 και διεύρυνε την συγκεκριμένη γενιά σε διεθνή επίπεδα.²²

Αργότερα, υπήρξε η ανάπτυξη του 3GPP το οποίο αναπτύσσει συστήματα τα οποία δεν είναι στα πλαίσια του 3G όπως είναι το LTE (Long Term Evolution) αλλά και το 3GPP2 UMB (Ultra Mobile Broadband). Τέλος, πλέον έχει εισχωρήσει η τέταρτη γενιά στην ζωή μας η οποία παρέχει πληθώρα πλεονεκτημάτων και διευκολύνσεων από την ώρα που αναπτύχθηκε και εισχώρησε στην καθημερινότητα μας.²³

²¹ Κ. Κουλουμπίνης, (2013), Συστήματα 4G LTE και αρχική σχεδίαση δικτύου (LTE Dimensioning), Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα.

²² P. Lesquyer, T. Lucidarme, (2008), *Evolved Packet System (EPS)*, The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS, John Wiley & Sons.

²³ Α. Νικολιδάκη, (2011), *Μελέτη και Αξιολόγηση Επίδοσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε LTE Δίκτυα*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πληροφορικής, Πειραιάς.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: OFDMA

3.1 Εισαγωγή

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) και Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) είναι δυο διαφορετικές παραλλαγές της ίδιας ασύρματης ευρυζωνικής διασύνδεσης αέρα η οποία τις περισσότερες φορές συγγέεται με ένα άλλο είδος OFDMA το οποίο αποτελεί OFDM και καλείται Long Term Evolution (LTE). Το LTE αποτελεί μια τεχνολογία OFDMA η οποία εστιάζει στην τυποποίηση του 3GPP.²⁴

Οι δυο αυτές συνδέσεις, των OFDM και OFDMA, δουλεύουν χωριστά έχοντας ένα ενιαίο σήμα, είτε, με άλλα λόγια, κάνοντας χρήση της διαίρεσης ενός πάρα πολύ γρήγορου σήματος το οποίο δραστηριοποιείται σε αρκετά αργά σήματα τα οποία έχουν την ευχέρεια βελτιστοποίησης στον τρόπο πρόσβασης, στην κινητή τηλεφωνία, αλλά και στα υπό-κανάλια τα οποία μπορεί αργότερα να τα αφήσει να μεταδώσουν πληροφορίες δίχως να κινούνται στο ίδιο μέγεθος της στρέβλωσης πολλαπλών διαδρόμων.²⁵

Οι υποφορείς (subcarriers), οι οποίοι δημιουργούνται κατά την παραπάνω διαδικασία είναι πολυάριθμοι και μαζεύονται στον δέκτη με στόχο την ανασύνδεση τους έτσι ώστε να κατορθώσουν να σχηματίσουν μια μετάδοση με υψηλότερη ταχύτητα. Η βασικότερη διαφορά ανάμεσα στις δυο αυτές συνδέσεις είναι πως το

²⁴ [<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=253>]

²⁵ P. Lesquyer, T. Lucidarme, (2008), *Evolved Packet System (EPS)*, The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS, John Wiley & Sons.

OFDMA έχει την δυνατότητα να ορίζεται με δυναμικό τρόπο σαν ένα υποσύνολο των υποφορέων που προαναφέραμε σε μεμονωμένους, όμως, χρήστες του OFDM, κάνοντας παράλληλα χρήση είτε πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου σε ξεχωριστά χρονικά πλαίσια, είτε με χρήση FDMA σε ξεχωριστά κανάλια, αλλά για αρκετούς και διαφορετικούς χρήστες του OFDMA.²⁶

Το OFDMA, ταυτόχρονα, έχει την ευχέρεια να υποστηρίζει την ίδια ώρα αρκετούς χρήστες με την ανάθεση τους σε συγκεκριμένα υπό-κανάλια για διάφορα χρονικά διαστήματα. Τα OFDM, τις περισσότερες φορές καταλαμβάνουν νομαδική σταθερά έχοντας σαν βασικότερα πρότυπα των μεταδόσεων που αποτελούν μονόδρομο, είτε στην τηλεόραση είτε μέσω Wi-fi, καθώς επίσης και από σταθερό WiMAX.

Παρόλα αυτά, το OFDMA έχει την δυνατότητα να προσθέτει μεγαλύτερη κινητικότητα στο μίγμα που αναπτύσσεται το οποίο αποτελεί την κύρια ραχοκοκαλιά των καινούριων τεχνολογιών που αναπτύσσονται τα τελευταία χρόνια, συμπεριλαμβάνοντας σε αυτές και την τεχνολογία LTE αλλά και το Mobile WiMAX.²⁷

Γενικότερα, θα πρέπει να επισημάνουμε πως τα ευρυζωνικά ασύρματα συστήματα χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες. Ο διαχωρισμός αυτός αφορά τα σταθερά ευρυζωνικά συστήματα αλλά και τα κινητά συστήματα επικοινωνιών. Σε ότι έχει να κάνει με την αρχική κατηγορία των σταθερών συστημάτων θα πρέπει να τονίσουμε πως αφορά διαφορετικές επιλογές στο ενσύρματο DSL, μιας και παρέχει ίδιες λειτουργίες δίχως να γίνεται χρήση στα καλώδια του μόντεμ.

Σε ότι αφορά την δεύτερη κατηγορία που προαναφέραμε, θα πρέπει να τονίσουμε πως παρέχει μεγαλύτερη ικανότητα λειτουργιών προς τους χρήστες μιας και η χρήση του αφορά την σύνδεση στο κάθε δίκτυο ξεχωριστά διαμέσου τοπικών σταθμών βάσης όπως για παράδειγμα κεραίες αλλά και στην συντήρηση των

²⁶ Α.Κανατάς, Φ. Κωνσταντίνου, Γ. Παντος, (2008), *Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

²⁷ [<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=253>]

συνδέσεων που έχουν αναπτυχτεί ενώ παράλληλα αλλάζει την τοποθεσία του χρήστη και κινείται μέσα στην εμβέλεια ενός διαφορετικού σταθμού.²⁸

3.2 Βασικές αρχές

Το OFDM αποτελεί ένα είδος πολιτικής διαμόρφωσης το οποίο αναπτύσσει αρκετούς μη εξαρτημένους ρυθμούς πληροφοριών που έχουν την ευχέρεια να κάνουν χρήση από άλλους χρήστες και δεν είναι μια μέθοδος σύνθετης εισχώρησης. Τα παλαιότερα συστήματα όπως ήταν το DSL και οι αρχικές μορφές του WiMAX . κάνουν χρήση single-user OFDM. Η χρήση αυτήν αφορά τα υποφέροντα τα οποία χρησιμοποιούνται από κάποιον χρήστη μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

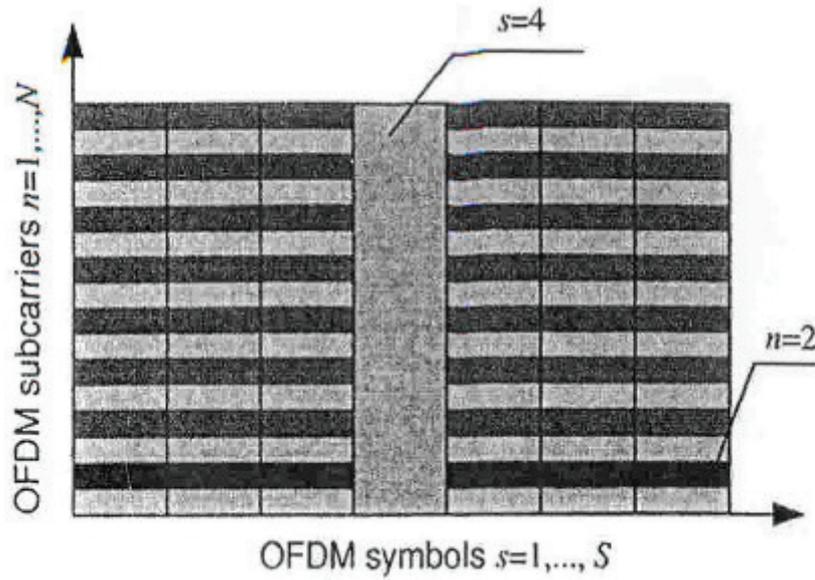
Οι βασικές αρχές του OFDMA αφορούν κυρίως τον διαχωρισμό του χρόνου και της συχνότητας σε OFDM σύμβολα και OFDM υποφέροντα αντίστοιχα. (βλέπε εικόνα 3.1) Οποιοδήποτε σύμβολο είτε υποφέροντα από το προκαθορισμένο σύστημα έχει την δυνατότητα να δοθεί σε ξεχωριστούς χρήστες.²⁹

Ακόμα, άλλος αριθμός συμβόλων και υποφέροντων έχει την ικανότητα να δοθεί σε συγκεκριμένους χρήστες έτσι ώστε να δημιουργούνται ξεχωριστά στάδια διαμόρφωσης. Έτσι, έχουν την δυνατότητα να κατορθώσουν διαφορετικά στάδια ποιότητας λειτουργιών. Όπως μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε στην εικόνα 3.2, όπου παρουσιάζεται η ανάθεση των υποφέροντων στους χρήστες σε ασύρματα συστήματα κάτω ζεύξης, σε ξεχωριστούς χρήστες δίνεται ένας προκαθορισμένος αριθμός σύμφωνα με τις συνθήκες που επικρατούν αλλά και από την κινητικότητα των ράδιο-διαύλων.³⁰

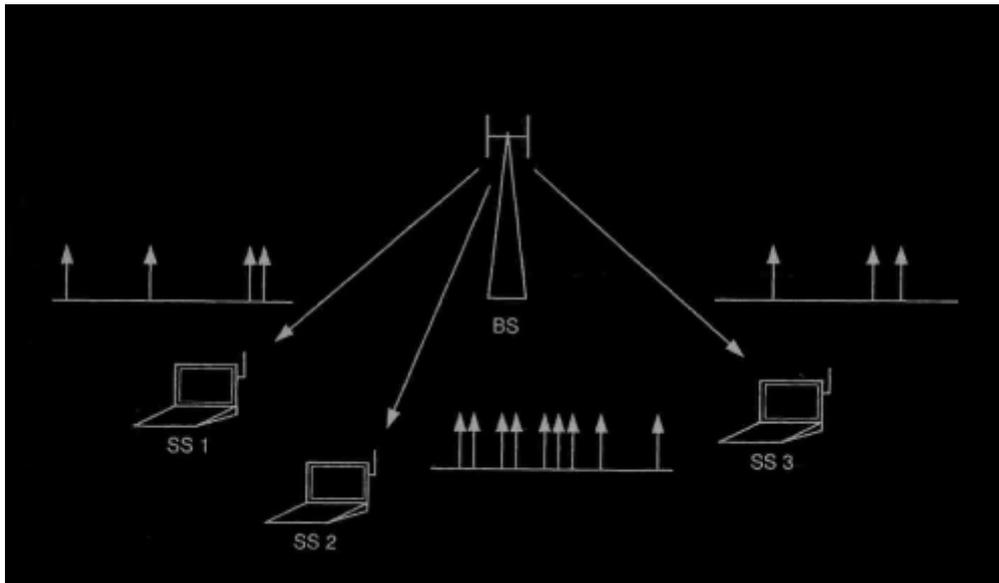
²⁸ Σ. Καραγιαννάκη, (2013), *Μελέτη Εξειδικευμένων Αλγορίθμων για την Κατανομή των Διαθέσιμων Ραδιοπόρων στα Σύγχρονα Ασύρματα Συστήματα*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πανεπιστήμιο Πατρών.

²⁹ Π. Φωτιάδης, (2008), *Τεχνικές Διαχείρισης Ραδιοπόρων σε Ασύρματα Συστήματα Πολλαπλής Πρόσβασης OFDMA*, Διπλωματική Εργασία, Ιούλιος, Αθήνα.

³⁰ A. Hamza,(2009), *Long Term Evolution (LTE) – A Tutorial*, October 13, London.



Εικόνα 3.1 : OFDM ραδιοπόροι, σύμβολα και υποφερόντα



Εικόνα 3.2 : OFDMA μετάδοση κατά ζεύξης αναθέτοντας σε ξεχωριστούς χρήστες άλλα υποφερόντα ³¹

³¹ Π. Φωτιάδης, (2008), Τεχνικές Διαχείρισης Ραδιοπόρων σε Ασύρματα Συστήματα Πολλαπλής Πρόσβασης OFDMA, Διπλωματική Εργασία, Ιούλιος, Αθήνα.

Γενικότερα, στην OFDMA μέθοδο, η πολλαπλή πρόσβαση κατορθώνεται με το ξεκίνημα της διαίρεσης του υπάρχοντος φάσματος σε ένα σύνολο υποφορέων και στην συνέχεια με την επιλογή υποσυνόλων στους χρήστες της μεθόδου αυτής. Το κυριότερο γνώρισμα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι πως εκμεταλλεύεται τον διαφωρισμό των ξεχωριστών χρηστών σε κανάλια που διαλέγονται βάση της συχνότητας, καθώς είναι ιδιαίτερα πιθανό κάποιοι υποφορείς να είναι κακοί για μερικούς από τους χρήστες.³²

Για την αποφυγή και την πρόληψη παρόμοιων καταστάσεων από διαλείψεις σε ότι αφορά τους τομείς των συχνοτήτων, το εύρος ζώνης κάθε υποφέροντος διαλέγεται με στόχο να είναι ιδιαίτερα πιο μικρό συγκριτικά με το εύρος ζώνης συνοχής ενός καναλιού. Έτσι, η μετάδοση πραγματοποιείται με ανθεκτικότητα σε σχέση με το πολυδιαδρομικό χώρο που εξελίσσεται η διαδικασία αυτήν ενώ μεγαλώνει ιδιαίτερα και η φασματική απόδοση.

Ένα άλλο, εξίσου, σημαντικό γνώρισμα του OFDMA είναι πως σε έναν χρήστη υπάρχει η δυνατότητα ανάθεσης πιο πολλών από έναν υποφορέα. Ακόμα, όπως έχει αποδειχτεί σε διάφορες έρευνες που έχουν διεξαχθεί κατά το παρελθόν, κάθε υποφορέας δίνεται συγκεκριμένα σε έναν χρήστη, ξεπερνώντας έτσι την ενδοκυτταρική παρεμβολή που έχουν τα συστήματα αυτά.³³

Ένα άλλο χαρακτηριστικό σε ότι έχει να κάνει LTE OFDMA στο downlink, θα πρέπει να επισημάνουμε πως το σήμα OFDM χρησιμοποιείται σε LTE όπου περιέχεται ένας πολύ μεγάλος αριθμός ο οποίος ανέρχεται σε 2048 διαφορετικούς υποφορείς οι οποίοι έχουν ένα περιθώριο 15KHz.³⁴

Παρόλο που είναι υποχρεωτικά για τον τομέα της κινητής τηλεφωνίας, θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα να εισπράττουν όλους αυτούς τους υποφορείς

³² Σ. Καραγιαννάκη, (2013), *Μελέτη Εξειδικευμένων Αλγορίθμων για την Κατανομή των Διαθέσιμων Ραδιοπόρων στα Σύγχρονα Ασύρματα Συστήματα*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πανεπιστήμιο Πατρών.

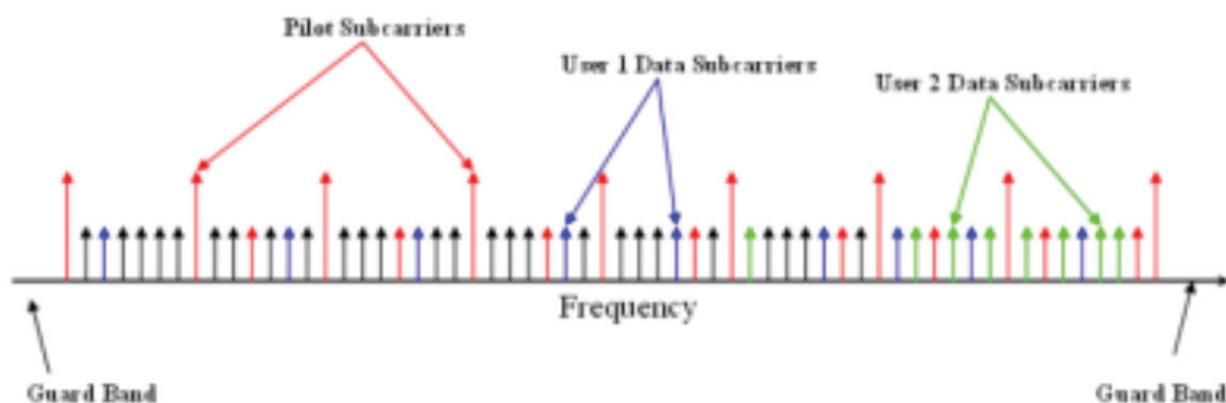
³³ Π. Φωτιάδης, (2008), *Τεχνικές Διαχείρισης Ραδιοπόρων σε Ασύρματα Συστήματα Πολλαπλής Πρόσβασης OFDMA*, Διπλωματική Εργασία, Ιούλιος, Αθήνα.

³⁴ H. Holma, A. Toskala, (2009), *LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*, John Wiley & Sons.

παρόλο που δεν χρειάζεται να μεταδίδονται όλοι από τον σταθμό βάσης αλλά μονάχα απαιτείται να βρίσκονται σε θέση όπου μπορούν να βοηθήσουν την μετάδοση των υποφορέων που χρειάζονται για την διαδικασία αυτήν.

Έτσι, όλα τα κινητά τηλέφωνα θα είναι σε θέση να έχουν επικοινωνία με οποιονδήποτε σταθμό βάσης επιθυμούν εντός του OFDM σήματος το οποίο είναι σε θέση να επιλέξει ανάμεσα σε τρεις τύπους διαμόρφωσης όπως είναι η QPSK (=4QAM) 2bits/σύμβολο, η 16QAM που έχει 4bits/σύμβολο και η 64QAM η οποία έχει 6 δυαδικά ψηφία ανά σύμβολο.

Η ακριβής μορφή θα επιλεγεί σύμφωνα με τις συνθήκες που επικρατούν. Οι πιο χαμηλές μορφές διαφοροποίησης (QPSK) δεν χρειάζονται τόσο μεγάλο λόγο σήματος προς θόρυβο, αλλά δεν είναι σε θέση να αποστείλουν τις πληροφορίες τόσο γρήγορα. Αυτό συμβαίνει μονάχα όταν υφίσταται ένας καλός λόγος σήματος προς θόρυβο όπου θα είναι εύκολη η χρήση της πιο μεγάλης και επικρατέστερης μορφής διαμόρφωσης από αυτές που προαναφέραμε.³⁵



Εικόνα 3.3 : Συχνότητες για OFDMA³⁶

³⁵ [<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-ofdm-ofdma-scdma.php>]

³⁶ H. Holma, A. Toskala, (2009), *LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*, John Wiley & Sons.

Σε ότι αφορά τις συχνότητες σε παρόμοια συστήματα θα πρέπει να διευκρινίσουμε πως σε φέροντες συχνότητες πάνω από 1 GHz η σκίαση αλλά και η ανάκλαση είναι βασικά φαινόμενα. Το σήμα που δέχεται ο δέκτης είναι μια υπέρθεση αντιγράφων του σήματος το οποίο εισέρχεται, κάθε ένα εκ των οποίων είναι με διαφορετικό πλάτος, φάση και χρόνο άφιξης.

Το εν λόγω φαινόμενο καλείται πολυδιαδρομική διάδοση και δημιουργεί διασπορά στο σήμα το οποίο λαμβάνεται στο επίπεδο του χρόνου και επιλεκτικότητα συχνοτήτων στο επίπεδο της συχνότητας. Σε συνθήκες όπου εμφανίζονται εξαιρετικά μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης πληροφοριών, η διασπορά στον χρόνο δημιουργεί υπερκάλυψη των παλμών που αναπτύσσονται με συνέπεια να εμφανίζεται διασυμβολική παρεμβολή. Επομένως θα μπορούσαμε να πούμε πως η ύπαρξη παρόμοιων φαινομένων δημιουργεί εξασθένιση σήματος, σκίαση, πολυδιαδρομική διαδρομή αλλά και αρκετές παρεμβολές.³⁷

3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Το OFDMA έχει την δυνατότητα να περιλαμβάνει το μεγαλύτερο κομμάτι των πλεονεκτημάτων που έχει η μέθοδος OFDM. Το ίδιο ισχύει, όμως, και σε ότι έχει να κάνει με τα μειονεκτήματα των δυο αυτών μεθόδων. Τα καινούρια πλεονεκτήματα που θα μπορούσαμε να εντοπίσουμε στην τεχνική OFDMA είναι τα εξής :

- ❖ **Παρέχει πολυχρηστική ποικιλία :** Το εν λόγω πλεονέκτημα αφορά το υποφέρον μικρής ποιότητας για κάποιον χρήστη, που είναι αρκετά πιθανόν να μην προσφέρει την δυνατότητα να πραγματοποιηθεί από κάποιον διαφορετικό χρήστη με αποτέλεσμα να απαιτεί τεράστια προσοχή στην διαχείριση του

³⁷ Σ. Καραγιαννάκη, (2013), *Μελέτη Εξειδικευμένων Αλγορίθμων για την Κατανομή των Διαθέσιμων Ραδιοπόρων στα Σύγχρονα Ασύρματα Συστήματα*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πανεπιστήμιο Πατρών.

- ❖ **Μεγάλη ευελιξία** : Τα υποφέροντα διακρίνονται κατάλληλα στους χρήστες σύμφωνα με την ισχύ τους και τους δίνει την ικανότητα να αναπτυχθούν με ξεχωριστό τρόπο στα στάδια διαμόρφωσης ανά υποφέρον³⁸
- ❖ **PARP** : Ελαττώνει τον λόγο της μεγαλύτερης τιμής ισχύος προς τον μέσο όρο, συνθήκη η οποία είναι αρκετά συχνό ζήτημα στην OFDM τεχνική. Το γεγονός αυτό έχει άμεση σχέση με το ότι η εκπομπή κάποιου σήματος χρειάζεται ένα κομμάτι και όχι όλο το εύρος ζώνης μιας καθορισμένης ζεύξης

Ένα εκ των βασικότερων ελαττωμάτων που εντοπίζεται στην OFDMA τακτική είναι οι διακαναλικές παρεμβολές, που δεν μπορούν να αποφευχθούν κυρίως στο πολυχρηστικό περιβάλλον. Επομένως, χρειάζεται η εύρεση μεθόδων για την σωστή διαχείριση των Ραδιοπόρων με βασικότερο στόχο την μεγαλύτερη μείωση της επιρροής ανάμεσα στους χρήστες. Στον τομέα της εν λόγω τεχνικής, η διαχείριση Ραδιοπόρων χρειάζεται την ορθή επιλογή υποφερόντων στους χρήστες, σωστό bit loading στα υποφέροντα και παρακολούθηση της ισχύος κάποιου εκ των υποφερόντων.³⁹

3.4 Τεχνικές Κατανομής Ραδιοπόρων

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές για να κερδίσει κάποιος από τη διασπορά αρκετών χρηστών και την προσαρμοστική εξέλιξη στις τεχνικές OFDMA. Οι αλγόριθμοι οι οποίοι εκμεταλλεύονται τα συγκεκριμένα οφέλη δεν προσδιορίζονται από το πρότυπο WiMAX, μιας και το μεγαλύτερο κομμάτι των

³⁸ Θ. Κυριακόπουλος, (2013), *Η ανάπτυξη του LTE στην Ελλάδα*, Τεχνική Βιβλιοθήκη, Μάιος, Θεσσαλονίκη.

³⁹ Π. Φωτιάδης, (2008), *Τεχνικές Διαχείρισης Ραδιοπόρων σε Ασύρματα Συστήματα Πολλαπλής Πρόσβασης OFDMA*, Διπλωματική Εργασία, Ιούλιος, Αθήνα.

προγραμματιστών οι οποίοι ασχολούνται με το εν λόγω πρότυπο είναι ελεύθεροι να δημιουργήσουν τις προσωπικές τους νέες ιδέες και υπηρεσίες.⁴⁰

Η κεντρική ιδέα αφορά την δημιουργία αλγορίθμων για τον καθορισμό χρηστών οι οποίοι θα εισχωρήσουν στο σχέδιο, έχοντας καθορίσει τον τρόπο ανάθεσης των υποφερόντων στους χρήστες αλλά και τα απαραίτητα στάδια ισχύος για κάθε χρήστη αλλά και για τον υποφορέα που αναλογεί στον κάθε ένα.

Σε ότι έχει να κάνει με την ζεύξη του OFDMA υπάρχουν χρήστες οι οποίοι έχουν την δυνατότητα ανατροφοδότησης της κατάστασης ενός καναλιού σε κάποιο πιο κεντρικό σημείο κάποιου σταθμού βάσης, στο οποίο θα υπήρχε η δυνατότητα κατάταξης της ισχύος προσδιορίζοντας την παράλληλα βάση των συνθηκών που επικρατούν στο συγκεκριμένο κανάλι των χρηστών και την δραστηριότητα κατάταξης του μεγαλύτερου συνόλου των πόρων.⁴¹

Από την στιγμή όπου οι υποφορείς των χειριστών έχουν προσδιοριστεί, ο σταθμός βάσης παρακολουθείται και ενημερώνεται συχνά με αλληλεπιδράσεις χειριστών όπου με την τακτική αυτήν πληροφορούνται το γεγονός της αντιστοιχίας των υποφορέων προς κάθε χρήστη. Η εν λόγω διαδικασία απαιτεί μετάδοση στοιχείων προς όλους τους χρήστες σε οποιαδήποτε αλλαγή της κατάταξης αυτής που αφορούν τους πόρους.

Τις περισσότερες φορές η κατάταξη αυτήν χρειάζεται να πραγματοποιείται βάση του χρόνου συνοχής του καναλιού, παρόλο που υπάρχει περίπτωση πιο συχνής πραγματοποίησης σε συνθήκες αρκετών χρηστών όπου εντοπίζεται δηλαδή μεγαλύτερος ανταγωνισμός σε ότι έχει να κάνει με το σύνολο των πόρων που παρέχονται.⁴²

⁴⁰ Σ. Καραγιαννάκη, (2013), *Μελέτη Εξειδικευμένων Αλγορίθμων για την Κατανομή των Διαθέσιμων Ραδιοπόρων στα Σύγχρονα Ασύρματα Συστήματα*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πανεπιστήμιο Πατρών.

⁴¹ E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, P. Beming, (2008), *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband* 2nd Edition, Published by Elsevier Ltd.

⁴² V. D. Papoutsis, I. G. Fraimis., S. A. Kotsopoulos, (2010) *Resource allocation algorithm for MIMO-OFDMA systems with minimum resources guarantee*. IEEE Intern. Conf. Elecir.. Circuits, and Systems, Athens, Greece, Dec.

Τις περισσότερες φορές η συγκεκριμένη κατάταξη διαμορφώνεται σαν ένα ζήτημα βελτιστοποίησης με διάφορους περιορισμούς και όρια μείωσης της ολικής εκπεμπόμενης ισχύος, με όρια στον ρυθμό μετάδοσης πληροφοριών των χρηστών είτε σαν ζήτημα μεγιστοποίησης του ολικού ρυθμού μετάδοσης με διάφορα όρια στην ολική ισχύ η οποία εκπέμπεται.⁴³

Ο βασικότερος και πρωτεύον σκοπός αφορά διάφορες πρακτικές όπως είναι η φωνή η οποία χρειάζεται σταθερό ρυθμό μετάδοσης πληροφοριών, ενώ ο επόμενος σκοπός είναι πιο κατάλληλος για busy πρακτικές όπως είναι για παράδειγμα η μετάδοση στοιχείων και άλλων πρακτικών IP. Οι πιο γνωστοί αλγόριθμοι είναι μεγιστοποίησης του Συνολικού Ρυθμού Μετάδοσης, ο Αλγόριθμος Maximum Fairness και ο Αλγόριθμος Proportional Rate Constraints.⁴⁴

3.5 Παρεμβολές

Εξαιτίας της ραγδαίας εξέλιξης των απαιτήσεων των χρηστών, οι δημιουργοί παρόμοιων δικτύων προσπαθούν να αναπτύξουν ολοένα και πιο καλά τεχνολογικά μέσα έτσι ώστε να ικανοποιούν όσο ποιο πολλές ανάγκες των χρηστών είναι εφικτό. Παρόλα αυτά οι προσπάθειες που καταβάλλονται συγκρούονται συχνά με το ότι οι πιο σημαντικοί φυσικοί πόροι για την κάλυψη των αναγκών και των απαιτήσεων των χρηστών θα πρέπει να γίνουν ακόμα πιο πολλές και συντονισμένες ενέργειες έτσι ώστε να ξεπεραστεί το πεπερασμένο πρόβλημα της βελτίωσης του φάσματος συχνότητων και του ρυθμού μετάδοσης πληροφοριών.⁴⁵

⁴³ Z. Guam II, Li. C. Xu, X. Zhou, and W. Zhang, (2009), *Adaptive subcarrier allocation for MIMO-OFDMA wireless systems using Hungarian method*, Shanghai University, vol. 13, no.2 σελ. 146-149. Apr.

⁴⁴ Σ. Καραγιαννάκη, (2013), *Μελέτη Εξειδικευμένων Αλγορίθμων για την Κατανομή των Διαθέσιμων Ραδιοπόρων στα Σύγχρονα Ασύρματα Συστήματα*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πανεπιστήμιο Πατρών.

⁴⁵ Γ. Καβουργιάς, (2011), *Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε κινητά OFDMA δίκτυα*, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα.

Βασικότερος στόχος τους αποτελεί η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης, κάτι το οποίο, όμως, για να πραγματοποιηθεί θα πρέπει να καλύπτονται κάποιες βασικές προϋποθέσεις όπως είναι για παράδειγμα η βέλτιστη εφικτή εκμετάλλευση του υπάρχοντος εύρους ζώνης και η ελάττωση των καθυστερήσεων που υπάρχουν στις διάφορες υπηρεσίες και δραστηριότητες που πραγματοποιούνται εντός του δικτύου αυτού.⁴⁶

Ένα ανάλογο φαινόμενο το οποίο αφορά το συγκεκριμένο ζήτημα είναι και το φαινόμενο των παρεμβολών το οποίο προκαλεί τεράστια προβλήματα και εντοπίζεται είτε με την παρουσία παρεμβολών ανάμεσα στα σύμβολα είτε σαν παρεμβολές ανάμεσα στους φορείς, ή σαν παρεμβολές ανάμεσα σε κελιά. Η περίπτωση της παρεμβολής ανάμεσα στα κελιά αποτελεί, ίσως, την πιο δυσμενή καταπολέμηση στην οποία πραγματοποιούνται διάφορες αναλύσεις και ακολουθίες έτσι ώστε να ξεπεραστούν παρόμοια προβλήματα.⁴⁷

Σε ότι έχει να κάνει με την καταπολέμηση των παρεμβολών, υφίστανται διάφορες τακτικές που σίγουρα έχουν μεγάλες διαφορές σύμφωνα με το είδος της κάθε παρεμβολής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα πρόληψης αποτελεί η παρακολούθηση της ισχύος κατά την διάρκεια μιας μετάδοσης, η ορθογωνιότητα αλλά και το κυκλικό prefix. Οι πιο γνωστές παρεμβολές που συναντάμε στα συγκεκριμένα συστήματα είναι οι εξής :

- **Inter Carrier Παρεμβολή:** Η ορθογωνιότητα επικεντρώνεται στο γεγονός πως ο πομπός και ο δέκτης δρουν με παρόμοια συχνότητα αναφοράς. Σε περιστάσεις στις οποίες δεν υφίσταται κάτι τέτοιο τότε χάνεται ολόκληρη η ορθογωνιότητα των υποφορέων και με τον τρόπο αυτόν εμφανίζεται η παρεμβολή ανάμεσα στους φορείς.

⁴⁶ Δ. Ζαρμπούτη, (2012), *Θεωρία και ανάλυση συστημάτων MIMO (multiple input multiple output)–πολλαπλών κεραιών στο σταθμό βάσης και στο κινητό, σε διαφορετικά περιβάλλοντα ασύρματης επικοινωνίας*. Διπλωματική εργασία της Δήμητρα Αθανασίου Ζαρμπούτη, Διπλ. Ηλ. Μηχ. & Μηχ.Η/Υ.Ε.Μ.Π.

⁴⁷ Γ. Καβουργιάς, (2011), *Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε κινητά OFDMA δίκτυα*, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα.

- **Διασυμβολική παρεμβολή** : Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει μετάδοση σήματος με σειριακό τρόπο υπάρχει σαν αποτέλεσμα η περίοδος τους συμβόλου να είναι αρκετά πιο μικρή από την καθυστέρηση μετάδοσης του καναλιού και αυτό έχει σαν επίπτωση να αναπτύσσεται φαινόμενο παρεμβολή ανάμεσα στα σύμβολα.
- **Inter Cell Παρεμβολή**: Έχει άμεση σχέση με τις περιστάσεις όπου η δέσμευση του φάσματος του ζεύγους στο οποίο υφίσταται διαφορετικός φορέας για τον ανερχόμενο και τον κατερχόμενο σύνδεσμο αλλά και στο φάσμα δίχως ζεύγος όπου υπάρχει χρήση παρόμοιας συχνότητας και στο ανερχόμενο αλλά και στο κατερχόμενο σύνδεσμο.⁴⁸
- Χρήση γειτονικών συχνοτήτων αλλά και κοινών συχνοτήτων⁴⁹

⁴⁸ C. F. Tsai, C. J. Chang, F. C. Ren, and C. M. Yen. (2008). *Adaptive Radio Resource Allocation for Downlink OFDMA/SDMA Systems with Multimedia Traffic*. IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 7, no. 5, pp.1734-1743. May.

⁴⁹ Γ. Καβουργιάς, (2011), *Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε κινητά OFDMA δίκτυα*, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: LTE

4.1 Εισαγωγή

Η μακροπρόθεσμη ανάπτυξη του κλάδου της κινητής τηλεφωνίας στον τομέα LTE (Long Term Evolution) εκπροσωπεί το επόμενο μεγάλο βήμα των ασύρματων κινητών επικοινωνιών και περιέχεται στην 8^η έκδοση της 3GPP. Ο βασικότερος σκοπός της έκδοσης αυτής αποτελεί την καθολική αποτελεσματικότητα των επικοινωνιών αυτών και η εξέλιξη της πείρας των χρηστών διαμέσου παρόμοιων εκδόσεων οι οποίοι θα περιλαμβάνουν πιο απλές αλλά παρόμοιες τεχνολογίες οι οποίες έχουν άμεση σχέση με την ευρυζωνική κινητή τηλεφωνία επόμενης γενιάς.⁵⁰

Σε ότι έχει να κάνει με την προηγούμενη δεκαετία η βιομηχανία κινητών επικοινωνιών εξέτασε ξανά αναλυτικότερα την αρχιτεκτονική παρόμοιων δικτύων εισχώρησης και των υποδομών των δικτύων 3G εξαιτίας των μεταρρυθμίσεων των βασικών γνωρισμάτων της αγοράς, στην οποία οι ανάγκες και οι προοπτικές που υπήρχαν για τις τεχνολογίες αυτές παρουσίαζαν τεράστια άνοδο ως επί το πλείστον εξαιτίας διάφορων προκλήσεων όπως ήταν για παράδειγμα οι μόνιμες ευρυζωνικές λειτουργίες και η εισχώρηση λειτουργιών πιο μικρής είτε ακόμα και μηδενική χρέωσης όπως λειτουργίες τύπου Skype, voip κ.α.⁵¹

⁵⁰ Α. Χοντζέας, (2013), *Μακροπρόθεσμη εξέλιξη κινητής τηλεφωνίας : Γεφυρώνοντας τον κόσμο*, LTE, Αθήνα.

⁵¹ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

Η κινητή ευρυζωνικότητα έχει διαμορφωθεί πια σαν ένα βασικό κομμάτι της καθημερινής ζωής των ανθρώπων όπως παρουσιάζεται και μέσα από τις μετατόπισης των χρηστών και η ανοδική χρησιμότητα των δικτύων WCDMA. Την περίοδο του 2010 η βοήθεια που παρατηρήθηκε από τις τεχνολογίες HSPA+ αυξήθηκε με ραγδαίες ταχύτητες που έφτανε περίπου τις 81 εμπορικές υπηρεσίες σε 50 σχεδόν κράτη με 63 διαφορετικά δίκτυα τα οποία παρείχαν ταχύτητες μεγαλύτερες από 21 Mbps.⁵²

Την επόμενη χρονιά δρούσαν περισσότερα από 100 παρόμοια δίκτυα και οι χρήστες των συγκεκριμένων υπηρεσιών ευρείας ζώνης που την προηγούμενη χρονιά έφταναν το ένα δισεκατομμύριο, τριπλασιάστηκαν μέχρι σήμερα. Γενικότερα η περίοδος του 2010 αποτέλεσε σημαντική χρονιά καθώς εκείνη την περίοδο η χρήση των κινητών υπηρεσιών ξεκίνησε να παρουσιάζει τεράστια άνοδο.

Η εν λόγω εξέλιξη οδηγήθηκε από την ανοδική τάση της διαθεσιμότητα των 3.5G τεχνολογιών. Παρόλα αυτά πιο σπουδαίο γεγονός αποτέλεσε η πρόσβαση στην αγορά του iPhone της Apple, το 2007. Η περίοδος εκείνη βοήθησε στην εξέλιξη που ακολούθησαν τα smartphones τα οποία ήταν ιδιαίτερα ελκυστικά για μεγάλο κομμάτι της αγοράς και ιδιαίτερα προσιτά και φιλικά προς τους χρήστες καθώς υπήρξε πολύ μεγάλη άνοδος στην χωρητικότητα τους.⁵³

Ένας άλλος βασικός παράγοντας ο οποίος προκάλεσε την ανάγκη ανάπτυξης των LTE ήταν η ευχέρεια μεταφοράς των φωνητικών κλήσεων διαμέσου διάφορων δικτύων μεταγωγής πακέτων 3G κάνοντας χρήση νέων τακτικών. Έτσι, οι χρήστες είχαν την δυνατότητα να μεταβιβάσουν ότι επιθυμούν στον κλάδο αυτόν και είχαν την ευχέρεια να ελαττώσουν τα έξοδα τους αλλά και τις επιχειρησιακές τους δαπάνες στο ελάχιστο δυνατό.⁵⁴

⁵² Δ. Ζαρμπούτη,(2012), *Θεωρία και ανάλυση συστημάτων MIMO (multiple input multiple output)–πολλαπλών κεραιών στο σταθμό βάσης και στο κινητό, σε διαφορετικά περιβάλλοντα ασύρματης επικοινωνίας*. Διπλωματική εργασία της Δήμητρα Αθανασίου Ζαρμπούτη, Διπλ. Ηλ. Μηχ. & Μηχ.Η/Υ.Ε.Μ.Π.

⁵³ Α. Χοντζέας, (2013), *Μακροπρόθεσμη εξέλιξη κινητής τηλεφωνίας : Γεφυρώνοντας τον κόσμο, LTE*, Αθήνα.

⁵⁴ Θ. Κυριακόπουλος, (2013), *Η ανάπτυξη του LTE στην Ελλάδα*, Τεχνική Βιβλιοθήκη, Μάιος, Θεσσαλονίκη.

Ακόμα, σημαντικός παράγοντας που προκάλεσε την ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας ήταν οι διάφορες προδιαγραφές για το UMTS αλλά και το GSM τα οποία ήταν ιδιαίτερα πολύπλοκες τεχνολογίες εκείνη την περίοδο, εξαιτίας της μεγάλης ανάγκης για πρόσθεση καινούριων υπηρεσιών στο σύστημα ενώ και να κρατήσουν την συμβατότητα με πιο παλιές λειτουργίες. Μια καινούρια αρχή βοηθάει ιδιαίτερα τους προγραμματιστές, αφήνοντας τους να βελτιώσουν την απόδοση των σχεδίων τους δίχως την υποχρέωση να βοηθήσουν συσκευές παλαιότερων μορφών.⁵⁵

4.2 Long Term Evolution

Το LTE είναι το ακρωνύμιο από το 3GPP Long Term Evolution το οποίο αποτελεί μια τεχνολογία αιχμής του οποίου η χρήση αφορά την ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση των κινητών συστημάτων που έχουν ιδιαίτερα μεγάλες ταχύτητες. Εστιάζει στα δίκτυα που υπήρχαν ήδη όπως το GSM/EDGE και το UMTS/HSPA, μεγαλώνοντας την χωρητικότητα αλλά και την ταχύτητα του δικτύου κάνοντας παράλληλα χρήση καινούριων μεθόδων διαχείρισης.⁵⁶

Το συγκεκριμένο πρότυπο έχει την ιδιότητα να δημιουργείται από τον οργανισμό 3GPP. Για πρώτη φορά εμφανίστηκε στη Νορβηγία και στην Σουηδία από τον οργανισμό TellaSonera στα τέλη του 2009. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι η φυσική πρόοδος παλαιότερων τεχνολογιών αλλά ακόμα και οι πάροχοι παρόμοιων τεχνολογιών έχουν μεγαλύτερη προτίμηση στα εν λόγω δίκτυα. Με τον τρόπο αυτόν οι κατασκευαστές του δικτύου LTE επιθυμούν να πραγματοποιήσουν το πρώτο αληθινό διεθνές πρότυπο κινητής τηλεφωνίας.⁵⁷

⁵⁵ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

⁵⁶ Α. Νικολιδάκη, (2011), *Μελέτη και Αξιολόγηση Επίδοσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε LTE Δίκτυα*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πληροφορικής, Πειραιάς.

⁵⁷ [<https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/home>]

Παρά το γεγονός πως αρκετές φορές συγχέονται με τα δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G), αυτό είναι λάθος μιας και δεν έχουν παρόμοιες απαιτήσεις αφού ο διεθνής οργανισμός ITU-R δεν έχει την ίδια ανταπόκριση στις δυο αυτές τεχνολογίες. Αυτή ήταν και η βασικότερη αιτία της αναβάθμισης σε LTE Advanced έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα να καλύπτει όλες τις ανάγκες των χρηστών για να αποτελεί πλέον ένα είδος δικτύου τέταρτης γενιάς.⁵⁸

Ο βασικότερος σκοπός της ανάπτυξης του LTE δικτύου ήταν η πρόοδος της τεχνολογίας ραδιοπρόσβασης με στόχο να έχει την ευχέρεια πρόσβασης στο μεγαλύτερο σύνολο λειτουργιών οι οποίες επικεντρώνονται στην μετάβαση πακέτων και όχι μονάχα στην μεταγωγή κάποιων κυκλωμάτων όπως γινόταν σε παλαιότερες τεχνολογίες.

Σε ότι έχει να κάνει με την αρχιτεκτονική του εν λόγω δικτύου, θα πρέπει να διευκρινίσουμε πως η έννοια του LTE αφορά την πρόοδο σε ραδιοπρόσβαση και για αυτό ονομάζεται Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network, ενώ η ανάπτυξη των συστατικών δεδομένων του συγκεκριμένου συστήματος το οποίο δεν είναι ράδιο-επαφή καλύπτεται από την ονομασία System Architecture Evolution ή όπως ονομάζεται εν συντομία SAE, που περιέχει και το δίκτυο EPC. Οι δυο παραπάνω έννοιες συνδυάζουν το EPS (Evolved Packet System).⁵⁹

Τα κυριότερα γνωρίσματα της τεχνολογίας αυτής είναι η επίπεδη αρχιτεκτονική αλλά και η χρησιμότητα που έχει για την τεχνολογία αυτήν η διαδικασία της μετάβασης των πακέτων αλλά και του IP πρωτοκόλλου έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη επιθυμητή επικοινωνία.⁶⁰

Στην πραγματοποίηση της συγκεκριμένης διαδικασίας σημαντικό και καθοριστικό ρόλο έχει η βελτίωση της ρυθμαπόδοσης αλλά και η ελάττωση των καθυστερήσεων σε στάδιο χειριστών, η πιο καλή καταπολέμηση της κινητικότητας

⁵⁸ [<http://testrf.com/tag/lte-tutorial/>]

⁵⁹ Γ. Καβουργιάς, (2011), *Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε κινητά OFDMA δίκτυα*, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα.

⁶⁰ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

καθώς επίσης και η βοήθεια handover η οποία έχει σημαντική ευθύνη και στις σταθερές γραμμές αλλά και στις ασύρματες εισόδους των χρηστών.⁶¹

Ακόμα, πάρα πολύ σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίηση των υποχρεώσεων και των αναγκών του συγκεκριμένου δικτύου έχουν οι τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον σε φυσικό επίπεδο. Παρόμοιες τεχνολογίες είναι η OFDM και η MIMO οι οποίες έχουν τεράστια συμμετοχή στην μείωση της πολυπλοκότητας του δικτύου και του εξοπλισμού των χειριστών, αφήνοντας έτσι πιο ευέλικτη δημιουργία ραδιοφασμάτων σε καινούρια φάσματα συχνοτήτων, κάνοντας τελικά με τον τρόπο αυτόν πιο εφικτή την παράλληλη ύπαρξη παρόμοιων δικτύων με άλλες τεχνολογίες 3GPP RATs⁶²

Την περίοδο εκκίνησης της λειτουργίας του εν λόγω δικτύου οι προδιαγραφές του Long Term Evolution προσέφεραν ρυθμό μετάδοσης πληροφοριών στο downlink το οποίο ανερχόταν στα 100Mbps, ενώ στο uplink έφτανε τα 50 Mbps. Οι ανάγκες που υπήρχαν, όμως, εκείνη την εποχή ανάγκασαν την αύξηση των παροχών αυτών και πλέον φτάνει σε 300 Mbps και 75Mbps αντίστοιχα.⁶³

Παρόλα αυτά, οι εν λόγω ρυθμοί μετάδοσης αποτελούν μια προσπελάσιμη μορφή μονάχα σε ειδικευμένες περιστάσεις και αποτελούν μη εφικτό είδος σε χώρους με ρεαλιστικές συνθήκες. Η μέθοδος διαμόρφωση την οποία χρησιμοποιούν είναι η καθοδική ζεύξη που αποτελεί την OFDMA τεχνολογία ενώ στην καθοδική ζεύξη χρησιμοποιούν την τεχνολογία SC-FDMA.⁶⁴

⁶¹ V. D. Papoutsis, I. G. Fraimis., S. A. Kotsopoulos,(2010) *Resource allocation algorithm for MIMO-OFDMA systems with minimum resources guarantee*. IEEE Intern. Conf. Elecir.. Circuits, and Systems, Athens, Greece, Dec.

⁶² Γ. Καβουργιάς, (2011), *Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε κινητά OFDMA δίκτυα*, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα.

⁶³ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

⁶⁴ Z. Guam II. Li. C. Xu. X. Zhou, and W. Zhang, (2009), *Adaptive subcarrier allocation for MIMO-OFDMA wireless systems using Hungarian method.*, Shanghai University, vol. 13, no.2 σελ. 146-149. Apr.

Την περίοδο εκείνη το δίκτυο LTE έπρεπε να προσφέρει φασματική απόδοση, που αποτελεί την κλασική χωρητικότητα ενός καναλιού ανά μονάδα εύρους ζώνης, 3-4 φορές δηλαδή υψηλότερη της μορφής 6 WCDMA στην υπάρχουσα ζεύξη και 2-3 φορές υψηλότερη στην ανοδική ζεύξη.

Ταυτόχρονα, παρέχει πιο μικρές καθυστερήσεις κατά την μετάδοση πληροφοριών κάτω από 5ms. το δίκτυο αυτό, που μελετάμε στην συγκεκριμένη ενότητα της πτυχιακής μας εργασίας έχει αναπτυχθεί για να δραστηριοποιείται σε εύρος ζώνης το οποίο είναι ανάμεσα από 1,4 MHz και 20 MHz, ενώ παράλληλα βοηθάει στην δυσλεξία διαίρεσης συχνοτήτων στο χρόνο αλλά και στην ημιαμφίδρομη διαίρεση.⁶⁵

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα του δικτύου αυτού αποτελούν οι υψηλότερες διελεύσεις, οι πιο λίγες λανθασμένες καθυστερήσεις, το plug & play (είναι ένας πυρήνας ο οποίος ρυθμίζεται αυτόματα και έχει ορισμένες άκρες δικτύου οι οποίες έχουν παρόμοιες ιδιότητες ρύθμισης), το FDD/TDD σε παρόμοια πλατφόρμα, η πάρα πολύ καλή πείρα των χειριστών αλλά και η εξαιρετική απλότητα της αρχιτεκτονικής η οποία έχει σαν συνέπεια πιο λίγα λειτουργικά έξοδα.⁶⁶

Σε περίπτωση που θα έπρεπε να περιγράψουμε την τεχνολογία LTE θα λέγαμε πως αφορά την πρόοδο της κινητής τεχνολογίας η οποία στην σημερινή εποχή προσφέρει στους χρήστες της υψηλότερες ταχύτητες, ελάχιστα λάθη, καινούριες λειτουργίες με την ανάπτυξη μιας καινούριας τεχνολογίας ραδιοπρόσβασης, που προσφέρει μεγάλη βελτίωση για την IP μετάβαση των πληροφοριών ενώ παρέχει, επίσης, στους χρήστες της τεχνολογίας αυτής μια εξαιρετικά απλή τάση αναβάθμισης από τα δίκτυα 3G που προυπήρχαν.

Ταυτόχρονα, με την συγκεκριμένη τεχνολογία πραγματοποιούνται εργασίες για την εξέλιξη της αρχιτεκτονικής του πυρήνα των κινητών συσκευών η οποία ονομάζεται όπως έχουμε ήδη προαναφέρει SAE στο οποίο στην σημερινή

⁶⁵ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

⁶⁶ Α. Χοντζέας, (2013), *Μακροπρόθεσμη εξέλιξη κινητής τηλεφωνίας : Γεφυρώνοντας τον κόσμο*, LTE, Αθήνα.

εποχή γίνεται με μεταφορά πακέτων μεταγωγής και όχι κυκλωμάτων όπως σε παλαιότερες περιόδους.⁶⁷

4.2.1 LTE-Advanced

Παρά το γεγονός πως το LTE λογιζόταν σαν μια τεχνολογία τέταρτης γενιάς, αυτό δεν συνδυαζόταν με τις προϋποθέσεις τις οποίες είχε προκαθορίσει ο διεθνής οργανισμός ITU-R. Την περίοδο του 2008 ο οργανισμός αυτός δημοσίευσε τις απαιτήσεις οι οποίες θα έπρεπε να καλύπτονταν για τα δίκτυα τέταρτης γενιάς τα οποία εκείνη την περίοδο ονομαζόταν IMT-Advanced.⁶⁸

Βάση, επομένως, των συγκεκριμένων προϋποθέσεων, ο πιο μεγάλος ρυθμός πληροφοριών χρειαζόταν να είναι μεγαλύτερος από 600Mbps στην καθοδική ζεύξη και στην καθοδική 270 Mbps σε ένα προκαθορισμένο εύρος ζώνης το οποίο ανερχόταν στα 40MHz. Γινόταν εύκολα αντιληπτό, δηλαδή, πως οι προϋποθέσεις εκείνες ήταν μεγαλύτερες από την ευχέρεια που είχε τότε το δίκτυο αυτό.⁶⁹

Μετά από διάφορες έρευνες οι οποίες έλαβαν χώρα και αφορούσαν τον τρόπο με τον οποίο θα κατορθώσουν να αυξήσουν τις ικανότητες και τις υπηρεσίες του συγκεκριμένου δικτύου, ο οργανισμός 3GPP δημιούργησε μια νέα τεχνολογία την οποία ονόμασε LTE-Advanced. Η εν λόγω τεχνολογία δημιουργήθηκε με στόχο να προσφέρει ρυθμούς δεδομένων που θα φτάνουν το 1Gbps στην καθοδική ζεύξη και 500Mbps στην ανοδική, έχοντας σαν εύρος ζώνης 100MHz, που θα χωρίζεται από 5 διαφορετικά δεδομένα των 20MHz. Με την δημιουργία του συγκεκριμένου

⁶⁷[http://radar.ee.auth.gr/Applied_Telecom_Systems/LTE#head3fa4b0e97793e8e77c7c0d09224820af105155f2]

⁶⁸ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

⁶⁹ Κ. Κουλουμπίνης, (2013), *Συστήματα 4G LTE και αρχική σχεδίαση δικτύου (LTE Dimensioning)*, Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα.

συστήματος πλέον τηρούνταν οι προϋποθέσεις τις οποίες είχε ορίσει ο οργανισμός ITU-R για την τεχνολογία IMT-Advanced.⁷⁰

4.3 Χωρητικότητα

Ένα βασικό γνώρισμα του συστήματος Long Term Evolution είναι ο ρυθμός μετάδοσης, η χωρητικότητα δηλαδή, την οποία έχει την ευχέρεια να στηρίζει ένα παρόμοιο σύστημα το οποίο θα αναπτυχθεί με συγκεκριμένες προϋποθέσεις.. Αρχικά, θα πρέπει να γνωρίζουμε τα δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (βλέπε πίνακα 4.1 και 4.2), οι οποίοι δείχνουν τον μεγαλύτερο ρυθμό πληροφοριών τόσο για την ανοδική ζεύξη όσο και για την καθοδική για διαφορετικά μεγέθη του εύρους ζώνης και υπολογίζοντας τομεοποίηση 120 μοιρών/κυψέλη. Αυτό σημαίνει περίπου 3 τομείς/κυψέλη τους οποίους έχουμε την δυνατότητα να υπολογίσουμε στον ολικό ρυθμό μετάδοσης ο οποίος προσφέρεται από την κάθε κυψέλη ξεχωριστά.

Πίνακας 4.1: Μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης άνω ζεύξης

Modulation and coding	Bits/ symbol	MIMO usage	BW RB/Sub-carriers					
			1.4 MHz 6/72	3.0 MHz 15/180	5.0 MHz 25/300	10 MHz 50/600	15 MHz 75/900	20 MHz 100/1200
QPSK 1/2	1	Single stream	0.9	2.2	3.6	7.2	10.8	14.4
16QAM 1/2	2	Single stream	1.7	4.3	7.2	14.4	21.6	28.8
16QAM 3/4	3	Single stream	2.6	6.5	10.8	21.6	32.4	43.2
16QAM 1/1	4	Single stream	3.5	8.6	14.4	28.8	43.2	57.6
64QAM 3/4	4.5	Single stream	3.9	9.7	16.2	32.4	48.6	64.8
64QAM 1/1	6	Single stream	5.2	13.0	21.6	43.2	64.8	86.4

Uplink peak bit rates (Mbps)

⁷⁰ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

Πίνακας 4.2 : Μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης κάτω ζεύξης⁷¹

Modulation and coding	Bits/ symbol	MIMO usage	BW RB/Sub-carriers					
			1.4 MHz 6/72	3.0 MHz 15/180	5.0 MHz 25/300	10 MHz 50/600	15 MHz 75/900	20 MHz 100/1200
QPSK 1/2	1	Single stream	0.9	2.2	3.6	7.2	10.8	14.4
16QAM 1/2	2	Single stream	1.7	4.3	7.2	14.4	21.6	28.8
16QAM 3/4	3	Single stream	2.6	6.5	10.8	21.6	32.4	43.2
64QAM 3/4	4.5	Single stream	3.9	9.7	16.2	32.4	48.6	64.8
64QAM 1/1	6	Single stream	5.2	13.0	21.6	43.2	64.8	86.4
64QAM 3/4	9	2 × 2 MIMO	7.8	19.4	32.4	64.8	97.2	129.6
64QAM 1/1	12	2 × 2 MIMO	10.4	25.9	43.2	86.4	129.6	172.8
64QAM 1/1	24	4 × 4 MIMO	20.7	51.8	86.4	172.8	259.2	345.6

Downlink peak bit rates (Mbps)

Από ότι μπορούμε να διακρίνουμε από τους παραπάνω πίνακες έχουμε για ανοδική ζεύξη $21,6\text{Mbps} \times 3\text{τομείς} = 64,8\text{Mbps/Κυψέλη}$, ενώ για την καθοδική ζεύξη έχουμε $64,8\text{Mbps} \times 3\text{τομείς} = 194,4\text{Mbps/Κυψέλη}$. Η αύξηση που παρουσιάζεται στον ρυθμό μετάδοσης ενός κυψελωτού συστήματος διαμέσου της μεθόδου της τομεοποίησης κατορθώνεται με ελάττωση του λόγου (μικρότερη απόσταση ανάμεσα σε 2 ομοδιαυλικών κυψελών δια την ακτίνα της κυψέλης), έχοντας παράλληλα σταθερή την ακτίνα κυψέλης.⁷²

Στην εφαρμογή, ελαττώνεται ο όγκος της ομάδας η οποία ξανά χρησιμοποιείται και αναπτύσσεται με αυτόν τον τρόπο η υποχρέωση για ελάττωση των ανάλογων παρεμβολών που δημιουργούνται. Οι πιο διαδεδομένες παρεμβολές

⁷¹ Ι.Π. Μιχαηλ, (2013), *LTE Συστήματα & σχεδίαση*, Πτυχιακή εργασία, Σχολή Οικονομίας, Διοίκησης και Πληροφορικής, Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Νοέμβριος, Τρίπολη.

⁷² Σ. Καραγιαννάκη, (2013), *Μελέτη Εξειδικευμένων Αλγορίθμων για την Κατανομή των Διαθέσιμων Ραδιοπόρων στα Σύγχρονα Ασύρματα Συστήματα*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πανεπιστήμιο Πατρών.

είναι παρόμοιες με του συστήματος OFDMA που παρουσιάσαμε σε προηγούμενη ενότητα της πτυχιακής εργασίας μας.⁷³

Ο έλεγχος των παρεμβολών αυτών αναγκάζει την αποκατάσταση της ιστροπικής κεραίας ενός σταθμού βάσης από τις πιο πολλές κατευθυντικές κεραίες κάθε μια εκ των οποίων εκπέμπει ακτινοβολία σε ορισμένο κλάδο. Για τον υπολογισμό του συνολικού ρυθμού μετάδοσης μιας τέτοιας τεχνολογίας θα πρέπει να ξέρουμε το μέγεθος των κυψελών αλλά και τον ρυθμό μετάδοσης που έχουν.

Έτσι θα είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την συνολική χωρητικότητα ενός παρόμοιου συστήματος καθώς τότε η ανοδική ζεύξη θα υπολογίζεται από τον τύπο $64,8\text{Mbps}/\text{Κυψέλη} * 26\text{κυψέλες} = 1683,8\text{Mbps}$ ενώ αντίθετα η καθοδική ζεύξη θα είναι $194,4\text{Mbps}/\text{Κυψέλη} * 26\text{κυψέλες} = 5054,4\text{Mbps}$.⁷⁴

Σε ότι έχει να κάνει, πάντως με τις συχνότητες λειτουργία, το σύστημα LTE έχει την δυνατότητα να δράσει σε ξεχωριστές συχνότητες. Για παράδειγμα στην Βόρεια Αμερική, προγραμματίζεται για να λειτουργήσει σε συχνότητες από 700MHz μέχρι και 1,7GHz. Αντίθετα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι συχνότητες είναι 800MHz, 1,8GHz έως και 2,6 GHz, ενώ στην Ασία ανέρχονται από 1,8 έως 2,6 GHz και στην Αυστραλία φτάνουν τα 2,6GHz.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα τηλεφωνικά συστήματα σε ένα κράτος να έχουν την δυνατότητα να μη δραστηριοποιούνται σε κάποιο άλλο. Για να γίνει ένα διεθνές κοινό σύστημα περιαγωγής θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα τηλεφωνικό σύστημα το οποίο να έχει την ευχέρεια συντονισμού σε διαφορετικά και ξεχωριστά φάσματα συχνοτήτων.⁷⁵

⁷³ Κ. Κουλουμπίνης, (2013), *Συστήματα 4G LTE και αρχική σχεδίαση δικτύου (LTE Dimensioning)*, Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα.

⁷⁴ Ι.Π. Μιχαηλ, (2013), *LTE Συστήματα & σχεδίαση*, Πτυχιακή εργασία, Σχολή Οικονομίας, Διοίκησης και Πληροφορικής, Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Νοέμβριος, Τρίπολη.

⁷⁵ [http://www.rohde-schwarz.com/en/applications/umts-long-term-evolution-lte-technology-introduction-application-note_56280-15658.html]

4.4 Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές

Τα βασικότερο έργο αποτελεί η μετάβαση από το κοινό δίκτυο μεταγωγής ενός κυκλώματος και πακέτων (3G UMTS), το οποίο χρησιμοποιείται στην σημερινή εποχή σε συνδυασμό με την απλοποίηση τους σε ένα κοινό δίκτυο αρχιτεκτονικής IP. Η ονομασία του δικτύου αυτού που λειτουργεί σήμερα καλείται E-ULTRA και τα πιο βασικά του γνωρίσματα είναι τα εξής :

- ❖ Μικρές καθυστερήσεις κατά την διάρκεια μιας μεταφοράς πληροφοριών, συνήθως κατά 5ms
- ❖ Αποτελεσματικότερη βοήθεια για κινητές συσκευές ακόμα και σε περιπτώσεις κίνησης με ταχύτητες υψηλότερες από 550 km/h ανάλογα πάντα, όμως με την συχνότητα η οποία χρησιμοποιείται
- ❖ Χρήση διαμόρφωσης OFDMA για downlink και SC-FDMA για uplink
- ❖ Υποστήριξη διπλεξίας σε χρόνο αλλά και σε συχνότητα αλλά και σε ημιαμφίδρομη FDD με παρόμοια εισχώρηση
- ❖ Αποτελεσματικότερη φασματική ευελιξία
- ❖ Υποστήριξη κυψελών μεταβαλλόμενου όγκου από ορισμένες δεκάδες μέτρα μέχρι κάποια χιλιόμετρα⁷⁶
- ❖ Πιο απλή αρχιτεκτονική δικτύου
- ❖ Υποστήριξη περισσότερων από διακόσιες ενεργές συνδέσεις πληροφοριών ανά κανάλι έχοντας συχνότητα της τάξης των 5MHz
- ❖ Υποστήριξη δυσλειτουργικότητας και συνύπαρξης με πιο παλιά πρότυπα
- ❖ Ράδιο-επικοινωνιακό δίκτυο μεταγωγής πακέτων

⁷⁶ E. Dahlman, (2012), *3G long-term evolution*, Expert Radio Access Technologies, Ericsson Research, London.

- ❖ Υποστήριξη λειτουργιών όπως για παράδειγμα μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων σε κινητά τηλέφωνα⁷⁷

Σε ότι έχει να κάνει με τις προδιαγραφές του συγκεκριμένου δικτύου θα πρέπει να επισημάνουμε πως η μετάδοση δεδομένων πραγματοποιείται με 100Mbps Downlink/50 Mbps Uplink έχοντας 20MHz και φτάνει στους 200 ενεργούς χρήστες σε κυψέλη η οποία έχει 5 MHz. Σε ότι αφορά την κινητικότητα θα πρέπει να διευκρινίσουμε πως η βελτιστοποίηση της κυμαίνεται από 0 έως 15km/h, ενώ η υψηλότερη απόδοση από 15 έως 120 km/h και μπορεί να φτάσει μέχρι και 350-500km/h. Τέλος η ευελιξία φάσματος είναι από 1,25 μέχρι 20 MHz ενώ η βελτιωμένη ποιότητα των λειτουργιών πραγματοποιείται από άκρη σε άκρη.

Πίνακας 4.3 : Προδιαγραφές Long Term Evolution⁷⁸

Channel Bandwidth	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
1RB = 180 kHz	6 RBs	15 RBs	25 RBs	50 RBs	75 RBs	100 RBs
Subcarrier spacing	15 kHz					
Modulation Schemes	Downlink: QPSK, 16QAM, 64QAM Uplink: QPSK, 16QAM					
Multiple Access	Downlink: OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) Uplink: SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)					
Peak Data Rate	Downlink: 150 Mbps (UE category 4, 2x2 MIMO, 20 MHz) 300 Mbps (UE category 5, 4x4 MIMO, 20 MHz) Uplink: 75 Mbps (20 MHz)					

⁷⁷ S. Parkcall, (2010), *Long-Term 3G Evolution, Radio Access*, Senior Specialist, Adaptive Radio Access, Ericsson Research, London.

⁷⁸ Κ. Κουλουμπίνης, (2013), *Συστήματα 4G LTE και αρχική σχεδίαση δικτύου (LTE Dimensioning)*, Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 4G

5.1 Εισαγωγή

Στην σημερινή εποχή των ασύρματων δικτύων κινητής επικοινωνίας, ένα τεράστιο και συχνά ανοδικό κομμάτι των τηλεπικοινωνιών κίνησης έχει άμεση σχέση με τις λειτουργίες πληροφοριών και τα αρχικά βήματα του κινητού internet τα οποία έχουν κάνει ήδη αισθητή την παρουσία τους στην ανθρώπινη καθημερινότητα.

Η φήμη των συγκεκριμένων λειτουργιών παρουσιάζει τεράστια άνοδο τα τελευταία χρόνια κάτι το οποίο αφήνει εξαιρετικές προοπτικές για το μέλλον καθώς οι εν λόγω λειτουργίες θα επικρατήσουν στις υπηρεσίες φωνής. Ακόμα, με την εισχώρηση των συστημάτων 3G οι χειριστές των κινητών διαδικτύων θα έχουν συχνή και ανοδική τάση.⁷⁹

Εξχωριστά, όμως, από την εξέλιξη των 3G τεχνολογιών, σημαντική είναι η ανάπτυξη που παρουσιάζεται στα συστήματα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς ή όπως καλούνται πλέον 4G. τα συγκεκριμένα συστήματα είχαν σαν βάση τους την προηγούμενη γενιά έχοντας σαν βασικότερο στόχο την βελτίωση τους έχοντας πιο αναπτυσσόμενες και αποτελεσματικότερες εκδόσεις από ότι τα προηγούμενα χρόνια.⁸⁰

⁷⁹ Ι. Δ. Σταυρόπουλος, (2011), *Μελέτη παρεμβολής προτύπου DVB-T επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κινητές υπηρεσίες τέταρτης γενιάς (4G) LTE FDD*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ιούλιος, Αθήνα.

⁸⁰ J. Vilches, (2010). *Everything you need to know about 4G Wireless Technology*. TechSpot, April 29.

Ένα στάδιο πρακτικών, το οποίο δικαιολογεί την εξέλιξη των συγκεκριμένων συστημάτων, είναι οι πρακτικές κινητής πραγματικότητας, που χρειάζονται μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης και στην ασύρματη διεπαφή αλλά και στα σταθερά δίκτυα. Τα ζητήματα της ασύρματης αυτής διεπαφής, τα ad hoc αλλά και τα δίκτυα πολλαπλών επιπέδων έχουν υπερβολική χρησιμότητα τα τελευταία χρόνια καθώς έχουν ευρεία χρήση και σαν χαρακτηριστικό παράδειγμα θα μπορούσαμε να αναφέρουμε την μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί για τα συστήματα 4G.⁸¹

Στις σύγχρονες έρευνες περιέχεται η πρόοδος κομματιού των εργασιών που έχουν σαν βασικότερο θέμα τα δίκτυα 4G την εξέλιξη και τις προοπτικές που εντοπίζονται για αυτές. Οι έρευνες αυτές επικεντρώνονται ως επί το πλείστον στα βασικότερα χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών τα οποία τις περισσότερες φορές έχουν σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μεγάλη χρησιμοποίηση σε οποιονδήποτε χρόνο, χώρο και σε οποιαδήποτε τεχνολογία, υποστηρίζουν πολυμεσικές λειτουργίες με λίγα έξοδα μετάδοσης, αποτελούν προσωποποίηση των λειτουργιών αυτών αλλά παράλληλα είναι ολοκληρωμένες λειτουργίες.⁸²

Μετά την διάδοση την εν λόγω τεχνολογίας έχει εντοπιστεί μια τεράστια άνοδος σε αυτές τις τεχνολογίες από τις τηλεπικοινωνιακές βιομηχανίες οι οποίες σιγά-σιγά προχώρησαν στην είσοδο του internet αλλά και άλλων πιο πολύπλοκων λειτουργιών οι οποίες έχουν εισέλθει στις ασύρματες επικοινωνίες οι οποίες καθημερινά πλέον δημιουργούν καινούριες πρακτικές, που έχουν σαν κύριο σκοπό την εκμετάλλευση των βασικότερων πλεονεκτημάτων των συστημάτων αυτών που συνδυάζουν μεγάλο ρυθμό μετάδοσης με τεράστια κινητικότητα⁸³

⁸¹ J. Hiner (2011). *How AT&T and T-Mobile conjured 4G networks out of thin air*. TechRepublic, 12 January.

⁸² B. Bennet (2012). *Meet U.S. Cellular's first 4G LTE phone: Samsung Galaxy S Aviator*. CNet, 5 April, London.

⁸³ Ι. Δ. Σταυρόπουλος, (2011), *Μελέτη παρεμβολής προτύπου DVB-T επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κινητές υπηρεσίες τέταρτης γενιάς (4G) LTE FDD*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ιούλιος, Αθήνα.

5.2 Η τεχνολογία 4G

Η τεχνολογία τέταρτης γενιάς είτε όπως καλείται στην σημερινή εποχή 4G, αποτελεί διάδοχος των προηγούμενων γενιών όπως του 2G και του 3G. Κατά την διάρκεια της εισόδου του 2G εισχωρήσαμε από την αναλογική στην ψηφιακή μετάδοση στην οποία είχαμε την δυνατότητα να μεταβιβάσουμε μηνύματα είτε να δεχόμαστε μηνύματα μέσω του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου στην κινητή μας συσκευή και στην συνέχεια εισχωρήσαμε στην τρίτη γενιά.⁸⁴

Στην τρίτη γενιά είχαμε την ευχέρεια διεθνής περιαγωγής στις κινητές συσκευές μας είτε στον ηλεκτρονικό μας υπολογιστή αλλά ακόμα και την δυνατότητα ανεβάσματος κάποιου βίντεο στο Internet είτε να κατεβάσουμε διάφορα αρχεία μουσικές μας και οι ταχύτητες της συγκεκριμένης τεχνολογίας έφταναν μέχρι και 1,4Mbps.⁸⁵

Η είσοδος της τέταρτης γενιάς μας παρέχει βελτιωμένες τις υπηρεσίες που μας παρείχε η τρίτη γενιά με την βασική διαφορά ότι σε αντίθεση με εκείνη για να μπορούμε να εισχωρήσουμε στο διαδίκτυο με υπολογιστή είτε με κινητή συσκευή χρειάζεται να βρισκόμαστε δίπλα σε κάποιο wi-fi το οποίο, όμως, δεν θα πρέπει να είναι πιο μακριά από 100m.⁸⁶

Αντίθετα, πλέον έχουμε πιο υψηλή ευρυζωνικότητα κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα να έχουμε την δυνατότητα να εισχωρούμε στο internet ακόμα και εάν απέχουμε 35km από το wi-max επίπεδο. Ακόμα, οι ταχύτητες για download και

⁸⁴ Σ. Καραγιαννάκη, (2013), Μελέτη Εξειδικευμένων Αλγορίθμων για την Κατανομή των Διαθέσιμων Ραδιοπόρων στα Σύγχρονα Ασύρματα Συστήματα, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πανεπιστήμιο Πατρών.

⁸⁵ Ι. Δ. Σταυρόπουλος, (2011), Μελέτη παρεμβολής προτύπου DVB-T επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κινητές υπηρεσίες τέταρτης γενιάς (4G) LTE FDD, Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ιούλιος, Αθήνα.

⁸⁶ Δ. Ζαρμπούτη, (2012), Θεωρία και ανάλυση συστημάτων MIMO (multiple input multiple output)–πολλαπλών κεραιών στο σταθμό βάσης και στο κινητό, σε διαφορετικά περιβάλλοντα ασύρματης επικοινωνίας. Διπλωματική εργασία της Δήμητρα Αθανασίου Ζαρμπούτη, Διπλ. Ηλ. Μηχ. & Μηχ.Η/Υ.Ε.Μ.Π.

για upload διάφορων αρχείων πραγματοποιείται ακόμα πιο γρήγορα, κάτι το οποίο μπορούμε να διακρίνουμε καλύτερα από την εικόνα 5.1 που ακολουθεί.

		Real World (avg)		Theoretical (max)		Availability
		Download	Upload	Download	Upload	
2.5G	GPRS	32-48Kbps	15Kbps	114Kbps	20Kbps	Today
2.75G	EDGE	175Kbps	30Kbps	384Kbps	60Kbps	Today
	UMTS	226Kbps	30Kbps	384Kbps	64Kbps	Today
	W-CDMA	800Kbps	60Kbps	2Mbps	153Kbps	Today
3G	EV-DO Rev. A	1Mbps	500Kbps	3.1Mbps	1.8Mbps	Today
	HSPA 3.6	650Kbps	260Kbps	3.6Mbps	348Kbps	Today
	HSPA 7.2	1.4Mbps	700Kbps	7.2Mbps	2Mbps	Today
	WiMAX	3-6Mbps	1Mbps	100Mbps+	56Mbps	Today
Pre-4G	LTE	5-12Mbps	2-5Mbps	100Mbps+	50Mbps	End 2010
	HSPA+	-	-	56Mbps	22Mbps	2011
	HSPA 14	2Mbps	700Kbps	14Mbps	5.7Mbps	Today*
4G	WiMAX 2 (802.16m)	-	-	100Mbps mobile / 1Gbps fixed	60Mbps	2012
	LTE Advanced	-	-	100Mbps mobile / 1Gbps fixed	-	2012+

Εικόνα 5.1 : Ταχύτητες 4G συγκριτικά με προηγούμενες γενιές⁸⁷

Με λίγα λόγια, επομένως, θα μπορούσαμε να πούμε πως η συγκεκριμένη τεχνολογία παρέχει μεγαλύτερη ευρυζωνικότητα αφού αυξάνει τις αποστάσεις αλλά και παρέχει παράλληλα αρκετά πιο υψηλές ταχύτητες καθώς έχει για παράδειγμα 100Mbps για επικοινωνία μέσω κινητών συσκευών.⁸⁸

Γενικότερα τα δίκτυα τέταρτης γενιάς έχουν άμεση σχέση με το all-Internet Protocol IP, το οποίο αποτελεί ένα πακέτο μεταγωγής δικτύων, που βοηθούν εκτός από τις λειτουργίες των παλαιότερων γενιών, δρουν υπέρ της ευρυζωνικής

⁸⁷ [<https://sites.google.com/site/tecnologia4g/ergasia>]

⁸⁸ [<http://thesout.gr/tech-news/12373-tecnologia-4g-osa-prepei-na-gnorizete/12373-tecnologia-4g-osa-prepei-na-gnorizete>]

εισχώρησης στο internet από κινητές συσκευές διαμέσου ασύρματων modems εισχώρησης από λάπτοπ αλλά και από διαφορετικές κινητές συσκευές όπως είναι στην σημερινή εποχή τα tablets αλλά και τα smartphones.⁸⁹

Τα δίκτυα 4G έχουν ισχυρό ρυθμό μετάδοσης καθώς χρησιμοποιούν την μέθοδο της Ορθογωνικής Πολυπλεξίας Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM), που έχει καθοριστικό ρόλο στον περιορισμό των λαθών, στην καλύτερη αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης και την απαλοιφή των διασυμβολικών παρεμβολών που υπήρχαν σε προηγούμενα δίκτυα.⁹⁰

Ακόμα, γίνεται χρήση κεραιών πολλαπλών προσβάσεων και εξόδων (MIMO) και έτσι υπάρχει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στον ρυθμό μετάδοσης, στη ανοχή του θορύβου αλλά και στην πιο γρήγορη μετρίαση των παρεμβολών των δικτύων αυτών. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να διευκρινίσουμε πως τα δίκτυα αυτά έχουν δημιουργηθεί για να καλύπτουν τις απαιτήσεις 4G που αφορούν το Mobile WiMAX πρότυπο στη Νότιο Κορέα το 2006 και το LTE το οποίο αναλύσαμε διεξοδικά στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας μας.⁹¹

Για τα δυο αυτά δίκτυα σημαντικό είναι πως οι προϋποθέσεις διαφέρουν από ήπειρο σε ήπειρο και από κράτος σε κράτος και εξαιτίας των συγκεκριμένων διαφοροποιήσεων στις συχνότητες και στις γεωγραφικές τοποθεσίες διαφέρει και ο εξοπλισμός. Αυτό, όμως, μπορεί να επιφέρει διαφορετικές επιπτώσεις καθώς σε αρκετές περιπτώσεις ο εν λόγω εξοπλισμός μπορεί να μην είναι συμβατός δημιουργώντας τεράστια προβλήματα.⁹²

Η εν λόγω τεχνολογία που μελετάμε στην ενότητα αυτή της πτυχιακής μας εργασίας προσφέρει ταυτόχρονα καθοριστικές τακτικές και λειτουργίες

⁸⁹ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

⁹⁰ S. Anuradha (2011). *Super-Fast 4G Wireless Service Launching in South Korea*. Asia-Pacific Business and Technology Report, October 10.

⁹¹ A. L. Shimpi (2011). *The Sprint HTC EVO 4G Review*. AnandTech. June 28, Paris,

⁹² T. Shruti (2012). *EE by gum! 4G (almost!) launches. Q&A with the man making it happen - Features*. LondonlovesBusiness.com, September 11, London.

αναβαθμίσεων. Μια καθοριστική μέθοδος είναι η λειτουργία Voice over IP, διαμέσου ενός 3^{ου} ατόμου. Διάφορες άλλες παρόμοιες τακτικές οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνά είναι οι λειτουργίες gaming, roaming, 3D λειτουργιών τηλεδιάσκεψης και cloud computing.⁹³ Την περίοδο που αναπτύχθηκε αυτήν η τεχνολογία διαμορφώθηκαν κάποιοι στόχοι. Οι αρχικοί αυτοί στόχοι των δικτύων 4G είναι οι εξής :

- ❖ Μεγαλύτερη ευελιξία στο εύρος καναλιού το οποίο θα κυμαίνεται ανάμεσα στα 5 και στα 20 MHz ενώ θα μπορούσε να φτάσει μέχρι και 40MHz
- ❖ Ονομαστική ταχύτητα πληροφοριών 100Mbps όσο ο χειριστής κινείται με υψηλότερες ταχύτητες σε αντίθεση με άλλους σταθμούς βάσης και 1Gbps σε περιστάσεις όπου ο χειριστής δεν κινούταν
- ❖ Ταχύτητα πληροφοριών μεγαλύτερη από 100Mbps μεταξύ 2 μη καθορισμένων τοποθεσιών σε ολόκληρη τον πλανήτη⁹⁴
- ❖ Μέγιστη φασματική απόδοση 15bits/Hz στην καθοδική ζεύξη και 6,75bits/Hz στην ανοδική ζεύξη (κάτι το οποίο είχε σαν αποτέλεσμα 1000Mbps στην καθοδική ζεύξη να είναι ιδιαίτερα εφικτά έχοντας πιο λίγα από 67MHz σαν εύρος ζώνης)
- ❖ Φασματική απόδοση συστήματος μέχρι 3bits/Hz στην καθοδική ζεύξη και 2,25bits/Hz/κυψέλη για να χρησιμοποιηθεί, όμως, σε εσωτερικές τοποθεσίες⁹⁵
- ❖ Πιο ομαλή μετάδοση σε ετερογενή δίκτυα

⁹³ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

⁹⁴ [http://radar.ee.auth.gr/Applied_Telecom_Systems/Microcellular_nets_-_4G#head-8d72820a1c527ac4c737c4e1c9aeab1cff1ec5c0]

⁹⁵ Β. Δημητριάδης, (2007), *Η ευρυζωνικότητα Λεωφόρος για την μετάβαση από την 3^η στην 4^η Γενιά*, C.O.O. LANNET COMMUNICATIONS, ICT, 29 Οκτωβρίου, Αθήνα.

- ❖ Μεγαλύτερη ομοιογένεια στην σύνδεση και την διεθνή περιαγωγή μεταξύ διαφορετικών και ξεχωριστών δικτύων⁹⁶
- ❖ Μεγαλύτερη ποιότητα λειτουργιών για να βοηθήσουν περισσότερο άλλες πολυμεσικές πρακτικές
- ❖ Μεγαλύτερη δυσλειτουργία με ασύρματα στάνταρ τα οποία προϋπήρχαν
- ❖ Ολοκληρωμένο IP δίκτυο μεταγωγής πακέτου⁹⁷

5.3 Πως λειτουργεί

Τα δίκτυα 4G βασίζονται στις τεχνολογίες WiMAX και LTE Advanced. Η πρώτη από αυτές τις 2 τεχνολογίες δρα με ίδιο τρόπο με το wi-fi, εξασφαλίζοντας παράλληλα μεγαλύτερη εμβέλεια επικοινωνίας περισσότερων από 35km που είναι αρκετά μεγαλύτερη από το Wi-fi που αφορά 100μέτρα. Ακόμα, η ταχύτητα για download φτάνει τα 100Mbps για κινητές συσκευές έχοντας παράλληλα αρκετά ακόμα πλεονεκτήματα.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτά είναι πως οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να συνδεθούν στο internet από όπου και να είναι καθώς υπάρχει πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια. Επίσης, οι οργανισμοί και οι επιχειρήσεις έχουν την ευχέρεια σήμερα να δημιουργήσουν το προσωπικό τους δίκτυο ευκολότερα καθώς δεν χρειάζονται καλώδια σε όλο το κράτος κάτι το οποίο έχει σαν επίπτωση να αυξάνεται ο ανταγωνισμός ανάμεσα στους χρήστες κάτι το οποίο, όμως, είναι προς όφελος τους.⁹⁸

⁹⁶ Α. Πλύτας, (2011), *LTE-Long Term Evolution*, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρονική, Χανιά.

⁹⁷ [http://radar.ee.auth.gr/Applied_Telecom_Systems/Microcellular_nets_-_4G#head-8d72820a1c527ac4c737c4e1c9aeab1cff1ec5c0]

⁹⁸ [<https://sites.google.com/site/tecnologia4g/ergasia>]

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε πως οι ταχύτητες είναι ενδεικτικές και δεν φτάνουν σε ολόκληρο τον κόσμο στα μεγέθη που έχουν προαναφερθεί αλλά διαφέρουν από τοποθεσία σε τοποθεσία. Για παράδειγμα σε μικρές τοποθεσίες στις οποίες οι κεραιές είναι μακριά η ταχύτητα μπορεί να φτάνει τα 10Mbit/sec. Παρόλα αυτά, σε μεγαλύτερες περιοχές η ταχύτητα θα είναι προφανώς αρκετά μεγαλύτερη.⁹⁹

5.4 Γενικά χαρακτηριστικά

Τα δίκτυα 4G δίνουν στους χρήστες μεγαλύτερες αποδόσεις επικοινωνίας, δίχως να υπάρχουν ασυνέχειες. Τα συγκεκριμένα δίκτυα προσφέρουν, ακόμα, μεγάλη υποστήριξη μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης πληροφοριών και πολύ καλύτερη ποιότητα λειτουργιών συγκριτικά με της προηγούμενες γενιές δικτύων.¹⁰⁰

Η κατανομή φάσματος έχει αρκετά μεγαλύτερους ρυθμούς σε κυψέλες μεσαίου όγκου. Οι ρυθμοί μετάδοσης πληροφοριών ανέρχονται στα 100Mbps και προσφέρουν λειτουργιών πολυμέσων με πολύ λιγότερα έξοδα. Ένα άλλο βασικό γνώρισμα που έχουν τα εν λόγω δίκτυα είναι πως έχουν χαμηλότερη ιεραρχία σε θέματα αρχιτεκτονικής, με μέρη εισχώρησης και τερματικά τα οποία βοηθούν με διάφορες τακτικές εισχώρησης.¹⁰¹

Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη απόδοση στα δίκτυα αυτά έπρεπε να προστεθούν κάποια επιπλέον γνωρίσματα τα οποία έπαιξαν σημαντικό και ιδιαίτερα καθοριστικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα της μορφής των δικτύων αυτών. Τα γνωρίσματα αυτά είναι η κάλυψη των λειτουργιών από όποια περιοχή και να

⁹⁹ [<http://thesout.gr/tech-news/12373-texnologia-4g-osa-prepei-na-gnorizete/12373-texnologia-4g-osa-prepei-na-gnorizete>]

¹⁰⁰ Β. Χρήστου, (2012), *Δίκτυα 4G Τεχνοοικονομική ανάλυση 4G*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Ιούνιος, Αθήνα.

¹⁰¹ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

βρίσκεται ο χρήστης, η καλύτερη σύνδεση αλλά και η συνεχόμενη σύνδεση των χρηστών.¹⁰²

	3G (συμπεριλαμβάνεται 2.5G, sub3G)	4G
Major Requirement Driving Architecture	Predominantly voice driven - data was always add on	Converged data and voice over IP
Αρχιτεκτονική δικτύου	Wide area cell-based	Hybrid - Integration of Wireless LAN (WiFi, Bluetooth) and wide area
Ταχύτητα	384 Kbps έως 2 Mbps	20 έως 100 Mbps εν κινήσει
Ζώνη συχνοτήτων	Εξαρτάται από χώρα και ήπειρο (1800-2400 MHz)	Υψηλές ζώνες συχνοτήτων (2-8 GHz)
Εύρος ζώνης	5-20 MHz	100 MHz (ή παραπάνω)
Είδος μεταγωγής	Κυκλώματος και πακέτου	All digital with packetized voice
Τεχνολογίες πρόσβασης	W-CDMA, 1xRTT, Edge	OFDM και MC-CDMA (Multi Carrier CDMA)
Μηχανισμός διόρθωσης λαθών	Convolutional rate 1/2, 1/3	Concatenated coding scheme
Σχεδιαστική υλοποίηση	Optimized antenna design, multi-band adapters	Smarter Antennas, software multiband and wideband radios
IP	including IP 5.0	Όλα τα IP (IP6.0)

Εικόνα 5.2 : Σύγκριση παραμέτρων και χαρακτηριστικών 4G με παλαιότερες γενιές¹⁰³

5.4.1 Χωρητικότητα

Είναι γεγονός πως η τεράστια και η ραγδαία άνοδος που εντοπίζεται στην αγορά για τα συγκεκριμένα δίκτυα στην αγορά ασύρματων τηλεπικοινωνιών

¹⁰² Β. Χρήστου, (2012), *Δίκτυα 4G Τεχνοοικονομική ανάλυση 4G*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Ιούνιος, Αθήνα.

¹⁰³ Ι. Δ. Σταυρόπουλος, (2011), *Μελέτη παρεμβολής προτύπου DVB-T επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κινητές υπηρεσίες τέταρτης γενιάς (4G) LTE FDD*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ιούλιος, Αθήνα.

οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ανοδική τάση που υπήρξε στην χωρητικότητα των δικτύων αυτών.

Το μεγαλύτερο μέρος της χωρητικότητας σήμερα καταναλώνεται από την τηλεφωνία αλλά και την ανταλλαγή μηνυμάτων, με τις ανάγκες καθημερινά να αλλάζουν και να διαμορφώνονται κατάλληλα έχοντας σαν στόχο να γράφονται ολοένα και πιο πολλοί χρήστες στις εταιρίες που προσφέρουν παρόμοιες υπηρεσίες οι αλλαγές αυτές έχουν δημιουργήσει τα τελευταία χρόνια μια νέα τάση καθώς ο μέσος όρος χρήσης σε διεθνές επίπεδο ανέρχεται σε 3 ώρες καθημερινής χρήσης παρόμοιων υπηρεσιών ανά μήνα.¹⁰⁴

Παρά το γεγονός αυτό η ύπαρξη τέτοιων λειτουργιών οι οποίες χρειάζονται πιο μεγάλο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων διαμορφώνει καινούριες τακτικές και είναι σήμερα εφικτό για κάθε χειριστή να απαιτεί από το δίκτυο αυτό αρκετά πιο υψηλή χωρητικότητα από την πιο μεγάλη μετάδοση φωνής που έχει έως και σήμερα. Για τον λόγο αυτόν, επομένως, για την δημιουργία πιο υψηλών και καλύτερης ποιότητας λειτουργιών από τα δίκτυα αυτά θα πρέπει να δημιουργηθούν νέες λειτουργίες που παρέχουν ακόμα πιο υψηλές χωρητικότητας ακόμα και από αυτές που έχουμε μέχρι και σήμερα.¹⁰⁵

Η χωρητικότητα και ο υπολογισμός αυτής εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες που είναι το εύρος φάσματος, η αποδοτικότητα και το σύνολο των κυψελών που υπάρχουν στο δίκτυο. Το γινόμενο των κριτηρίων αυτών αποτελεί ένα χαρακτηριστικό δείγμα όγκου που αφορά και αντιπροσωπεύει την χωρητικότητα ενός δικτύου 4G.

Την τελευταία πενήνταετία έχει εμφανιστεί ανοδική τάση της χωρητικότητας η οποία φτάνει σχεδόν το ένα εκατομμύριο. Μεγαλύτερη ανάλυση εμφανίζει πως η αποδοτικότητα χρήσης έχει παρουσιάσει εικοσαπλάσια άνοδο, ενώ το εύρος φάσματος έχει αυξηθεί κατά 25 φορές. Ακόμα το σύνολο των κυψελών έχει ανοδική τάση αλλά σε πολύ μεγαλύτερα επίπεδα από τα άλλα γνωρίσματα του

¹⁰⁴ [http://radar.ee.auth.gr/Applied_Telecom_Systems/Microcellular_nets_-_4G#head-8d72820a1c527ac4c737c4e1c9aeab1cff1ec5c0]

¹⁰⁵ S. Parkcall, (2010), *Long-Term 3G Evolution, Radio Access*, Senior Specialist, Adaptive Radio Access, Ericsson Research, London.

δικτύου αυτού καθώς έχει αυξηθεί περίπου 2 χιλιάδες φορές περισσότερο κάνοντας τον άξονα 80-100 φορές πιο καθοριστικό.¹⁰⁶

Υπάρχουν αρκετές προβλέψεις για το 2015 οι οποίες κάνουν λόγο για 1,3 b/s/κυψέλη η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και 2,6b/s/κυψέλη και θα είναι ο βασικότερος τους στόχος καθώς θα εστιάσουν στο MIMO 4X2. Το ανοδικό φάσμα εστιάζει στο GSM900, DCS1800,E-GSM,UMTS2110 ενώ υπάρχουν προοπτικές για 700 MHz, 2,6GHz και 3,5GHz προκαλώντας έναν συνολικό όγκο της τάξης των 680MHz για το επόμενο έτος.¹⁰⁷

Ακόμα, στις προβλεπόμενες προϋποθέσεις της χωρητικότητας, είναι η προσφορά πολύ πιο μεγάλων ταχυτήτων σε μια κυψέλη η οποία θα βρίσκεται σε μια μικρή τοποθεσία. Εάν ο σκοπός είναι η ασύρματη ευρυζωνικότητα με καλή προσφορά λειτουργιών θα πρέπει να καταπολεμηθούν και τα δυο αυτά προβλήματα.

Παρά το γεγονός αυτό υπήρχε και θα υπάρχει η ευχέρεια ανόδου ακόμα περισσότερο του όγκου της χωρητικότητας των δικτύων αυτών διαμέσου πιο μεγάλης και καλής χρήσης του φάσματος που παρέχεται με πιο αποδοτικό τρόπο, καθώς η μοναδική επιλογή η οποία μπορεί να προκαλέσει επανάσταση στα δίκτυα αυτά είναι η μεγαλύτερη αύξηση του συνόλου των κυψελών.¹⁰⁸

¹⁰⁶ T. Shruti (2012). *EE by gum! 4G (almost!) launches. Q&A with the man making it happen - Features*. LondonlovesBusiness.com, September 11, London.

¹⁰⁷ Κ. Χαντζή, (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.

¹⁰⁸ [http://radar.ee.auth.gr/Applied_Telecom_Systems/Microcellular_nets_-_4G#head-8d72820a1c527ac4c737c4e1c9aeab1cff1ec5c0]

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνή Βιβλιογραφία

- ❖ Anuradha S. (2011). *Super-Fast 4G Wireless Service Launching in South Korea*. Asia-Pacific Business and Technology Report, October 10.
- ❖ Bennet B. (2012). *Meet U.S. Cellular's first 4G LTE phone: Samsung Galaxy S Aviator*. CNet, 5 April, London.
- ❖ Dahlman, E. Parkvall, S. Skold , J. Beming, P. (2008), *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband 2nd Edition*, Published by Elsevier Ltd.
- ❖ Dahlman, E. (2012), *3G long-term evolution, Expert Radio Access Technologies*, Ericsson Research, London.
- ❖ Eylert, B. (2005) *The Mobile Multimedia Business: Requirements and Solutions*, John Wiley & Sons.
- ❖ Fazel K., Kaiser, S. (2008), *Multi Carrier and Spread Spectrum Systems From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX 2nd Edition*, John Wiley & Sons.
- ❖ Guam II. Z. ,Li. C. Xu. Zhou, X. , Zhang, W. (2009), *Adaptive subcarrier allocation for MIMO-OFDMA wireless systems using Hungarian method*,. Shanghai University, vol. 13, no.2 σελ. 146-149. Apr.
- ❖ Hamza, A. (2009), *Long Term Evolution (LTE) – A Tutorial*, October 13, London.
- ❖ Hiner J. (2011). *How AT&T and T-Mobile conjured 4G networks out of thin air*. TechRepublic, 12 January.

- ❖ Holma, H. Toskala, A. (2009), *LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*, John Wiley & Sons.
- ❖ Lesquyer, P. Lucidarme, T. (2008), *Evolved Packet System (EPS), The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS*, John Wiley & Sons.
- ❖ Nokia Telecommunications, (1999), *Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)*, whitepaper.
- ❖ Parkcall, S. (2010), *Long-Term 3G Evolution, Radio Access, Senior Specialist*, Adaptive Radio Access, Ericsson Research, London.
- ❖ Papoutsis, V. D. Fraimis, I. G. Kotsopoulos, S. A. (2010) *Resource allocation algorithm for MIMO-OFDMA systems with minimum resources guarantee. IEEE Intern. Conf. Eleir.. Circuits, and Systems, Athens, Greece, Dec.*
- ❖ Shimpi A. L. (2011). *The Sprint HTC EVO 4G Review*. AnandTech. June 28, Paris.
- ❖ Shruti T. (2012). *EE by gum! 4G (almost!) launches. Q&A with the man making it happen - Features*. LondonlovesBusiness.com, September 11, London.
- ❖ Vilches, J. (2010). *Everything you need to know about 4G Wireless Technology*. TechSpot, April 29.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- ❖ Δημητριάδης, Β. (2007), *Η ευρυζωνικότητα Λεωφόρος για την μετάβαση από την 3η στην 4η Γενιά*, C.O.O. LANNET COMMUNICATIONS, ICT, 29 Οκτωβρίου, Αθήνα.
- ❖ Ζαρμπούτη, Δ. (2012), *Θεωρία και ανάλυση συστημάτων MIMO (multiple input multiple output)– πολλαπλών κεραιών στο σταθμό βάσης και στο κινητό,*

- σε διαφορετικά περιβάλλοντα ασύρματης επικοινωνίας. Διπλωματική εργασία της Δήμητρα Αθανασίου Ζαρμπούτη, Διπλ. Ηλ. Μηχ. & Μηχ.Η/Υ.Ε.Μ.Π.
- ❖ Καβουργιάς, Γ. (2011), *Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε κινητά OFDMA δίκτυα*, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα.
 - ❖ Κανατάς, Α. Κωνσταντίνου, Φ. Παντος, Γ. (2008), *Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
 - ❖ Καραγιαννάκη, Σ. (2013), *Μελέτη Εξειδικευμένων Αλγορίθμων για την Κατανομή των Διαθέσιμων Ραδιοπόρων στα Σύγχρονα Ασύρματα Συστήματα*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πανεπιστήμιο Πατρών.
 - ❖ Κουλουμπίνης, Κ. (2013), *Συστήματα 4G LTE και αρχική σχεδίαση δικτύου (LTE Dimensioning)*, Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα.
 - ❖ Κυριακόπουλος, Θ. (2013), *Η ανάπτυξη του LTE στην Ελλάδα*, Τεχνική Βιβλιοθήκη, Μάιος, Θεσσαλονίκη.
 - ❖ Μιχαηλ, Ι.Π. (2013), *LTE Συστήματα & σχεδίαση*, Πτυχιακή εργασία, Σχολή Οικονομίας, Διοίκησης και Πληροφορικής, Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Νοέμβριος, Τρίπολη.
 - ❖ Νικολιδάκη, Α. (2011), *Μελέτη και Αξιολόγηση Επίδοσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε LTE Δίκτυα*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πληροφορικής, Πειραιάς.
 - ❖ Πλύτας, Α. (2011), *LTE-Long Term Evolution*, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρονική, Χανιά.
 - ❖ Σταυρόπουλος, Ι. Δ. (2011), *Μελέτη παρεμβολής προτύπου DVB-T επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κινητές υπηρεσίες τέταρτης γενιάς (4G) LTE FDD*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ιούλιος, Αθήνα.

- ❖ Φωτιάδης, Π. (2008), *Τεχνικές Διαχείρισης Ραδιοπόρων σε Ασύρματα Συστήματα Πολλαπλής Πρόσβασης OFDMA*, Διπλωματική Εργασία, Ιούλιος, Αθήνα.
- ❖ Χαντζή, Κ. (2014), *Μελέτη και εξομοίωση συστήματος 4G LTE*, Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα.
- ❖ Χοντζέας, Α. (2013), *Μακροπρόθεσμη εξέλιξη κινητής τηλεφωνίας : Γεφυρώνοντας τον κόσμο, LTE*, Αθήνα.

Διαδικτυακή Βιβλιογραφία

- ❖ <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=253>
- ❖ <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-ofdm-ofdma-scdma.php>
- ❖ <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&pageid=1181>
- ❖ <http://testrf.com/tag/lte-tutorial/>
- ❖ http://radar.ee.auth.gr/Applied_Telecom_Systems/LTE#head-3fa4b0e97793e8e77c7c0d09224820af105155f2
- ❖ http://www.rohde-schwarz.com/en/applications/umts-long-term-evolution-lte-technology-introduction-application-note_56280-15658.html
- ❖ <https://sites.google.com/site/tecnologia4g/ergasia>
- ❖ <http://thesout.gr/tech-news/12373-tecnologia-4g-osa-prepei-na-gnorizete/12373-tecnologia-4g-osa-prepei-na-gnorizete>
- ❖ http://www.3g4g.co.uk/Lte/LTE_Security_WP_0907_Agilent.pdf