
ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ (ΑΝΤΙΡΡΙΟ)
(ΠΡΩΗΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ - ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΗΣ
ΖΕΥΞΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 4G/LTE**

των Φοιτητών του τμήματος Μηχανικών πληροφορικής ΤΕ:
Θεόδωρου Μπούσια με ΑΜ 0180
Ελένης Μυλωνά με ΑΜ 0791

Εποπτεύων καθηγητής : Ασημακόπουλος Γεώργιος



Αντίρριο - Σεπτέμβρης 2014

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε τον Κο Ασημακόπουλο που μας έδωσε την ευκαιρία και την εμπιστοσύνη που μας έδειξε για την ανάθεση της πτυχιακής ,για το τόσο ενδιαφέρον θέμα ,όπου μας κέντρισε την προσοχή και δουλέψαμε και οι δύο μας με όρεξη , έχοντας τελικό σκοπό να μην τον απογοητεύσουμε.

Ευχαριστούμε την Βιβλιοθήκη ΤΕΙ Πατρών για τις δωρεάν φωτοτυπίες από τα πολύτιμα βιβλία που χωρίς αυτές δεν θα μπορούσαμε να φέρουμε σε πέρας την εργασία μας.

Ευχαριστούμε τις Μамάδες μας που μας ανγχώναν κάθε μέρα και μας υπενθίμιζαν ότι πρέπει να πάρουμε πτυχίο επιτέλους !!!

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία απεικονίζει την εξέλιξη των ασύρματων δικτύων τόσο στις κινητές επικοινωνίες όσο και στα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών. Ξεκινώντας από τα δίκτυα δεύτερης γενιάς 2G (πρότυπο GSM) καθώς και το πρότυπο IEEE, τα οποία εμφανίστηκαν και εφαρμόστηκαν στις αρχές τις δεκαετίας του '90, φθάνουμε στο εξελιγμένο πλέον πρωτόκολλο LTE/4G. Μια πληθώρα από προηγμένες δυνατότητες και χαρακτηριστικά κάνουν το LTE να ξεχωρίζει και να υπερισχύει σε σχέση με τα πρότυπα κινητών τηλεπικοινωνιών των προηγούμενων γενεών. Σε γενικές γραμμές προσφέρει στο χρήστη τη μέγιστη συνδεσιμότητα και μεγαλύτερες ταχύτητες στην χρήση πολυμέσων με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας και προσβασιμότητας στο διαδίκτυο. Παρόλ' αυτά το LTE δεν πληρεί τις προδιαγραφές προτύπου τέταρτης γενιάς 4G, για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε η μετεξέλιξή του, το LTE-Advanced. Επίσης πάνω στην τεχνολογία του LTE γίνονται κάποιες προσομοιώσεις και παραμετροποίηση στο πρόγραμμα Matlab έτσι ώστε να διαπιστωθεί η λειτουργία του στο φυσικό στρώμα κατερχόμενης ζεύξης αλλά και τα αποτελέσματα αυτών των προσομοιώσεων στην κάθε διαμόρφωση ξεχωριστά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εποχή στην οποία ζούμε έχει τον τίτλο της εποχής της πληροφόρησης. Καθημερινά εκπέμπουμε και λαμβάνουμε τεράστιο όγκο πληροφοριών. Ένας ευρύς τομέας της σύγχρονης τεχνολογίας, ραγδαία αναπτυσσόμενος, είναι τα δίκτυα μέσω των οποίων διακινούνται τα δεδομένα αυτά. Στόχος της παρούσης εργασίας είναι η μελέτη, με χρήση μοντελοποίησης, των αλγορίθμων ραδιοπύλων της LTE τεχνολογίας (Long Term Evolution).

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μία εισαγωγή για τα χαρακτηριστικά των κινητών επικοινωνιών, όπου αναλύεται η τεχνολογία UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), ενώ εν συνεχεία παρουσιάζεται το πρότυπο HSPA (High Speed Packet Access). κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τα χαρακτηριστικά, τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές της τέταρτης γενιάς 4G ασύρματων δικτύων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται αναλυτικά γραφήματα της συμπεριφοράς των προτύπων/συστημάτων που κυριαρχούσαν στις ασύρματες και κινητές επικοινωνίες τα προηγούμενα χρόνια: GSM, MIMO, IEEE 802.11n, IEEE 802.16. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά του 4G/LTE (OFDM, SC-FDM, MIMO, Turbo Channel Coding, Link Adaptation). Έπειτα αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του προτύπου LTE, όπως οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης κάτω ζεύξης και άνω ζεύξης, και τα βασικά σημεία λειτουργίας των τριών στρωμάτων του LTE. Το δεύτερο κεφάλαιο τελειώνει με την παρουσίαση των βασικών αλγορίθμων προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες της τεχνολογίας LTE.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του φυσικού στρώματος του LTE πρωτοκόλλου που περιλαμβάνει όλη την επεξεργασία που πραγματοποιείται σε bits δεδομένων που εκδίδονται από τα ανώτερα στρώματα του φυσικού στρώματος. Αυτό περιγράφει 1) πώς τα διάφορα κανάλια μεταφοράς αντιστοιχούν σε φυσικά κανάλια, 2) πώς η επεξεργασία σήματος εκτελείται σε κάθε ένα από αυτά τα κανάλια, και 3) πώς τα δεδομένα τελικά μεταφέρονται στην κεραία για εκπομπή. Το κεφάλαιο χωρίζεται σε 3 κύριους άξονες. Στον πρώτο άξονα μοντελοποιούμε το φυσικό στρώμα καθοδικής ζεύξης του προτύπου LTE χρησιμοποιώντας χωρική πολύπλεξη. Πάνω σε αυτό το μοντέλο του Simulink διαφοροποιούμε κάποιες παραμέτρους και ελέγχουμε την συμπεριφορά του συστήματος. Στον δεύτερο άξονα μοντελοποιούμε την καθοδική ζεύξη του PDSCH με χρήση πολυμορφίας μετάδοσης. Και στις δύο περιπτώσεις το αποτέλεσμα επικεντρώνεται πάλι στην συμπεριφορά του σήματος κατά την διαδικασία εκπομπής και λήψης. Στον τρίτο άξονα παρουσιάζουμε την συμπεριφορά του LTE προτύπου βασίζόμενοι σε αλγορίθμους ραδιοπύλων.

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης, δίνοντας προσοχή στην απόδοση του φυσικού στρώματος του LTE προτύπου, συγκρίνοντας την συμπεριφορά του συστήματος μεταξύ της χωρικής πολύπλεξης και της πολυμορφίας μετάδοσης. Επίσης συγκρίνεται και η απόδοση των διαφόρων αλγορίθμων ραδιοπύλων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
1.1 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	7
1.2 ΚΙΝΗΤΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	10
1.3 ΔΙΚΤΥΑ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (3G)	13
1.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ UMTS.....	14
1.3.2 ΠΡΟΤΥΠΟ HSPA (3.5G)	15
1.3.3 ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΕΠΟΜΕΝΩΝ ΓΕΝΕΩΝ	16
1.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LTE.....	17
1.5 ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G).....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	23
2.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΡΙΝ ΤΟ 4G/LTE	24
2.1.1 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ - GSMCHANNELMODELS	25
2.1.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ	26
2.2 ΚΥΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 4G/LTE.....	34
2.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 4G/LTE.....	37
2.3.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	37
2.3.2 LTE – ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ (Physical layer)	39
2.3.3 LTE – ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΡΩΜΑ (Layer 2 - MAC, RLC, PDCP)	42
2.3.4 ΈΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ (PowerControl) / ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΡΥΘΜΟΥ (DynamicRateControl).....	43
2.3.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ (Radio Resource Scheduling).....	43
2.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ.....	44
2.4.1 PROPORTIONALFAIRNESS RESOURCE ALLOCATION	44
2.4.2 SOFTERFREQUENCYREUSESCHEDULINGALGORITHM	44
2.4.3 ROUNDROBINSCHEDULINGALGORITHM.....	45
2.4.4 RESOURCESCHEDULING ALGORITHM WITH MAXIMUM INTERFERENCE	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	46
3.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ 4G/LTE.....	46
3.2 ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	53
3.2.1 ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗΣ	54
3.2.2 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΖΕΥΞΗ ΡDSCΗΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΜΟΡΦΙΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	62
3.2.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	74
4.1 ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗ vs ΠΟΛΥΜΟΡΦΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	74
4.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	81
4.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	83

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εποχή στην οποία ζούμε έχει τον τίτλο της εποχής της πληροφόρησης. Καθημερινά εκπέμπουμε και λαμβάνουμε τεράστιο όγκο πληροφοριών. Ένας ευρύς τομέας της σύγχρονης τεχνολογίας, ραγδαία αναπτυσσόμενος, είναι τα δίκτυα μέσω των οποίων διακινούνται τα δεδομένα αυτά. Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μία εισαγωγή σε τηλεπικοινωνιακές έννοιες που συναντούν καθημερινά οι χρήστες κατά την περιήγηση τους στο διαδίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, θα προσπαθήσουμε να απεικονίσουμε εν συντομία την μετάβαση από τα πρώιμα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας προς τα δίκτυα τέταρτης γενιάς. Αρχικά παραθέτονται πληροφορίες για τα κύρια στοιχεία ενός απλού τηλεπικοινωνιακού συστήματος, καθώς επίσης και ενός δορυφορικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Έπειτα περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των κινητών επικοινωνιών, όπου αναλύεται η τεχνολογία

UMTS(UniversalMobileTelecommunicationsSystem), ως ο "έκπρόσωπος" της τρίτης γενιάς σχετικά με την εξέλιξη των δικτύων ασύρματης επικοινωνίας, ενώ εν συνεχεία παρουσιάζεται το πρότυποHSPA(HighSpeedPacketAccess) της ενδιάμεσης μεταξύ της3G και4G ασύρματης τεχνολογίας, δηλαδή της3.5G. Εν συνεχεία παρουσιάζεται η LTE (LongTermEvolution) τεχνολογία, που ουσιαστικά αποτελεί τον πρόδρομο της τέταρτης γενιάς ασύρματης τεχνολογίας. Το πρώτο κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τα χαρακτηριστικά, τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές της τέταρτης γενιάς ασύρματων δικτύων .

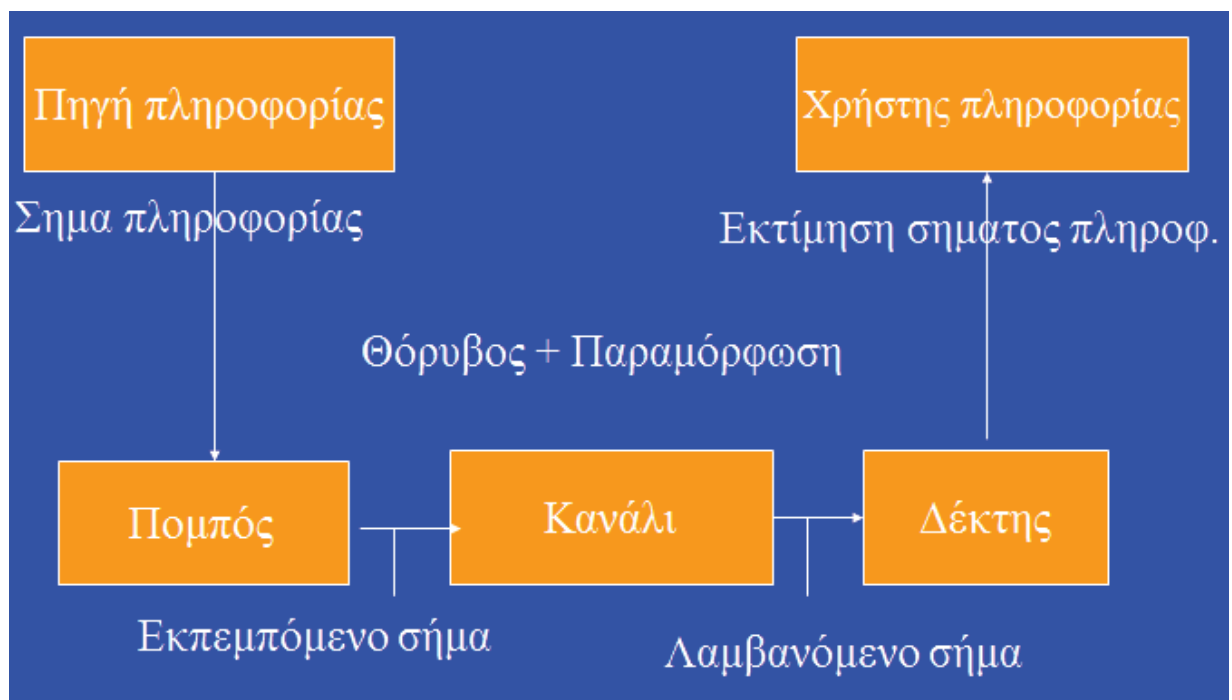
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Οι επικοινωνίες επηρεάζουν πολλαπλά την καθημερινή μας ζωή. Τα κινητά τηλέφωνα, το ραδιόφωνο και οι τηλεοράσεις, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές που είναι συνδεδεμένοι στο Internet, μας επιτρέπουν την ταχύτερη μετάδοση πληροφορίας σε κάθε γωνιά του πλανήτη. Τα συστήματα επικοινωνιών αποτελούν τα «αισθητήρια όργανα» των αεροπλάνων στον αέρα, των πλοίων στους ωκεανούς και των δορυφόρων στο διάστημα. Η επικοινωνία σχετίζεται με την μετάδοση της πληροφορίας από ένα σημείο του χώρο-χρόνου σε ένα άλλο. Περιλαμβάνει τις εξής διαδικασίες(Tanenbaum & Wetherall, 2010):

- Παραγωγή σήματος πληροφορίας-μήνυμα
- Αναπαράσταση σήματος πληροφορίας με σύνολο συμβόλων και δεδομένη ακρίβεια
- Κωδικοποίηση των συμβόλων σε μορφή κατάλληλη για μετάδοση στο φυσικό μέσον (κυματομορφές)
- Μετάδοση των κυματομορφών στον επιθυμητό προορισμό
- Αποκωδικοποίηση και αναπαραγωγή των αρχικών συμβόλων
- Αναπαραγωγή του αρχικού μηνύματος με μια προκαθορισμένη αλλά ελεγχόμενη απώλεια ποιότητας

Τα κύρια δομικά στοιχεία ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος απεικονίζονται στο Σχήμα 1.1. Κατά την φάση της point-to-point επικοινωνίας, υπάρχει αμφίδρομη ροή πληροφορίας (downlink), και συμμετέχουν ένας πομπός και ένας δέκτης. Κατα τη διάρκεια της φάσης της εκπομπής (broadcasting), υπάρχει μονόδρομη ροή πληροφορίας (downlink), και χρειαζόμαστε έναν πολύ ισχυρό πομπό και πολλούς δέκτες (Tanenbaum&Wetherall, 2010). Η τηλεπικοινωνιακή διαδικασία αποτελεί μία στοχαστική διαδικασία η οποία επηρεάζεται από: 1) τον θόρυβο στο κανάλι, 2) την παραμόρφωση του καναλιού και 3) τους τεχνολογικούς περιορισμούς.



Σχήμα 1.1 Κύρια Στοιχεία Τηλεπικοινωνιακού Συστήματος(Χρήστου, 2012)

Η άμεση ανάγκη για πρόσβαση στην τεχνολογία και την γνώση της πληροφορίας αλλά και για υπηρεσίες Internet πολύ υψηλών ταχυτήτων , καθιστά αναγκαία και απαραίτητη την ανάπτυξη ασύρματων κινητών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων ευρείας ζώνης. Τα χαρακτηριστικά των σύγχρονων ασύρματων δικτύων είναι (Tanenbaum&Wetherall, 2010): 1) παροχή ασφάλειας, 2) προσαρμοστικότητα στις απαιτήσεις του χρήστη, 3) δυνατότητα αναβάθμισης για μεγάλο αριθμό χρηστών, 4) δυνατότητα παροχής πληροφοριών στον χρήστη σε παγκόσμια κλίμακα, και 5) χαμηλό κόστος. Σημαντικότεροι λόγοι χρησιμοποίησης υψηλότερων συχνοτήτων αποτελούν ο κορεσμός των χαμηλότερων ζωνών συχνοτήτων καθώς και η ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος ζώνης για εφαρμογές πολυμέσων (ασύρματη μετάδοση εικόνας και η πρόσβαση πραγματικού χρόνου στο Internet) .

Πληθώρα συστημάτων μετάδοσης χρησιμοποιούνται στην κατασκευή και την υλοποίηση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν ομοαξονικά καλώδια,

οπτικές ίνες, μικροκυματικά επίγεια κυκλώματα και δορυφορικές ζεύξεις. Οι δορυφορικές ζεύξεις έχουν ευρεία εφαρμογή όταν οι αποστάσεις είναι της τάξης εκατοντάδων χιλιομέτρων, ή όταν οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι ιδιαίτερα δύσκολες. Για την επικοινωνία διεθνών κέντρων μεταγωγής η χρήση δορυφορικών ζεύξεων αποτελεί την πιο σύνηθη πρακτική.

Δορυφορικά Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα

Τα δορυφορικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα αποτελούν ένα από τα κύρια συστατικά των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Οι δορυφόροι μέσω των συστημάτων και εφαρμογών που περιέχουν καλύπτουν και εξυπηρετούν πολύ μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Η διασύνδεση μεταξύ τηλεπικοινωνιακών πηγών βοηθά ώστε να επιτυγχάνεται διασύνδεση μεγάλων τηλεπικοινωνιακών κόμβων, πραγματοποίηση κινητών τηλεπικοινωνιών, και λειτουργία τηλεοπτικών ζεύξεων. Τις τελευταίες δεκαετίες σύγχρονοι δορυφόροι χρησιμοποιούνται κατά κόρον με σκοπό επίτευξη επικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων και γι' αυτό ο συγκεκριμένος κλάδος είναι ταχέα αναπτυσσόμενος. Το βασικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα αποτελείται από το «δορυφορικό τμήμα» και το επίγειο τμήμα του. Τα είδη των εφαρμογών που συναντώνται στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα είναι (Hillebrand, 2001) 1) στατικές τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, 2) εφαρμογές δορυφορικών κινητών τηλεπικοινωνιών ή 3) εφαρμογές απευθείας εκπομπών.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με την μοντελοποίηση ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος τέταρτης γενιάς, οπότε κρίνεται σκόπιμο να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών δορυφορικών κινητών τηλεπικοινωνιών. Εν συνεχεία, θα αναφερθούμε στο δορυφορικό τμήμα του τηλεπικοινωνιακού συστήματος, το οποίο περιλαμβάνει τον δορυφορικό αναμεταδότη και τον επίγειο σταθμό ελέγχου (Hillebrand, 2001). Ο δορυφορικός αναμεταδότης είναι υπεύθυνος για την ζεύξη μεταξύ των επίγειων σταθμών. Τα σήματα που εκπέμπονται από τους επίγειους σταθμούς υπόκεινται αποσβέσεις/παραμορφώσεις κατά την μετάδοσή τους μέσα στην ατμόσφαιρα έως ότου φθάσουν στην είσοδο του δορυφορικού αναμεταδότη.

Η λειτουργία του δορυφορικού αναμεταδότη διαφέρει μεταξύ των αναλογικών και ψηφιακών συστημάτων. Από την μία πλευρά, στα αναλογικά συστήματα ο δορυφορικός αναμεταδότης ενισχύει το σήμα μαζί με τον θόρυβο που φθάνει στην είσοδό του και κατόπιν επανεκπέμπει τον συνδυασμό των δύο σημάτων σε διαφορετική συχνότητα (Hillebrand, 2001). Ενώ από την άλλη, στα ψηφιακά συστήματα ο δορυφορικός αναμεταδότης επεξεργάζεται το σήμα, το σήμα αποδιαμορφώνεται/αποκωδικοποιείται και κατόπιν απαλλαγμένο από τον θόρυβο διαμορφώνεται και επανεκπέμπεται προς τον σταθμό λήψης. Με αυτόν τον τρόπο, ο δορυφορικός αναμεταδότης αποτρέπει τη συσσωρευμένη επίδραση του θορύβου.

Σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό των δορυφορικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων διαδραματίζουν οι επίγειοι σταθμοί. Το κόστος και οι λειτουργικοί περιορισμοί των συστημάτων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την σχεδίαση του συστήματος (Hillebrand, 2001). Πρακτικά, ο επίγειος σταθμός είναι ένας πομποδέκτης που λειτουργεί μέσα σε ένα σύστημα

δορυφορικής κεραίας. Οι επίγειοι σταθμοί κατηγοριοποιούνται σε μεγάλους και μικρούς, με βάση το μέγεθος της κεραίας που διαθέτουν αλλά και την ισχύ που ακτινοβολούν.

Οι κυριότεροι περιορισμοί κατά την εισαγωγή δορυφορικών συστημάτων για κάλυψη τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι οι ακόλουθοι(Μπούση & Ματθαίου, 2004):

- *Σχετικά υψηλό κόστος εισαγωγής του συστήματος. Απαιτείται προσεκτική τεχνικοοικονομική μελέτη σε σύγκριση με άλλα διαθέσιμα συστήματα πριν την τελική απόφαση επιλογής της συγκεκριμένης λύσης.*
- *Εξάρτηση της παροχής τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας από τη διάρκεια ζωής του δορυφόρου και ανάγκη για την άμεση αντικατάσταση της ζεύξης.*
- *Στην περίπτωση γεωστατικών δορυφόρων ένας πρόσθετος περιορισμός οφείλεται στην καθυστέρηση μετάδοσης, λόγω της μεγάλης διαδρομής του σήματος.*

1.2 ΚΙΝΗΤΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Κάθε πρωτοποριακό προϊόν επηρεάζει άμεσα την ανθρώπινη συμπεριφορά, τις συνήθειες όπως και τις ανθρώπινες αξίες. Η βιομηχανική επανάσταση που έλαβε χώρα στις αρχές του 19ου αιώνα έφερε πολύ μεγάλες αλλαγές στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Τη τελευταία δεκαετία η ανάπτυξη που συντελείται, σε παγκόσμιο επίπεδο, της ασύρματης τεχνολογίας έχει επιφέρει τεράστιες αλλαγές στον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων. Αυτές οι αλλαγές έχουν σαν αποτέλεσμα την αλληλεπίδραση του χρήστη με την υπολογιστική μηχανή μέσω μίας μηχανής αναζήτησης, το οποίο μεταφράζεται ως 'google-in'. Αυτή ακριβώς η αλληλεπίδραση συμβαίνει πολλές φορές κατά την διάρκεια μίας ημέρας και είναι η μικρή "επανάσταση" στον τρόπο ζωής του χρήστη(Tanenbaum&Wetherall, 2010).

Η χρήση κινητών τηλεφώνων καθώς και άλλων ασύρματων ηλεκτρονικών συσκευών για την αποστολή και λήψη ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, για την ενημέρωσή μας σχετικά με θέματα επικαιρότητας, καθώς και για την πραγματοποίηση οικονομικών ηλεκτρονικών συναλλαγών αποτελούν συνήθη φαινόμενα στην σύγχρονη εποχή. Στην Ευρώπη, στην Αμερική και κυρίως στην Ασία, έχουν υλοποιηθεί υπηρεσίες και εφαρμογές που υποστηρίζουν την ασύρματη τεχνολογία, ενώ το καταναλωτικό κοινό υποδέχεται με μεγάλο ενθουσιασμό οτιδήποτε καινοτόμο σχετίζεται με τον τομέα εφαρμογών(Μπούρας, 2012). Πιο συγκεκριμένα στην Ευρώπη, οι απαιτήσεις στον χώρο των τηλεπικοινωνιών έχουν εισάγει νέες τεχνολογίες και εφαρμογές αυτών που συντελούν στην πραγματοποίηση όλων των διεργασιών μέσω Internet. Επιπροσθέτως, η ασύρματη πρόσβαση σε δεδομένα και υπηρεσίες του διαδικτύου είναι εφικτή μέσω της τεχνολογίας GPRS (GeneralPacketRadioSwitching), η οποία προσφέρει διαρκή σύνδεση, με υψηλές ταχύτητες πρόσβασης και με οικονομικό τρόπο. Είναι γεγονός ότι στις ανεπτυγμένες ευρωπαϊκές χώρες, οι πολίτες μπορούν να έχουν πρόσβαση στο Internet σε οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκονται.

Η επανάσταση στον ευρωπαϊκό χώρο την κινητών επικοινωνιών ήρθε με την εφαρμογή του Παγκόσμιου Συστήματος Κινητών Επικοινωνιών (GlobalSystemforMobileCommunications), το οποίο αποτελεί ένα κοινό Ευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Το 1982 το αρμόδιο συμβούλιο τηλεπικοινωνιών της ΕΕ παρουσίασε για πρώτη φορά την ιδέα για την μελέτη και υλοποίηση ενός κοινού ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G). Αυτό το σύστημα είναι γνωστό ως GroupSpecialMobile (GSM)(Redl, 1995).«Το GSM είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων».Το 1991 ξεκίνησε η εμπορική του διάθεση στην Ευρώπη, ενώ στην Ελλάδα το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1993. Το πρότυπο/δίκτυοGSM, αν και κατασκευάστηκε αρχικά για τον ευρωπαϊκό χώρο, υιοθετήθηκε και χρησιμοποιήθηκε και σε άλλες ηπείρους, εκμεταλλευόμενο διάφορες ζώνες συχνοτήτων. Η βασική αρχιτεκτονική του δικτύου GSM παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο.

Αρχιτεκτονική

Ένα GSM δίκτυο χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη(Redl, 1995):

1) Κινητός Σταθμός (MobileStation)

Ο κινητός σταθμός διαθέτει πομπό-δέκτη, κεραία, οθόνη και την κάρτα SIM. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς εκπομπής μιας κινητής μονάδας στην Ευρώπη είναι στα 2 Watt ενώ σε Αυστραλία και Αμερική είναι 1,6W. Οι τιμές αυτές καθορίστηκαν από την Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία.

2) Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (BaseStationSubsystem)

Το BSSείναι υπεύθυνο για την διαχείριση των κλήσεων σε μια γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραιών διαφόρων μεγεθών. Τέτοιες κεραιές συναντώνται σε κατοικίσιμες και μη περιοχές ανα την επικράτεια μιας χώρας και κάθε τέτοια κεραία εξυπηρετεί και από μια κυψέλη(Redl, 1995). Το BSS χωρίζεται στο βασικό σταθμό πομπό-δέκτη Α) Βασικό σταθμό πομπού BaseTransceiverStation (BTS) και Β) στο βασικό σταθμό ελέγχου BaseStationController (BSC).

Α) Ο Βασικός σταθμός πομπού (BTS) είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου GSM και του κινητού σταθμού. Ακόμη, ένα BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραιές. Η ισχύς των κεραιών σε ένα BTS μπορεί είναι από 40W έως 500W. Όταν ένας χρήστης Α επιθυμεί να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή Β, ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημά του Α για αναζήτηση και εντοπισμό του άλλου συνδρομητή Β στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο της εταιρείας του Α(Redl, 1995). Το κέντρο της εταιρείας εντοπίζει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ο Β και στέλνει το σήμα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Από εκεί, πάλι με τη χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων, στέλνεται το σήμα στο κινητό του Β κι έτσι μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του ο Α.

B) Ο Βασικός Σταθμός Ελέγχου (BSC) ελέγχει τα σήματα παίρνοντας τα από ένα ή περισσότερα BTS ενώ παράλληλα εκχωρεί και απελευθερώνει κανάλια. Τα σήματα που λαμβάνει τα κατευθύνει στο MSC- MobileSwitchingCentre και όταν χρειάζεται μετατρέπει τα 16kbps φωνής που είναι στην κινητή τηλεφωνία σε 64kbps που χρησιμοποιείται στην σταθερή τηλεφωνία.

3) Υποσύστημα Δικτύου μεταγωγής (NNS- NetworkSwitchingSubsystem)

Το υποσύστημα Δικτύου Μεταγωγής αποτελείται από το Κέντρο Διανομής (MobileSwitchingCenter), το οποίο είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση, τον έλεγχο και την δρομολόγηση εισερχόμενων/εξερχόμενων κλήσεων μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενός άλλου δικτύου ή άλλων (Redl, 1995). Όταν ένα MSC συνδέεται με ένα δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας θα πρέπει να δέχεται 64kbps φωνής, όταν όμως ο MSC συνδέεται με ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τότε θα πρέπει να γνωρίζει που βρίσκεται εκείνη τη δεδομένη χρονική στιγμή ο χρήστης, αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια καταχωρητών VLR (VisitorLocatorRegister), HomeLocatorRegister (HLR). Η θέση καταγράφεται μέσω μίας βάσης δεδομένων που κρατά στοιχεία προφίλ ενός συνδρομητή και πληροφορίες για την τρέχουσα θέση του. Η εμβέλεια κάθε τέτοιου κέντρου είναι σε τοπικό επίπεδο (Redl, 1995). Όταν ο συνδρομητής βρίσκεται εκτός ορίων της τοπικής περιοχής που καλύπτει το HLR, δηλαδή είναι πολύ μακριά από το σπίτι του, τότε αναλαμβάνει τον χρήστη ο καταχωρητής θέσης αναζήτησης ή εικονικό κέντρο εγγραφής - VLR ο οποίος έχει μια βάση δεδομένων, που συγκρατεί προσωρινά δεδομένα καθώς και την τρέχουσα θέση του, αναλαμβάνοντας τις κλήσεις του καλύτερα κατά τις ώρες αιχμής στο κέντρο της πόλης. Το κέντρο πιστοποίησης (AuthenticationCentre – AuC) είναι υπεύθυνο για την διαχείριση δεδομένων και την πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη.

Τα τελευταία χρόνια, οι εταιρείες κατασκευής κινητών τηλεφώνων αλλά και οι εταιρείες παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας επενδύουν τεράστια ποσά στον ταχύτατα αναπτυσσόμενο χώρο της ασύρματης τεχνολογίας. Οι προοπτικές για κέρδη είναι πολύ μεγάλες και οι εταιρείες αναζητούν την καταλληλότερη «συνταγή» της επιτυχίας. Προκειμένου όμως αυτός ο στόχος να έρθει εις πέρας, θα πρέπει η αγορά να κινηθεί προς την σωστή κατεύθυνση. Πρωταρχικός σκοπός, λοιπόν, των εταιρειών αυτών είναι να προσφέρουν τρία στοιχεία: *i) «οικειότητα», ώστε να οδηγήσουν στην ευρύτερη χρήση-ζήτηση ασύρματων συσκευών, ii) φαντασία, ώστε να δημιουργήσουν τις υπηρεσίες που θέλει και χρειάζεται ο χρήστης-πελάτης και iii) απλότητα, ώστε να επιτυγχάνεται η εύκολη ταύτιση του χρήστη με το προσφερόμενο προϊόν.*

Η εισαγωγή του δικτύου GSM αποτέλεσε μία επανάσταση στον χώρο της τεχνολογίας πληροφοριών. Η συνεχής αύξηση του αριθμού των χρηστών και η ταχεία διάδοση των υπηρεσιών που προσφέρονται μέσω κινητών, οδήγησαν τα τμήματα έρευνας και ανάπτυξης των εταιρειών στην κατασκευή των δικτύων τρίτης γενιάς (3G Networks). Η εισαγωγή της τεχνολογίας των 3G δικτύων προσέφερε στους χρήστες ακόμα μεγαλύτερη ταχύτητα πρόσβασης στο διαδίκτυο, ενώ οι απαιτήσεις και οι ανάγκες της αγοράς αυξάνονται ολοένα και περισσότερο.

Εδώ, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα συστήματα τρίτης γενιάς UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), παρέχουν την δυνατότητα χρήσης νέων υπηρεσιών που δεν μπορούν να προσφερθούν από τα προηγούμενα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, όπως υπηρεσίες Τηλεϊατρικής, Τηλεκπαίδευσης, Videoconferencing. Σε ό,τι αφορά την εμπορική εκμετάλλευση της ασύρματης τεχνολογίας, οι εταιρείες παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας, στην περίπτωση του διαδικτύου οδηγούνται στο να παρέχουν στον πελάτη ευκολία πρόσβασης και δυνατότητα μεγάλων ταχυτήτων. Στην σύγχρονη εποχή, όταν ο χρήστης χρησιμοποιεί την ασύρματη συσκευή του θέλει να βλέπει, να αποφασίζει και να αγοράζει εύκολα και γρήγορα. Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να τονιστεί ότι η σημασία της ασύρματης τεχνολογίας, η οποία προσφέρει στον χρήστη τεράστια ευκολία, φέρνοντας τον σε επαφή με πάρα πολλές υπηρεσίες ανεξαρτήτως τοποθεσίας. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι οι ιστοσελίδες που είναι κατασκευασμένες για πρόσβαση μέσω ασύρματης τεχνολογίας είναι δομημένες έτσι ώστε να προσφέρουν στον χρήστη όσο το δυνατό αρτιότερες πληροφορίες στον ελάχιστο αριθμό λέξεων. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δικτύων τρίτης γενιάς.

1.3 ΔΙΚΤΥΑ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (3G)

Η δημιουργία των δικτύων 3^{ης} γενιάς, οδήγησε στην εμφάνιση ακόμα περισσότερων υπηρεσιών, που μέχρι τη στιγμή εκείνη, κανένα από τα έως τότε πρότυπα δε μπορούσε να υποστηρίξει. Με ταχύτητες επιπέδου Megabit κάποιος που έχει πρόσβαση σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να πλοηγηθεί στο Internet, να επικοινωνήσει με άλλους χρήστες χρησιμοποιώντας την υπηρεσία VoIP (Voice over Internet Protocol), να κατεβάσει κομμάτια μουσικής και να χρησιμοποιήσει διάφορες άλλες υπηρεσίες με τη βοήθεια το κινητού του τηλεφώνου (Μπιτζίδης, 2010).

Στα πλαίσια της εξέλιξης των ήδη υπάρχοντων δικτύων 2^{ης} γενιάς, προέκυψαν τηλεπικοινωνιακά πρότυπα σαν συνέχεια των ήδη υπάρχοντων. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκε το πρότυπο CDMA-2000 σαν συνέχεια του CDMA και το Wideband-CDMA (W-CDMA) ή αλλιώς Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) σαν συνέχεια των GSM, IS-136 και PDC. Το W-CDMA είναι ένα πρότυπο το οποίο έχει επηρεαστεί από τη φιλοσοφία και τον τρόπο λειτουργίας του GSM (Μπιτζίδης, 2010). Όπως ανέφερε και ο διευθύνων σύμβουλος μίας μεγάλης εταιρείας τηλεπικοινωνιών, «*βασικός στόχος της ανάπτυξης των κινητών δικτύων 3^{ης} γενιάς είναι η παροχή υπηρεσιών οπουδήποτε και οποτεδήποτε*». Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης, θα έχει τη δυνατότητα να μετακινείται οπουδήποτε και να εξακολουθεί να εξυπηρετείται, ακόμα και όταν βρίσκεται σε γεωγραφικές περιοχές όπου η κάλυψη που παρέχεται, δεν είναι από δίκτυο της 3ης γενιάς. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται επεκτείνονται σε υπηρεσίες Internet αλλά και σε υπηρεσίες που συνδυάζουν εικόνα και ήχο (multimedia) με υψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Τα χαρακτηριστικά αυτά, του δικτύου 3^{ης} γενιάς, οδήγησαν σε μία έκρηξη πωλήσεων των «έξυπνων συσκευών» και σε μία έκρηξη χρήσης διαφόρων ψυχαγωγικών υπηρεσιών και εφαρμογών (Μπιτζίδης, 2010).

Είναι εύκολα κατανοητό, ότι η τρίτη γενιά δικτύων ήταν μία πραγματική επανάσταση, σε σύγκριση πάντα με την προηγούμενη, στον τομέα μετάδοσης πληροφορίας. Παρόλα αυτά δεν ικανοποίησε πλήρως τους «ειδικούς» αλλά ούτε και τους χρήστες. Οι εταιρείες είχαν δημιουργήσει υψηλές προσδοκίες και σε συνάρτηση με το τελικό αποτέλεσμα δημιουργήθηκε μία απογοητευτική τελευταία εντύπωση (Μπιτζίδης, 2010). Το μεγάλο μειονέκτημα των 3G δικτύων είναι ότι τελικά αντί της ύπαρξης ενός παγκόσμιου προτύπου, μόνο στην Αμερική αναπτύχθηκαν τρία ασύμβατα συστήματα. Η φωνή μεταφέρεται με κυκλώματα μεταγωγής και όχι από το υποσχόμενο IP. (Αυτό το χαρακτηριστικό κληρονομήθηκε από τα δίκτυα 2ης γενιάς). Ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων δεν είναι αυτοί που είχαν προβλεφθεί.

Στην πραγματικότητα, τα τρέχοντα δίκτυα 3^{ης} γενιάς δεν προσέφεραν την αληθινή 3G εμπειρία και δεν κατάφεραν να υλοποιήσουν ότι αρχικά είχαν «υποσχεθεί» ότι μπορούν να δώσουν στους χρήστες. Αυτό που δεν κατάφεραν να δημιουργήσουν οι κατασκευαστές των δικτύων τρίτης γενιάς είναι πολύ πιθανό να δημιουργηθεί από τους κατασκευαστές της τέταρτης γενιάς (Μπιτζίδης, 2010). Τα 4G δίκτυα μπορούν να προσφέρουν αλληλεπιδρούμενες υπηρεσίες πολυμέσων και δυνατότητα παγκόσμιας φορητότητας υπηρεσιών σε χαμηλό κόστος. Πλέον, η τεχνολογία θα βασίζεται σε μεταγωγή πακέτων και όχι σε μεταγωγή κυκλωμάτων όπως στα 3G, ενώ όλα τα στοιχεία του δικτύου θα είναι ψηφιακή μορφή.

Προτού όμως περιγράψουμε την τέταρτη γενιά δικτύων θα πρέπει να αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά του προτύπου UMTS καθώς και του πρότυπο HSPA που ουσιαστικά συνδέει την τρίτη και την τέταρτη, την γενιά 3.5 (Μπιτζίδης, 2010). Η γενιά αυτή περιλαμβάνει τα δίκτυα εκείνα όπου, εκτός από την τεχνολογία WCDMA, έχουν ενσωματώσει και την τεχνολογία HighSpeedDownlinkPacketAccess (HSDPA). Ειδικοί δηλώνουν ότι: «*Το πρότυπο αυτό, αφορά την μετάδοση πακέτων από το σταθμό βάσης προς το χρήστη (downlink) με ρυθμό 5 φορές μεγαλύτερο του UMTS και 15 φορές μεγαλύτερο του GPRS. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι από τα 2 Mbps που μπορεί να προσφέρει το UMTS ο ρυθμός μπορεί να φτάσει θεωρητικά μέχρι και τα 14.4 Mbps. Το HSDPA θεωρείται ως μια εξέλιξη του UMTS προτύπου, παρέχοντας στους χρήστες υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και μεγαλύτερη χωρητικότητα, με ένα τρόπο ανάλογο με αυτό που προσφέρει το EDGE πρότυπο συγκρινόμενο με το GSM*». Η υλοποίηση του προτύπου HSPA απαιτεί επανασχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του δικτύου και αναβάθμιση του υλικού. Βασικό συστατικό των άνωθεν προτύπων είναι η αποδοτική λειτουργία με υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, αλλά και η υποστήριξη περισσότερο πολύπλοκων πρωτοκόλλων (Μπιτζίδης, 2010).

1.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ UMTS

«Εκπρόσωπος» της τρίτης γενιάς σε ό,τι αφορά την εξέλιξη των δικτύων ασύρματης επικοινωνίας αποτελεί η τεχνολογία UMTS. Επιπροσθέτως μέχρι σήμερα είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία στη χρήση ασύρματων δικτύων κινητών επικοινωνιών. Παρέχει δυνατότητες ευρυζωνικής μετάδοσης πακέτων δεδομένων με ρυθμούς της τάξης των 2 Mbps, ενώ παράλληλα προσφέρει στους χρήστες των κινητών τηλεφώνων ψηφιακές υπηρεσίες υψηλής ποιότητας. Το UMTS προσφέρει προηγμένη και ευέλικτη παροχή QoS (quality of service)

καθώς επιτρέπει πολύ πιο γρήγορη πρόσβαση στο κινητό διαδίκτυο σε σύγκριση με τα έως τώρα δεδομένα και ενοποιεί τις τεχνολογίες μεταγωγής πακέτων και κυκλώματος στη μετάδοση δεδομένων. Επομένως, αυτή η τεχνολογία οδηγεί σε καθολική πρόσβαση σε υπηρεσίες πολυμέσων, ανεξαρτήτως τοποθεσίας, δικτύου και τερματικού που χρησιμοποιείται (Μπιτζίδης, 2010). Στις υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνονται εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως δυνατότητα τηλεσυνδιάσκεψης καθώς και υπηρεσίες ελεγχόμενης μεταβλητότητας στην καθυστέρηση (streaming).

Η τεχνολογία UMTS βασίζεται στο πρότυπο GSM. Η εγκατάσταση ενός νέου δικτύου με ανεξάρτητους σταθμούς βάσης και ελεγκτές δικτύου θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για την υλοποίηση της τεχνολογίας UMTS. Το σύστημα τρίτης γενιάς λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 2 GHz, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη χωρητικότητα και καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας. Το UMTS επιτυγχάνει τη χρήση του επικοινωνιακού καναλιού για την χρήση ενός πλήθους υπηρεσιών πολυμέσων (Μπιτζίδης, 2010). Το στοιχείο σύμφωνα με το οποίο αποδεικνύεται η ανωτερότητα του UMTS σε σύγκριση πάντα με τα συστήματα δεύτερης γενιάς είναι η δυνατότητά του να παρέχει διαδραστικές υπηρεσίες πολυμέσων και άλλες υπηρεσίες μεγάλου εύρους. Αυτό το χαρακτηριστικό του συμβάλλει σε πολύ χρήσιμες υπηρεσίες, όπως είναι η ιατρική διάγνωση από απόσταση και η υποστήριξη συστημάτων ασφαλείας και παρακολούθησης. *“Με την πλήρη ανάπτυξη του δικτύου οι συνδρομητές θα μπορούν να βρίσκονται συνεχώς συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο ακόμα και όταν ταξιδεύουν οπουδήποτε. Για την υποστήριξη των μεταπομπών χρησιμοποιείται η ιεραρχική οργάνωση των κυψελών, αλλά και μια πληθώρα ασυρμάτων επίγειων και δορυφορικών ζεύξεων”* (Μπιτζίδης, 2010).

Σε γενικές γραμμές, οι απαιτήσεις από το βασισμένο στην τεχνολογία IP δίκτυο κορμού του UMTS συνοψίζονται στα εξής (Μπιτζίδης, 2010):

- Υποστήριξη περιαγωγής και μεταπομπής σε δίκτυα δεύτερης γενιάς (π.χ. GSM, GPRS).
- Υποστήριξη τερματικών τρίτης γενιάς που χρησιμοποιούν μεταγωγή κυκλώματος, σε ένα δίκτυο κορμού UMTS ολοκληρωτικά βασισμένο σε IP.
- Υποστήριξη ευφώνων δικτύων.

1.3.2 ΠΡΟΤΥΠΟ HSPA (3.5G)

Η τεχνολογία του προτύπου HSPA (High Speed Packet Access) είναι μία εξέλιξη του UMTS βασισμένη στην τεχνολογία W-CDMA, και αναπτύχθηκε από το 3rd Generation Partnership Project (3GPP) (Μπιτζίδης, 2010). Χαρακτηρίζεται ως πρότυπο 3.5G και αποτελείται από δύο συγκεκριμένα υπο-πρότυπα το HSDPA (Downlink) και το HSUPA (Uplink). Με την ανάπτυξη του προτύπου HSPA διευρύνονται οι δυνατότητες όσον αφορά την μεταφορά δεδομένων και την κάλυψη των αναγκών των νέων εφαρμογών υψηλών απαιτήσεων. Οι υπηρεσίες των ασύρματων κυψελωτών δικτύων τρίτης γενιάς (3G), απαιτούν διαφορετικό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας σε ό,τι αφορά τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, την

καθυστέρηση, ρυθμό σφαλμάτων, την χωρητικότητα και την κάλυψη. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτυγχάνονται μέσω των ακόλουθων τρόπων (Μπιτζίδης, 2010):

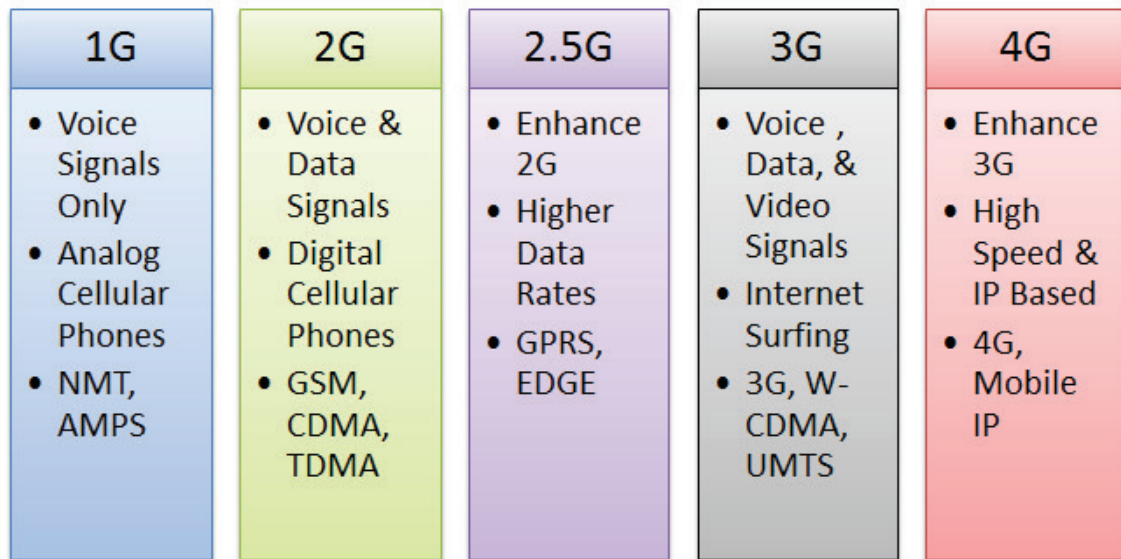
- *Μετάδοση καταμερισμένου καναλιού που επιτυγχάνει την αποτελεσματικότερη χρήση των πόρων ισχύος στο W-CDMA.*
- *Μικρότερα διαστήματα μεταξύ μεταδόσεων TTI (Transmission Time Interval) που επιτυγχάνει μικρότερη καθυστέρηση χρόνου μετ' επιστροφής αλλά και αποτελεσματικότερο εντοπισμό των μεταβολών των συνθηκών καναλιού.*
- *Προσαρμογή της Ζεύξης (Link Adaptation) που μεγιστοποιεί τη χρήση του καναλιού και δίνει τη δυνατότητα στο σταθμό βάσης να λειτουργεί στο μέγιστο επίπεδο.*
- *Γρήγορο χρονοπρογραμματισμό (Fast Scheduling) που αποδίδει προτεραιότητα στους χρήστες με κριτήριο τις συνθήκες καναλιού.*
- *Ταχύτερη επαναμετάδοση που επιτρέπει περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας.*
- *Διαμορφώσεις τύπου QAM (Quadrature Amplitude Modulation), όπως 16QAM και ανώτερες για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων.*

1.3.3 ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΕΠΟΜΕΝΩΝ ΓΕΝΕΩΝ

Πραγματικότητα αποτελεί ότι ο σύγχρονος τεχνολογικός κόσμος κατακλύζεται από υπηρεσίες τρίτης γενιάς. Μολαταύτα έχει επέλθει κορεσμός. Η επιστημονική κοινότητα εστιάζει στην περαιτέρω ανάπτυξη των συστημάτων 4 γενιάς τα οποία είναι ήδη διαθέσιμα στους χρήστες και θα εμπλουτιστούν ακόμη περισσότερο στο προσεχές μέλλον. Οι τεχνολογίες 3.5G και 4G αποκαλούνται με έναν ενιαίο όρο ως B3G.

Απώτερος σκοπός είναι η υλοποίηση ενός ενιαίου ολοκληρωμένου συστήματος επικοινωνιών το οποίο θα επιτρέπει έναν ενεργό και βέλτιστο συνδεδεμένο τρόπο επικοινωνίας. Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος επικοινωνιών περιλαμβάνει διάφορα συστήματα ενσύρματης και ασύρματης πρόσβασης (PSTN/ADSL, GSM/GPRS, UMTS, WLAN, WiMAX) με έναν ολοκληρωμένο τρόπο, όπου ο χρήστης θα μπορεί να απολαμβάνει πρόσβαση και συνδεσιμότητα μέσω πολλών διαφορετικών δικτύων επικοινωνιών (Tanenbaum & Wetherall, 2010). Αυτά τα ανεξάρτητα δίκτυα πρόσβασης θα συνδέονται σε στοιχεία στον πυρήνα του δικτύου και θα στηρίζονται στο πρωτόκολλο IP.

Ανεξάρτητα από τις εσωτερικές τεχνικές λεπτομέρειες τους όπως οι χρησιμοποιούμενες συχνότητες, το πρωτόκολλο σηματοδότησης, τα πρότυπα διεπαφών, τα ετερογενή δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, αναμένεται να περιλαμβάνουν ορισμένα στοιχεία που θα συμβάλλουν στην ενοποίηση τους, όπως ο μηχανισμός δυναμικής ανάθεσης διευθύνσεων, η δυνατότητα ασφαλούς και διαφανούς μεταγωγής και τέλος η επαναδιαμόρφωση οντοτήτων του τελεματικού και του δικτύου. Τα δίκτυα επικοινωνιών της επόμενης γενιάς αποτελούν λοιπόν το επόμενο βήμα εξέλιξης και αναμένεται να είναι μαζικά διαθέσιμα γύρω στο 2015.



Σχήμα 1.2 Κύρια Χαρακτηριστικά Δικτύων 1G – 4G(Χρήστου, 2012)

1.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LTE

Η επίτευξη ενός 4G ολοκληρωμένου συστήματος ασυρμάτων επικοινωνιών επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο μέσω της τεχνολογικής εξέλιξης με την ονομασία LTE. Σε σχέση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες GSM, GPRS, EDGE, W-CDMA και το HSPA, το LTE αυξάνει την χωρητικότητα του δικτύου, όπως και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ενώ παράλληλα μειώνει τις καθυστερήσεις. Το LTE επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης έως και 300 Mbps στην κάτω ζεύξη με χρήση κεραιών MIMO 4x4 και 75Mbps στην άνω ζεύξη(Dahlman etal., 2005). Σχετικά με τις τεχνικές προδιαγραφές, οι ελάχιστοι ρυθμοί μετάδοσης για το LTE είναι τουλάχιστον 100Mbps για την κάτω ζεύξη και 50 Mbps για την άνω ζεύξη και η μέγιστη καθυστέρηση με επιστροφή υπολογίζεται στα 10 ms. Για την επίτευξη πλήρους απόδοσης των δυνατοτήτων του LTE σε δικτυακό επίπεδο είναι αναγκαία η μετατροπή των σημερινών υβριδικών δικτύων (κυκλώματος/πακέτου) σε δίκτυα πλήρως βασισμένα σε IP (InternetProtocol)(Dahlman etal., 2005).

“LTE ονομάζεται η τεχνολογία αιχμής που χρησιμοποιείται για την ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση των κινητών συσκευών, με υψηλές ταχύτητες. Βασίζεται στα προϋπάρχοντα δίκτυα GSM/EDGE και UMTS/HSPA, αυξάνοντας τη χωρητικότητα και τη ταχύτητα του δικτύου χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές διαμόρφωσης. Το πρότυπο αυτό αναπτύσσεται από τον οργανισμό 3GPP”.

Το LTE προτάθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 2004. Το πρότυπο οριστικοποιήθηκε το 2008 και τα πρώτα δίκτυα στο κόσμο που εγκαταστάθηκαν για δημόσια χρήση, ήταν στο Όσλο και τη Στοκχόλμη το 2009. Το LTE αποτελεί τη φυσική εξέλιξη των δικτύων GSM/UMTS, αλλά ακόμα και πάροχοι δικτύων CDMA έχουν υιοθετήσει το LTE. ΤοLTEαποτελεί το πρώτο

πραγματικά παγκόσμιο πρότυπο κινητής τηλεφωνίας(Dahlman et al., 2005). Παρόλο που αναφέρεται ως σύστημα 4ης γενιάς κινητής τηλεφωνίας (4G) αυτό δεν ισχύει καθώς δεν ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτήσεις που έχουν ορισθεί από τον διεθνή οργανισμό ITU-R. Γι' αυτό το λόγο, το LTE αναβαθμίστηκε σε LTEAdvanced, ώστε να πληρεί όλες τις προϋποθέσεις και να θεωρείται σύστημα 4G.

Το LTE αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και εξέλιξη του GSM/UMTS. Σκόπος του LTE είναι η αύξηση της χωρητικότητας και τη ταχύτητας των υφιστάμενων δικτύων με τη χρήση καινοτόμων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας και διαμόρφωσης σήματος. Λειτουργεί σε διαφορετικό εύρος ζώνης συχνοτήτων καθώς η διεπαφή του δεν είναι συμβατή με τα υφιστάμενα δίκτυα 2ης και 3ης γενιάς(Dahlman et al., 2005). Τα πρώτα διαθέσιμα LTEsmartphones που κυκλοφόρησαν στην αγορά ήταν τα SamsungGalaxyIndulge και HTCThunderbolt για την αγορά της Β. Αμερικής. Αρχικώς, οι διαχειριστές των δικτύων CDMA είχαν σχεδιάσει να αναβαθμίσουν τα συστήματά τους βασιζόμενοι σε μια ανταγωνιστική τεχνολογία με την ονομασίαUMB, ωστόσο όλες οι μεγάλες εταιρείες κινητής τηλεφωνίας αποφάσισαν να συνεχίσουν με το LTE. Η εξέλιξη του LTE είναι το LTEAdvanced, το οποίο προτυποποιήθηκε το Μάρτιο του 2011.

Το πρότυπο του LTE υποστηρίζει την μεταγωγή πακέτων, καθώς η δομή του βασίζεται στην αρχιτεκτονική δικτύου IP. Οι τηλεφωνικές κλήσεις που πραγματοποιούνται στα δίκτυα GSM, UMTS και CDMA2000 αποτελούν μεταγωγή κυκλώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ότι οι πάροχοι θα πρέπει να επαναπροσδιορίσουν τη λειτουργία του δικτύου κατά τη πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων.

ΧαρακτηριστικάLTE

Το πρότυπο του LTE είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων κατά την καθοδική ζεύξη (downlink) της τάξης των 300 Mbps και κατά την ανοδική (uplink) μέχρι και 75 Mbps. Το εύρος ζώνης του φέροντος σήματος είναι μεταβλητό και κυμαίνεται από τα 1.4 έως τα 20 MHz. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του LTE είναι:

- *Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων στη καθοδική ζεύξη έως και 299.6 Mbps και στην ανοδική έως και 75.4 Mbps, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει ο εξοπλισμός του χρήστη. Έχουν οριστεί πέντε κατηγορίες ή κλάσεις τερματικών συσκευών. Η χαμηλότερη υποστηρίζει μόνοτην απλή τηλεφωνία ενώ η υψηλότερη (η οποία απευθύνεται σε τερματικές συσκευές υψηλών προδιαγραφών) υποστηρίζει τις μέγιστες δυνατές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Όλες οι τερματικές συσκευές είναι ικανές να επεξεργαστούν σήμα εύρους ζώνης 20 MHz.*
- *Χαμηλές καθυστερήσεις κατά τη μεταφορά δεδομένων (καθυστερήση IP πακέτων κάτω των 5 ms)*
- *Βελτιωμένη υποστήριξη στις κινητές συσκευές ακόμη και αν αυτές κινούνται με ταχύτητες της τάξεως των 500 χλμ/ώρα, ανάλογα και με τη συχνότητα που χρησιμοποιείται.*

- Χρησιμοποίηση διαμόρφωσης OFDMA για τη καθοδική ζεύξη και SC-FDMA για την ανοδική.
- Υποστήριξη διπλεξίας τόσο στο χρόνο όσο και στη συχνότητα (TDD, FDD), καθώς επίσης και ημιαμφίδρομη FDD με την ίδια τεχνολογία πρόσβασης.
- Βελτιωμένη φασματική ευελιξία: προτυποποίηση καναλιών στα 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz.
- Υποστήριξη κυψελών μεταβλητού μεγέθους με εύρος από μερικές δεκάδες μέτρα έως και 100 χλμ. Στις αγροτικές περιοχές το ιδανικό μέγεθος κυψέλης (στις οποίες χρησιμοποιούνται χαμηλότερες συχνότητες) είναι 5 χλμ, με μέγεθος 30 χλμ η απόδοση είναι αρκετά καλή ενώ με μέγεθος 100 χλμ η απόδοση του δικτύου κρίνεται ικανοποιητική. Υψηλές συχνότητες χρησιμοποιούνται σε αστικά περιβάλλοντα και γενικότερα σε περιβάλλοντα πόλεων έτσι ώστε να υποστηρίζονται υψηλές ευρυζωνικές ταχύτητες πρόσβασης. Σε αυτή τη περίπτωση κάθε κυψέλη του δικτύου έχει μέγεθος το πολύ 1 χλμ.
- Απλούστερη αρχιτεκτονική δικτύου.
- Υποστήριξη τουλάχιστον 200 ενεργών συνδέσεων δεδομένων σε κάθε κανάλι, συχνότητας 5 MHz.
- Υποστήριξη διαλειτουργικότητας και συνύπαρξη με παλαιότερα πρότυπα (π.χ. GSM/EDGE, UMTS, CDMA2000). Εφικτή θα είναι από τους χρήστες η πραγματοποίηση μιας τηλεφωνικής συνομιλίας ή η σύνδεση δεδομένων σε μια περιοχή με κάλυψη LTE. Παράλληλα οι χρήστες θα μπορούν να συνεχίσουν τη σύνδεσή τους χωρίς πρόβλημα ακόμα και σε περιοχές χωρίς κάλυψη LTE, χρησιμοποιώντας το υφιστάμενο δίκτυο GSM/GPRS ή W-CDMA ή CDMA2000.
- Ραδιοεπικοινωνιακό δίκτυο μεταγωγής πακέτων.
- Υποστήριξη υπηρεσιών όπως μετάδοση τηλεοπτικού προγράμματος στις κινητές συσκευές με τη χρήση των υποδομών του δικτύου LTE, αποτελώντας επίσης και άμεσο ανταγωνιστή του προτύπου DVB-H.

1.5 ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G)

Κατά την διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, παρατηρήθηκε ότι το μέσο κέρδος ανά χρήστη των συστημάτων 2G μειωνόταν συνεχώς. Γι'αυτό το λόγο, οι πάροχοι έπρεπε να αναζητήσουν και να υλοποιήσουν νέες υπηρεσίες με σκοπό να διατηρήσουν την κερδοφορία τους σταθερή. Γι'αυτό το λόγο εισήχθησαν οι multimedia υπηρεσίες στα κινητά δίκτυα, οι απαιτήσεις των οποίων οδήγησαν στα 3G δίκτυα.

Μεγάλο μέρος της προσπάθειας προτυποποίησης που διεξάγεται, έχει επικεντρωθεί στο λεγόμενο "All-IP" δίκτυο ή διαφορετικά 4G δίκτυο το οποίο θα μπορεί να υποστηρίζει multimedia υπηρεσίες. Ουσιαστικά, αναπτύσσεται μία λογική η οποία στοχεύει στην δημιουργία και εγκατάσταση μιας IP υποδομής η οποία θα λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος και backbone network όλων των υπολοίπων ασύρματων δικτύων (Χρήστου, 2012). Τα συστήματα 4G, πρακτικά, προσβλέπουν στην αδιάλειπτη και ενοποιημένη λειτουργικότητα των υπαρχόντων ασύρματων τεχνολογιών όπως το GSM, το WLAN και το Bluetooth, καθώς επίσης και την

υποστήριξη πιο προσωποποιημένων υπηρεσιών με εξαιρετική σταθερότητα και ποιότητα. Τα 4G συστήματα ουσιαστικά είναι ένα σύνολο ετερογενών IP-based δικτύων, που επιτρέπουν στον χρήστη να χρησιμοποιούν το σύστημα οπουδήποτε και οποτεδήποτε(Χρήστου, 2012). Ο χρήστης θα μπορεί να απολαμβάνει υπηρεσίες οι οποίες θα παρέχονται από τα διάφορα ασύρματα δίκτυα, που επί της ουσίας σημαίνει ότι τα 4G συστήματα δεν θα είναι μόνο τηλεπικοινωνιακού χαρακτήρα, αλλά θα παρέχουν επίσης υπηρεσίες πολυμέσων καθώς και δεδομένων.

Για παράδειγμα, ο χρήστης 4G μπορεί να αναζητά πληροφορίες σχετικά με τα προγράμματα μουσικών σκηνών. Η τερματική συσκευή θα μπορεί να συνδέεται ασύρματα σε διάφορα δίκτυα όπως για παράδειγμα σε δίκτυο GPS (ώστε να καθορίζεται η τρέχουσα θέση του χρήστη), WLAN (ώστε να λάβει σχόλια σχετικά με τις μουσικές σκηνές), UMTS (για πραγματοποίηση κλήσης σε κάποιο από τα καταστήματα)(Χρήστου, 2012). Στο προαναφερθέν παράδειγμα ο χρήστης συνδέεται σε τρία διαφορετικά δίκτυα τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους σε παροχή υπηρεσίας (QualityofService), σε πολιτική ασφάλειας, σε ρυθμίσεις δικτύου άρα και τερματικής συσκευής, σε τρόπο χρέωσης και τέλος σε παρεχόμενες εφαρμογές. Επομένως, η ενοποίηση και η παροχή τέτοιων «συνδυαζόμενων» υπηρεσιών μέσω των 4G δικτύων, αποτελεί μια επανάσταση στο χώρο της τεχνολογίας.Για την επίτευξη υψηλής απόδοσης, τα 4ης γενιάς δίκτυα έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά(Χρήστου, 2012):

- *Κάλυψη υπηρεσιών σε οποιοδήποτε μέρος: ο χρήστης θα είναι σε θέση να απολαμβάνει οποιαδήποτε υπηρεσία επιθυμεί οπουδήποτε και οποτεδήποτε, χωρίς να εμποδίζεται από τους περιορισμούς που ενυπάρχουν σε ένα ασύρματο δίκτυο.*
- *Βελτιωμένη συνδεσιμότητα : ο χρήστης θα είναι συνέχεια συνδεδεμένος στα πιο επαρκή δίκτυα πρόσβασης ώστε να εξασφαλίζονται κάθε φορά η ζητούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και οι απαιτήσεις κινητότητας.*
- *Συνεχής σύνδεση : ο χρήστης θα είναι πάντοτε συνδεδεμένος στο ετερογενές δίκτυο. Για όσο διάστημα το τερματικό του θα είναι σε λειτουργία, θα μπορεί να συνδέεται στο δίκτυο και να τυγχάνει πολύ μικρής καθυστέρησης στην πρόσβαση.*

Τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα αναμένεται να παρέχουν στο χρήστη επικοινωνία υψηλής ποιότητας χωρίς ασυνέχειες. Τα 4ης γενιάς δίκτυα υποστηρίζουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων καθώς και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) σε σχέση με τα τρέχοντα 3ης γενιάς δίκτυα. Η κατανομή φάσματος θα είναι τέτοια ώστε να υποστηρίζονται οι υψηλοί αυτοί ρυθμοί πάνω σε κυψέλες μεσαίου μεγέθους. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων θα είναι 100Mbps και άνω και θα παρέχουν υπηρεσίες πολυμέσων με χαμηλότερο κόστος(Χρήστου, 2012). Τα δίκτυα που θα χρησιμοποιούνται, αποτελούνται εξ' ολοκλήρου από κυκλώματα μεταγωγής πακέτων, ενώ όλα τα στοιχεία του δικτύου θα είναι ψηφιακά. Τέλος, ακόμη ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των δικτύων 4ης γενιάς θα είναι η χαμηλή ιεραρχία στην αρχιτεκτονική, με σημεία πρόσβασης και τερματικά να υποστηρίζουν πολλαπλούς τρόπους

πρόσβασης. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι σχεδιαστικοί στόχοι και οι απαιτήσεις συστημάτων 4^{ης} γενιάς(Χρήστου, 2012).

Σχεδιαστικοί στόχοι

- Διαλειτουργικότητα
- Υποστηριζόμενο εύρος ζώνης και χρόνος ζωής μπαταριών
- Σταθερό δίκτυο μεταγωγής πακέτων
- Μεταβολή εύρους ζώνης για την ασύρματη πρόσβαση
- Προηγμένοι σταθμοί βάσης
- Υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης

Απαιτήσεις συστημάτων 4ης γενιάς

- Υψηλός ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας.
- Μεγαλύτερη χωρητικότητα και μικρότερο κόστος ανά bit
- Εξαιρετική ποιότητα παροχής υπηρεσιών (Quality of Service-QoS).
- Καλή χωρική κάλυψη με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης.
- Υποστήριξη Internet νέας γενιάς.
- Ομαλή διασύνδεση με συστήματα 3G, ασύρματα δίκτυα υπολογιστών (WLAN) και σταθερά δίκτυα.

Το σύστημα LTE, το οποίο είναι γνωστό και ως 4G ή διαφορετικά ως δίκτυα B3G ή τέλος ως All-IP ασύρματα δίκτυα, σχεδιάστηκε με πρωταρχικό στόχο την εξέλιξη της τεχνολογίας ραδιοπρόσβασης ούτως ώστε όλες οι υπηρεσίες να βασίζονται στη μεταγωγή πακέτων και όχι στη μεταγωγή κυκλώματος, όπως τα προυπάρχοντα κινητά δίκτυα.

Η επίπεδη αρχιτεκτονική (flat architecture) καθώς και η χρήση της μεταγωγής πακέτων και του IP πρωτοκόλλου (InternetProtocol) για την επικοινωνία αποτελούν χαρακτηριστικά του δικτύου και συμβάλλουν καθοριστικά στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί(Χρήστου, 2012). Οι πιο σημαντικοί από τους στόχους αυτούς είναι η βελτίωση της ρυθμαπόδοσης, η μείωση της καθυστέρησης σε επίπεδο χρήστη, η υποστήριξη handover και η καλύτερη αντιμετώπιση της κινητικότητας.

Το LTE εστιάζει κυρίως στη βέλτιστη υποστήριξη και μετάδοση packet-switched εφαρμογών, όπως είναι οι πολυμεσικές εφαρμογές. Παράλληλα, θέτει πολύ υψηλούς και φιλόδοξους στόχους προκειμένου να ξεπεράσει τα όρια των 14.4 Mbps και 5.8 Mbps που επιτυγχάνονται στο HSDPA και HSUPA αντίστοιχα(Χρήστου, 2012). Το πρότυπο υποστηρίζει κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 5, 10, 15 και 20 MHz. Επίσης, μπορεί να γίνει και χρήση εύρους ζώνης μικρότερου των 5 MHz (1.5 MHz και 2.5 MHz) για επιπλέον ευελιξία(Χρήστου, 2012).

Επίσης, εξέχουσα θέση στην εκπλήρωση των απαιτήσεων του δικτύου κατέχουν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε φυσικό επίπεδο. Οι Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) και Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας του συστήματος και του εξοπλισμού των χρηστών (User Equipment), επιτρέπουν ευέλικτη ανάπτυξη του ραδιοφάσματος σε υπάρχοντα ή νέα φάσματα συχνοτήτων και τέλος καθιστούν δυνατή τη συνύπαρξη του με άλλες 3GPP Radio Access Technologies (RATs) (Μπιτζίδης, 2010). Τα «αντίπαλα» πρότυπα για το LTE είναι το Mobile Wi-MAX και το Ultra-Mobile Broadband (UMB) (Χρήστου, 2012). Η ερευνητική δραστηριότητα που σχετίζεται με το πρότυπο LTE ήδη γνωρίζει έντονη δραστηριότητα και αναμένεται να επηρεάσει την αγορά σταδιακά.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα ωφέλη που έχουν τρεις διαφορετικές ομάδες από την χρησιμοποίηση των δικτύων τέταρτης γενιάς (Χρήστου, 2012).

Τελικοί Χρήστες	Πάροχοι Υπηρεσιών	Πάροχοι Δικτύων
<ul style="list-style-type: none"> • Η αυτόματη επιλογή δικτύου ανάλογα με τις προτιμήσεις τους. • Μία μόνο συνδρομή στην πλατφόρμα υπηρεσιών και όχι σε κάποιον πάροχο. • Σύνδεση και πρόσβαση, ανεξαρτήτου τοποθεσίας. • Παροχή ποιοτικά και ποσοτικά υπηρεσιών ανεξάρτητα από την περιοχή που βρίσκονται. • Πλούσιες σε χαρακτηριστικά υπηρεσίες. • Διαχείριση του προφίλ τους και προφύλαξη των προσωπικών τους στοιχείων. • Διατήρηση μιας συνόδου τους κατά τη διάρκεια μεταπομπής. 	<ul style="list-style-type: none"> • Προφύλαξη των τεχνολογιών και των δικτύων πρόσβασης από άτομα μη εξουσιοδοτημένα. • Παροχή ενός συνόλου διεπαφών. • Παροχή επαυξημένων υπηρεσιών • Συμπληρωματικές λειτουργίες όπως η πιστοποίηση αυθεντικότητας, η χρέωση και ο λογαριασμός κάθε χρήστη. 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιπλέον έσοδα από χρήστες που επισκέπτονται τα δίκτυά τους χωρίς να είναι συνδρομητές. • Συμπληρωματικές λειτουργίες όπως η πιστοποίηση αυθεντικότητας, η χρέωση και ο λογαριασμός κάθε χρήστη. • Ελάχιστη διαχείριση (δεν υπάρχει ανάγκη διατήρησης αρχείων με τους συνδρομητές).

Πίνακας 1.1. Ωφέλη Χρησιμοποίησης Δικτύων 4G

Το παρόν κεφάλαιο απεικονίζει εν συντομία την μετάβαση από τα πρώιμα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας προς τα δίκτυα τέταρτης γενιάς. Αρχικά δόθηκαν πληροφορίες για τα κύρια στοιχεία ενός απλού τηλεπικοινωνιακού συστήματος, καθώς επίσης και ενός δορυφορικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Έπειτα περιγράφηκαν τα χαρακτηριστικά των κινητών επικοινωνιών, όπου αναλύεται η τεχνολογία UMTS(Universal Mobile Telecommunications System), ως ο "εκπρόσωπος" της τρίτης γενιάς σχετικά με την εξέλιξη των δικτύων ασύρματης επικοινωνίας, ενώ εν συνεχεία παρουσιάζεται το πρότυπο HSPA (High Speed Packet Access) της ενδιάμεσης μεταξύ της 3G και 4G ασύρματης τεχνολογίας. LTE (Long Term Evolution) τεχνολογία παρουσιάστηκε στην επόμενη παράγραφο του κεφαλαίου. Τα κύρια χαρακτηριστικά LTE δόθηκαν στον αναγνώστη ώστε να καταλάβει την μετάβαση από την 3G στην 4G τεχνολογία. Το πρώτο κεφάλαιο ολοκληρώθηκε με τα χαρακτηριστικά, τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές της τέταρτης γενιάς ασύρματων δικτύων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ζούμε στην εποχή της επανάστασης δεδομένων. Στην παγκόσμια αγορά τοποθετούνται καθημερινά smartphones, ταμπλέτες, και φορητοί υπολογιστές. Οι χρήστες απαιτούν υπηρεσίες και εφαρμογές από τα συστήματα κινητών επικοινωνιών που υπερβαίνουν κατά πολύ την απλή φωνητική τηλεφωνία. Η ανάπτυξη επεξεργασίας δεδομένων κινητών υπηρεσιών και εφαρμογών, όπως η περιήγηση στο Web, κοινωνική δικτύωση, μουσική και videostreaming έχει γίνει η κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη της επόμενης γενιάς ασύρματων προτύπων. Ως αποτέλεσμα, νέα πρότυπα έχουν αναπτύχθει για να παρέχουν υποστήριξη στις απαιτήσεις των χρηστών, οι οποίοι αναζητούν ταχύτερους ρυθμούς λήψης δεδομένων εφαρμογών.

Τα συστήματα LTE (Long Term Evolution) και LTE-Advanced έχουν αναπτύχθει για να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της εποχής. Τα δύο αυτά συστήματα υποστηρίζουν και εξελίσσουν την επίτευξη κινητών επικοινωνιών ευρυζωνικότητας σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι 3σκοποί και οι στόχοι αυτού του εξελιγμένου συστήματος περιλαμβάνουν υψηλότερα ποσοστά ασύρματης πρόσβασης δεδομένων, τη βελτίωση της ικανότητας και κάλυψης του συστήματος ευέλικτες λειτουργίες εύρους ζώνης, σημαντικά βελτιωμένη φασματική απόδοση, χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση, τη μείωση του κόστους λειτουργίας, υποστήριξη πολλαπλών κεραιών, καθώς και την απρόσκοπτη ενσωμάτωση με το Διαδίκτυο και τα υφιστάμενα συστήματα κινητών επικοινωνιών (Zarrinkoub, 2014).

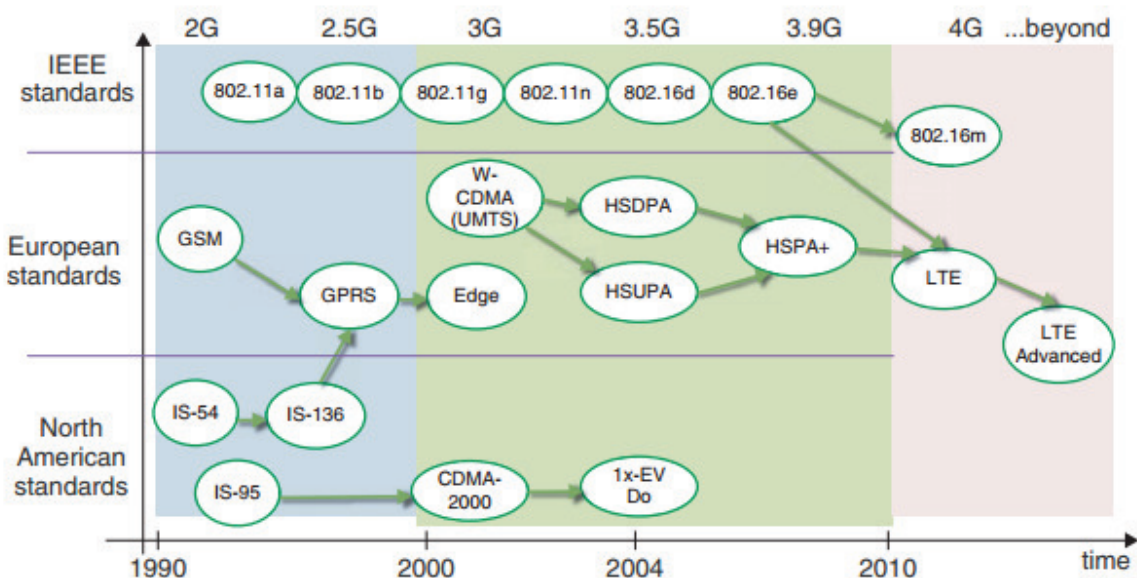
Κατά κάποιο τρόπο, το σύστημα LTE είναι εκπρόσωπος αυτού που είναι γνωστό ως ασύρματο σύστημα τέταρτης γενιάς και μπορεί να θεωρηθεί ως μια οργανική εξέλιξη των προκατόχων τρίτης γενιάς. Για να το θέσουμε σε ένα πλαίσιο εξέλιξης της κινητής τεχνολογίας που οδηγεί στην καθιέρωση των προτύπων LTE, μια σύντομη επισκόπηση της ιστορίας προτύπων ασύρματης επικοινωνίας θα δοθεί παρακάτω.

Στην πρώτη παράγραφο αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται πρότυπα ασύρματων επικοινωνιών πρότερα των δικτύων τέταρτης γενιάς. Δίνονται αναλυτικά γραφήματα της συμπεριφοράς των προτύπων/συστημάτων που κυριαρχούσαν στις ασύρματες και κινητές

επικοινωνίες τα προηγούμενα χρόνια: GSM, MIMO, IEEE 802.11n, IEEE 802.16. Στην δεύτερη παράγραφο αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του 4G/LTE. Γίνεται αναφορά στο πως κύρια στοιχεία προηγούμενων προτύπων συμμετείχαν στον σχεδιασμό του δικτύου τέταρτης γενιάς. Πέντε βασικά στοιχεία παρουσιάζονται σε αυτήν την παράγραφο: OFDM, SC-FDM, MIMO, TurboChannelCoding, LinkAdaption. Στην τρίτη παράγραφο θα επικεντρωθούμε στην ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών του προτύπου LTE. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης κάτω ζεύξης και άνω ζεύξης, και τα βασικά σημεία λειτουργίας των τριών στρωμάτων του LTE. Η τέταρτη παράγραφος παρουσιάζει τους βασικούς αλγορίθμους προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες της τεχνολογίας 3GPPLTE.

2.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΡΙΝ ΤΟ 4G/LTE

Στις τελευταίες δύο δεκαετίες, έχουμε δει την εισαγωγή διαφόρων προτύπων κινητών επικοινωνιών. Υπάρχει η μετάβαση από τα δίκτυα δεύτερης γενιάς στα δίκτυα τέταρτης γενιάς και διαφαίνεται ότι η τάση αυτή θα συνεχιστεί. Η πρωταρχική υπηρεσία των προτύπων 2G ήταν η στήριξη της κινητής τηλεφωνίας και των εφαρμογών φωνής. Με την σειρά τους, τα πρότυπα 3G σηματοδότησαν την χρήση πακέτων δεδομένων μεγάλου όγκου και την υποστήριξη των προτύπων Internet. Τα δίκτυα τέταρτης γενιάς διαθέτουν όλες τις δυνατότητες των προηγούμενων προτύπων, αλλά δίνουν προτεραιότητα στις διαδικασίες IP packet-based και στην υποστήριξη εφαρμογών μεγάλου εύρους ζώνης. Στο Σχήμα 2.1 δίνεται η ιστορική εξέλιξη των προτύπων ασύρματων επικοινωνιών.

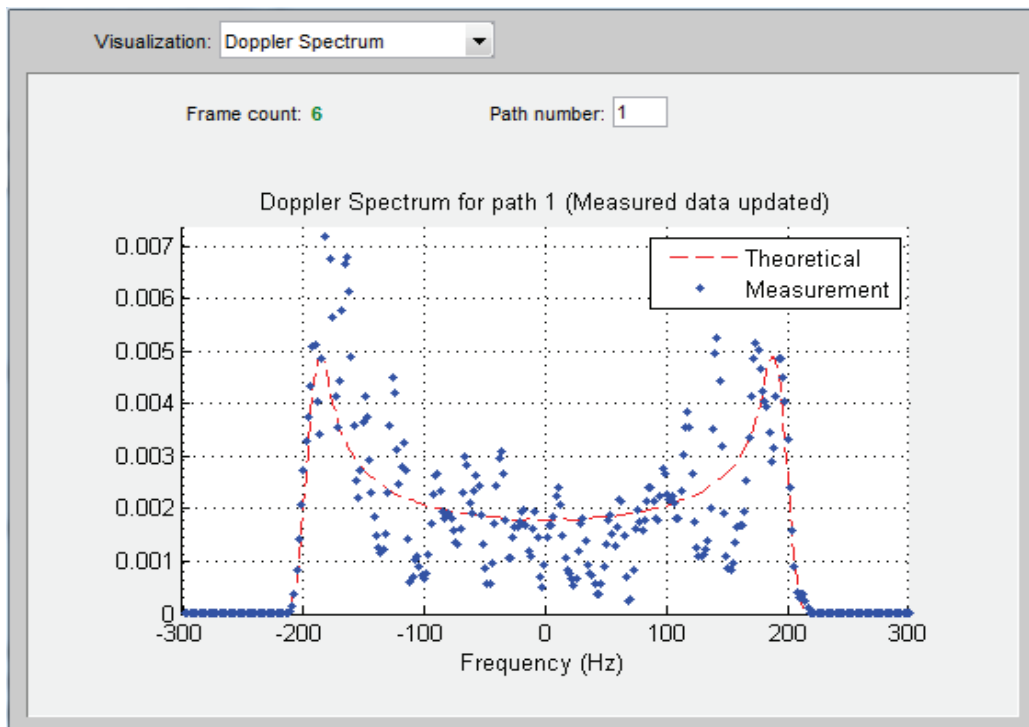


Σχήμα 2.1 Εξέλιξη Προτύπων Ασύρματων Επικοινωνιών (Zarrinkoub, 2014)

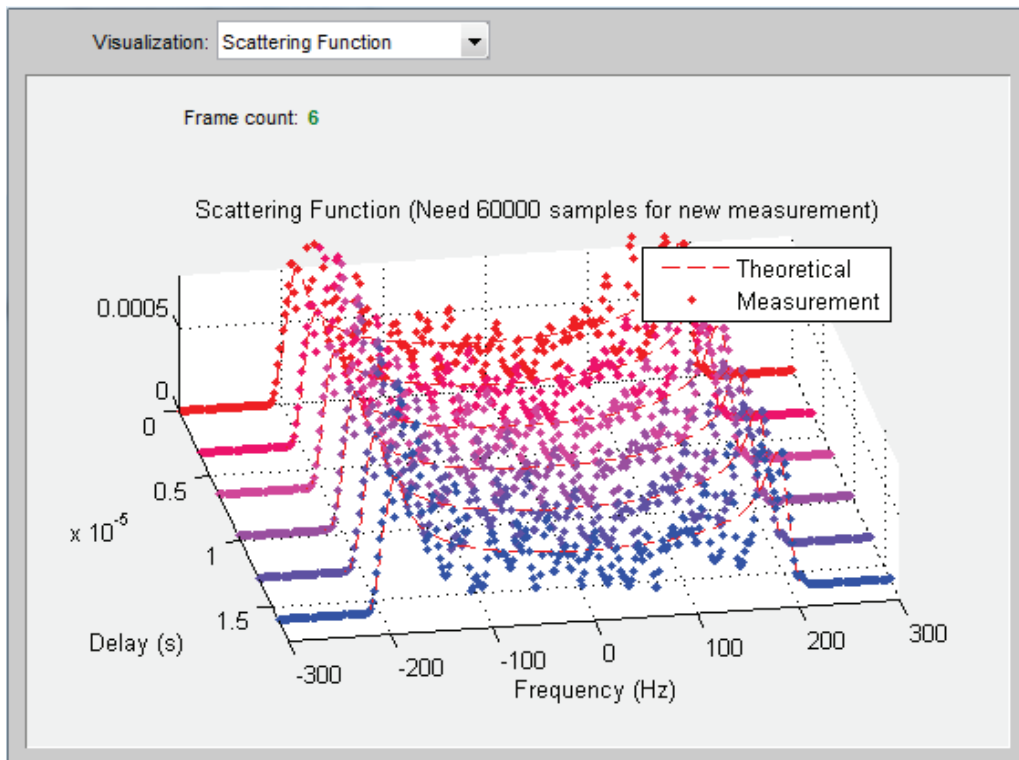
2.1.1 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ - GSMCHANNELMODELS

Ιστορικά, τα πρότυπα για την κινητή επικοινωνία έχουν αναπτυχθεί από κοινοπραξίες παρόχων δικτύων και των φορέων εκμετάλλευσης, χωριστά στη Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και άλλες περιοχές του κόσμου. Τα δεύτερης γενιάς (2G) ψηφιακά συστήματα κινητών επικοινωνιών εισήχθησαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Η τεχνολογία που υποστηρίζει αυτά τα συστήματα 2G ήταν επικοινωνίες δεδομένων μεταγωγής κυκλώματος (Zarrinkoub, 2014). Το GSM (Global System for Mobile Communications) στην Ευρώπη και το IS-54 (Ενδιάμεση Πρότυπο 54) στη Βόρεια Αμερική ήταν μεταξύ των πρώτων προτύπων 2G. Και οι δύο βασίζονται στην τεχνολογία Time Division Multiple Access (TDMA). Στην TDMA, ένα κανάλι επικοινωνίας υποδιαιρείται σε έναν αριθμό χρονοθυρίδων και πολλοί χρήστες μοιράζονται το φάσμα των χορηγούμενων χρόνων χρήσης. Σε σχέση με τα ποσοστά των δεδομένων, τα συστήματα GSM υποστηρίζουν υπηρεσίες φωνής έως 13 kbps και τις υπηρεσίες δεδομένων έως 9,6 kbps (Zarrinkoub, 2014).

Στην συνέχεια αυτής της παραγράφου δίνεται ένα παράδειγμα μοντελοποίησης ενός καναλιού GSM, βασισμένο στις βιβλιοθήκες του CommunicationToolbox του Matlab. Αυτό το παράδειγμα δείχνει πώς μπορούν να προσομοιωθούν τα κανάλια εξασθένισης πολλαπλών διαδρομών με βάση το μοντέλο καναλιού GSM, με τη χρήση Rayleigh και Rician αλγορίθμων πολλαπλών καναλιών. Παρακάτω δίνονται τα γραφήματα του φαινομένου Doppler (Γράφημα 2.1) και της δοκιμής ισοστάθμισης-equalization test (Γράφημα 2.2) στο GSM κανάλι.



Γράφημα 2.1 Φαινόμενο Doppler σε GSM κανάλι (Mathworks, 2014)



Γράφημα 2.2 Δοκιμή Ισοστάθμισης σε GSM κανάλι (Mathworks, 2014)

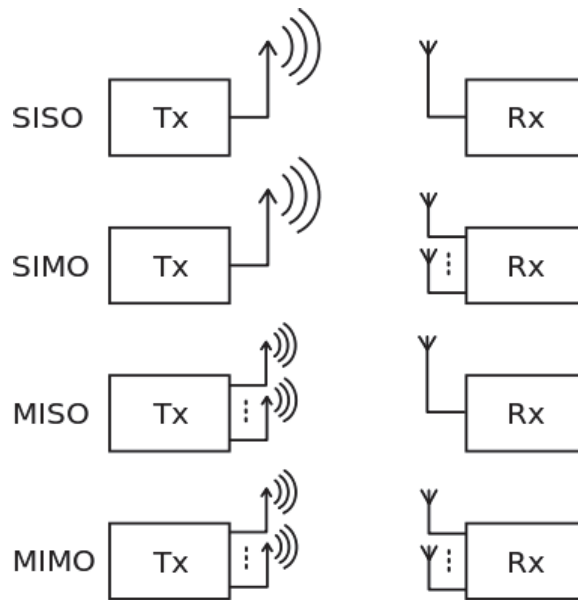
2.1.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

Το 3GPP (Third-Generation Partnership Project) είναι ο φορέας που είχε εισαγάγει το ευρωπαϊκό προτύπο κινητών επικοινωνιών και αργότερα εξελίχθηκε σε ένα παγκόσμιο οργανισμό τυποποίησης. Είναι η υπεύθυνη υπηρεσία για τη θέσπιση τεχνικών προδιαγραφών για τα κινητά συστήματα 3G και πέρα. Το 1997, 3GPP άρχισε να εργάζεται σε μια προσπάθεια για την μετάβαση από την 2G TDMA τεχνολογία του GSM σε μια ευρείας ζώνης CDMA με βάση την τεχνολογία 3G που ονομάζεται Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) (Zarrinkoub, 2014). Το σύστημα UMTS μπορεί να επιτύχει ένα ρυθμό δεδομένων αιχμής της κατερχόμενης ζεύξης 1,92 Mbps. Ως αναβάθμιση στο σύστημα UMTS, το High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) τυποποιήθηκε το 2002. Σε αυτήν την τεχνολογία εισήχθη για πρώτη φορά η χρήση ενός 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) σχήματος διαμόρφωσης. Έπειτα από δύο χρόνια παρουσιάστηκε από τον 3GPP και το High-Speed Uplink Packet Access (HSUPA). Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των τεχνολογιών είναι (Zarrinkoub, 2014) η προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση, η turbo κωδικοποίηση και ο ταχύτερος προγραμματισμός. Ύστερα από πολλές εκδόσεις, το πρότυπο (HSPA+) έφτασε τα 84 Mbps κατερχόμενης ζεύξης και ήταν το πρώτο κινητό πρότυπο το οποίο εισήγαγε την 2×2 MIMO τεχνική με την χρήση διαμόρφωσης 64QAM (Zarrinkoub, 2014).

Ενώ ο παραπάνω φορέας εργαζόταν στην Ευρώπη, στις Ηνωμένες Πολιτείες ο οργανισμός των Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) ανέπτυξε ένα σημαντικό πρότυπο για τις ασύρματες εφαρμογές. Η κινητήρια δύναμη για υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και φασματική απόδοση είναι το ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN). Ο κύριος σκοπός του WLAN προτύπου είναι να παρέχει στους χρήστες σταθερές με αξιόπιστες και υψηλής ταχύτητας συνδέσεις δικτύου. Ο οργανισμός IEEE ανέπτυξε διεθνούς προτύπων για τα WLAN δίκτυα και ασύρματα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής (WMANs). Με την εισαγωγή των προτύπων WiFi (802.11a/b/g/n) και των προτύπων WiMAX (802.16d/e/m), δημιουργήθηκε μια πολλά υποσχόμενη και πρωτοποριακή τεχνολογία διεπαφής αέρος (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) (Zarrinkoub, 2014). Από την μία πλευρά, το πρότυπο IEEE 802.11a WLAN χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz για τη μετάδοση σημάτων OFDM με ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 54 Mb/s. Από την άλλη πλευρά το πρότυπο WiMAX (IEEE 802.16m), το οποίο εισήγαγε το ασύρματο ευρυζωνικό σύστημα, έχει εύρος ζώνης έως 20 MHz, υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων αιχμής, και την καλύτερη απόδοση σχετικά με τα συστήματα UMTS και HSPA συστήματα (Zarrinkoub, 2014). Η προσπάθεια συνδυασμού των χαρακτηριστικών των τεχνολογιών HSPA+ και WiMAX οδήγησε τελικά στην τυποποίηση του προτύπου LTE (Zarrinkoub, 2014). Στην συνέχεια δίνονται τα γραφήματα από την μοντελοποίηση των συστημάτων/προτύπων 802.11n και 802.16 βασισμένα στις βιβλιοθήκες του Communication Toolbox του Matlab.

MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση της μοντελοποίησης των προτύπων 802.11n και 802.16, δίνεται μία σύντομη περιγραφή στα συστήματα πολλαπλής εισόδου – πολλαπλής εξόδου (MultiInput – MultiOutput). Στο ραδιόφωνο, η τεχνολογία MIMO σχετίζεται με την χρήση πολλαπλών κεραιών τόσο στον πομπό και δέκτη (Σχήμα 2.2) για να βελτιώσει τις επιδόσεις της επικοινωνίας. Είναι μία από τις πολλές μορφές της τεχνολογίας των ευφών κεραιών. Η τεχνολογία MIMO έχει προσελκύσει πολλούς ερευνητές στο πεδίο των ασύρματων επικοινωνιών διότι προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση των δεδομένων και το εύρος σύνδεσης χωρίς επιπλέον επιβάρυνση του εύρους ζώνης ή της ισχύος εκπομπής (Zarrinkoub, 2014). Επιτυγχάνει το στόχο αυτό με τη διάδοση της ίδιας συνολικής ισχύος εκπομπής επί των κεραιών που α) βελτιώνει την φασματική απόδοση (περισσότερα bits ανά δευτερόλεπτο και ανά Hertz) και β) βελτιώνει την αξιοπιστία σύνδεσης (Zarrinkoub, 2014). Λόγω αυτών των ιδιοτήτων, η τεχνολογία MIMO είναι ένα σημαντικό μέρος των σύγχρονων ασύρματων προτύπων επικοινωνίας όπως το πρότυπο IEEE 802.11n (Wi-Fi), 4G, 3GPP Long Term Evolution, WiMAX και HSPA+. Η MIMO τεχνολογία υποδιαιρείται σε τρεις βασικές κατηγορίες (Zarrinkoub, 2014), 1) προκωδικοποίηση (pre-coding), 2) χωρική πολυπλεξία (spatial multiplexing), και 3) κωδικοποίηση ποικιλίας (diversity coding).



Σχήμα 2.2 Χαρακτηριστικό γράφημα MIMO συστήματος (Baumgärtner, 2014)

Tx: Πομπός // Rx: Δέκτης

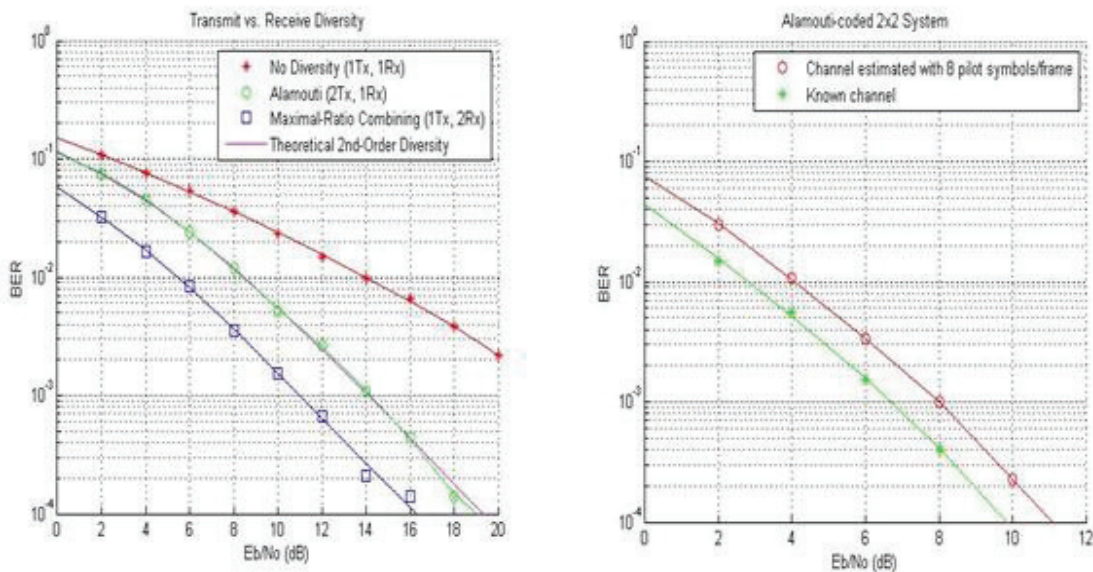
Προ-κωδικοποίηση θεωρείται η χωρική επεξεργασία που λαμβάνει χώρα στον πομπό. Στην προ-κωδικοποίηση, το ίδιο σήμα εκπέμπεται από καθεμία από τις κεραίες εκπομπής με κατάλληλη φάση και στάθμιση κέρδους έτσι ώστε η ισχύς του σήματος να μεγιστοποιείται στην είσοδο του δέκτη. Τα ωφέλη της διαμόρφωσης είναι να αυξηθεί το λαμβανόμενο κέρδος σήματος και να μειωθεί το φαινόμενο του multipath fading (Berger, 2014).

Η χωρική πολυπλεξία απαιτεί την διαμόρφωση της κεραίας MIMO. Στη χωρική πολυπλεξία, ένα σήμα υψηλής συχνότητας χωρίζεται σε πολλαπλά ρεύματα χαμηλότερου συντελεστή και κάθε ρεύμα μεταδίδεται από μια διαφορετική κεραία μεταδόσεως στο ίδιο κανάλι συχνότητας. Αν αυτά τα σήματα φθάνουν σε συστοιχία κεραιών του δέκτη με αρκετά διαφορετικές χωρικές 'διευθύνσεις', μπορεί ο δέκτης να διαχωρίσει αυτές τις ροές σε (σχεδόν) παράλληλα κανάλια. Χωρική πολυπλεξία είναι μια πολύ ισχυρή τεχνική για την αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού σε υψηλότερους λόγους σήματος προς θόρυβο (SNR) (Berger, 2014). Ο μέγιστος αριθμός των χωρικών ρευμάτων περιορίζεται από το μικρότερο από τον αριθμό των κεραιών στον πομπό ή δέκτη. Χωρική πολυπλεξία μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς κανάλι σταθερής πληροφορίας (CSI – Channel State Information) στον πομπό, αλλά μπορεί να συνδυαστεί με προκωδικοποίηση εάν το CSI είναι διαθέσιμο (Berger, 2014).

Οι τεχνικές **κωδικοποίησης πολυμορφίας** χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχει γνώση του καναλιού στον πομπό. Στις μεθόδους πολυμορφίας, ένα ενιαίο ρεύμα (σε αντίθεση με πολλαπλές ροές στη χωρική πολυπλεξία) μεταδίδεται, αλλά το σήμα είναι κωδικοποιημένο χρησιμοποιώντας τεχνικές χώρο-χρονικής κωδικοποίησης (Berger, 2014). Το σήμα εκπέμπεται από καθεμία από τις κεραίες εκπομπής με πλήρη ή σχεδόν πλήρη ορθογώνια κωδικοποίηση

(Berger, 2014). Η κωδικοποίηση πολυμορφίας εκμεταλλεύεται την ανεξάρτητη εξασθένιση στις πολλαπλές συνδέσεις κεραίας για την ενίσχυση της πολυμορφίας του σήματος (Berger, 2014).

Στην συνέχεια δίνεται ένα γράφημα το οποίο απεικονίζει την απόδοση ενός MIMO συστήματος πολλαπλής εισόδου-εξόδου που σχετίζεται με την διαφορά 'ποικιλίας' στην εκπομπή και την λήψη Σήματος. Πιο συγκεκριμένα το γράφημα δείχνει την σχέση μεταξύ πομπού και bitσφάλματος (BitErrorRatio) με τον λόγο φορέα-θορύβου (Carrier-to-Noise ratio). Η χρησιμοποίηση της κωδικοποίησης πολυμορφίας είναι μια τεχνική για την μείωση των επιπτώσεων του φαινομένου ξεθωριάσματος (fading effect) πάνω σε ένα σύνδεσμο επικοινωνίας. Με το παράδειγμά που δίνεται παρακάτω, η πολυμορφία μετάδοσης παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά με την πολυμορφία λήψης, μέσω της χρήσης πολλαπλών κεραιών στον πομπό (Mathworks, 2014). Για το συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιείται προσομοίωση συζυγούς διαμόρφωσης δυαδικής μετατόπισης φάσης (BPSK) αντί κωδικοποίησης Rayleigh. Για τη πολυμορφία εκπομπής, χρησιμοποιούμε δύο κεραίες εκπομπής και μία κεραία λήψης, ενώ για την πολυμορφία λήψης χρησιμοποιούμε μία κεραία εκπομπής και δύο κεραίες λήψης. Αυτή η πρακτική σχετίζεται πάρα πολύ με τον σχεδιασμό κυψελωτών συστημάτων επικοινωνιών (για παράδειγμα, ο σχεδιαστής θα απαιτήσει μόνο πολλαπλές κεραίες στο σταθμό βάσης σε σύγκριση με πολλαπλές κεραίες για κάθε κινητό σε ένα κυψελωτό σύστημα επικοινωνιών).



Γράφημα 2.3 Πολυμορφία Εκπομπής – Πολυμορφία Λήψης σε MIMO συστήματα

(Mathworks, 2014)

Το σύστημα μετάδοσης πολυμορφίας έχει μια πολυπλοκότητα υπολογισμού πολύ παρόμοια με εκείνη του συστήματος πολυμορφία λήψης. Τα προκύπτοντα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι οι δύο κεραίες εκπομπής και μία κεραία λήψης παρέχουν την ίδια

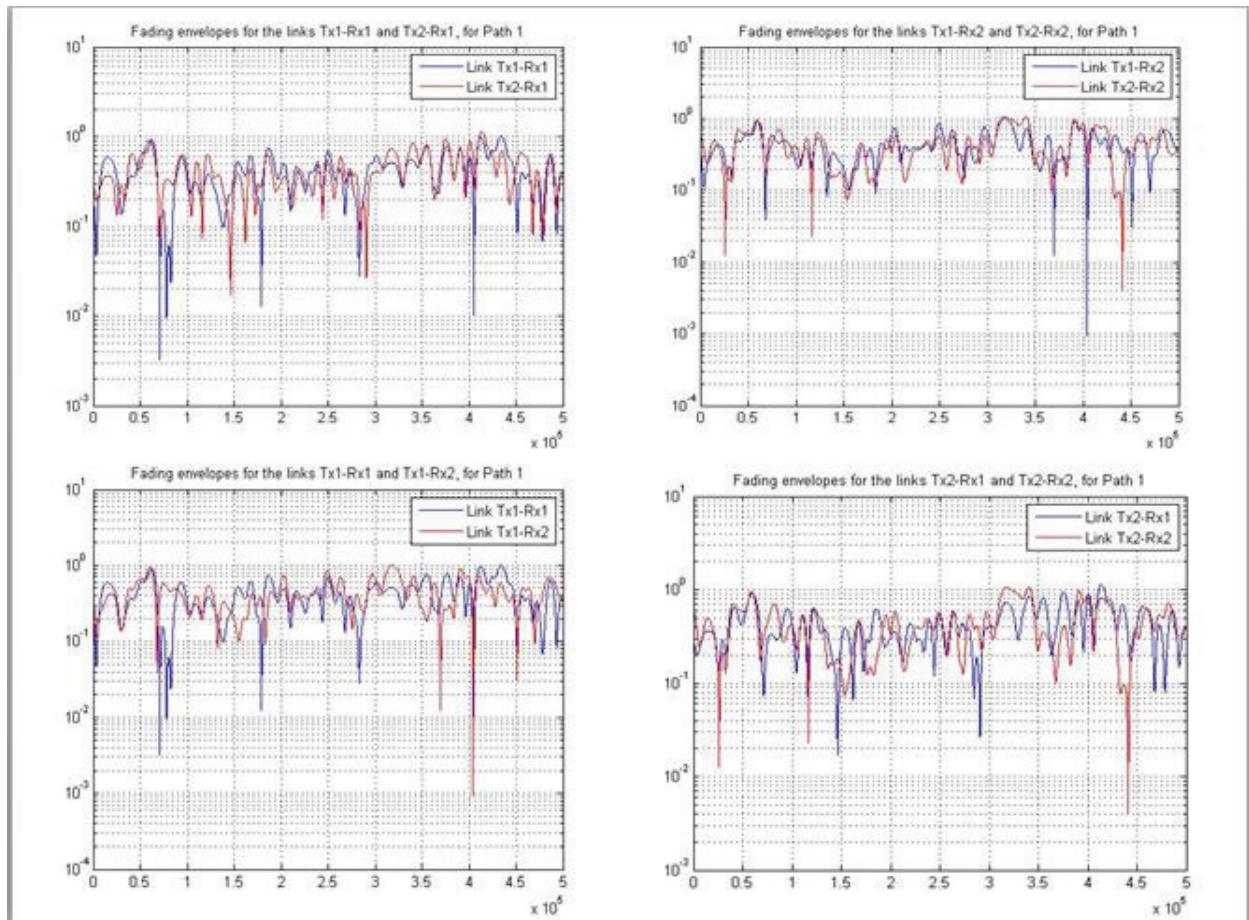
σειρά πολυμορφίας ως συνδυασμένο (MRC) σύστημα της μίας κεραίας εκπομπής και δύο κεραίες λήψης. Τέλος παρατηρούμε ότι η πολυμορφία εκπομπής έχει ένα μειονέκτημα 3 dB σε σύγκριση με την MRC πολυμορφία λήψης. Αυτό συμβαίνει επειδή το πρότυπο της συνολικής μεταδιδόμενης ισχύος είναι ίδιο και στις δύο περιπτώσεις. Για το (2x2) προσομοιωμένο σύστημα, η σειρά ποικιλομορφίας είναι διαφορετική από εκείνη που παρατηρείται είτε για (1x2) ή (2x1) συστήματα στην προηγούμενη ενότητα. Στην συνέχεια δίνονται τα γραφήματα από την μοντελοποίηση των συστημάτων/προτύπων 802.11n και 802.16 βασισμένα στις βιβλιοθήκες του CommunicationToolbox του Matlab.

IEEE 802.11n

Το πρότυπο IEEE 802.11n έχει σχεδιαστεί για ασύρματα τοπικά δίκτυα και ταχύτητες μέχρι 100 MHz, σε συχνότητες από 2 και 5 GHz. Τα μοντέλα καναλιού περιλαμβάνουν ένα σύνολο 6 προφίλ, τα οποία καλύπτουν τα σενάρια επίπεδης εξασθένησης. Κάθε μοντέλο καναλιού αποτελείται από ένα μοντέλο απώλειας διαδρομής, και ένα μοντέλο πολλαπλών διαδρομών MIMO, το οποίο περιγράφει το προφίλ καθυστέρησης πολλαπλών διαδρομών (multipathdelayprofile), τις χωρικές ιδιότητες (spatialproperties), τον K-συντελεστή κατανομής(K-factordistribution) και το φάσμα Doppler (Dopplerspectrum)(Mathworks, 2014).

Τα IEEE 802.11n μοντέλα καναλιού κάνουν τις ακόλουθες παραδοχές(Mathworks, 2014): 1) Το φάσμα αζιμούθιου ισχύος (PAS) και το φάσμα καθυστέρησης ισχύος (PDS) μπορούν να διαχωριστούν: κάθε σύνδεση διαμορφώνεται ανεξάρτητα. 2) Ο PAS και το φάσμα Doppler για κάθε σύνδεση είναι ξεχωριστά: η χωρική συσχέτιση (πίνακες συσχέτισης) και η χρονική συσχέτιση (φάσμα Doppler) για κάθε σύνδεση μοντελοποιούνται ανεξάρτητα. 3) Κάθε σύνδεση μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας το μοντέλο Kronecker(Mathworks, 2014).

Το παρακάτω παράδειγμα δείχνει την προσομοίωση συστήματος πολλαπλής εισόδου πολλαπλής εξόδου (MIMO) για κανάλια εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών με βάση το IEEE 802.11n. Το παράδειγμα χρησιμοποιεί ένα MIMO σύστημα με δύο κεραίες εκπομπής, δύο κεραίες λήψης, και ένα αντικείμενο φάσματος Doppler(Mathworks, 2014). Το παρακάτω γράφημα (Σχήμα 2.4) παρουσιάζει τις κυματομορφές συνδέσμου αποστολής-λήψης στην περίπτωση fadingenvelope. Μπορούμε να παρατηρήσουμε μια συσχέτιση μεταξύ των κυματομορφών ανεξάρτητα του σχεδιασμού του συστήματος.



Γράφημα 2.4 Κανάλια εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών σε MIMO σύστημα με βάση το IEEE 802.11n (Mathworks, 2014)

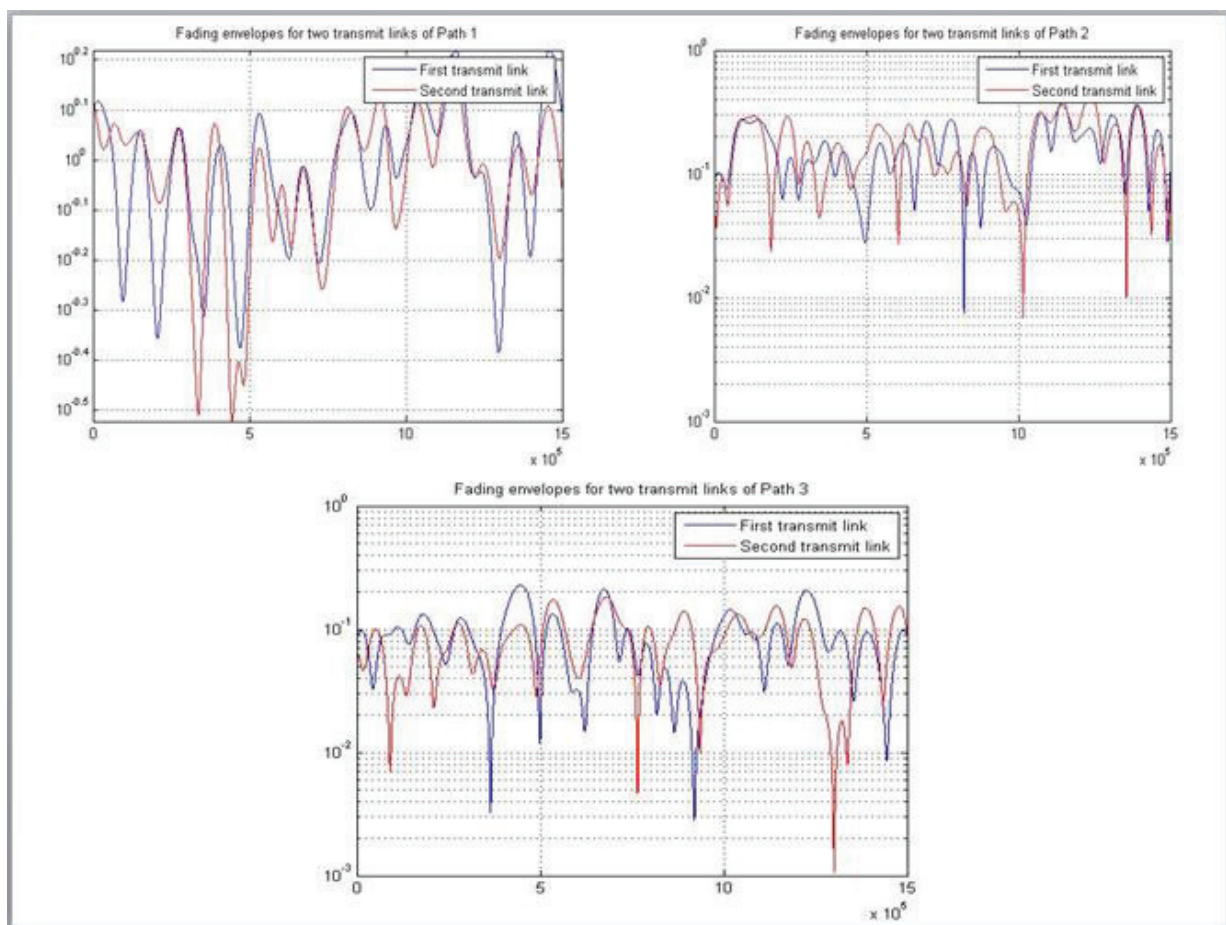
IEEE 802.16

Το IEEE 802.16 πρότυπο καθορίζει ασύρματες εφαρμογές που προτείνονται για σενάρια όπου η ακτίνα των κυττάρων είναι μικρότερη από 10 km, οι κατευθυντικές κεραιές στο δέκτη τοποθετούνται στο ψηλότερο σημείο του κτιρίου, και οι κεραιές του σταθμού βάσης είναι 15 έως 40 m σε ύψος (Mathworks, 2014). Τα μοντέλα καναλιού περιλαμβάνουν μια σειρά από μοντέλα απώλειας διαδρομής, και ένα μοντέλο καναλιών εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών, το οποίο περιγράφει το προφίλ καθυστέρησης πολλαπλών διαδρομών, την κατανομή συντελεστού K, και το φάσμα Doppler (Mathworks, 2014). Ο παράγοντας μείωσης της απολαβής της κεραιάς, λόγω της χρήσης των κατευθυντικών κεραιών, επίσης χρησιμοποιείται.

Το πρότυπο του Πανεπιστημίου Stanford (SUI channel model) αποτελείται από ένα σύνολο 6 αντιπροσωπευτικών καναλιών που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση των προτύπων IEEE 802.16. Το μέγεθος των κυττάρων είναι 7 km, το ύψος της κεραιάς του σταθμού βάσης είναι 30 m, το ύψος κεραιάς λήψης είναι 6 m, το εύρος δέσμης της κεραιάς σταθμού βάσης είναι 120 μοίρες. Κάθε τροποποιημένο μοντέλο καναλιού SUI έχει τρεις συνδέσεις. Κάθε σύνδεση

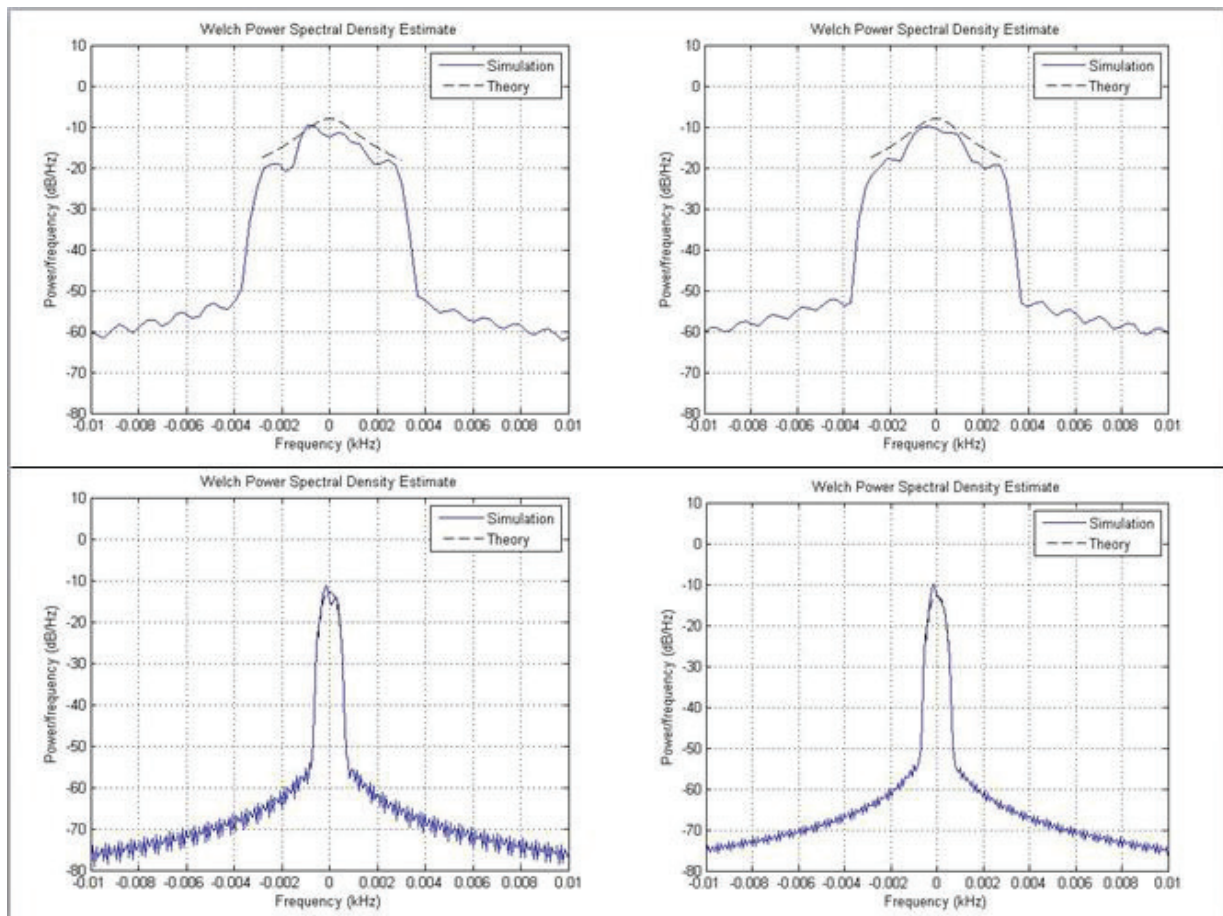
χαρακτηρίζεται από μια σχετική καθυστέρηση (σε σχέση με την πρώτη καθυστέρηση διαδρομής), μια σχετική δύναμη, έναν Rician K-παράγοντα, και μία μέγιστη μετατόπιση Doppler.

Το παρακάτω παράδειγμα δείχνει την προσομοίωση συστήματος πολλαπλής εισόδου πολλαπλής εξόδου (MIMO) για κανάλια εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών με βάση το IEEE 802.16. Το παράδειγμα χρησιμοποιεί ένα MIMO σύστημα με δύο κεραίες εκπομπής, δύο κεραίες λήψης, και ένα αντικείμενο φάσματος Doppler. Το παρακάτω γράφημα (Σχήμα 2.5) παρουσιάζει τις κυματομορφές συνδέσμου αποστολής-λήψης στην περίπτωση fading envelope. Μπορούμε να παρατηρήσουμε μια συσχέτιση μεταξύ των κυματομορφών ανεξάρτητα του σχεδιασμού του συστήματος.



Γράφημα 2.5 Κανάλια εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών σε MIMO σύστημα με βάση το IEEE 802.16 (Mathworks, 2014)

Ύστερα από την μελέτη των δύο προτύπων IEEE 802.11n και IEEE 802.16 μπορούμε να παρατηρήσουμε κάποιες διαφορές σχετικά με την επίδραση αυτών στην συμπεριφορά των καναλιών. Το πρότυπο IEEE 802.11n εξετάζεται σε ένα μόνο pathστο οποίο οι τιμές των αποκρίσεων για τους διάφορους συνδυασμούς των κεραιών είναι παρόμοιες (Σχήμα 2.4). Από την άλλη πλευρά, στο πρότυπο IEEE 802.16 εξετάζονται 3 διαφορετικά pathτων οποίων η μορφή δεν συμπίπτει. Αυτό οφείλεται κυρίως στα διαφορετικά χαρακτηρισικά λειτουργίας των 3 μονοπατιών. Υπάρχει επίσης διαφορά στο εύρος και στην μορφή της κυματομορφής για το ίδιο μονοπάτι μεταξύ των δύο προτύπων (Σχήμα 2.5). Τέλος η συγγραφέας παρατηρεί ότι κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου για τα δύο πρότυπα, υπάρχει αισθητή διαφορά στην κυματομορφή της φασματικής πυκνότητας του φαινομένου Doppler. Η ‘καμπάνα’ Doppler, όπως παρουσιάζεται στην θεωρία των ασύρματων επικοινωνιών, έχει την ίδια ακραία τιμή και στα δύο πρότυπα, αλλά παρουσιάζει ‘άνοιγμα δαγκάνων’ σχεδόν 3 φορές μεγαλύτερο στην περίπτωση του προτύπου IEEE 802.11n αντι του προτύπου IEEE 802.16 (Σχήμα 2.6).



Γράφημα 2.6 Φάσμα Doppler προτύπων IEEE 802.11n και IEEE 802.16 (Mathworks, 2014)

2.2 ΚΥΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 4G/LTE

Το LTE και το LTE-Advanced έχουν αναπτυχθεί από το 3GPP. Έχουν κληρονομήσει πολλά από τα προηγούμενα πρότυπα 3GPP (UMTS και HSPA+), και υπό αυτή την έννοια μπορεί να θεωρηθεί ως εξέλιξη των τεχνολογιών αυτών. Ωστόσο, για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις IMT-Advanced και να διατηρηθεί η ανταγωνιστικότητα με το πρότυπο WiMAX, το πρότυπο LTE απαιτείται να κάνει μια ριζική αλλαγή κατεύθυνσης αναχώρηση από την τεχνολογία μετάδοσης W-CDMA που χρησιμοποιούνταν σε προηγούμενα πρότυπα (Zarrinkoub, 2014). Η τυποποίηση του προτύπου LTE ξεκίνησε το 2004 και οδήγησε τελικά σε μια μεγάλης κλίμακας επαναδημιουργία των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Μετά από τέσσερα χρόνια διαβούλευσης, και με συνεισφορές από τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών και των οργανισμών τυποποίησης Internet σε όλη την υδρόγειο, η διαδικασία τυποποίησης της LTE (3GPP Release 8) ολοκληρώθηκε το 2008. Το πρότυπο Release 8 LTE αργότερα εξελίχθηκε σε LTE Τύπου 9 με μικρές τροποποιήσεις και στη συνέχεια δημιουργήθηκε η δέκατη έκδοση, η οποία είναι γνωστή ως το πρότυπο LTE-Advanced. Το LTE-Advanced διαθέτει βελτιώσεις στην φασματική απόδοση, στον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, και στηρίζεται στην εμπειρία του χρήστη σε σχέση με το LTE (Zarrinkoub, 2014). Με μέγιστη ταχύτητα δεδομένων το 1 Gbps, το LTE-Advanced έχει χαρακτηριστεί ως προηγμένη τεχνολογία.

Οι απαιτήσεις για το LTE καλύπτουν δύο θεμελιώδεις συνιστώσες της αρχιτεκτονικής του συστήματος UMTS: το Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) και το Evolved Packet Core (EPC). Οι στόχοι του συνολικού συστήματος περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Zarrinkoub, 2014):

- Βελτιωμένο σύστημα χωρητικότητας και κάλυψης
- Υψηλοί ρυθμοί δεδομένων και μετάδοσης
- Χαμηλή καθυστέρηση (και επιπέδου χρήστη και ελέγχου επιπέδου)
- Μειωμένο κόστος λειτουργίας
- Υποστήριξη πολλαπλών κεραιών
- Ευέλικτες λειτουργίες εύρους ζώνης
- Απρόσκοπτη ενοποίηση με τα υπάρχοντα συστήματα (UMTS, WiFi, κλπ.).

Στην συνέχεια δίνεται ένας πίνακας που παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων των διαφόρων προτύπων ασύρματων επικοινωνιών κατά την τελευταία εικοσαετία.

Technology	Theoretical peak data rate (at low mobility)
GSM	9.6 kbps
IS-95	14.4 kbps
GPRS	171.2 kbps
EDGE	473 kbps
CDMA-2000 (1xRTT)	307 kbps
WCDMA (UMTS)	1.92 Mbps
HSDPA (Rel 5)	14 Mbps
CDMA-2000 (1x-EV-DO)	3.1 Mbps
HSPA+ (Rel 6)	84 Mbps
WiMAX (802.16e)	26 Mbps
LTE (Rel 8)	300 Mbps
WiMAX (802.16m)	303 Mbps
LTE-Advanced (Rel 10)	1 Gbps

Πίνακας 2.1 Ρυθμός δεδομένων σε πρότυπα ασύρματων επικοινωνιών (Zarrinkoub, 2014)

Οι τεχνολογίες ευρείας διάδοσης του LTE περιλαμβάνουν το OFDM, MIMO, turbo κωδικοποίηση και δυναμικές τεχνικές συνδέσμου-προσαρμογής. Οι παραπάνω τεχνολογίες εντοπίζουν τις ρίζες τους σε καθιερωμένες περιοχές της έρευνας στον τομέα των επικοινωνιών και μαζί συμβάλουν στην ικανότητα του προτύπου LTE για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά των συστημάτων που συμμετέχουν στην τεχνολογία LTE.

OFDM

Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους το LTE επιλέγει το OFDM και το SC-FDM ως τα βασικά συστήματα μεταφοράς σήματος είναι οι ακόλουθοι (Zarrinkoub, 2014): 1) σθεναρότητα στο κανάλι εξασθένισης πολλαπλών διαδρομών, 2) υψηλή φασματική απόδοση, 3) εφαρμογή χαμηλής πολυπλοκότητας, και 4) ικανότητά να παρέχει ευέλικτες ζώνες συχνοτήτων μετάδοσης. Επιπλέον τα δύο αυτά συστήματα μεταφοράς υποστηρίζουν προηγμένα χαρακτηριστικά επικοινωνιών (Zarrinkoub, 2014), όπως συχνο-επιλεκτικό προγραμματισμό, μετάδοση MIMO, και τον συντονισμό παρεμβολών.

SC-FDM

Ένα από τα μειονεκτήματα του συστήματος μετάδοσης πολλαπλού φορέα OFDM φορέα είναι οι μεγάλες διακυμάνσεις στην στιγμιαία ισχύ μετάδοσης (Zarrinkoub, 2014). Αυτό συνεπάγεται με μειωμένη αποτελεσματικότητα σε ενισχυτές ισχύος και οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση τροφοδοσίας (Zarrinkoub, 2014). Στην ανόδου ζεύξης (uplink) μετάδοση, ο σχεδιασμός των πολύπλοκων ενισχυτών ισχύος είναι ιδιαίτερα περίπλοκος. Ως αποτέλεσμα, μια παραλλαγή της μετάδοσης OFDM γνωστή και ως SC-FDM επιλέγεται στο πρότυπο LTE για την

μετάδοση της ανοδικής ζεύξης. Το σύστημα SC-FDM υλοποιείται συνδυάζοντας ένα κανονικό σύστημα OFDM με προκωδικοποίηση βασισμένη στον Διακριτό Μετασχηματισμό Fourier (DFT)(Zarrinkoub, 2014).

MIMO

Η MIMO είναι μία από τις βασικές τεχνολογίες που αναπτύσσονται στα πρότυπα LTE. Με βαθιές ρίζες στην έρευνα των κινητών επικοινωνιών, οι τεχνικές MIMO έχουν το πλεονέκτημα της χρήσης πολλαπλών κεραιών, προκειμένου να επιτευχθούν οι απαιτήσεις του προτύπου LTE από την άποψη της μεγιστοποίησης του ρυθμού δεδομένων και της απόδοσης(Zarrinkoub, 2014). Οι μέθοδοι MIMO μπορούν να βελτιώσουν την κινητή επικοινωνία με δύο διαφορετικούς τρόπους: με την τόνωση των συνολικών ρυθμών δεδομένων και με την αύξηση της αξιοπιστίας της ζεύξης επικοινωνίας(Zarrinkoub, 2014). Οι αλγόριθμοι MIMO που χρησιμοποιούνται χρησιμοποιούνται στο πρότυπο LTE μπορεί να χωριστούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες(Zarrinkoub, 2014): πολυμορφία μετάδοσης (transmitdiversity), πολυμορφία λήψης(receivediversity), διαμόρφωση σε δέσμη (beam-forming), και χωρική πολυπλεξία (spatialmultiplexing).

Στην περίπτωση της πολυμορφίας μετάδοσης και διαμόρφωσης σε δέσμη, μεταδίδουμε περιττές πληροφορίες σε διαφορετικές κεραιές. Ως εκ τούτου, αυτές οι μέθοδοι δεν μπορούν να συμβάλλουν στην ώθηση των ρυθμών δεδομένων, αλλά μπορούν να κάνουν τον σύνδεσμο επικοινωνίας πιο σθεναρό (Zarrinkoub, 2014). Στην χωρική πολυπλεξία, το σύστημα μεταδίδει ανεξάρτητη πληροφορία σε διαφορετικές κεραιές. Αυτός ο τύπος του συστήματος MIMO μπορεί να ενισχύσει σημαντικά το ρυθμό δεδομένων ενός συγκεκριμένου συνδέσμου. Ο βαθμός στον οποίο μπορούν να βελτιωθούν οι ρυθμοί δεδομένων μπορεί να είναι γραμμικά ανάλογος με τον αριθμό των κεραιών μετάδοσης. Για να επιτύχει αυτό, το πρότυπο LTE παρέχει πολλαπλές διαμορφώσεις μετάδοσης με την χρήση έως και 4 κεραιών εκπομπής στην καθοδική ζεύξη. Το LTE-Advanced επιτρέπει τη χρήση έως και οκτώ κεραιές εκπομπής για τη μετάδοση καθοδικής ζεύξης.

TURBOCHANNELCODING

Η Turbo κωδικοποίηση είναι μια εξέλιξη της συνελκτικής τεχνολογίας κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται σε όλα τα προηγούμενα πρότυπα με εντυπωσιακά ποσοστά απόδοσης καναλιών. Η Turbo κωδικοποίηση εισήχθη για πρώτη φορά το 1993 στις επικοινωνίες και έχει αναπτυχθεί στα συστήματα 3GUMTS και HSPA+. Ωστόσο, σε αυτά τα πρότυπα είχε χρησιμοποιηθεί ως προαιρετικός τρόπος για την ενίσχυση της απόδοσης του συστήματος. Στο πρότυπο LTE, από την άλλη πλευρά, η turbo κωδικοποίηση είναι ο μόνος μηχανισμός κωδικοποίησης καναλιού που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των δεδομένων του χρήστη(Zarrinkoub, 2014). Η σχεδόν-βέλτιστη απόδοση των turboκωδικοποιητών είναι καλά τεκμηριωμένη, και η υπολογιστική τους πολυπλοκότητα παράπολύ υψηλή.

LINKADAPTION

Η προσαρμογή ζεύξης ορίζεται ως μια συλλογή από τεχνικές για την αλλαγή και την προσαρμογή των παραμέτρων μετάδοσης ενός συστήματος κινητής επικοινωνίας να ανταποκριθεί καλύτερα στη δυναμική φύση του καναλιού επικοινωνίας. Ανάλογα με την ποιότητα του καναλιού, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικές τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, μπορούμε να αλλάξουμε τον αριθμό των κεραιών εκπομπής ή λήψης κεραιών, ακόμα και να αλλάξουμε το εύρος ζώνης μετάδοσης. Ένα χαρακτηριστικό που σχετίζεται στενά με την προσαρμογή ζεύξης είναι ο προγραμματισμός του καναλιού σε ένα σύστημα κινητής επικοινωνίας (Zarrinkoub, 2014). Ο προγραμματισμός σχετίζεται με το ζήτημα του πώς να μοιράζονται οι ραδιοφωνικοί πόροι μεταξύ των διαφόρων χρηστών ώστε να επιτευχθεί πιο αποτελεσματική χρήση των πόρων. Τυπικά, θα πρέπει είτε να ελαχιστοποιηθεί το ύψος των πόρων που διατίθενται για κάθε χρήστη ή να υπάρχει μια αντιστοιχία μεταξύ πόρων και τύπου ώστε να δοθεί προτεραιότητα στα δεδομένα του χρήστη (Zarrinkoub, 2014). Ο προγραμματισμός που εξαρτάται από το κανάλι μετάδοσης έχει ως στόχο να φιλοξενήσει όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες, ενώ ταυτόχρονα ικανοποιεί τις απαιτήσεις για την καλύτερη ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας, που μπορεί να υπάρχουν με βάση τη στιγμιαία κατάσταση του διαύλου (Zarrinkoub, 2014).

2.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 4G/LTE

Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει τη συζήτηση σχετικά με ορισμένα σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας 3GPP LTE. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης κάτω ζεύξης και άνω ζεύξης, και τα βασικά σημεία λειτουργίας των τριών στρωμάτων του LTE.

2.3.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Οι σχεδιαστές του LTE έχουν επιλέξει διαφορετικά συστήματα μετάδοσης κάτω ζεύξης και άνω ζεύξης λόγω διαφορετικών χαρακτηριστικών. Το μοντέλο συστήματος OFDMA έχει επιλεγεί για την κατερχόμενη ζεύξη, δηλαδή από eNodeB στο UE και το μοντέλο συστήματος SC-FDMA έχει επιλεγεί για την ανερχόμενη ζεύξη, δηλαδή για τη μετάδοση από την UE προς eNodeB.

Κάτω Ζεύξη - OFDMA

Η Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM) έχει ήδη χρησιμοποιηθεί από κυτταρικές και μη κυτταρικές ασύρματες μεταδόσεις, όπως WiMAX και WLAN και έχει επιλεγεί ως σύστημα πολυπλεξίας για 3GPP LTE. Η OFDM είναι ένα φασματικό σύστημα μετάδοσης το οποίο διαιρεί ένα bit υψηλού ρυθμού μετάδοσης σε πολλές παράλληλες ροές δεδομένων που συχνά αποκαλούνται υπο-φορείς (Hussain, 2009). Αυτή η διαίρεση οδηγεί τους υπο-φορείς να συνδέονται μεταξύ τους ορθογώνια, πράγμα το οποίο οδηγεί στην αποφυγή παρεμβολών μεταξύ φορέα. Η μαθηματική σχέση που ορίζει την ορθογωνιότητα των υπο-φορέων εξαρτάται από το ονομαστικό εύρος ζώνης και τον αριθμό των υποφορέων (Hussain, 2009).

Για να γίνει η μετάδοση θα πρέπει επίσης να τοποθετηθεί ένα προστατευτικό χρονικό όριο μεταξύ των επιμέρους φορέων και της απόστασης μεταξύ τους. Κάνοντας αυτό το χρονικό όριο μεγαλύτερο από την μέγιστη αναμενόμενη καθυστέρηση διάδοσης, κάνει την μετάδοση απαλλαγμένη από ISI(Hussain, 2009).

Άνω Ζεύξη - SC-FDMA

Η Διάρθρωση Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης Μονού Φορέα (SC-FDMA) έχει επιλεγεί ως η τεχνική μετάδοσης άνω ζεύξης. Είναι μια τροποποιημένη μορφή της OFDMA και έχει παρόμοια απόδοση εξόδου και ουσιαστικά την ίδια συνολική πολυπλοκότητα ως OFDMA(Hussain, 2009). Όπως και η τεχνική OFDM, η τεχνική SC-FDMA αποτελείται επίσης από υποφορείς, η μετάδοση των οποίων γίνεται σε σειρά και όχι σε παραλληλία όπως στην περίπτωση της κάτω ζεύξης. Αυτό το χαρακτηριστικό εμποδίζει τις διακυμάνσεις της ισχύος στα σήματα της SC-FDMA (Myung et al., 2006). Σε ένα κυψελωτό σύστημα με περιβάλλον διάδοσης πολλαπλών διαδρομών, τα σήματα SC-FDMA μπορούν να προκαλέσουν παρεμβολή μεταξύ συμβόλων όταν φθάσουν στο σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης χρησιμοποιεί την προσαρμοστική εξισορρόπηση στο πεδίο της συχνότητας για να απαλείψει τις παρεμβολές. Δεδομένου ότι τα περισσότερα κινητά τερματικά χρησιμοποιούν μπαταρία, είναι μια καλή ιδέα για εκτελούνται κάποιες σύνθετες διεργασίες, όπως εξισορρόπηση συχνότητας στο σταθμό βάσης και όχι βάζοντας οποιαδήποτε επιβάρυνση, όπως γραμμική ενίσχυση εξουσία, στο κινητό τερματικό, επειδή υπάρχουν περισσότεροι διαθέσιμοι πόροι στο σταθμό βάσης(Myung et al., 2006).

Μέγιστο Μέση Αναλογίας Ισχύος (PAPR)

Ως PAPR ορίζεται ως η μέγιστη ισχύ εντός ενός OFDM συμβόλου κανονικοποιημένου με τη μέση ισχύ του σήματος. Η τιμή της PAPR είναι ευθέως ανάλογη με τον αριθμό των υποφορέων, και δίνεται από την παρακάτω σχέση (Hussain, 2009):

$$\text{PAPR (dB)} \sim 10\text{Log (N)}$$

όπου «N» είναι ο αριθμός των υπο-φορέων.

Σήματα με υψηλή PAPR τιμή χρειάζονται γραμμικούς ενισχυτές ισχύος για να αποφευχθεί η υπερβολική στρέβλωση και για να επιτευχθεί γραμμικότητα.

Συχνότητα Offset

Μολονότι η τεχνική OFDM είναι ανθεκτική έναντι της αλλοίωσης πολλαπλών διαδρομών (multi path fading) απαιτεί υψηλό βαθμό συγχρονισμού για να διατηρήσει την ορθογωνιότητα των υποφορέων. Η αβεβαιότητα της φέρουσας συχνότητας, η οποία οφείλεται στη διαφορά των συχνοτήτων των τοπικών ταλαντωτών σε πομπό και δέκτη, μπορεί να οδηγήσει σε μετατόπιση συχνότητας (συχνότητα offset)(Hussain, 2009). Αυτή η μετατόπιση συχνότητας μπορεί επίσης να δημιουργηθεί από την επίδραση του φαινομένου Doppler. Η αποδιαμόρφωση του σήματος με μετατόπιση συχνότητας μπορεί να προκαλέσει μεγάλο ποσοστό σφάλματος δεδομένων και μπορεί να υποβαθμίσει την απόδοση συγχρονισμού συμβόλων (Hussain, 2009).

2.3.2 LTE – ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ (Physical layer)

Το Φυσικό Στρώμα (Physical layer) παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων στα υψηλότερα στρώματα, με τη βοήθεια του MAC υπο-στρώματος. Το Φυσικό Στρώμα (Physical layer) ορίζεται σε ένα εύρος ζώνης, το οποίο του επιτρέπει να προσαρμόζονται σε διάφορες κατανομές ραδιοφάσματος. Οι κύριες λειτουργίες του φυσικού στρώματος είναι (Mathworks, 2014):

- Ανίχνευση σφαλμάτων καναλιού μεταφοράς και την έκθεση αυτών στα ανώτερα στρώματα
- FEC κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση
- Ποσοστό προσαρμογής καναλιού μεταφοράς στο φυσικό κανάλι
- Χαρτογράφηση καναλιού μεταφοράς επί του φυσικού καναλιού
- Φυσικό κανάλι διαμόρφωσης / αποδιαμόρφωσης
- Συγχρονισμός του χρόνου και της συχνότητας
- Μετρήσεις αναφοράς ραδιοφωνικού σταθμού προς τα υψηλότερα επίπεδα
- Επεξεργασία σημάτων της κεραιάς MIMO, πολυμορφία μετάδοσης και σχηματισμός δέσμης

Τόσο το FDD (Frequency Division Duplex) όσο και TDD (Time Division Duplex) βρίσκονται στο επίπεδο φυσικού στρώματος, όπου προσδιορίζονται η άνω και η κάτω ζεύξη με διαφορετικές συχνότητες και χρονισμούς αντίστοιχα. Τόσο FDD και TDD μοιράζονται την ίδια δομή πλαισίου. Η κάτω ζεύξη του φυσικού στρώματος περιλαμβάνει ξεχωριστά κανάλια (Zarrinkoub, 2014).

Φυσικά Κανάλια Κάτω Ζεύξη:

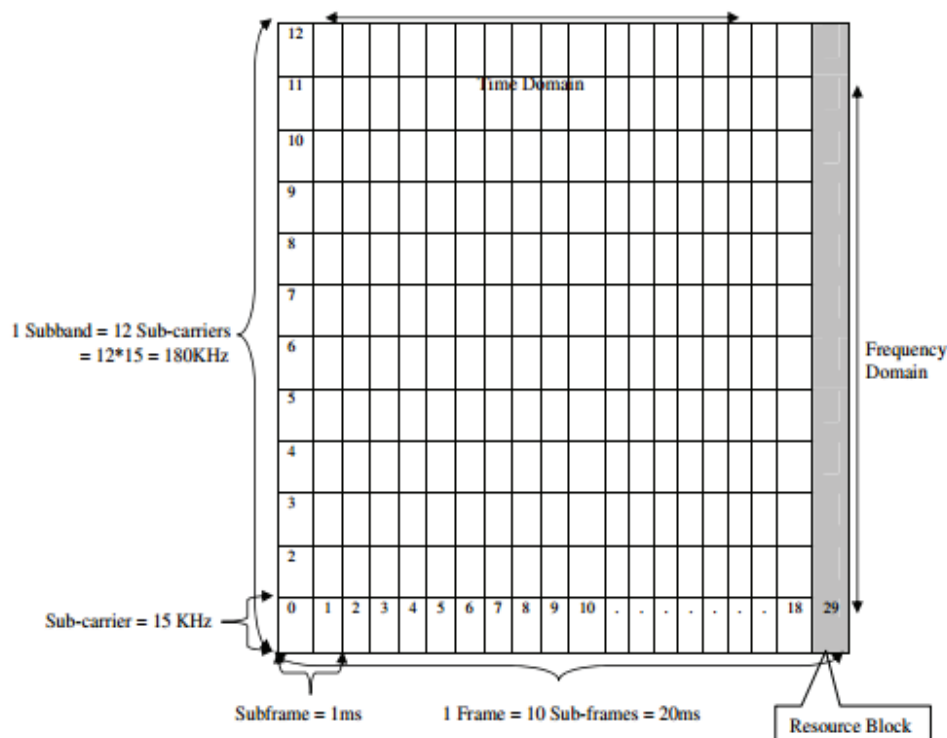
- PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)
- PDCCCH (Physical Downlink Control Channel)
- CCPCH (Common Control Physical Channel)
- PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)
- PUCCH (Physical Uplink Control Channel)

Τα κανάλια κάτω ή άνω ζεύξης του LTE μπορούν να χρησιμοποιήσουν τρία είδη διαμορφώσεων στο κανάλι εκπομπής (QPSK, 16QAM, 64QAM) (Zarrinkoub, 2014). Η τεχνική μετάδοσης Πολλαπλής Εισόδου – Πολλαπλής Εξόδου (Multiple Input Multiple Output) έχει οριστεί για το LTE κατερχόμενης ζεύξης στην οποία η διαμόρφωση κεραιάς αντιπροσωπεύεται από το γινόμενο ($N \times M$), όπου N είναι ο αριθμός των κεραιών εκπομπής και M είναι ο αριθμός των κεραιών λήψης (Zarrinkoub, 2014). Το πρωτόκολλο MIMO έχει καθοριστεί για την απαλοιφή του φαινομένου της αλλοίωσης πολλαπλών μονοπατιών έτσι ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί η μετάδοση δεδομένων.

Στο πρωτόκολλο LTE η μετάδοση φυσικού στρώματος είναι ικανό να αναπτυχθεί σε δύο διαφορετικούς τρόπους(Zarrinkoub, 2014):

- FDD: Κατερχόμενη και ανερχόμενη ζεύξη ταυτοποιούνται με δύο διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων
- TDD: Σήματα κατερχόμενης και ανερχόμενης ζεύξης μεταδίδονται σε διαφορετικές χρονοθυρίδες

Η κατανομή των πόρων ραδιοσυχνότητας μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πλέγμα συχνότητας-χρόνου. Το πεδίο της συχνότητας χωρίζεται σε υπο-φορείς. Κάθε υπο-φορέας έχει συχνότητα 15 KHz(Zarrinkoub, 2014). Μία υπο-ζώνη αποτελείται από 12 επιμέρους φορείς. Το πλέγμα της σχέσης χρόνου συχνότητας για το LTE πρωτόκολλο δίνεται παρακάτω:



Γράφημα 2.6 Πλέγμα Κατανομής Πόρων Ραδιοσυχνότητας (Mathworks, 2014)

Η μετάδοση κάτω ζεύξης φυσικού στρώματος γίνεται χρησιμοποιώντας την τεχνική OFDMA ενώ η μετάδοση κάτω ζεύξης φυσικού στρώματος γίνεται χρησιμοποιώντας την τεχνική SC-FDMA. Τόσο OFDMA και SC-FDMA χρησιμοποιούν το ίδιο πλέγμα χρόνου-συχνότητας, χρονοθυρίδες, υποφορείς, και δομή υποζώνης(Zarrinkoub, 2014). Οι διαφορές μεταξύ της

τεχνικής OFDMA και SC-FDMA είναι: 1) στον τρόπο χρήσης των γειτονικών υποφορέων στην δομή υποζώνης, 2) στην μετάδοση του σήματος ελέγχου.

Σχεδιασμός Ελέγχου Κατερχόμενης Ζεύξης

Η επικοινωνία κατερχόμενης ζεύξης περιλαμβάνει την μετάδοση των δεδομένων χρηστών και της πληροφορίας ελέγχου από τον κόμβο eNodeB προς τον κόμβο UE. Η επικοινωνία κατερχόμενης ζεύξης γίνεται με τη χρήση τριών καναλιών (Zarrinkoub, 2014).

- Physical Channel Format Indicator Channel (PCFICH)
- Physical H-ARQ Indicator Channel (PHICH), and
- Physical Downlink Control Channel (PDCCH)

Ο σχεδιασμός ελέγχου του πρωτοκόλλου LTE περιλαμβάνει τα ακόλουθα (Hussain, 2009):

1) Αναζήτηση κυττάρων και Συγχρονισμός (Cell Search and Synchronization)

Κατά τη διάρκεια της αναζήτησης κυττάρων, προσδιορίζονται διαφορετικά είδη πληροφορίας όπως η ταυτότητα κυψέλης, η συχνότητα και το εύρος ζώνης της μετάδοσης, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά της κεραίας (Hussain, 2009). Η αναζήτηση κυττάρων εκτελείται χρησιμοποιώντας το σήμα αναφοράς φυσικού στρώματος καθοδικής ζεύξης, το οποίο περιέχει την ταυτότητα των κυττάρων, και το σήμα συγχρονισμού το οποίο μεταδίδεται στους υποφορείς.

2) Σύνδεσμος Προσαρμογής (Link Adoption)

Η μετάδοση κατερχόμενης ζεύξης στο E-UTRAN δεν είναι καθορισμένη, αλλά προσαρμόζεται χρησιμοποιώντας διαφορετικά σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης με βάση των εκθέσεων μέτρησης (CQI) που αποστέλλονται από την UE προς eNodeB (Hussain, 2009).

3) Προγραμματισμός Κατερχόμενης Ζεύξης (Downlink Scheduling)

Το eNodeB εκτελεί τον προγραμματισμό των διαθέσιμων ραδιοπόρων επιτρέπει στο UE να γνωρίζει την διαθεσιμότητα των πόρων και την κατανομή χρόνου/ συχνότητας.

4) Hybrid ARQ

Το αυτόματο υβριδικό αίτημα επανάληψης, χρησιμοποιείται από το UE (user equipment) ώστε να ζητήσει την αναμετάδοση από το eNodeB εσφαλμένων πακέτων δεδομένων ή πακέτα δεδομένων που δεν έλαβε (Hussain, 2009).

Σχεδιασμός Ελέγχου Ανερχόμενης Ζεύξης

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω η SC-FDMA είναι μια τροποποιημένη έκδοση του OFDMA στο οποίο, τα γειτονικά μπλοκ των πόρων διατίθενται στους χρήστες. Η τεχνική PUSCH χρησιμοποιείται για τη μετάδοση άνω ζεύξης δεδομένων και η PUCCH ασκεί τον έλεγχο των

πληροφοριών για τη μετάδοση ανερχόμενης ζεύξης προς το eNodeB. Μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά του ελέγχου μετάδοσης ανερχόμενης ζεύξης είναι τα ακόλουθα(Hussain, 2009):

1) Τυχαία Προσπέλαση (RandomAccess)

2) Σύνδεσμος Προσαρμογής (LinkAdoption)

Η ισχύς εκπομπής, η διαμόρφωση, το κανάλι ρυθμού κωδικοποίησης και μετάδοσης προσαρμόζονται με βάση το CQI.

3) Προγραμματισμός Ανερχόμενης Ζεύξης (UplinkScheduling)

Οι πόροι της ανερχόμενης ζεύξης χρόνου/συχνότητας προγραμματίζονται στο eNodeB βασισμένοι στην ποιότητα της υπηρεσίας.

Η απόφαση του προγραμματισμού ανερχόμενης ζεύξης μεταδίδεται στο UE για PDCCH.

4) Έλεγχος χρονισμού ανερχόμενης ζεύξης

Η χρονική ευθυγράμμιση από UE στο eNodeB είναι αναγκαία για την επιτυχή μετάδοσή τους.

5) HybridARQ

Το αυτόματο υβριδικό αίτημα επανάληψης, χρησιμοποιείται από eNodeB ώστε να ζητήσει από το UE να αναμεταδώσει τα εσφαλμένα πακέτων δεδομένων που έχουν ληφθεί.

2.3.3 LTE – ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΡΩΜΑ (Layer 2 - MAC, RLC, PDCP)

Το δευτεροστρώμα του LTE αποτελείται από τρία υποστρώματα που ονομάζονται MAC (MediumAccessControl), RLC (RadioLinkControl), και PDCP (PacketDataπρωτόκολλο σύγκλισης). Αντίστοιχα, οι λειτουργίες του τρίτου στρώματος RRC (RadioResourceControl) περιλαμβάνει την διακυτταρική παρεμβολή ελέγχου και την διαχείριση κινητικότητας. Μερικές βασικές λειτουργίες του δεύτερου στρώματος του πρωτοκόλλου LTE είναι(Zarrinkoub, 2014):

Χαρτογράφηση λογικού κανάλιου στο φυσικό κανάλι

Το φυσικό στρώμα παρέχει ένα κανάλι μετάδοσης στο δεύτερο στρώμα. Η χαρτογράφηση των λογικών καναλιών σε φυσικά κανάλια για την μετάδοση της πληροφορίας είναι αρμοδιότητα του δεύτερου στρώματος(Hussain, 2009).

Κατάτμηση και επανασυναρμολόγηση του RLC PDU

Τα PDU που λήφθηκαν στο eNodeB για να μεταδοθούν προς το UE μπορεί να μην είναι παραδοτέα, λόγω του μεγέθους PDU(Hussain, 2009).

Διασφάλιση δεδομένων Παράδοση - ARQ / ΗΑΠΟ

Η παράδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων του δικτύου είναι εξασφαλισμένη λόγω του ARQ (Automatic RepeatRequest) στο δεύτερο στρώμα (RLC, PDCP), ενώ ΗΑΡQ (Hybrid

Automatic RepeatRequest) χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει την παράδοση των δεδομένων μεταξύ του φυσικού στρώματος και των αντίστοιχων δικτυακών οντοτήτων. Το πρωτόκολλο LTE χρησιμοποιεί σύγχρονη HARQ στην ανερχόμενη ζεύξη, ενώ στην κατερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιεί ασύγχρονη HARQ(Hussain, 2009).

Επιλογή φορμάς μεταφορών

Η επιλογή φορμάς μεταφοράς περιλαμβάνει την επιλογή του συστήματος κωδικοποίησης και της τεχνικής διαμόρφωσης που ταιριάζει καλύτερα στις απαιτήσεις των χρηστών και την κατάσταση του καναλιού(Hussain, 2009).

2.3.4 ΈΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ (PowerControl) / ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΥΘΜΟΥ (DynamicRateControl)

Ο έλεγχος ισχύος είναι πολύ σημαντικός για τις ποικίλες συνθήκες του καναλιού ισχύος ώστε να διατηρήσει την απαιτούμενη αναλογία σήματος προς θόρυβο (E_b/N_0). Η ισχύς μετάδοσης αυξάνεται από τον ελεγκτή ισχύος στο σταθμό βάσης. Έτσι το σήμα μπορεί να φτάσει στον δέκτη σε αρκετά καλή κατάσταση(Hussain, 2009). Ο έλεγχος ισχύος είναι πολύ σημαντικός σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως υπηρεσιών φωνής και πολυμέσων που φέρουν πολύ χαμηλά σφάλματα μετάδοσης. Όμως, σε άλλες υπηρεσίες δεδομένων, όπως το FTP είναι μικρότερης σημασίας, καθώς αυτές οι υπηρεσίες απαιτούν ρυθμό δεδομένων όσον το δυνατόν πιο υψηλό(Hussain, 2009).

Ο δυναμικός έλεγχος ρυθμού χρησιμοποιείται για υπηρεσίες δεδομένων, τα οποία δεν απαιτούν σταθερό ρυθμό δεδομένων αλλά ένα διατηρήσιμο λόγο σήματος προς θόρυβο για την επιτυχή επικοινωνία. Ο δυναμικός έλεγχος ρυθμού είναι αντιστρόφως ανάλογος με τον έλεγχο ισχύος. Σύγχρονες τεχνολογίες όπως το LTE έχουν προσαρμόσει τις αποτελεσματικές μεθόδους του ελέγχου ισχύος και του δυναμικού ελέγχου ρυθμού για την αύξηση των δεδομένων και τον περιορισμό του εύρους ζώνης(Hussain, 2009).

2.3.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΙΔΙΟΠΟΡΩΝ (Radio Resource Scheduling)

Προγραμματισμός πόρων ραδιοσυχνοτήτων είναι μια διαδικασία στην οποία τα μπλοκ των πόρων κατανέμεται μεταξύ των User Equipments(UEs). Στο πρωτόκολλο LTE ο αλγόριθμος προγραμματισμού διαθέτει τους πόρους ραδιοσυχνοτήτων για τους χρήστες για την αρχική μετάδοση(Hussain, 2009). CQI εκθέσεις (Channel Quality Indicator) συλλέγονται από τα UEs και αν ξαφνικά το οι συνθήκες καναλιού αλλάξουν, τότε το στρώμα MAC μπορεί να αποφασίσει την ανακατανομή των πόρων του δικτύου για την περαιτέρω διαβίβαση ή μπορεί να ξαναξεκινήσει τη μετάδοση επιλέγοντας νέα σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Πριν ο κόμβος eNodeB εκχωρήσει την τεχνική διαμόρφωσης και τον ρυθμό κωδικοποίησης σε ένα UE, πρέπει να δημιουργήσει μπλοκ ραδιο-πόρων. Λόγω της ταχείας μεταβαλλόμενης φύσης της ποιότητας του καναλιού πρέπει να υπάρχει ένας αρκετά γρήγορος αλγόριθμος προγραμματισμού για να αντισταθμίσει τις μεταβαλλόμενες συνθήκες του καναλιού(Hussain, 2009).

2.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ

Ένας αριθμός των αλγορίθμων προγραμματισμού πόρων ραδιοσυχνοτήτων έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία και περιγράφονται εν συντομία στις ακόλουθες υποενότητες.

2.4.1 PROPORTIONALFAIRNESS RESOURCE ALLOCATION

Στον αλγόριθμο προγραμματισμού ProportionalFairness για OFDMA, η προτεραιότητα για κάθε χρήστη σε κάθε μπλοκ ραδιοπόρων (ResourceBlock/RB) υπολογίζεται και στη συνέχεια ο χρήστης με τη μέγιστη προτεραιότητα του εκχωρείται το αντίστοιχο RB και ο αλγόριθμος συνεχίζει να εκχωρεί το RB στον εκάστοτε χρήστη με την επόμενη μέγιστη προτεραιότητα (Habaebi, 2013). Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου όλα τα μπλοκ ραδιοπόρων έχουν επιδοθεί στους χρήστες του καναλιού. Η προτεραιότητα του k-οστού χρήστη για j-μπλοκ των πόρων στο χρόνο 'n' υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{kj}(n) = RDR_{kj}(n) / R_k(n)$$

Εδώ το $RDR_{kj}(n)$ συμβολίζει το ζητηθέντα ρυθμό δεδομένων για το k-οστό χρήστη πάνω από το j-μπλοκ ραδιοπόρων RB στο χρόνο n και $R_k(n)$ είναι ο φιλτραρισμένος με κατωδιαβατό φίλτρο μέσος όρος ρυθμός δεδομένων του k-οστού χρήστη. RDR υπολογίζεται χρησιμοποιώντας AMC επιλογή (Adaptive Modulation and Coding - Προσαρμοστική Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση), η οποία βασίζεται στην τρέχουσα κατάσταση του καναλιού μετάδοσης. Για την αναμετάδοση η RDR είναι σαφώς διαχωρισμένη από το RDR των νέων αιτήσεων των πόρων, καθώς η αναμετάδοση πρέπει να αντιμετωπίζονται ειδικά για να εγγυηθεί επιτυχή λήψη των δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή RDR υπολογίζεται ως εξής:

$$RDR_{kj} = R_{MCS}(SNR_{AC})$$

Εδώ η R_{MCS} είναι η συνάρτηση εκτίμησης ρυθμού και SNR_{AC} είναι ο συσσωρευμένος λόγος σήματος προς θόρυβο μέσω του καναλιού μετάδοσης. Σε κάθε διάστημα προγραμματισμού, ο $R_k(N)$ ενημερώνεται με την παρακάτω αναδρομική σχέση (Hussain, 2009):

$$R_k(n+1) = (1-\alpha) * R_k(N) + \alpha * RDR_k(n)$$

όπου 'α' είναι το μέσο μέγεθος παραθύρου και $RDR_k(n)$ είναι το συνολικό ποσοστό των δεδομένων του χρήστη k στον χρόνο n.

2.4.2 SOFT FREQUENCY REUSE SCHEDULING ALGORITHM

Προκειμένου να μειωθεί η επιλεκτική συχνότητα προγραμματισμού για την απώλεια κέρδους και να αυξηθεί το ποσοστό των δεδομένων στην άκρη των κυψελών-κυττάρων, προτείνεται το σύστημα πιο ομαλής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Σε αυτό το καθεστώς, ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων, τόσο στο κέντρο των κυττάρων όσο και στο άκρο αυτών είναι μονάδα (Hussain, 2009). Το μέγεθος της υψηλής συχνότητας ισχύος είναι διαφορετικό μεταξύ των γειτονικών κυττάρων. Ο σχεδιασμένος προγραμματιστής συχνότητα

‘τρέχει’ με έναν τέτοιο τρόπο ώστε οι χρήστες του άκρου του κυττάρου έχουν πολύ μεγάλη πιθανότητα να χρησιμοποιήσουν τη ζώνη συχνοτήτων καταναλώνοντας μεγάλη ισχύ, ενώ οι χρήστες του κέντρου του κυττάρου έχουν μεγάλη πιθανότητα να χρησιμοποιήσουν τη ζώνη συχνοτήτων καταναλώνοντας μικρή ισχύ. Αυτός ο αλγόριθμος σχετίζεται με την προηγούμενη μορφή και η μαθηματική απεικόνισή του είναι η εξής(Hussain, 2009):

$$P_{k,j}(n) = RDR_{k,j}(n) / R_k(n) * F_{k,j}$$

όπου $F_{k,j}$ είναι ο παράγοντας προτεραιότητας και μπορεί να πάρει τιμές από μηδέν έως ένα. Εδώ μπορούμε εύκολα να ορίσουμε τις τιμές $F_{k,j}$ για να ελέγξουμε την εκχώρηση των πόρων στους χρήστες στο κέντρο των κυττάρων και στην άκρη των κυττάρων(Hussain, 2009).

2.4.3 ROUDNROBINSCHEDULINGALGORITHM

Ο πρώτος χρήστης εξυπηρετείται με ολόκληρο το φάσμα συχνοτήτων για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, και στην συνέχεια, οι πόροι αυτοί ανατίθενται στον επόμενο χρήστη για μια άλλη χρονική περίοδο. Ο χρήστης ο οποίος έχει ήδη εξυπηρετηθεί τοποθετείται στο τέλος της ουράς αναμονής και μπορεί να χρησιμοποιήσει τους ραδιοπόρους στον επομενο γύρο υπηρεσίας. Οι νέες αιτήσεις τοποθετούνται επίσης στην ουρά της αναμονής. Αυτό προγραμματισμός συνεχίζεται με τον ίδιο τρόπο(Habaebi, 2013). Το σύστημα αυτό προσφέρει μια μεγάλη ισότητα μεταξύ των χρηστών των ραδιοπόρων, αλλά δεν είναι πρακτικό στην τεχνολογία Long Term Evolution καθώς ένας χρήστης εξυπηρετείται σε ένα χρονικό διάστημα και αυτό υποβαθμίζει σημαντικά το σύνολο της απόδοσης του συστήματος.

2.4.4 RESOURCESCHEDULING ALGORITHM WITH MAXIMUM INTERFERENCE

Στη μέθοδο αυτή, οι χρήστες έχουν προγραμματιστεί να χρησιμοποιούν τους πόρους ραδιοσυχνοτήτων με βάση τη μέγιστη συνολική παρέμβαση. Το σύστημα σχετίζεται άμεσα με τον τρόπο που οι χρήστες έχουν πραγματοποιήσει παρεμβολές στο σύστημα κατά το παρελθόν. Με άλλα λόγια, ο χρήστης με το χειρότερο ποσοστό CQI κατατάσσεται πιο ψηλά στην λίστα αναμονής ώστε να αξιοποιήσει τα φυσικά μπλοκ των πόρων για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα(Habaebi, 2013). Η σχέση κατάξης δίνεται από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$K = \arg \max (\gamma_k(t))$$

όπου ‘ γ ’ είναι το διάλυσμα που υποδηλώνει τις παρεμβολές των χρηστών σε χρόνο t .

Στην πρώτη παράγραφο παρουσιάστηκαν τα πρότυπα ασύρματων επικοινωνιών πρότερα των δικτύων τέταρτης γενιάς. Δόθηκαν αναλυτικά γραφήματα της συμπεριφοράς των προτύπων/συστημάτων που κυριαρχούσαν στις ασύρματες και κινητές επικοινωνίες τα προηγούμενα χρόνια: GSM, MIMO, IEEE 802.11n, IEEE 802.16. Στην δεύτερη παράγραφο αυτού του κεφαλαίου αναφέρθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά του 4G/LTE. Έγινε αναφορά στο πως κύρια στοιχεία προηγούμενων προτύπων συμμετείχαν στον σχεδιασμό του δικτύου τέταρτης γενιάς. Πέντε βασικά στοιχεία αναλύθηκαν σε αυτήν την παράγραφο: OFDM, SC-FDM, MIMO, TurboChannelCoding, LinkAdaption. Στην τρίτη παράγραφο επικεντρωθήκαμε στην ανάλυση

των τεχνικών χαρακτηριστικών του προτύπου LTE. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης κάτω ζεύξης και άνω ζεύξης, και τα βασικά σημεία λειτουργίας των τριών στρώματων του LTE. Η τέταρτη παράγραφος έδωσε τους βασικούς αλγορίθμους προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες της τεχνολογίας 3GPP LTE.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

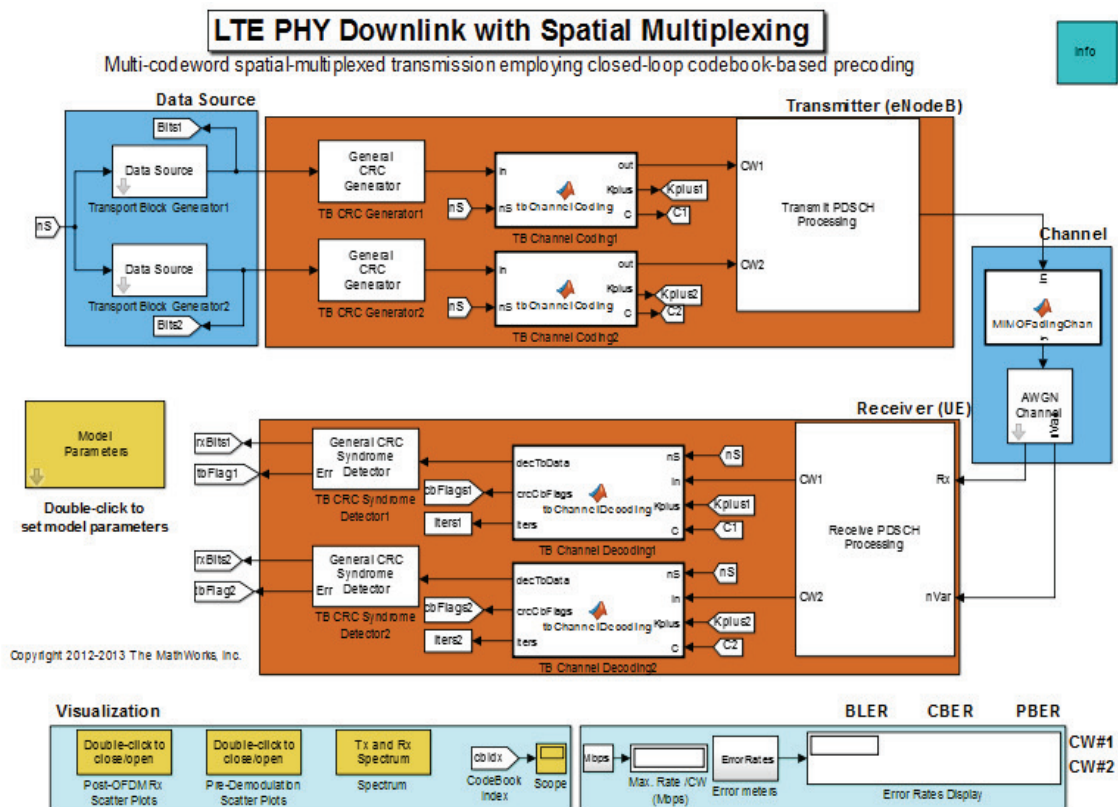
Στην συγκεκριμένο κεφάλαιο θα επικεντρωθούμε στην ψηφιακή επεξεργασία σήματος στο φυσικό επίπεδο των δικτύων ραδιοφωνικής προσπέλασης. Η μοντελοποίηση του φυσικού στρώματος περιλαμβάνει όλη την επεξεργασία που πραγματοποιείται σε bits δεδομένων που εκδίδονται από τα ανώτερα στρώματα του φυσικού στρώματος. Αυτό περιγράφει 1) πώς τα διάφορα κανάλια μεταφοράς αντιστοιχούν σε φυσικά κανάλια, 2) πώς η επεξεργασία σήματος εκτελείται σε κάθε ένα από αυτά τα κανάλια, και 3) πώς τα δεδομένα τελικά μεταφέρονται στην κεραία για εκπομπή (Zarrinkoub, 2014). Το παρόν κεφάλαιο χωρίζεται σε 3 κύριους άξονες. Στον πρώτο άξονα μοντελοποιούμε το φυσικό στρώμα καθοδικής ζεύξης του προτύπου LTE βασίζόμενοι σε υπάρχον μοντέλο της Mathworks, χρησιμοποιώντας χωρική πολύπλεξη. Πάνω σε αυτό το μοντέλο του Simulink διαφοροποιούμε κάποιες παραμέτρους και ελέγχουμε την συμπεριφορά του συστήματος. Το αποτέλεσμα επικεντρώνεται στην συμπεριφορά του σήματος κατά την διαδικασία εκπομπής και λήψης. Η συγγραφέας κάνει χρήση της τεχνικής PDSCH. Στον δεύτερο άξονα μοντελοποιούμε την καθοδική ζεύξη του PDSCH με χρήση πολυμορφίας μετάδοσης. Πάνω σε υπάρχον μοντέλο διαφοροποιούμε κάποιες παραμέτρους και ελέγχουμε την συμπεριφορά του συστήματος. Το αποτέλεσμα επικεντρώνεται πάλι στην συμπεριφορά του σήματος κατά την διαδικασία εκπομπής και λήψης. Αυτό μας οδηγεί στην σύγκριση των αποτελεσμάτων σχετικά την δυναμική του σήματος και το ποσοστό σφάλματος. Στον τρίτο άξονα παρουσιάζουμε τα γραφήματα MIMO συστημάτων τα οποία δείχνουν την συμπεριφορά του LTE προτύπου βασίζόμενοι σε αλγορίθμους ραδιοπύλων.

3.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ 4G/LTE

Το μοντέλο του σήματος που ακολουθεί, δείχνει τις διαδικασίες μετάδοσης και λήψης σήματος στο φυσικό στρώμα κατερχόμενης ζεύξης (Downlink Shared Channel → eNodeB στο UE) του πρωτοκόλλου Long Term Evolution (LTE). Το παράδειγμα αυτό αναδεικνύει το σύστημα μετάδοσης πολλαπλών κεραιών που επιτρέπει πολύ υψηλές ταχύτητες δεδομένων. Για τις πολλαπλές λειτουργίες μετάδοσης της κεραίας που ορίζονται στο παράδειγμα χρησιμοποιείται χωρική πολύπλεξη μετάδοσης χρησιμοποιώντας προ-κωδικοποίηση. Κάθε ένα από τα παραπάνω κομμάτια αποτελείται από υπο-μοντέλα στο Simulink και ξεχωριστές συναρτήσεις στο Matlab. Το μοντέλο που δίνεται προέρχεται από τις βιβλιοθήκες του Communication Toolbox του Simulink (Mathworks, 2014). Τα βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου του φυσικού στρώματος είναι (Zarrinkoub, 2014):

- DataSource – Πηγή Σήματος

- Transmitter (eNodeB) – Πομπός
- Channel – Κανάλι Επικοινωνίας/Μετάδοσης
- Receiver (UEs) – Δέκτης
- Model parameters – Παράμετροι Μοντέλου
- Visualization – Απεικόνιση Αποτελεσμάτων



Σχήμα 3.1 LTE Φυσικό Στρώμα Καθοδικής Ζεύξης με Χωρική Πολύπλεξη (Zarrinkoub, 2014)

Χωρική πολυπλεξία είναι μια τεχνική μετάδοσης σε συστήματα ασύρματης επικοινωνίας πολλαπλής εισόδου-πολλαπλής εξόδου για τη μετάδοση ανεξάρτητων και χωριστά κωδικοποιημένων σημάτων δεδομένων από κάθε μία από τις πολλαπλές κεραίες εκπομπής. Ως εκ τούτου, η διάσταση επαναχρησιμοποιείται, ή πολυπλέκεται, περισσότερο από μία φορά.

Τα βασικά στοιχεία που επισημαίνονται στο παράδειγμα, περιλαμβάνουν (Mathworks, 2014):

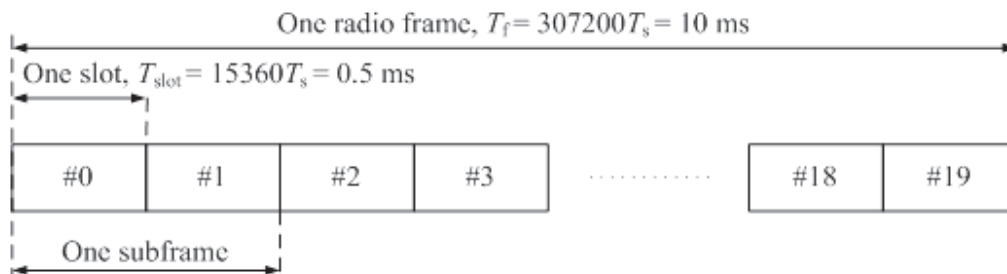
- CRCKωδικοποίηση
- Τυρβοκωδικοποίηση
- Επίπεδο κρυπτογράφησης δεδομένων
- Διαμόρφωση δεδομένων (QPSK, 16QAM ή 64QAM)
- Χαρτογράφηση για δύο και τέσσερις κεραίες
- Προκωδικοποίηση

- Χαρτογράφηση των πόρων του συστήματος
- OFDM Δημιουργία Σήματος

Το μοντέλο Simulink χρησιμοποιεί χρώματα για να τονίσει το σκοπό των διαφόρων στοιχείων:

- Πορτοκαλί μπλοκ - Τμήμα επεξεργασίας καναλιού κάτερχόμενης ζεύξης (Πομπός - Δέκτης),
- Γαλάζιο μπλοκ – Σύστημα Πολλαπλής Εισόδου-Εξόδου (MIMO)/ Είσοδος Συστήματος
- Κίτρινο μπλοκ – Τμήμα παραμετροποίησης

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας (δημιουργία υπο-φορέων) που χρησιμοποιείται στο φυσικό στρώμα του πρωτοκόλλου LTE.



Σχήμα 3.2 Αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας (FDD)(Mathworks, 2014)

Επεξεργασία Φυσικού Καναλιού (PDSCH – PhysicalChannelProcessing)

Ένα φυσικό κανάλι αντιστοιχεί σε ένα σύνολο πόρων χρόνου-συχνότητας που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ενός συγκεκριμένου καναλιού μεταφοράς. Κάθε κανάλι μεταφοράς χαρτογραφεί το φυσικό κανάλι του παραδείγματος. Το κανάλι PDSCH είναι το κύριο φυσικό κανάλι που χρησιμοποιείται για την μονομερή μετάδοση δεδομένων. Το συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιεί χωρική πολύπλεξη μετάδοσης και η επεξεργασία κατερχόμενης ζεύξης περιλαμβάνει(Mathworks, 2014):

Κρυπτογράφηση(Scrambling)

Τακωδικοποιημένα δεδομένα του καναλιού μεταφοράς κρυπτογραφούνται με βάση το πρωτόκολλο LTE. Η αλληλουχία κρυπτογράφησης εξαρτάται από την ταυτότητα των κυττάρων του φυσικού στρώματος. Για να εξασφαλιστεί η τυχαιοποίηση παρεμβολών μεταξύ των κυττάρων, το παράδειγμα υποθέτει ένα δίκτυο κυψελών που ακολουθεί το πρωτόκολλο LTE.

Διαμόρφωση δεδομένων (DataModulation)

Η διαμόρφωση των δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης μετατρέπει τα κωδικοποιημένα bits σε πολύπλοκα διαμορφωμένα σύμβολα. Το σύνολο των συστημάτων διαμόρφωσης περιλαμβάνει είδη QPSK, 16QAM και 64QAM, που αντιστοιχούν σε δύο, τέσσερις, και έξι

bits ανά σύμβολο διαμόρφωσης αντίστοιχα(Mathworks, 2014). Το σχήμα διαμόρφωσης επιλέγεται από την παράμετρο τύπου PDSCH διαμόρφωσης.

Χαρτογράφηση Στρώματος (Layer Mapping)

Δεδομένου ότι υποτίθεται μετάδοση πλήρους βαθμού, ο αριθμός των στρωμάτων είναι ίσος με τον αριθμό των κεραιών μεταδόσεως (ο τελευταίος προσδιορίζεται από την παράμετρο διαμόρφωσης κεραίας)(Mathworks, 2014).

Χαρτογράφηση Πόρων(Resource Element Mapping)

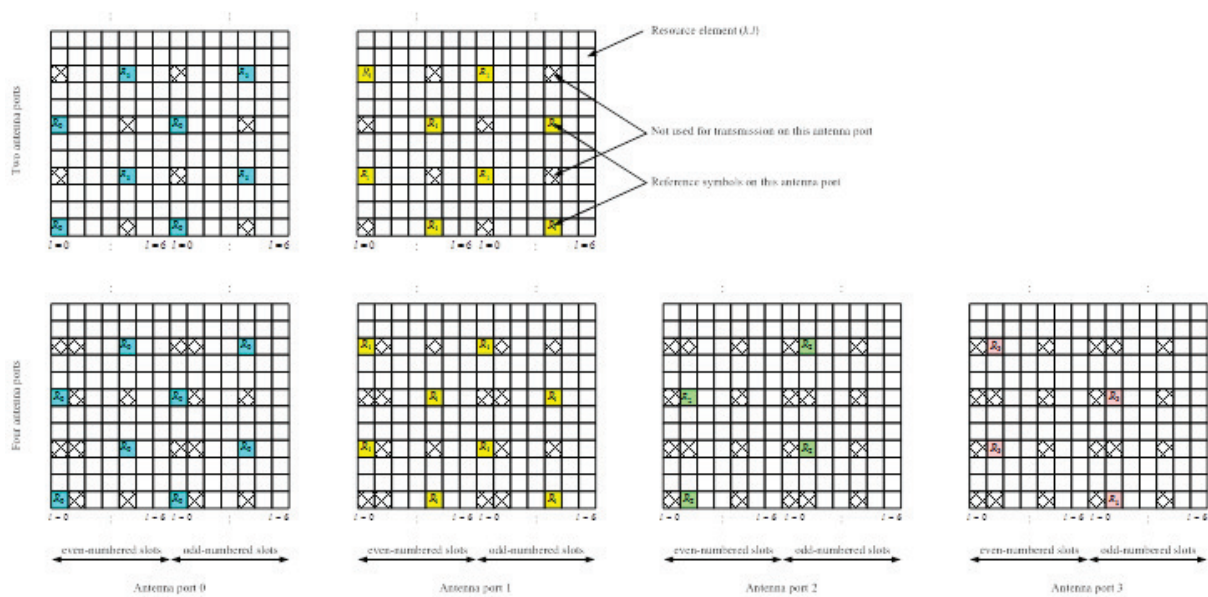
Τα προ-κωδικοποιημένα σύμβολα που πρέπει να διαβιβάζονται σε κάθε κεραία αντιστοιχίζονται με τα στοιχεία των μπλοκ πόρων που διατίθενται για τη μετάδοση. Ο αριθμός των διαθέσιμων μπλοκ των πόρων είναι συνάρτηση της παραμέτρου του εύρους ζώνης καναλιού. Για την επιλεγμένη διαμόρφωση, κάθε μπλοκ πόρων αντιστοιχεί σε 12 υπο-φορείς. Ως εκ τούτου, σε εύρος ζώνης καναλιού 20 MHz, τα 100 διαθέσιμα μπλοκ ραδιοπόρων καταλαμβάνουν 18 MHz εύρος ζώνης καναλιού(Mathworks, 2014).

Channel bandwidth BW_{Channel} [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Transmission bandwidth configuration N_{RB}	6	15	25	50	75	100

Σχήμα 3.3 Εύρος Ζώνης Καναλιού συναρτήσει αριθμού διαθέσιμων πόρων (Mathworks, 2014)

Ειδικά Σήματα αναφοράς(Cell-Specific Reference Signals)

Το πιο βασικό από τα σήματα αναφοράς LTE, τα σήματα Cell-Specific Reference προσδιορίζονται για μία, δύο ή τέσσερις κεραιές σε ένα κύτταρο και χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση καναλιού στο δέκτη. Αυτό το παράδειγμα μοντελοποιεί τη δομή των σημάτων CSRSignals, ανά μπλοκ των πόρων, που χρησιμοποιούνται για δύο και τέσσερις κεραιές, όπως φαίνεται παρακάτω(Mathworks, 2014).



Σχήμα 3.4 Χαρτογράφηση Πόρων και Ειδικά Σήματα Αναφοράς (Mathworks, 2014)

Σημειώστε ότι για το στοιχείο των πόρων που φέρει το σήμα αναφοράς στην βασική κεραία, τα αντίστοιχα στοιχεία των πόρων σε άλλες κεραίες έχουν μηδενική μεταδόση. Αυτό επιτρέπει στα σήματα CSR να μεταδίδονται χωρίς παρεμβολές(Mathworks, 2014).

OFDMTransmission

Το μιγαδικό σήμα ανά κεραία παράγεται από το ολοκληρωμένο πλέγμα πόρων, χρησιμοποιώντας έναν OFDM διαμορφωτή. Ο αριθμός των σημείων FFT εξαρτάται από το εύρος ζώνης καναλιού(Mathworks, 2014). Σημαντικό ρόλο στην OFDMμετάδοση παίζει και το κυκλικό πρόθεμα του σήματος.

Μοντέλο Καναλιού MIMO

Το μπλοκ MIMO Fading Κανάλι εφαρμόζει τις MIMO ξεθώριασμα προφίλ σύμφωνα με το παράρτημα B.2 του προτύπου LTE [4]. Τα υψηλότερα προφίλ κινητικότητας αποκλείεται η κλειστού βρόχου χωρικής λειτουργίας πολυπλεξίας θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε υψηλή ταχύτητα δεδομένων και μόνο χαμηλές σενάρια κινητικότητας. Χρησιμοποιεί το αντικείμενο comm.LTEMIMOChannel συστήματος και το αντικείμενο comm.MIMOChannel Συστήματος, με χαμηλή ρύθμιση συσχέτιση μεταξύ των πολλαπλών συνδέσεων(Mathworks, 2014).

Επεξεργασία Δέκτη(UE) (Receiver Processing)

Τα κύρια στοιχεία της επεξεργασίας του δέκτη (στο UE) περιλαμβάνουν:

OFDMReception

Ο δέκτης μετατρέπει την δομή του δικτύου στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας, χρησιμοποιώντας την διεργασία της αποδιαμόρφωσης(Mathworks, 2014).

MIMO Υποσύστημα Δέκτη

Το MIMO υποσύστημα του δέκτη απαρτίζεται από 3 βασικά στοιχεία: 1) την εκτίμηση του καναλιού (σχετίζεται με την εκτίμηση ελαχίστων τετραγώνων και επικεντρώνεται στην μείωση παρεμβολών και θορύβου), 2) την επιλογή του κατάλληλου 'βιβλίου' κώδικα (χρήση κριτηρίου της ελάχιστης μέσης-τετράγωνο-σφάλματος (MMSE) για τον υπολογισμό του δείκτη του βιβλίου ανά υποπλαίσιο) 3) τον δέκτη πολλαπλής εισόδου-εξόδου (χρήση γραμμικού γραμμικού δέκτη MMSE για την καταπολέμηση της παρεμβολής από τις πολλαπλές μεταδόσεις της κεραίας.)(Mathworks, 2012)

TRANSMITTER/ΠΟΜΠΟΣ

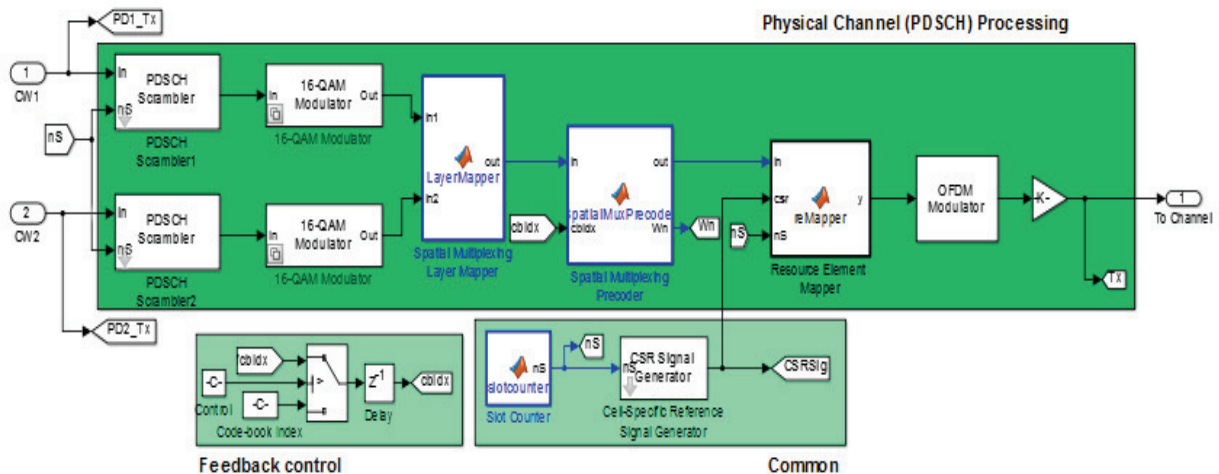
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό του πομπού του συστήματος. Ο συγκεκριμένος πομπός διαθέτει τρία βασικά στοιχεία των οποίων οι συναρτήσεις και τα διαγράμματα δίνονται σε αυτήν την παράγραφο. 1) GeneralCRCGenerator 2) ChannelCoding και 3) TransmitPDSCHprocessing(Mathworks, 2014)

Channel Coding(Mathworks, 2014)

```
function [out, Kplus, C] = tbChannelCoding(in, nS, prmLTEDLSCH, prmLTEPDSCH)
% Transport block channel coding
%
[out, Kplus, C] = commExamplePrivate('lteTbChannelCoding', ...
```

```
in, nS, prmLTEDLSCH, prmLTEPDSCH);
```

TransmitPDSCHprocessing



Σχήμα 3.5 PDSCH Μετάδοσης(Mathworks, 2014)

RECEIVER/ΔΕΚΤΗΣ

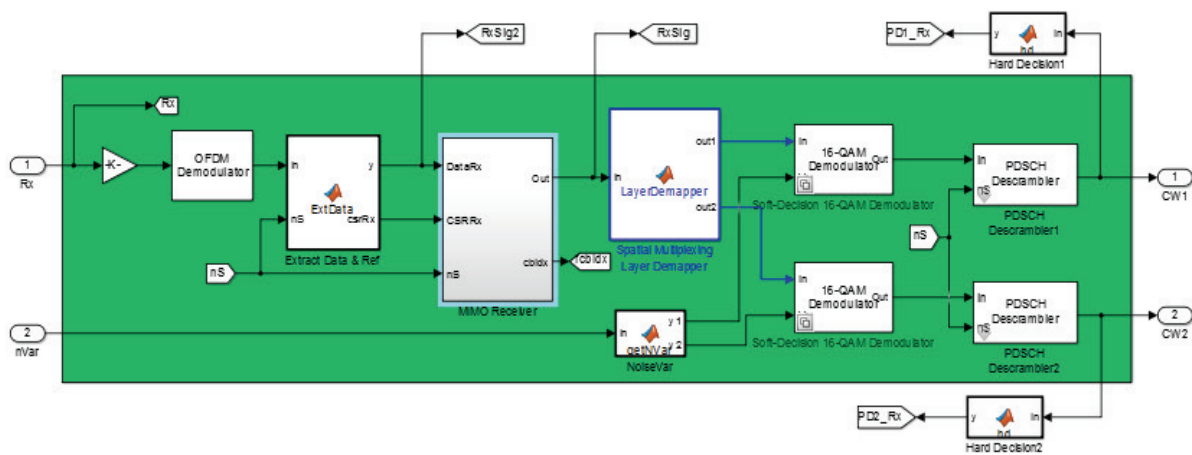
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό του δέκτη του συστήματος. Ο συγκεκριμένος δέκτης διαθέτει τρία βασικά στοιχεία των οποίων οι συναρτήσεις και τα διαγράμματα δίνονται σε αυτήν την παράγραφο. 1) ReceivePDSCHprocessing, 2) ChannelDecoding, 3) GeneralCRCSyndrome Detector(Mathworks, 2014).

ChannelDecoding(Mathworks, 2014)

```
function [decTbData, crcCbFlags, iters] = tbChannelDecoding(nS, in, Kplus,...  
C, prmLTEDLSCH, prmLTEPDSCH)  
% Transport block channel decoding  
% Key:  
% CB: Code Block  
% TB: Transport Block  
% Reference:  
% "3GPP Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved  
% Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel  
% coding (Release 10)", 3GPP TS 36.212 v10.0.0 (2010-12).  
%#codegen
```

```
[decTbData, crcCbFlags, iters] = commExamplePrivate('lteTbChannelDecoding', ...  
nS, in, Kplus, C, prmLTEDLSCH, prmLTEPDSCH);
```

ReceivePDSCHprocessing



Σχήμα 3.6 PDSCH Λήψης(Mathworks, 2014)

3.2 ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η παρακάτω ενότητα παρουσιάζει τα αποτελέσματα των σεναρίων της μοντελοποίησης στο Matlab/Simulink. Υπάρχουν 3 ενότητες μοντελοποίησης: 1) φυσικό στρώμα καθοδικής ζεύξης του προτύπου LTE χρησιμοποιώντας χωρική πολύπλεξη, 2) καθοδική ζεύξη του PDSCH με χρήση πολυμορφίας μετάδοσης, και 3) MIMO συστήματα τα οποία δείχνουν την συμπεριφορά του LTE προτύπου βασίζόμενοι σε αλγορίθμους ραδιοπόρων. Τα σεναρία τα οποία εξετάζονται στο συγκεκριμένο μοντέλο σχετίζονται με την αλλαγή παραμέτρων σε δύο βασικά στοιχεία του μοντέλου. Η πρώτη παράμετρος στην οποία επικεντρωνόμαστε είναι οι ρυθμίσεις της κεραίας και η δεύτερη παράμετρος έχει σχέση με το είδος της διαμόρφωσης του συστήματος (QPSK / 16QAM/ 64QAM). Οι παρακάτω διαδικασίες φανερώουν ακριβώς την πορεία του σήματος μέσα στο Φυσικό Στρώμα Καθοδικής Ζεύξης με Χωρική Πολύπλεξη (Mathworks, 2014):

Πηγή δεδομένων

Δημιουργία τυχαίων λέξεων bits διαφορετικού μήκους.

Γεννήτρια CRC

Κυκλικός Κώδικας Πλεονασμού (CRC) που δημιουργείται για κάθε πλαίσιο δεδομένων εισόδου. Αυτό το μπλοκ δέχεται ένα δυαδικό σήμα εισόδου διάνυσμα στήλης.

Κωδικοποίηση Καναλιού

Κωδικοποίηση Καναλιού Μετάδοσης

Re-Mapper

Πλήρωση του δικτύου των πόρων

PDSCH Scrambler

Η PDSCH είναι το κύριο κανάλι που φέρει τα στοιχεία που διατίθενται για τους χρήστες. Το διάστημα μετάδοσης χρόνου είναι 1 ms. Η PDSCH χρησιμοποιείται επίσης για τη μετάδοση πληροφοριών εκπομπής

Ορθογώνια Διαμόρφωση Βάσης

Διαμορφώνει το σήμα εισόδου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο διαμόρφωσης ορθογώνιου τετραγωνισμού πλάτους. Αυτό το μπλοκ δέχεται ένα βαθμωτό σήμα εισόδου. Το σήμα εισόδου μπορεί να είναι είτε bits είτε ακέραιοι αριθμοί. Όταν ορίζετε τον τύπο εισόδου, το πλάτος της εισόδου πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του αριθμού των bits ανά σύμβολο.

Layer Mapper

Παρέχει τον τρόπο για την χαρτογράφηση της πληροφορίας του σήματος σε κάθε στρώμα επικοινωνίας.

OFDM διαμορφωτής

Ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) είναι μια μέθοδος που κωδικοποιεί ψηφιακά δεδομένα σε πολλαπλές φέρουσες συχνότητες. Εφαρμόζεται διαμόρφωση OFDM στο σήμα εισόδου. Ενεργοποίηση σήματος εισόδου σε καθορισμένους φορείς πριν από την διαμόρφωση.

Fading Κανάλι

Στις ασύρματες επικοινωνίες, ο όρος fading χρησιμοποιείται για την απόκλιση από την εξασθένιση ενός διαμορφωμένου φορέα κατά την διάρκεια της διάδοσης του σήματος. Η εξασθένιση μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο, τη γεωγραφική θέση και τις ραδιοσυχνότητες, και συχνά μοντελοποιείται ως μια τυχαία διαδικασία. Το fadingchannel είναι ένα κανάλι επικοινωνίας που αντιμετωπίζει το παραπάνω φαινόμενο.

Κανάλι AWGN

Ένα AWGN κανάλι προσθέτει λευκό θόρυβο Gaussian στο σήμα που περνά μέσα από αυτό.

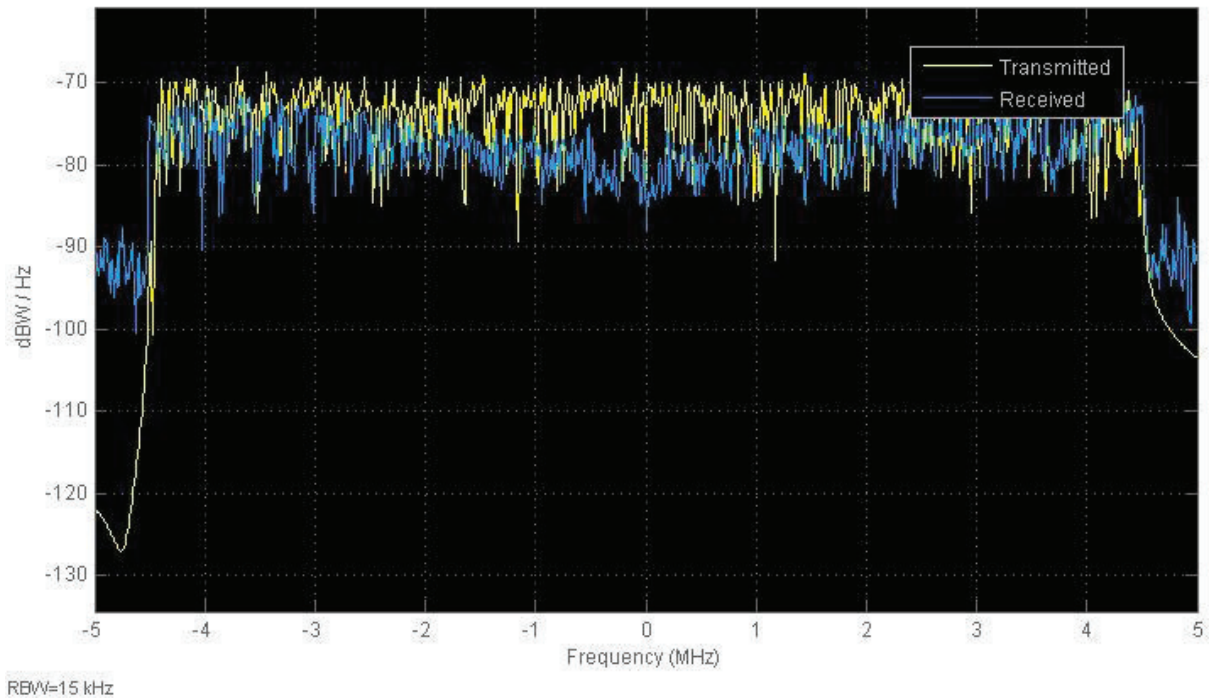
3.2.1 ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗΣ

Στην πρώτη ομάδα σεναρίων μελετούμε το φυσικό στρώμα καθοδικής ζεύξης του προτύπου LTEβασιζόμενοι σε υπάρχον μοντέλο της Mathworks, χρησιμοποιώντας χωρική πολύπλεξη. Τα σενάρια τα οποία εξετάζονται στο συγκεκριμένο μοντέλο σχετίζονται με την αλλαγή παραμέτρων σε δύο βασικά στοιχεία του μοντέλου. Η πρώτη παράμετρος στην οποία επικεντρωνόμαστε είναι οι ρυθμίσεις της κεραίας. Αρχικά υπάρχουν δύο επιλογές στην ρύθμιση της κεραίας του μοντέλου (2x2 ή 4x4). Η δεύτερη παράμετρος έχει σχέση με το είδος της διαμόρφωσης του συστήματος. Αρχικά υπάρχουν τρία είδη διαμόρφωσης (QPSK / 16QAM/ 64QAM). Βασιζόμενοι σε αυτά τα στοιχεία, δημιουργούμε 6 κύρια σενάρια στα οποία μελετάμε την κυματομορφή σήματος κατά την διαδικασία εκπομπής και λήψης.

ΣΕΝΑΡΙΟ 1

PARAMETERS	VALUES
Chan.Bandwidth (MHz)	10
AntennaConfiguration	2x2
PDSCHModulationType	QPSK
FadingChannelModel	EPA 0
SNR (dB)	12.1
Control Region	2
Number of iterations	8

Πίνακας 3.1α Παράμετροι Εισόδου LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (QPSK2x2)



Γράφημα 3.7α LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (QPSK2x2)

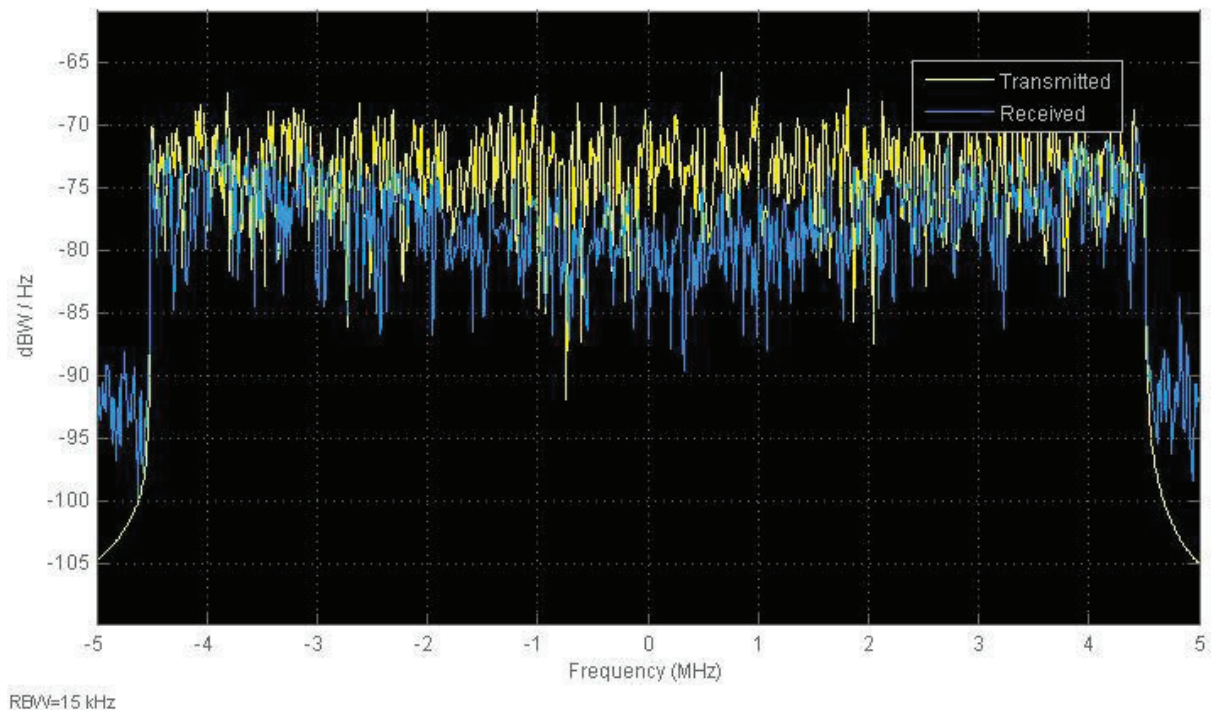
RESULTS	CW1	CW2
PBER	0.001345	0.000326
BLER	0	0
CBER	0	0
MAXRATE/CW	6.2 Mbps	

Πίνακας 3.2α Αποτελέσματα LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (QPSK2x2)

ΣΕΝΑΡΙΟ 2

PARAMETERS	VALUES
Chan.Bandwidth (MHz)	10
Antenna Configuration	2x2
PDSCH Modulation Type	16QAM
Fading Channel Model	EPA 0
SNR (dB)	12.1
Control Region	2
Number of iterations	8

Πίνακας 3.1b Παράμετροι Εισόδου LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (16QAM2x2)



Γράφημα 3.7b LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (16QAM2x2)

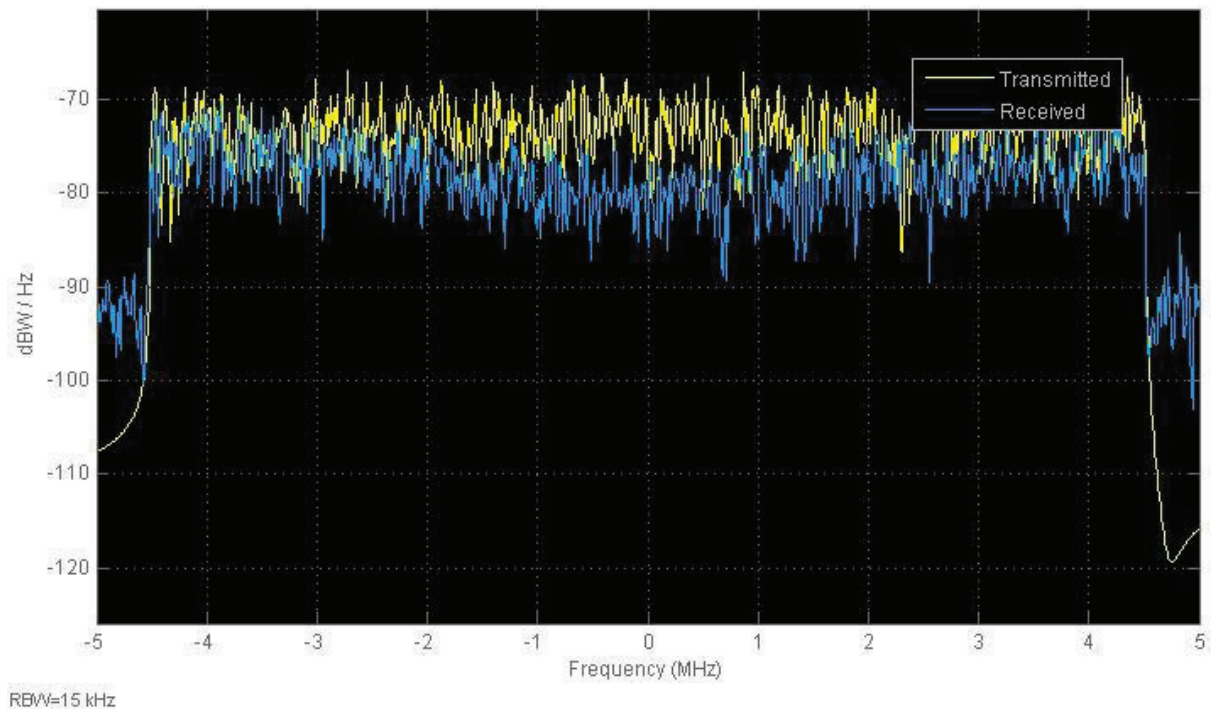
RESULTS	CW1	CW2
PBER	0.1125	0.05844
BLER	0	0
CBER	0	0
MAX RATE/CW	12.96 Mbps	

Πίνακας 3.2b Αποτελέσματα LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (16QAM2x2)

ΣΕΝΑΡΙΟ 3

PARAMETERS	VALUES
Chan.Bandwidth (MHz)	10
Antenna Configuration	2x2
PDSCH Modulation Type	64QAM
Fading Channel Model	EPA 0
SNR (dB)	12.1
Control Region	2
Number of iterations	8

Πίνακας 3.1c Παράμετροι Εισόδου LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (64QAM2x2)



Γράφημα 3.7c LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (64QAM2x2)

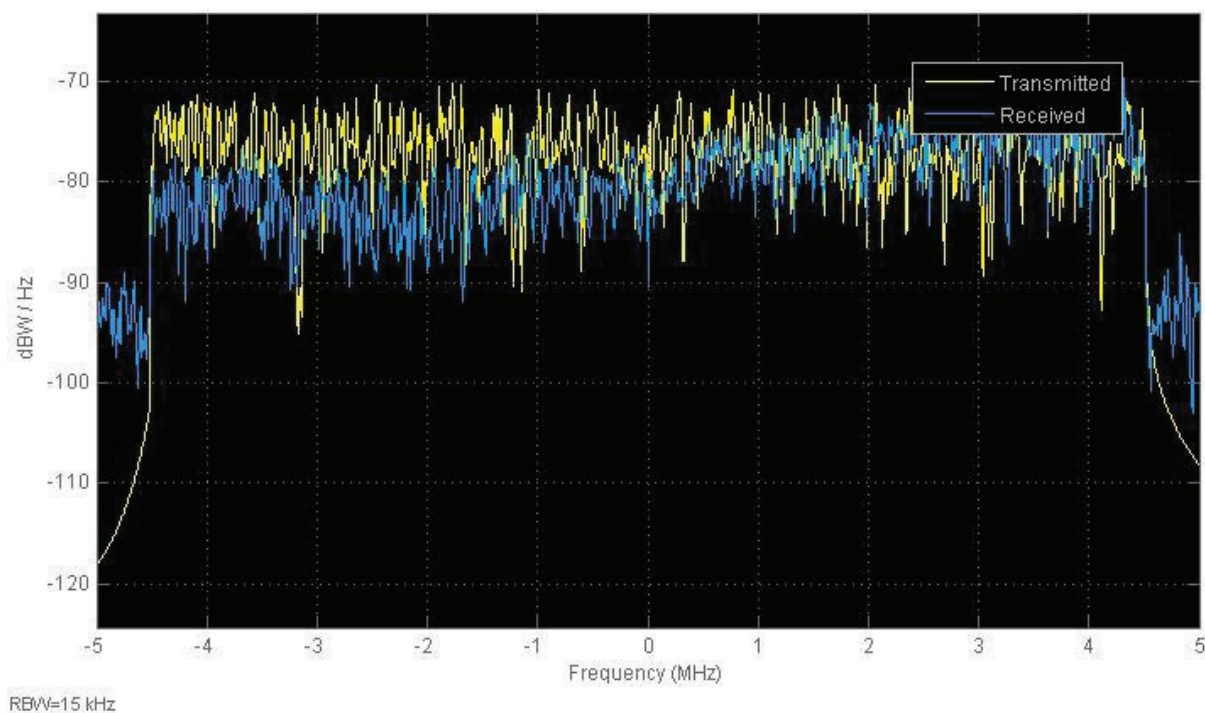
RESULTS	CW1	CW2
PBER	0.2079	0.1456
BLER	1	1
CBER	0.5002	0.5006
MAX RATE/CW	19.7 Mbps	

Πίνακας 3.2c Αποτελέσματα LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (64QAM2x2)

ΣΕΝΑΡΙΟ 4

PARAMETERS	VALUES
Chan.Bandwidth (MHz)	10
Antenna Configuration	4x4
PDSCH Modulation Type	QPSK
Fading Channel Model	EPA 0
SNR (dB)	12.1
Control Region	2
Number of iterations	8

Πίνακας 3.1d Παράμετροι Εισόδου LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (QPSK4x4)



Γράφημα 3.7d LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (QPSK4x4)

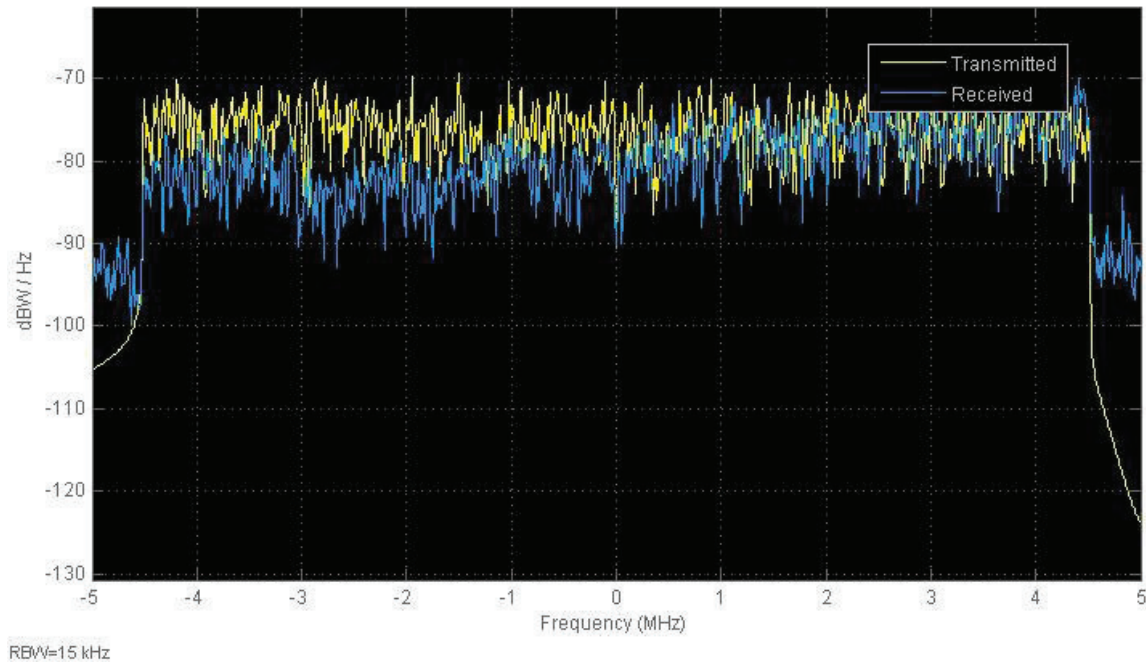
RESULTS	CW1	CW2
PBER	0.03452	0.05242
BLER	0	0
CBER	0	0
MAX RATE/CW	15.84 Mbps	

Πίνακας 3.2d Αποτελέσματα LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (QPSK4x4)

ΣΕΝΑΡΙΟ 5

PARAMETERS	VALUES
Chan.Bandwidth (MHz)	10
Antenna Configuration	4x4
PDSCH Modulation Type	16QAM
Fading Channel Model	EPA 0
SNR (dB)	12.1
Control Region	2
Number of iterations	8

Πίνακας 3.1εΠαράμετροι Εισόδου LTEΚαθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (16QAM4x4)



Γράφημα 3.7εLTEΚαθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (16QAM4x4)

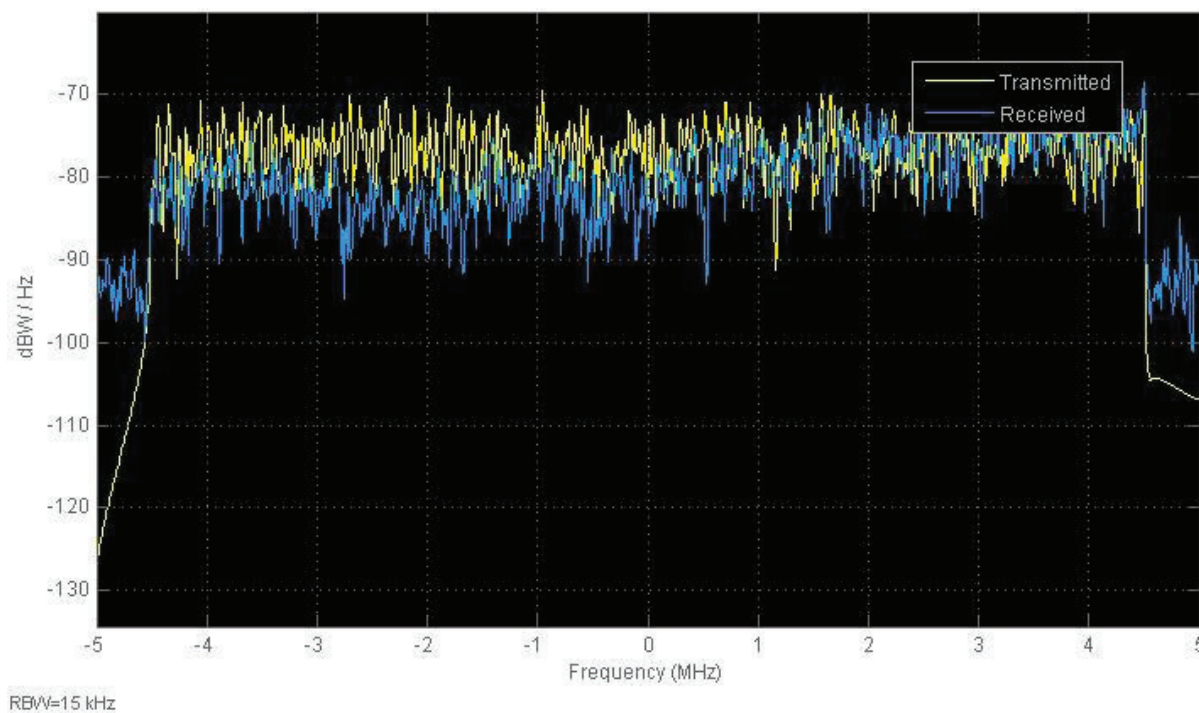
RESULTS	CW1	CW2
PBER	0.2204	0.2113
BLER	1	1
CBER	0.5004	0.5003
MAX RATE/CW	30.6 Mbps	

Πίνακας 3.2εΑποτελέσματα LTEΚαθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (16QAM4x4)

ΣΕΝΑΡΙΟ 6

PARAMETERS	VALUES
Chan.Bandwidth (MHz)	10
Antenna Configuration	4x4
PDSCH Modulation Type	64QAM
Fading Channel Model	EPA 0
SNR (dB)	12.1
Control Region	2
Number of iterations	8

Πίνακας 3.1f Παράμετροι Εισόδου LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (64QAM4x4)



Γράφημα 3.7f LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (64QAM4x4)

RESULTS	CW1	CW2
PBER	0.3071	0.297
BLER	1	1
CBER	0.5008	0.5004
MAX RATE/CW	75.37 Mbps	

Πίνακας 3.2f Αποτελέσματα LTE Καθοδικής Ζεύξης με χωρική πολύπλεξη (64QAM4x4)

Για να γίνει πιο εύκολη η ερμηνεία των αποτελεσμάτων στον αναγνώστη, παρακάτω δίνεται μία επεξήγηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την προσομοίωση:

Codeword

Στις επικοινωνίες, η κωδική λέξη είναι στοιχείο ενός τυποποιημένου κώδικα ή πρωτοκόλλου. Κάθε κωδική λέξη έχει συναρμολογηθεί σύμφωνα με τους ειδικούς κανόνες του κώδικα και αποδίδει μια μοναδική έννοια.

Fading Kanάλι

Στις ασύρματες επικοινωνίες, ο όρος fading χρησιμοποιείται για την απόκλιση από την εξασθένιση ενός διαμορφωμένου φορέα κατά την διάρκεια της διάδοσης του σήματος. Το ΕΡΑ δηλώνει το είδος της καθυστέρησης κατά την μετάδοση του σήματος.

Antenna Configuration

Δηλώνει πόσες κεραίες εκπομπής και λήψης διαθέτει το MIMO σύστημά μας.

Channel Bandwidth

Το εύρος ζώνης καναλιού είναι η ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν κατά μήκος ενός καναλιού κατά τη διάρκεια μιας καθορισμένης χρονικής περιόδου.

SNR

Λόγος σήματος προς θόρυβο (συντομογραφία συχνά SNR ή S / N) είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται στον τομέα των επικοινωνιών που συγκρίνει το επίπεδο του επιθυμητού σήματος προς το επίπεδο του θορύβου (εκφράζεται σε decibels).

Block Error Rate

Το Block Error Rate (BLER) χρησιμοποιείται στην LTE / 4G τεχνολογία και υποδεικνύει εάν υπάρχει συγχρονισμός ή όχι κατά την παρακολούθηση συνδέσμου επικοινωνίας. Δηλώνει τον αριθμό εσφαλμένων μπλοκ πληροφορίας / συνολικό αριθμό μπλοκ πληροφορίας που ελήφθησαν.

Περιοχή Ελέγχου

Αριθμός των OFDM συμβόλων ανά υποπλαίσιο. Ο σκοπός της μεθόδου είναι να προστατεύσει τους συνδρομητές από τις διακοπές σήματος των κινητών συσκευών.

Αποτελέσματα κατά την διάρκεια της προσομοίωσης:

- PBER → Ποσοστό σφάλματος για τα δεδομένα στο κανάλι μετάδοσης PDSCH ανά κωδική λέξη
- BLER → Ποσοστό σφάλματος στα μπλοκ μετάδοσης
- CBER → Ποσοστό σφάλματος για τα δεδομένα πληροφορίας ανά κωδική λέξη

- Γράφημα υπολογίζει την ισχύ της πυκνότητας θορύβου (dBW/Hz) μεταξύ πομπό και δέκτη

3.2.2 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΖΕΥΞΗ PDSCHΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΜΟΡΦΙΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Στην δεύτερη ομάδα σεναρίων μελετούμε την καθοδική ζεύξη του PDSCH με χρήση πολυμορφίας μετάδοσης. Η πολυμορφία μετάδοσης χρησιμοποιεί σήματα που προέρχονται από δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες πηγές και που έχουν διαμορφωθεί με πανομοιότυπα σήματα πληροφοριών. Αυτά τα σήματα μπορεί να διαφέρουν σε χαρακτηριστικά μετάδοσης τους σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή.

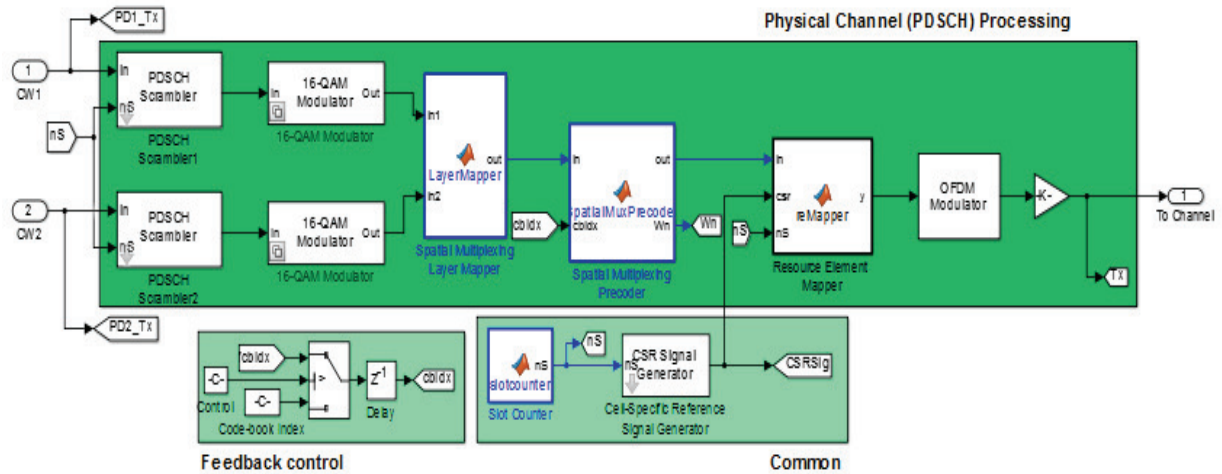
Μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση κυρίως των επιπτώσεων του fadingchannel. Όταν χρησιμοποιείτε πολυμορφία μετάδοσης, το ποσό που αντιστοιχεί στην βελτίωση του σήματος εξαρτάται από την ανεξαρτησία της εξασθένησης των χαρακτηριστικών του σήματος, καθώς επίσης και σε διακοπές λειτουργίας του κυκλώματος.

Λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά είδη κεραίας, σε πολλά συστήματα επιπλέον κεραίες μπορεί να μην επωφελούν τους σταθμούς βάσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η πολυμορφία μετάδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει όφελος πολυμορφίας σε ένα δέκτη με πολλαπλές κεραίες εκπομπής. Με πολυμορφία μετάδοσης, πολλαπλές κεραίες μεταδίδουν καθυστερημένα τα σήματα, δημιουργώντας επιλεκτική-συχνότητας απόσβεση, η οποία εξισώνεται στο δέκτη για να παρέχει κέρδος πολυμορφίας. Αφού η πολυμορφία μετάδοσης με N κεραίες οδηγεί σε N πηγές παρεμβολής σε άλλους χρήστες, το περιβάλλον παρεμβολής θα είναι διαφορετικό από τα συμβατικά συστήματα με μία κεραία εκπομπής.

Τα σενάρια τα οποία εξετάζονται στο συγκεκριμένο μοντέλο σχετίζονται με την αλλαγή παραμέτρων σε δύο βασικά στοιχεία του μοντέλου. Η πρώτη παράμετρος στην οποία επικεντρωνόμαστε είναι οι ρυθμίσεις της κεραίας και η δεύτερη παράμετρος έχει σχέση με το είδος της διαμόρφωσης του συστήματος (QPSK / 16QAM / 64QAM). Βασιζόμενοι σε αυτά τα στοιχεία, δημιουργούμε 6 κύρια σενάρια στα οποία μελετάμε την κυματομορφή σήματος κατά την διαδικασία εκπομπής και λήψης. Το αποτέλεσμα επικεντρώνεται στην συμπεριφορά του σήματος κατά την διαδικασία εκπομπής και λήψης.

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα της μελέτης του συστήματος PDSCH καθοδικής ζεύξης με πολυμορφία μετάδοσης. Το ύπο μοντελοποίηση/ανάλυση σύστημα περιλαμβάνει δύο κεραίες εκπομπής και δύο κεραίες λήψης. Η πολυμορφία μετάδοσης χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες στον πομπό για να αποκτήσει πολυμορφία κερδών χωρίς καμία επίπτωση στο ρυθμό δεδομένων. Στην ουσία, το όφελος αυτού του συστήματος είναι ότι προσφέρει αυξημένη απόδοση, σε σύγκριση με τις μεταδόσεις μονής κεραίας, κυρίως λόγω της πολυμορφίας.

TransmitPDSCH

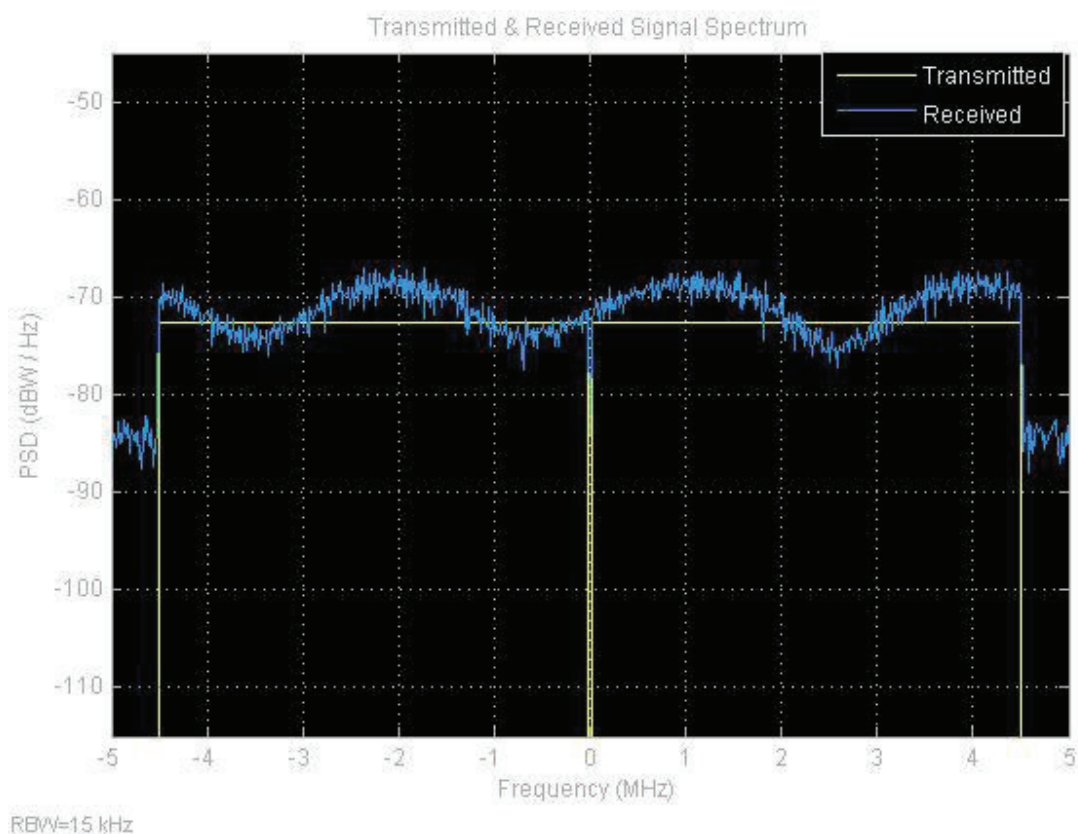


Σχήμα 3.8 PDSCH Μετάδοσης(Mathworks, 2014)

ΣΕΝΑΡΙΟ 1

PARAMETERS	VALUES
ChannelBandwidth	10
AntennaConfiguration	2x2
PDSCHModulationType	QPSK
FadingChannelModel	MIMO Rayleigh
SNR (dB)	12.1
Control Region	2

Πίνακας 3.3a Παράμετροι Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (QPSK2x2)



Γράφημα 3.8a Καθοδική Ζεύξη PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (QPSK2x2)

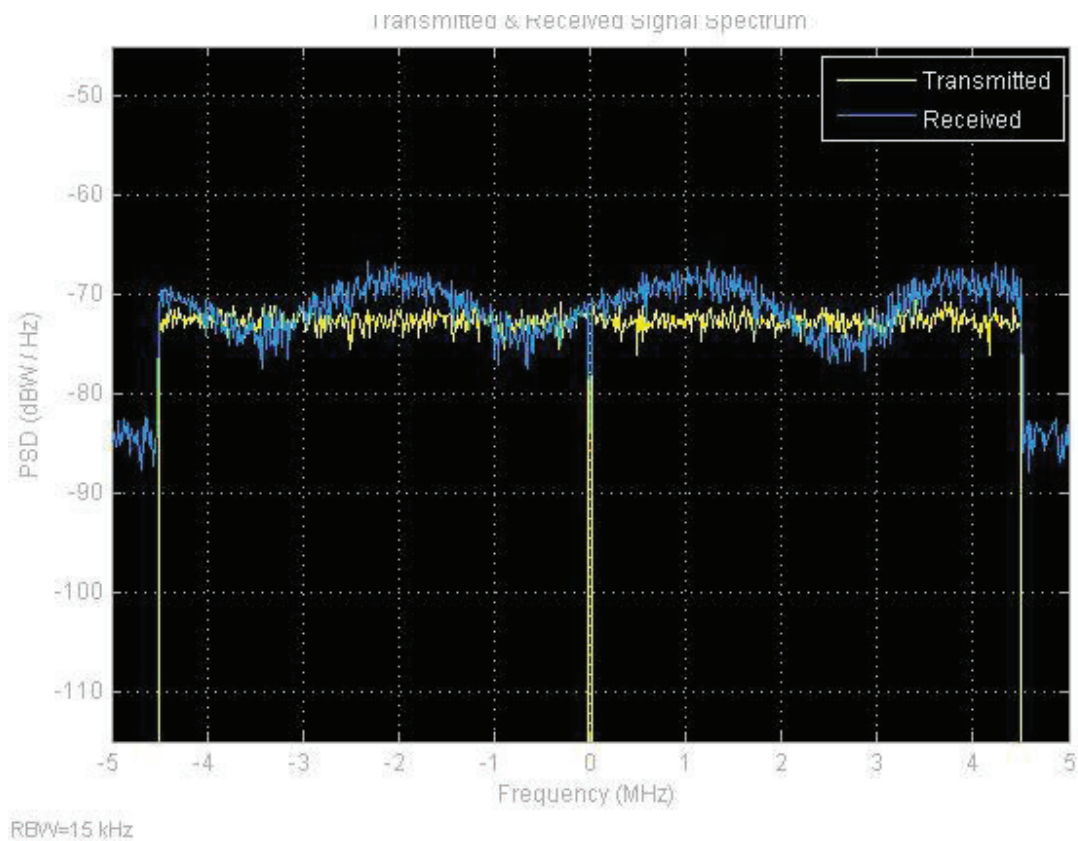
RESULTS	
Elapsed time (sec)	34.073617
BER	0.00015025
No Errors	59
No Bits	392688

Πίνακας 3.4a Αποτελέσματα Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (QPSK2x2)

ΣΕΝΑΡΙΟ 2

PARAMETERS	VALUES
ChannelBandwidth	10
AntennaConfiguration	2x2
PDSCHModulationType	16QAM
FadingChannelModel	MIMO Rayleigh
SNR (dB)	12.1
Control Region	2

Πίνακας 3.3b Παράμετροι Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (16QAM2x2)



Γράφημα 3.8b Καθοδική Ζεύξη PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (16QAM2x2)

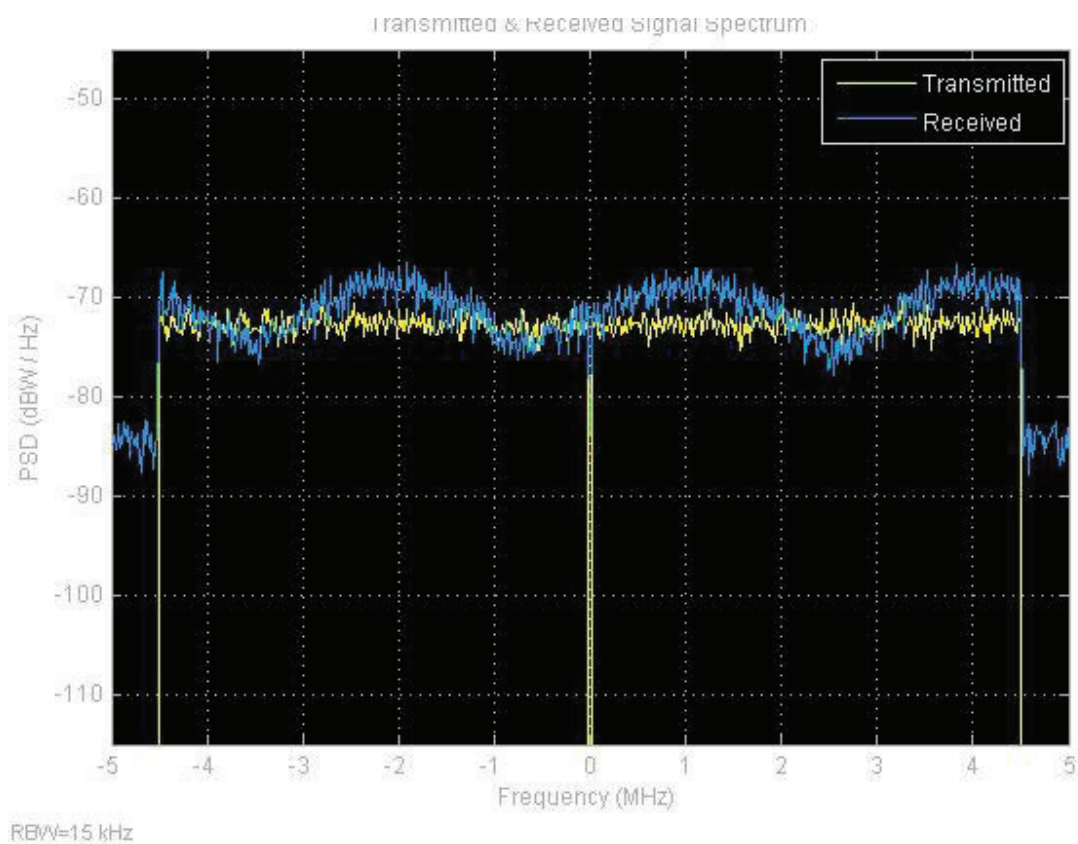
RESULTS	
Elapsed time (sec)	24.331183
BER	0.017925
No Errors	14078
No Bits	785376

Πίνακας 3.4b Αποτελέσματα Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (16QAM2x2)

ΣΕΝΑΡΙΟ 3

PARAMETERS	VALUES
ChannelBandwidth	10
AntennaConfiguration	2x2
PDSCHModulationType	64QAM
FadingChannelModel	MIMO Rayleigh
SNR (dB)	12.1
Control Region	2

Πίνακας 3.3c Παράμετροι Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (64QAM2x2)



Γράφημα 3.8c Καθοδική Ζεύξη PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (64QAM2x2)

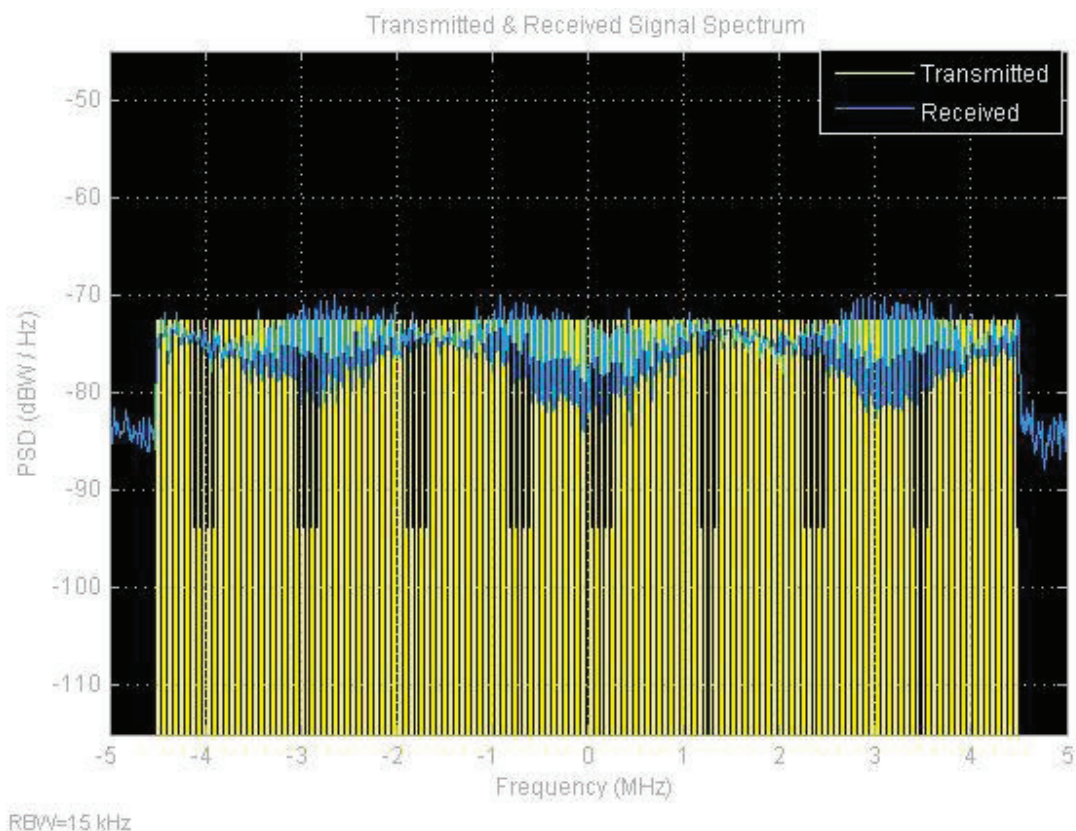
RESULTS	
Elapsed time (sec)	25.317322
BER	0.088728
No Errors	104527
No Bits	1178064

Πίνακας 3.4c Αποτελέσματα Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (64QAM2x2)

ΣΕΝΑΡΙΟ 4

PARAMETERS	VALUES
ChannelBandwidth	10
AntennaConfiguration	4x4
PDSCHModulationType	QPSK
FadingChannelModel	MIMO Rayleigh
SNR (dB)	12.1
Control Region	2

Πίνακας 3.3d Παράμετροι Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (QPSK4x4)



Γράφημα 3.8d Καθοδική Ζεύξη PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (QPSK4x4)

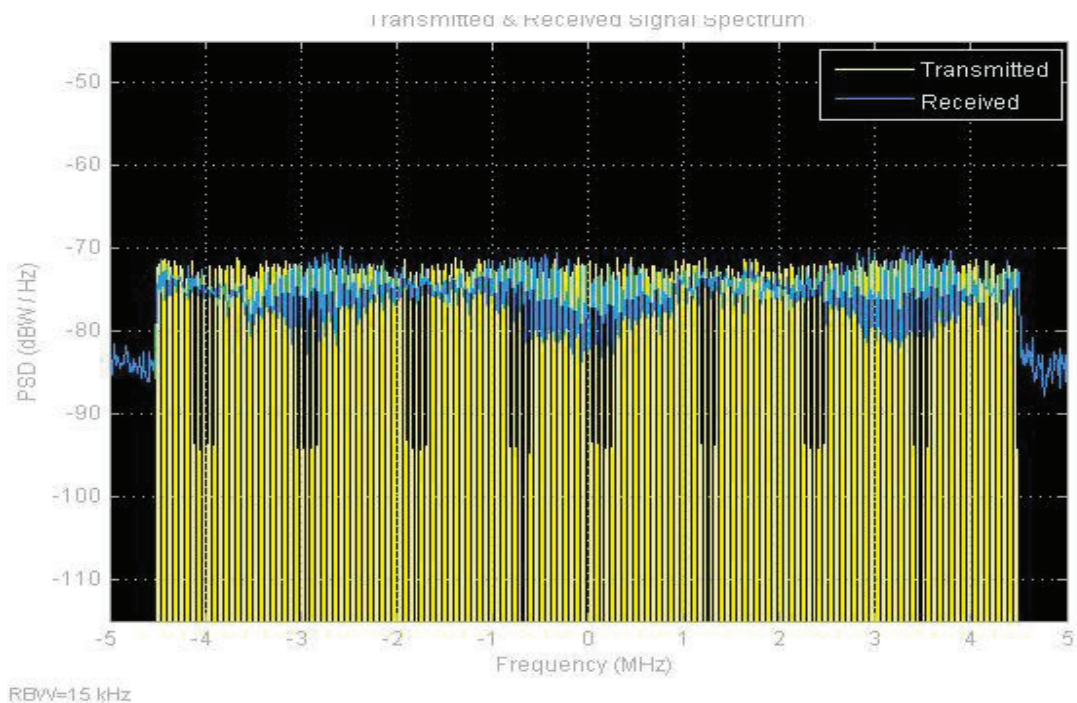
RESULTS	
Elapsed time (sec)	31.650312
BER	0.00026258
No Errors	100
No Bits	380832

Πίνακας 3.4d Αποτελέσματα Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (QPSK4x4)

ΣΕΝΑΡΙΟ 5

PARAMETERS	VALUES
ChannelBandwidth	10
AntennaConfiguration	4x4
PDSCHModulationType	16QAM
FadingChannelModel	MIMO Rayleigh
SNR (dB)	12.1
Control Region	2

Πίνακας 3.3ε Παράμετροι Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (16QAM4x4)



Γράφημα 3.8ε Καθοδική Ζεύξη PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (16QAM4x4)

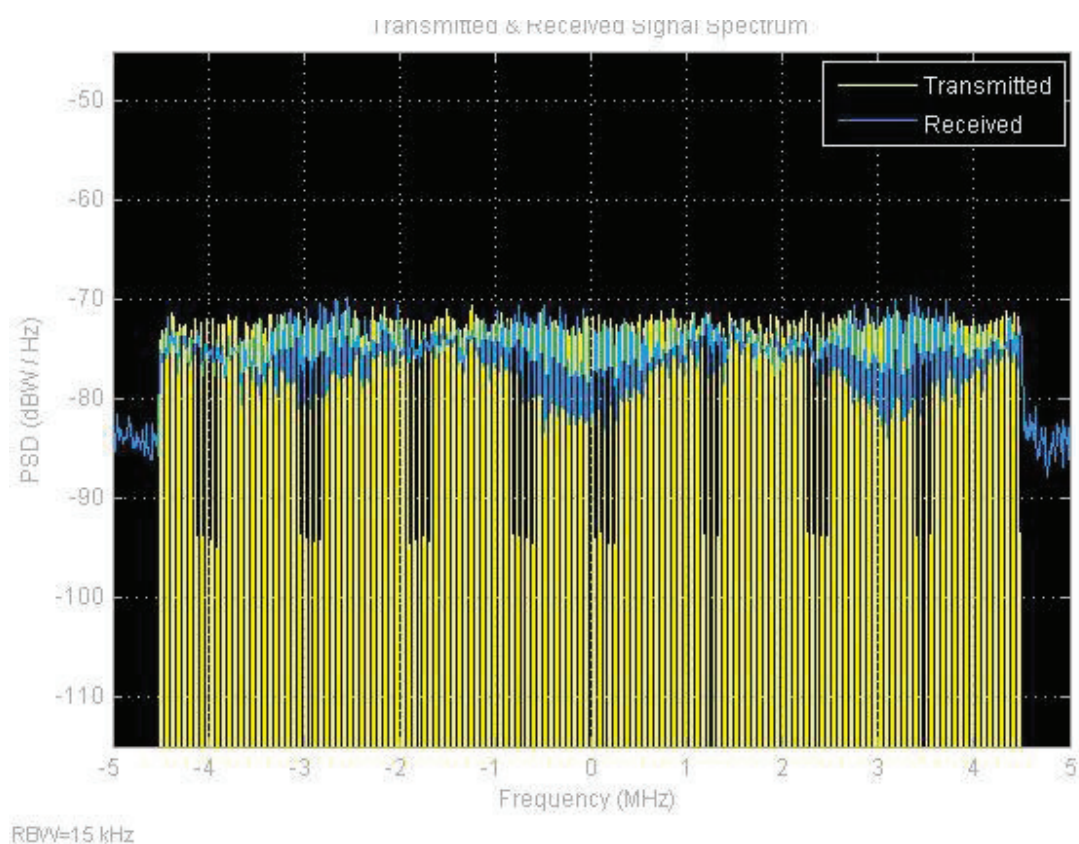
RESULTS	
Elapsed time (sec)	31.507053
BER	0.028427
No Errors	21652
No Bits	761664

Πίνακας 3.4ε Αποτελέσματα Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (16QAM4x4)

ΣΕΝΑΡΙΟ 6

PARAMETERS	VALUES
ChannelBandwidth	10
AntennaConfiguration	4x4
PDSCHModulationType	64QAM
FadingChannelModel	MIMO Rayleigh
SNR (dB)	12.1
Control Region	2

Πίνακας 3.3f Παράμετροι Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (64QAM4x4)



Γράφημα 3.8f Καθοδική Ζεύξη PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (64QAM4x4)

RESULTS	
Elapsed time (sec)	32.987557
BER	0.11117
No Errors	127009
No Bits	1142496

Πίνακας 3.4f Αποτελέσματα Καθοδικής Ζεύξης PDSCH με πολυμορφία μετάδοσης (64QAM4x4)

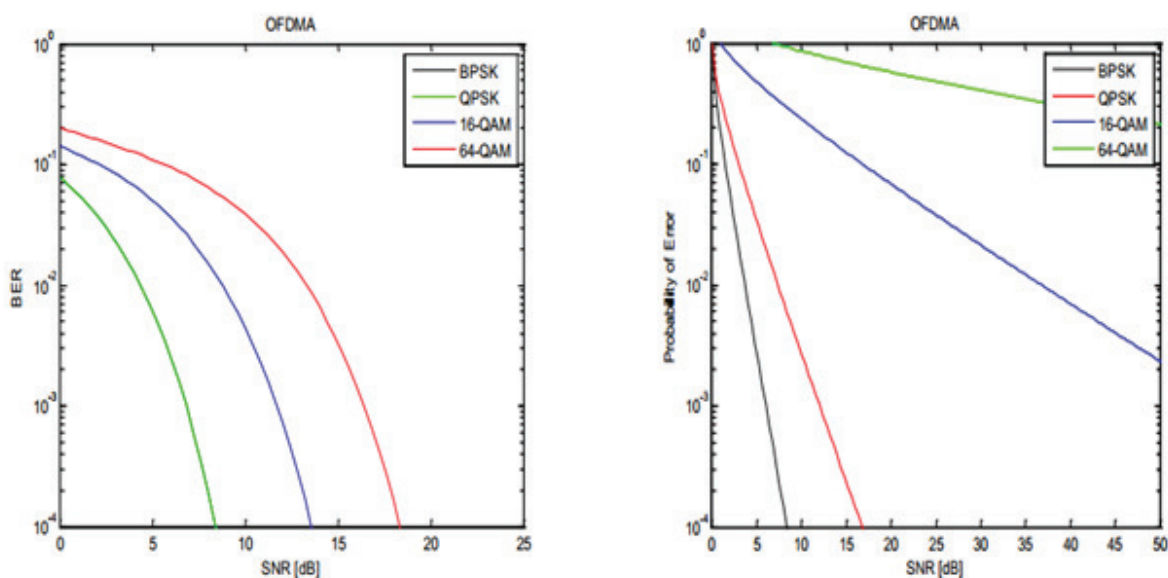
3.2.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ

Στον τρίτο άξονα παρουσιάζουμε τα γραφήματα MIMO συστημάτων τα οποία δείχνουν την συμπεριφορά του LTE προτύπου βασίζόμενοι σε αλγορίθμους ραδιοπόρων. Παρουσιάζονται 3 διαφορετικά είδη αλγοριθμικών μοντελοποιήσεων. Τα σενάρια τα οποία εξετάζονται στην συγκεκριμένη παράγραφο σχετίζονται με αλγορίθμους ραδιοπόρων και είδη διαμόρφωσης.

Αρχικά δίνεται το αποτέλεσμα της αξιολόγησης απόδοσης του φυσικού στρώματος LTE χρησιμοποιώντας OFDMA στο PDSCH. Το παρακάτω γράφημα δίνει τα αποτελέσματα για την σχέση ρυθμού σφάλματος και λόγου σήματος προς θόρυβο για 4 είδη διαμορφώσεων. Επίσης παρουσιάζεται και η πιθανότητα σφάλματος για τα ίδια είδη διαμόρφωσης.

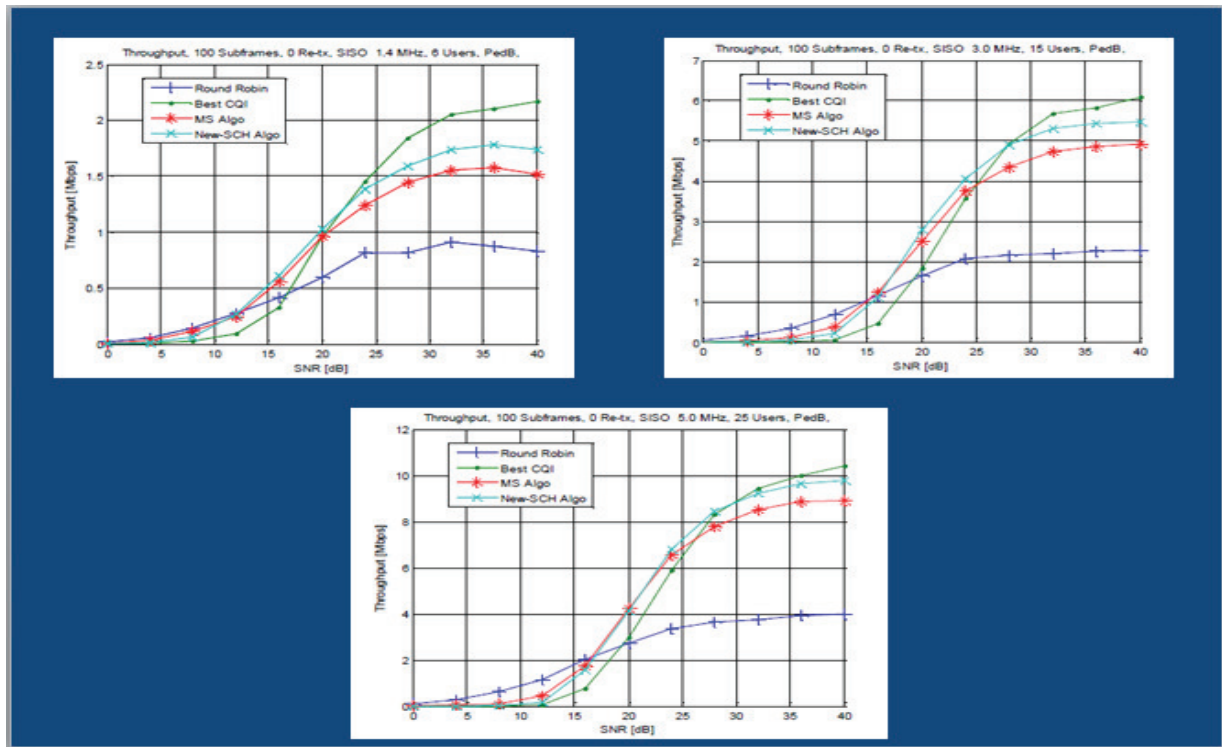
EXPERIMENT	RESULTS	QPSK2x2	16QAM2x2	64QAM2x2
EXPERIMENT 1	BER OFDMA	0.08	0.2	0.3
	SNR	8dB	13dB	18dB
EXPERIMENT 2	BER OFDMA	0.08	0.2	0.3
	PBER SPATIAL	0.002	0.1	0.2
	BER PDSCH	3.312e-06	5.857e-05	0.002952

Πίνακας 3.5 Φυσικό Στρώμα OFDMA

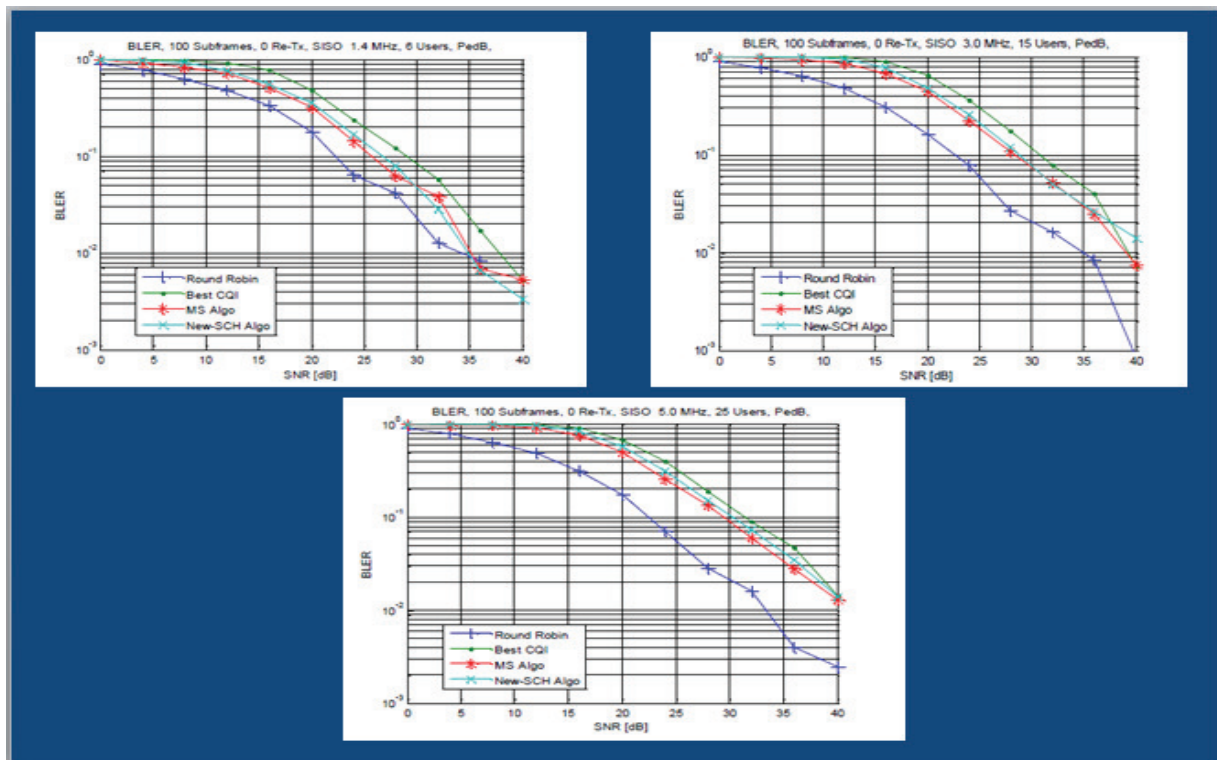


Γράφημα 3.9 Αξιολόγηση απόδοσης LTE φυσικού στρώματος με χρήση OFDMA στο PDSCH

Εν συνεχεία δίνονται τα γραφήματα από την ανάλυση τεσσάρων διαφορετικών αλγόριθμων προγραμματισμού καθοδικής ζεύξης για το πρότυπο LTE. Σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα που μελετάμε είναι SISO και λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των χρηστών και η τιμή της συχνότητας του εύρους καναλιού. Το παρακάτω γράφημα δίνει τα αποτελέσματα για την 1) σχέση τιμής εξόδου με τον λόγο σήματος προς θόρυβο και 2) για την σχέση ρυθμού σφαλμάτων με τον λόγο σήματος προς θόρυβο(Chadchan & Akki, 2013).



Γράφημα 3.10 LTE Αλγόριθμοι Προγραμματισμού Καθοδικής Ζεύξης(Chadchan & Akki, 2013)

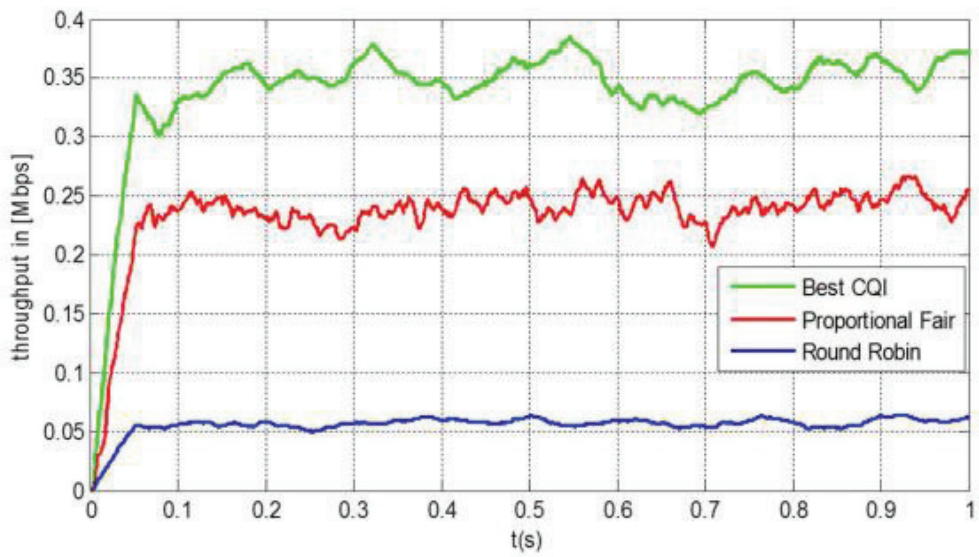


Γράφημα 3.11 LTE Αλγόριθμοι Προγραμματισμού Καθοδικής Ζεύξης(Chadchan & Akki, 2013)

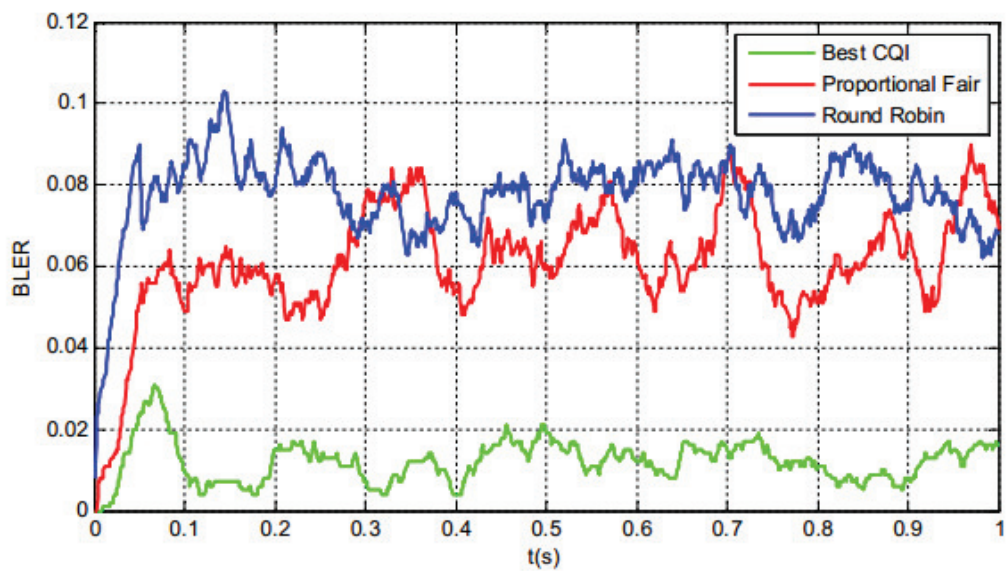
Η τελευταία ανάλυση παρουσιάζει τα γραφήματα τριών διαφορετικών αλγορίθμων προγραμματισμού για το πρότυπο LTE. Σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα που μελετάμε είναι MIMO και λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος μελέτης του συστήματος. Το παρακάτω γράφημα δίνει τα αποτελέσματα για την 1) σχέση τιμής εξόδου με τον χρόνο και 2) για την σχέση ρυθμού σφαλμάτων με τον χρώμο (Habaebi, 2013).

RESULTS	Best CQI	Proportional Fair	Round Robin
BLER	0.07	0.07	0.02
Throughput (Mbps)	0.375	0.25	0.06

Πίνακας 3.6 Απόδοση Αλγορίθμων Προγραμματισμού



Γράφημα 3.12 Αλγόριθμοι Προγραμματισμού Καθοδικής Ζεύξης Throughput (Habaebi, 2013)



Γράφημα 3.13 LTE Αλγόριθμοι Προγραμματισμού BLER (Habaebi, 2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης, δίνοντας προσοχή στην απόδοση του φυσικού στρώματος του LTE προτύπου, συγκρίνοντας την συμπεριφορά του συστήματος μεταξύ της χωρικής πολύπλεξης και της πολυμορφίας μετάδοσης. Επίσης συγκρίνεται και η απόδοση των διαφόρων αλγορίθμων ραδιοπόρων για το φυσικό στρώμα κατερχόμενης ζεύξης. Τα σενάρια τα οποία εξετάστηκαν σχετίζονται με την αλλαγή παραμέτρων σε δύο βασικά στοιχεία του μοντέλου. Η πρώτη παράμετρος στην οποία επικεντρωνόμαστε είναι οι ρυθμίσεις της κεραίας (2x2, 4x4) και η δεύτερη παράμετρος έχει σχέση με το είδος της διαμόρφωσης του συστήματος (QPSK / 16QAM/ 64QAM).

4.1 ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗ vs ΠΟΛΥΜΟΡΦΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Στην ανάλυση των αποτελεσμάτων του 1) φυσικού στρώματος κατερχόμενης ζεύξης με χρήση χωρική πολύπλεξης και 2) πολυμορφίας μετάδοσης παρατηρούμε ότι η διαφορετική μορφή διαμόρφωσης και η αλλαγή του αριθμού των κεραιών εκπομπής και λήψης έχουν άμεση επίδραση στην απόδοση του συστήματος. Στην συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων και δίνονται επεξηγήσεις για την σημασία αυτών.

RESULTS	QPSK2x 2	16QAM2x 2	64QAM2x 2	QPSK4x 4	16QAM4x 4	64QAM4x 4
PBER CW1	0.001345	0.1125	0.2079	0.03452	0.2204	0.3071
PBER CW2	0.000326	0.05844	0.1456	0.05242	0.2113	0.297
MAXRATE/C W	6.2 Mbps	12.96 Mbps	19.7 Mbps	15.84 Mbps	30.6 Mbps	75.37 Mbps

Πίνακας 4.1 LTE Φυσικό Στρώμα Κατερχόμενης Ζεύξης – Χωρική Πολύπλεξη

Το πλεονέκτημα της χρήσης QAM είναι ότι είναι μια ανώτερη μορφή διαμόρφωσης που είναι σε θέση να μεταφέρει περισσότερα bits πληροφορίας. Επιλέγοντας μια υψηλότερη μορφή τάξης του QAM, ο ρυθμός δεδομένων ενός συνδέσμου μπορεί να αυξηθεί. Από τον Πίνακα 4.1 εξάγονται τα εξής:

- Αύξηση των bit διαμόρφωσης οδηγεί σε αύξηση τις τιμές των μεγεθών PBER, MAXRate/CW
- Αύξηση αριθμού κεραιών στον πομπό και στον δέκτη οδηγεί σε αύξηση τις τιμές των μεγεθών PBER, MAXRate/CW
- Ανάμεσα στην ίδια μορφή διαμόρφωσης, η αλλαγή του αριθμού κεραιών, οδηγεί σε υπερδιπλάσια αύξηση της τιμής των μεγεθών PBER, MAXRate/CW
- Ο συνδυασμός του αριθμού κεραιών (4x4) εκπομπής και λήψης, και της μορφής διαμόρφωσης (64QAM) οδηγεί στην πιο υψηλή τιμή PBER και MAXRate/CW

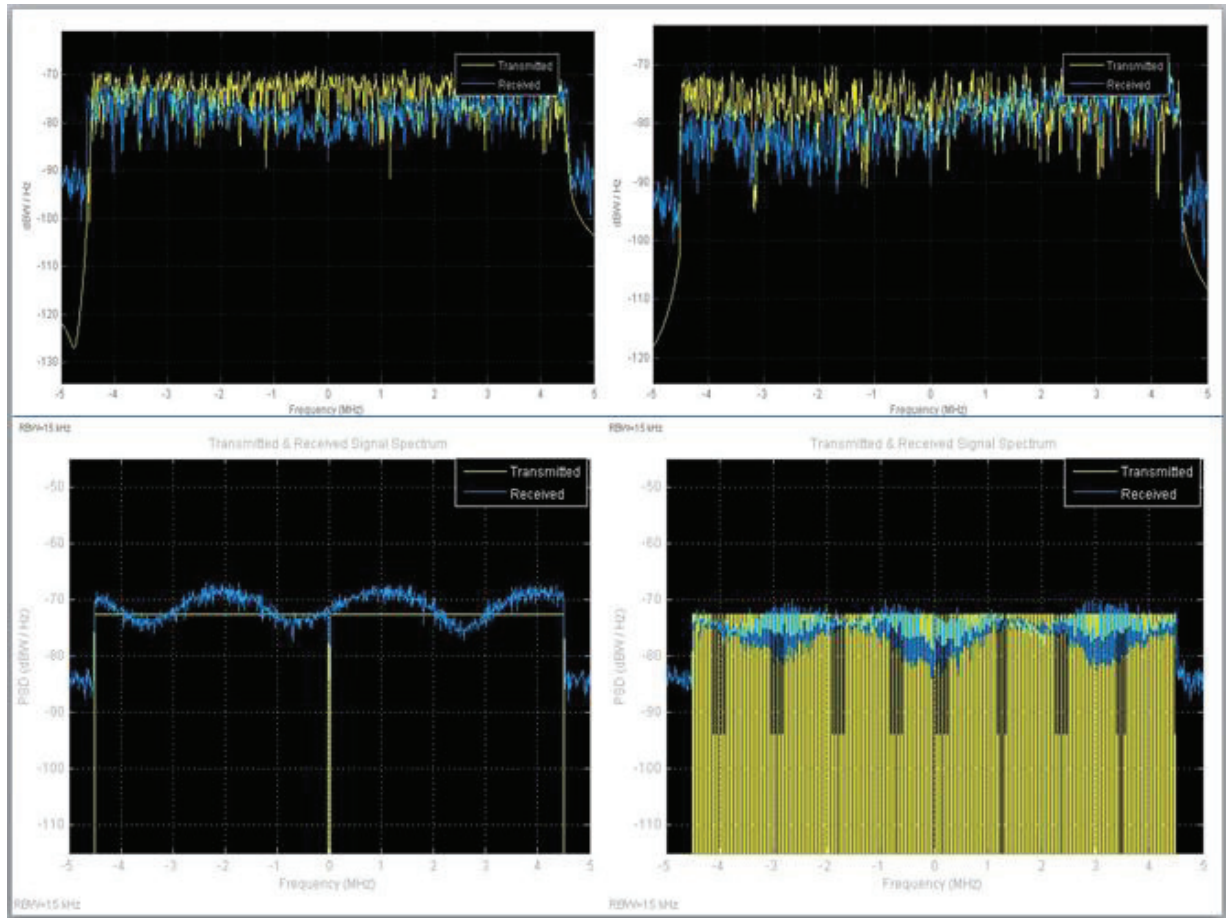
RESULTS	QPSK2x2	16QAM2x2	64QAM2x2	QPSK4x4	16QAM4x4	64QAM4x4
Elapsed time	34.07	24.33	25.32	31.65	31.51	32.99
BER	0.00015	0.02	0.09	0.0002	0.03	0.11
Number of errors	59	14078	104527	100	21652	127009
Number of bits	392688	785376	1178064	380832	761664	1142496

Πίνακας 4.2 LTE Φυσικό Στρώμα Κατερχόμενης Ζεύξης – Πολυμορφία Μετάδοσης

Το πλεονέκτημα της χρήσης QAM είναι ότι είναι μια ανώτερη μορφή διαμόρφωσης που είναι σε θέση να μεταφέρει περισσότερα bits πληροφορίας. Επιλέγοντας μια υψηλότερη μορφή τάξης του QAM, ο ρυθμός δεδομένων ενός συνδέσμου μπορεί να αυξηθεί. Από τον Πίνακα 4.2 εξάγονται τα εξής:

- Αύξηση των bit διαμόρφωσης οδηγεί σε αύξηση τις τιμές των σφαλμάτων
 - Αύξηση αριθμού κεραιών στον πομπό και στον δέκτη οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των σφαλμάτων
 - Ανάμεσα στην ίδια μορφή διαμόρφωσης, η αύξηση αριθμού κεραιών στον πομπό και στον δέκτη οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των σφαλμάτων
 - Ανάμεσα στην ίδια μορφή διαμόρφωσης, η αύξηση αριθμού κεραιών στον πομπό και στον δέκτη οδηγεί σε μείωση του elapsed time.
 - Η μεγαλύτερη τιμή για το μέγεθος BER υπάρχει όταν έχουμε διαμόρφωση 64QAM.
 - Ο συνδυασμός του αριθμού κεραιών (2x2) εκπομπής και λήψης, και της μορφής διαμόρφωσης (QPSK) οδηγεί στον μεγαλύτερο elapsed time, σπιο υψηλή τιμή BER και στον μεγαλύτερο αριθμό σφαλμάτων
- ➔ Μεταξύ της ανάλυσης του φυσικού στρώματος καθοδικής ζεύξης χωρικής πολύπλεξης και πολυμορφίας μετάδοσης εξάγεται το συμπέρασμα ότι το μέγεθος BER παίρνει πολύ μεγαλύτερη τιμή στην περίπτωση της χωρικής πολύπλεξης.

Στην συνέχεια δίνονται τα γραφήματα που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της απόδοσης του φυσικού στρώματος κατερχόμενης ζεύξης του συστήματος για 1) διάφορες μορφές διαμόρφωσης, 2) διαφορετικό αριθμό κεραιών πομπού και δέκτη και 3) διαφοράς μεταξύ χωρικής πολύπλεξης και πολυμορφίας μετάδοσης. Τα γραφήματα ακολουθούν την εξής δομή (θεωρείς τα γραφήματα σαν στοιχεία πίνακα): α_{11} =Είδος Διαμόρφωσης (2x2) για Χωρική Πολύπλεξη, α_{12} =Είδος Διαμόρφωσης (4x4) για Χωρική Πολύπλεξη, α_{21} =Είδος Διαμόρφωσης (2x2) για Πολυμορφία Μετάδοσης, α_{22} =Είδος Διαμόρφωσης (4x4) για Πολυμορφία Μετάδοσης.

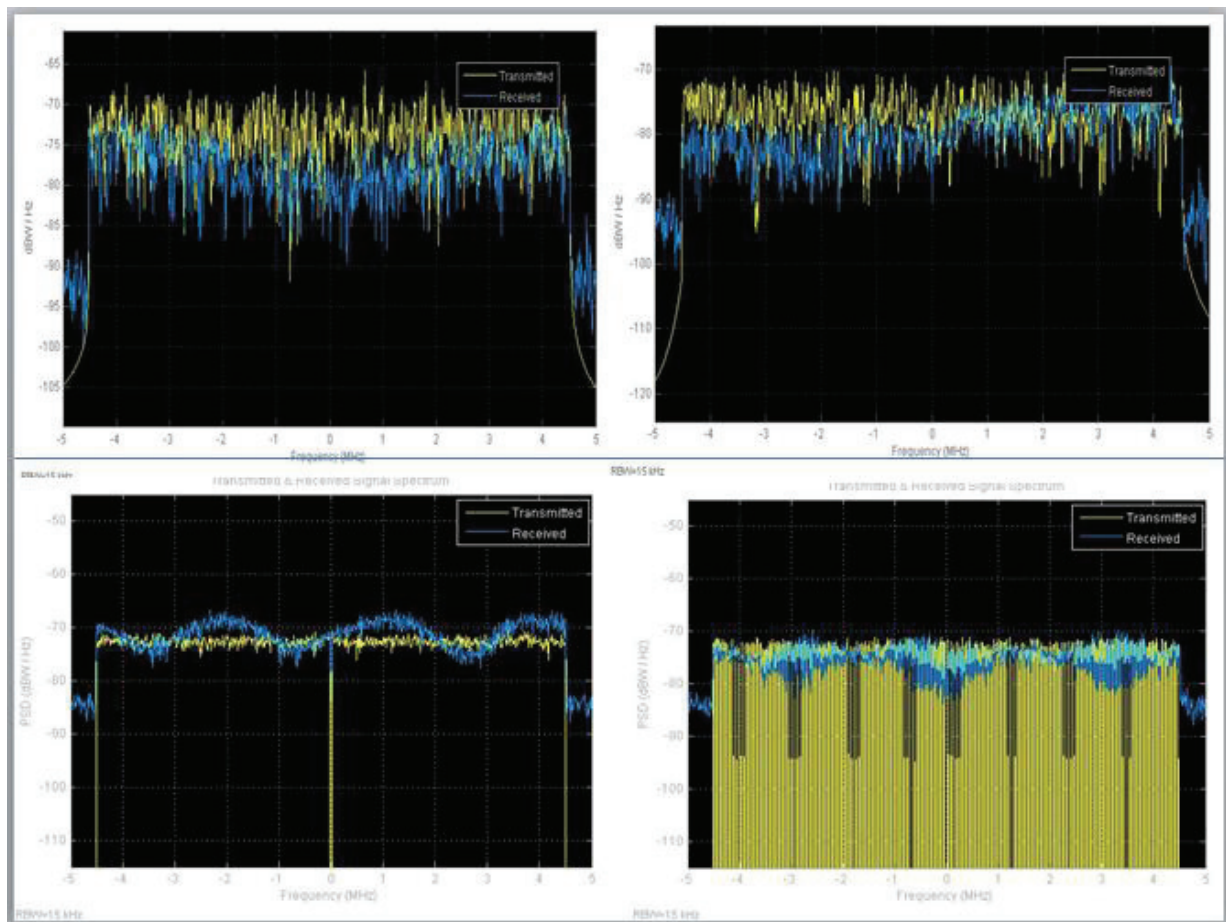


Γράφημα 4.1 LTE Φυσικό Στρώμα Κατερχόμενης Ζεύξης QPSK

Από το Γράφημα 4.1 εξάγονται τα εξής:

- Στην περίπτωση της χωρικής πολύπλεξης, η μορφή του εκπέμποντος και ληφθέντος σήματος είναι παρόμοια για τα δύο σενάρια κεραιών (2x2 , 4x4).
- Στην περίπτωση της χωρικής πολύπλεξης, η τιμή του μεγέθους PSD διαφοροποιείται για το σήμα εκπομπής και λήψης για τα δύο σενάρια κεραιών (2x2 , 4x4).
- Το σήμα εκπομπής παίρνει διαφορετικές τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Η αρχική τιμή για τα δύο σενάρια κυμαίνεται γύρω στα -120dbW/Hz (2x2 → -122dbW/Hz , 4x4 → -118dbW/Hz). Εύρος διακύμανσης σήματος ~10dbW/Hz.
- Το σήμα λήψης παίρνει παρόμοιες τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Η αρχική τιμή για τα δύο σενάρια κυμαίνεται γύρω στα -90dbW/Hz. Παρατηρείται πύκνωση του σήματος λήψης στην περίπτωση QPSK 4x4. Εύρος διακύμανσης σήματος ~20dbW/Hz.

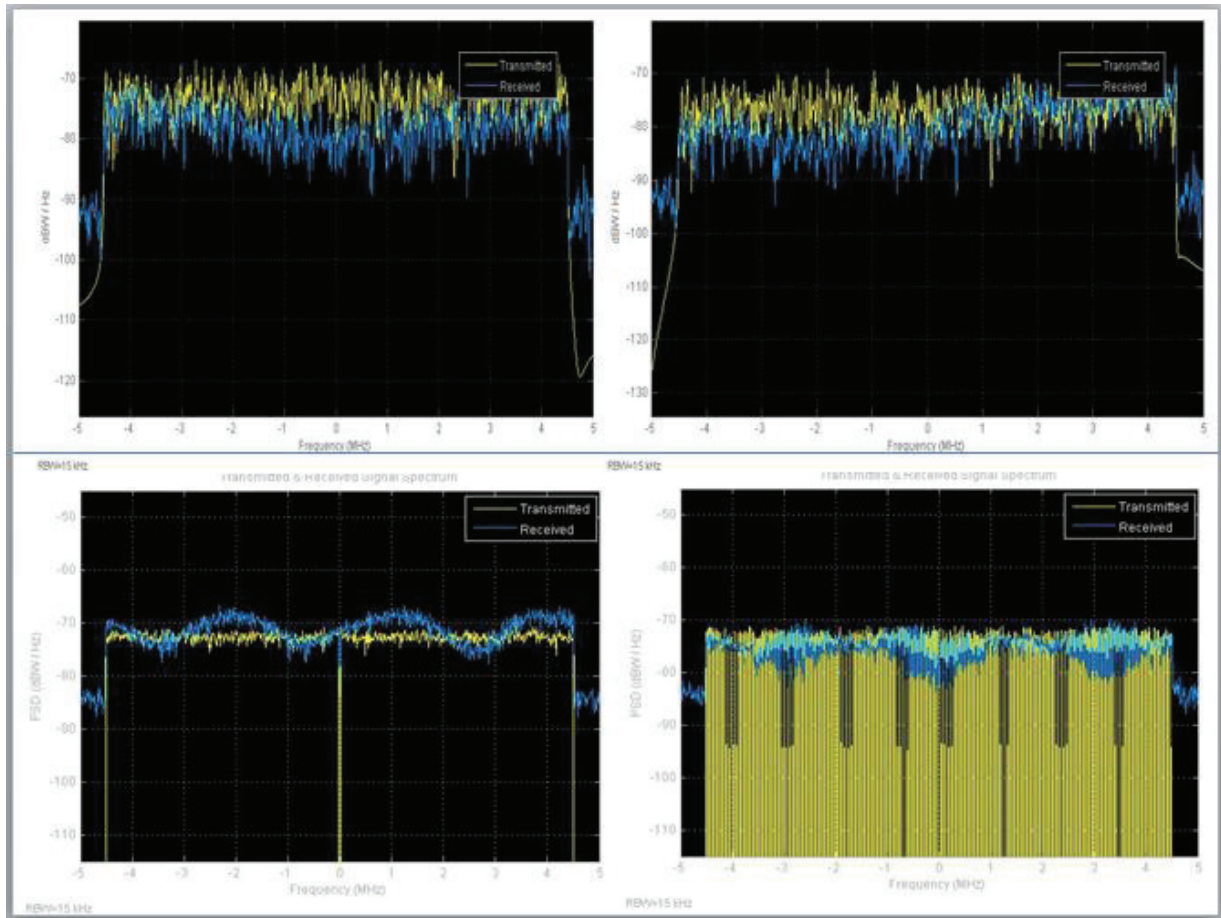
- Στην περίπτωση της πολυμορφίας μετάδοσης, η μορφή του εκπέμποντος και ληφθέντος σήματος είναι εντελώς διαφορετική για τα δύο σενάρια κεραίων (2x2 , 4x4).
- Στην περίπτωση της πολυμορφίας μετάδοσης, η τιμή του μεγέθους PSD διαφοροποιείται για το σήμα εκπομπής και λήψης για τα δύο σενάρια κεραίων (2x2 , 4x4).
- Σήμα εκπομπής παίρνει διαφορετικές τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Στο δεύτερο σενάριο παρατηρείται μία πολύ έντονη ταλάντωση με εύρος διακύμανσης ~15dbW/Hz.
- Σήμα λήψης παίρνει παρόμοιες τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Αυτές οι τιμές κυμαίνονται γύρω από τα -85dbW/Hz. Παρατηρείται πύκνωση του σήματος λήψης στην περίπτωση QPSK4x4.



Γράφημα 4.2 LTE Φυσικό Στρώμα Κατερχόμενης Ζεύξης 16QAM

Από το Γράφημα 4.2 εξάγονται τα εξής:

- Στην περίπτωση της χωρικής πολύπλεξης, η μορφή του εκπέποντος και ληφθέντος σήματος είναι παρόμοια για τα δύο σενάρια κεραίων (2x2 , 4x4).
- Στην περίπτωση της χωρικής πολύπλεξης, η τιμή του μεγέθους PSD διαφοροποιείται για το σήμα εκπομπής και λήψης για τα δύο σενάρια κεραίων (2x2 , 4x4).
- Το σήμα εκπομπής παίρνει διαφορετικές τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Η αρχική τιμή για τα δύο σενάρια κυμαίνεται γύρω στα -105dbW/Hz (2x2 → -105dbW/Hz , 4x4 → -120dbW/Hz). Εύρος διακύμανσης σήματος ~15dbW/Hz.
- Το σήμα λήψης παίρνει παρόμοιες τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Η αρχική τιμή για τα δύο σενάρια κυμαίνεται γύρω στα -95dbW/Hz. Παρατηρείται πύκνωση του σήματος λήψης στην περίπτωση QPSK4x4. Εύρος διακύμανσης σήματος ~10dbW/Hz.
- Στην περίπτωση της πολυμορφίας μετάδοσης, η μορφή του εκπέποντος και ληφθέντος σήματος είναι εντελώς διαφορετική για τα δύο σενάρια κεραίων (2x2 , 4x4).
- Στην περίπτωση της πολυμορφίας μετάδοσης, η τιμή του μεγέθους PSD διαφοροποιείται για το σήμα εκπομπής και λήψης για τα δύο σενάρια κεραίων (2x2 , 4x4).
- Σήμα εκπομπής παίρνει διαφορετικές τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Στο δεύτερο σενάριο παρατηρείται μία πολύ έντονη ταλάντωση με εύρος διακύμανσης ~15dbW/Hz.
- Σήμα λήψης παίρνει παρόμοιες τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Αυτές οι τιμές κυμαίνονται γύρω από τα -85dbW/Hz. Παρατηρείται πύκνωση του σήματος λήψης στην περίπτωση QPSK4x4.



Γράφημα 4.3 LTEΦυσικόΣτρώμαΚατερχόμενηςΖεύξης 64QAM

Από το Γράφημα 4.3 εξάγονται τα εξής:

- Στην περίπτωση της χωρικής πολύπλεξης, η μορφή του εκπέμποντος και ληφθέντος σήματος είναι παρόμοια για τα δύο σενάρια κεραιών (2x2 , 4x4).
- Στην περίπτωση της χωρικής πολύπλεξης, η τιμή του μεγέθους PSD διαφοροποιείται για το σήμα εκπομπής και λήψης για τα δύο σενάρια κεραιών (2x2 , 4x4).
- Το σήμα εκπομπής παίρνει διαφορετικές τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Η αρχική τιμή για τα δύο σενάρια είναι 2x2 \rightarrow -105dbW/Hz , 4x4 \rightarrow -120dbW/Hz). Εύρος διακύμανσης σήματος \sim 10dbW/Hz.
- Το σήμα λήψης παίρνει παρόμοιες τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Η αρχική τιμή για τα δύο σενάρια κυμαίνεται γύρω στα -95dbW/Hz. Παρατηρείται πύκνωση του σήματος λήψης στην περίπτωση QPSK4x4. Εύρος διακύμανσης σήματος \sim 10dbW/Hz.

- Στην περίπτωση της πολυμορφίας μετάδοσης, η μορφή του εκπέμποντος και ληφθέντος σήματος είναι εντελώς διαφορετική για τα δύο σενάρια κεραίων (2x2 , 4x4).
 - Στην περίπτωση της πολυμορφίας μετάδοσης, η τιμή του μεγέθους PSD διαφοροποιείται για το σήμα εκπομπής και λήψης για τα δύο σενάρια κεραίων (2x2 , 4x4).
 - Σήμα εκπομπής παίρνει διαφορετικές τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Στο δεύτερο σενάριο παρατηρείται μία πολύ έντονη ταλάντωση με εύρος διακύμανσης ~15dbW/Hz.
 - Σήμα λήψης παίρνει παρόμοιες τιμές PSD για τα δύο σενάρια (2x2 , 4x4). Αυτές οι τιμές κυμαίνονται γύρω από τα -85dbW/Hz. Παρατηρείται πύκνωση του σήματος λήψης στην περίπτωση QPSK4x4.
- ➔ Μεταξύ της ανάλυσης του φυσικού στρώματος καθοδικής ζεύξης χωρικής πολύπλεξης εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι μορφές των σημάτων εκπομπής και λήψης δεν διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό. Το PSD κυμαίνεται σε παρόμοιες τιμές στα διάφορα είδη διαμόρφωσης.
- ➔ Μεταξύ της ανάλυσης του φυσικού στρώματος καθοδικής ζεύξης χωρικής πολύπλεξης εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι μορφές των σημάτων εκπομπής και λήψης διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό. Το PSD κυμαίνεται σε διαφορετικές τιμές στα διάφορα είδη διαμόρφωσης. Παρατηρείται μεγάλη ταλάντωση και πύκνωση του σήματος λήψης.
- ➔ Μεταξύ των δύο ειδών φυσικού στρώματος υπάρχει διαφορά στις αρχικές τιμές του PSD και στις μορφές των σημάτων εκπομπής και λήψης (ανάλογα με το είδος διαμόρφωσης και τον αριθμό κεραίων).

Με την έλευση των MIMO συστημάτων, φαίνεται ότι πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ τεχνικών πολυμορφίας μετάδοσης, που αυξάνουν την αξιοπιστία (μείωση πιθανότητας λάθους), και τεχνικές χωρικής πολύπλεξης, που χρησιμοποιούν κεραίες για τη μετάδοση πρόσθετων πληροφοριών, αλλά δεν αυξάνουν την αξιοπιστία. Εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία φαίνονται κατάλληλη για τεχνικές πολυμορφίας μετάδοσης ενώ τεχνικές που μπορούν να χειριστούν ομαλά μια απώλεια φαίνεται καταλληλότερες για χωρική πολύπλεξη. Παρατηρείται ότι το SNR (λόγος σήματος-προς-θόρυβο) και ο βαθμός της επιλεκτικότητας του καναλιού επηρεάζουν αυτή την απόφαση.

Τα ευρήματά μας, δείχνουν ότι στην περίπτωση της χωρικής πολύπλεξης αύξηση των dB του SNR μειώνει την τιμή του PBER. Ενώ, στην περίπτωση της πολυμορφίας μετάδοσης μείωση των dB του SNR οδηγούν σε μείωση του elapsed time και αύξηση των εσφαλμένων bits. Αυτό οδηγεί επίσης και σε μείωση της διακύμανσης μεταξύ αποστέλλοντος και ληφθέντος σήματος. Αυτό που εξάγεται από την έρευνα μας είναι ότι η χωρική πολύπλεξη μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα του LTE καθώς ο θόρυβος που δημιουργείται δεν έχει τόσο μεγάλες διακυμάνσεις όσο στην περίπτωση της πολυμορφίας μετάδοσης.

4.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Αρχικά δίνεται το αποτέλεσμα της αξιολόγησης απόδοσης του φυσικού στρώματος LTE χρησιμοποιώντας OFDMA στο PDSCH σε σύστημα MIMO 2x2. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τα αποτελέσματα για την σχέση ρυθμού σφάλματος και λόγου σήματος προς θόρυβο για 3 είδη διαμορφώσεων. Επίσης παρουσιάζεται και η πιθανότητα σφάλματος για τα ίδια είδη διαμόρφωσης. Στα εξαγόμενα αποτελέσματα γίνεται σύγκριση μεταξύ του OFDMA στο PDSCH και των αποτελεσμάτων χωρικής πολύπλεξης και πολυμορφίας μετάδοσης.

EXPERIMENT	RESULTS	QPSK2x2	16QAM2x2	64QAM2x2
EXPERIMENT 1	BER OFDMA	0.08	0.2	0.3
	SNR	8dB	13dB	18dB
EXPERIMENT 2	BER OFDMA	0.08	0.2	0.3
	PBER SPATIAL	0.002	0.1	0.2
	BER PDSCH	3.312e-06	5.857e-05	0.002952

Πίνακας 4.4 Απόδοση Αλγορίθμων προγραμματισμού

Από τον Πίνακα 4.4 εξάγονται τα εξής:

- Αύξηση των bit διαμόρφωσης οδηγεί σε αύξηση τις τιμές BER για όλα τα υπό μελέτη συστήματα.
- Μεγαλύτερη τιμή BER παρατηρείται στο OFDMA σύστημα.
- Το OFDMA υπάρχει μέσα στο σύστημα της χωρικής πολύπλεξης αλλά και της πολυμορφίας μετάδοσης.

Στην συνέχεια δίνεται το αποτέλεσμα της αξιολόγησης απόδοσης 3 διαφορετικών αλγορίθμων προγραμματισμού σε σύστημα MIMO 2x2. Το είδος διαμόρφωσης είναι το QPSK. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τα αποτελέσματα των μεγεθών BLER και Throughput.

RESULTS	Best CQI	Proportional Fair	Round Robin
BLER	0.07	0.07	0.02
Throughput (Mbps)	0.375	0.25	0.06

Πίνακας 4.5 Απόδοση Αλγορίθμων Προγραμματισμού

Από τον Πίνακα 4.5 εξάγονται τα εξής:

- Ο αλγόριθμός με την μεγαλύτερη τιμή BLER και Throughput είναι ο BestCQI
 - Ο αλγόριθμός με την μικρότερη τιμή BLER και Throughput είναι ο RoundRobin
 - Η BLER τιμή του BestCQI είναι παρόμοια με την τιμή του QPSK OFDMA
- ➔ Από τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση του αλγορίθμου BestCQI οδηγεί σε καλύτερη απόδοση ενός MIMO 2x2 συστήματος, πράγμα που επαληθεύεται και από την μελέτη του συστήματος QPSK OFDMA.

4.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η συγγραφέας παρατηρεί ότι τα αποτελέσματα έδειξαν την ύπαρξη ταλάντωσης στο σήμα που εκπέμπεται κατά την πολυμορφία μετάδοσης LTE, σε όλα τα είδη διαμόρφωσης. Αυτό υποδηλώνει την ύπαρξη θορύβου στο σύστημά μας. Για όλα τα ψηφιακά συστήματα ο θόρυβος είναι ο πρώτος παράγοντας που πρέπει να εξαλειφεται. Οι σχεδιαστές της κατερχόμενης ζεύξης του φυσικού στρώματος πρέπει να δώσουν πολύ μεγάλη προσοχή και να ερευνήσουν την επίδραση του θορύβου στην κατερχόμενη ζεύξη.

Η Qualcomm έχει αναπτύξει δύο LTE Advanced τεχνικές, την ενίσχυση του συντονισμού παρεμβολών μεταξύ των κυττάρων και τους προηγμένους τερματικούς δέκτες με ακύρωση παρεμβολών (eICIC / IC) για να παρέχει ένα άλμα απόδοσης για ετερογενή δίκτυα σε LTE.

Η τεχνολογία LTE νέας γενιάς (LTE Advanced) χρησιμοποιεί μία νέα μορφή σταθμών αναμετάδοσης φέρνοντας το δίκτυο πιο κοντά στον χρήστη. Για να παραδώσει υψηλή φασματική απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας, χρειάζονται προηγμένες τεχνικές για τη διαχείριση και τον έλεγχο των παρεμβολών. Όταν χαμηλής ισχύος μικρά κύτταρα προστίθενται σε μακροκυψέλες στο ίδιο κανάλι δημιουργείται θόρυβος που επηρεάζει την επικοινωνία. Αυτό μας δίνει το ερέθισμα να δημιουργηθούν τεχνικές και αλγόριθμοι προγραμματισμού, οι οποίοι θα οδηγήσουν στην ενίσχυση του συντονισμού των παρεμβολών μεταξύ των κυττάρων για να δώσει ένα 'άλμα'

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chadchan, S. M., & Akki, C. B. (2013). A Fair Downlink Scheduling Algorithm for 3GPP LTE Networks. *International Journal of Computer Network and Information Security(IJCNIS)*, 5(6), 34.
- Dahlman, E., Ekström, H., Furuskär, A., & Karlsson, J. (2005). *The long-term evolution of 3G* (p. 8).
- Habaebi, M. hadi. (2013). Comparison between Scheduling Techniques in Long Term Evolution. *IJUM Engineering Journal*, 14(1).
- Hillebrand, F. (2001). The Creation of Global Mobile Communication.
- Hussain, S. (2009). *Dynamic Radio Resource Management in 3GPP LTE*. Blekinge Institute of Technology.
- Mathworks. (2012). 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and Modulation (Release 10). Mathworks.
- Mathworks. (2014). *3GPP Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and Modulation (Release 10)*.
- Myung, H., Lim, J., & Goodman, D. (2006). Single carrier FDMA for uplink wireless transmission. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 1(3), 30–38.
- Redl, S. (1995). An Introduction To Gsm.
- Tanenbaum, A., & Wetherall, D. (2010). *Computer Networks* (p. 960). Prentice Hall; 5 edition.
- Zarrinkoub, H. (2014). *Understanding LTE with MATLAB: From Mathematical Modeling to Simulation and Prototyping* (p. 508). Wiley; 1 edition.
- Μπιτζίδης, Γεώργιος. (2010). *Η Μετάβαση από τις 3G στις 4G Ασύρματες Επικοινωνίες* (p. 18). Θεσσαλονίκη.
- Μπούρας, Χρήστος. (2012). *Κινητά Δίκτυα Υπολογιστών - Οι τεχνολογίες HSPA και LTE* (p. 41). Πάτρα.
- Χρήστου, Βασίλης. (2012). *Δίκτυα Τέταρτης Γενιάς 4G. Τεχνοοικονομική Ανάλυση* (p. 104). Πειραιάς.