

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: Προσομοίωση ενός LTE δικτύου στο πρόγραμμα ADS



Αλεξάνδρα Φώτη

Επιβλέπων καθηγητής: Κωνσταντίνος Αγγέλης

ΆΡΤΑ 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

| | |
|--------------|---|
| Σύνοψη | 5 |
|--------------|---|

Κεφάλαιο 2: Θεωρία

| | |
|---|----|
| 2.1 Δίκτυα Κινητής τηλεφωνίας..... | 6 |
| 2.1.1 Εισαγωγή στο GSM..... | 6 |
| 2.1.1.1 Αρχιτεκτονική GSM..... | 7 |
| 2.1.1.2 Υπηρεσίες GSM..... | 9 |
| 2.1.2 Εισαγωγή στο General Packet Radio Service (GPRS)..... | 10 |
| 2.1.2.1 Υπηρεσίες του GPRS..... | 11 |
| 2.1.3 Εισαγωγή στο Enhanced Rates for GSM Evolution (EDGE)..... | 11 |
| 2.1.3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά του EDGE..... | 12 |
| 2.1.4 Εισαγωγή στο Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)..... | 13 |
| 2.1.4.1 Εναέριες Επαφές του UMTS..... | 14 |
| 2.1.4.2 Αρχιτεκτονική του UMTS..... | 15 |
| 2.1.4.3 Χρήση του UMTS..... | 16 |
| 2.1.5 Εισαγωγή στο High Speed Packet Access (HSPA)..... | 17 |
| 2.1.5.1 Αναβαθμίσεις του HSPA..... | 17 |
| 2.2.1 Εισαγωγή στο LTE δίκτυο..... | 19 |
| 2.2.2 Χαρακτηριστικά του LTE..... | 20 |
| 2.2.3 Φωνητικές κλήσεις..... | 21 |
| 2.2.4 Εισαγωγή στο E-UTRA LTE..... | 22 |
| 2.2.5 Η αρχιτεκτονική του E-UTRA..... | 25 |
| 2.2.6 Κατηγορίες User Equipment (UE)..... | 28 |
| 2.3.1 Εισαγωγή στο Time-Division Duplex..... | 29 |

| | |
|--|----|
| 2.3.2 Η αρχιτεκτονική του TDD..... | 29 |
| 2.3.3 Half Duplex (HDX)..... | 32 |
| 2.3.4 Full Duplex..... | 32 |
| 2.3.5 Τα πλεονεκτήματα του TDD..... | 33 |
| 2.4.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία MIMO..... | 34 |
| 2.4.2 Πολλαπλές Τεχνικές Κεραιών..... | 35 |
| 2.4.2.1 Spatial Diversity..... | 35 |
| 2.4.2.2 Χωρική Πολυπλεξία..... | 37 |
| 2.4.2.3 Beamforming..... | 38 |
| 2.4.3 Οι δοκιμασίες στον συναγωνισμό των MIMO καναλιών..... | 40 |
| 2.4.4 Επισκόπηση MIMO καναλιού..... | 41 |
| 2.4.5 Ασύρματα Χαρακτηριστικά Διάδοσης..... | 43 |
| 2.4.5.1 Η μέση απώλεια διάδοσης..... | 43 |
| 2.4.5.2 Macroscopic εξασθένηση..... | 44 |
| 2.4.5.3 Microscopic εξασθένηση..... | 44 |
| 2.4.5.4 Προφίλ Καθυστέρηση Ισχύς..... | 44 |
| 2.4.5.5 Δυναμική Εξασθένηση..... | 46 |
| 2.4.5.6 Γωνία Εξάπλωσης και Power Azimuth Spectrum..... | 47 |
| 2.4.6 Αντιστοιχία MIMO καναλιών..... | 49 |
| 2.4.6.1 Spatial Correlation..... | 49 |
| 2.4.6.2 Antenna Polarization Correlation..... | 50 |
| 2.4.7 Η Θεωρητική Χωρητικότητα του MIMO καναλιού..... | 51 |
| 2.4.8 Η διαμόρφωση του εξομοιωτή καναλιού για να επιτευχθεί η επιθυμητή συσχέτιση..... | 51 |
| 2.4.9 Διαμόρφωση QPSK..... | 52 |
| 2.4.10 Διαμόρφωση QAM..... | 54 |
| 2.4.11 Εφαρμόζοντας το SNR σε MIMO κανάλια..... | 56 |
| 2.4.11.1 SNR για SISO και ασυσχέτιστα MIMO κανάλια..... | 56 |

| | | |
|--------------------------------------|---|-----|
| 2.4.11.2 | Το SNR για συσχετισμένα MIMO κανάλια..... | 56 |
| 2.4.11.3 | Λευκός Θόρυβος (Gaussian Noise)..... | 57 |
| Κεφάλαιο 3: Πειραματικό Μέρος | | |
| 3.1 | Εισαγωγή στο Πειραματικό Μέρος..... | 58 |
| 3.2 | Ρυθμίσεις Πειραματικού Μέρους..... | 58 |
| 3.3 | Αποτελέσματα Πειραματικού Μέρους..... | 63 |
| Κεφάλαιο 4 | | |
| | Συμπεράσματα..... | 118 |
| | Βιβλιογραφία..... | 119 |

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

ΣΥΝΟΨΗ

Αντικείμενο της πτυχιακής αυτής άσκησης είναι η προσομοίωση ενός LTE δικτύου στο πρόγραμμα ADS(Advanced Design System).

Για την προσομοίωση του LTE πήραμε έτοιμο κύκλωμα LTE το εισάγαμε στο ADS αλλάξαμε διάφορες παραμέτρους όπως την διαμόρφωση, το SS_Per_TxAnt το MIMO MODE, το περιβάλλον και κρατήσαμε σταθερή την correlation στην τιμή medium. Σαν αποτέλεσμα πήραμε βάση αυτών των παραμέτρων καμπύλες CCDF συνάρτηση Gaussian θορύβου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο κάναμε μια ιστορική αναδρομή στα πρώτα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πριν εμφανιστεί το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας LTE. Κάποια από τα δίκτυα τα οποία αναφέραμε είναι το πρώτο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς GSM μετά αναφερθήκαμε στο μεταγενέστερο δίκτυο το EDGE στην συνέχεια θα δούμε την εξέλιξη του το UMTS. Μετά θα αναφερθούμε στο HSPA και θα εξετάσουμε την εξέλιξη του HSPA το HSDPA. Θα μελετήσουμε το δίκτυο LTE. Θα εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά του επίσης θα εξετάσουμε τις φωνητικές κλήσεις που παρέχει το LTE, θα ελέγξουμε την αρχιτεκτονική του και μετά θα αναφερθούμε στην εναέρια επαφή το E_UTRA LTE. Θα ασχοληθούμε με την πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου Time Division Duplex θα ελέγξουμε την αρχιτεκτονική του όπως επίσης και την τεχνολογία Half Duplex και full Duplex. Στο τέλος θα ελέγξουμε τα πλεονεκτήματα του TDD.

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τις MIMO τεχνολογίες. Ποιο συγκεκριμένα θα αναπτύξουμε τις πολλαπλές τεχνικές που χρησιμοποιούν οι κεραιές, τα αποτελέσματα συσχετίσεων καναλιών σε MIMO απόδοση, την επισκόπηση MIMO καναλιού, τα ασύρματα χαρακτηριστικά διάδοσης, την αντιστοιχία των MIMO καναλιών, την θεωρητική χωρητικότητα του MIMO καναλιού και το SNR σε MIMO κανάλια.

Στο κεφάλαιο 3 θα αναφερθούμε στο πειραματικό μέρος της εργασίας. Θα ελέγξουμε το κύκλωμα θα δούμε ποιες ακριβώς παραμέτρους θα τροποποιήσουμε για να πάρουμε τις γραφικές παραστάσεις CCDF που επιθυμούμαι... Στην συνέχεια θα δούμε τις γραφικές παραστάσεις που προέκυψαν.

Στο κεφάλαιο 4 θα μελετήσουμε ποιο διεξοδικά τις γραφικές παραστάσεις που προέκυψαν και τυχόν αλλαγές που έγιναν θα μελετηθούν και θα σχολιαστούν εκτενέστερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Θεωρία

2.1 Δίκτυα κινητής Τηλεφωνίας

2.1.1 Εισαγωγή στο GSM

Το πρώτο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με το οποίο θα ασχοληθούμε είναι το GSM. Το GSM είναι τα αρχικά του Global System for Mobile Communications το οποίο είναι ένα κοινό Ευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Το European Telecommunications Standards Institute το 1982 άρχισε τη μελέτη για την δημιουργία ενός κοινού Ευρωπαϊκού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G) που θα είναι πιο αποδοτικό και πιο αξιόπιστο για τις ασύρματες επικοινωνίες από το αναλογικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας (1G). Αυτό το σύστημα ονομάστηκε αρχικά Group Special Mobile (GSM). Το 1990 ανακοινώθηκε επίσημα η εμπορική του διάθεση στην Ευρώπη. Στην Ελλάδα το σύστημα χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από την TELESTET (σήμερα WIND). Πλέον το GSM δεν είναι μόνο Ευρωπαϊκό πρότυπο αφού υιοθετήθηκε από πολλές χώρες των άλλων Ηπείρων εκμεταλλευόμενο τις διάφορες ζώνες συχνοτήτων.



Σχήμα 1

Το GSM λειτουργεί σε τρεις διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων.

- GSM 900

Το αρχικό σύστημα GSM εκπέμπει στα 900 MHz.. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) παραχώρησε ένα ζεύγος συχνοτήτων από τα 890 ως τα 915 MHz και από τα 935 MHz ως τα 960 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για το uplink ενώ η δεύτερη για το downlink. Οι ζώνες των 25 MHz υποδιαιρούνται σε 124 κανάλια συχνότητας και ένα κανάλι το οποίο είναι ελεύθερο. Κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 kHz.. Όλο αυτό το σύστημα ονομάζεται GSM 900 ή Standard GSM.

- Extended- GSM 900 (E-GSM)

Το E-GSM καθορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ασύρματων Επικοινωνιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 για να αντικαταστήσει το κλασικό GSM 900 διατηρώντας όμως την δομή του, αυξάνοντας τις περιοχές συχνοτήτων από 880 έως 915 MHz για Uplink και 925-960 MHz Downlink. Έτσι επέτρεψε στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας να αυξήσουν τη χωρητικότητά τους και να καλύψουν τις ανάγκες από την αυξημένη κίνηση των πελατών τους.

- GSM 1800

Στη συνέχεια το 1991 αναπτύχθηκε το σύστημα DCS 1800 στο οποίο διατηρείται η δομή ενός GSM 900 δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων από τα 1710-1785 MHz uplink και από τα 1805-1880 MHz downlink. Οι περιοχές των 75 MHz υποδιαιρούνται σε 374 κανάλια συχνότητας και το ένα είναι ελεύθερο. Το κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 kHz. Αυτή η αλλαγή στην ζώνη συχνοτήτων έγινε διότι οι ζώνες του GSM 900 στην Ευρώπη ήταν πιασμένες από άλλους παροχείς κινητής τηλεφωνίας. Σήμερα όλες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα (GSM 900 και GSM 1800) στα δίκτυα τους αυξάνοντας αισθητά τη χωρητικότητά τους. Στα τέλη της δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να ονομάσει το DCS 1800 σε GSM 1800 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκόσμια διάσταση που έχει το GSM.

- GSM 1900

Το PCS 1900 χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες της Αμερικής διατηρείται και πάλι η δομή ενός GSM 900 μόνο που χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων. Από τα 1850 -1910 MHz χρησιμοποιούνται για uplink και από τα 1930 -1990 MHz για downlink. Οι περιοχές των 60 MHz υποδιαιρούνται σε 299 κανάλια συχνότητας και ένα κανάλι ελεύθερο. Κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 kHz. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το PCS 1900 που λεγότανε παλιότερα σε GSM 1900 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

2.1.1.1 Αρχιτεκτονική GSM

Αφού είδαμε σε ποιες συχνότητες εκπέμπει το σύστημα GSM τώρα θα δούμε τι είναι το GSM και με ποιον τρόπο λειτουργεί. Το GSM είναι ένα κυψελοειδής ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G) το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε έναν αριθμό καναλιών (FDD) και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση των σημάτων (TDD).

Σε μια γεωγραφική περιοχή κάλυψης του GSM η περιοχή χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές τις κυψέλες. Οι κυψέλες εφάπτονται μεταξύ τους και κάθε κυψέλη έχει και έναν Σταθμό Βάσης (Base Station). Η δομή αυτή επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται για την απαιτούμενη κάλυψη μιας περιοχής κάνοντας επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Με την μέθοδο αυτήν αυξάνεται η χωρητικότητα του δικτύου αλλά πρέπει η ισχύς κάθε κυψέλης να είναι όση χρειάζεται ώστε να μην ξεπερνάει τα όρια της και υπερχειλίζει άλλες κυψέλες της ίδιας δομής. Για να μην δημιουργείται ενδοκαναλική παρεμβολή σε γειτονικές κυψέλες η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να απέχουν επαρκή απόσταση οι κυψέλες μιας δομής που έχουν την ίδια συχνότητα με τις κυψέλες μιας άλλης δομής. Η ενδοκαναλική παρεμβολή μειώνεται όσο αυξάνει ο αριθμός των κυψελών της δομής. Η ακτίνα κάθε κυψέλης σε αραιοκατοικημένες περιοχές δεν ξεπερνά τα 300 μέτρα. Σε

περιοχές με μεγάλη ζήτηση χωρητικότητας δικτύου όπως σε αστικά κέντρα, οι Σταθμοί Βάσης υπερφορτώνονται και έτσι υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα του δικτύου. Έτσι για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός γίνεται διάσπαση των υπάρχοντων κυψελών σε μικρότερες κυψέλες, ενώ για αυτές χρησιμοποιούνται μικρότερες κεραίες ισχύος (macro bs - micro- bs - pico bs).

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε στην κυψέλη τι είναι και από τι αποτελείται. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε την Αρχιτεκτονική του GSM. Ένα GSM σύστημα χωρίζεται σε 3 μέρη.

- ✓ Τον κινητό σταθμό (Mobile Station). Έχει οπωσδήποτε πομπό-δέκτη, κεραία, οθόνη και την κάρτα SIM.
- ✓ Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (Base Station Subsystem). Το BSS διαχειρίζεται τις κλήσεις σε μια γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραίων διαφόρων μεγεθών σε σειρά. Κάθε τέτοια κεραία εξυπηρετεί και μια κυψέλη. Το BSS χωρίζεται σε βασικό σταθμό πομπό-δέκτη Base Transceiver Station (BTS) και στο βασικό σταθμό ελέγχου Base Station Controller (BSC).
- ✓ Το BTS φροντίζει την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου GSM και του κινητού σταθμού. Ένα BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραίες.. Όταν ένας χρήστης A θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή B , ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημά του A για αναζήτηση και εντοπισμό του συνδρομητή B στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο της εταιρείας του A. Το κέντρο της εταιρείας εντοπίζει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ο B και στέλνει το σήμα στον πιο κοντινό σταθμό βάσης. Από εκεί, πάλι με τη χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων, στέλνεται το σήμα στο κινητό του B κι έτσι μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του ο A.
- ✓ Το BSC (Base Station Controller) ελέγχει τα σήματα παίρνοντας τα από ένα ή περισσότερα BTS ενώ εκχωρεί και απελευθερώνει κανάλια. Τα σήματα που λαμβάνει τα κατευθύνει στο MSC(Mobile Switching). Όταν είναι απαραίτητο μετατρέπει τα 16 kbps φωνής (που χρησιμοποιούνται στην κινητή τηλεφωνία) σε 64 kbps (που χρησιμοποιείται στην σταθερή τηλεφωνία).
- ✓ Το NNS (Network Switching Subsystem) που αποτελείται από το Mobile Switching center (MSC) είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση, τον έλεγχο και την δρομολόγηση εισερχομένων και εξερχομένων κλήσεων μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενός άλλου δικτύου. Όταν το MSC συνδέεται με ένα δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας θα πρέπει να δέχεται 64kbps φωνής, όταν όμως το 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 (Visitor Locator Register), Home Locator Register (HLR).Ο HLR έχει μια Βάση Δεδομένων που κρατά στοιχεία για το προφίλ ενός συνδρομητή και πληροφορίες για την τρέχουσα θέση του, η εμβέλεια του κέντρου είναι σε τοπικό επίπεδο. Για παράδειγμα. όταν ένας συνδρομητής βρίσκεται στο Πέραμα το HLR του χρήστη είναι το "HLR Πέραμα". Σε μια πιο πυκνή κατοικημένη περιοχή μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα τοπικά κέντρα εγγραφής πχ. το Παγκράτι. Όταν ο συνδρομητής βγει από τα όρια της τοπικής περιοχής που καλύπτει το HLR τότε αναλαμβάνει τον χρήστη το VLR το οποίο έχει μια βάση δεδομένων και συγκρατεί προσωρινά δεδομένα καθώς και την τρέχουσα θέση του συνδρομητή, αναλαμβάνοντας τις κλήσεις του κατά τις ώρες αιχμής στο κέντρο της πόλης. . Το Authentication Centre

(AuC) ο ρόλος του οποίου είναι η διαχείριση δεδομένων για την πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη.

2.1.1.2 Υπηρεσίες GSM

Σε αυτήν την παράγραφο θα αναφερθούμε στις υπηρεσίες του GSM.

- Εκτροπή κλήσεων.

Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει στο χρήστη την δυνατότητα προώθησης αναπάντητων, μη εφικτών, κατελημμένων ή άμεσων εισερχόμενων κλήσεων προς έναν άλλο προορισμό.

- Απόκρυψη κλήσεων
- Φραγή κλήσεων.

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να ενεργοποιήσει φραγή εισερχόμενων ή εξερχόμενων κλήσεων, φραγή εισερχομένων ή εξερχομένων διεθνών κλήσεων, σε roaming ή και σε όλες τις κλήσεις για όσο διάστημα θέλει.

- Cell Broad Cast.

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να εμφανίζεται στην οθόνη του κινητού του, σύντομες τοπικές πληροφορίες.

- Ειδοποίηση κλήσεων.

Είναι μια υπηρεσία δικτύου που δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ενημερώνεται με γραπτό μήνυμα για το ποιος και πότε επιχειρήσε να επικοινωνήσει μαζί του όταν δεν είναι δυνατό λόγω μη εφικτής σύνδεσης ή είναι απενεργοποιημένο το κινητό του.

- Υπηρεσία SMS.

Η υπηρεσία αυτή προσφέρει την αποστολή και την λήψη κειμένου μέχρι και 160 αλφαριθμητικών χαρακτήρων από ένα κινητό προς ένα οποιοδήποτε άλλο κινητό με την προϋπόθεση βέβαια ότι υπάρχει κάποιο κέντρο υπηρεσίας SMS για την διαχείριση τους.

- Advice of change.

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να ενημερώνεται μετά από κάθε εξερχόμενη κλήση στην οθόνη του κινητού του, την διάρκεια και την χρέωση της κλήσης του.

- Αναμονή κράτησης κλήσεων- Συνδιάσκεψη.

Είναι μια υπηρεσία προστιθέμενης αξίας και δίνει την δυνατότητα σε έναν χρήστη να πραγματοποιεί ή να δέχεται μια κλήση ενώ έχει ήδη μια κλήση σε εξέλιξη. Στην πρώτη περίπτωση όταν επιχειρείται μια νέα κλήση προς αυτόν ακούει ένα χαρακτηριστικό ήχο που τον προειδοποιεί, τότε ο χρήστης μπορεί να απορρίψει αυτή την νέα κλήση ή να βάλει σε κράτηση την αρχική κλήση για να επικοινωνήσει με την αναμένουσα, αυτή την εναλλαγή μπορεί να την κάνει όσες φορές θέλει. Επίσης αν ο χρήστης διαθέτει την υπηρεσία αναγνώρισης κλήσεων μπορεί να γίνει συνδυασμός των δύο αυτών υπηρεσιών και να τον ενημερώνει στην οθόνη του κινητού του για τον τηλεφωνικό αριθμό που επιχειρεί την κλήση προς σ' αυτόν. Στην δεύτερη περίπτωση όταν πραγματοποιεί μια κλήση ο συνδρομητής βάζει

σε κράτηση την αρχική του συνομιλία ενώ μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ των 2 κλήσεων. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να γίνει εφόσον επιτρέπεται από τον πάροχο, χρήση της υπηρεσίας τηλεδιάσκεψης που επιτρέπει την ταυτόχρονη συνομιλία μέχρι και 5 ατόμων.

➤ **Roaming.**

Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει σε συνδρομητές που βρίσκονται εκτός της περιοχής κάλυψης του δικτύου τους, να δέχονται και να πραγματοποιούν τηλεφωνικές κλήσεις και να έχουν πρόσβαση σε διάφορες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, εφόσον βέβαια επιτρέπεται από τον πάροχο τους και τον πάροχο του ξένου δικτύου.

2.1.2 Εισαγωγή στο General Packet Radio Service (GPRS)

Το GPRS είναι μια υπηρεσία δεδομένων του κινητού διαθέσιμη στους χρήστες του GSM. Η μεταφορά δεδομένων μέσω GPRS συνήθως χρεώνεται για κάθε Megabyte μεταφερόμενων δεδομένων. Το GPRS μπορεί να αξιοποιηθεί για υπηρεσίες όπως η πρόσβαση σε WAP, αποστολή SMS και MMS αλλά και για υπηρεσίες επικοινωνίας στο INTERNET. Οι υπηρεσίες του GPRS χρησιμοποιούν τεχνική μεταγωγής πακέτου. Αυτό σημαίνει ότι πολλοί χρήστες μοιράζονται το ίδιο κανάλι μετάδοσης. Το GPRS είναι υπηρεσία best effort αφήνοντας να εννοηθεί η απόδοση και ο χρόνος αναμονής. Αυτό εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών που μοιράζονται την υπηρεσία ταυτόχρονα. Το GPRS παρέχει ταχύτητα δεδομένων 56-114 kbit/second. Επίσης παρέχει μέτρια ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και χρησιμοποιεί κανάλια Time Division Multiple access (TDMA).

Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας της 2^{ης} γενιάς (2G) συνδυασμένα με GPRS συχνά αναφέρονται ως «2,5G» δηλαδή μια τεχνολογία ανάμεσα στο «2G» και στο «3G». Το GPRS χρησιμοποιεί το πρότυπο GSM.

Τώρα θα μελετήσουμε το hardware του GPRS. Οι συσκευές που υποστηρίζουν GPRS χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

▪ **Κλάση A**

Η κλάση A μπορεί να συνδεθεί με την υπηρεσία GPRS και την υπηρεσία GSM χρησιμοποιώντας και τις δύο υπηρεσίες την ίδια χρονική στιγμή. Τέτοιες συσκευές υπάρχουν σήμερα στην αγορά. Μία πραγματική συσκευή A μπορεί να μεταδώσει σε δύο διαφορετικές συχνότητες ταυτόχρονα και έτσι χρειάζονται δύο δέκτες. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζονται ακριβές προδιαγραφές. Ένα GPRS κινητό μπορεί να εφαρμόσει το χαρακτηριστικό dual transfer mode (DTM). Ένα DTM κινητό μπορεί να χρησιμοποιεί ταυτόχρονα σύνδεση φωνής και πακέτα δεδομένων, με το δίκτυο συντονισμού να διασφαλίζει ότι δεν απαιτείται ταυτόχρονη μετάδοση δύο διαφορετικών συχνοτήτων. Τέτοια κινητά θεωρούνται ψευδο-κλάση A και κάποιες φορές αναφέρονται ως "απλή κλάση A" Κάποια δίκτυα υποστηρίζουν DTM από το 2007

▪ **Κλάση B**

Μπορεί να συνδεθεί με την υπηρεσία GPRS και με την υπηρεσία GSM (φωνή και SMS) αλλά χρησιμοποιώντας μία από τις δύο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Κατά την υπηρεσία GSM (φωνητική κλήση και SMS) το GPRS αναστέλλεται και μετά το τέλος της GSM επανέρχεται. Οι πιο πολλές GPRS κινητές συσκευές είναι κλάσης B.

- Κλάση Γ

Η κλάση Γ μπορεί να συνδεθεί είτε με την υπηρεσία GPRS ή με την υπηρεσία GSM (φωνή, SMS). Πρέπει όμως να ενεργοποιήσουμε manual ποια υπηρεσία θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

2.1.2.1 Υπηρεσίες του GPRS.

Μια σύνδεση GPRS εγκαθίσταται το access point name (APN). Το APN καθορίζει τις υπηρεσίες όπως πρόσβαση στο πρωτόκολλο ασύρματων εφαρμογών (WAP –wireless application protocol), SMS, MMS, υπηρεσίες πρόσβασης στο Διαδίκτυο όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και το World Wide Web. Προκειμένου να δημιουργηθεί μια σύνδεση GPRS για ένα ασύρματο μόντεμ, ο χρήστης πρέπει να καθορίσει το APN και μπορεί να χρειαστεί ένα username και ένα password. Πολύ ποιο σπάνια μπορεί να χρειαστεί και μία IP διεύθυνση. Όλα αυτά παρέχονται από τον πάροχο του δικτύου.

Οι ταχύτητες upload και download στο GPRS εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες.

- Ο αριθμός των BTS χρονοθυρίδων TDMA που ανατίθενται από τον διαχειριστή.
 - Η κωδικοποίηση καναλιού που χρησιμοποιείται.
 - Η μέγιστη ικανότητα της κινητής συσκευής που εκφράζεται ως GPRS multi slot class.
- Οι πολλαπλές μέθοδοι πρόσβασης που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα GSM βασίζονται στην frequency division duplex (FDD) και στην TDMA.

Το GPRS ουσιαστικά αναβαθμίζει τις υπηρεσίες δεδομένων του GSM παρέχοντας

- MMS-Multimedia Messaging Service
Προσφέρει την αποστολή και την λήψη μηνυμάτων εμπλουτισμένων με περιεχόμενο multimedia.
- Υπηρεσίες Push To Talk over cellular PoC.
- Άμεσα Μηνύματα.
- Εφαρμογές internet για smart phone μέσω WAN.
- Υπηρεσίες Point-to-Point (P2P)
Για Δικτυακές εργασίες.
- Υπηρεσίες Point-to-Multipoint (P2M)
Point-to multipoint ομαδικές κλήσεις.
- Δυνατότητα μελλοντικών εφαρμογών
Με πρόσθεση νέων λειτουργιών όπως μεγαλύτερη χωρητικότητα, περισσότεροι χρήστες και νέα πρωτόκολλα.

2.1.3 Εισαγωγή στο Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)

Σε αυτήν την ενότητα θα ασχοληθούμε με το Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE) που είναι γνωστό με την ονομασία (Enhanced GPRS-EGPRS). Είναι μια τεχνολογία ψηφιακής κινητής τηλεφωνίας που επιτρέπει βελτιωμένες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων από συμβατές προεκτάσεις του EDGE. Το EDGE θεωρείται πρόιμη τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας 3^{ης} γενιάς (3G) και θεωρείται από την ITU μέρος του ορισμού του 3G. Το EDGE έχει αναπτυχθεί σε δίκτυα GSM στις αρχές του 2003 αρχικά από την Cingular (σήμερα AT&T) στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Μέσα από την εισαγωγή εξελιγμένων μεθόδων κωδικοποίησης και μετάδοσης δεδομένων το EDGE παρέχει υψηλότερα bit ανά κανάλι με αποτέλεσμα τον τριπλασιασμό της χωρητικότητας και της απόδοσης σε σύγκριση με μία συνηθισμένη GSM/ GPRS σύνδεση.

Το EDGE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε εφαρμογή μεταγωγής πακέτου όπως μία σύνδεση στο διαδίκτυο. Το EDGE υλοποιείται για την ενίσχυση των δικτύων 2.5G GSM/ GPRS. Αυτό διευκολύνει το υπάρχον δίκτυο GSM να μπορέσει να αναβαθμιστεί. Το EDGE είναι ένα υπερσύνολο του GSM και μπορεί να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε GPRS δίκτυο αρκεί ο πάροχος να έχει κάνει τις αναγκαίες αναβαθμίσεις. Το EDGE δεν απαιτεί καμία αλλαγή hardware και software στον πυρήνα του δικτύου GSM . Πρέπει όμως να γίνει εγκατάσταση του πομποδέκτη EDGE και πρέπει να εγκατασταθεί και το υποσύστημα σταθμού βάσης για να υποστηρίξει το πρότυπο EDGE. Εάν ο πάροχος έχει ήδη το υποσύστημα σταθμού βάσης, το δίκτυο μπορεί να αναβαθμιστεί σε EDGE χρησιμοποιώντας κάποιο software. Σήμερα το EDGE υποστηρίζεται από όλους τους μεγάλους κατασκευαστές chip για δίκτυα GSM WCDMA/HSPA.

Το Evolved EDGE βελτιώνει το EDGE με πολλούς τρόπους. Το bit rate του peak bandwidth αυξάνεται μέχρι 1 Mbit/s και το latency μέχρι 80 ms χρησιμοποιώντας διπλό φορέα, υψηλότερο ρυθμό συμβόλων και ανώτερη τάξη διαμόρφωσης (32QAM και 16QAM αντί του 8-PSK) και εξελιγμένους κώδικες για την διόρθωση σφαλμάτων. Τέλος η ποιότητα του σήματος βελτιώνεται χρησιμοποιώντας διπλή κεραία βελτιώνεται ο μέσος όρος των bit-rates και γίνεται αποτελεσματική χρήση του φάσματος. Το EDGE Evolution μπορεί να εισάγει σταδιακά και αναβαθμίσεις λογισμικού στην εγκατεστημένη βάση. Με το EDGE Evolution οι χρήστες θα είναι σε θέση να βιώσουν mobile internet στα 500 kbit/s και υπηρεσίες ADSL μπορούν να εισαχθούν σταδιακά με αναβαθμίσεις software στις ήδη εγκατεστημένες βάσεις.

2.1.3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά του EDGE

Εκτός από το Gaussian minimum-shift keying (GMSK) το EDGE χρησιμοποιεί υψηλότερη τάξη κωδικοποίησης (8PSK). Το EDGE παράγει μία λέξη των 3-bit για κάθε αλλαγή φορέα. Αυτό τριπλασιάζει αποτελεσματικά το ακαθόριστο ποσοστό δεδομένων που προσφέρεται από το GSM. Το GSM όπως και το GPRS χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο προσαρμογής ρυθμού που προσαρμόζει τη διαμόρφωση και το σύστημα κωδικοποίησης (MSC) ανάλογα με την ποιότητα του ασύρματου καναλιού και κατά συνέπεια του ρυθμού bit και την ταχύτητα της μετάδοσης δεδομένων.

Εισάγει μια νέα τεχνολογία που δεν περιλαμβάνεται στο GPRS η Incremental Redundancy η οποία αντί να αναμεταδίδει disturbed πακέτα στέλνει περισσότερο πλεόνασμα πληροφορίας για να συνδυαστούνε στο δέκτη. Αυτό αυξάνει την πιθανότητα σωστής αποκωδικοποίησης. Το EDGE μπορεί να μεταφέρει πακέτα εύρους ζώνης έως 236 kbit/s για 4 χρονοθυρίδες. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να χειριστεί τέσσερις φορές μεγαλύτερη κυκλοφορία από ότι το πρότυπο GPRS. Το EDGE ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της International Telecommunications Union 's για ένα δίκτυο 3G και έχει γίνει αποδεκτό από την ITU ως μέρος της οικογένειας IMT-2000 του προτύπου 3G. Επίσης ενισχύει τη λειτουργία του κυκλώματος δεδομένων που ονομάζεται HSCSD αυξάνοντας τα ποσοστά δεδομένων της υπηρεσίας αυτής. Το EDGE είναι τέσσερις φορές πιο αποτελεσματικό από το GPRS . Το GPRS χρησιμοποιεί τέσσερα συστήματα κωδικοποίησης (CS-1 to 4) ενώ το EDGE χρησιμοποιεί εννέα συστήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (MCS-1 to 9) από τα οποία

τα τέσσερα πρώτα έχουν παρόμοια απόδοση (αλλά όχι ίσα) με το GPRS. Στον πίνακα 1 φαίνεται η κωδικοποίηση που εφαρμόζεται σε κάθε πρότυπο.

| GPRS Coding scheme | Bit Rate (kbit/s/slot) | Modulation | EDGE Modulation and Coding Scheme (MCS) | Bit Rate (kbit/s/slot) | Modulation |
|--------------------|------------------------|------------|---|------------------------|------------|
| CS-1 | 9.05 | GMSK | MCS-1 | 8.80 | GMSK |
| CS-2 | 13.4 | GMSK | MCS-2 | 11.2 | GMSK |
| CS-3 | 15.6 | GMSK | MCS-3 | 14.8 | GMSK |
| CS-4 | 21.4 | GMSK | MCS-4 | 17.6 | GMSK |
| | | | MCS-5 | 22.4 | 8-PSK |
| | | | MCS-6 | 29.6 | 8-PSK |
| | | | MCS-7 | 44.8 | 8-PSK |
| | | | MCS-8 | 54.4 | 8-PSK |
| | | | MCS-9 | 59.2 | 8-PSK |

Πίνακας 1

2.1.4 Εισαγωγή στο Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)

Το Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) είναι ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς 3G για τα δίκτυα που βασίζονται πάνω στο πρότυπο GSM. Αναπτύχθηκε και συντηρήθηκε από την 3GPP. Το UMTS είναι ένα μέρος του International Telecommunications Union.

Το UMTS χρησιμοποιεί wide band κώδικα διαίρεσης πολλαπλής πρόσβασης (W-CDMA). Η τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης προσφέρει μεγαλύτερη φασματική απόδοση και εύρος ζώνης, σε φορείς δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Το UMTS καθορίζει ένα πλήρες σύστημα δικτύου. Περιλαμβάνει το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης UMTS Terrestrial Radio Access Network, ή UTRAN), το κεντρικό δίκτυο (Mobile Application Part ή MAP) και την πιστοποίηση των χρηστών μέσω των καρτών SIM (Subscriber Identity Module). Η τεχνολογία που περιγράφεται στο UMTS μερικές φορές αναφέρεται ως Freedom of Mobile Multimedia Access (FOMA) ή 3GSM. Σε αντίθεση με το EDGE, το UMTS απαιτεί νέους σταθμούς βάσεις και νέες κατανομές συχνότητες.

Το UMTS υποστηρίζει θεωρητικά μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων στα 42 Mbit/s όταν εφαρμόζεται το δίκτυο HSPA+(το οποίο θα αναλύσουμε εκτενέστερα παρακάτω). Οι χρήστες σε αναπτυσσόμενα δίκτυα μπορούν να αναμένουν ταχύτητα μεταφοράς μέχρι και 384 kbit/s για τις συσκευές με έκδοση '99. Η έκδοση '99 είναι η αρχική έκδοση του UMTS. Ενώ οι συσκευές που υποστηρίζουν συνδέσεις HSDPA το downlink είναι 7.2 Mbit/s. Αυτές οι ταχύτητες είναι σημαντικά πιο γρήγορες από τα 9.6 kbit/s του GSM.

Τα πρώτα εθνικά δίκτυα εμπορικής χρήσης UMTS ξεκίνησαν το 2002 με έντονη έμφαση στην Telco παρέχοντας εφαρμογές στα κινητά τηλέφωνα όπως κινητή τηλεόραση και βιντεοκλήσεις. Οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων του UMTS τώρα χρησιμοποιούνται πιο συχνά για πρόσβαση στο διαδίκτυο. Η εμπειρία στην Ιαπωνία και σε άλλες αναπτυγμένες χώρες έχει δείξει ότι η ζήτηση των χρηστών για υπηρεσίες όπως

βιντεοκλήση είναι μειωμένη. Η ζήτηση πλέον βρίσκεται στην υψηλή ταχύτητα πρόσβασης στο internet.

2.1.4.1 Εναέριες Επαφές του UMTS

Σε αυτήν την παράγραφο θα αναφερθούμε στην εναέρια επαφή του UMTS. Το UMTS συνδυάζει τρεις εναέριες επαφές, τον πυρήνα του GSM Mobile Application Part (MAP) και την κωδικοποίηση ομιλίας της οικογένειας του GSM. Όλες οι επιλογές των εναέριων επαφών είναι μέρος του IMT-2000 της ITU. Σήμερα την πιο δημοφιλή παραλλαγή για κινητή τηλεφωνία χρησιμοποιεί το WCDMA (IMT Direct Spread). Ενώ προτείνουν κάλυψη με μία μόνο μέθοδος πρόσβασης σε κανάλια (δηλαδή μια παραλλαγή του CDMA). Στην πραγματικότητα είναι κοινά ονόματα για το σύνολο προτύπων της εναέριας επαφής.

Σε αυτήν την παράγραφο θα αναλυθεί εκτενέστερα το W-CDMA. Το W-CDMA χρησιμοποιεί το DS-SS-CDMA ως μέθοδος πρόσβασης καναλιού με ένα ζεύγος από ένα εύρος καναλιών των 5 MHz. Σε αντίθεση το ανταγωνιστικό σύστημα CDMA2000 χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα διαθέσιμα κανάλια των 1.25 MHz για κάθε κατεύθυνση της επικοινωνίας. Το σύστημα W-CDMA έχει επικριθεί ευρέως για μεγάλη χρήση φάσματός. Για αυτόν τον λόγο καθυστερεί η ανάπτυξη του σε χώρες που έχουν προβλήματα στην κατανομή νέων συχνοτήτων ειδικά για τις υπηρεσίες 3G όπως στις Ηνωμένες Πολιτείες. Οι ειδικές ζώνες συχνοτήτων αρχικά είχαν οριστεί από το πρότυπο UMTS να είναι στα 1885–2025 MHz για το uplink και στα 2110–2200 MHz για το downlink. Στις ΗΠΑ χρησιμοποιούνται αντίστοιχα οι συχνότητες 1710–1755 MHz και 2110–2155 MHz γιατί η συχνότητα 1900MHz χρησιμοποιείται ήδη. Ενώ το UMTS2100 είναι το πιο ευρέως αναπτυσσόμενο φάσμα συχνοτήτων του UMTS. Σε κάποιες χώρες οι πάροχοι χρησιμοποιούν φάσμα συχνοτήτων των 850MHz ή και 1900MHz ανεξάρτητα του uplink και του downlink τα οποία είναι μέσα στην ίδια ζώνη. Αυτό γίνεται κυρίως στις ΗΠΑ από την AT&T Mobility, στη Νέα Ζηλανδία και στην Αυστραλία. Μερικοί φορείς όπως η T-Mobile χρησιμοποιούν αριθμούς για το φάσμα για να προσδιορίσουν τις συχνότητες του UMTS. Για παράδειγμα Band I (2100 MHz), Band IV (1700/2100 MHz), και V Band (850 MHz). Το W-CDMA είναι ένα μέρος του IMT-2000, IMT Direct Spread.

Θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή για το UTRA-TDDHCR το οποίο το συναντάμε και με την ονομασία UMTS-TDD. Η εναέρια επαφή UMTS-TDD χρησιμοποιεί τεχνική πρόσβαση καναλιού TD-SS-CDMA η οποία είναι κατοχυρωμένη ως UTRA-TDD HCR, η οποία χρησιμοποιεί αύξηση 5 MHz του φάσματος. Κάθε μερίδιο διαιρείται σε πλαίσια των 10ms που περιέχουν δεκαπέντε χρονοθυρίδες (1500 ανά δευτερόλεπτο). Οι χρονοθυρίδες (TS) κατανέμονται σε σταθερό ποσοστό για downlink και uplink. Το TD-SS-CDMA χρησιμοποιείται για την πολυπλεξία σημάτων από ή προς πολλαπλούς πομποδέκτες. Σε αντίθεση με το W-CDMA δεν χρειάζεται χωριστές ζώνες συχνοτήτων για upstream και downstream επιτρέποντας την ανάπτυξη σε στενές ζώνες συχνοτήτων. Το TD-SS-CDMA είναι ένα μέρος του IMT-2000 το ίδιο με το CDMA TDD IMT.

Σε αυτήν την παράγραφο θα αναφερθούμε στο TD-SS-CDMA (UTRA-TDD). Το TD-SS-CDMA χρησιμοποιεί την μέθοδο πρόσβασης καναλιού TDMA σε συνδυασμό με ένα σύγχρονο και προσαρμοστικό CDMA εξάρτημα με μερίδιο φάσματος 1.6 MHz επιτρέποντας την ανάπτυξη σε ακόμα αυστηρότερες ζώνες συχνοτήτων από το TD-SS-CDMA. Ωστόσο το κύριο κίνητρο για την ανάπτυξη αυτού του προτύπου από τους Κινέζους ήταν να αποφύγουν ή να μειώσουν τα τέλη άδειας χρήσης που πρέπει να καταβάλλονται στα διπλώματα

ευρεσιτεχνίας σε μη-κινέζικους κατόχους. Σε αντίθεση με τις άλλες εναέριες επαφές το TD-SCDMA δεν ήταν μέρος του UMTS από την αρχή, αλλά έχει προστεθεί στην έκδοση 4 των προδιαγραφών. Όπως το TD-CDMA είναι γνωστό ως IMT CDMA TDD του IMT-2000.

2.1.4.2 Αρχιτεκτονική του UMTS

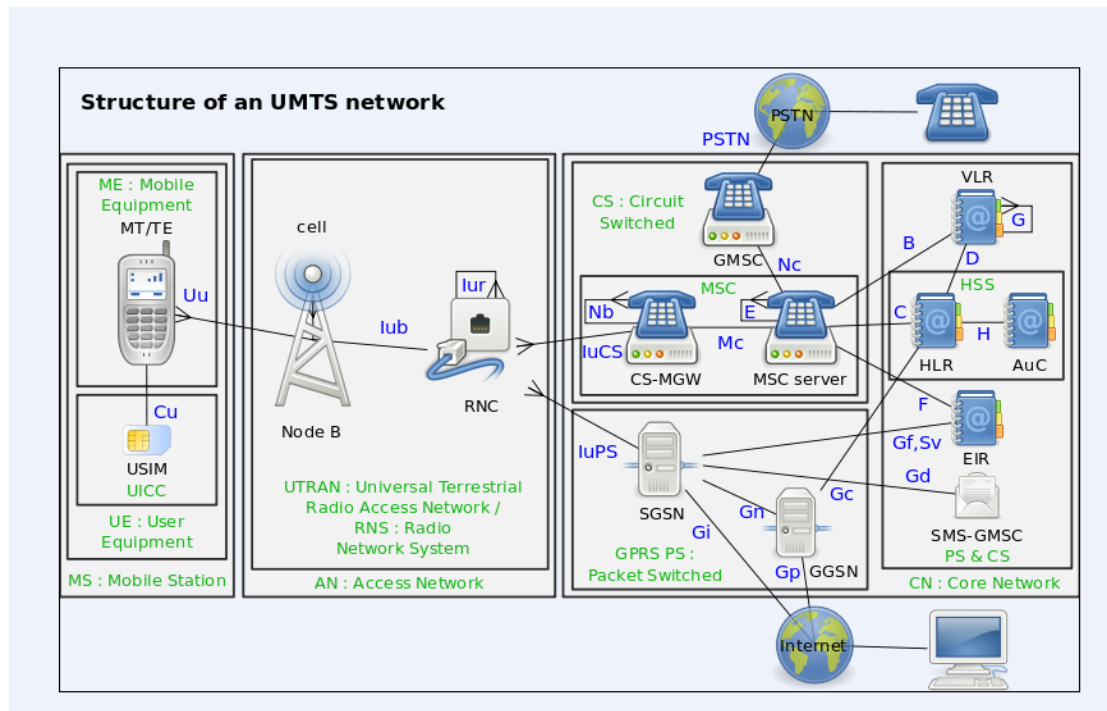
Το UMTS καθορίζεται επίσης από το Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) το οποία αποτελείται από πολλαπλούς σταθμούς βάσης που πιθανόν να χρησιμοποιεί διάφορα επίγεια πρότυπα για την εναέρια επαφή και τις ζώνες συχνοτήτων. Το UMTS και το GSM/EDGE μπορούν να μοιραστούν Core Network (CN), καθιστώντας το UTRAN ένα εναλλακτικό δίκτυο ασύρματης πρόσβασης στο GERAN (GSM/EDGE RAN) και επιτρέποντας διαφανή εναλλαγή μεταξύ των RAN σύμφωνα με την διαθέσιμη κάλυψη και την εξυπηρέτηση των αναγκών. Εξαιτίας αυτού τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης UMTS και GSM / EDGE μερικές φορές αναφέρονται ως UTRAN / GERAN. Τα δίκτυα UMTS συνδυάζονται με τα δίκτυα GSM/EDGE τα τελευταία εκ των οποίων είναι επίσης μέρος του IMT-2000.

Το UE (User Equipment) η επαφή του (Radio Access Network) αποτελείται από τα πρωτόκολλα RRC (Radio Resource Control), RLC (Radio Resource Control) και MAC (Media Access Control). Το πρωτόκολλο RRC χειρίζεται την εγκατάσταση σύνδεσης, τις μετρήσεις, τις ασύρματες υπηρεσίες του κομιστή και την απόφαση για ασφαλή μεταβίβαση. Το πρωτόκολλο RLC χωρίζεται κυρίως σε τρεις λειτουργίες. Την Transparent Mode (TM), την Unacknowledged Mode (UM) και την Acknowledge Mode (AM). Η λειτουργία της οντότητας AM μοιάζει με την λειτουργία της TCP ενώ η λειτουργία της UM μοιάζει με την λειτουργία της UDP. Σε λειτουργία TM, τα δεδομένα θα αποστέλλονται σε χαμηλότερα επίπεδα χωρίς να προσθέτει πληροφορία σε οποιαδήποτε επικεφαλίδα των υψηλότερων στρωμάτων της SDU. Το MAC χειρίζεται τον προγραμματισμό των δεδομένων για την εναέρια επαφή ανάλογα με τις παραμέτρους που έχουν ρυθμιστεί στο ανώτερο επίπεδο (RRC). Το σύνολο των ιδιοτήτων που σχετίζονται με την μετάδοση των δεδομένων ονομάζεται Radio Bearer (RB). Αυτό το σύνολο των ιδιοτήτων αποφασίζει τα ανώτατα επιτρεπόμενα δεδομένα σε ένα TTI (Transmission Time Interval). Το RB περιλαμβάνει πληροφορίες RLC και χαρτογράφηση RB. Η χαρτογράφηση RB αποφασίζει την χαρτογράφηση μεταξύ του RB λογικού καναλιού και του καναλιού μεταφοράς. Τα συματοδοτούμενα μηνύματα που αποστέλλονται στο Signaling Radio Bearers (SRBs) και τα πακέτα δεδομένων στέλνονται στο RB. Τα μηνύματα RRC και NAS πηγαίνουν στο SRB.

Η ασφάλεια περιλαμβάνει δύο διαδικασίες: την ακεραιότητα και την κρυπτογράφηση. Η ακεραιότητα επικυρώνει την πηγή των μηνυμάτων και επίσης διασφαλίζει ότι κανείς τρίτος δεν έχει τροποποιήσει τα μηνύματα στην ασύρματη επαφή. Η κρυπτογράφηση εξασφαλίζει ότι κανείς δεν έχει πρόσβαση στα δεδομένα της ασύρματης επαφής. Η ακεραιότητα και η κρυπτογράφηση εφαρμόζεται για το SRB ενώ μόνο η κρυπτογράφηση εφαρμόζεται για τα δεδομένα RB.

Με το Mobile Application Part, το UMTS χρησιμοποιεί το ίδιο πρότυπο με το κεντρικό δίκτυο GSM / EDGE. Αυτό επιτρέπει μια απλή μετάβαση για τους υπάρχον παρόχους του GSM. Ωστόσο η μετάβαση για το UMTS εξακολουθεί να είναι δαπανηρή ενώ το μεγαλύτερο μέρος της βασικής υποδομής στηρίζεται στο GSM. Το κόστος απόκτησης νέων αδειών φάσματος και η υπερκάλυψη των πύργων που ήδη υπάρχουν είναι υψηλή για το UMTS.

Το CN μπορεί να συνδεθεί με διάφορα δίκτυα κορμού, όπως το διαδίκτυο ή ένα τηλεφωνικό δίκτυο ISDN. Το UMTS περιλαμβάνει τα τρία χαμηλότερα επίπεδα του OSI . Το τρίτο επίπεδο (OSI 3) περιλαμβάνει το Radio Resource Management Protocol (MTA) που διαχειρίζεται τα κανάλια του κομιστή μεταξύ των κινητών τερματικών και του σταθερού δικτύου και διαχειρίζεται και τις μεταβιβάσεις. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του UMTS.



Σχήμα 2

2.1.4.3 Χρήση του UMTS

Τώρα θα δούμε τις συσκευές που χρησιμοποιούν το πρότυπο UMTS. Όλοι οι μεγάλοι κατασκευαστές τηλεφώνων 2G που είναι ακόμα στην αγορά τώρα κατασκευάζουν 3G κινητά τηλέφωνα. Τα πρώτα 3G κινητά τηλέφωνα και μόντεμ που κατασκευάστηκαν χρησιμοποιούσαν τις συχνότητες που απαιτεί η κάθε χώρα. Αυτό σημαίνει η υπηρεσία roaming λειτουργεί μόνο σε χώρες με την ίδια συχνότητα και αν αυτό δεν ήταν εφικτό τότε θα λειτουργούσε με το πρότυπο GSM. Ο Καναδάς και η ΗΠΑ έχουν τις ίδιες συχνότητες. Το ίδιο κάνουν και οι περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες. Οι ζώνες συχνοτήτων του UMTS χρησιμοποιούνται πλέον παγκοσμίως.

Χρησιμοποιώντας ένα κινητό router PCMCIA ή κάρτα USB οι πελάτες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ευρυζωνικές υπηρεσίες 3G ανεξάρτητα από την επιλογή του υπολογιστή. Ορισμένα λογισμικά εγκαθίστανται απευθείας από το modem, έτσι ώστε να μην είναι απαραίτητη καμία απολύτως γνώση της τεχνολογίας. Χρησιμοποιώντας ένα τηλέφωνο που υποστηρίζει 3G και Bluetooth 2.0 και αρκετοί υπολογιστές που υποστηρίζουν Bluetooth μπορούν να συνδεθούν στο internet. Μερικά smartphones μπορούν επίσης να λειτουργήσουν όπως ένα κινητό σημείο πρόσβασης WLAN.

Υπάρχουν πολύ λίγα διαθέσιμα κινητά τηλέφωνα 3G και modem που υποστηρίζουν όλες τις συχνότητες του 3G (UMTS 850/900/1700/1900/2100 MHz). Η Nokia έχει κυκλοφορήσει

μια σειρά από κινητά τηλέφωνα που έχουν κάλυψη Pentaband 3G συμπεριλαμβανόμενων των μοντέλων N8 και E7. Πολλά τηλέφωνα προσφέρουν περισσότερα από μία μπάντα συχνοτήτων και εξακολουθούν να έχουν εκτεταμένο ενεργοποιημένο roaming. Για παράδειγμα το iPhone 4 της Apple περιέχει ένα quadband chipset που λειτουργεί στα 850/900/1900/2100 MHz, επιτρέποντας την χρήση του σε πολλές χώρες όπου έχει αναπτυχθεί το UMTS-FDD.

2.1.5 Εισαγωγή στο High Speed Packet Access (HSPA)

Το High Speed Packet Access (HSPA) είναι η συγχώνευση δύο πρωτοκόλλων κινητής τηλεφωνίας του High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) και του High Speed Uplink Packet Access (HSUPA). Το HSPA επεκτείνει και βελτιώνει την απόδοση της 3^{ης} γενιάς κινητής τηλεφωνίας 3G χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο WCDMA. Μία βελτίωση του προτύπου 3GPP είναι το Evolved HSPA (γνωστό και ως HSPA+). Κυκλοφόρησε στα τέλη του 2008 και υιοθετήθηκε παγκοσμίως στις αρχές του 2010. Το νεότερο πρότυπο επιτρέπει στο bit-rate να φτάσει στα 168 Mbit/s downlink και στα 22 Mbit/s uplink.

Οι πρώτες προδιαγραφές του HSPA υποστήριζαν αυξημένες ταχύτητες δεδομένων έως και 14 Mbit/s downlink και 5.76 Mbit/s uplink. Επίσης μείωσε το latency και παρέχει έως και 5 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα του συστήματος στο downlink και διπλάσια χωρητικότητα του συστήματος στο uplink σε σχέση με το αρχικό πρωτόκολλο WCDMA.

Αυτές οι βελτιώσεις επιτυγχάνονται με διάφορους τρόπους:

- ❖ Κοινόχρηστο κανάλι μετάδοσης. Οδηγεί σε αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου κώδικα και των πόρων ενέργειας στο WCDMA.
- ❖ Ένα μικρότερο χρονικό διάστημα μετάδοσης (Transmission Time Interval-TTI) το οποίο μειώνει τον μετά επιστροφής χρόνο και βελτιώνει τον εντοπισμό των γρήγορων διακυμάνσεων του καναλιού.
- ❖ Προσαρμογή σύνδεσης η οποία μεγιστοποιεί την χρήση καναλιών και επιτρέπει στον σταθμό βάσης να λειτουργεί κοντά στη μέγιστη ισχύ των κυττάρων
- ❖ Γρήγορος προγραμματισμός, ο οποίος δίνει προτεραιότητα στους χρήστες που έχουν πιο ευνοϊκές συνθήκες καναλιού.
- ❖ Γρήγορα αναμετάδοση και soft-combining που αυξάνει περαιτέρω την χωρητικότητα.
- ❖ Χρησιμοποιεί 16-QAM και 64-QAM οι οποίες αποδίδουν υψηλότερα bit-rates.
- ❖ Χρησιμοποιεί MIMO τεχνολογία, η οποία εκμεταλλεύεται την diversity της κεραίας για να παρέχει περαιτέρω βελτιώσεις στα bit-rates και στην χωρητικότητα του συστήματος

2.1.5.1 Αναβαθμίσεις του HSPA

Η αναβάθμιση σε HSDPA γίνεται με μια ενημέρωση στο software για τα περισσότερα δίκτυα WCDMA. Τον Μάιο του 2008 το 90% των δικτύων WCDMA αναβαθμίστηκαν σε HSDPA. Οι φωνητικές κλήσεις έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα από την μεταφορά δεδομένων.

Το δεύτερο σημαντικότερο βήμα για την διαδικασία αναβάθμισης του WCDMA είναι η αναβάθμιση του uplink, που παρουσιάστηκε από την έκδοση 6 (Release 6) του 3GPP. Η αναβάθμιση του HSUPA γίνεται συνήθως με μία ενημέρωση του software. Για την ενίσχυση του uplink προστίθεται ένα νέο κανάλι μεταφοράς στο WCDMA το οποίο ονομάζεται Enhanced Dedicated Channel (E-DCH). Ένα ενισχυμένο uplink δημιουργεί ευκαιρίες για καινούργιες εφαρμογές όπως το VoIP, αποστολή εικόνων και μεγάλων μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (e-mail). Το ενισχυμένο uplink αυξάνει τον ρυθμό δεδομένων (ως 5.8 Mbit/s), την χωρητικότητα, και μειώνει το latency. Το ενισχυμένο uplink διαθέτει αρκετές βελτιώσεις παρόμοιες με εκείνες του HSDPA συμπεριλαμβανομένων την μετάδοσης πολλαπλής κωδικοποίησης, το σύντομο χρονικό διάστημα μετάδοσης (TTI) και τον γρήγορο προγραμματισμό Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ).

Το Evolved HSPA γνωστό και ως (HSPA Evolution, HSPA+) είναι ένα ευρυζωνικό ασύρματο πρότυπο καθορίζεται από το 3GPP και από την έκδοση 7 και 8 του WCDMA.. Παρέχει επεκτάσεις στους ορισμούς του ήδη υπάρχον HSPA και είναι συμβατό προς την αρχική έκδοση 99 . Το Evolved HSPA παρέχει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 84 Mbit/s downlink και 10.8 Mbit/s uplink, με τεχνολογίες πολλαπλών καταχωρήσεων, πολλαπλών αποτελεσμάτων (2x2 MIMO) και υψηλότερη σειρά συντονισμού (64 QAM). Με την τεχνολογία Dual Cell, αυτά μπορούν να διπλασιαστούν. Από το 2011 το HSPA+ έχει ευρέως διαδοθεί μεταξύ των φορέων WCDMA με περισσότερες από 200 δεσμεύσεις.

Το Dual-Carrier HSDPA, μέρος της 3GPP έκδοσης 8 είναι η φυσική εξέλιξη του HSPA. Επιτρέποντας στον χρήστη να συνδεθεί σε δύο κελιά ταυτόχρονα, με αυτόν τον τρόπο θεωρητικά διπλασιάζονται οι ταχύτητες σύνδεσης του χρήστη. Ένα HSPA+ δίκτυο μπορεί θεωρητικά να υποστηρίξει έως και 28 Mbit/ s και 42 Mbit/ με ένα μόνο κύτταρο αν και οι πραγματικές ταχύτητες είναι πολύ χαμηλότερες. Το Dual-cell μπορεί να βελτιώσει το QoS (Quality of Service) για τους τελικούς χρήστες με κακή ασύρματη λήψη όπου δεν μπορούν να επωφεληθούν από τις βελτιώσεις χωρητικότητας του WCDMA (MIMO και υψηλότερες τάξης διαμορφώσεις) που οφείλονται στην κακή ποιότητα του σήματος. Από την έκδοση 9 θα είναι δυνατή η χρήση DC-HSDPA σε συνδυασμό με την τεχνολογία MIMO. Η στήριξη της MIMO σε συνδυασμό με το DC-HSDPA θα επιτρέψει στους φορείς ακόμα περισσότερες βελτιώσεις εντός του δικτύου.

Παρόμοιες βελτιώσεις που παρουσιάστηκαν στο DC-HSDPA του downlink για το UMTS έκδοση 8 είναι τώρα πρότυπο για το UMTS έκδοση 9 του uplink και ονομάζεται Dual-Cell HSUPA. Εφαρμόζεται σε φυσικό κανάλι HSUPA UL και DPCCCH. Η προτυποποίηση της έκδοσης 9 ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2009.

Η συγκέντρωση δύο ή περισσότερων φορέων έχει μελετηθεί και το 3GPP έκδοση 11 έχει προγραμματιστεί να περιλαμβάνει 4 φορείς HSPA. Το πρότυπο έχει προγραμματιστεί να ολοκληρωθεί στο 3ο τρίμηνο του 2012 και το πρώτο chipset που θα υποστηρίξει MC-HSPA θα ολοκληρωθεί στα τέλη του 2013.

2.2.1 Εισαγωγή στο LTE δίκτυο (long-term evolution)

Το LTE είναι αρχή της μακροπρόθεσμης εξέλιξης (long-term evolution) και διατίθενται στην αγορά ως 4GLTE, είναι ένα πρότυπο για ασύρματη επικοινωνία υψηλής ταχύτητας δεδομένων για κινητά τηλέφωνα. Βασίζεται σε δίκτυα τεχνολογίας GSM/EDGE και UMTS/HSPA αυξάνοντας την χωρητικότητα και την ταχύτητα χρησιμοποιώντας μία διαφορετική ασύρματη επαφή και βελτιώνει τον πυρήνα δικτύου. Το πρότυπο αναπτύχθηκε από την 3GPP (3rd Generation Partnership Project) και καθορίζεται από τις document series έκδοση 8 και με μικρές βελτιώσεις που περιγράφονται στην έκδοση 9.

Για πρώτη φορά παγκοσμίως έρχονται στην δημοσιότητα διαθέσιμες υπηρεσίες LTE. Ξεκίνησαν από την Telia Sonera στο Όσλο και την Στοκχόλμη στις 14 Δεκεμβρίου του 2009. Το LTE είναι το φυσικό μονοπάτι αναβάθμισης για τους φορείς που χρησιμοποιούν δίκτυα GSM/UMTS και CDMA όπως η Verizon Wireless, η οποία ξεκίνησε την πρώτη μεγάλη κλίμακα LTE δικτύων στην Βόρεια Αμερική το 2010 και η KDDI στην Ιαπωνία έχουν ανακοινώσει ότι θα μετακινηθούν σε LTE δίκτυα. Αυτό δείχνει ότι το LTE αναμένεται να γίνει πραγματικά το πρώτο παγκόσμιο πρότυπο κινητής τηλεφωνίας. Παρόλο που το LTE χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες και διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων σε διαφορετικές χώρες αυτό σημαίνει ότι μόνο τα τηλέφωνα με πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων (multi-band) θα μπορούν να χρησιμοποιούν το LTE σε όλες τις χώρες που το υποστηρίζει.

Η κοινοπραξία του 3GPP έχει υιοθετήσει την καινούργια γενιά προτύπου και οι οποίες είχαν αρχικά οριστεί από την οργάνωση ITU-R του IMT-Advanced specification. Ωστόσο λόγω της πίεσης του μάρκετινγκ και τις σημαντικές προόδους του WiMAX, HSPA+ και το LTE ονομάζονταν τεχνολογίες 3G. Αργότερα η ITU αποφάσισε ότι το LTE μαζί με τις παραπάνω τεχνολογίες μπορούν να ονομαστούν 4G. Το πρότυπο LTE Advanced ικανοποιεί τις απαιτήσεις της ITU-R για να θεωρηθεί IMT-Advanced. Για να διαφοροποιήσουμε το LTE-Advanced και το WiMAX-Advanced από τις τρέχουσες 4G τεχνολογίες η ITU τις έχει ορίσει ως "True 4G".

Το LTE είναι ένα πρότυπο για την τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας και δεδομένων. Ο στόχος του LTE ήταν να αυξήσει την χωρητικότητα και την ταχύτητα των ασύρματων δικτύων με τη χρήση νέων τεχνικών επεξεργασίας ψηφιακού σήματος και διαμορφώσεις που έχουν αναπτυχθεί μετά το 2000. Ένας περαιτέρω στόχος ήταν ο επανασχεδιασμός και η απλούστευση της αρχιτεκτονικής δικτύου σε ένα σύστημα IP-based με σημαντικά μειωμένο latency σε σχέση με την αρχιτεκτονική του 3G. Η ασύρματη επαφή του LTE είναι συμβατή με τα δίκτυα 2G και 3G και πρέπει να λειτουργεί σε ένα ξεχωριστό ασύρματο φάσμα.

Το LTE ήταν προτεινόμενο για πρώτη φορά από την NTT DoCoMo στην Ιαπωνία το 2004 και μελέτες σχετικά με το νέο πρότυπο άρχισε επίσημα το 2005. Τον Μάιο του 2007 η συμμαχία του LTE/SAE Trial Initiative (LSTI) ιδρύθηκε ως μία παγκόσμια συνεργασία μεταξύ των εμπόρων και των φορέων με στόχο την επαλήθευση και την προώθηση του νέου προτύπου, προκειμένου να διασφαλιστεί η παγκόσμια εισαγωγή της τεχνολογίας το συντομότερο δυνατόν. Το πρότυπο LTE ολοκληρώθηκε το Δεκέμβριο του 2008 και η πρώτη φορά που κυκλοφόρησε η υπηρεσία δημοσίως ξεκίνησε από την Telia Sonera στο Όσλο και τη Στοκχόλμη στις 14 Δεκεμβρίου 2009 ως μία σύνδεση δεδομένων με ένα USB modem. Οι LTE υπηρεσίες ξεκίνησαν από μεγάλους παρόχους της Βόρειας Αμερικής.

Στον Καναδά η Rogers Wireless ήταν η πρώτη που παρουσίασε το LTE δίκτυο στις 7

Ιουλίου 2011. Αρχικά οι φορείς CDMA σχεδιάζουν να αναβαθμιστούν στα αντίπαλα πρότυπα τα οποία ονομάζονται UMB και WiMAX αλλά όλες οι επιχειρήσεις CDMA έχουν ανακοινώσει ότι σκοπεύουν να μετακινηθούν σε LTE. Η εξέλιξη του LTE είναι το LTE Advanced το οποίο τυποποιήθηκε το Μάρτιο του 2011. Οι υπηρεσίες αναμένονται να ξεκινήσουν το 2013.

Οι προδιαγραφές του LTE προσφέρει downlink peak rates στα 300Mbit/s και uplink peak rates στα 75 Mbit/s και το QoS επιτρέπει στο latency να είναι μικρότερο από 5 ms στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης. Το LTE έχει την δυνατότητα να διαχειρίζεται fast-moving κινητά και να υποστηρίζει multicast και broadcast ροές. Το LTE υποστηρίζει επεκτάσιμο εύρος ζώνης μεταφοράς από 1.4 MHz-20 MHz και frequency division duplexing (FDD) ή time-division duplexing (TDD). Η αρχιτεκτονική του δικτύου που βασίζεται στο IP ονομάζεται Evolved Packet Core (EPC) και έχει σχεδιαστεί για να αντικαταστήσει το κεντρικό δίκτυο GPRS. Υποστηρίζει συνεχόμενη μεταβίβαση τόσο για φωνή όσο και για δεδομένα σε πύργους της κυψέλης με παλαιότερη τεχνολογία δικτύου όπως GSM, UMTS και CDMA2000.

2.2.2 Χαρακτηριστικά του LTE

Μεγάλο μέρος του προτύπου LTE διευθύνει την αναβάθμιση του 3G UMTS για το τι θα είναι τελικά η τεχνολογία κινητής επικοινωνίας 4G. Οι Peak ταχύτητες download φτάνουν τα 299.6 Mbit/s και οι ταχύτητες upload φτάνουν τα 75.4 Mbit/s ανάλογα με την κατηγορία του εξοπλισμού των χρηστών. Με κεραίες 4x4 χρησιμοποιούνται τα 20 MHz του φάσματος. Πέντε διαφορετικές κατηγορίες τερματικών έχουν οριστεί από μία κλάση φωνής centric μέχρι ένα High end που υποστηρίζει έναν peak ρυθμό δεδομένων. Όλα τα τερματικά θα μπορούν να επεξεργάζονται 20 MHz εύρος ζώνης .

Χαμηλό latency για μεταφορά δεδομένων (5 ms latency για μικρά πακέτα IP σε ιδανικές συνθήκες), χαμηλότερα latencies για την μεταβίβαση και του χρόνου εγκατάστασης σύνδεσης σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης.

Βελτιωμένη υποστήριξη για την κινητικότητα αποτελεί παράδειγμα για την υποστήριξη των τερματικών. Τα οποία κινούνται στα 350 km/h ή 500 km/h ανάλογα με την ζώνη συχνοτήτων. OFDM για το downlink, και SC-FDMA για το uplink και αυτό συμβαίνει για να έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας. Υποστήριξη τόσο για τα FDD και τα TDD συστήματα επικοινωνίας καθώς και για τα half-duplex FDD με την ίδια τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης. Υποστήριξη για όλες τις ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται σήμερα από τα συστήματα IMT της ITU-R. Αυξανόμενη ευελιξία φάσματος 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz και 20.

Υποστήριξη για μεγάθη πυρήνα ακτίνας δεκάδων μέτρων μέχρι και 100 χιλιόμετρα. Στις χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων που θα χρησιμοποιηθούν στις αγροτικές περιοχές 5 km είναι το βέλτιστο μέγεθος των κυττάρων, 30 χιλιόμετρα έχει λογική απόδοση και στα 100 km το μέγεθος των κυττάρων υποστηρίζονται με αποδεκτή απόδοση. Στην πόλη και στις αστικές περιοχές οι υψηλότερες ζώνες συχνοτήτων χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη υψηλής ταχύτητας για κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες (στην E.E είναι 2,6 GHz οι ζώνες συχνοτήτων). Σε αυτήν την περίπτωση τα μεγέθη των κυττάρων μπορεί να είναι 1 km ή και λιγότερο. Υποστηρίζει τουλάχιστον 200 δεδομένα ενεργών πελατών σε κάθε κύτταρο των 5 MHz

2.2.3 Φωνητικές Κλήσεις

Το πρότυπο LTE υποστηρίζει μόνο μεταγωγή πακέτων με όλα τα δίκτυα IP. Οι φωνητικές κλήσεις σε δίκτυα GSM, UMTS και CDMA2000 χρησιμοποιούν μεταγωγή κυκλώματος έτσι ώστε με την υιοθέτηση του LTE οι πάροχοι θα πρέπει να ανασχεδιάσουν το δίκτυο κλήσης φωνής. Τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις ξεπήδησαν.

- ✚ VoLTE (Voice Over LTE): Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στο δίκτυο IP Multimedia Subsystem (IMS) με ειδικό προφίλ για τον έλεγχο. Τα μέσα επίπεδα της φωνητικής υπηρεσίας του LTE ορίζεται ως PRD IR.92 του GSMA. Τα προσεγγιστικά αποτελέσματα στην υπηρεσία φωνής παραδίδονται ως ροή δεδομένων εντός του κομιστή δεδομένων του LTE. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει εξάρτηση από το δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος φωνής το οποίο πρέπει να διατηρηθεί.
- ✚ Το CSFB (Circuit Switched Fallback) σε αυτήν την προσέγγιση του LTE παρέχει υπηρεσίες δεδομένων όταν μία φωνητική κλήση είναι έτοιμη να ξεκινήσει ή να ληφθεί θα στραφεί στο CS domain. Όταν χρησιμοποιείται αυτή η λύση οι διαχειριστές θα πρέπει να αναβαθμίσουν το MSC αντί να αναπτύξουν το IMS και επομένως μπορούν να παρέχουν γρηγορότερες υπηρεσίες. Ωστόσο το μειονέκτημα είναι, μεγαλύτερη καθυστέρηση εγκατάστασης της κλήσης.
- ✚ Στο SVLTE (Simultaneous Voice και LTE) το handset λειτουργεί ταυτόχρονα και με LTE και με CS. Με την λειτουργία LTE παρέχονται υπηρεσίες δεδομένων ενώ με την λειτουργία CS παρέχονται υπηρεσίες φωνής. Αυτή η λύση βασίζεται αποκλειστικά στο handset, το οποίο δεν έχει ειδικές απαιτήσεις σχετικά με το δίκτυο και ούτε απαιτεί την ανάπτυξη του IMS. Το μειονέκτημα αυτής της λύσης είναι ότι το τηλέφωνο μπορεί να γίνει ακριβό με υψηλή κατανάλωση ενέργειας.

Μία επιπρόσθετη προσέγγιση η οποία δεν ξεκίνησε από τους διαχειριστές είναι η χρήση των υπηρεσιών Over-the-top χρησιμοποιούν εφαρμογές όπως το Skype και το Google Talk για την παροχή της φωνητικής υπηρεσίας του LTE. Ωστόσο τώρα και στο άμεσο μέλλον η υπηρεσία φωνητικής κλήσης θα εξακολουθεί να είναι η κύρια πηγή εσόδων για τους διαχειριστές. Έτσι η πλήρης παράδοση της φωνητικής υπηρεσίας του LTE στο OTT είναι κάτι το οποίο δεν αναμένεται να λάβει μεγάλη στήριξη στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών.

Οι μεγαλύτεροι υποστηριχτές του LTE προτιμούν και προωθούν το VoLTE από την αρχή. Η έλλειψη υποστήριξης software στις αρχικές συσκευές LTE καθώς και στις συσκευές του δικτύου πυρήνα οδήγησε έναν αριθμό φορέων που προωθούν το VoLGA (Voice over LTE Generic Access) ως προσωρινή λύση. Η ιδέα ήταν να χρησιμοποιήσει τις ίδιες αρχές με το GAN (Generic Access Network γνωστό και ως UMA) το οποίο καθορίζει τα πρωτόκολλα μέσω των οποίων ένα κινητό handset μπορεί να εκτελέσει φωνητικές κλήσεις μέσω της ιδιωτικής σύνδεσης του πελάτη στο διαδίκτυο, συνήθως μέσω ασύρματου LAN. Ωστόσο το VoLGA ποτέ δεν κέρδισε μεγάλη στήριξη γιατί το VoLTE (IMS) υπόσχεται ποιο ευέλικτες υπηρεσίες παρόλο το κόστος της αναβάθμισης ολόκληρης της υποδομής της φωνητικής κλήσης. Το VoLTE χρειάζεται επίσης το Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC), προκειμένου να μπορέσει ομαλά να εκτελέσει την μεταβίβαση σε ένα δίκτυο 3G, σε περίπτωση κακής ποιότητας του σήματος LTE.

Ενώ η βιομηχανία έχει στηριχτεί στο πρότυπο VoLTE για το μέλλον η ζήτηση για φωνητικές κλήσεις σήμερα έχει οδηγήσει τους φορείς του LTE να παρουσιάσουν το CSFB

σαν μία προσωρινή λύση. Όταν πραγματοποιείται ή όταν λαμβάνεται μία κλήση φωνής το LTE handset θα γυρίσει πίσω στα παλιά δίκτυα 2G ή 3G κατά την διάρκεια της κλήσης.

Για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα του 3GPP απαιτεί τουλάχιστον κωδικοποίηση AMR-NB, αλλά η προτεινόμενη κωδικοποίηση ομιλίας για το VoLTE είναι Adaptive Multi-Rate Wideband γνωστό και ως HD Voice. Αυτός ο αποκωδικοποιητής απαιτείται για δίκτυα 3GPP που υποστηρίζουν δειγματοληψία 16 kHz.

Η Fraunhofer IIS έχει προτείνει και επιδεικνύει την Full-HD Voice, μία υλοποίηση του AAC-ELD (Advanced Audio Coding – Enhanced Low Delay) κωδικοποίηση για LTE συσκευές. Όπου οι προηγούμενοι κωδικοποιήσεις φωνής κινητών τηλεφώνων υποστήριζαν συχνότητες μέχρι 3.5 kHz και οι επερχόμενες ευρυζωνικές υπηρεσίες φωνής πατενταρίστηκε ως HD Voice μέχρι 7 kHz, το Full-HD Voice υποστηρίζει ολόκληρο το εύρος ζώνης από 20 Hz-20 kHz. Το end-to-end Full-HD Voice καλείται να πετύχει. Ωστόσο οι συσκευές αυτού που καλεί όσο και αυτού που δέχεται την κλήση όπως και τα δίκτυα πρέπει να υποστηρίζουν την λειτουργία.

Το πρότυπο LTE καλύπτει ένα φάσμα πολλών διαφορετικών ζωνών καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από μία συχνότητα και από έναν αριθμό ζωνών (Band). Στη Βόρεια Αμερική χρησιμοποιούνται οι ζώνες συχνοτήτων 700, 800, 1900 και 1700/2100 MHz (4, 12, 13, 17, 25 bands), στη Νότια Αμερική 2500 MHz, στην Ευρώπη 800, 900, 1800, 2600 MHz (3, 7, 20 bands), στην Ασία 1800 και 2600 MHz (1, 3, 5, 7, 8, 11, 13, 40 bands), στην Αυστραλία και την Νέα Ζηλανδία 1800 MHz (3, 40 bands). Σαν αποτέλεσμα τα τηλέφωνα από την μία χώρα στη άλλη να μην δουλεύουν. Οι χρήστες θα χρειαστούν ένα ικανό multi-band τηλέφωνο για διεθνή roaming.

2.2.4 Εισαγωγή στο E-UTRA LTE

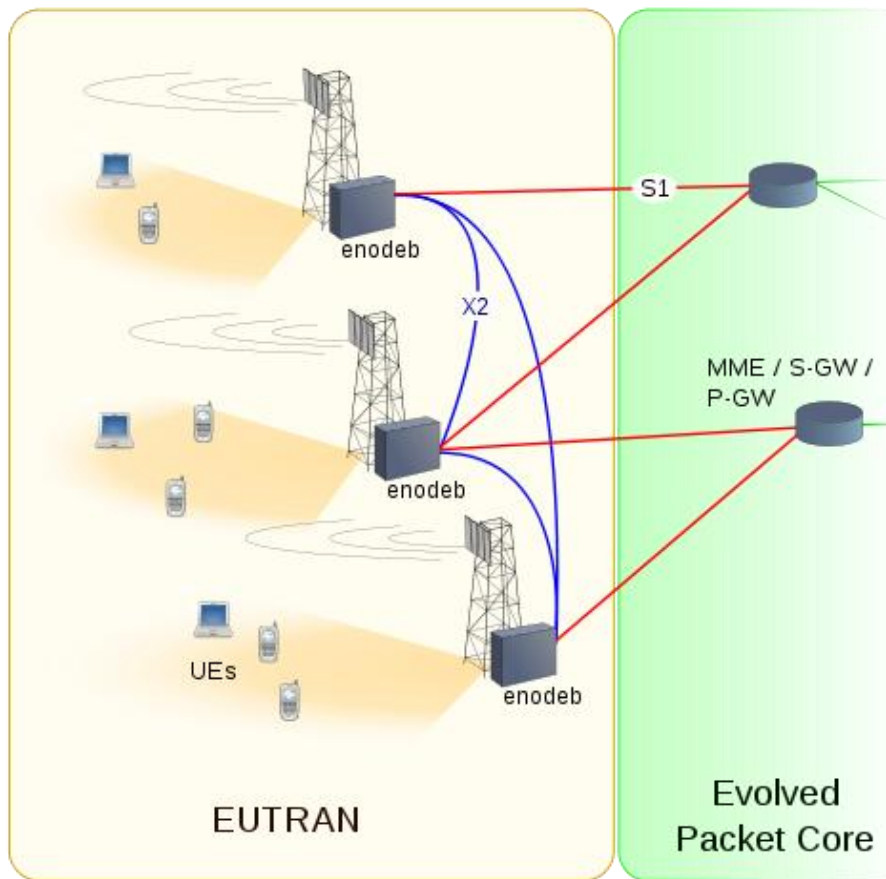
Το e-UTRA είναι μία εναέρια επαφή του 3GPP Long Term Evolution (LTE) που αναβαθμίζει το μονοπάτι για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Είναι η συντομογραφία για το εξελιγμένο UMTS Terrestrial Radio Access και αναφέρεται ως το στοιχείο εργασίας του Long Term Evolution (LTE) το οποίο είναι γνωστό και με την ονομασία Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), στα αρχικά προσχέδια των προδιαγραφών του 3GPP LTE.

Πρόκειται για ένα πρότυπο ασύρματης πρόσβασης δικτύου το οποίο προορίζεται να αντικαταστήσει τις τεχνολογίες UMTS, HSDPA και HSUPA που αναφέρονται στις εκδόσεις 5 και πάνω του 3GPP. Σε αντίθεση με το HSPA το LTE E-UTRA είναι ένα εντελώς νέο σύστημα εναέριας επαφής μη συναφή προς την τεχνολογία W-CDMA. Παρέχει υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, χαμηλότερο latency και βελτιώνει την μεταφορά πακέτων δεδομένων. Χρησιμοποιεί OFDMA ασύρματη πρόσβαση για το downlink και SC-FDMA για το uplink. Οι δοκιμές ξεκίνησαν το 2008.

Το EUTRAN έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ✓ Το peak rate του download είναι στο 299.6 Mbit/s για μία 4x4 κεραία και 150.8 Mbit/s για κεραία 2x2 με 20 MHz του φάσματος. Το LTE Advanced υποστηρίζει 8x8 διαμορφώσεις κεραιών με το peak rate στα 2998.6 Mbit/s σε ένα αθροιστικό κανάλι των 100 MHz.

- ✓ Το peak rate του upload είναι στα 75.4 Mbit/s για ένα κανάλι 20 MHz στο LTE πρότυπο, ενώ σε ένα LTE Advanced είναι στα 100 MHz.
- ✓ Χαμηλά latencies μεταφοράς δεδομένων (sub-5ms latency για μικρά πακέτα IP σε ιδανικές συνθήκες), χαμηλότερα latencies για την επιστροφή και τον χρόνο εγκατάστασης της σύνδεση.
- ✓ Υποστήριξη για τερματικούς σταθμούς που κινούνται από 350 km/h -500 km/h ανάλογα με την ζώνη συχνοτήτων.
- ✓ Υποστήριξη για FDD και για TDD duplexes καθώς και για half-duplex FDD με την ίδια τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης.
- ✓ Υποστήριξη για όλες τις ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται από συστήματα IMT της ITU-R.
- ✓ Το ευέλικτο εύρος ζώνης 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 15 MHz και 20 MHz είναι σταθερό. Συγκριτικά το W-CDMA χρησιμοποιεί σταθερού μεγέθους 5 MHz κομμάτια φάσματος.
- ✓ Η φασματική απόδοση αυξάνεται από 2-5 φορές περισσότερο από την έκδοση 6 του 3GPP (HSPA).
- ✓ Η υποστήριξη των μεγθών των κυττάρων από δέκα μέτρα ακτίνας (femto και pico κύτταρο) γίνεται πάνω από 100 km.
- ✓ Απλοποιημένη αρχιτεκτονική: Η πλευρά του δικτύου του E UTRAN αποτελείται μόνο από τα eNodeBs.
- ✓ Υποστήριξη για δια-λειτουργικότητας μαζί με άλλα συστήματα (για παράδειγμα GSM/EDGE, UMTS, CDMA2000, WiMAX).
- ✓ Μεταγωγή πακέτων ασύρματης επαφής.



Σχήμα 3

Αν και το UMTS με το HSDPA και το HSUPA και η εξέλιξη τους διανέμουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, η ασύρματη χρήση δεδομένων αναμένεται να συνεχίσει να αναπτύσσεται συστηματικά τα επόμενα χρόνια λόγω της αυξημένης προσφοράς και ζήτησης των υπηρεσιών και του περιεχομένου on-the-move και η συνεχής μείωση του κόστους για τον τελικό χρήστη. Η αύξηση αυτή αναμένεται να απαιτήσει όχι μόνο ταχύτερα δίκτυα και ασύρματες διασυνδέσεις αλλά και υψηλότερο κόστος και αποτελεσματικότητα όπου είναι εφικτό για την εξέλιξη των τρέχων προτύπων. Έτσι η κοινοπραξία του 3GPP καθορίζει τις απαιτήσεις για την καινούργια ασύρματη επαφή (EUTRAN) και την εξέλιξη του πυρήνα δικτύου (System Architecture Evolution SAE) που θα εκπληρώσει αυτήν την ανάγκη.

Αυτές οι βελτιώσεις στην απόδοση επιτρέπει στους ασύρματους φορείς να προσφέρουν τετραπλές υπηρεσίες παιχνιδιών-φωνής, υψηλής ταχύτητας διαδραστικές εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων μεγάλες μεταφορές δεδομένων και διαθέτουν IPTV με πλήρη κινητικότητα.

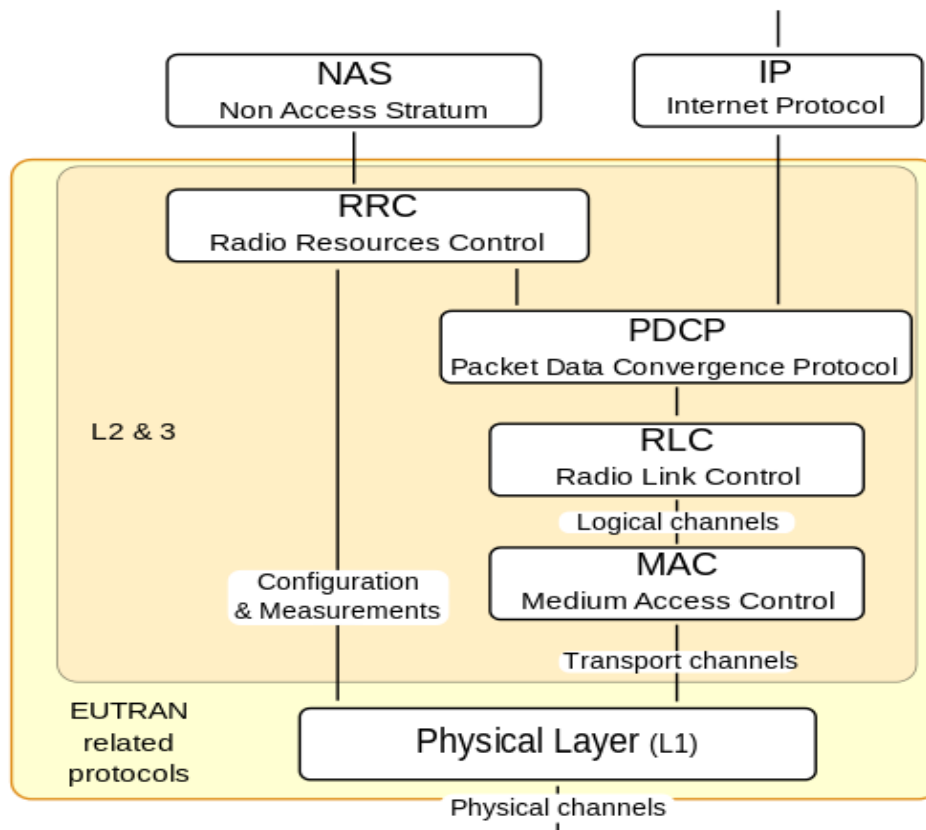
Ξεκινώντας με το 3GPP έκδοση 8 (Release 8) το e-UTRA έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ένα ενιαίο μονοπάτι από τις ασύρματες επαφές των GSM/EDGE, UMTS/HSPA, CDMA2000/EV-DO και TD-SCDMA παρέχοντας αύξηση στην ταχύτητα δεδομένων και την φασματική απόδοση και επιτρέπει την παροχή περισσότερων λειτουργιών.

2.2.5 Η Αρχιτεκτονική του E-UTRA

Το EUTRAN αποτελείται από eNodeBs από την πλευρά του δικτύου. Το eNodeB εκτελεί καθήκοντα παρόμοια με αυτά που εκτελεί το nodeB και το RNC(ασύρματος ελεγκτής δικτύου) μαζί με το UTRAN. Ο στόχος αυτής της απλούστευσης είναι η μείωση του latency όλων των ασύρματων επαφών. Τα eNodeBs είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω της επαφής X2 και συνδέονται με την μεταγωγή πακέτου (PS) του πυρήνα δικτύου μέσω της επαφής S1.

Η στοίβα πρωτοκόλλου του EUTRAN αποτελείται από

- Φυσικό επίπεδο. Μεταφέρει όλες τις πληροφορίες από τα κανάλια μεταφοράς MAC προς τις εναέριες επαφές. Φροντίζει για την προσαρμογή σύνδεσης (AMC), τον έλεγχο ισχύς, αναζήτηση κυψελών (για τον αρχικό συγχρονισμό και για σκοπούς παράδοσης) και άλλες μετρήσεις (μέσα στο LTE σύστημα και μεταξύ των συστημάτων) για το RRC επίπεδο.
- MAC: Το MAC υπόστρωμα προσφέρει μία σειρά λογικών καναλιών στο υπόστρωμα RLC που multiplexes τα φυσικά επίπεδα μεταφοράς καναλιών. Επίσης διαχειρίζεται την HARQ διόρθωση σφαλμάτων, χειρίζεται την ιεράρχηση των λογικών καναλιών για το ίδιο UE και τον δυναμικό προγραμματισμό μεταξύ των UE.
- RLC: Μεταφέρει τα PDCPs του PDU. Μπορεί να λειτουργήσει με 3 διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με την παρερχομένη αξιοπιστία. Βασισμένη σε αυτήν την λειτουργία μπορεί να παρέχει ARQ διόρθωση σφαλμάτων, κατάτμηση/συνένωση των PDUs, αναδιάταξη για παράδοση σε αλληλουχίες και εις διπλούν αντίχνευση.
- PDCP: Για το επίπεδο RRC παρέχει μεταφορά των δεδομένων του με κρυπτογράφηση για την προστασία της ακεραιότητας. Για το IP επίπεδο η μετάδοση των IP πακέτων μαζί με την συμπίεση επικεφαλίδας ROHC, κρυπτογράφηση και εξαρτάται η λειτουργία με την σειρά παράδοση RLC η οποία διπλασιάζει την αντίχνευση και την αναμετάδοση των δικών του SDU κατά την διάρκεια της παράδοσης.
- RRC: Μεταξύ άλλων φροντίζει οι πληροφορίες του συστήματος που μεταδίδει να σχετίζονται με το επίπεδο πρόσβασης και τη μεταφορά των μη-προσβάσιμων μηνυμάτων στο επίπεδο (NAS), την σελιδοποίηση, την εγκατάσταση και την απελευθέρωση της σύνδεσης RRC, την διαχείριση κλειδιού ασφαλείας, την επιστροφή, και οι μετρήσεις του UE σχετίζονται με inter συστήματα (inter-RAT), με mobility και QoS.
- NAS: Πρωτόκολλα μεταξύ του UE και του MME από την πλευρά του δικτύου (εκτός του EUTRAN). Μεταξύ των άλλων πραγματοποιεί την αυθεντικότητα του UE, έλεγχο της ασφάλειας και δημιουργεί ένα μέρος των μηνυμάτων σελιδοποίησης. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.



Σχήμα 4

Το E-UTRA χρησιμοποιεί ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM), η τεχνολογία MIMO της κεραίας εξαρτάται από την κατηγορία του τερματικού και μπορεί να χρησιμοποιήσει και beamforming για το downlink για να υποστηρίξει περισσότερους χρήστες, υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και χαμηλότερη επεξεργαστική ισχύς που απαιτείται σε κάθε συσκευή.

Το LTE υποστηρίζει Frequency-division duplex (FDD) και Time-division duplex (TDD). Ενώ το FDD κάνει χρήση του ζεύγους φασμάτων για το UL και το DL η μετάδοση διαχωρίζεται από ένα gap διπλής συχνότητας. Το TDD χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα φορέα εναλλακτικά η μετάδοση δεδομένων γίνεται από τον σταθμό βάσης στο τερματικό και αντίστροφα. Οι δύο τρόποι έχουν την δική τους δομή πλαισίου εντός του LTE και αυτά είναι ευθυγραμμισμένα μεταξύ τους αυτό σημαίνει ότι παρόμοιο hardware μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους σταθμούς βάσης και στα τερματικά για να επιτρέψει την οικονομία του ζεύγους. Η λειτουργία του TDD στο LTE είναι ευθυγραμμισμένη με την TD-SCDMA και επιτρέπει την συνύπαρξή τους.

Στο Downlink (DL) υπάρχουν πολλά φυσικά κανάλια.

- ❖ Το Physical Downlink Control Channel (PDCCH) μεταφέρει εκτός των άλλων τον καταμερισμό πληροφοριών του downlink και την κατανομή grants του uplink για το τερματικό.
- ❖ Το Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH) χρησιμοποιείται για να σηματοδοτήσει το μήκος του PDCCH.

- ❖ Το Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH) χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τα acknowledges από τις uplink μεταδόσεις.
- ❖ Το Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) χρησιμοποιείται για L1 μεταφορές μετάδοσης δεδομένων. Υποστηρίζει formats διαμόρφωσης QPSK, 16QAM και 64QAM.
- ❖ Το Physical Multicast Channel (PMCH) χρησιμοποιείται για broadcast μετάδοση χρησιμοποιώντας ένα Single Frequency Network.
- ❖ Το Physical Broadcast Channel (PBCH) χρησιμοποιείται για να μεταδώσει τις πληροφορίες του βασικού συστήματος μέσα στην κυψέλη.

Υπάρχουν και τα παρακάτω σήματα.

- ❖ Τα σήματα συγχρονισμού (PSS και SSS) προορίζονται για το UE για να ανακαλύψουν την κυψέλη LTE και κάνουν τον αρχικό συγχρονισμό.
- ❖ Τα σήματα αναφοράς (συγκεκριμένη κυψέλη, MBSFN και ειδικά το UE) χρησιμοποιούνται από το UE για να υπολογίσουν το DL κανάλι.
- ❖ Positioning reference signals (PRS) προστέθηκαν στην έκδοση 9 που προορίζονται για να χρησιμοποιηθούν από το UE για την τοποθέτηση OTDOA(είναι ένα είδος multilateration)

Στο Uplink (UL) υπάρχουν τρία φυσικά κανάλια.

- Το Physical Random Access Channel (PRACH) χρησιμοποιείται για την αρχική πρόσβαση και όταν το UE χάνει το συγχρονισμό του uplink.
- Το Physical Uplink Shared Channel (PUSCH) μεταφέρει την L1 UL μετάδοση δεδομένων μαζί με τον έλεγχο των πληροφοριών. Υποστηρίζει formats διαμορφώσεων QPSK, 16QAM και εξαρτάται από τον εξοπλισμό του χρήστη αν θα χρησιμοποιηθεί διαμόρφωση 64QAM. Το PUSCH είναι το μοναδικό κανάλι το οποίο λόγω του μεγαλύτερου BW χρησιμοποιεί SC-FDMA.
- Το Physical Uplink Control Channel (PUCCH) μεταφέρει πληροφορίες ελέγχου. Σημειώστε ότι οι πληροφορίες ελέγχου αποτελούνται μόνο από τα acknowledges του DL όπως και από τις σχετικές αναφορές CQI όπως όλες οι UL κωδικοποιήσεις και οι παράμετροι κατανομής είναι γνωστά από την πλευρά του δικτύου και σηματοδοτείτε το UE του PDCCH.

Υπάρχουν και τα παρακάτω σήματα

- Τα Reference signals (RS) χρησιμοποιούνται από τα eNodeB για να εκτιμηθεί το uplink κανάλι και για να αποκωδικοποιήσει το τερματικό uplink μετάδοσης.
- Τα Sounding reference signals (SRS) χρησιμοποιούνται από τα eNodeB για την εκτίμηση των συνθηκών των uplink καναλιών για κάθε χρήστη πρέπει να αποφασίσει το καλύτερο προγραμματισμό uplink.

2.2.6 Κατηγορίες User Equipment (UE)

Το 3GPP Έκδοση 8 ορίζει 5 LTE κατηγορίες user equipment και εξαρτάται από το μέγιστο peak data rate και τις MIMO δυνατότητες υποστήριξης. Με το 3GPP Έκδοση 10 το οποίο αναφέρεται σαν LTE Advanced τρεις νέες κατηγορίες έχουν παρουσιαστεί και φαίνεται στον πίνακα 3.

| 3GPP Release | User Equipment Category | Maximum L1 datarate Downlink | Maximum number of DL MIMO layers | Maximum L1 datarate Uplink |
|--------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Release 8 | Category 1 | 10.3 Mbit/s | 1 | 5.2 Mbit/s |
| Release 8 | Category 2 | 51.0 Mbit/s | 2 | 25.5 Mbit/s |
| Release 8 | Category 3 | 102.0 Mbit/s | 2 | 51.0 Mbit/s |
| Release 8 | Category 4 | 150.8 Mbit/s | 2 | 51.0 Mbit/s |
| Release 8 | Category 5 | 299.6 Mbit/s | 4 | 75.4 Mbit/s |
| Release 10 | Category 6 | 301.5 Mbit/s | 2 or 4 | 51.0 Mbit/s |
| Release 10 | Category 7 | 301.5 Mbit/s | 2 or 4 | 102.0 Mbit/s |
| Release 10 | Category 8 | 2998.6 Mbit/s | 8 | 1497.8 Mbit/s |

Πίνακας 3

Σημειώστε: Αυτός είναι ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων L1 και δεν συμπεριλαμβάνει διαφορετικά στρώματα πρωτοκόλλου. Ανάλογα με την κυψέλη BW και το φορτίο των κυττάρων, η διαμόρφωση του δικτύου η απόδοση του UE used, συνθήκες διάδοσης, οι πρακτικές ταχύτητες δεδομένων θα διαφέρουν.

Σημειώστε: Οι ρυθμοί δεδομένων 3.0 Gbit/s / 1.5 Gbit/s καθορίζονται από την έκδοση 8 που είναι κοντά στο peak συνολικών ρυθμών δεδομένων για έναν τομέα σταθμού βάσης. Ένα πιο ρεαλιστικό μέγιστο ρυθμό δεδομένων για έναν μοναδικό χρήστη είναι 1.2 Gbit/s (downlink) και 600 Mbit/s (uplink). Τα δίκτυα των Nokia και Siemens έχουν αποδώσει ταχύτητες downlink στα 1.4 Gbit/s χρησιμοποιώντας 100 MHz του συνολικού φάσματος.

Όπως τα υπόλοιπα 3GPP πρότυπα τα εξαρτήματα του E-UTRA είναι δομημένα σε εκδόσεις.

- Η έκδοση 8, παγιώθηκε το 2008 και ορίζεται ως το πρώτο LTE πρότυπο.
- Η έκδοση, παγιώθηκε το 2009 περιλαμβάνοντας ορισμένες προσθήκες στο φυσικό επίπεδο όπως το dual layer (MIMO) και μετάδοση beamforming ή την positioning support.
- Η έκδοση 10 παγιώθηκε το 2011, εισάγει στο πρότυπο αρκετά LTE Advanced χαρακτηριστικά όπως η συγκέντρωση φορέα uplink SU-MIMO ή relays στοχεύοντας σε μία σημαντική κορυφή L1 για αύξηση του ρυθμού μεταφοράς δεδομένων.

2.3.1 Εισαγωγή στο Time-Division Duplex

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην τεχνολογία Time-division duplexing (TDD). Η τεχνολογία TDD είναι μια εφαρμογή της πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου που σκοπό έχει να διαχωρίζει τα σήματα που εισέρχονται και εξέρχονται στο κανάλι. Αναφέρεται σε duplex συνδέσεις επικοινωνίας όπου το uplink διαχωρίζεται από το downlink με την κατανομή διαφορετικών χρονοθυρίδων στην ίδια ζώνη συχνότητας. Επιτρέπει την ασύμμετρη ροή για αποστολή δεδομένων του uplink και του downlink. Στους χρήστες έχουν κατανεμηθεί χρονοθυρίδες για uplink και downlink μετάδοση. Η τεχνολογία TDD διαχωρίζει την ροή δεδομένων σε πλαίσια και αναθέτει σε χρονοθυρίδες να προωθήσουν και να ακυρώσουν μεταδόσεις με αυτόν τον τρόπο δίνει την δυνατότητα σε διαφορετικούς τύπος μετάδοσης να μοιραστούν το ίδιο μέσο μετάδοσης.

Ένα σημαντικό στοιχείο που έχει η τεχνολογία TDD είναι όταν τα δεδομένα στο uplink αυξηθούν, κατανέμεται περισσότερη χωρητικότητα επικοινωνίας. Αντίθετα αν τα δεδομένα του uplink μειωθούν η χωρητικότητα της επικοινωνίας θα μειωθεί και αυτή. Λειτουργεί με εναλλαγή κατευθύνσεων μετάδοσης πάνω από ένα χρονικό διάστημα, το οποίο προκύπτει γρήγορα και είναι μετά βίας εμφανή στο χρήστη. Η τεχνολογία TDD υποστηρίζει φωνή, συμμετρικές και ασύμμετρες υπηρεσίες δεδομένων. . Οι χωρητικότητες των downlinks και των uplinks μεταβάλλονται "υπέρ" της μίας κατεύθυνσης ή της άλλης κατεύθυνσης παρέχοντας μεγαλύτερη κατανομή μέσω των χρονοθυρίδων στις μεταδόσεις downstream και όχι στις μεταδόσεις upstream .

Τα ασύρματα συστήματα τρίτης γενιάς (3G) αναπτύσσονται σε όλο τον κόσμο. Το W-CDMA διατηρεί ένα mid-term ανταγωνιστικό πλεονέκτημα παρέχοντας high speed packet access (HSPA) τόσο στην λειτουργία downlink όσο και στην λειτουργία uplink . Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός τυπικού τηλεφώνου σήμερα είναι περίπου 7.2Mbps και τυπικοί single-user ρυθμοί δεδομένων είναι γύρω 1.5 Mbps όπως αναμένεται. Για να εξασφαλιστεί η μη ανταγωνιστικότητα στο μέλλον το long-term evolution (LTE) του 3rd Generation Partnership Project' s (3GPP) το UMTS αρχικά καθορίζονται οι προδιαγραφές από την Έκδοση 8 του 3GPP και καλύπτει τις ανάγκες που προκύπτουν από το mobile broad band για την επόμενη δεκαετία με ρυθμούς δεδομένων πάνω από 300 Mbps και αναμένονται όταν το σύστημα θα είναι πλήρως λειτουργικό.

Η πλειοψηφία των εργασιών μέχρι σήμερα για το LTE έχει επικεντρωθεί στην frequency division duplex (LTE FDD). Μετά την ολοκλήρωση του Κινέζικου προτύπου TD-SCDMA βασισμένο σε time division duplex (TDD), στις προδιαγραφές του 3GPP για το LTE, chipset και σχεδιαστές συσκευών τώρα εργάζονται για να συμπεριλάβουν την τεχνολογία TDD. Τώρα είναι γνωστή και ως TD-LTE το πρότυπο επιτρέπει στους φορείς να κάνουν χρήση του unpaired φάσματος που πολλοί από αυτούς ήδη κατέχουν.

2.3.2 Η Αρχιτεκτονική του TDD

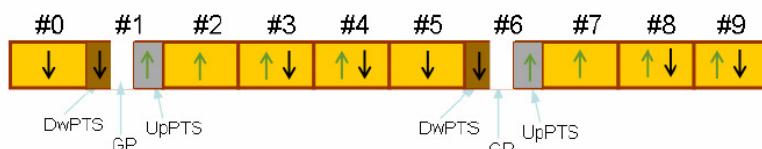
Σε σύγκριση με τα προηγούμενα πρότυπα όπως το GSM/EDGE και το W-CDMA το timescale από την πρώτη γενιά προτύπων καταγράφει την εμπορική διάθεση του LTE έγινε σε σύντομο χρονικό διάστημα και το TD-LTE σε συντομότερο χρονικό διάστημα λόγω της μεταγενέστερης προσθήκης στα πρότυπα. Για συσκευές και κάρτες δεδομένων το μέγιστο καθορισμένο φάσμα συχνότητας RF των 20 MHz του LTE έχει οδηγήσει μια αλλαγή στο

διάγραμμα των block και την εμφάνιση των standard συνδέσεων ενώ η ανάγκη για multi-format συσκευές περιλαμβάνουν συμβατότητα με την κληρονομικότητα των συστημάτων μπορεί να οδηγήσουν τους σχεδιαστές να αυξήσουν την χρήση του software-defined radios. Τα νέα σχέδια χρειάζονται αναλογικές/ψηφιακές cross-domain μετρήσεις και digital-in, RF-out" που σημαίνει ότι οι σχεδιαστές χρειάζονται νέα εργαλεία και νέες μεθόδους μετρήσεων.

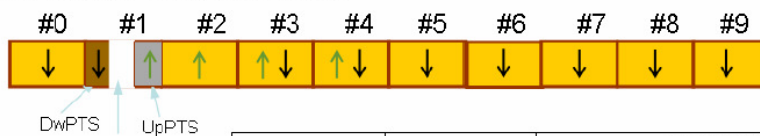
Το TD-LTE ορίζεται για να λειτουργεί σε ζώνες συχνοτήτων από 1850-2620 MHz και χρησιμοποιεί τα ίδια MIMO scenarios και τις ίδιες διαμορφώσεις συχνότητες για τα uplink και downlink, Χρησιμοποιεί OFDMA (orthogonal frequency division multiple access) στο downlink και SC-FDMA (single carrier frequency division multiple access) στο uplink. Υπάρχουν δύο διαμορφώσεις πλαισίων το καθένα με συνολικό μήκος των 10 ms και διαιρείτε σε 10 sub frames όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

Η έκδοση των "5ms" έχει δύο συγκεκριμένα συγχρονισμένα sub frames και δίνει μεγαλύτερη ευκαιρία για ευελιξία του uplink/downlink. Το πλαίσιο μπορεί δυναμικά να διαμορφωθεί σε οποιαδήποτε από τις υπάρχων διαμορφώσεις που εμφανίζονται και εξαρτάται από την στιγμιαία μετάδοση δεδομένων. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.

5 ms Switch-point periodicity



10 ms Switch-point periodicity

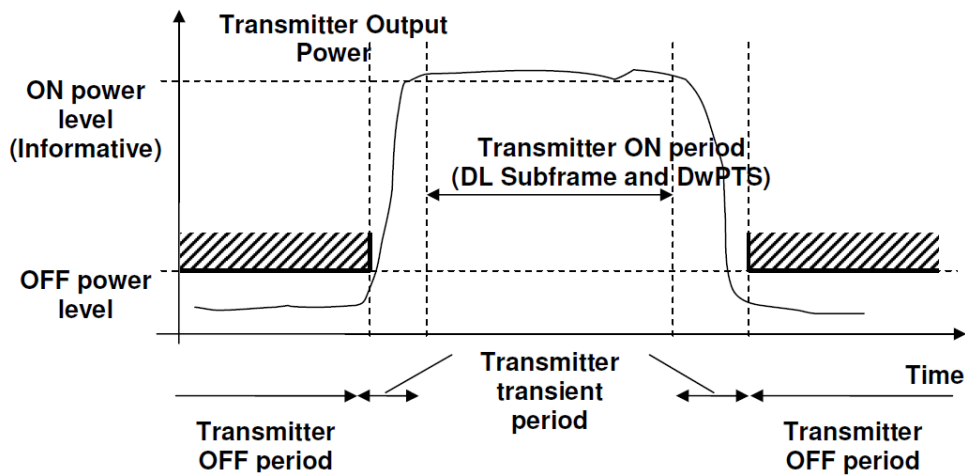


| Configuration | Switch-point periodicity | Subframe number | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 5 ms | D | S | U | U | U | D | S | U | U | U |
| 1 | 5 ms | D | S | U | U | D | D | S | U | U | D |
| 2 | 5 ms | D | S | U | D | D | D | S | U | D | D |
| 3 | 10 ms | D | S | U | U | U | D | D | D | D | D |
| 4 | 10 ms | D | S | U | U | D | D | D | D | D | D |
| 5 | 10 ms | D | S | U | D | D | D | D | D | D | D |
| 6 | 5 ms | D | S | U | U | U | D | S | U | U | D |

Σχήμα 5

Το πρότυπο TD-LTE πρόσφατα περιλαμβάνει προδιαγραφές και μεθόδους μέτρησης για RF κανάλια των 1.4, 3, 5, 10, 15 και 20 MHz (το ίδιο με το LTE FDD με κλιμακούμενο εύρος ζώνης). Οι περισσότεροι μέθοδοι δοκιμής και τα στοιχεία ορίζονται για έναν μοναδικό κώδικα δεδομένων χρησιμοποιώντας ένα μέρος μετάδοσης ή λήψης. Οι προδιαγραφές για πολλαπλούς κώδικες είναι ακόμα υπό συζήτηση.

Οι αρχικές μετρήσεις αποσκοπούν για να εξασφαλίσουν μία un-impaired μετάδοση και λήψη: η μετάδοση uplink και downlink μεταδίδει masks μέγιστης και ελάχιστης ισχύς, έλεγχος ισχύος, διαρροή καναλιού και οι ψευδείς εκπομπές καθορίζονται για να εξασφαλιστεί η ελάχιστη παρεμβολή. Ένα παράδειγμα μετάδοσης on/off mask όπως φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 6.



Σχήμα 6

Βασικές δοκιμές επιδόσεων στον δέκτη RF-αναφέρουν ευαισθησία, δυναμικό εύρος, επιλεκτικότητα καναλιού και ψευδής εκπομπές. Δημιουργούνται χρησιμοποιώντας ένα κανονικό πρωτόκολλο κλήσης μέχρι το UE να επικοινωνήσει με το κανάλι επικοινωνίας. Κατά την καθορισμένη τιμή ο ρυθμός σφαλμάτων του block- block error rate (BLER)- δεν πρέπει να υπερβαίνουν την τιμή του στόχου και η διατήρηση της τιμής απόδοσης του στόχου είναι κανονικά 95%. Οι καθορισμένες τιμές εξαρτώνται από την δοκιμή που εκτελείται το εύρος ζώνης του δέκτη και την πολυπλοκότητα του συντονισμού. Ο δέκτης στη συνέχεια ελέγχεται για την ικανότητα να αποδιαμορφώσει σωστά το ειδικό κανάλι ελέγχου μέσα από το ειδικό φυσικό κανάλι σε στατικά και εξασθενημένα περιβάλλοντα και σε όλες τις υποστηριζόμενες ταχύτητες δεδομένων και εύρος ζώνης των καναλιών.

Οι συσκευές TD-LTE πρέπει να παρέχουν συμβατότητα με τα παλαιότερα συστήματα του 3GPP και μια σειρά από σεναρία μεταβίβασης ορίζονται για να εξασφαλίσουν την conformance. Στοχεύουν στην εξασφάλιση παροχής υπηρεσιών για τον χρήστη. Οι in-call intra-frequency TDD-TDD μεταβιβάσεις μέσω των inter-frequency αλλαγών και οι TDD-FDD μεταβιβάζονται στα συστήματα 3G W-CDMA και HPSA. Τελικά μπορεί χειροκίνητα να μεταβεί ο χρήστης από το TDD στο GSM. Το καθορισμένο RF περιβάλλον τόσο για το LTE FDD όσο και για TD-LTE απαιτεί την λειτουργία multiple input-multiple output (MIMO). Οι μέθοδοι δοκιμών και οι επικυρώσεις παραμένουν να είναι προσδιορισμένα. Τα πολλαπλά σήματα για τη δοκιμή του δέκτη MIMO περιλαμβάνει real-time εξασθένιση και απαιτεί εξειδικευμένη δοκιμή παραγωγής σήματος. Η επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας του MIMO δέκτη είναι ακόμη υπό συζήτηση τόσο στη 3GPP όσο και στην κοινότητα δοκιμών. Πρώτα η ανάπτυξη του LTE θα χρησιμοποιήσει 2 x2 MIMO κεραία αν και προσδιορίζει τη ζήτηση για 4 x4 MIMO κεραία στο μέλλον.

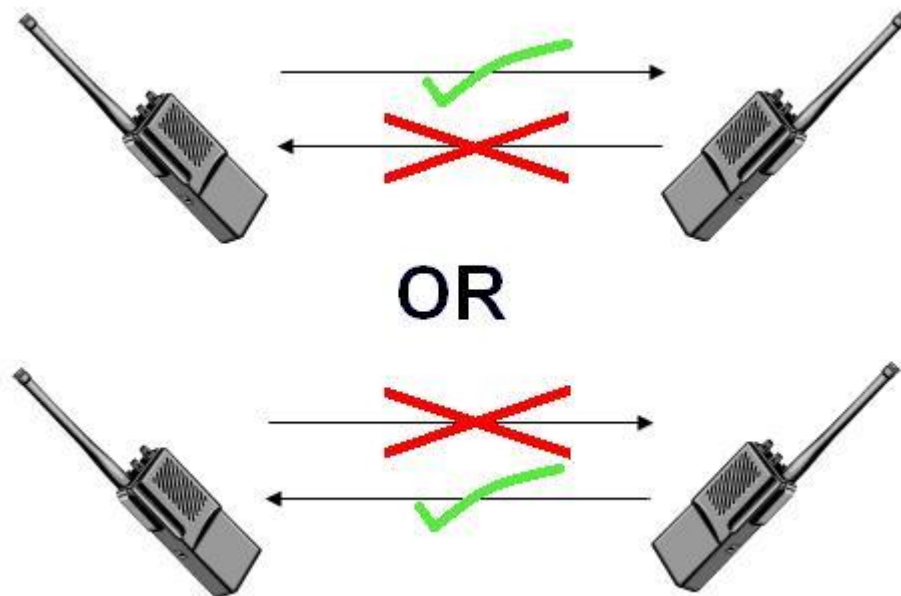
Η Agilent 3GPP LTE TDD Wireless Library, η Agilent System Vue και το Advanced Design System (ADS) συνεργάζονται άμεσα με τη Agilent's MXA Signal Analyzer για να παρέχει τη πρώτη πλήρη κωδικοποιημένη λύση BER για την TDD έκδοση του LTE προτύπου χρησιμοποιώντας 2 x 2 και 4 x4 MIMO τεχνολογία. Η λύση επιτρέπει πλήρη κωδικοποίηση BER μετρήσεων της συσκευής που είναι υπό κατασκευή συμπεριλαμβανομένης της προσομοίωσης της φθοράς του καναλιού για multipath εξασθένιση.

Σε γενικές γραμμές το LTE και ιδιαίτερα το TD-LTE φέρνει νέες προκλήσεις στους σχεδιαστές για τα εργαλεία σχεδιασμού και δοκιμής. Νέα RF συστήματα διαμόρφωσης MIMO διαμορφώσεις κεραιών, συστήματα με υψηλότερο bandwidths χωρητικότητα και χαμηλότερο latency είναι κάποια από τα χαρακτηριστικά. Καινούργιες μέθοδοι μετρήσεων συμπεριλαμβανομένων την διέλευση των ψηφιακών σημάτων και RF domains σε συνδυασμό

με τη μείωση στο σημείο test accessibility σημαίνει ότι υπάρχει μία απότομη καμπύλη μάθησης και για τα συστήματα και για τους σχεδιαστές.

2.3.3 Half Duplex (HDX)

Ένα σύστημα half-duplex (HDX) παρέχει επικοινωνία και στις δύο κατευθύνσεις αλλά με μόνο μία κατεύθυνση κάθε φορά (όχι ταυτόχρονα). Συνήθως όταν ένα μέρος αρχίζει να λαμβάνει ένα σήμα θα πρέπει να περιμένει τον πομπό να σταματήσει να μεταδίδει πριν την απάντηση (οι κεραίες είναι τύπου trans-receiver σε αυτές τις συσκευές έτσι ώστε να μεταδίδει και να λαμβάνει το σήμα). Παράδειγμα ενός συστήματος half-duplex είναι ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από δύο μέρη όπως το walkie-talkie, όπου κάποιος πρέπει να χρησιμοποιήσει το "Over" ή κάποια εντολή για να δείξει το τέλος της μετάδοσης και να διασφαλίσει ότι μόνο ένα μέρος μεταδίδει κάθε φορά διότι και τα δύο μέρη στέλνουν και λαμβάνουν στην ίδια συχνότητα. Στο σχήμα 7 θα δούμε την λειτουργία του Half Duplex.



Σχήμα 7

Μία καλή αναλογία για ένα σύστημα half-duplex θα ήταν ένας δρόμος one-lane με ελεγκτές κυκλοφορίας σε κάθε άκρο. Η κίνηση μπορεί να υπάρχει και στις δύο κατευθύνσεις, αλλά μόνο μία κατεύθυνση κάθε φορά ελέγχεται από τους ελεγκτές κυκλοφορίας.

Στην αυτόματη λειτουργία των συστημάτων όπως two-way data-links ο καταμερισμός χρόνου για τις επικοινωνίες σε ένα σύστημα half-duplex μπορεί να ελέγχεται σταθερά από το hardware. Με αυτόν τον τρόπο δεν υπάρχει σπατάλη του καναλιού για την εναλλαγή. Για παράδειγμα ένας σταθμός A στο ένα άκρο του καναλιού μπορεί να μεταδίδει ακριβώς για ένα δευτερόλεπτο και μετά ο σταθμός B στο άλλο άκρο μπορεί να μεταδίδει για ακριβώς ένα δευτερόλεπτο και στην συνέχεια ο κύκλος να επαναλαμβάνεται ξανά και ξανά....

2.3.4 Full Duplex

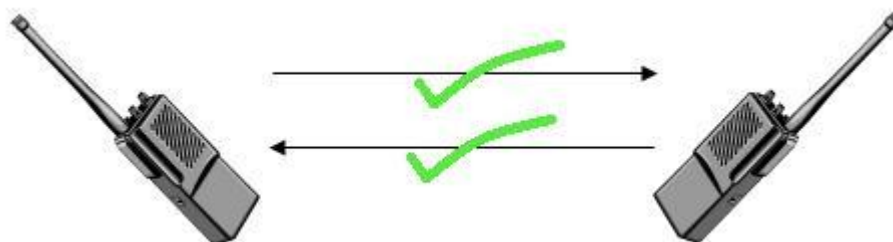
Ένα σύστημα full-duplex (FDX) ή double-duplex (δεύτερη ονομασία του συστήματος) επιτρέπει την επικοινωνία και στις δύο κατευθύνσεις σε αντίθεση με το half-duplex, επιτρέπει να συμβεί ταυτόχρονα. Τα τηλεφωνικά δίκτυα Land-line είναι full-duplex αφού επιτρέπουν και στους συνδρομητές να μιλήσουν και να ακουστούν ταυτόχρονα, η μετάβαση από τέσσερα σε δύο καλώδια επιτυγχάνεται με ένα υβριδικό πηνίο. Μία καλή αναλογία για ένα σύστημα

full-duplex θα ήταν ένας δρόμος two-lane μαζί με έναν δρόμο one lane για κάθε κατεύθυνση. Στην λειτουργία full-duplex τα δεδομένα που μεταδίδουμε δεν εμφανίζονται στην οθόνη μας μέχρι να τα αποδεχτεί και να τα στείλει πίσω το άλλο μέρος.

Οι συνδέσεις Full-duplex Ethernet λειτουργούν κάνοντας ταυτόχρονη χρήση των δύο φυσικών ζευγών συνεστραμμένου καλωδίου (τα οποία βρίσκονται εντός του περιβλήματος) όπου το ένα ζεύγος χρησιμοποιείται για την λήψη πακέτων και το άλλο ζεύγος χρησιμοποιείται για την αποστολή πακέτων σε μία άμεσα συνδεδεμένη συσκευή. Αυτό ουσιαστικά καθιστά το ίδιο το καλώδιο ένα περιβάλλον collision-free και διπλασιάζει τη μέγιστη χωρητικότητα που μπορεί να υποστηρίξει η σύνδεση.

Το full-duplex έχει περισσότερα πλεονεκτήματα έναντι του half-duplex. Πρώτον ο χρόνος δεν σπαταλάτε διότι δεν υπάρχουν πλαίσια που χρειάζονται αναμετάδοση καθώς δεν υπάρχουν συγκρούσεις. Δεύτερον η πλήρης χωρητικότητα δεδομένων είναι διαθέσιμη και για τις δύο κατευθύνσεις διότι οι λειτουργίες αποστολής και λήψης διαχωρίζονται. Τρίτον οι σταθμοί δεν χρειάζεται να περιμένουν μέχρι οι άλλοι να τελειώσουν την μετάδοση τους δεδομένου ότι υπάρχει μόνο ένας πομπός για κάθε συνεστραμμένο ζεύγος.

Οι μέθοδοι πρόσβασης καναλιού που χρησιμοποιούνται από δίκτυα point-to-multipoint όπως τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας για τον διαχωρισμό των καναλιών για το ίδιο φυσικό μέσο επικοινωνίας είναι γνωστό ως μέθοδος duplexing. Στο σχήμα 8 φαίνεται η λειτουργία της Full Duplex.



Σχήμα 8

2.3.5 Τα Πλεονεκτήματα του TDD

Από τις παραπάνω αναλύσεις επισημαίνονται κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα του TDD.

- Το FDD είναι παλαιότερο σύστημα που ταίριαζε περισσότερο για εφαρμογές όπως φωνή που παράγουν συμμετρική κίνηση, ενώ το TDD είναι κατάλληλο για bursty ασύμμετρη κίνηση όπως το διαδίκτυο ή άλλες datacentric υπηρεσίες.
- Στο TDD και ο πομπός και ο δέκτης λειτουργούν στην ίδια συχνότητα αλλά σε διαφορετικούς χρόνους. Ως εκ τούτου τα συστήματα TDD επαναχρησιμοποιούν τα φίλτρα, τους μείκτες, τις πηγές συχνοτήτων και τα synthesizers εξοικονομώντας έτσι την πολυπλοκότητα και το κόστος που συνδέεται με την απομόνωση της κεραίας του πομπού και της κεραία του δέκτη. Ένα σύστημα FDD χρησιμοποιεί ένα duplexer ή/και δύο κεραίες που απαιτούν χωρικό διαχωρισμό και ως εκ τούτου δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιήσουν τους πόρους. Το αποτέλεσμα είναι πιο δαπανηρό hardware.
- Το TDD χρησιμοποιεί το φάσμα πιο αποτελεσματικό από ότι το FDD. Το FDD δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιβάλλοντα όπου ο πάροχος των υπηρεσιών δεν έχει αρκετό bandwidth για να παρέχει το απαιτούμενο guardband μεταξύ των καναλιών εκπομπής και των καναλιών λήψης.
- Το TDD είναι πιο ευέλικτο από το FDD στην ικανοποίηση της ανάγκης να αναδιαμορφώσει δυναμικά την κατανομή του upstream και του downstream bandwidth ανάλογα με τις ανάγκες του πελάτη.

- Το TDD επιτρέπει περιορισμό των παρεμβολών μέσω του σωστού σχεδιασμού συχνοτήτων. Το TDD απαιτεί μόνο ένα interference-free κανάλι σε σχέση με το FDD το οποίο απαιτεί δύο κανάλια interference-free.
- Εν ολίγης το TDD είναι μια πιο επιθυμητή τεχνολογία duplexing που επιτρέπει στους διαχειριστές του συστήματος να λαμβάνουν τα περισσότερα από την επένδυσή τους στο φάσμα και τον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό ενώ καλύπτουν τις ανάγκες του κάθε χρήστη ξεχωριστά.

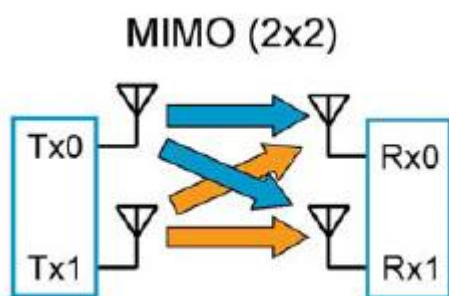
2.4.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία MIMO

Η τεχνολογία MIMO κρατά την υπόσχεση για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων με την αύξηση της φασματικής απόδοσης. Λόγω της πιθανής βελτίωσης του συστήματος και η πρόοδος της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, πολλά ασύρματα συστήματα συμπεριλαμβανομένου των ασύρματων κινητών Long-Term Evolution (LTE) έχουν πρόσφατα υιοθετήσει την χρήση της MIMO τεχνολογίας και τις τεχνολογίες πολλαπλών κεραιών. Όλα αυτά τα εμπορικά ασύρματα συστήματα λειτουργούν σε υψηλά περιβάλλοντα multipath και το όφελος του multipath παρέχει την βελτίωση της απόδοσης όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλές διαμορφώσεις κεραιών.

Ενώ το MIMO προσφέρει την δυνατότητα για καλή κατάσταση των σημάτων και την βελτίωση της χωρητικότητας όταν λειτουργούν σε πλούσια multipath περιβάλλοντα, αναπτύσσοντας και δοκιμάζοντας τα στοιχεία MIMO και τα συστήματα απαιτούν προηγμένα εργαλεία προσομοίωσης καναλιού που μπορούν να ρυθμιστούν και να παρέχουν μια ακριβή αναπαράσταση των ρεαλιστικών ασύρματων καναλιών.

Πολλαπλές κεραιές τοποθετούνται στον πομπό ή και στον δέκτη σε ασύρματα επικοινωνιακά συστήματα για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν σημαντικά την απόδοση του συστήματος με την ισχύ των "χωρικών" χαρακτηριστικών του ασύρματου καναλιού. Αυτά τα συστήματα που είναι γνωστά ευρέως ως Multiple Input Multiple Output (MIMO), απαιτούν δύο ή περισσότερες κεραιές τοποθετημένες στον πομπό και στον δέκτη. Στην τεχνολογία MIMO το "Input" και το "Output" αναφέρονται σε ασύρματο κανάλι. Σε αυτά τα συστήματα το κέρδος της απόδοσης επιτυγχάνεται με τους πολλαπλούς πομπούς εισάγουν ταυτόχρονα το σήμα τους σε ένα ασύρματο κανάλι και ο συνδυασμός αυτών των σημάτων το εξάγουν ταυτόχρονα από το ασύρματο κανάλι σε πολλαπλούς δέκτες. Σε ένα πρακτικό σύστημα για downlink επικοινωνίες ένας μόνο Σταθμός Βάσης (BS) θα περιέχει πολλαπλούς πομπούς συνδεδεμένος με πολλαπλές κεραιές και ένας μοναδικός Κινητός Σταθμός (MS) θα περιέχει πολλαπλές κεραιές συνδεδεμένες με πολλαπλούς δέκτες. Η ίδια διαμόρφωση χρησιμοποιείται για το uplink. Το σχήμα 9 δείχνει την διαμόρφωση του 2x2 MIMO όπου δύο κεραιές τοποθετούνται στον πομπό ο οποίος έχει δύο ξεχωριστά κανάλια μετάδοσης και δύο κεραιές στο δέκτη ο οποίος έχει δύο ξεχωριστά κανάλια λήψης. Αυτή η διαμόρφωση θα πρέπει να συζητηθεί ως πρωταρχικό παράδειγμα στο σημείωμα της εφαρμογής. Υπάρχουν προφανώς πολλές άλλες διαμορφώσεις MIMO χρησιμοποιώντας άλλους συνδυασμούς πολλαπλών ζυγών κεραιών όπως 3x3 και 4x4. Ο χειρισμός του MIMO δεν απαιτεί ίσο αριθμό κεραιών στον πομπό και στον δέκτη μπορεί να υπάρχουν περισσότερες κεραιές σε μια τοποθεσία και όχι σε μια άλλη όπως η διαμόρφωση $M \times N$ όπου το M δεν είναι ίσο με το N και το M ισούται με τον αριθμό των κεραιών μετάδοσης και το N

ισούται με τον αριθμό των κεραιών λήψης.



Σχήμα 9

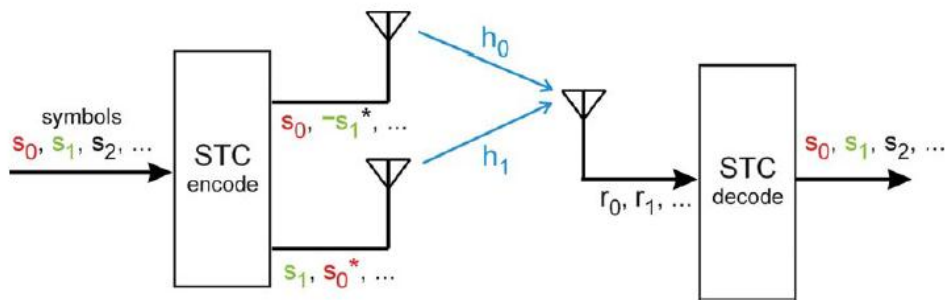
2.4.2 Πολλαπλές Τεχνικές Κεραιών

Συστήματα πολλαπλών κεραιών επωφελούνται από την spatial diversity που επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ξεχωριστών κεραιών σε πυκνά multipath περιβάλλοντα. Αυτά τα συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν από έναν αριθμό διαφορετικών τρόπων για να επιτύχουν είτε ένα diversity κέρδος για την καταπολέμηση της εξασθένησης του σήματος ή για να κερδίσει την βελτίωση της χωρητικότητας. Γενικά υπάρχουν τρεις κατηγορίες για πολλαπλές τεχνικές κεραιών. Η πρώτη στοχεύει στην βελτίωση της απόδοσης ισχύος μεγιστοποιώντας την spatial diversity. Τέτοιες τεχνικές περιλαμβάνουν delay diversity και χωροχρονικά μπλοκ κώδικα (STBC) και χωροχρονικά trellis codes (STTC). Ο δεύτερος τύπος χρησιμοποιεί χωρική πολυπλεξία ορίζεται ως MIMO όπου κάτω από πλούσια scattering environments, ανεξάρτητες ροές δεδομένων μεταδίδονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές κεραιές για να αυξήσει τον αποτελεσματικό ρυθμό δεδομένων. Ο τρίτος τύπος συστήματος πολλαπλών κεραιών εκμεταλλεύεται την γνώση του καναλιού στον πομπό και ονομάζεται beamforming. Χρησιμοποιεί τις πληροφορίες του καναλιού για την κατασκευή των beamforming matrices όπως πριν και μετά φιλτράρει τον πομπό και τον δέκτη για την επίτευξη μεγαλύτερης χωρητικότητας.

2.4.2.1 Spatial Diversity

Η ισχύς του σήματος σε ένα ασύρματο κανάλι μεταβάλλεται γρήγορα προς τον χρόνο και την απόσταση λόγω του πλούσιου multipath περιβάλλον. Όταν η ισχύς του σήματος μειώνεται σημαντικά στο δέκτη το κανάλι λέγεται ότι είναι σε multipath εξασθένηση. Η Diversity συνήθως χρησιμοποιείται σε ασύρματα κανάλια για την καταπολέμηση της εξασθένησης. Η diversity της κεραιάς καταπολεμά την εξασθένηση συνδυάζοντας σήματα από δύο ή περισσότερα εξασθενημένα κανάλια. Η diversity χαρακτηρίζεται από τον αριθμό των ανεξάρτητων εξασθενημένων καναλιών επίσης είναι γνωστή και ως diversity order και είναι ίση με τον αριθμό των κεραιών λήψης σε ένα διαμορφωμένο σύστημα SIMO. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αν τα εξασθενημένα κανάλια δεν είναι ανεξάρτητα ή με άλλα λόγια συσχετίζονται τότε η diversity της κεραιάς δεν μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος. Μία πολύ δημοφιλής τεχνική η transmit diversity που έχει πρόσφατα κερδίσει μεγάλη προσοχή στη Κωδικοποίηση του Χωροχρόνου Αυτή η τεχνική στέλνει τα ίδια δεδομένα χρήστη σε δύο κεραιές εκπομπής, αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, για την βελτίωση της πιθανότητας για επιτυχή ανάκτηση επιθυμητών δεδομένων. Η διαδικασία STC κωδικοποιεί αποτελεσματικά τα δεδομένα τόσο στο χώρο όσο και στον χρόνο.

Ένα απλοποιημένο block διαγραμμάτων χρησιμοποιεί το Alamouti STC όπως φαίνεται στο σχήμα 10. Σε αυτό το σύστημα δύο διαφορετικά σύμβολα μεταδίδονται ταυτόχρονα από τις δύο κεραιές κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε περιόδου συμβόλων. Κατά την διάρκεια της πρώτης χρονικής περιόδου το πρώτο σύμβολο της αλληλουχίας s_0 , μεταδίδεται από την υψηλότερη κεραιά #1 ενώ το δεύτερο σύμβολο s_1 ταυτόχρονα μεταδίδεται στην χαμηλότερη κεραιά #2. Κατά την διάρκεια του χρόνου του επόμενου συμβόλου το σήμα $-s_1^*$ μεταδίδεται από την υψηλότερη κεραιά και το σήμα s_0^* μεταδίδεται από την χαμηλότερη κεραιά. Σημειώστε ότι το $()^*$ είναι η σύνθετη λειτουργία σύζευξης. Λάβετε υπόψη ότι τα σύμβολα δεδομένων είναι μιγαδικοί αριθμοί που σχετίζονται με το επιλεγμένο σχήμα διαμόρφωσης, για παράδειγμα κατά την χρήση QPSK διαμόρφωσης τα σύμβολα δεδομένων είναι αντιπροσωπευτικά των τεσσάρων σημείων αστερισμού στο διανυσματικό διάγραμμα IQ. Στον δέκτη μία ενιαία κεραιά λαμβάνει έναν συνδυασμό των δύο εκπεμπόμενων σημάτων μετά την μετάδοση μέσω ενός multipath περιβάλλοντος. Ο συντελεστής καναλιού h_0 , αντιπροσωπεύει το amplitude και την φάση του μονοπατιού μετάδοσης μεταξύ της κεραιάς εκπομπής #1 και της κεραιάς λήψης. Ο συντελεστής καναλιού h_1 , αντιπροσωπεύει το μονοπάτι μεταξύ της κεραιάς εκπομπής #2 και της κεραιάς λήψης. Σημειώστε ότι οι συντελεστές καναλιού h_0 και h_1 είναι μιγαδικοί αριθμοί που αντιπροσωπεύουν το συνολικό amplitude και φάση των αντίστοιχων καναλιών συμπεριλαμβανομένων όλων των multipath effects.



Σχήμα 10

Κατά τη διάρκεια του πρώτου χρόνου συμβόλου που φαίνεται στο Σχήμα 2 το λαμβανόμενο σήμα r_0 , είναι ο συνδυασμός των δυο συμβόλων s_0 και s_1 , αλλά έχει τροποποιηθεί από τον συντελεστή του καναλιού h_0 και h_1 . Κατά τη διάρκεια της επόμενης περιόδου συμβόλων οι μετρήσεις του δέκτη r_1 περιέχουν τροποποιημένες εκδοχές των s_0 και s_1 .

Για την κάλυψη των πραγματικών μεταδιδόμενων συμβόλων s_0 και s_1 , ο δέκτης απαιτεί τη γνώση των συντελεστών του καναλιού h_0 και h_1 . Αυτοί οι συντελεστές καναλιών συχνά εκτιμώνται στο δέκτη μετρώντας γνωστά σήματα προσθέτοντας στις εκπεμπόμενες κυματομορφές. Για παράδειγμα σε ένα σήμα WiMAX Wave 2 η κυματομορφή OFDM έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε τα πιλοτικά subcarriers να μεταδίδονται σε ένα κανάλι του πομπού και έτσι δεν συμπίπτουν χρονικά με τα πιλοτικά subcarriers στο άλλο κανάλι του πομπού. Αν οι πιλοτικές κυματομορφές είναι γνωστές στο δέκτη τότε οι συντελεστές του καναλιού μπορούν να εκτιμηθούν από τις σχετικές μετρήσεις του δέκτη. Μόλις οι συντελεστές του καναλιού είναι ακριβώς γνωστές από τον δέκτη.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η diversity τεχνική δεν βελτιώνει τον ρυθμό δεδομένων του

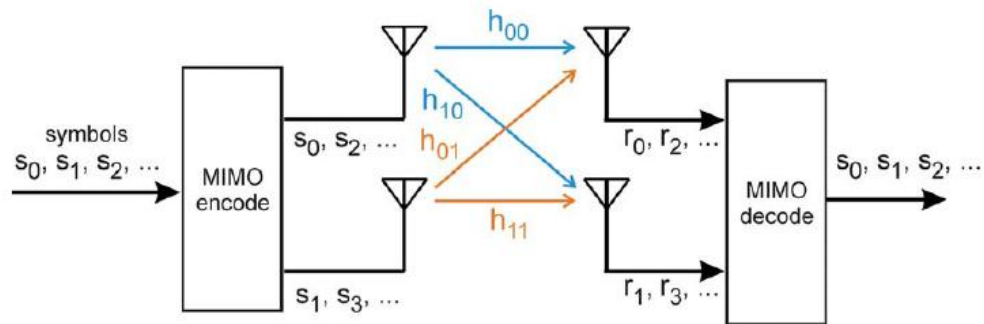
συστήματος αλλά μάλλον βελτιώνει την ποιότητα του σήματος. Η αλληλουχία που δείχνει το Σχήμα 2 χρησιμοποιεί κωδικοποίηση που εκτελείται σε χωρόχρονο κωδικοποίηση. Η κωδικοποίηση μπορεί επίσης να γίνει μέσω του πεδίου του χώρου και της συχνότητας. Σε αυτήν την περίπτωση αντί για δύο συνεχόμενες περιόδους συμβόλων που μεταδίδονται από δύο διαφορετικές κεραιές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο φορείς συχνοτήτων (κωδικοποίηση χώρου-συχνότητας). Η αξιοποίηση του diversity σε MIMO κανάλια απαιτεί έναν συνδυασμό της εκπομπής και της λήψης diversity που περιγράφεται παραπάνω. Η diversity σειρά τότε θα είναι ίση με το γινόμενο του αριθμού των κεραιών εκπομπής και λήψης αν το κανάλι ανάμεσα σε κάθε ζεύγος κεραιών μετάδοσης-λήψης εξασθενούν ανεξάρτητα.

2.4.2.2 Χωρική Πολυπλεξία

Η χωρική πολυπλεξία μπορεί να προσφέρει μία αύξηση στον ρυθμό μετάδοσης. Η θεωρητική αύξηση της χωρητικότητας σχετίζεται γραμμικά με τον αριθμό των ζευγών κεραιών εκπομπής/λήψης που προστίθενται σε ένα σύστημα MIMO. Ένα σύστημα MIMO μπορεί επίσης να διαμορφωθεί με έναν άνισο αριθμό κεραιών στον πομπό και στον δέκτη όπως η περίπτωση $M \times N$ όπου οι M κεραιές μετάδοσης δεν είναι ίσες με τον αριθμό N των κεραιών λήψης. Σε αυτήν την διαμόρφωση η βελτίωση της χωρητικότητας είναι ανάλογη με τον μικρότερο αριθμό M ή N .

Στο σχήμα 11 δείχνει ένα απλό σύστημα χωρικής πολυπλεξίας χρησιμοποιώντας διαμόρφωση 2×2 MIMO. Η έννοια αυτή μπορεί εύκολα να επεκταθεί σε πιο γενικά $M \times N$ MIMO συστήματα. Σε αυτό το παράδειγμα το πρώτο σύμβολο δεδομένων s_0 μεταδίδεται από την υψηλότερη κεραιά εκπομπής Tx_0 , και το δεύτερο σύμβολο δεδομένων s_1 , μεταδίδεται από την χαμηλότερη κεραιά εκπομπής Tx_1 . Η μετάδοση αυτών των δύο συμβόλων δεδομένων προκύπτει ταυτόχρονα κατά την διάρκεια του πρώτου χρόνου συμβόλου. Κατά την διάρκεια του επόμενου χρόνου συμβόλου, τα σύμβολα δεδομένων s_2 και s_3 μεταδίδονται ταυτόχρονα. Σε αυτήν την διαδικασία ο ρυθμός δεδομένων διπλασιάζεται όσο τα εναλλασσόμενα σύμβολα μεταδίδονται από κάθε κεραιά και κάθε σύμβολο μεταδίδεται μόνο μία φορά. Αυτή η τεχνική είναι διαφορετική από την STC όπου τα σύμβολα δεδομένων επαναλαμβάνονται πάνω από δύο χρόνους συμβόλων εγκάρσια σε δύο κεραιές.

Η μετάδοση του σήματος από την κεραιά του πομπού Tx_0 στην κεραιά του δέκτη Rx_0 προκύπτει από τα ασύρματα κανάλια με ένα σύνθετο συντελεστή καναλιού h_{00} . Η μετάδοση από την κεραιά Tx_0 στην κεραιά Rx_1 προκύπτει από το ασύρματο κανάλι με έναν σύνθετο συντελεστή καναλιού h_{10} . Με την σωστή τοποθέτηση των κεραιών μπορεί να υποθέσουμε ότι οι δύο συντελεστές των καναλιών είναι διαφορετικοί. Υπάρχει μία παρόμοια σχέση μεταξύ του Tx_1 και των δύο κεραιών λήψης με αποτέλεσμα να υπάρχουν συνολικά πιθανόν τέσσερις μοναδικοί συντελεστές καναλιών h_{00} , h_{10} , h_{01} και h_{11} .



Σχήμα 11

Μετά την αποκωδικοποίηση οι sub-streams πολυπλέκουν το αρχικό symbol stream. Η χωρική πολυπλεξία αυξάνει τους ρυθμούς μετάδοσης ανάλογα με τον αριθμό των ζευγών κεραιών πομπού/δέκτη. Η χωρική πολυπλεξία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε multi user format γνωστό και ως Space Division Multiple Access (SDMA). Σκεφτείτε δύο χρήστες κινητών μεταδίδουν τα ξεχωριστά σήματα τους προς το ίδιο ασύρματο κανάλι που καταλήγει σε έναν σταθμό βάσης εξοπλισμένο με δύο κεραιές. Ο σταθμός βάσης μπορεί να διαχωρίσει τα δύο σήματα χρησιμοποιώντας την τεχνική της χωρικής πολυπλεξίας. Η αύξηση της χωρητικότητας είναι ανάλογη με τον αριθμό των κεραιών του σταθμού βάσης ή του αριθμού των κινητών χρηστών οποιοσδήποτε αριθμός είναι μικρότερος.

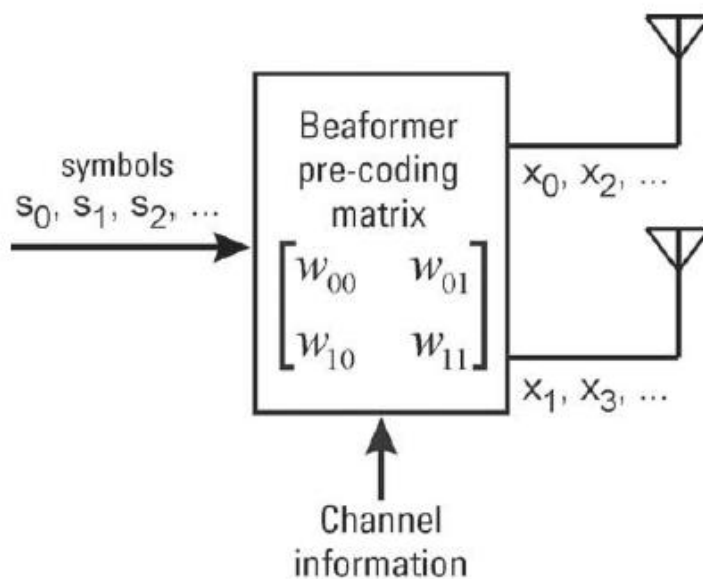
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η χωρική πολυπλεξία μπορεί να αυξήσει μόνο τους ρυθμούς μετάδοσης όταν το ασύρματο περιβάλλον είναι πολύ πλούσιο σε multipath. Το πλούσιο multipath θα καταλήξει σε χαμηλές συσχετίσεις μεταξύ των καναλιών καθιστώντας δυνατή την ανάκτηση δεδομένων στον δέκτη. Όταν τα κανάλια έχουν υψηλή συσχέτιση η χωρική πολυπλεξία μειώνει γρήγορα την απόδοση.

2.4.2.3 Beamforming

Σε μια παραδοσιακή εφαρμογή beamforming το ίδιο σήμα ή τα ίδια σύμβολα δεδομένων μεταδίδονται ταυτόχρονα από κάθε στοιχείο της κεραίας μετά από ένα περίπλοκο βάρους (μέγεθος ή και φάση) εφαρμόζεται σε κάθε διαδρομή σήματος ώστε να κατευθύνει την διάταξη της κεραίας για το βέλτιστο SNR μέσω της ασύρματης ζεύξης. Ένα beamformer αξιοποιείται για spatial diversity ή χωρική πολυπλεξία και κάθε στοιχείο της κεραίας μεταδίδει ταυτόχρονα έναν σταθμισμένο συνδυασμό δύο συμβόλων δεδομένων. Αυτή η beamforming τεχνική απαιτεί γνώση των χαρακτηριστικών του καναλιού στον πομπό, δεν είναι απαραίτητες οι τεχνικές spatial diversity και χωρικής πολυπλεξίας. Σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να είναι απαραίτητο να μετρηθούν τα κανάλια στον δέκτη και να στείλουν πληροφορίες πίσω στον πομπό. Η γνώση του καναλιού στον πομπό μπορεί να είναι πλήρης ή μερική. Η πλήρη γνώση του καναλιού υπονοεί ότι το channel matrix $[H]$ είναι γνωστό στον πομπό. Η μερική γνώση μπορεί να υπονοεί ότι μερικές παράμετροι του στιγμιαίου καναλιού όπως ο αριθμός της κατάστασης του channel matrix s ή σχετίζεται με την μετάδοση. Ο αριθμός condition είναι η αναλογία της μεγαλύτερης μοναδικής τιμής προς την μικρότερη μοναδική τιμή. Παρέχει μία ένδειξη ακριβείας στην matrix inversion η οποία καθορίζει την καταλληλότητα για πολυπλεξία MIMO. Ένας αριθμός κατάστασης κοντά στο 1 (0 dB) υποδεικνύει την καλή κατάσταση του matrix ενώ οι τιμές μεγαλύτερες των 6 dB υποδηλώνουν φτωχό matrix καναλιού. Αναλυτές σήματος όπως η Agilent 89600-series

Vector Signal Analyzer μπορούν να μετρήσουν απευθείας τον αριθμό κατάστασης του MIMO. Ένα πλαίσιο προ-κωδικοποίησης για αξιοποίηση της γνώσης καναλιού του πομπού φαίνεται στο σχήμα 4. Τα σύμβολα που πρέπει να μεταδοθούν είναι τα s_0, s_1, s_2, s_3 πολλαπλασιάζονται από μια σταθμισμένη συνάρτηση που μπορούν να ερμηνευτούν ως beamformer. Μετά την εφαρμογή τα προ-κωδικοποιημένα βάρη, δύο ξεχωριστά data streams ταυτόχρονα μεταδίδονται από δύο κεραίες πομπών όπως η χωρική πολυπλεξία. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 12 κατά την διάρκεια του χρόνου του πρώτου συμβόλου τα δεδομένα x_0 , μεταδίδονται από την υψηλότερη κεραία είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των δύο πρώτων συμβόλων s_0 και s_1 . Κατά την διάρκεια της ίδιας χρονικής στιγμής η χαμηλότερη κεραία μεταδίδει δεδομένα x_1 όπου αυτό αντιπροσωπεύει έναν διαφορετικό συνδυασμό αυτών των δύο συμβόλων έτσι διπλασιάζεται αποτελεσματικά ο ρυθμός δεδομένων.

Για αυτό το προ-κωδικοποιημένο σχήμα ο ρυθμός μετάδοσης αυξάνεται επίσης αναλογικά με τον αριθμό ζευγών κεραιών πομπού/δέκτη, όπως στην περίπτωση της χωρικής πολυπλεξίας που εξετάσαμε παραπάνω αλλά η πρόσθετη ευελιξία για την βελτίωση της μετάδοσης σήματος στο κανάλι του πομπού μπορεί επίσης να βελτιώσει την σχετική απόδοση του συστήματος.



Σχήμα 12

Οι MIMO τεχνολογίες κρατάνε την υπόσχεση για υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης με αυξημένη φασματική απόδοση. Λόγω των μεγαλύτερων πιθανοτήτων για τις επιδόσεις των ασύρματων συστημάτων πολλές επιτροπές προτύπων υιοθέτησαν ή σκέφτονται να υιοθετήσουν την χρήση του MIMO και τις τεχνολογίες πολλαπλών κεραιών. Για παράδειγμα η International Telecommunications Union (ITU) έχει ενσωματώσει MIMO τεχνικές σε κανάλια high-speed downlink packet access (HSDPA) το οποίο αποτελεί μέρος του προτύπου Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Το εξελισσόμενο LTE standard^{9, 10} έχει συμπεριλάβει MIMO τεχνικές στον τρέχων roadmap. Όλα αυτά τα εμπορικά ασύρματα δίκτυα λειτουργούν με υψηλά multipath περιβάλλοντα και τα πλεονεκτήματα των πλούσιων multipath παρέχουν βελτίωση της απόδοσης, χρησιμοποιώντας

συστήματα πολλαπλών κεραιών.

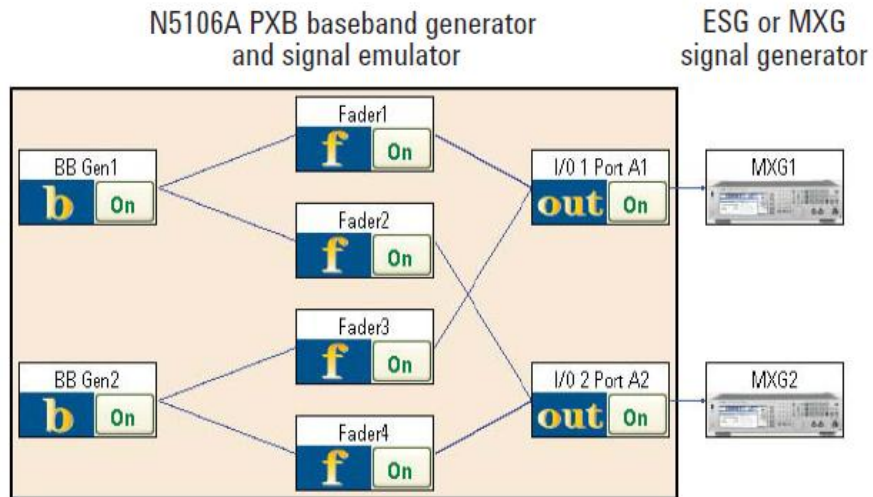
2.4.3 Οι δοκιμασίες στον συναγωνισμό των MIMO καναλιών

Δοκιμές για MIMO δέκτες και συστήματα κάτω από ρεαλιστικά περιβάλλοντα καναλιών μπορεί να είναι απαιτητική λόγω του μεγάλου αριθμού συνδυασμών των καναλιών πομπού-δέκτη. Για παράδειγμα σε μία διαμόρφωση 2x2 MIMO, με τη χρήση δύο ξεχωριστών SISO channel emulators δεν είναι επαρκής για να μοντελοποιήσει τα τέσσερα ξεχωριστά κανάλια που υπάρχουν μεταξύ των ζευγών κεραιών εκπομπής και λήψης. Επιπλέον οι SISO channel emulators δεν παρέχουν καμία συσχέτιση μεταξύ των καναλιών, τα οποία όπως είδαμε προηγουμένως είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό κατά τη δοκιμή της απόδοσης του συστήματος. Δοκιμάζοντας απευθείας σε ένα πραγματικό ασύρματο περιβάλλον δεν είναι αποτελεσματική μέθοδος ειδικά κατά τα στάδια σχεδιασμού και επιβεβαίωσης όπως το κανάλι είναι πολύ ευαίσθητο, δεν μπορεί να ελεγχθεί και δεν μπορεί να επαναληφθεί. Επίσης οι δοκιμές σε πραγματικό κανάλι δεν είναι πρακτικό όταν απαιτούνται διαφορετικά περιβάλλοντα και όταν η δοκιμή κινητικότητας είναι απαραίτητη.

Δημιουργώντας ρεαλιστικά MIMO κανάλια χρησιμοποιώντας εργαλεία λογισμικού είναι μια άλλη επιλογή αλλά συνήθως είναι χρονοβόρα και παράγει αποτελέσματα μη-πραγματικού χρόνου. Για παράδειγμα μετά την υλοποίηση των συντελεστών εξασθένησης καναλιού η convolution των συντελεστών με τα μεταδιδόμενα σήματα είναι μια σχετικά μακριά διαδικασία εμποδίζοντας τις real-time αποδόσεις. Σε μερικούς τύπους software-based test συστημάτων τα διαμορφωμένα δεδομένα και τα εξασθενημένα κανάλια χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν σύνθετες (I/Q) κυματομορφές που downloaded στην μνήμη μίας αυθαίρετης γεννήτριας κυματομορφών (ARB) για αναπαραγωγή. Οι ARBs μπορεί να είναι εσωτερικές στην γεννήτρια RF σημάτων, όπως αυτές οι γεννήτριες σημάτων Agilent E4438C ESG ή εξωτερικές στην γεννήτρια σήματος RF όπως η σειρά Agilent N6030A arbitrar γεννήτρια κυματομορφών. Υπάρχουν πολλά εργαλεία λογισμικού που μπορεί να επιταχύνει την δημιουργία εξασθενημένων κυματομορφών όπως το Agilent Signal Studio, το MATLAB™ και το Agilent Advanced Design System (ADS), αλλά αυτά τα εργαλεία έχουν συνήθως περιορισμό σε παραδοσιακά μοντέλα εξασθένησης. Επιπλέον οι αυθαίρετες γεννήτριες κυματομορφών έχουν περιορισμένη μνήμη αναπαραγωγής και σαν αποτέλεσμα έχει σχετικά σύντομες κυματομορφές που επαναλαμβάνονται με την πάροδο του χρόνου. Ως εκ τούτου ειδικευμένα όργανα που εξομοιώνουν ρεαλιστικά κανάλια MIMO παρέχουν τις καλύτερες λύσεις για τις δύσκολες συνθήκες δοκιμής.

Ένας εξομοιωτής καναλιού όπως το PXB αναπαράγει real-world MIMO συνθήκες χρησιμοποιώντας ισχυρή τεχνολογία επεξεργασίας ψηφιακού σήματος θα καταστήσει τα άμεσα απομονωμένα προβλήματα της απόδοσης νωρίς στη σχεδίαση την ανάπτυξη και την επαλήθευση της επανάληψης και παρέχουν το ποιο γρήγορο μονοπάτι για την αντιμετώπιση προβλημάτων για προηγμένα ασύρματα εξαρτήματα και συστήματα. Ο εξομοιωτής καναλιού έχει επίσης τα πλεονεκτήματα που μπορούν να δημιουργήσουν ρεαλιστικά σενάρια εξασθένησης συμπεριλαμβανομένου του μονοπατιού και τις συσχετίσεις καναλιού και έχει χαμηλότερο κόστος εφαρμογής και γρηγορότερη διαδικασία προσαρμογής. Το PXB παρέχει έως και τέσσερις γεννήτριες baseband και οχτώ faders χρήσιμα για τον έλεγχο και την αντιμετώπιση προβλημάτων σε συστήματα 4x2 MIMO. Το σχήμα 13 δείχνει ένα απλοποιημένο διάγραμμα διαμόρφωσης για την δοκιμή ενός 2x2 MIMO δέκτη χρησιμοποιώντας το PXB συνδεδεμένο με δύο RF γεννήτριες σημάτων για upconversion του σήματος. Οι PXB εσωτερικές baseband γεννήτριες δημιουργούν συμβατικά με τα πρότυπα

κυματομορφές όπως WiMAX, LTE και WLAN σήματα. Οι baseband γεννήτριες μπορούν εύκολα να συνδεθούν με εξασθενητές καναλιών μέσω του λογισμικού GUI. Για κάθε εξασθένητη μπορούν ανεξάρτητα να ρυθμιστούν με ένα standards-compliant μοντέλο εξασθένησης όπως το WiMAX ITU Pedestrian B ή συνηθισμένα μοντέλα διαμόρφωσης χρησιμοποιώντας μία ποικιλία από μονοπάτια και συνθήκες εξασθένησης.

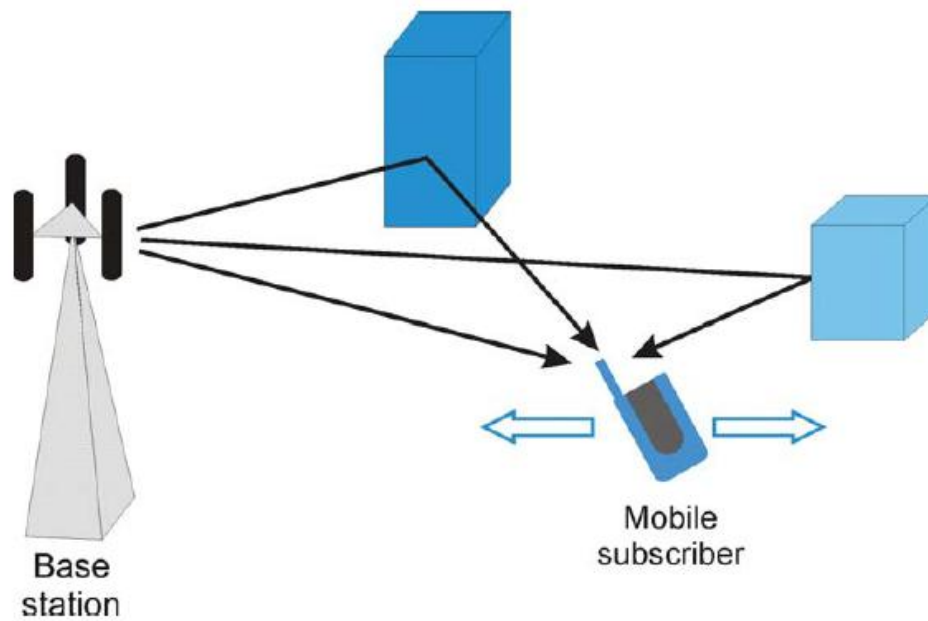


Σχήμα 13

2.4.4 Επισκόπηση MIMO καναλιού

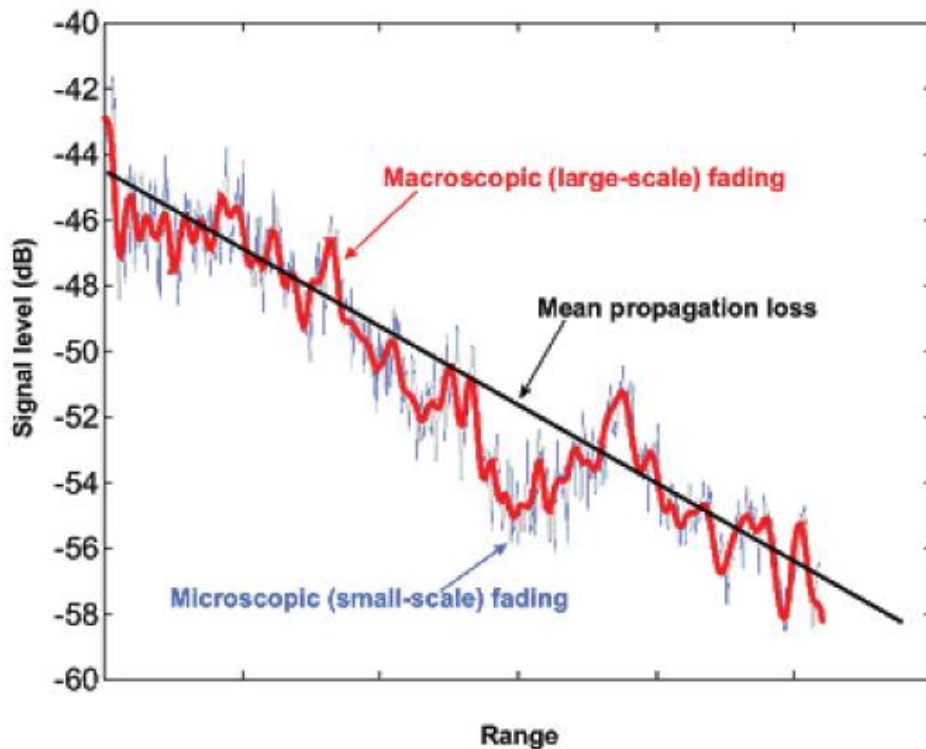
Ένα σήμα μεταδίδεται μέσω ενός ασύρματου καναλιού φτάνει στον προορισμό μαζί με έναν αριθμό μονοπατιών που αναφέρονται ως multipath. Το Σχήμα 14 είναι ένα διάγραμμα ενός τυπικού συνδρομητή κινητού οδηγώντας σε έναν δρόμο. Απεικονίζει τρία από τα περισσότερα μονοπάτια σήματος από τον πομπό στον δέκτη. Αυτά τα μονοπάτια προκύπτουν από την σκέδαση την ανάκλαση και την διάθλαση της ακτινοβολούμενης ενέργειας από τα αντικείμενα του περιβάλλοντος ή από την διάθλαση του μέσου. Οι διάφοροι μηχανισμοί

διάδοσης επηρεάζουν το path loss και την εξασθένηση των μοντέλων διαφορετικά.



Σχήμα 14

Διακυμάνσεις της λαμβανόμενης ισχύς σήματος οφείλονται σε τρία αποτελέσματα: μετάδοση του path loss, macroscopic εξασθένηση και microscopic εξασθένηση τα οποία επιδεικνύονται στο σχήμα 15. Η μέση απώλεια διάδοσης εξαρτάται από τα αποτελέσματα της απορρόφησης από το νερό και το φύλλωμα των δέντρων και από την επίδραση της αντανάκλασης από το έδαφος. Τα αποτελέσματα της Macroscopic εξασθένησης είναι από την επισκίαση των κτηρίων και των φυσικών χαρακτηριστικών. Τα αποτελέσματα της Microscopic εξασθένησης από τον εποικοδομητικό και τον μη εποικοδομητικό συνδυασμό των multipath είναι γνωστό και ως γρήγορη εξασθένηση .



Σχήμα 15

Το Multipath χαρακτηρίζεται από την ροή του καναλιού και μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας μία εφαρμογή tapped καθυστέρηση γραμμής. Το χαρακτηριστικό της μεταβλητότητας του tap χαρακτηρίζεται από το φάσμα Doppler. Επιπλέον για την καθυστέρηση διάδοσης και την διάδοση του Doppler, γωνιακά ή με γωνία εξάπλωσης είναι ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του ασύρματου καναλιού. Η γωνία μετάδοσης του δέκτη αναφέρεται και ως Angles of Arrival (AoA) των multipath εξαρτημάτων στην διάταξη της κεραίας του δέκτη. Παρομοίως η γωνία μετάδοσης του πομπού αναφέρεται ως μετάδοση Angles of Departure (AoD) για εκείνα τα multipath σήματα που τελικά φτάνουν στον δέκτη. Η γωνία μετάδοσης προκαλεί spatial selective fading το οποίο σημαίνει ότι το amplitude του σήματος εξαρτάται από την χωρική θέση των κεραιών του πομπού και του δέκτη. Όταν πολλαπλές κεραιές εφαρμόζονται σε ένα ασύρματο επικοινωνιακό σύστημα, τα διαφορετικά ζεύγη κεραιών πομπού-δέκτη μπορεί να έχουν διαφορετική ροή καναλιού που αντιδράει λόγω των χωρικών επιδράσεων που προκαλούνται από την γωνία μετάδοσης, το σχέδιο ακτινοβολίας της κεραίας και τον χώρο του περιβάλλοντος. Όπως η λειτουργία MIMO χρειάζεται χαμηλές channel-to-channel συσχετίσεις, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε πως αυτά τα χωρικά χαρακτηριστικά μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση του συστήματος.

2.4.5 Ασύρματα χαρακτηριστικά διάδοσης

2.4.5.1 Η μέση απώλεια διάδοσης

Η συνολική μέση απώλεια της ισχύς του σήματος ως συνάρτηση της απόστασης θα ακολουθήσει το νόμο $1/d^n$ όπου d είναι η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη και το n είναι η κλίση του δείκτη που κυμαίνεται από μία τιμή από 2 έως 6 όπου εξαρτάται από το περιβάλλον. Για παράδειγμα σε ελεύθερο χώρο $n = 2$ με αποτέλεσμα κλίση 20 dB/decade. Σε ένα επίγειο περιβάλλον μία τυπική τιμή του $n = 4$ έχει αποτέλεσμα 40 dB/decade απώλεια

σήματος ως συνάρτηση της απόστασης. Σε αυτές τις επίγειες ρυθμίσεις αλλάζοντας την απόσταση από 100 feet σε 1000 feet θα έχει ως αποτέλεσμα μία μέση πτώση του σήματος των 40 dB. Αρκετά εμπειρικά μοντέλα βασισμένα πάνω στην απώλεια μονοπατιού έχουν αναπτυχθεί για διαφορετικά περιβάλλοντα διάδοσης όπως τα μοντέλα COST-2311 και ITU-R M.12252.

2.4.5.2 Macroscopic εξασθένηση

Η Macroscopic ή αργή εξασθένηση προκαλείται από φαινόμενα σκίασης των κτηρίων ή άλλων φυσικών χαρακτηριστικών και καθορίζεται από ένα τοπικό μέσο του λαμβανόμενου σήματος πάνω από απόσταση 20 μήκη κύματος. Η Macroscopic κατανομή εξασθένησης επηρεάζεται από το ύψος της κεραίας, τη συχνότητα λειτουργίας και το είδος του περιβάλλοντος. Η απόκλιση της αργής εξασθένησης σχετικά με τη μέση απώλεια διάδοσης αντιμετωπίζεται ως μία τυχαία μεταβλητή που προσεγγίζει μία κανονική κατανομή όταν εκφράζεται σε decibels (dB) .

2.4.5.3 Microscopic εξασθένηση

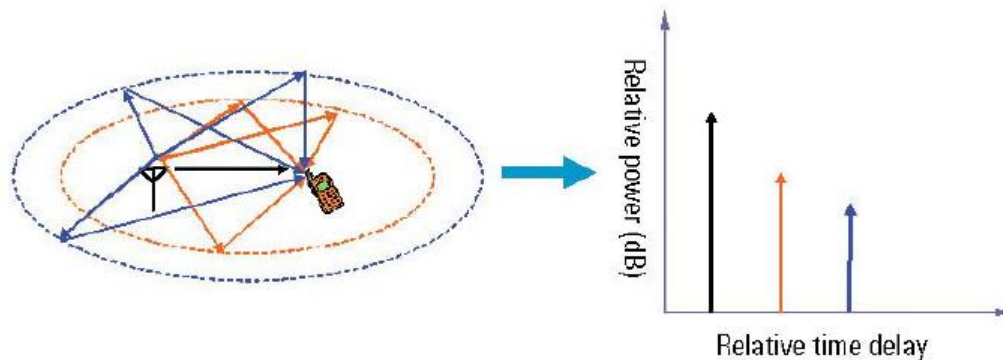
Αποτελέσματα microscopic ή γρήγορης εξασθένησης από την εποικοδομητική και μη εποικοδομητική παρεμβολή των πολυάριθμων multipath σημάτων λαμβάνονται από τον χώρο του περιβάλλοντος. Ραγδαίες αλλαγές στην ένταση του λαμβανόμενου σήματος μπορούν να συμβούν όταν η απόσταση μεταβάλλεται κατά προσέγγιση σε ένα μισή μήκος κύματος δίνοντας έτσι σε αυτό το χαρακτηριστικό το όνομα «γρήγορη εξασθένηση». Κατά την εξέταση των εξασθενημένων στατιστικών της λαμβανόμενης δύναμης προς μία σχετικά μικρή απόσταση κατά προσέγγιση 20 μήκη κύματος τα in-phase (I) και τα quadrature (Q) εξαρτήματα του υποτιθέμενου σήματος μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν μία ανεξάρτητη zero-mean διαδικασία Gaussian. Αυτό το μοντέλο υποθέτει ότι ο αριθμός των σκορπισμένων εξαρτημάτων είναι πολύ μεγάλος και ανεξάρτητος. Μία παρόμοια απάντηση θα μπορούσε να βρεθεί για έναν σταθερό συνδρομητή σαν μία συνάρτηση του χρόνου που οφείλεται στην σχετική κίνηση των scatterers στην τοπική περιοχή του συνδρομητή. Η σχετική αλλαγή στα επίπεδα ισχύος μεταξύ μιας κορυφής με το null είναι συνήθως 15-20 dB αλλά μπορεί να είναι τόσο υψηλό όπως 50 dB κάτω από ορισμένες συνθήκες του καναλιού.

2.4.5.4 Προφίλ καθυστέρηση ισχύς

Στις ασύρματες επικοινωνίες ένα σήμα μεταδίδεται σε έναν δέκτη μπορεί να φτάσει έχοντας ταξιδέψει σε πολλά διαφορετικά μονοπάτια μέσω του ασύρματου καναλιού. Κατά τη διάρκεια της μετάδοσης μέσω του ασύρματου καναλιού το σήμα μπορεί να πάρει το μονοπάτι της άμεσης οπτικής επαφής (LOS) ή μπορεί να αναπηδήσει στις ανακλαστικές επιφάνειες πριν φτάσει στην κεραία του δέκτη. Από τότε που τα πολλαπλά αντίγραφα των αρχικών σημάτων μετάδοσης ταξιδεύουν σε διαφορετικές αποστάσεις φτάνουν στον δέκτη κατανέμονται σε χρόνο με διαφορετικό μέσο όρο επιπέδων ισχύς. Η impulse response του ασύρματου καναλιού χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει το μέσο του μονοπατιού που χρησιμοποιείται ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη. Μοντελοποιώντας το impulse response χρησιμοποιώντας μία tapped γραμμή καθυστέρησης είναι μία παραδοσιακή τεχνική για την προσομοίωση ενός εξασθενημένου καναλιού. Σε αυτά τα μοντέλα κάθε “tap” απεικονίζει το άθροισμα των πολυάριθμων multipath σημάτων που φτάνουν την ίδια στιγμή. Οι tap amplitudes μειώνονται με την πάροδο του χρόνου όπως τα σήματα που φτάνουν σε αργότερους χρόνους έχουν μεγαλύτερη απώλεια μονοπατιού και ενδεχομένως υφίστανται

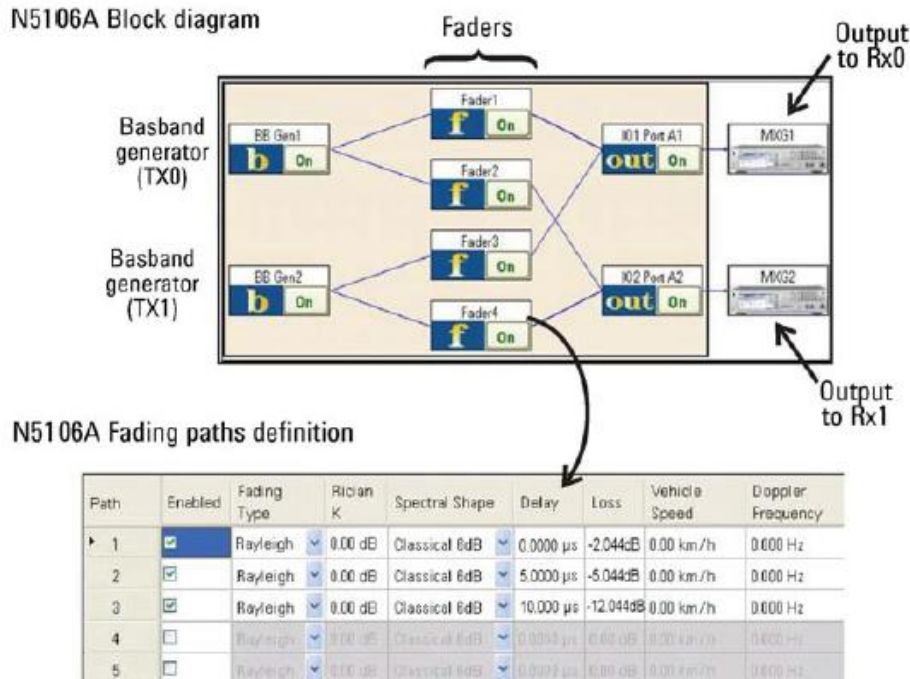
πολλαπλές ανακλάσεις από το γύρω περιβάλλον. Στον δέκτη οι στατιστικές των amplitude για κάθε tap μπορεί να ακολουθήσει μία κατανομή Rician αν το LOS μονοπάτι είναι παρόν ή αν η κατανομή Rayleigh έχει την απουσία του LOS μονοπατιού.

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 16 ο πομπός και ο δέκτης μπορούν να γενικευτούν όπως οι εστίες μιας έλλειψης και κάθε μονοπάτι από την ίδια έλλειψη θα έχει την ίδια σχετική χρονική καθυστέρηση. Σε κάθε συγκεκριμένη χρονική μετάδοση όλα τα σήματα συνδυάζονται για να σχηματίσουν μία tap στο impulse response του καναλιού. Κάθε tap μέσης ισχύς και καθυστέρησης εμφανίζονται ως impulse response του καναλιού και αναφέρεται ως Power Delay Profile (PDP). Το μοντέλο PDP εξυπηρετεί εξίσου την βάση της εξομοίωσης του καναλιού και εξίσου το εξασθενημένο μέσο όπως το PXB, μπορεί να διαμορφωθεί με τις χρονικές καθυστερήσεις και συσχετίζεται με το amplitude profile.



Σχήμα 16

Το PDP είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό για ένα ασύρματο κανάλι. Πολλά ασύρματα πρότυπα καθορίζουν ποια PDP προφίλ απαιτούνται για την δοκιμή του συστήματος. Επιπλέον η απόδοση του συστήματος γενικά ελέγχεται με άλλα προσαρμοσμένα PDP προφίλ προκειμένου να τονιστεί η ασύρματη απόδοση κάτω από μία ποικιλία multipath συνθηκών. Όπως ένα παράδειγμα μετρήσεων όταν χρησιμοποιούμε το PXB, ένα 2x2 MIMO κανάλι δημιουργήθηκε και οι PDP αποκρίσεις μετρήθηκαν για κάθε ένα από τα τέσσερα κανάλια. Το σχήμα 17 δείχνει το block διαγράμματος για ένα σύστημα διαμόρφωσης 2x2 με δύο baseband γεννήτριες απεικονίζοντας τους Tx0 και Tx1 πομπούς και τέσσερα ανεξάρτητα κανάλια που συνδέουν δύο πομπούς με δύο δέκτες. Το σχήμα δείχνει επίσης PDP παραμέτρους για ένα από τα εξασθενημένα κανάλια. Κάθε κανάλι ήταν πανομοιότυπα διαμορφωμένο με τρία Rayleigh-faded μονοπάτια που έχουν σχετικούς χρόνους καθυστέρησης των 0, 5μsec και 10μsec. Τα σχετικά amplitudes μονοπάτια είναι -2.044 dB, -5.044 dB και -12.044 dB αντίστοιχα.

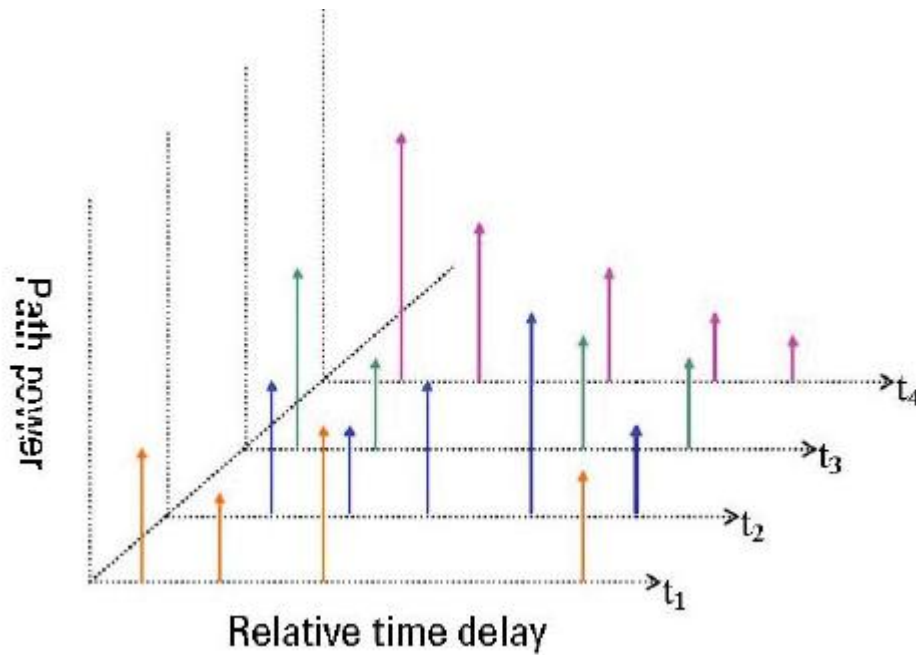


Σχήμα 17

2.4.5.5 Δυναμική εξασθένιση

Σε εφαρμογές κινητών τα χαρακτηριστικά του Power Delay Profile (PDP) θα παραμείνουν σχετικά σταθερά κατά την διάρκεια αρκετών μέτρων. Σε αυτήν τη περίπτωση η impulse response του κινητού καναλιού είναι κατά μέσο όρο πάνω από αυτή τη μικρή απόσταση για να παρέχει μία στατική ή ευρύ άποψη των συνθηκών του καναλιού. Ένα τερματικό κινητό μετακινείται προς μία ευρύτερη περιοχή, το σχήμα και τα χαρακτηριστικά του PDP αλλάζουν δραματικά όπως φαίνεται και στο παράδειγμα του Σχήματος 18.

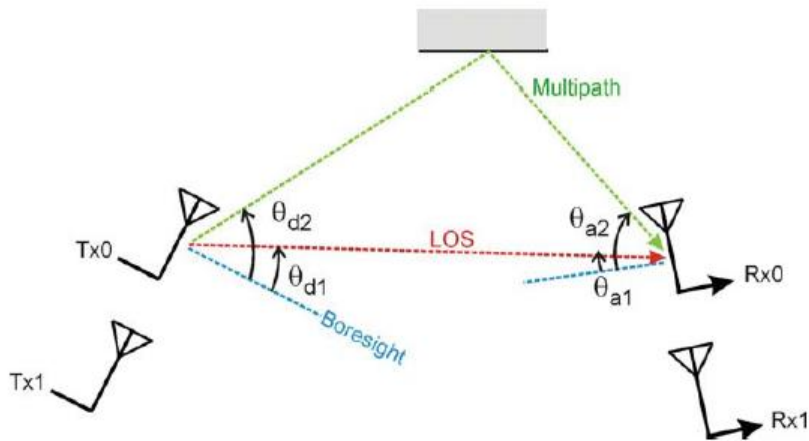
Τα σύγχρονα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών πρέπει να προσαρμοστούν σε αυτές τις δραματικές αλλαγές που συνεχώς μετριάζουν τις επιπτώσεις της καθυστέρησης μετάδοσης των multipath. Για να αξιολογηθεί με ακρίβεια η απόδοση προς ένα χρονικό μεταβαλλόμενο PDP ένας εξομοιωτής εξασθένησης πρέπει να είναι ικανός να εξομοιώσει τις χρονικές μεταβαλλόμενες αλλαγές στα μονοπάτια καθυστέρησης.



Σχήμα 18

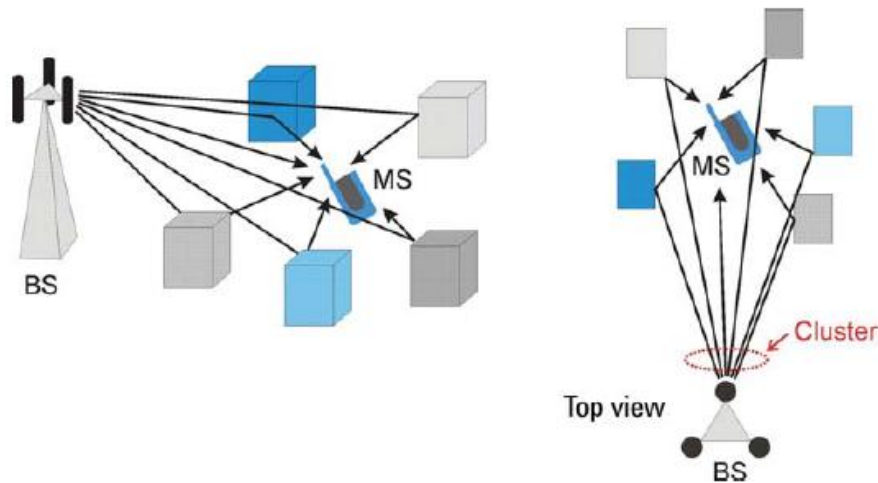
2.4.5.6 Γωνία εξάπλωσης και Power Azimuth Spectrum

Οι παραδοσιακές μέθοδοι για την μοντελοποίηση των ασύρματων καναλιών όπως το Προφίλ Ισχύς καθυστέρησης και το φάσμα Doppler μπορούν με ακρίβεια να απεικονίσουν τα multipath αποτελέσματα σε ένα σύστημα SISO. Το μειονέκτημα αυτών των παραδοσιακών μοντέλων είναι ότι συνήθως δεν περιλαμβάνουν spatial effects που εισάγει η θέση της κεραίας και η πόλωση εντός του multipath περιβάλλοντος. Επίσης δεν περιλαμβάνουν το σχέδιο των αποτελεσμάτων της κεραίας στην απόδοση του συστήματος. Για παράδειγμα η απλή περίπτωση MIMO δείχνεται στο Σχήμα 19 η κεραία του πομπού Tx0 έχει δύο μονοπάτια σήματος στην κεραία του δέκτη Rx0 συγκεκριμένα ένα LOS και ένα multipath. Το μονοπάτι LOS αφήνει το Tx0 με μία γωνία αναχώρησης (AoD), $\theta d1$ το οποίο μετρείται σε σχέση με την διάταξη boresight όπως δείχνετε στο σχήμα. Η διάταξη boresight ορίζεται ως η κανονική κατεύθυνση από την γραμμή της διάταξης κεραίας και πρωταρχικά χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για να περιγράψει την γωνιακή κατεύθυνση. Καθώς οι διατάξεις boresight Directions του πομπού και του δέκτη μπορεί να μην είναι απέναντι ο ένας από τον άλλον τα λαμβανόμενα σήματα μπορεί να επιστρέψουν με διαφορετική γωνία που αναφέρεται ως Angle of Arrival (AoA). Στο σχήμα 19 το LOS μονοπάτι από την κεραία πομπού Tx0 φτάνει στην κεραία του δέκτη Rx0 μαζί με AoA της $\theta a1$. Όπως φαίνεται και στην γραφική παράσταση AoD και AoA για multipath μεταξύ των Tx0 και Rx0 είναι $\theta d2$ και $\theta a2$ αντίστοιχα. Για την διαδρομή του σήματος συνδέουμε την κεραία μετάδοσης Tx1 στο Rx0 τα σχετιζόμενα AoDs και AoAs μπορεί να είναι διαφορετικά από τις γωνίες Tx0 σε Rx0 και εξαρτάται από τον χωρικό διαχωρισμό των κεραίων Tx0 και Tx1. Αν δύο κεραίες μετάδοσης είναι πολύ κοντά η μία στην άλλη τότε το AoA και το AoD θα μοιάζουν πάρα πολύ και πιθανόν να υπάρχει μεγάλη αντιστοιχία εξασθένησης μεταξύ των ζευγών κεραίων (Tx0/Rx0 και Tx1/Rx0). Όπως είχαμε δει και προηγουμένως η υψηλή συσχέτιση μεταξύ πομπού και δέκτη μειώνουν την απόδοση των συστημάτων MIMO. Ως εκ τούτου είναι σημαντικό για κάθε εξομοιωτή MIMO καναλιού να περιλαμβάνουμε ένα μοντέλο για τα χωρικές επιπτώσεις και τα αποτελέσματα της αντιστοιχίας καναλιού για τα ζεύγη κεραίων.



Σχήμα 19

Προκειμένου να προσπαθήσουμε να μοντελοποιήσουμε κάθε AoD και AoA στον προσομοιωτή καναλιού, ένα μοντέλο για την προσομοίωση των χαρακτηριστικών ενός πλούσιου multipath περιβάλλοντος μπορεί να επιτευχθεί συμπεριλαμβάνοντας τη μετάδοση των AoDs και AoAs και αναφέρεται ως “angle spread”. Η Angle spread προκαλεί χωρική επιλεκτική εξασθένηση όπως το amplitude του σήματος του δέκτη και εξαρτάται από την χωρική θέση των κεραιών. Κατά τη χρήση πολλαπλών κεραιών στον πομπό η και στον δέκτη τα διαφορετικά ζεύγη κεραιών πομπού/δέκτη μπορεί να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά εξασθένησης λόγω των διαχωρισμών της κεραίας, η την ακτινοβολία της κεραίας και του γύρω περιβάλλοντος. Στο παράδειγμα που δείχνει το Σχήμα 20 η angle spread για έναν τυπικό Σταθμό Βάσης (BS) είναι πολύ στενό γιατί οι περισσότεροι διαμοιραστές είναι τοποθετημένοι μακριά από τις BS κεραιές. Σε αντίθεση ο Κινητός Σταθμός (MS) περιέχει έναν μεγάλο αριθμό τοπικών διαμοιραστών γύρω από το MS συνεπώς έχει σαν αποτελέσματα μία ευρεία angle spread. Αν οι BS κεραιές τοποθετούνται φυσικά κοντά μαζί η στενή γωνία μετάδοσης θα οδηγήσει σε υψηλή συσχέτιση καναλιού. Ευτυχώς ένα BS έχει συνήθως μία περιοχή να τοποθετήσει τις κεραιές του μακριά μειώνοντας τις αντιστοιχίες των καναλιών. Η κοντινή απόσταση κεραιών είναι ιδανική για ένα κινητό εύχρηστο που απαιτεί την τοποθέτηση πολλών κεραιών σε ένα μικρό πακέτο. Το σχήμα 20 δείχνει επίσης μία στενή κατηγορία των χωρικών γωνιών γύρω από το BS που αναφέρεται ως cluster. Το cluster μπορεί να μοντελοποιηθεί από μία μέση γωνία που περιβάλλεται από μία γωνιακή μετάδοση.



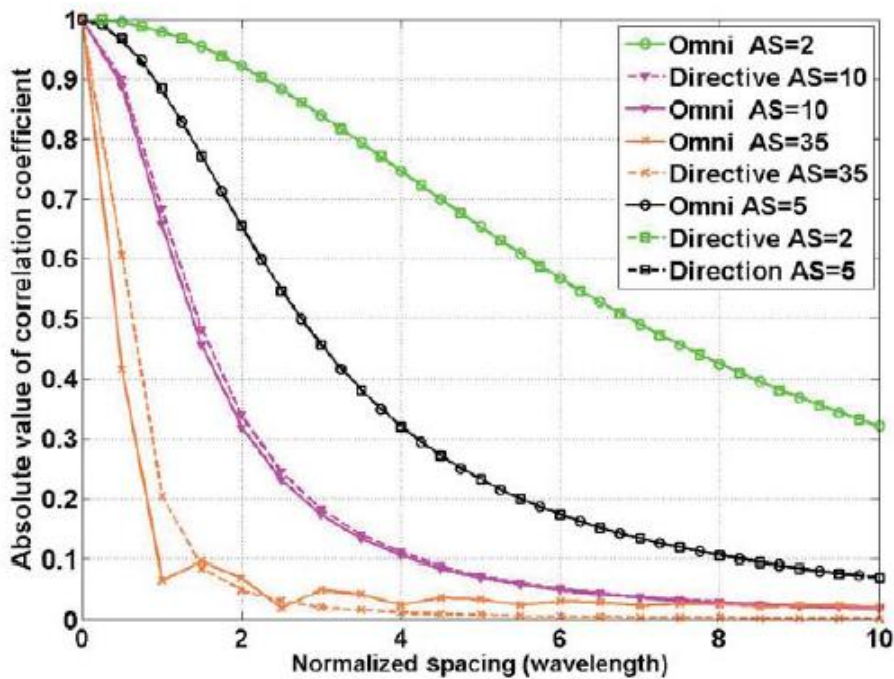
Σχήμα 20

2.4.6 Αντιστοιχία MIMO καναλιών

2.4.6.1 Spatial Correlation

Όπως τα MIMO συστήματα απαιτούν ένα πλούσιο multipath περιβάλλον για τη σωστή λειτουργία είναι πιθανόν οι χωρικές θέσεις των πολλαπλών κεραιών μετάδοσης να είναι σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους και κοντά στην τοποθέτησή τους σε σχέση με το περιβάλλον που μπορεί να αυξήσει την υψηλή εξασθένηση συσχέτισης μεταξύ των διαφορετικών MIMO καναλιών. Οι ίδιες συνθήκες ισχύουν για την θέση των κεραιών του δέκτη. Αυτό θα εμφανιστεί στο τμήμα που η ανεπαρκής απόσταση οδηγεί σε spatial correlation. Ο συντελεστής του spatial correlation ρ_{12} μεταξύ δύο στοιχείων κεραιών είναι η συνάρτηση της διάταξης τόπου, και το gain pattern των επιμέρους στοιχείων. Υποτίθεται ότι τα στοιχεία της κεραίας είναι ίδια με τα gain pattern.

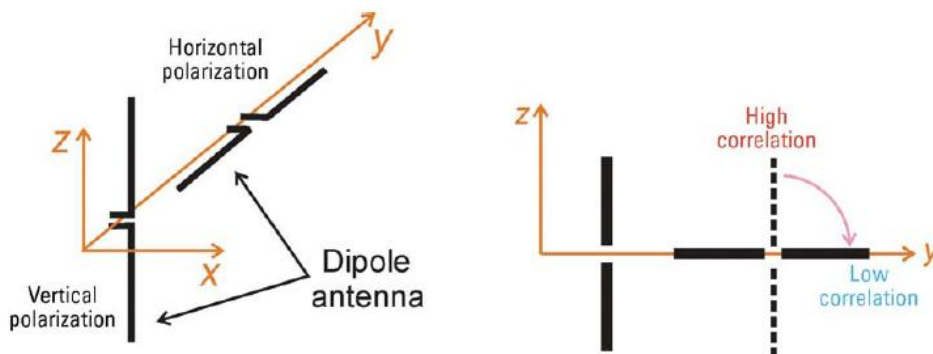
Το σχήμα 21 δείχνει την απόλυτη τιμή του συντελεστή συσχέτισης ως συνάρτηση του χώρου της κεραίας για αρκετά παραδείγματα από τύπους κεραιών και Azimuth Spread (AS). Ο τύπος της κεραίας κυμαίνεται μεταξύ “omni-directional” και οδηγιών χρησιμοποιώντας κεραία τριών τομέων. Κάθε καμπύλη αντιπροσωπεύει μία διαφορετική τιμή για AS covering 2, 5, 10 και 35 βαθμούς. Αυτές οι καμπύλες αναλαμβάνουν μία single-modal Laplacian ισχύς φάσματος azimuth με μέση AoA=200 μοίρες και $\Delta\theta = 180$ degrees. Όπως ήταν αναμενόμενο ο συντελεστής συσχέτισης μειώνεται για την αύξηση της εξομάλυνσης των διατάξεων και την αύξηση του AS. Αξίζει επίσης να παρατηρήσουμε ότι για μία δεδομένη απόσταση κεραίας με μεγάλο AS = 10 ή 35 και οι κατευθυντικές κεραίες τείνουν να είναι λίγο περισσότερο συσχετισμένες από τις omni-directional.



Σχήμα 21

2.4.6.2 Antenna polarization correlation

Τα λειτουργικά συστήματα με ένα στενό εύρος γωνιακής μετάδοσης μπορεί να απαιτούν κεραιές φυσικά τοποθετημένες μακριά για να επιτευχθεί χαμηλή χωρική συσχέτιση. Δυστυχώς κάποιες ασύρματες συσκευές τείνουν να είναι μικρές, περιορίζοντας έτσι την κεραιά διαχωρισμού κάτω από μία κυματομορφή που εξαρτάται από την συχνότητα λειτουργίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις μία εναλλακτική λύση απαιτείται για να επιτευχθεί η χαμηλή συσχέτιση εξασθένησης channel-to-channel για την λειτουργία του MIMO. Μία τεχνική για να μειωθεί η χωρική συσχέτιση μεταξύ δύο κεραιών είναι να “cross” polarize οι κεραιές. Με άλλα λόγια τοποθετήστε τις πολώσεις των κεραιών σε ορθογώνια ή κοντά σε ορθογώνιους προσανατολισμούς. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 22 δύο closely-spaced vertically-polarized (0/0) διπολικές κεραιές θα έχουν υψηλή χωρική συσχέτιση ενώ οι ορθογώνια πολωμένες κεραιές η μία κάθετη και μία οριζόντια θα έχουν πολύ χαμηλότερο συντελεστή συσχέτισης.



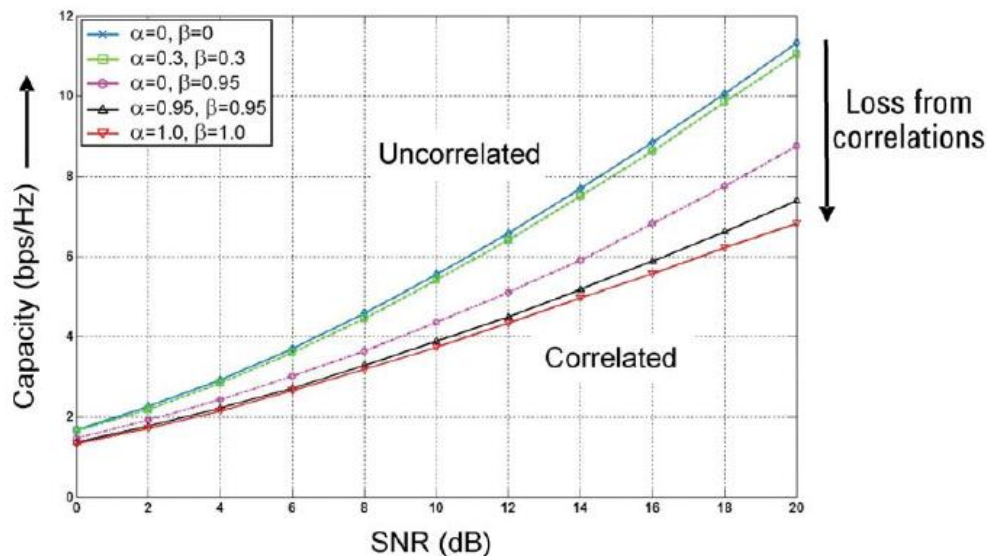
Σχήμα 22

Η χρήση των κεραιών με διαφορετικές πολώσεις στον πομπό ή και στον δέκτη μπορεί να

οδηγήσει σε ανισοροπία ισχύς και συσχέτισης ανάμεσα στα διάφορα MIMO κανάλια.

2.4.7 Η Θεωρητική χωρητικότητα του MIMO καναλιού

Προκειμένου να δώσει μία πιο ευκολονόητη εντύπωση της απώλειας χωρητικότητας του καναλιού που προκαλείται από την συσχέτιση εξασθένησης το Σχήμα 23 συγκρίνει την χωρητικότητα συναρτήσει του SNR για ένα 2x2 MIMO σύστημα με διαφορετικούς συντελεστές συσχέτισης στον πομπό (α) και στον δέκτη (β). Σε σύγκριση με το εντελώς ανεξάρτητο MIMO κανάλι ($\alpha = \beta = 0$) το σχήμα δείχνει ότι υπάρχει μικρή απώλεια χωρητικότητας για τα χαμηλά συσχετιζόμενα κανάλια ($\alpha = \beta = 0.3$). Για υψηλό βαθμό συσχέτισης καναλιών ($\alpha = \beta = 0.95$) σε υψηλά SNR η χωρητικότητα μειώνεται κατά 3.9 bps/Hz σε σύγκριση με την ιδανική ασυσχέτιστη περίπτωση. Για εντελώς συσχετισμένα κανάλια ($\alpha = \beta = 1.0$) η χωρητικότητα μειώνεται κατά 4.4 bps/Hz σε υψηλά SNR. Σημειώνουμε ότι ακόμα και όταν οι συσχετιστικοί συντελεστές είναι 1 εξακολουθεί να υπάρχει μία αύξηση σε σχέση με την χωρητικότητα του SISO αν και οι βελτιώσεις είναι μικρές αυξάνοντας τον αριθμό των ζευγών των κεραιών. Οι μεγαλύτερες βελτιώσεις επιτυγχάνονται όταν τα κανάλια είναι ανεξάρτητα. Σε αυτήν την περίπτωση η χωρητικότητα MIMO βελτιώνεται κατά προσέγγιση η χωρητικότητα του SISO πολλαπλασιάζετε με $\min(N_t, N_r)$

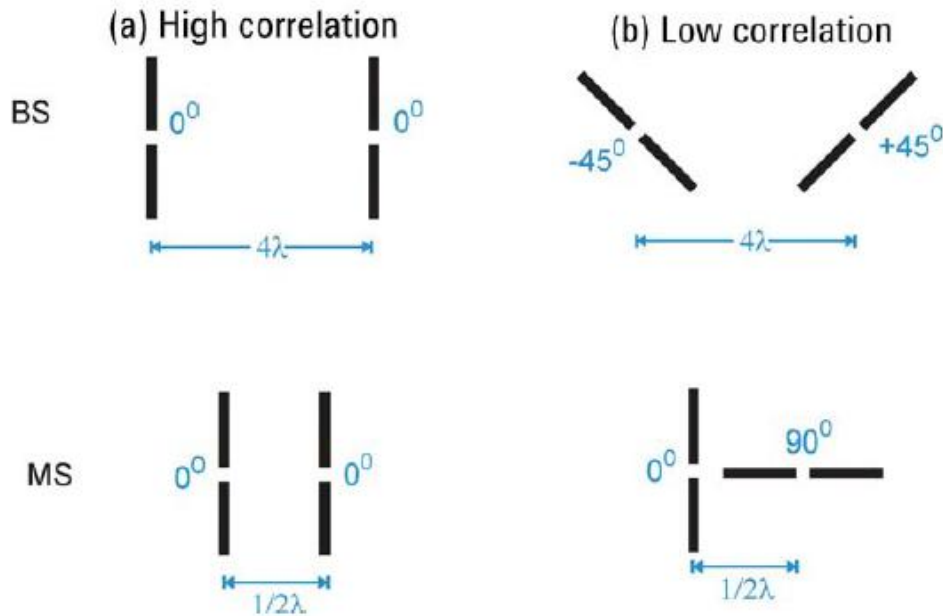


Σχήμα 23

2.4.8 Η διαμόρφωση του εξομοιωτή καναλιού για να επιτευχθεί η επιθυμητή συσχέτιση

Υπό ιδανικές συνθήκες τα συστήματα MIMO παρέχουν δραματική αύξηση χωρητικότητας των καναλιών μέσω της αύξησης του spatial diversity. Πολλά ασύρματα πρότυπα όπως το LTE συνιστούν σενάρια δοκιμών που χρησιμοποιούν συσχετίσεις καναλιών matrices. Μία προσέγγιση που είναι ευρέως αποδεκτή για τον καθορισμό των ιδιοτήτων συσχέτισης ενός καναλιού MIMO στηρίζεται στην “ λ -parameter”. Σε αυτήν την περίπτωση το λ παρέχει μία ένδειξη της συσχέτισης που σχετίζεται με την χωρητικότητα. Η χωρητικότητα λειτουργεί κάτω από ένα συγκεκριμένο SNR, ορίζεται ως μία γραμμική παρεμβολή της χωρητικότητας

για ένα εντελώς συσχετισμένο MIMO κανάλι με εκείνο το μη συσχετισμένο MIMO κανάλι. Μία πολύ ευέλικτη μέθοδος για να επιτευχθεί η επιθυμητή συσχετιστική matrix είναι να προσαρμόσουμε τη διαμόρφωση της κεραίας, όπως η απόσταση στοιχείου ή και polarization. Όπως το παράδειγμα της διάταξης της κεραίας BS ρυθμίζεται χρησιμοποιώντας μία 2x2 MIMO διαμόρφωσης με κάθετα πολωμένες κεραίες όπως φαίνεται στο σχήμα 24 όπου να επιτευχθεί η επιθυμητή συσχέτιση. Οι παράμετροι της κεραίας για το MS έχουν σταθερές τιμές.



Σχήμα 24

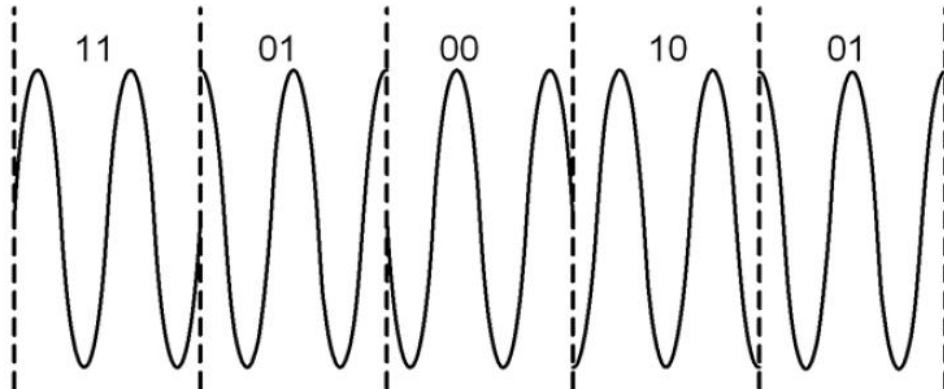
2.4.9 Διαμόρφωση QPSK

Μια πιο εξελιγμένη μορφή της διαμόρφωσης μεταλλαγής φάσης είναι η διαμόρφωση κλειδώματος μεταλλαγής φάσης με ορθογωνισμό (QPSK). Ακόμη είναι γνωστή και σαν 4-αδική PSK. Στη διαμόρφωση αυτή έχουμε μετάδοση κάθε φορά συμβόλων, τα οποία αποτελούνται από δύο bit (dibit). Τα τέσσερα αυτά σύμβολα είναι τα ζεύγη 11, 01, 10, 00. Ανάλογα με το προς μετάδοση σύμβολο η φάση του σήματος παίρνει συγκεκριμένες τιμές ως προς το αρχικό μη διαμορφωμένο φέρον. Στον πίνακα 4 φαίνονται ποιες είναι οι φάσεις του σήματος ανάλογα με το dibit που μεταδίδεται και σε σχέση με το φέρον αναφοράς στο δέκτη.

| Dibit προς μετάδοση | Φάση του σήματος QPSK |
|---------------------|---|
| 11 | $+45^\circ$ ($\pi/4$) |
| 01 | $+135^\circ$ ($3\pi/4$) |
| 00 | $+225^\circ$ ($5\pi/4$) |
| 10 | $+315^\circ$ ή -45° ($7\pi/4$) |

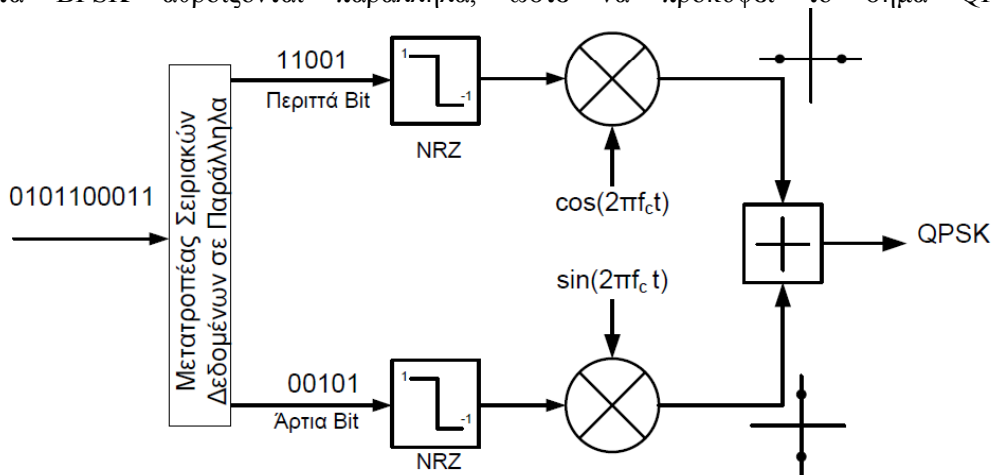
Πίνακας 4

Στο σχήμα 25 μπορούμε να δούμε τις διάφορες φάσεις ενός σήματος με διαμόρφωση QPSK.



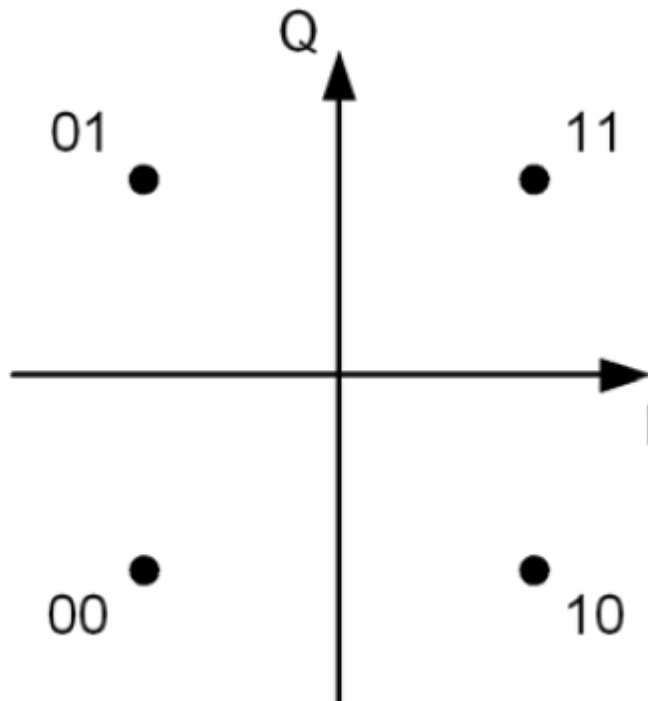
Σχήμα 25

Στο σχήμα 26 φαίνεται ο μηχανισμός παραγωγής της QPSK. Η διαμόρφωση QPSK γίνεται με τη χρήση διανυσματικού διαμορφωτή. Όπως παρατηρούμε αρχικά η δυαδική ακολουθία προς μετάδοση χωρίζεται σε δύο επιμέρους ακολουθίες που αποτελούνται η μία από τα περιττά bit της αρχικής ακολουθίας (δηλαδή το 1ο, το 3ο κτλ.) και η άλλη από τα ζυγά. Στη φάση αυτή έχουμε μετατροπή των μονοπολικών δεδομένων σε διπολικά. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται μη επιστροφή στο μηδέν, NRZ (non-return zero). Η κάθε ακολουθία έχει το μισό ρυθμό bit από αυτόν του αρχικού. Στη συνέχεια κάθε ακολουθία διαμορφώνει ένα φέρον με διαμόρφωση BPSK. Τα φέροντα που χρησιμοποιούνται σε κάθε ακολουθία είναι ορθογωνικά, που σημαίνει ότι έχουν διαφορά φάσης 90° μεταξύ τους. Τέλος, τα δύο αυτά σήματα BPSK αθροίζονται παράλληλα, ώστε να προκύψει το σήμα QPSK.



Σχήμα 26

Από τη μελέτη του μηχανισμού παραγωγής της QPSK μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μέγιστη φασματική απόδοση της QPSK είναι 2bit/sec/Hz . Το διάγραμμα αστερισμού της διαμόρφωσης QPSK φαίνεται στο σχήμα 27. Όπως βλέπουμε, εφόσον πρόκειται για 4-αδική διαμόρφωση θα έχουμε 4 σημεία. Ακόμη οι καταστάσεις φάσεως σχηματίζουν γωνία 45° με τις καταστάσεις των δύο πηγών BPSK.

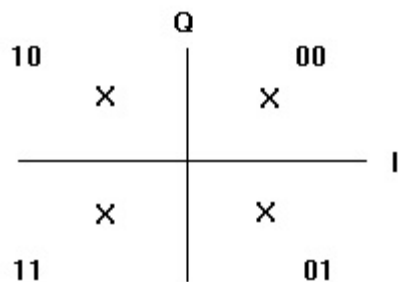


Σχήμα 27

2.4.10 Διαμόρφωση QAM

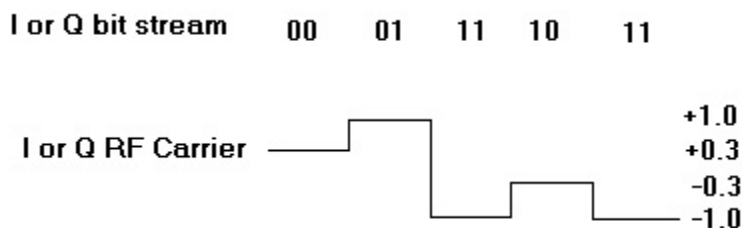
Η λειτουργία της QAM διαμόρφωσης είναι η εξής. Διαμορφώνεται μία ημιτονοειδής φέρουσα σε πλάτος και φάση. Κάθε σύμβολο (symbol) είναι ένας συγκεκριμένος συνδυασμός τιμής πλάτους και φάσης. Το αποτέλεσμα της διαμόρφωσης δεν είναι ένα σήμα μίας συχνότητας αλλά ένας συνδυασμός συχνοτήτων. Το εύρος συχνοτήτων ενός QAM σήματος εξαρτάται από την ροή των δεδομένων (symbol rate). Για παράδειγμα μία ροή δεδομένων της τάξης των 3200 symbols/sec απαιτεί περίπου 3,2KHz εύρος συχνοτήτων. Το πρωτόκολλο V.34 των γνωστών σε όλους τηλεφωνικών modems κάνει χρήση της κεντρικής φέρουσας με συχνότητα 1959 Hz και απαιτεί ένα εύρος 3430Hz για να επιτύχει την ταχύτητα μεταφοράς 3430symbols/sec. Έτσι το εύρος συχνοτήτων που κάνει χρήση είναι από 244KHz μέχρι και 3674KHz.

Λόγω της μεγάλης απόδοσης η διαμόρφωση QAM είναι πολύ διαδεδομένη στην ψηφιακή επικοινωνία. Έχει θεωρηθεί ως standard τεχνολογία για την ενσύρματη και ασύρματη μετάδοση εικόνας, ήχου, φωνής και δεδομένων. Όπως σε κάθε διαμόρφωση έτσι και στην QAM υπάρχουν αρκετά επίπεδα εκπομπής. Κάθε n-bit (σύμβολο) τοποθετείται επάνω σε ένα 2^n κομμάτι ενός 2 διαστάσεων σήματος εκπομπής το οποίο αναφέρεται ως 2^n -QAM διαμόρφωση. Κάθε σύμβολο λοιπόν έχει x και y συντεταγμένες. Αν λοιπόν θέλουμε να επιτύχουμε το πρώτο επίπεδο εκπομπής 2²-QAM (4-QAM) τότε οι ροές δεδομένων I και Q διαμορφώνονται ως ένα απλό σήμα θετικό και αρνητικό μίας φέρουσας. Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν το αποτέλεσμα θα μπορούσε να αποτυπωθεί στο χαρτί όπως στο σχήμα 28.



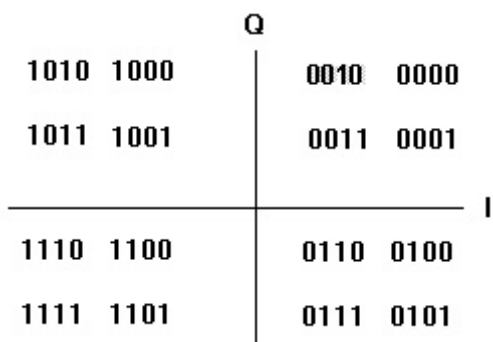
Σχήμα 28

Αναφερόμαστε σε αυτό το επίπεδο διαμόρφωσης ως πρότυπο. Τα X αναπαριστούν την θέση στις φέρουσες ενώ τα 00,01,10,11 αναπαριστούν την «λογική» (ψηφιακή) μετάφραση της θέσης της αυτής. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι με κάθε διαμόρφωση της φέρουσας μπορούμε να στείλουμε 2 bit πληροφορίας. Στην περίπτωση που θέλουμε να επεκταθούμε σε πιο υψηλό επίπεδο διαμόρφωσης της φέρουσας (π.χ 24 – QAM δηλαδή 16-QAM) οι I και Q συνιστώσες υποβάλλονται σε ένα πολλαπλό επίπεδο διαμόρφωσης με 4 μέρη των 2 bit η κάθε μία. Αν υποθέσουμε ότι τα επίπεδα αυτά για εμάς είναι -1, -1/3 , +1/3 και + 1 dbm τότε για ένα μικρό κομμάτι του χρόνου η διαμορφωμένη φέρουσα θα μπορούσε να έχει την παρακάτω μορφή του σχήματος 29.



Σχήμα 29

Αν πάρουμε τις ροές δεδομένων I και Q και τις φέρουμε σε μίξη τότε μπορούν να αποτυπωθούν όπως παρακάτω (σχήμα 30).



Σχήμα 30

Ο θόρυβος επιδρά αρνητικά στις διαμορφώσεις κατά πλάτος και φάση μετακινώντας την φέρουσα από την πραγματική της θέση. Υπάρχει ένα ανώτατο όριο ανοχής παρουσίας θορύβου για κάθε σημείο της φέρουσας. Θεωρείται ότι η φέρουσα περιέχει περισσότερο

θόρυβο, όταν η κάθε διαμόρφωσή της θα έχει απόκλιση από την πραγματική έως ότου ο δέκτης να ερμηνεύσει το 0110 ως 0100. Υπάρχουν κάποιους τρόποι για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό. Ένας από αυτούς είναι να περιοριστούν οι συνεχείς μεταπηδήσεις από μία διαμόρφωση της φέρουσας σε μία άλλη χρησιμοποιώντας διαφορετική μέθοδο κωδικοποίησης.

Συμπερασματικά να αναφέρουμε ότι τα μικρότερα επίπεδα διαμόρφωσης QAM μεταφέρουν λιγότερη πληροφορία αλλά είναι και λιγότερο ευάλωτα στον θόρυβο. Η μέτρηση που έχει καθιερωθεί για το επίπεδο θορύβου στην διαμόρφωση QAM δεν είναι το γνωστό BER (Bit Error Rate) αλλά το MER (Modulation Error Rate). Η μέτρηση είναι απαραίτητη για μία σωστή λήψη ενώ η τιμή της έχει σχέση με τον τύπο της διαμόρφωσης που μετρά (16, 32, 64 QAM...)

2.4.11 Εφαρμόζοντας το SNR σε MIMO κανάλια

Ένα βολικό μέρος για τις ρυθμίσεις του καναλιού Signal to Noise Ratio (SNR) είναι τυπικά στο δέκτη. Η ισχύς του σήματος μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια με το μετρητή ισχύος και ο εξομοιωτής καναλιού μπορεί να παράγει τον απαιτούμενο θόρυβο σύμφωνα με το επιθυμητό SNR. Αυτή η τεχνική είναι έγκυρη για SISO και MIMO συστήματα που έχουν ασυσχέτιστα κανάλια. Όταν τα MIMO κανάλια συσχετίζονται απαιτείται μία εναλλακτική προσέγγιση για τη μέτρηση της ισχύος και την παραγωγή θορύβου.

2.4.11.1 SNR για SISO και ασυσχέτιστα MIMO κανάλια.

Για τα SISO συστήματα το λαμβανόμενο σήμα Y ορίζεται όπου το X είναι τα μεταδιδόμενα δεδομένα. H είναι ο συντελεστής συσχέτισης και το N είναι ο θόρυβος. Για το καθορισμένο SNR η ισχύς του σήματος S πρώτα μετρίεται στην έξοδο του εξομοιωτή καναλιού με την απουσία θορύβου. Η διακύμανση του θορύβου σ^2 , είναι μία τυχαία Gaussian διαδικασία που μπορεί να υπολογιστεί και να προστεθεί από τον εξομοιωτή καναλιού για να προσομοιώσει την επίδραση της SNR σε SISO κανάλι.

2.4.11.2 Το SNR για συσχετισμένα MIMO κανάλια.

Όταν τα MIMO κανάλια συσχετίζονται η υπολογισμένη ισχύς σήματος στην πλευρά του δέκτη μπορεί να εξαρτηθεί από την συσχέτιση των καναλιών. Αυτή η correlation dependency εμποδίζει έναν εξομοιωτή καναλιού από ακριβής διαμόρφωση του συστήματος MIMO για το επιθυμητό SNR, χρησιμοποιώντας μετρήσεις ισχύος στον δέκτη. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία ο εξομοιωτής καναλιού μπορεί να χρησιμοποιήσει τις μετρήσεις ισχύος σήματος στον πομπό για να ρυθμιστεί σωστά το απαιτούμενο SNR. Η ακόλουθη παραγωγή δείχνει ένα απλοποιημένο παράδειγμα χρησιμοποιώντας ένα 2x1 MISO σύστημα για να αποδείξει μία κατάλληλη τεχνική μέτρησης για τη διαμόρφωση του SNR σε έναν εξομοιωτή καναλιού όταν τα κανάλια συσχετίζονται.

$$Y = HX + N$$

2.4 .11.3 Λευκός Θόρυβος (Gaussian Noise)

Στην πράξη, σε κάθε πρόβλημα μέτρησης ή πρόβλημα διαβίβασης πληροφορίας, π.χ. σε μια τηλεπικοινωνιακή ζεύξη ή κατά τις μετρήσεις που γίνονται σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα, έχουμε συνήθως να κάνουμε με πολύ ασθενή ηλεκτρικά σήματα. Η μέτρηση των σημάτων αυτών γίνεται πάντα με μια αβεβαιότητα που είναι συμφυής στα φυσικά φαινόμενα και στις φυσικές δομές και εμποδίζει την ανάδειξη του κύριου φαινομένου ή της πληροφορίας.

Η χρονικά εξαρτημένη αβεβαιότητα στις φυσικές παραμέτρους αναφέρεται γενικά σαν θόρυβος. Ο θόρυβος είναι μια εντελώς ακανόνιστη διακύμανση που μπαίνει μαζί με την πληροφορία στην είσοδο της μετρητικής διάταξης ή που γεννιέται μέσα στην ίδια τη διάταξη ή στο κανάλι διαβίβασης της πληροφορίας.

Μερικοί από τους θορύβους που μας απασχολούν στην πράξη είναι

α) Ο θερμικός θόρυβος (thermal noise) που προέρχεται από την εσωτερική αντίσταση μιας πηγής σήματος.

β) Ο θόρυβος που προέρχεται από τα ίδια τα όργανα που χρησιμοποιούμε για το χειρισμό του σήματος.

γ) Ο θόρυβος του περιβάλλοντος που προκαλείται από ποικίλα αίτια, όπως ραδιοηλεκτρικές παρεμβολές, ατμοσφαιρικά παράσιτα κ.λ.π.

δ) Στατιστικές διακυμάνσεις που προέρχονται από την κβαντική φύση της ίδιας της μετρούμενης ποσότητας, π.χ. φάσμα αερίου.

Η πιο απλή μορφή θορύβου είναι ο λεγόμενος λευκός θόρυβος, . Η διακριτή διεργασία $\{w_t\}$ καλείται μία καθαρώς τυχαία ή λευκός θόρυβος (white noise) αν οι τυχαίες μεταβλητές w_t αποτελούν μία ακολουθία αμοιβαία ανεξαρτήτων μεταβλητών με την ίδια κατανομή. Από τον ορισμό προκύπτει ότι η μέση τιμή και η διασπορά είναι σταθερές και ότι η αυτοδιασπορά δίνεται από τη σχέση

$$\gamma(k) = \text{cov}\{w_t, w_{t+k}\} = 0 \quad \text{για } k=\pm 1, \pm 2, \dots$$

Καθώς η μέση τιμή και η αυτοδιασπορά είναι ανεξάρτητες από το χρόνο, η διεργασία είναι δευτέρας τάξεως στάσιμη. Στην πραγματικότητα είναι επίσης και αυστηρός στάσιμη. Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης δίνεται από τη σχέση

$$r(k) = \begin{cases} 1 & \text{αν } k=0 \\ 0 & \text{αν } k=\pm 1, \pm 2, \dots \end{cases}$$

Το φάσμα ισχύος του λευκού θορύβου είναι σταθερό και δεν εξαρτάται από τις τιμές της συχνότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Πειραματικός Μέρος

3.1 Εισαγωγή στο Πειραματικό Μέρος

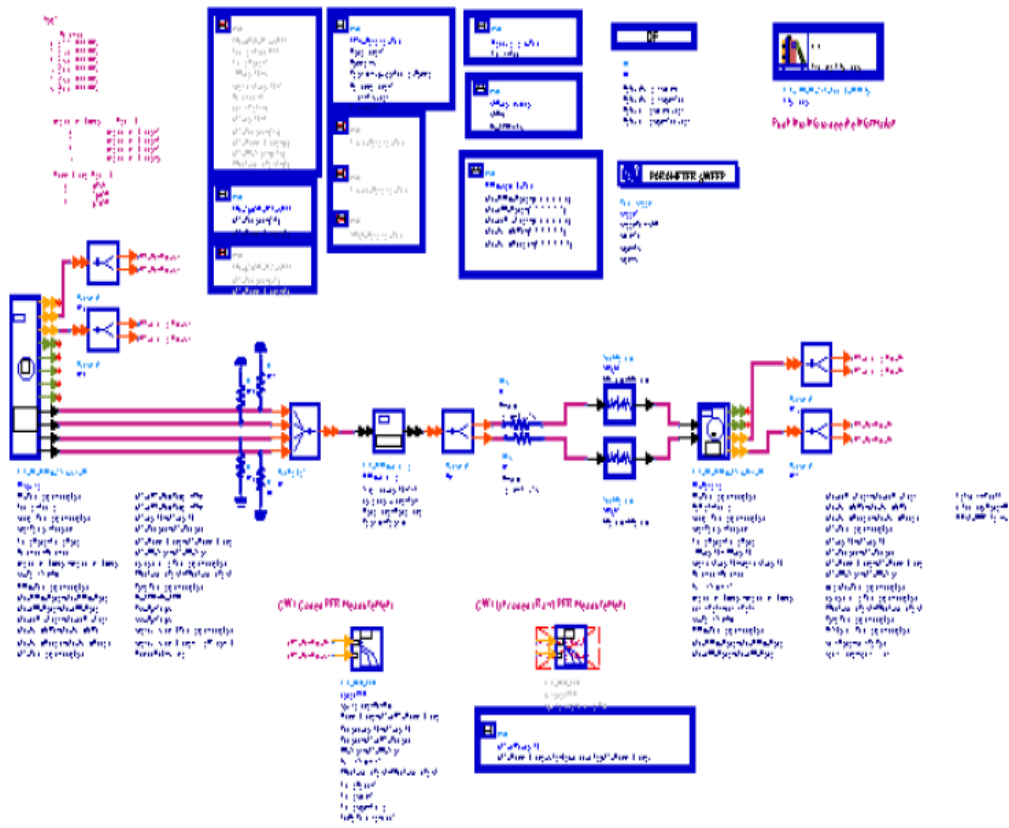
Σε αυτήν την ενότητα θα ασχοληθούμε με το project LTE_TDD_DL 4x2 Fading BER. Τα χαρακτηριστικά αυτού του project είναι τα παρακάτω.

- Καθορίζουμε τα αναφερόμενα κανάλια TS 36.101 για την ακολουθία DL. TDD.
- Μεταδίδουμε ανοιχτό βρόγχο και diversity χωρικής πολυπλεξίας. Η κατάσταση λειτουργίας είναι 4 κεραίες μετάδοσης και 2 κεραίες παραλήπτη.
- Ο ορισμός των σβηστών καναλιών είναι η ακολουθία του TS 36.101 στο AnnexB.
- Αποκωδικοποίηση και κωδικοποίηση μετρήσεων BER/BLER.
- Πολλαπλές μετρήσεις SNR.

Το LTE_TDD_DL_4x2_Fading_BER.dsn δίνει τις γραφικές παραστάσεις των μετρήσεων TDD downlink MIMO 4x2 BER/BLER στο εξασθενημένο κανάλι. Το κύκλωμα εμφανίζεται στο Σχήμα 31.

LTE_DL_TDD_4x2_Fading_BER.dsn

LTE: TDD Downlink MIMO (SM or Transmit Diversity Mode) BER Measurements on Fading Channel



LTE_TDD_DL_4x2_Fading_BER.dsn Schematic

Σχήμα 31

Η πηγή του σήματος ακολουθεί τον ορισμό του καναλιού που αναφέρεται στο A3 του TS 36.101 με την εξαίρεση ότι πρώτον καμία HARQ μετάδοση δεν είναι απασχολημένη και δεύτερον ότι το BW 5 MHz είναι απασχολημένο. Οι τρεις ρυθμίσεις είναι προ διαμορφωμένες στον πίνακα 5.

| |
|---|
| Διαμόρφωση Πηγής Σήματος |
| Αναφερόμενο Κανάλι [R.13 FDD] (5 MHz QPSK 1/3) |
| Αναφερόμενο Κανάλι [R.14 FDD] (5 MHz 16QAM 1/2) |
| 5 MHz 64QAM 3/4 |

Πίνακας 5

Η κατάσταση λειτουργίας μετάδοσης για το UE1 καθορίζεται από την παράμετρο UEs MIMO Mode[1] μέσα στο MIMO_Setting_Var. Ο αντίστοιχος βρόγχος επιλέγει χωρική πολυπλεξία όταν το UEs_MIMO_Mode[1]= 0; Αλλιώς μεταδίδουν με ποικιλομορφία μαζί με τέσσερις επιλεγμένες κεραιές μετάδοσης.

Το εξασθενημένο κανάλι ακολουθεί τον ορισμό του TS 36.101 στο AnnexB. Οι ρυθμίσεις των τεσσάρων καναλιών είναι προ διαμορφωμένες στον πίνακα 6.

| | |
|---------------------|---------|
| Εξασθενημένο κανάλι | Doppler |
| EVA | 5 Hz |
| ETU | 70 Hz |
| ETU | 300 Hz |
| AWGN | 0 Hz |

Πίνακας 6

Διαμόρφωση κεραιάς και συσχέτιση υποστήριξης matrix στον πίνακα 7.

| | |
|--------------------|-------------------|
| Διαμόρφωση κεραιάς | Υποστήριξη Matrix |
| 4x2 | Low |
| 4x2 | Medium |
| 4x2 | High |

Πίνακας 7

Οι χρήστες μπορούν να ξεκινήσουν από αυτό το παράδειγμα και να δημιουργήσουν άλλες διατάξεις κεραιών αντικαθιστώντας την πηγή RF και τον δέκτη RF με αντίστοιχη πηγή και δέκτη όπως για παράδειγμα 4x4, 4x1, 1x4, 2x4.

Σε αυτό το παράδειγμα παρέχετε η ακατέργαστη μέτρηση BLER. Για να την μετρήσετε ενεργοποιήστε το εξάρτημα Uncoded PER.

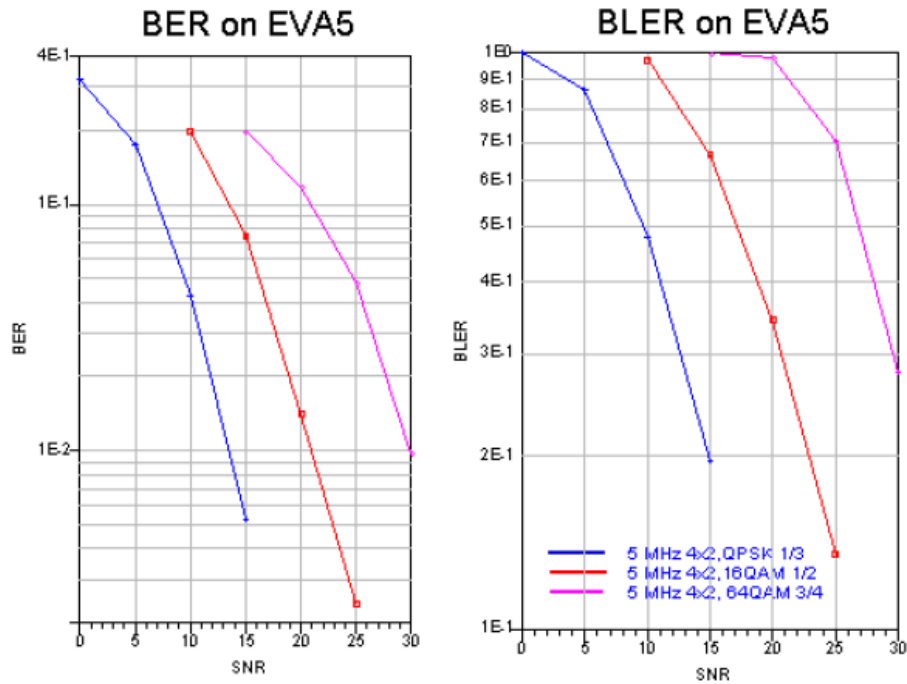
Ο υπολογισμός του προεπιλεγμένου καναλιού είναι το 2D MMSE μαζί με το MMSE_RBWinLen = 5. Το κανάλι χαρακτηρίζεται από το T_{max}, F_{max} και SNR. Από το κανάλι απαιτείται υπολογισμός που βρίσκεται στα EVA5_Receiver_Vars, ETU70_Receiver_Vars, ETU300_Receiver_Vars και AWGN_Receiver_Vars και στα EVA5, ETU70, ETU300, AWGN αντίστοιχα. Ο αριθμός των πλαισίων για την προσομοίωση BER/BLER ορίζεται στο Measurement_Vars.

Σε αυτό το παράδειγμα το εξασθενημένο κανάλι μαζί με το κανάλι κωδικοποίησης δίνουν τις παραστάσεις του downlink PDSCH 1 (UE 1). Ο πίνακας 8 δείχνει την κατάσταση της προσομοίωσης.

| Παράμετροι | Τιμές |
|-----------------------|---|
| FCarrier | 2500 MHz |
| FrameMode | TDD Configuration 5 |
| Bandwidth | 10 MHz |
| Oversampling Option | Ratio 2 |
| Cyclic Prefix | Normal |
| Antenna Configuration | 4x2 |
| Correlation Matrix | Low |
| MIMO Mode | Open-loop spatial multiplexing with 2 code words and 2 layers |
| Fading Channel | EVA 5Hz |
| Reference Channels | QPSK R1/3, 16QAM R1/2, 64QAM R3/4 |

Πίνακας 8

Οι καμπύλες παράχθηκαν από τον μέσω όρο πάνω από 200 πλαίσια. Το σχήμα 32 δείχνει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Σχήμα 32

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία χρειάζεται για να τρέξει το πρόγραμμα είναι

- Πλατφόρμα υλικού: Centrino Duo 2.0GHz, 2 GB μνήμη
- Πλατφόρμα λογισμικού: Windows XP, ADS 2009
- Ώρα προσομοίωσης: 18 ώρες περίπου

3.2 Ρυθμίσεις Πειραματικού Μέρους.

Στη συνέχεια θα εισάγουμε κάποιες συγκεκριμένες τιμές σε διάφορα εξαρτήματα του project LTE_TDD_Rx και θα λάβουμε κάποιες γραφικές παραστάσεις.

Τα εξαρτήματα στα οποία θα γίνουν οι αλλαγές είναι το εξάρτημα της διαμόρφωσης. Για το QPSK 1/3 ενεργοποιούμε το var FRC_QPSK_R13_5MHz για το 16QAM 1/2 ενεργοποιούμε το var FRC_16QAM_R12_5MHz και για το 64QAM 3/4 ενεργοποιούμε το var FRC_64QAM_R34_5MHz. Μόνο ένα var θα πρέπει να είναι ενεργοποιημένο κάθε φορά.

Το εξάρτημα LTE_DL_MIMO_4Ant_Src_RF είναι ο πομπός και ο δέκτης. Το οποίο έχει μία παράμετρο το SS_PerTxAnt για να μπορέσουμε να επιλέξουμε διπλό κλικ στο εξάρτημα και μας εμφανίζει τις παραμέτρους βρίσκουμε το SS_PerTxAnt το οποίο παίρνει δύο τιμές το YES ή το NO.

Το εξάρτημα var MIMO_setting_vars έχει και αυτό δύο επιλογές το SM η τιμή του οποίου είναι το (000000) και το TD η τιμή του οποίου είναι (111111). Για να δουλέψουμε με το SM διαλέγουμε το LTE_sim_01 το οποίο είναι προ ρυθμισμένο και όταν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε το TD διαλέγουμε το LTE_sim_10 το οποίο είναι προ ρυθμισμένο.

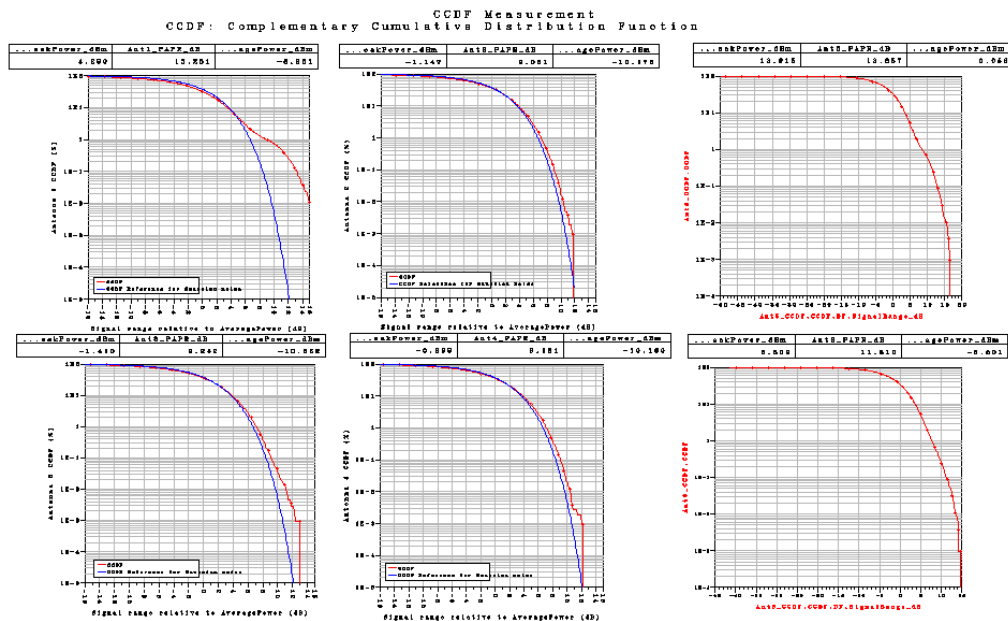
Το εξάρτημα του περιβάλλοντος θα δεχτεί και αυτό κάποιες τροποποιήσεις. Για να εισάγουμε το EVA5 θα ενεργοποιήσουμε το πρώτο var το οποίο είναι το EVA5_Receiver_vars. Για να εισάγουμε το ETU70 θα ενεργοποιήσουμε το δεύτερο var το οποίο είναι το ETU70_Receiver_vars. Για να εισάγουμε το ETU300 θα πρέπει να ενεργοποιήσουμε το τρίτο var το οποίο είναι το ETU300_Receiver_var. Μόνο ένα var θα πρέπει να είναι ενεργοποιημένο κάθε φορά.

Στο LTE_MIMO_CHANNEL κάνουμε διπλό κλικ πάνω στο εξάρτημα βρίσκουμε την παράμετρο Correlation και επιλέγουμε το Medium. Μόνο αυτήν την παράμετρο θα χρησιμοποιήσουμε.

Το εξάρτημα LTE_DL_MIMO_4Ant_Src_RF το έχουμε ξανά δει παραπάνω θα πρέπει η παράμετρος PhaseImbalance να πάρει κάποιες συγκεκριμένες τιμές. Διπλό κλικ πάνω στο εξάρτημα και βρίσκουμε την παράμετρο PhaseImbalance. Θα δουλέψουμε με τις παρακάτω τιμές. Το PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0} και το PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}.

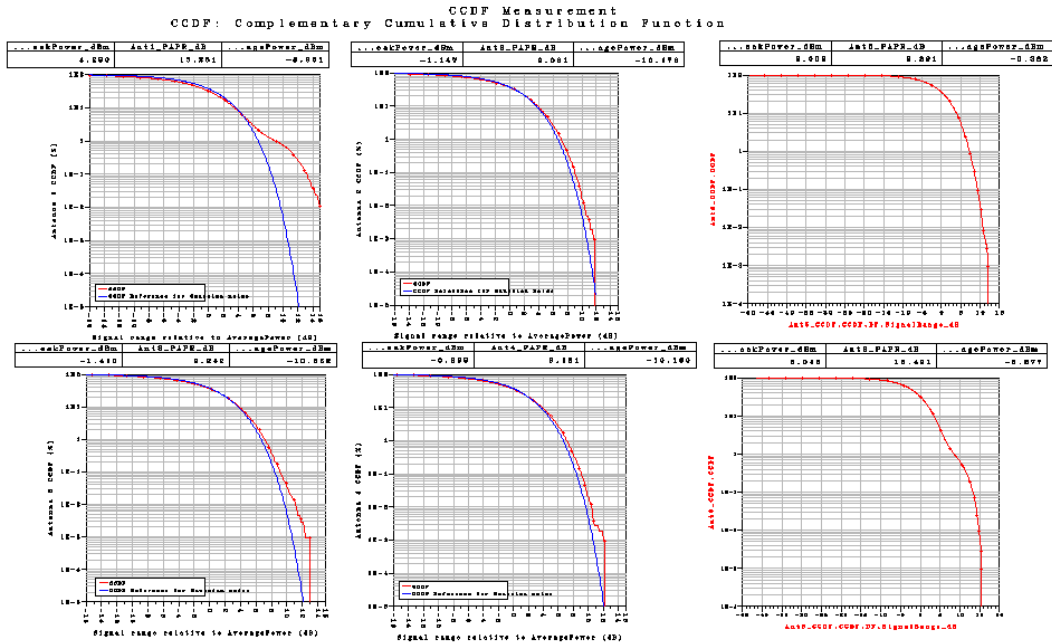
3.3 Αποτελέσματα Πειραματικού Μέρους.

Το LTE_sim_33 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



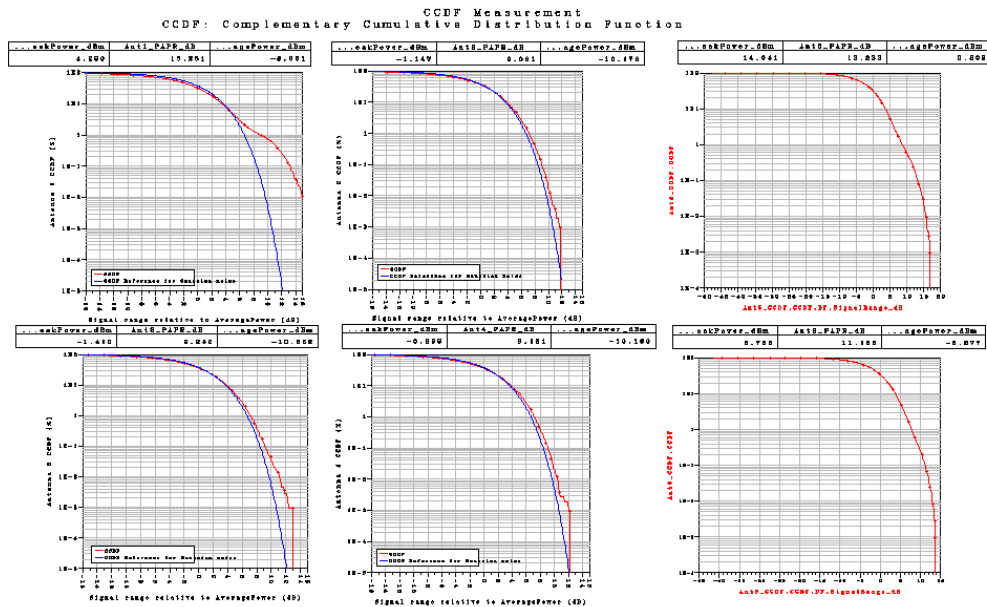
Σχήμα 33

Το LTE_sim_34 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



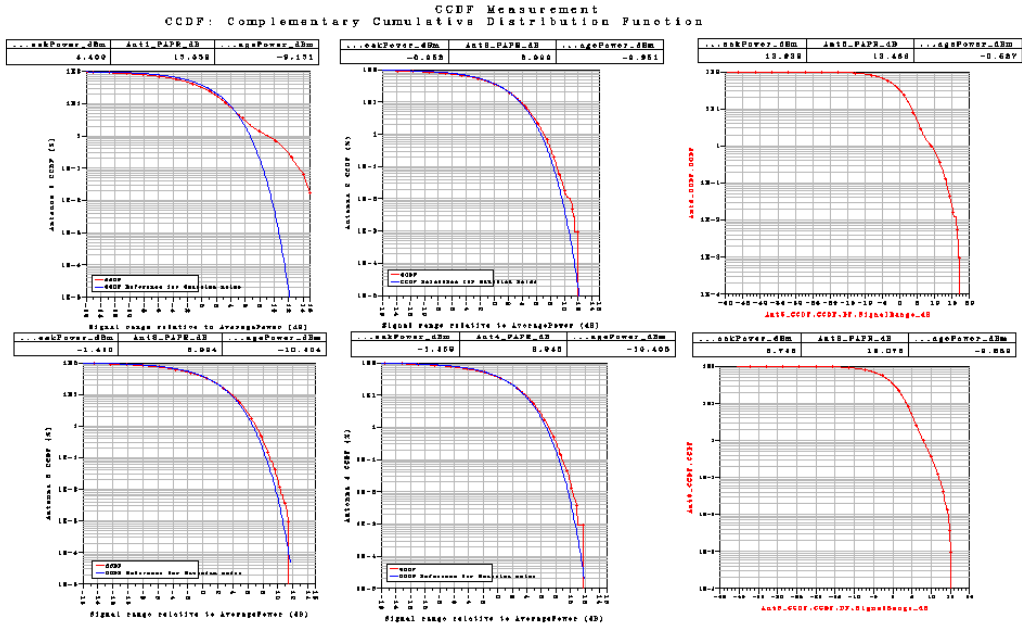
Σχήμα 34

Το LTE_sim_35 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



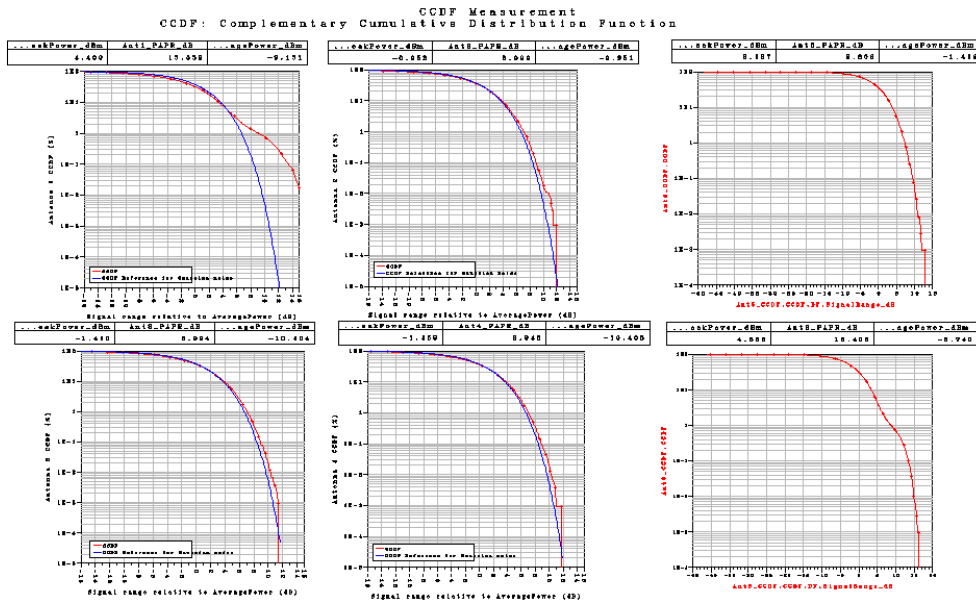
Σχήμα 35

Το LTE_sim_36 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



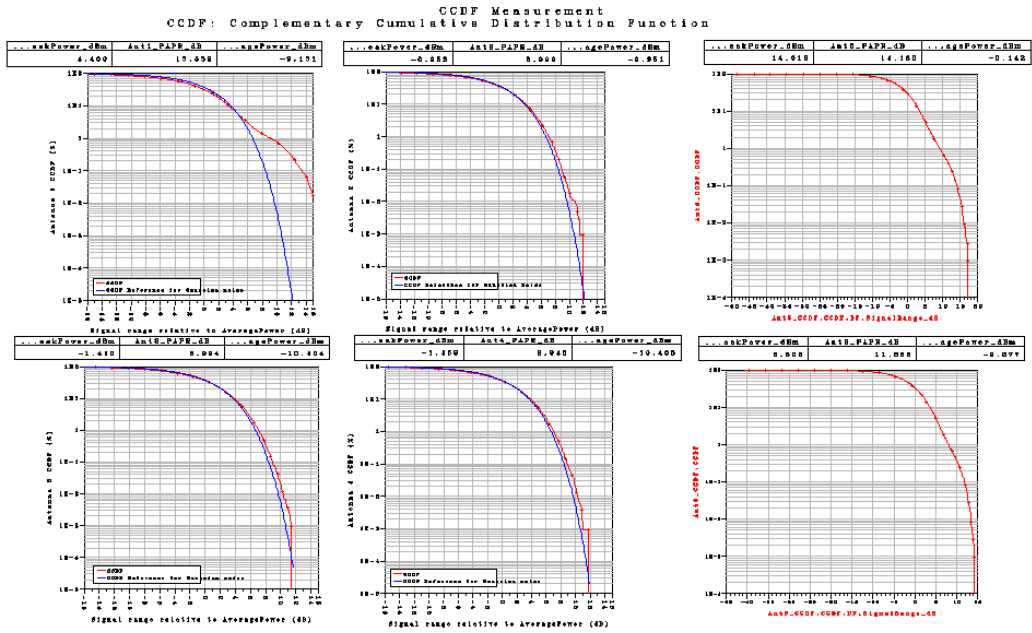
Σχήμα 36

Το LTE_sim_37 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



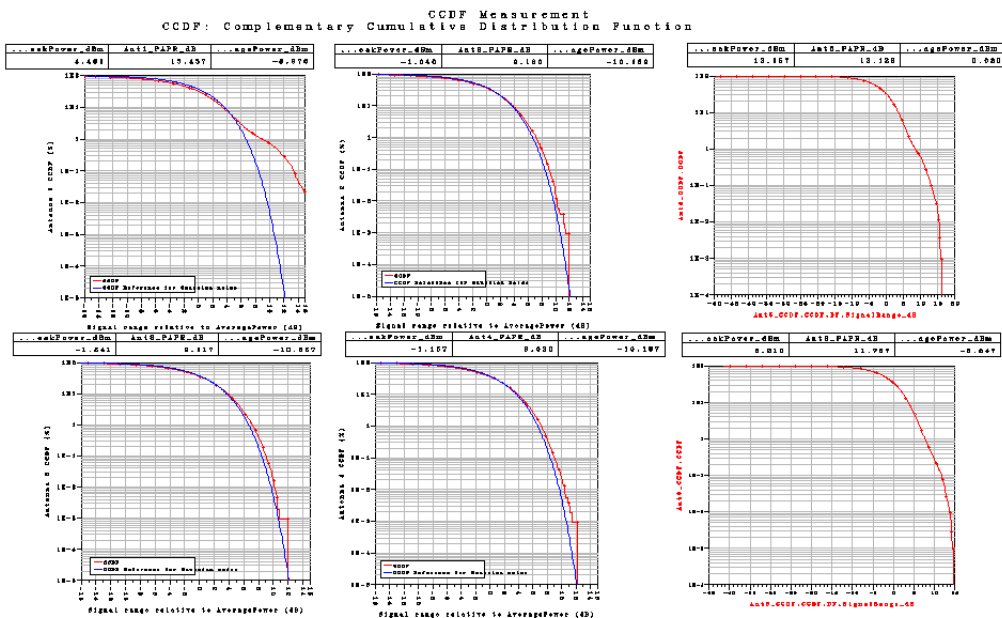
Σχήμα 37

Το LTE_sim_38 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



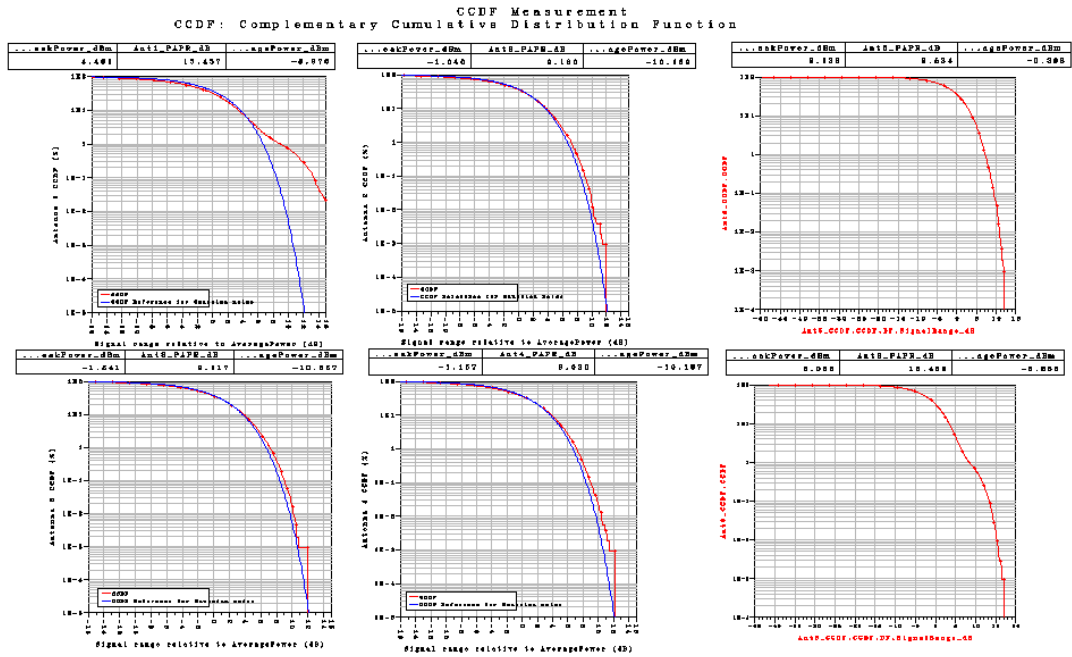
Σχήμα 38

Το LTE_sim_39 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



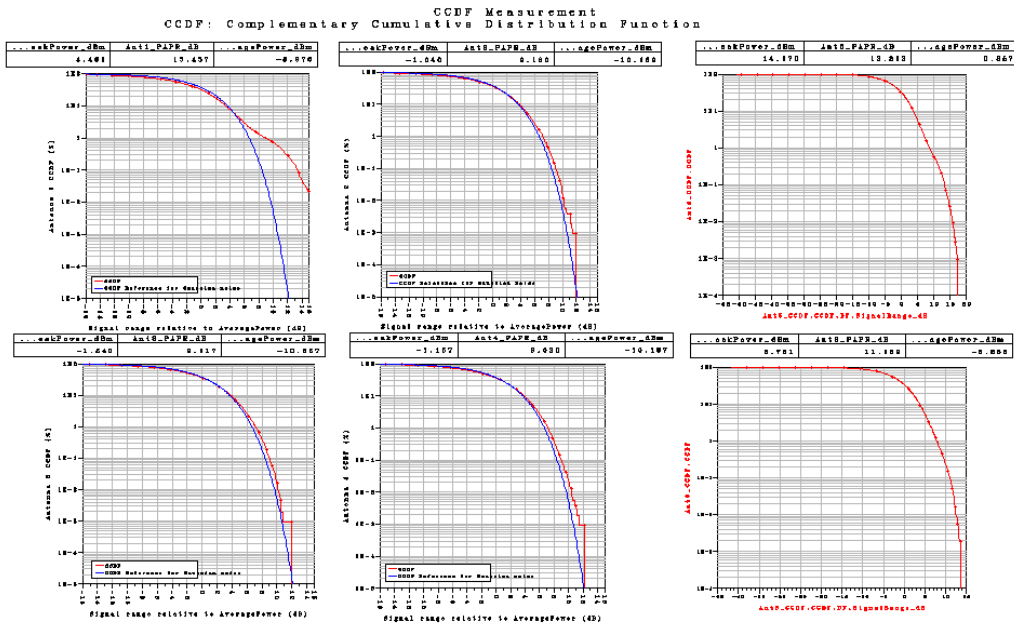
Σχήμα 39

Το LTE_sim_40 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



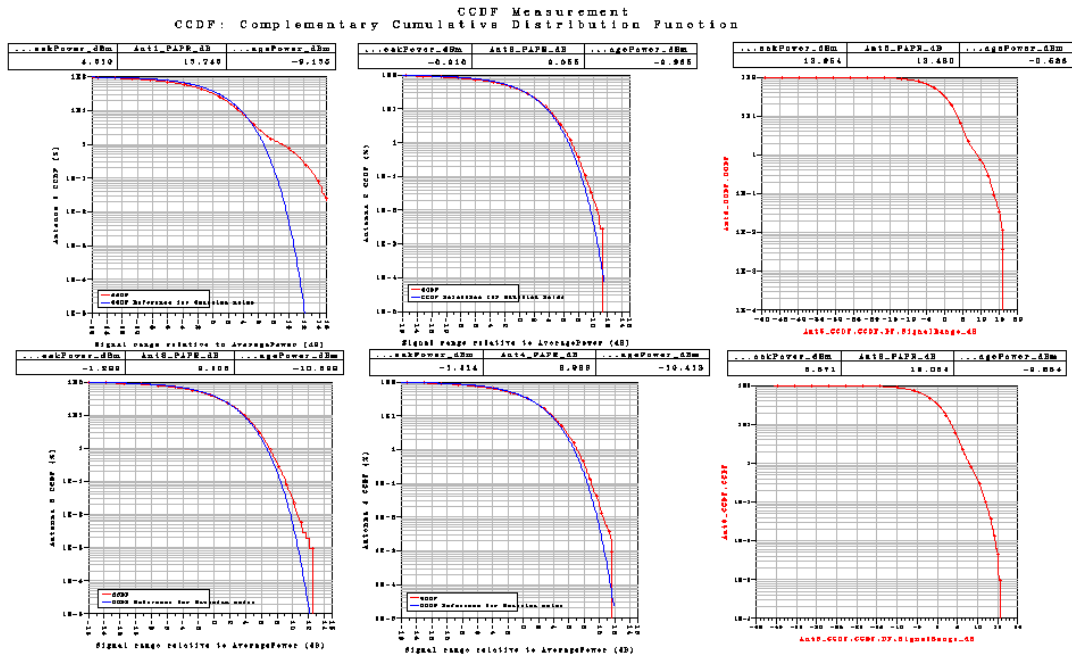
Σχήμα 40

Το LTE_sim_41 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



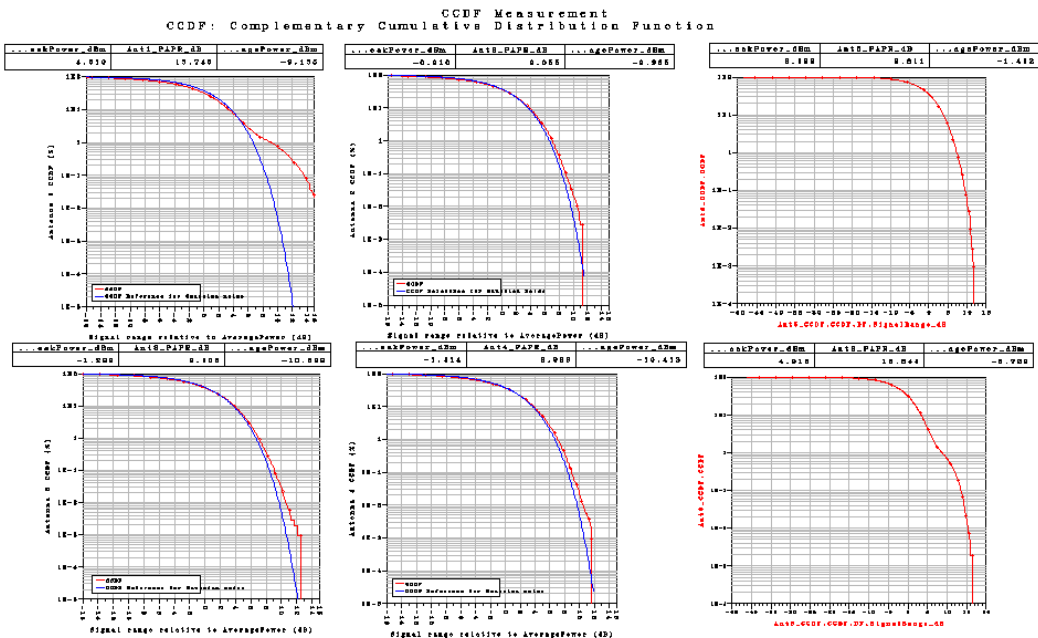
Σχήμα 41

Το LTE_sim_42 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



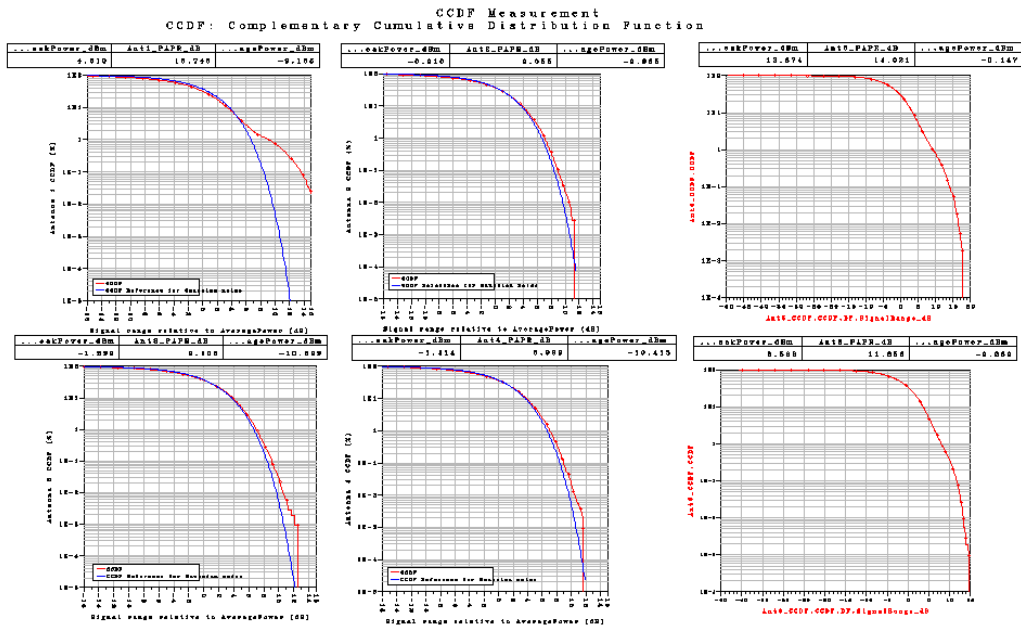
Σχήμα 42

Το LTE_sim_43 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



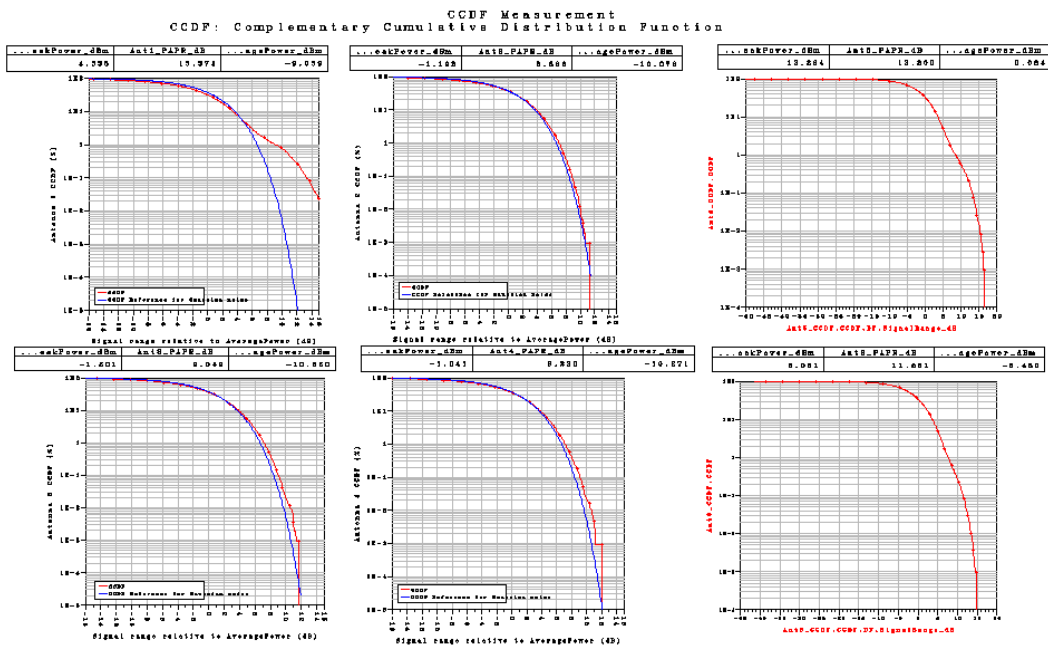
Σχήμα 43

Το LTE_sim_44 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



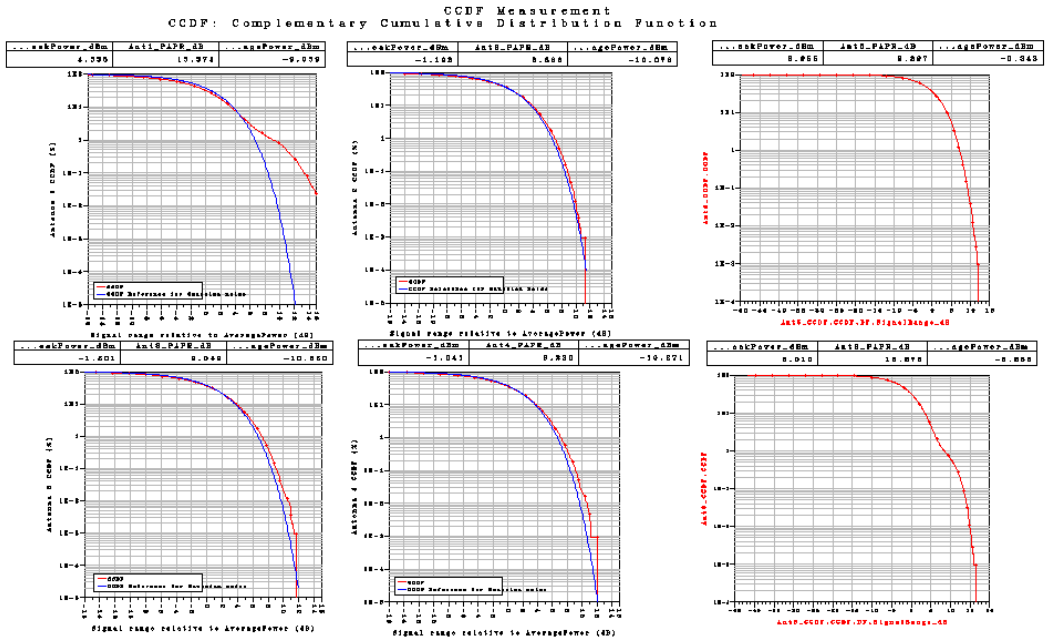
Σχήμα 44

Το LTE_sim_45 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



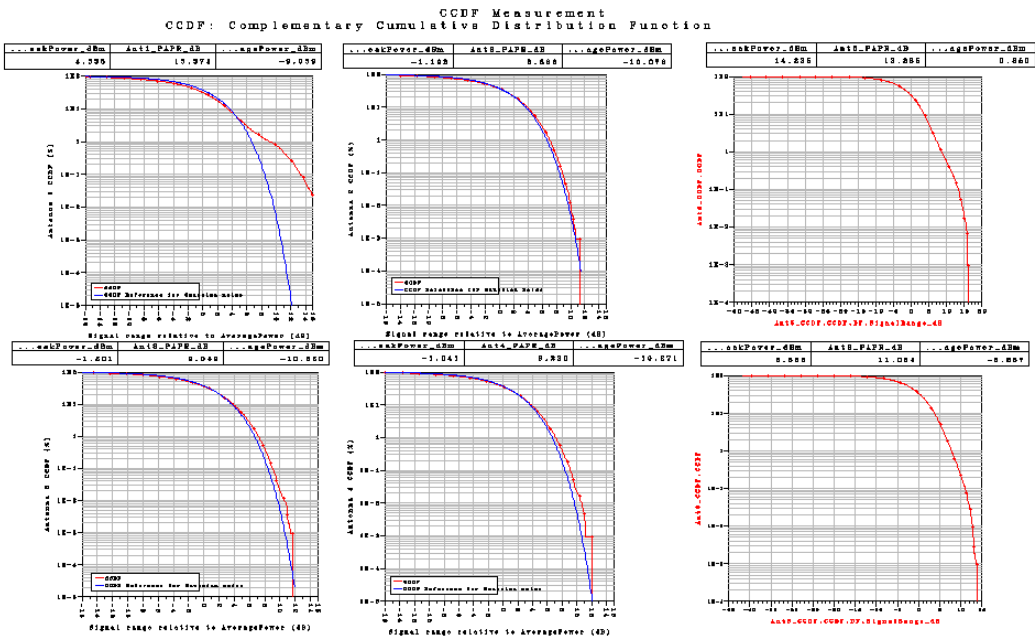
Σχήμα 45

Το LTE_sim_46 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



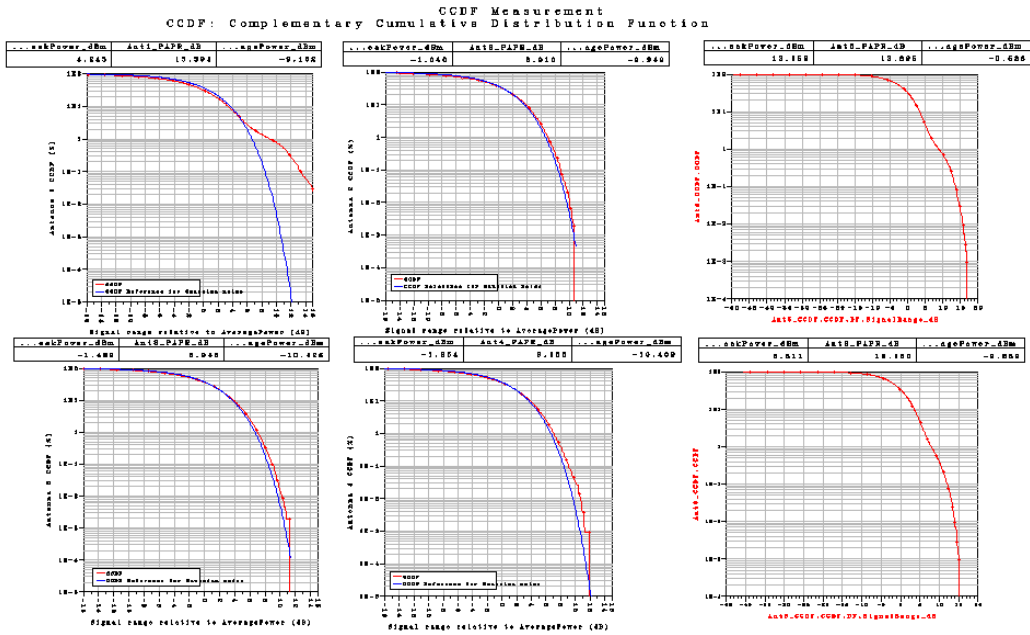
Σχήμα 46

Το LTE_sim_47 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



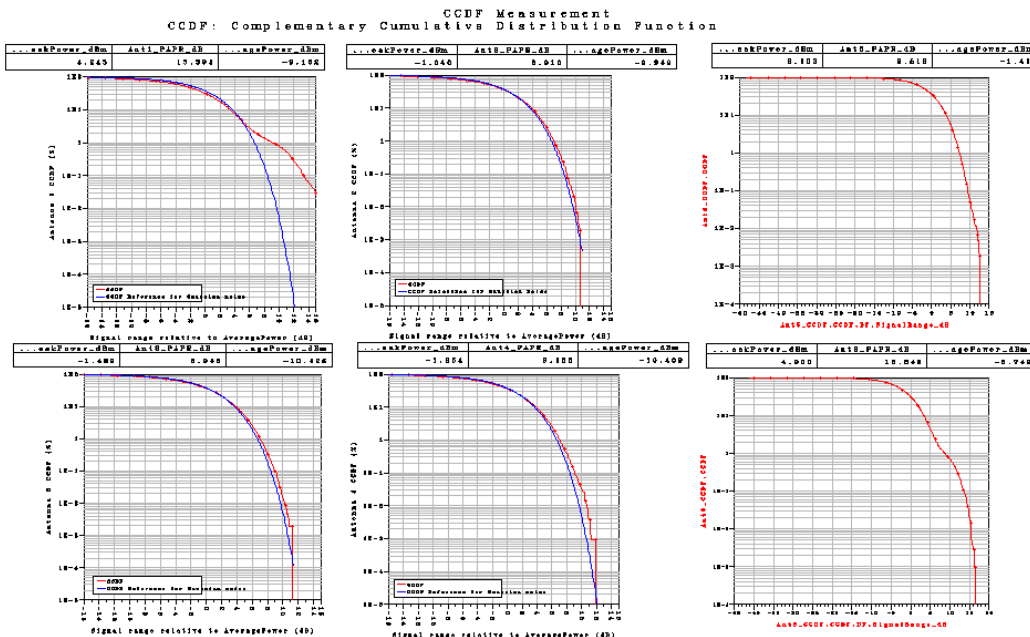
Σχήμα 47

Το LTE_sim_48 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



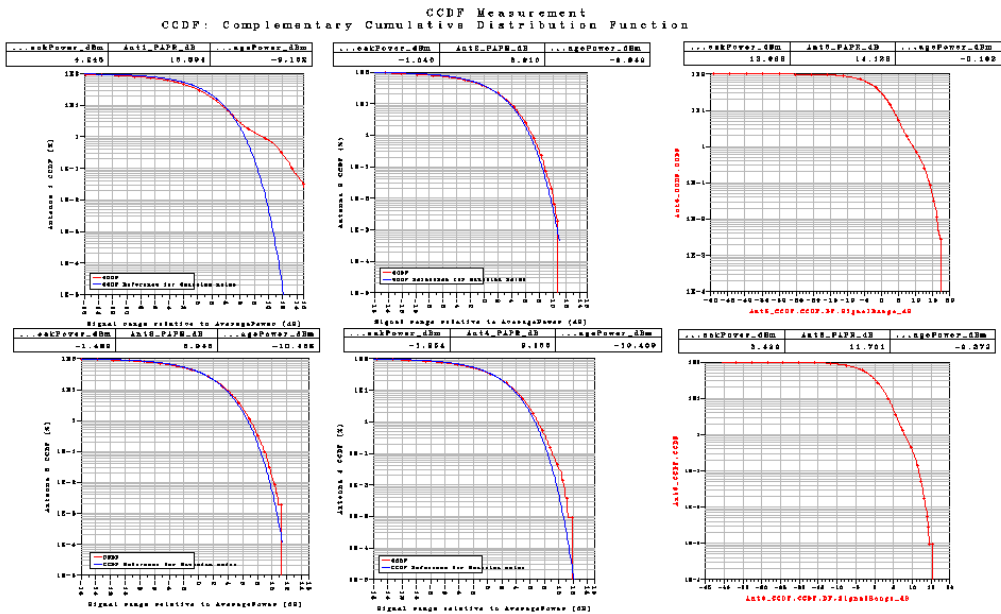
Σχήμα 48

Το LTE_sim_49 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



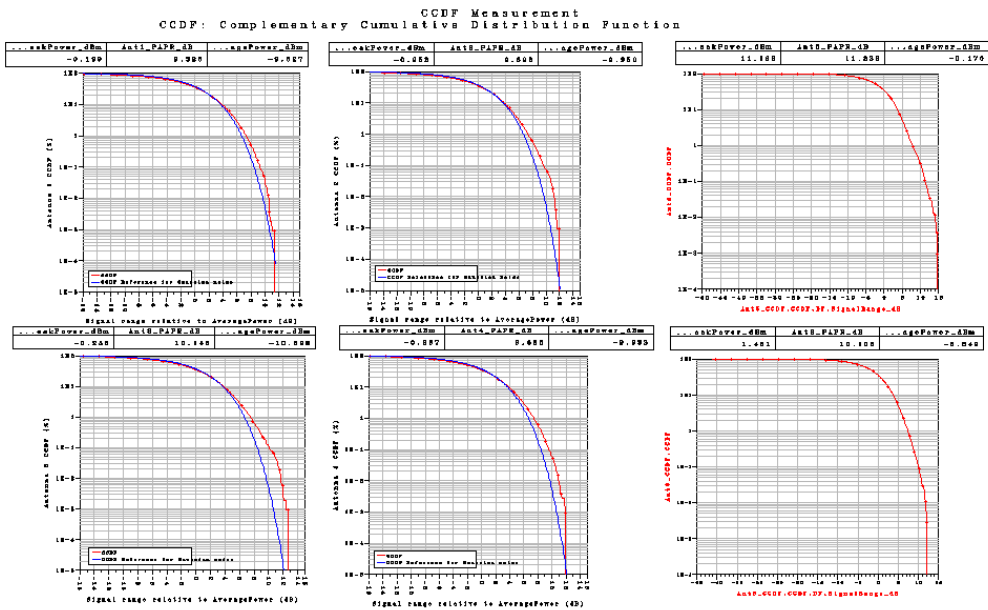
Σχήμα 49

Το LTE_sim_50 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



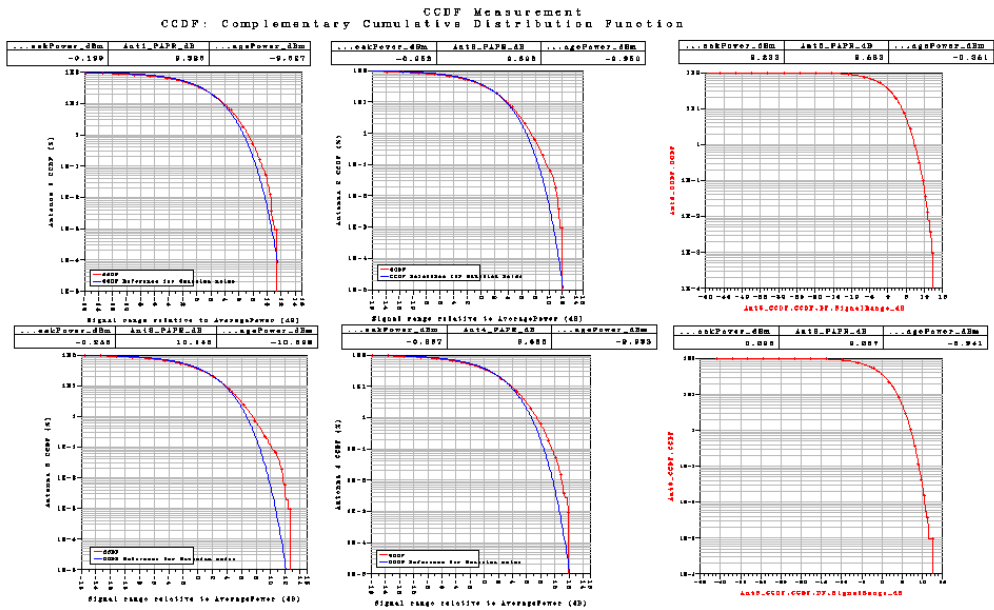
Σχήμα 50

Το LTE_sim_51 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



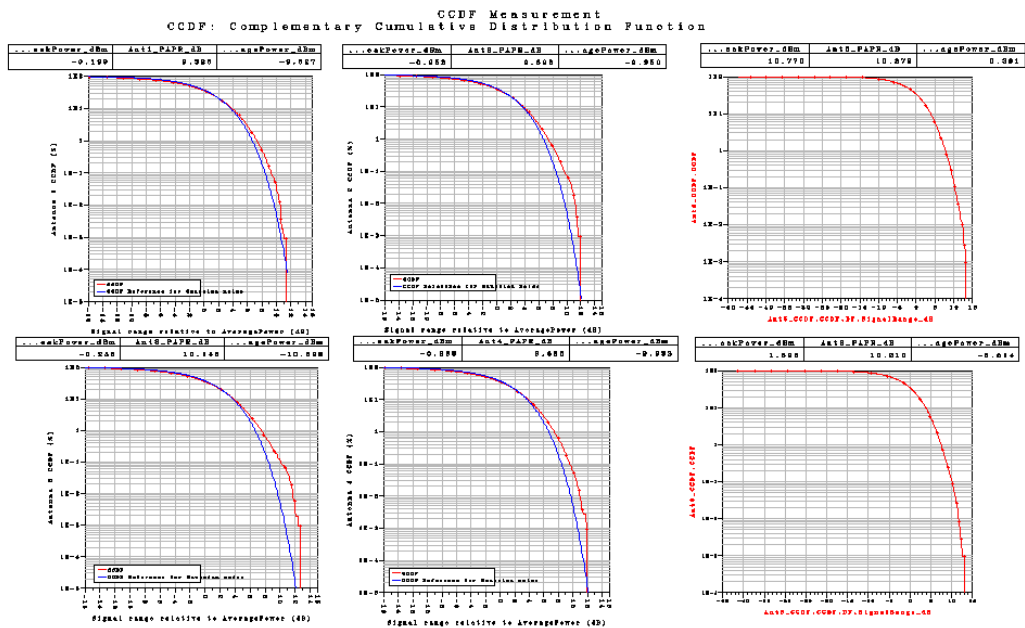
Σχήμα 51

Το LTE_sim_52 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



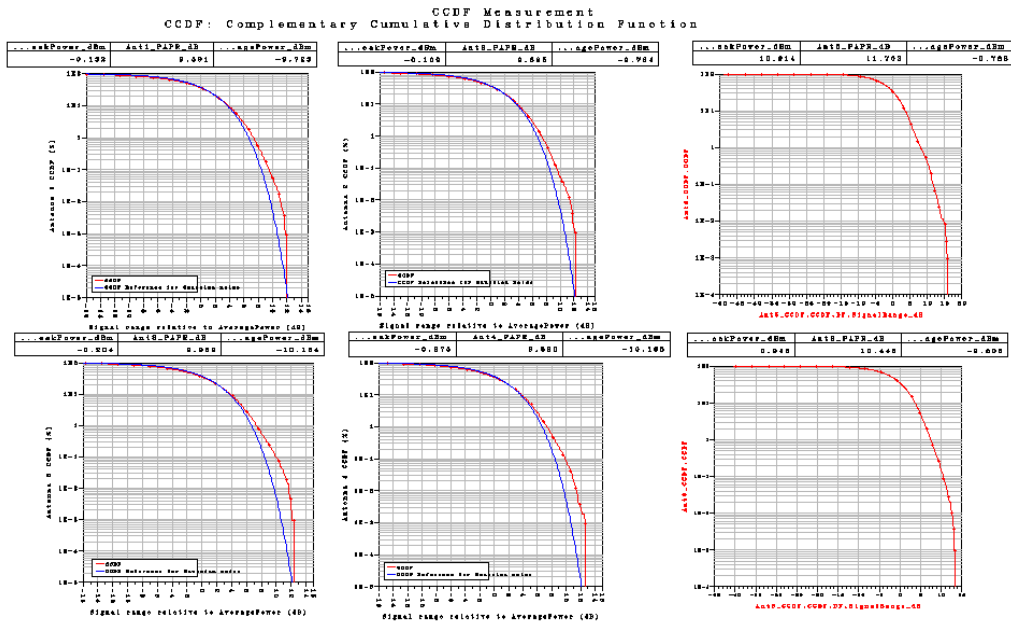
Σχήμα 52

Το LTE_sim_53 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



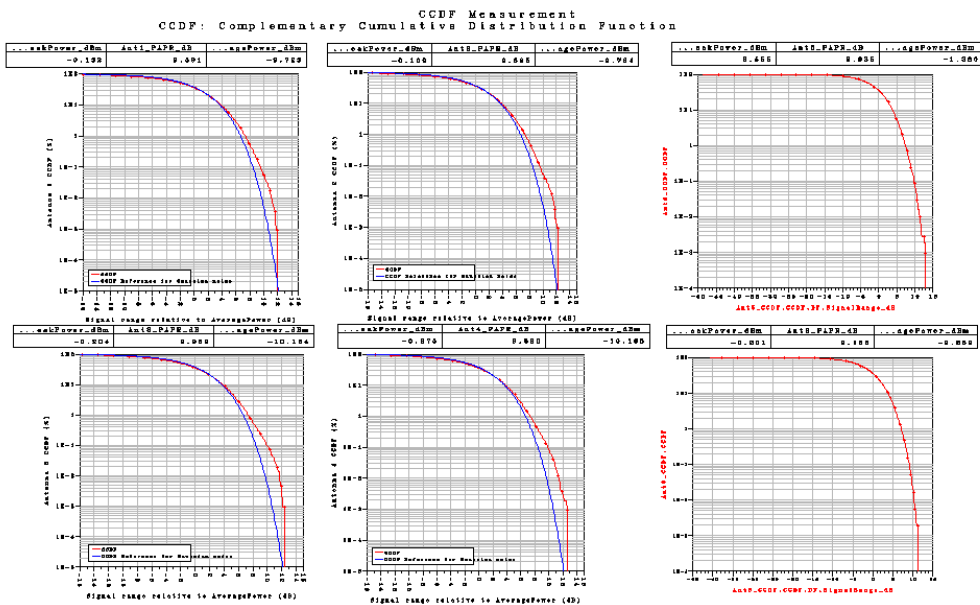
Σχήμα 53

Το LTE_sim_54 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



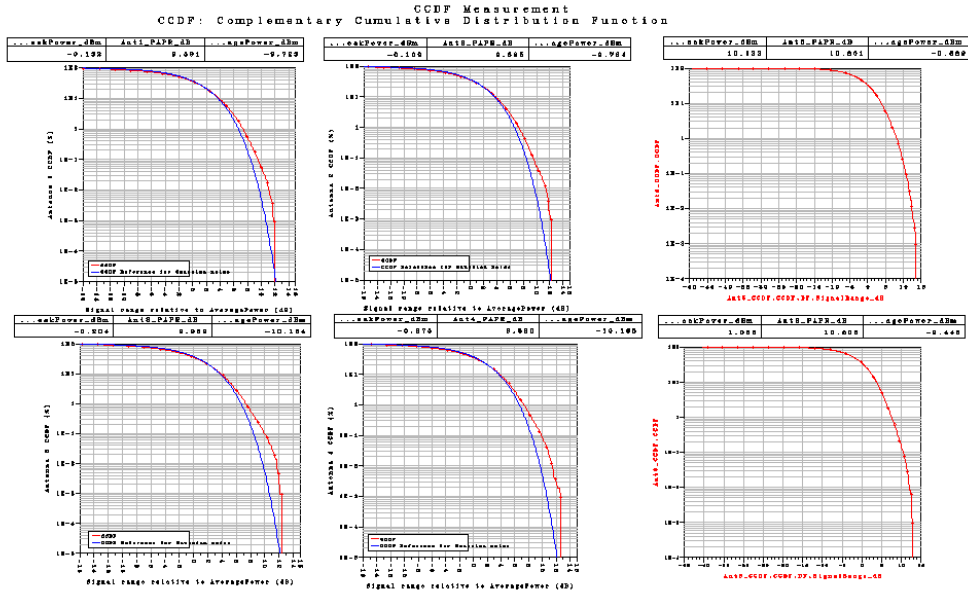
Σχήμα 54

To LTE_sim_55 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



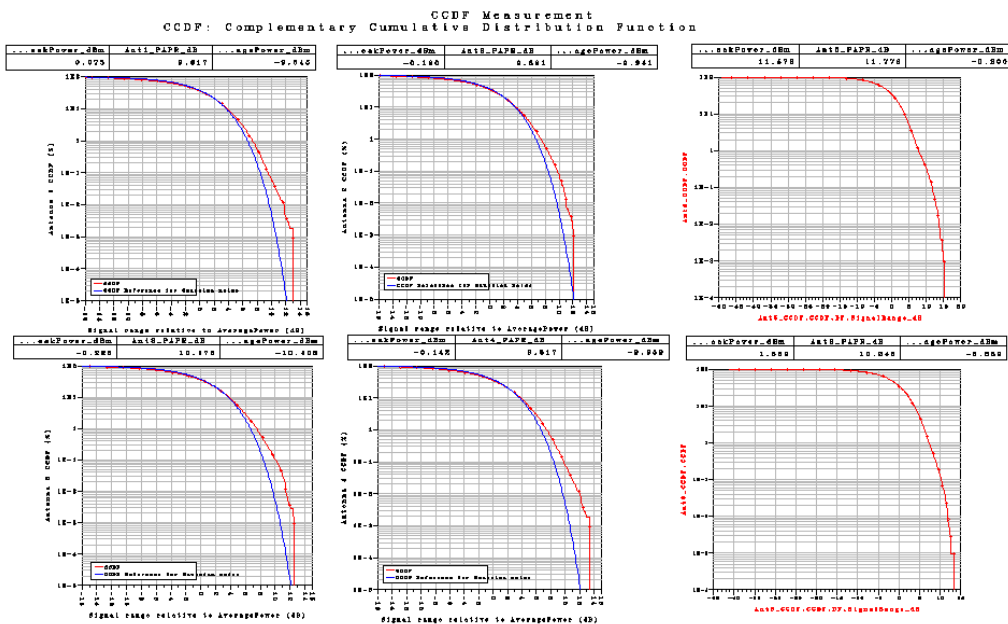
Σχήμα 55

To LTE_sim_56 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



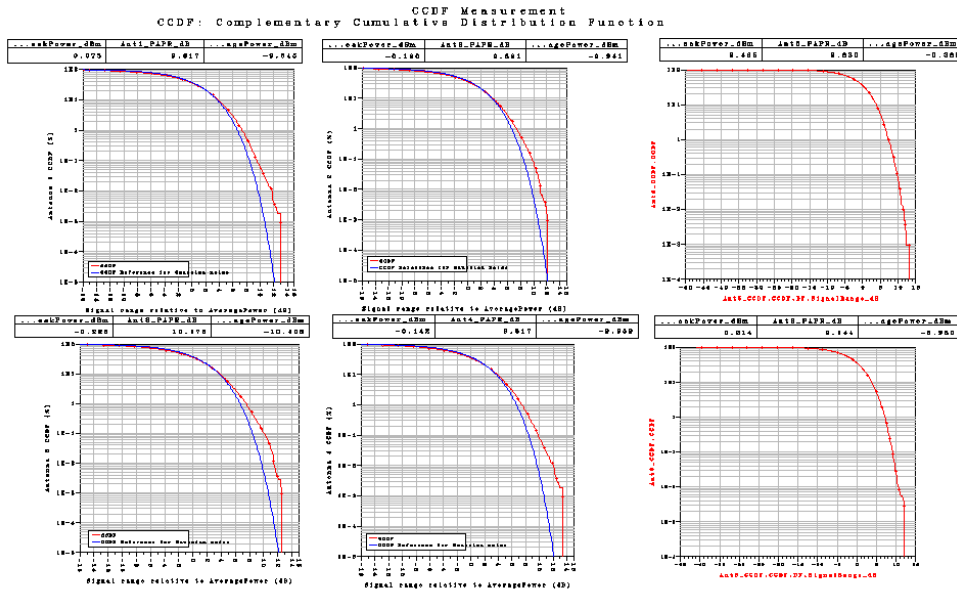
Σχήμα 56

Το LTE_sim_57 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



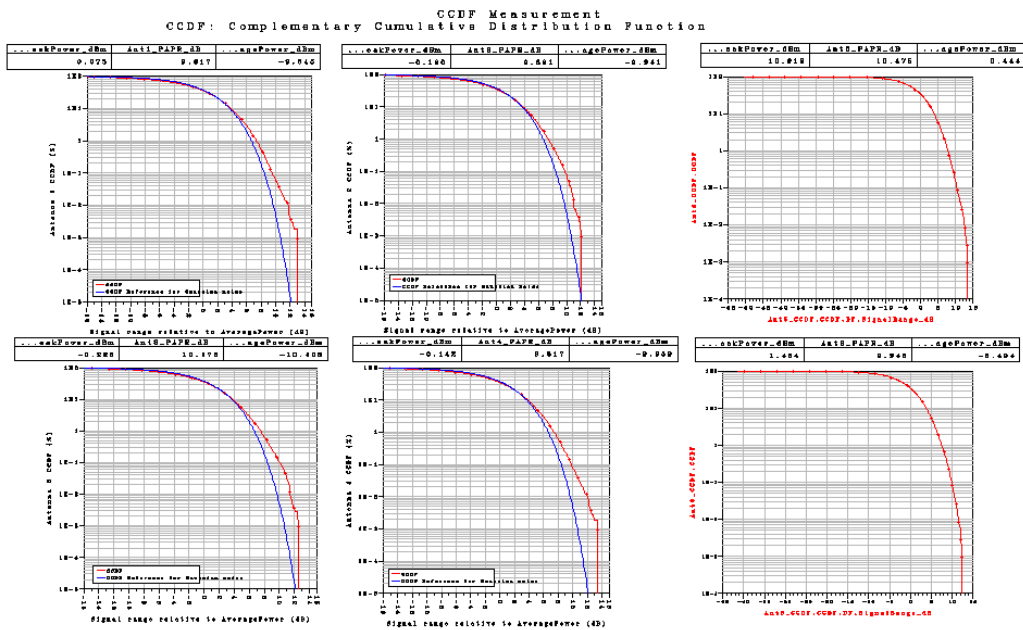
Σχήμα 57

Το LTE_sim_58 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



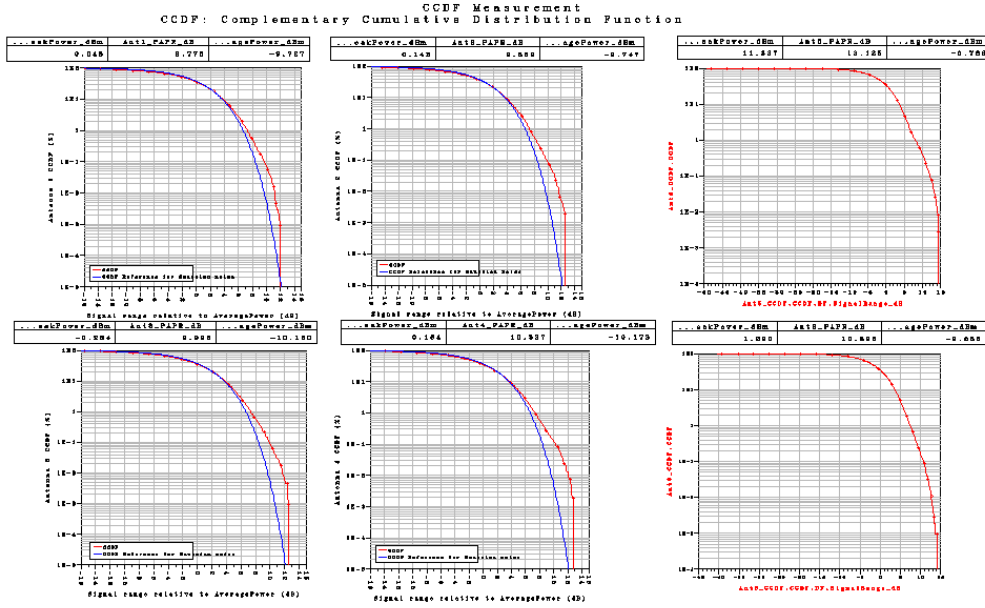
Σχήμα 58

Το LTE_sim_59 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



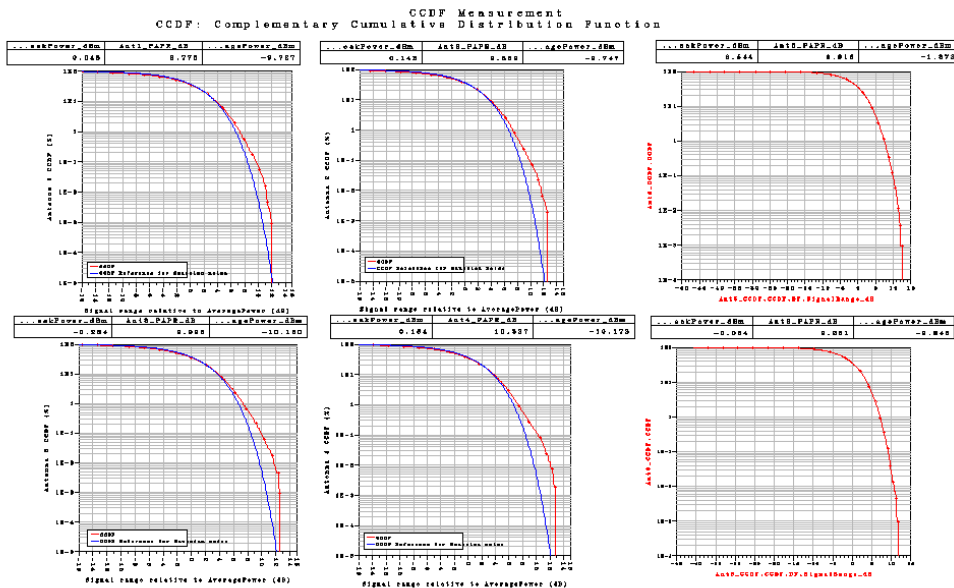
Σχήμα 59

Το LTE_sim_60 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



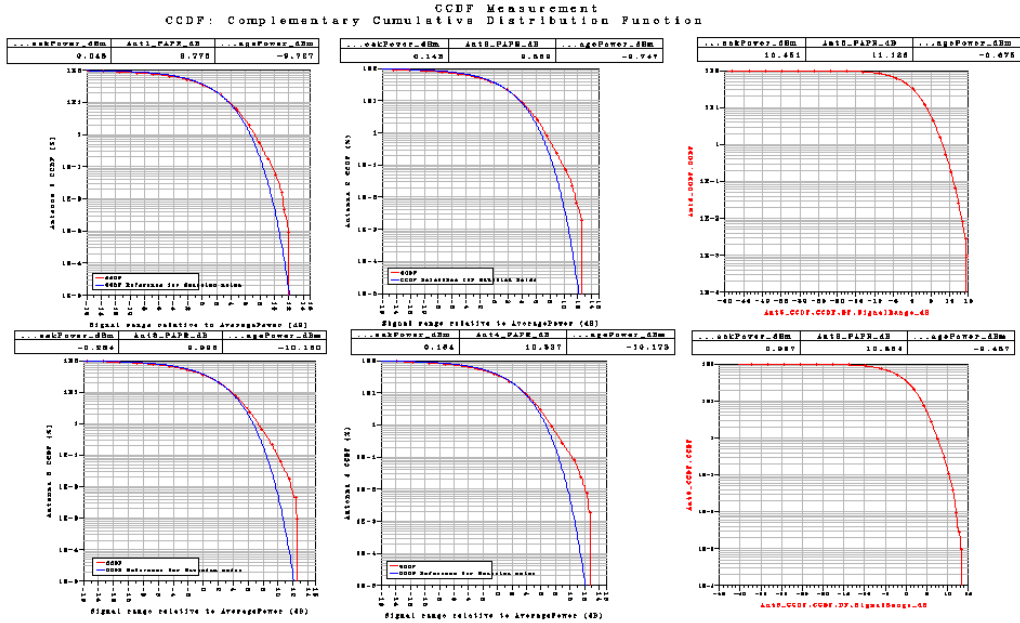
Σχήμα 60

Το LTE_sim_61 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



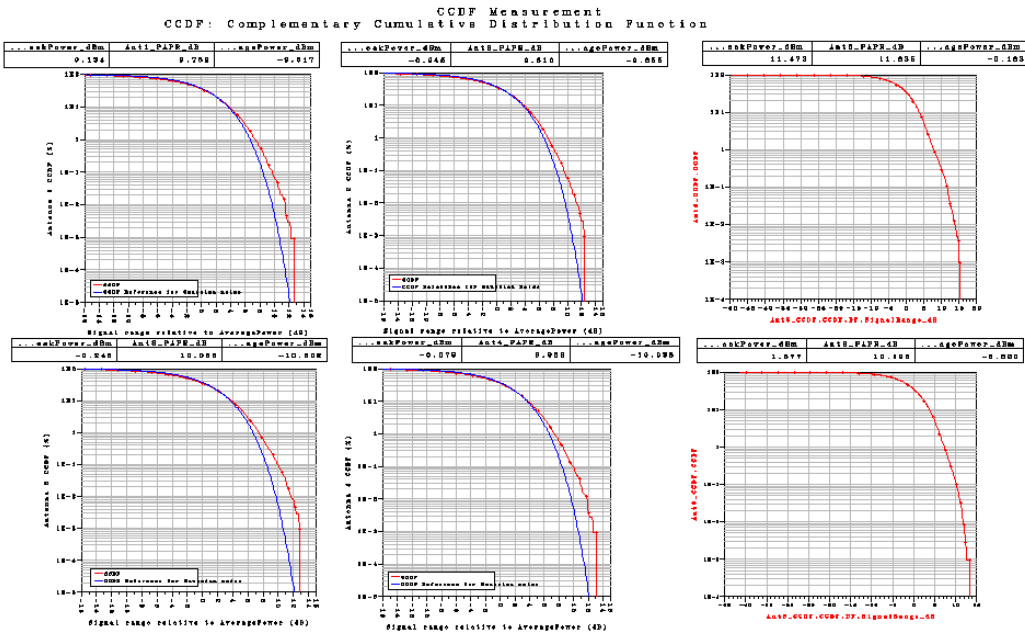
Σχήμα 61

Το LTE_sim_62 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



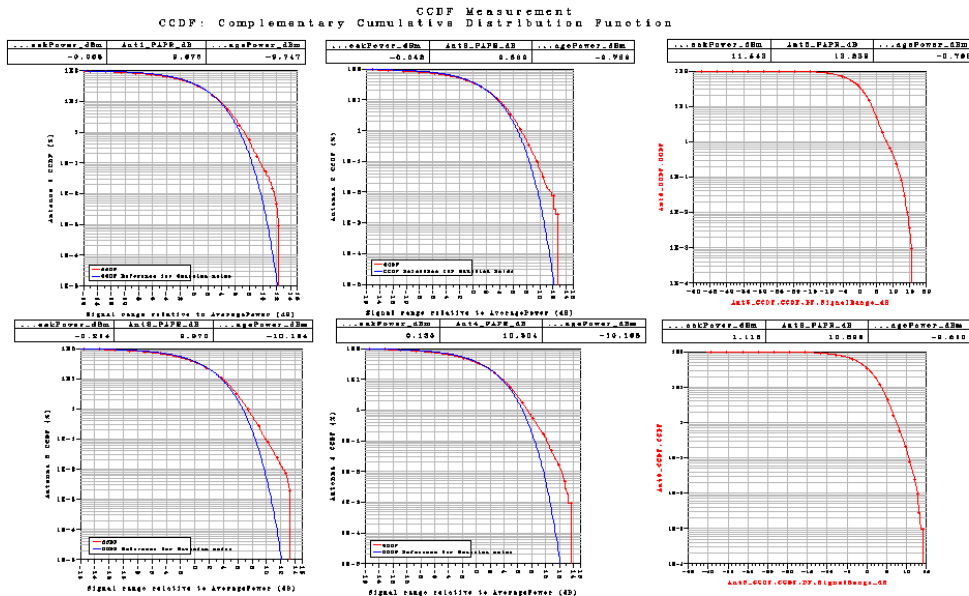
Σχήμα 62

Το LTE_sim_63 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



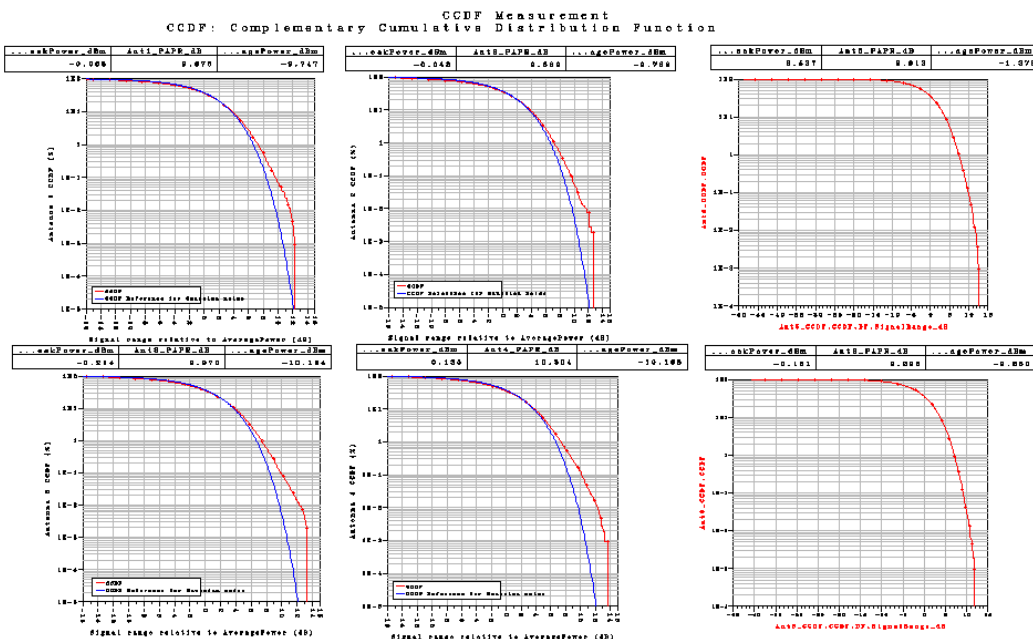
Σχήμα 63

Το LTE_sim_64 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



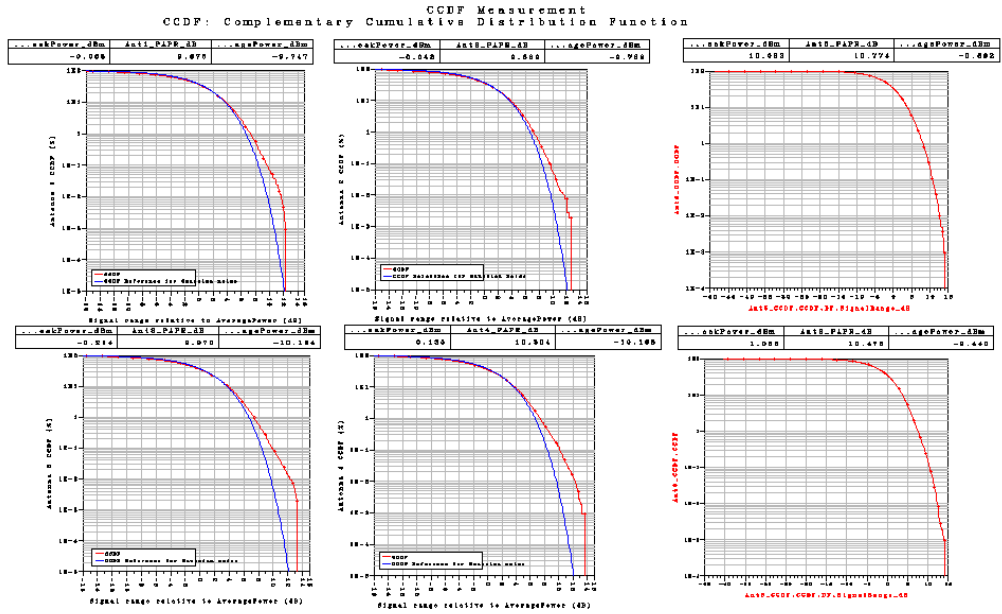
Σχήμα 66

Το LTE_sim_67 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



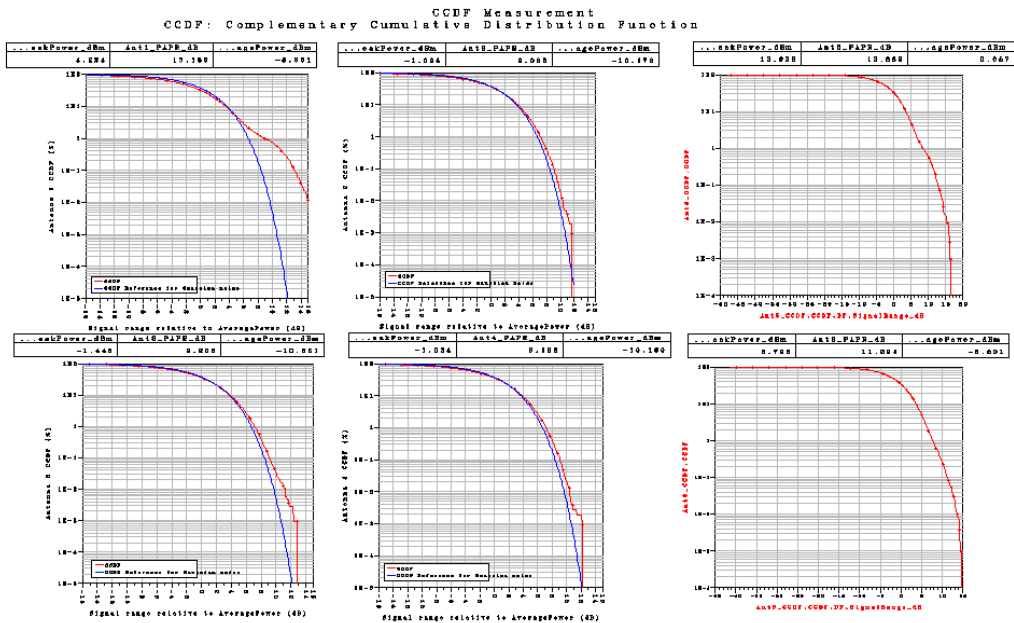
Σχήμα 67

Το LTE_sim_68 έχει PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



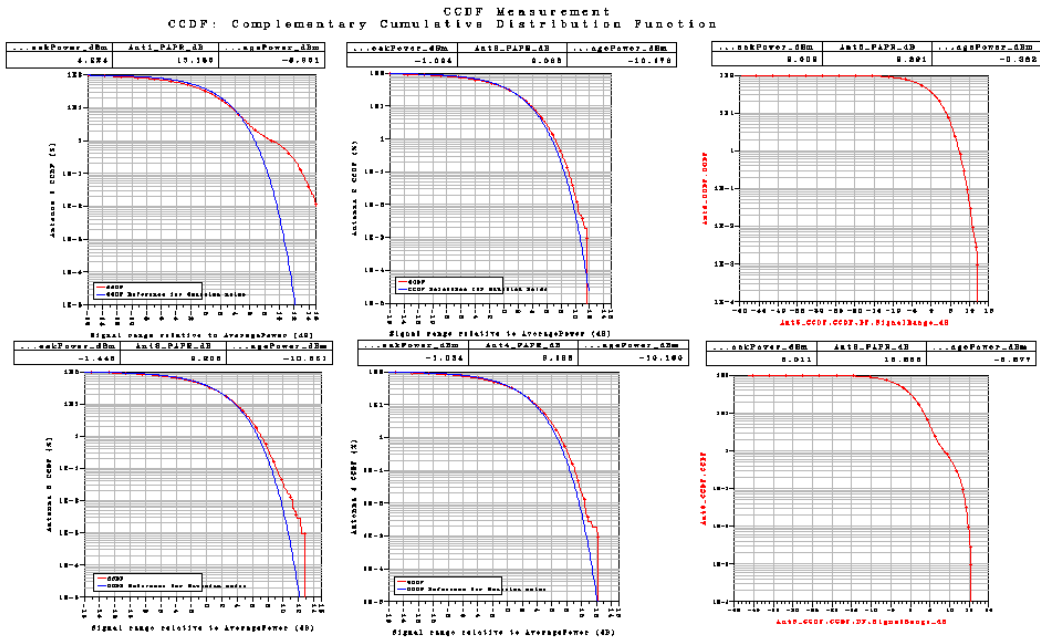
Σχήμα 68

Το LTE_sim_69 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



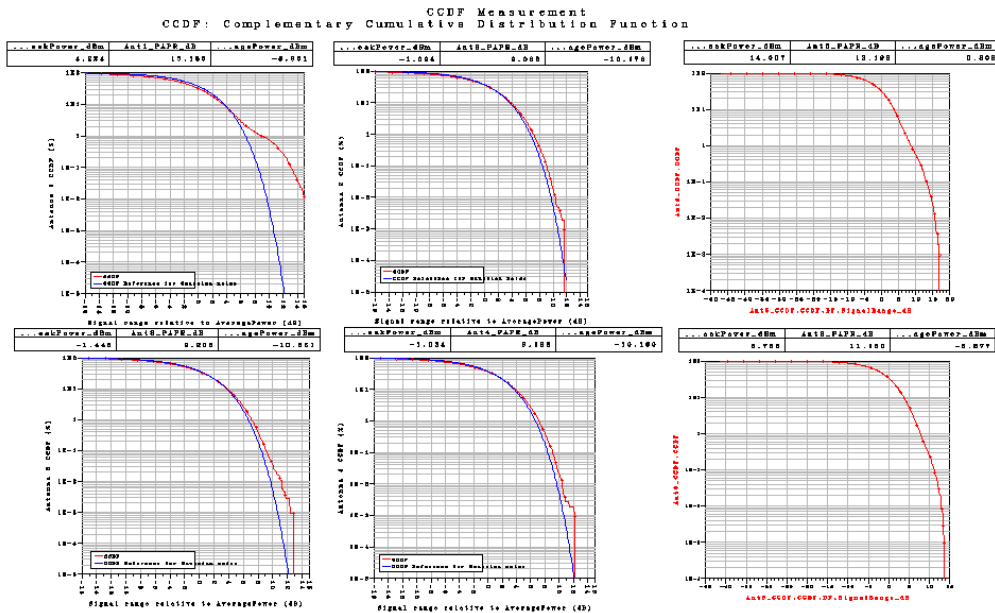
Σχήμα 69

Το LTE_sim_70 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



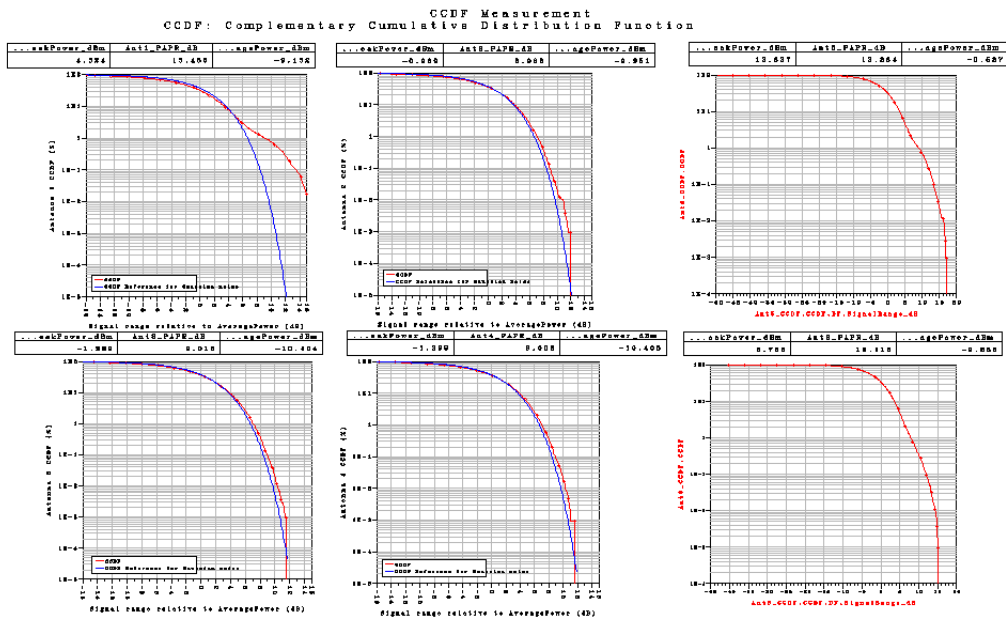
Σχήμα 70

Το LTE_sim_71 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



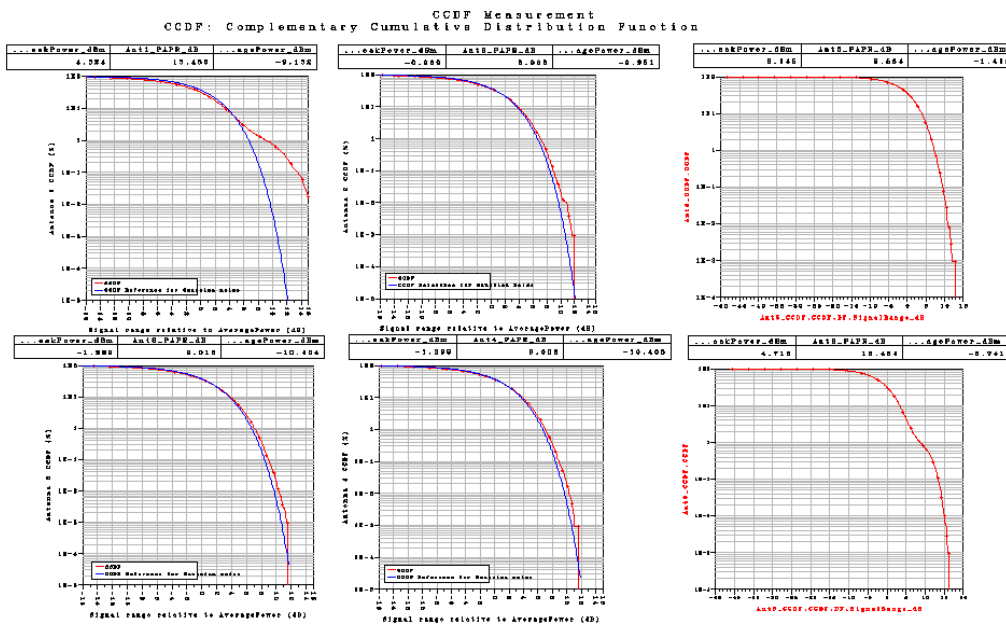
Σχήμα 71

Το LTE_sim_72 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



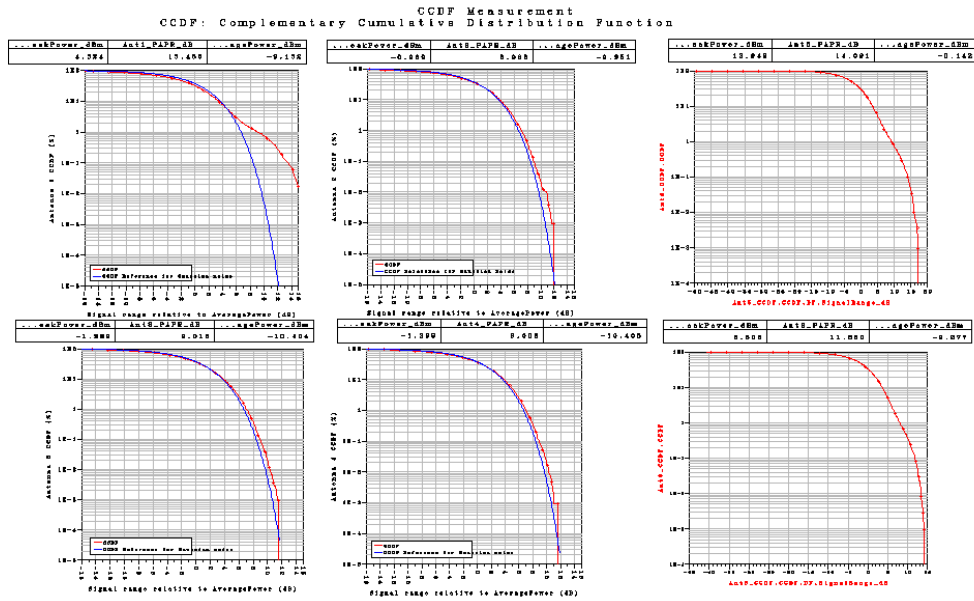
Σχήμα 72

Το LTE_sim_73 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



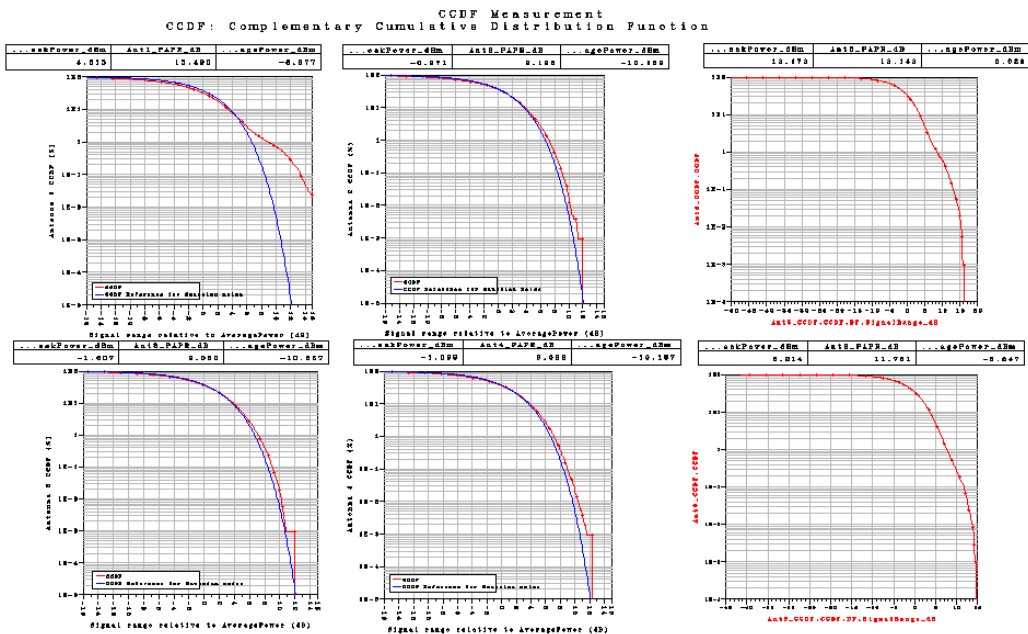
Σχήμα 73

Το LTE_sim_74 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



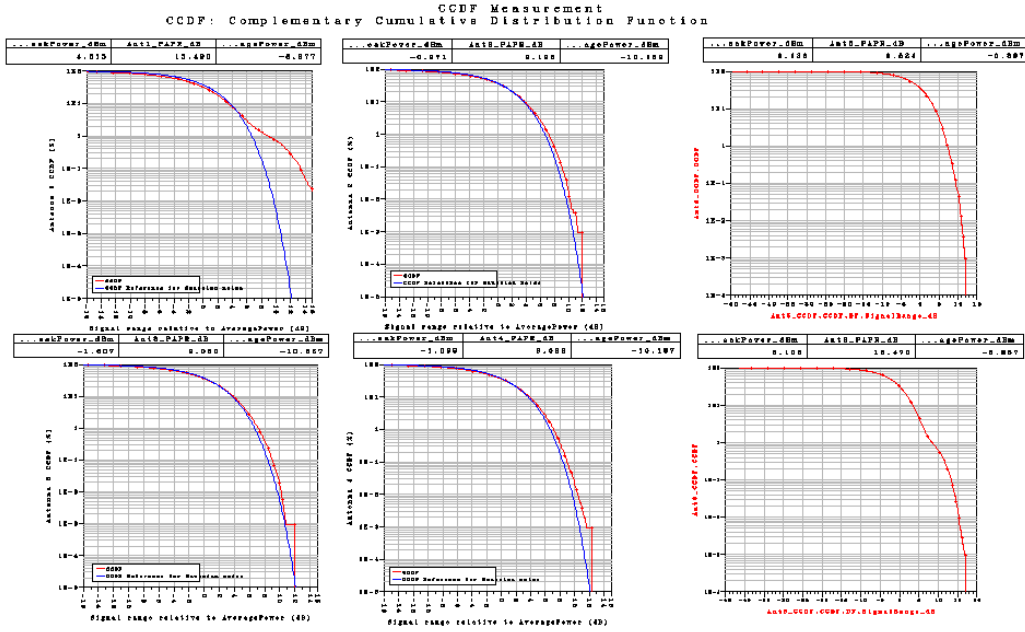
Σχήμα 74

Το LTE_sim_75 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



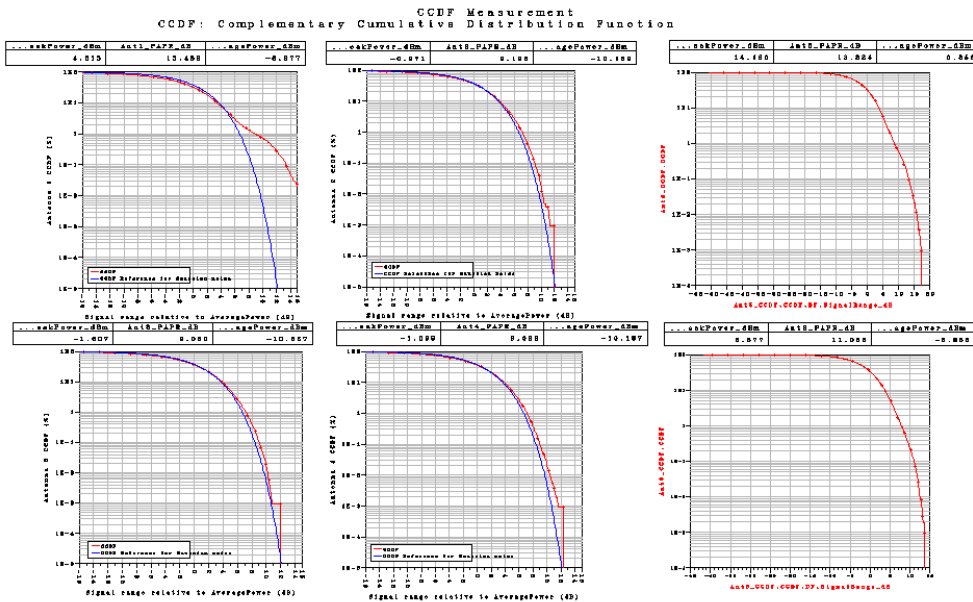
Σχήμα 75

Το LTE_sim_76 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



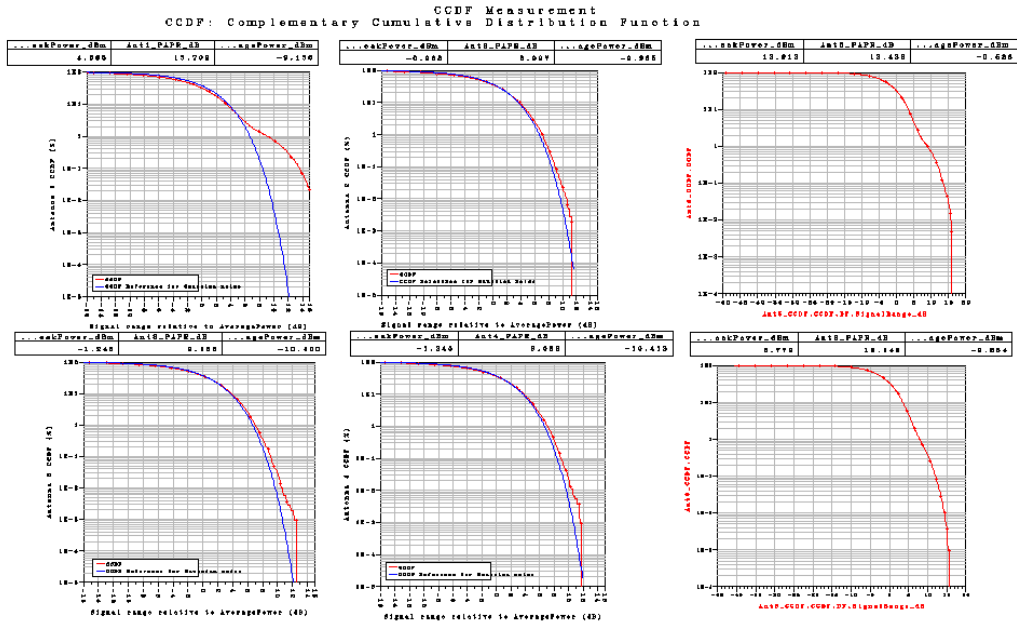
Σχήμα 76

Το LTE_sim_77 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



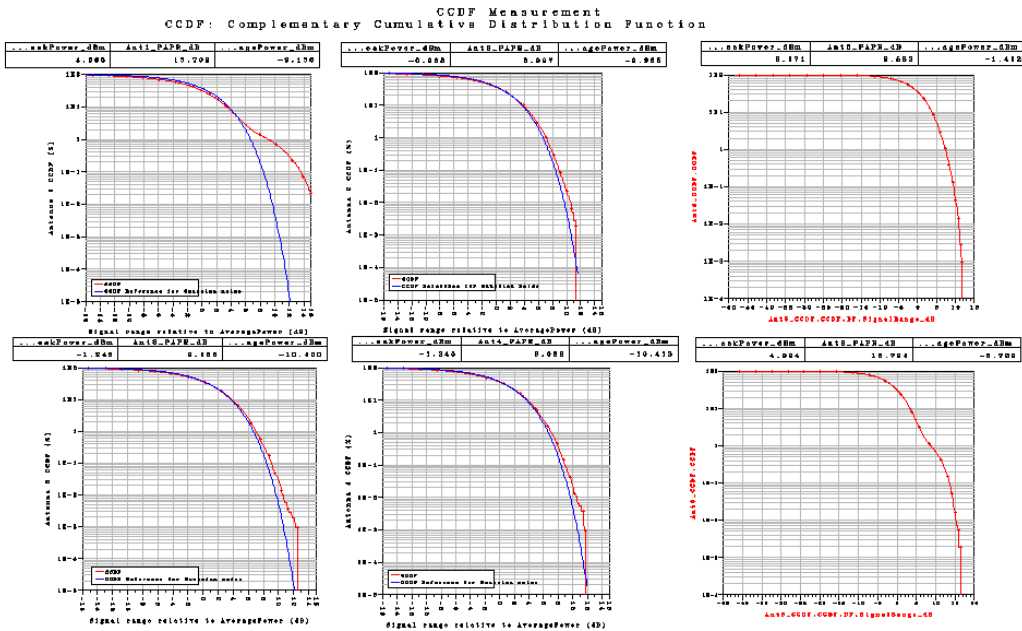
Σχήμα 77

Το LTE_sim_78 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



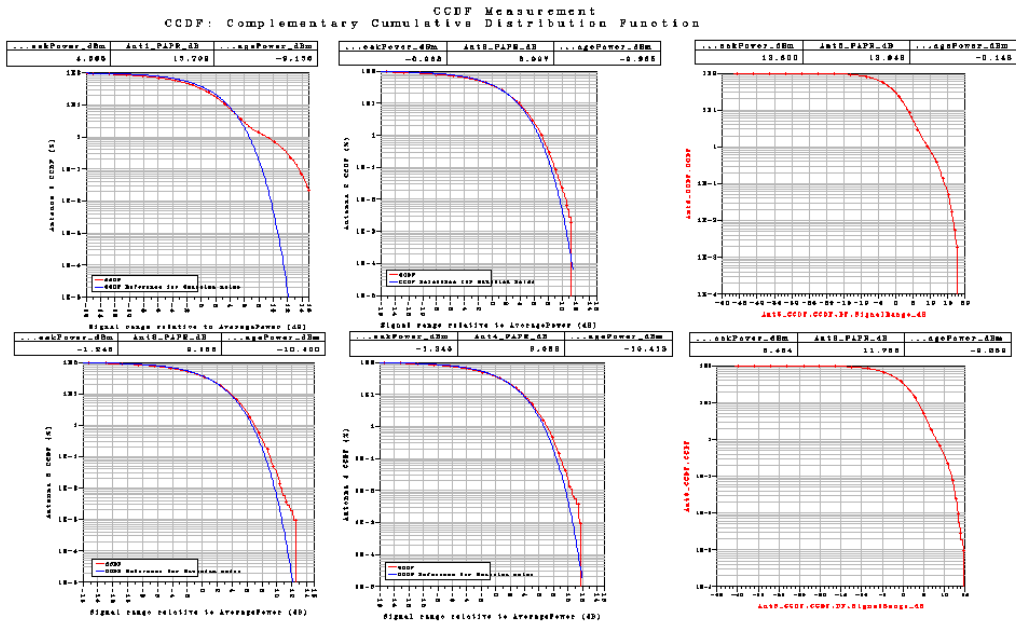
Σχήμα 78

Το LTE_sim_79 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



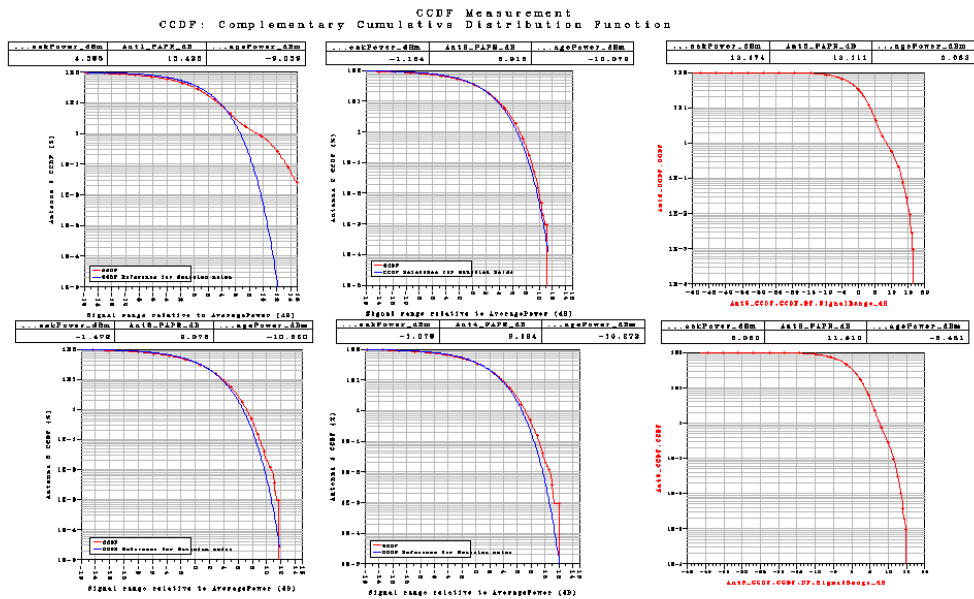
Σχήμα 79

Το LTE_sim_80 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



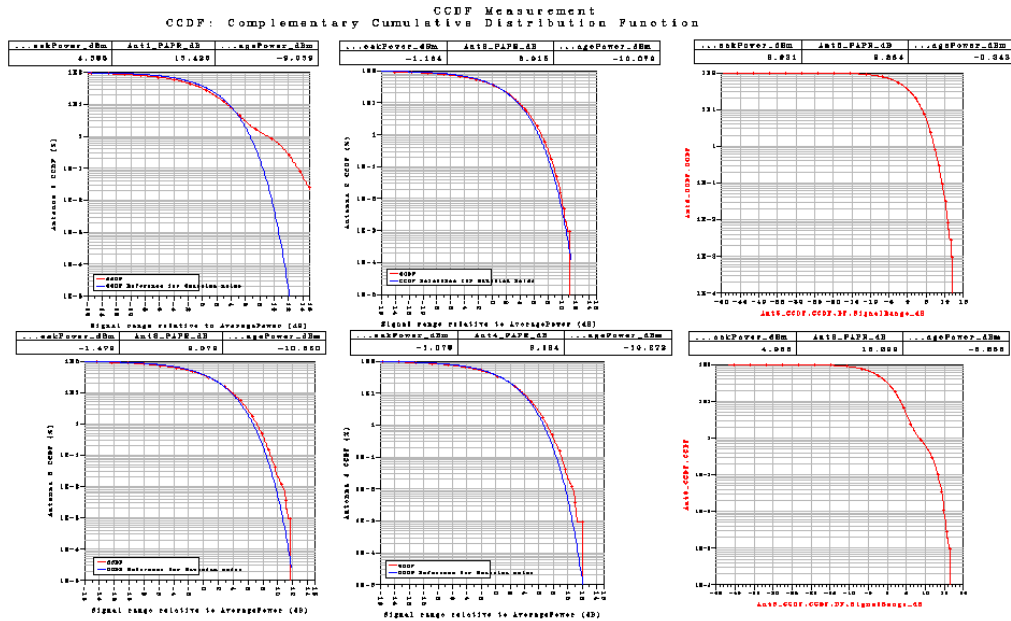
Σχήμα 80

To LTE_sim_81 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



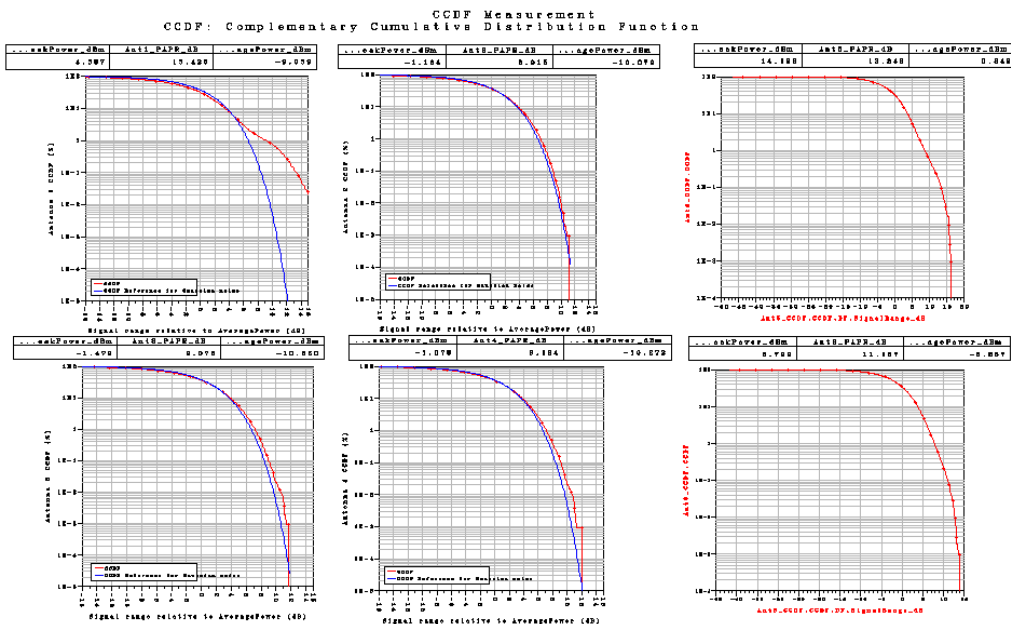
Σχήμα 81

To LTE_sim_82 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



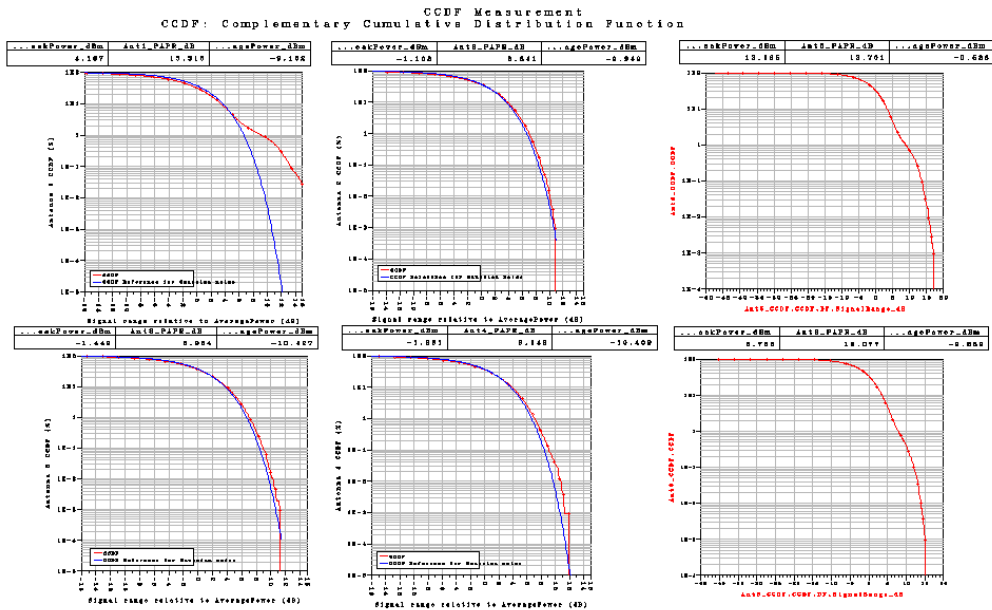
Σχήμα 82

Το LTE_sim_83 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



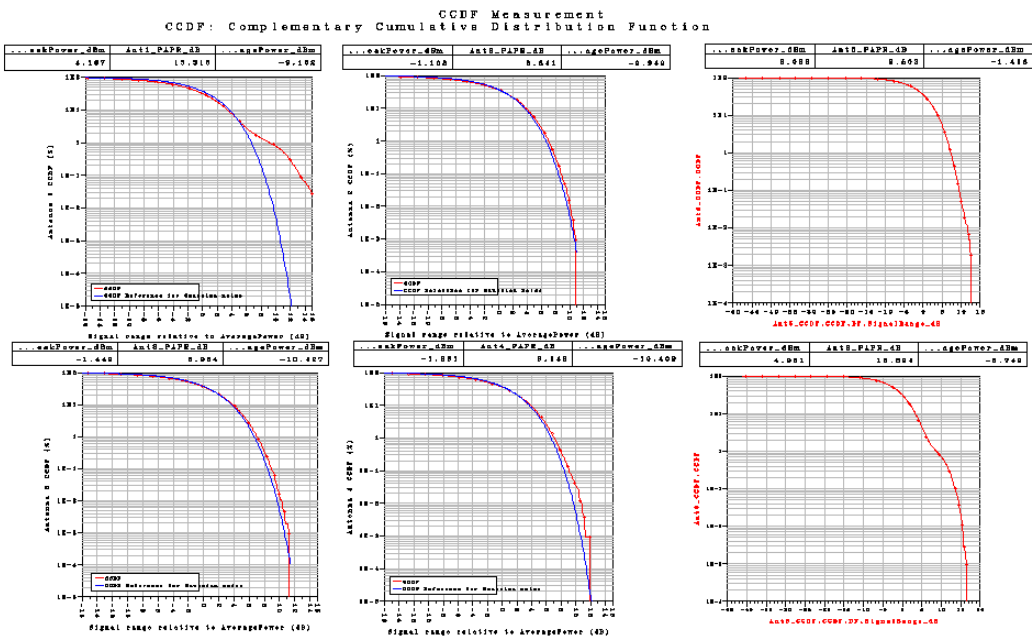
Σχήμα 83

Το LTE_sim_84 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



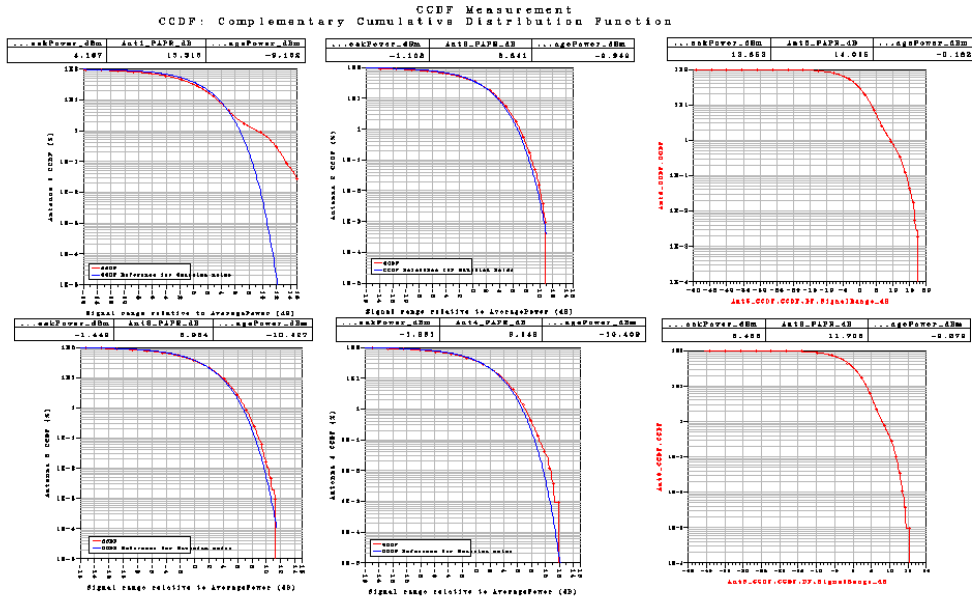
Σχήμα 84

Το LTE_sim_85 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



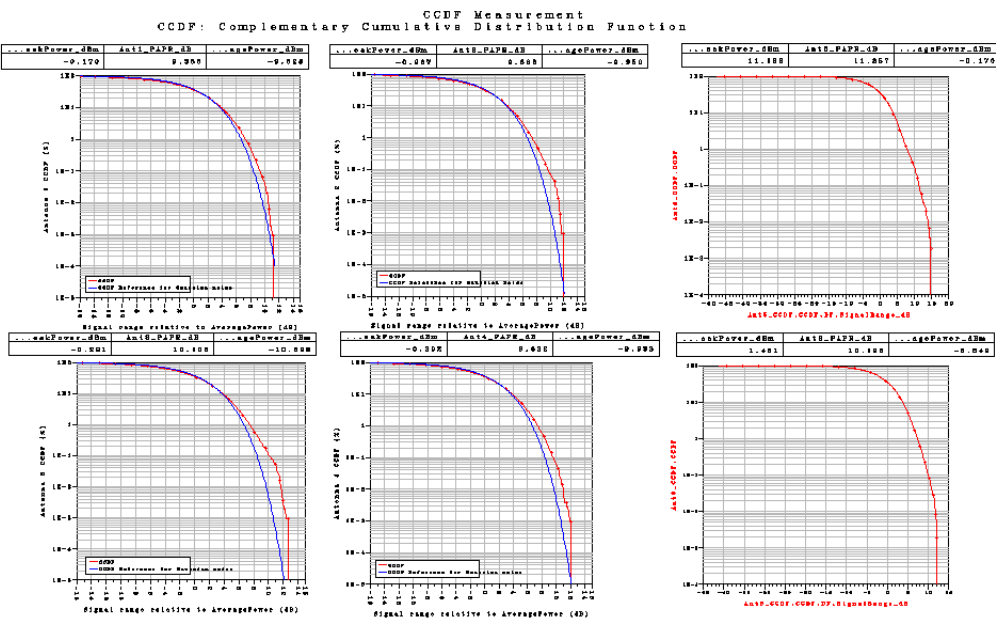
Σχήμα 85

Το LTE_sim_86 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι NO, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



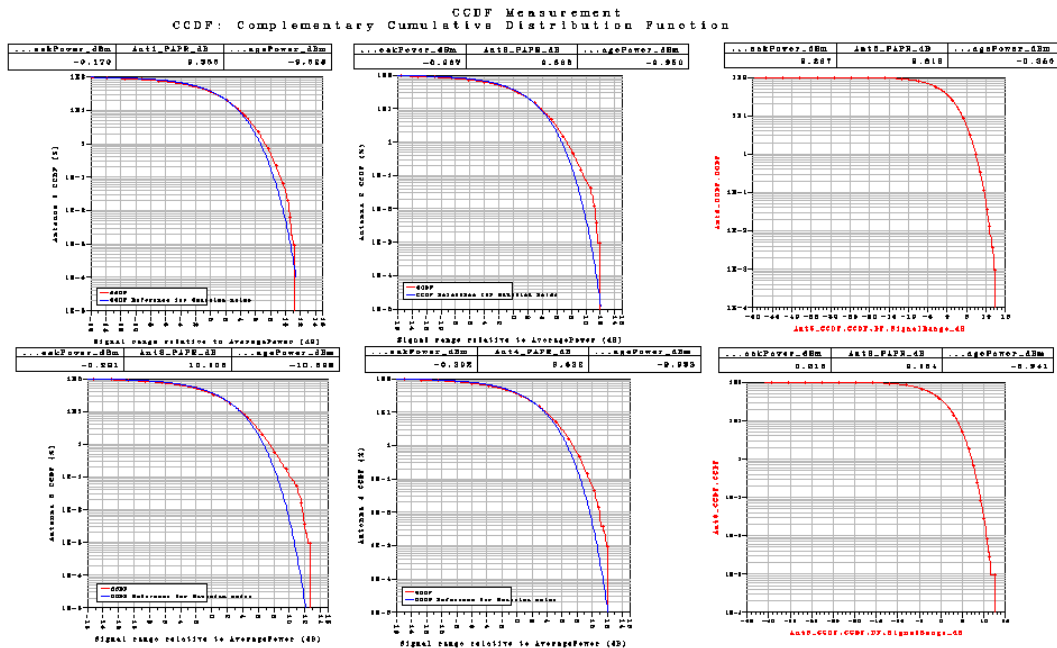
Σχήμα 86

Το LTE_sim_164 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



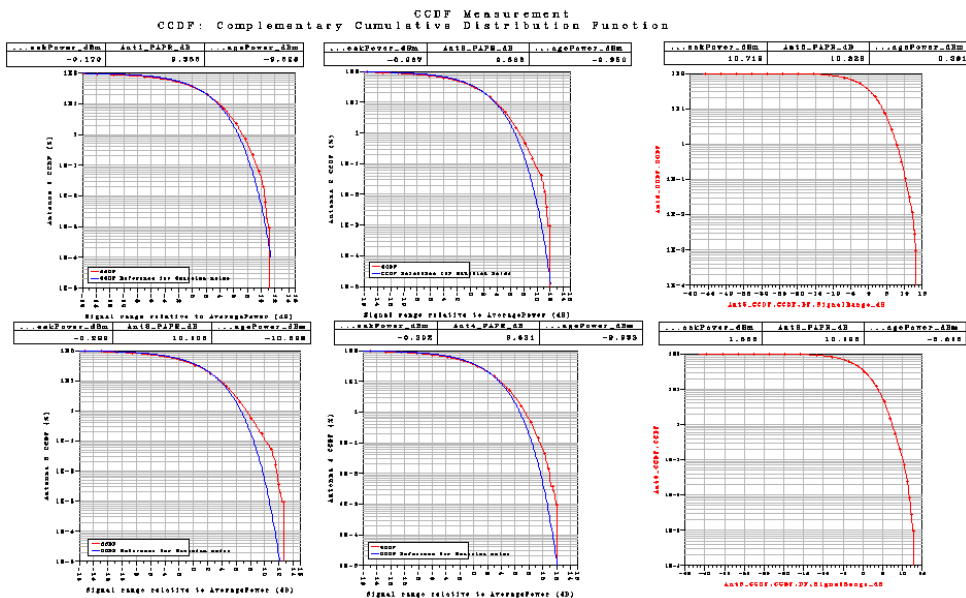
Σχήμα 87

Το LTE_sim_88 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



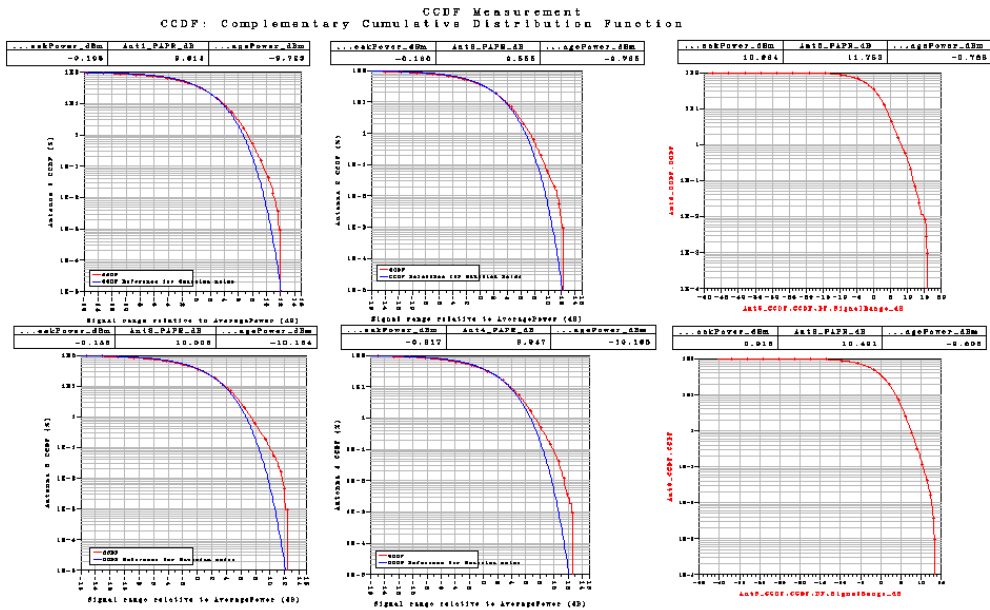
Σχήμα 88

Το LTE_sim_89 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



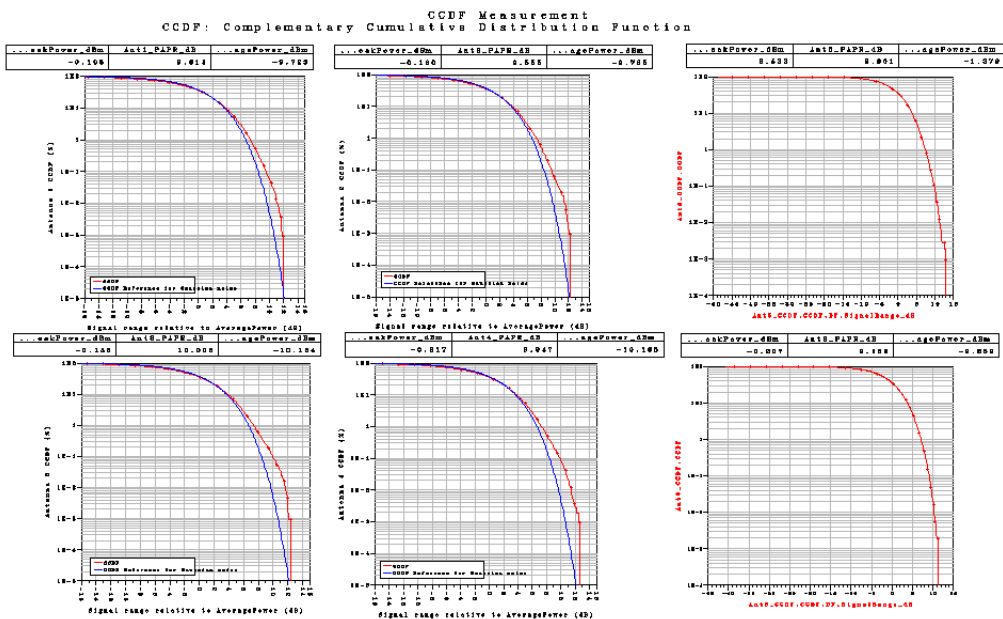
Σχήμα 89

Το LTE_sim_90 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



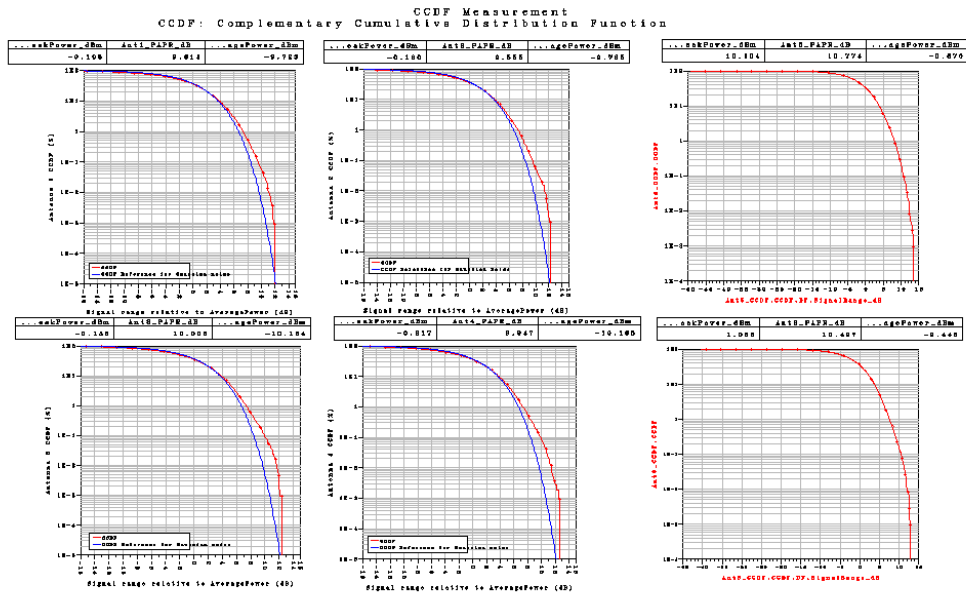
Σχήμα 90

Το LTE_sim_91 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



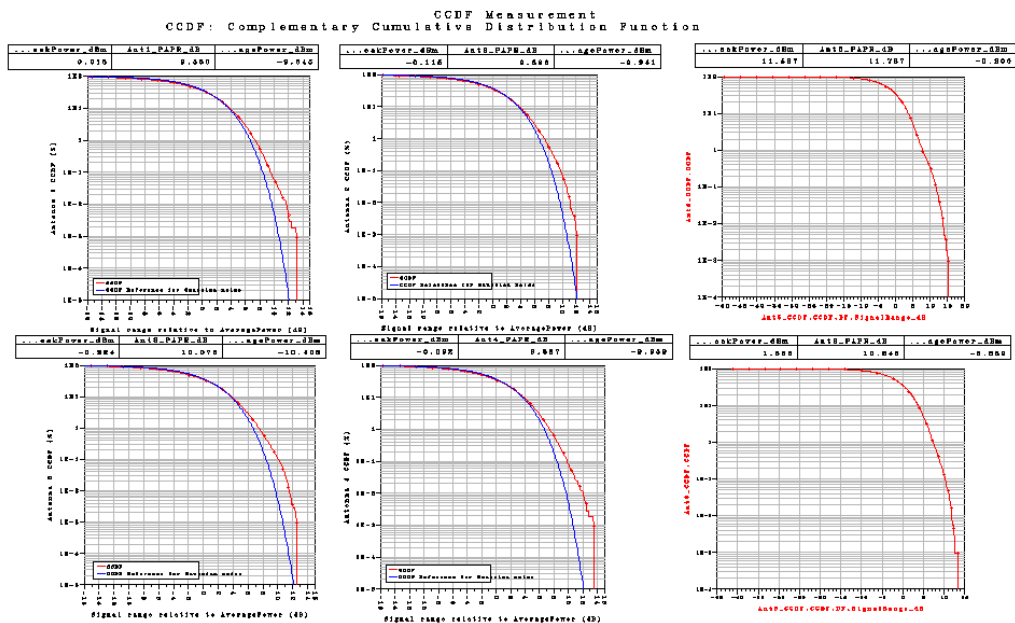
Σχήμα 91

Το LTE_sim_92 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι QPSK 1/3, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



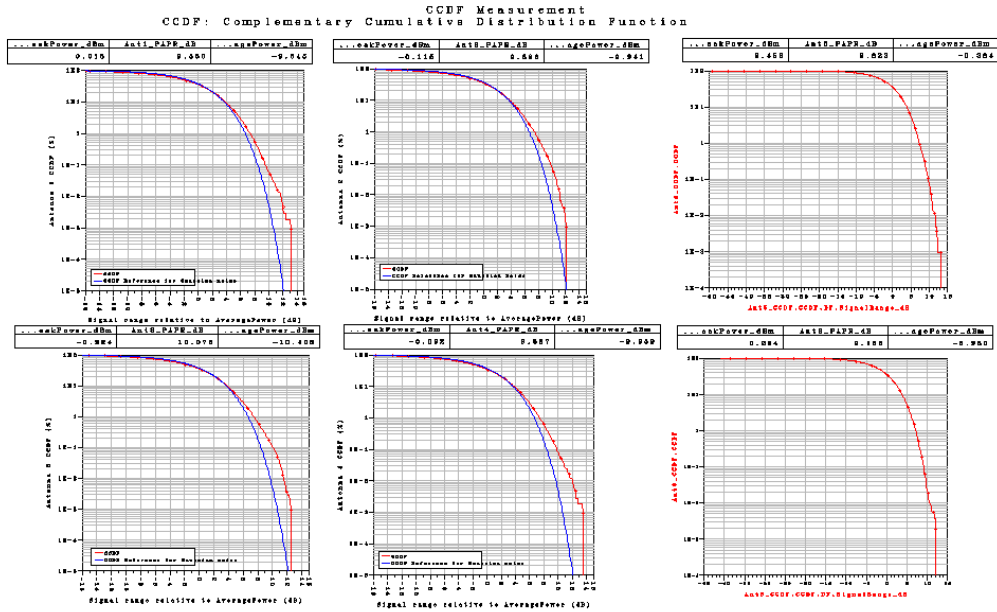
Σχήμα 92

Το LTE_sim_93 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



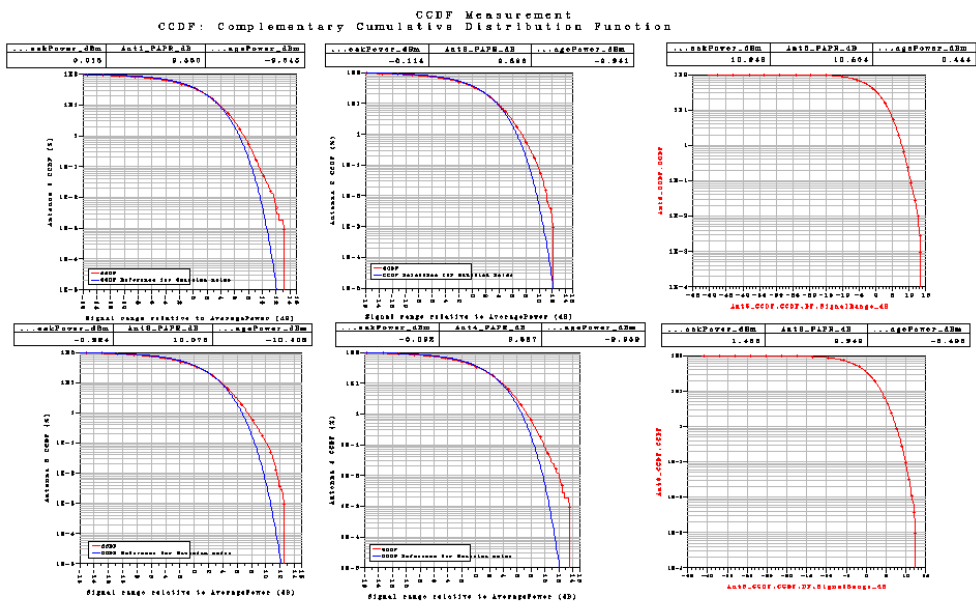
Σχήμα 93

Το LTE_sim_94 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



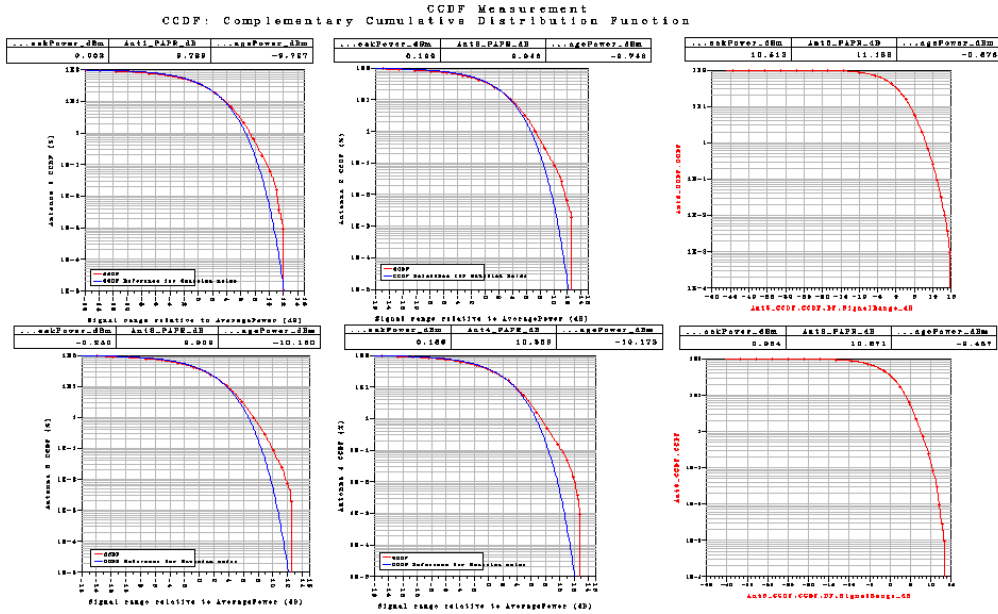
Σχήμα 94

Το LTE_sim_95 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



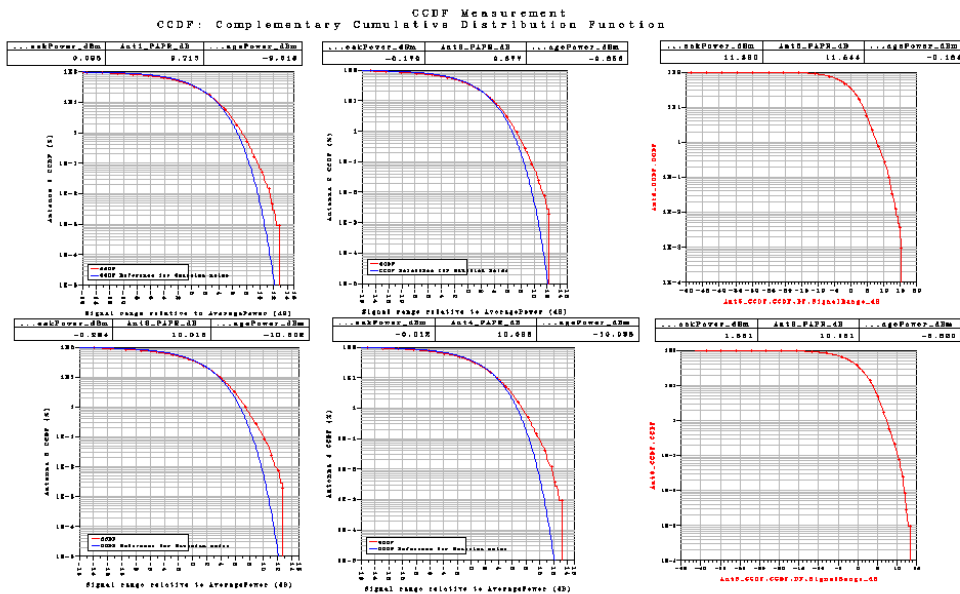
Σχήμα 95

Το LTE_sim_96 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 16QAM 1/2, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



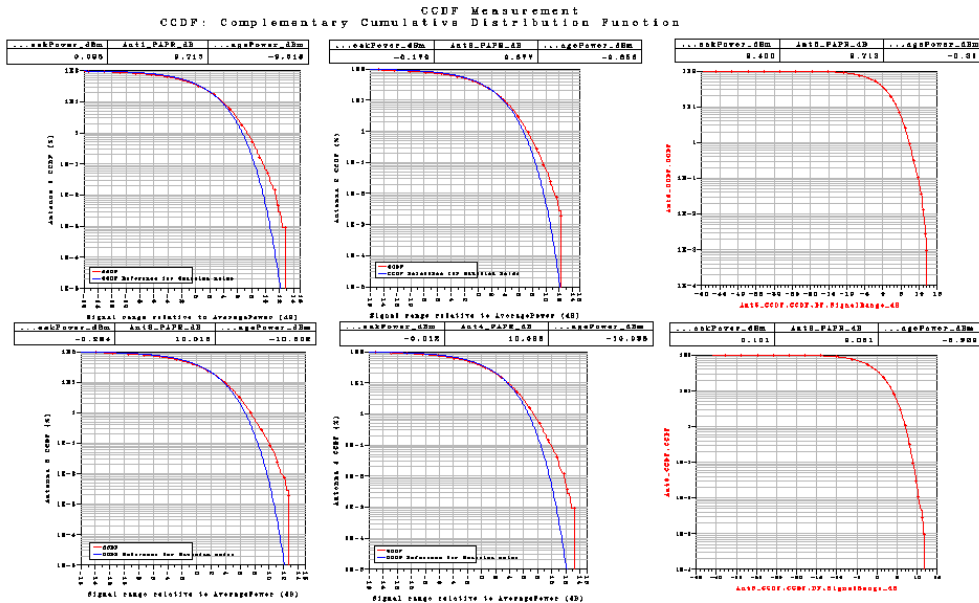
Σχήμα 98

Το LTE_sim_99 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



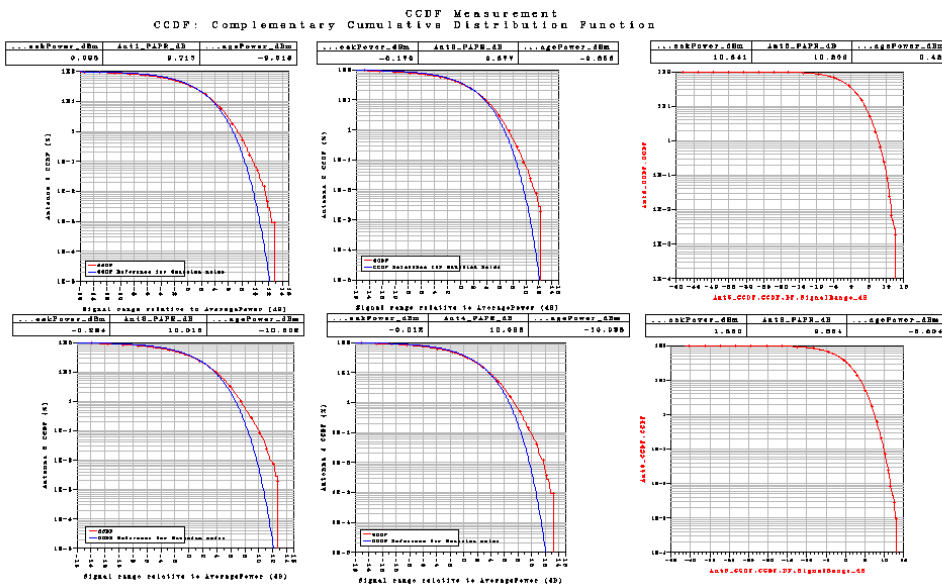
Σχήμα 99

Το LTE_sim_100 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



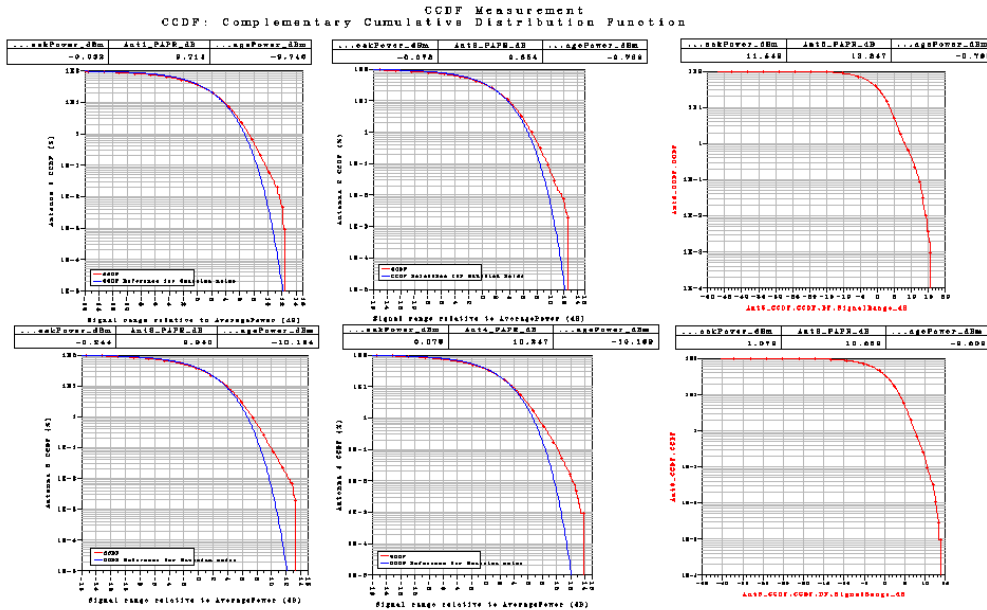
Σχήμα 100

To LTE_sim_101 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι SM, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



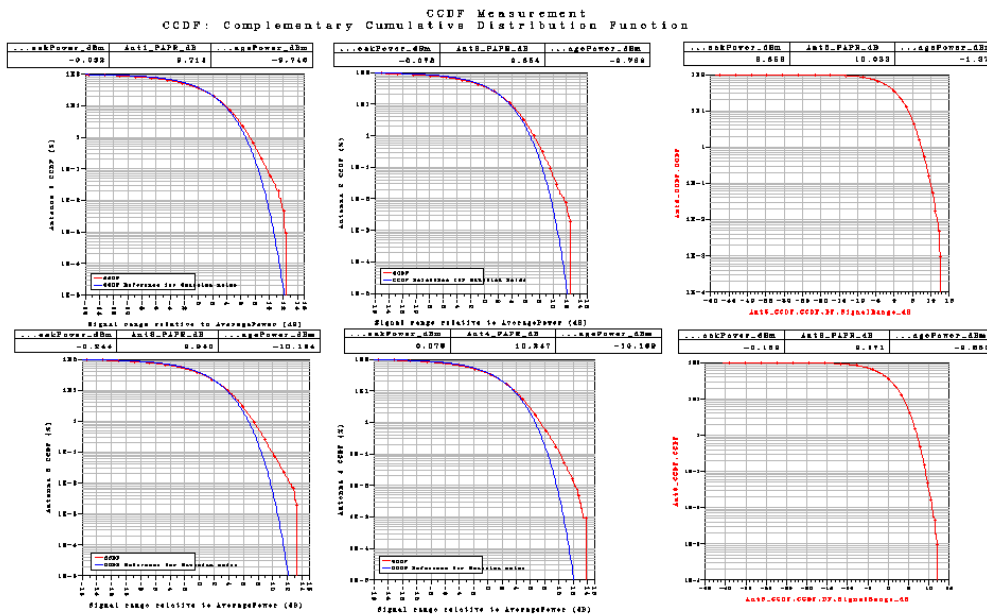
Σχήμα 101

To LTE_sim_102 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι EVA5 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



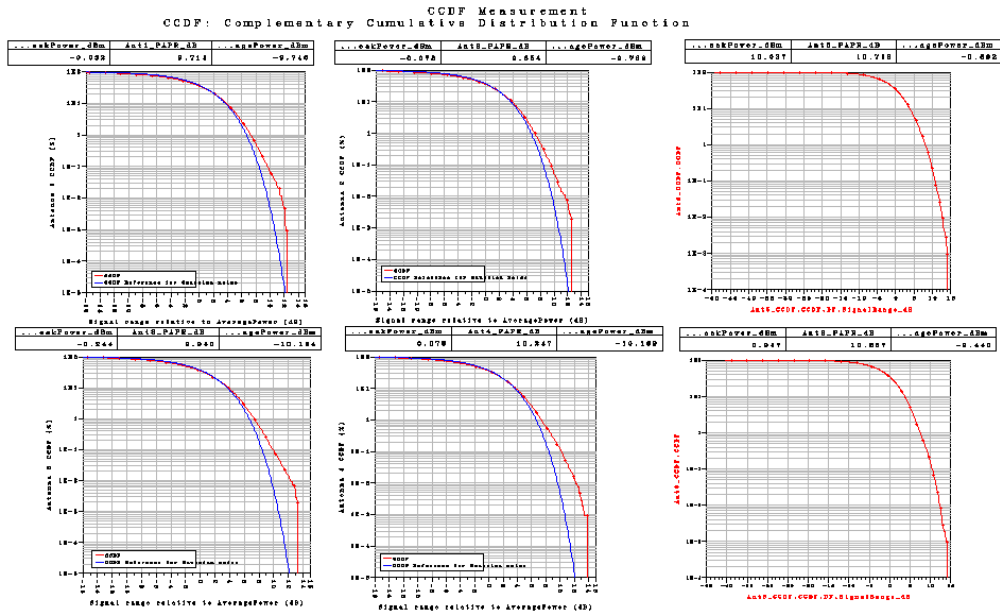
Σχήμα 102

Το LTE_sim_103 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU70 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



Σχήμα 103

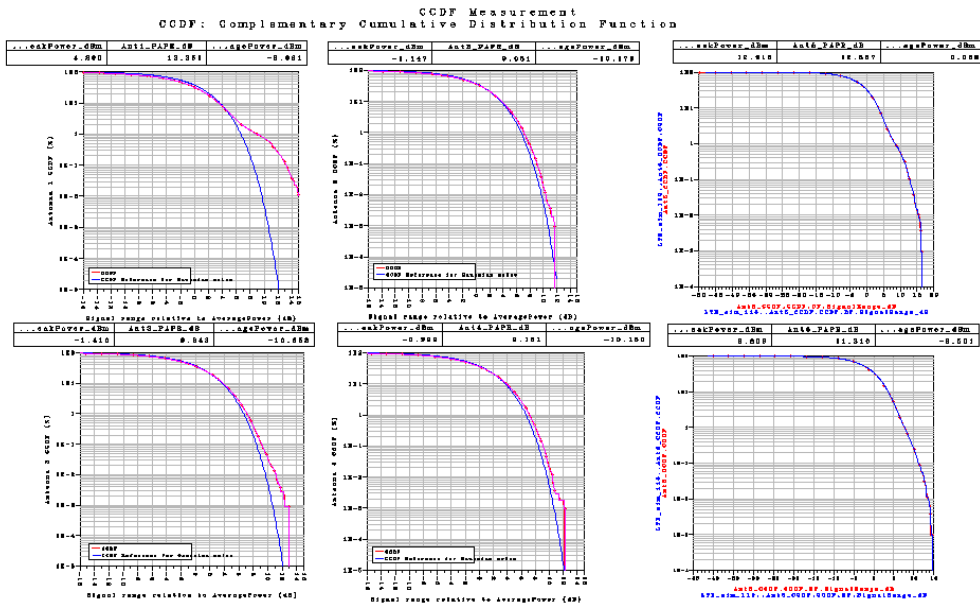
Το LTE_sim_104 έχει PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}, η διαμόρφωση είναι 64QAM 3/4, το SS_PerTxAnt είναι YES, το MIMOMODE είναι TD, το περιβάλλον είναι ETU300 και το Correlation είναι Medium. Με αυτές τις τιμές παίρνουμε τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



Σχήμα 104

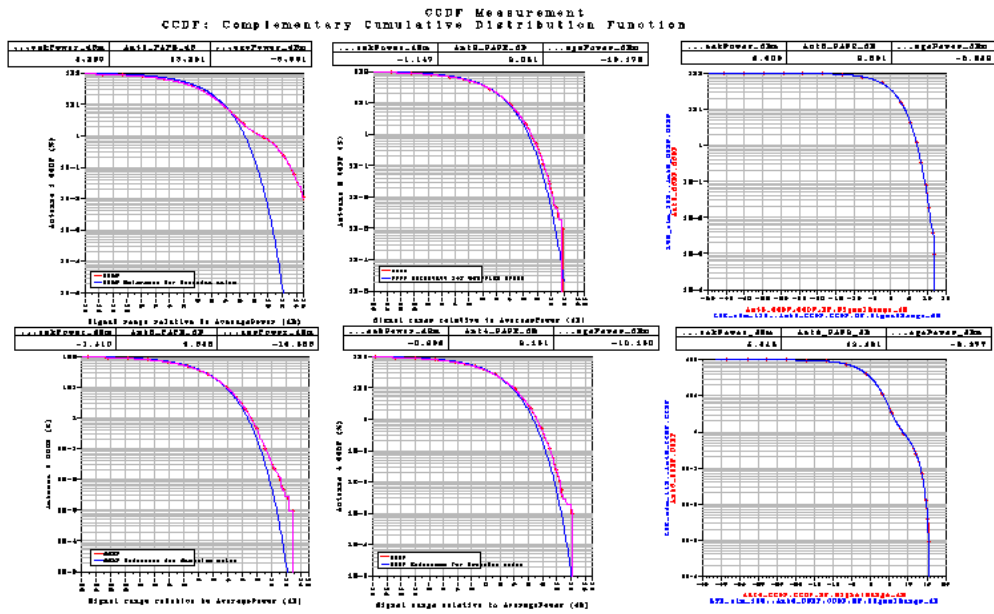
Στην συνέχεια θα εισάγουμε τις γραφικές παραστάσεις δύο sim σε μία κοινή γραφική παράσταση... Τα sim μεταξύ τους θα έχουν την ίδια Διαμόρφωση, το ίδιο SS_PerTxAnt, το ίδιο MIMOMODE, το ίδιο περιβάλλον και το ίδιο correlation. Η μοναδική παράμετρος που θα είναι διαφορετική θα είναι το PhaseImbalance. Το οποίο στην πρώτη γραφική παράσταση έχει την παράμετρο PhaseImbalance : {1.0, 1.0, 1.0, 1.0} και το δεύτερο θα έχει την παράμετρο PhaseImbalance : {2.0, 2.0, 2.0, 2.0}

Το LTE_sim_33 μαζί με το LTE_sim_69 δίνουν την γραφική παράσταση.



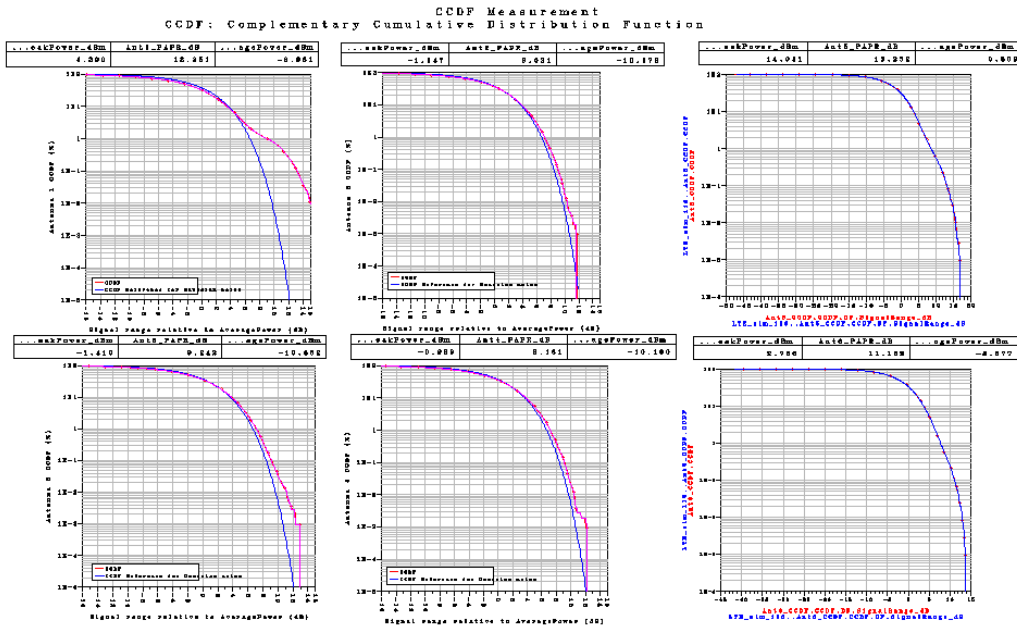
Σχήμα 105

Το LTE_sim_34 μαζί με το LTE_sim_70 δίνουν την γραφική παράσταση.



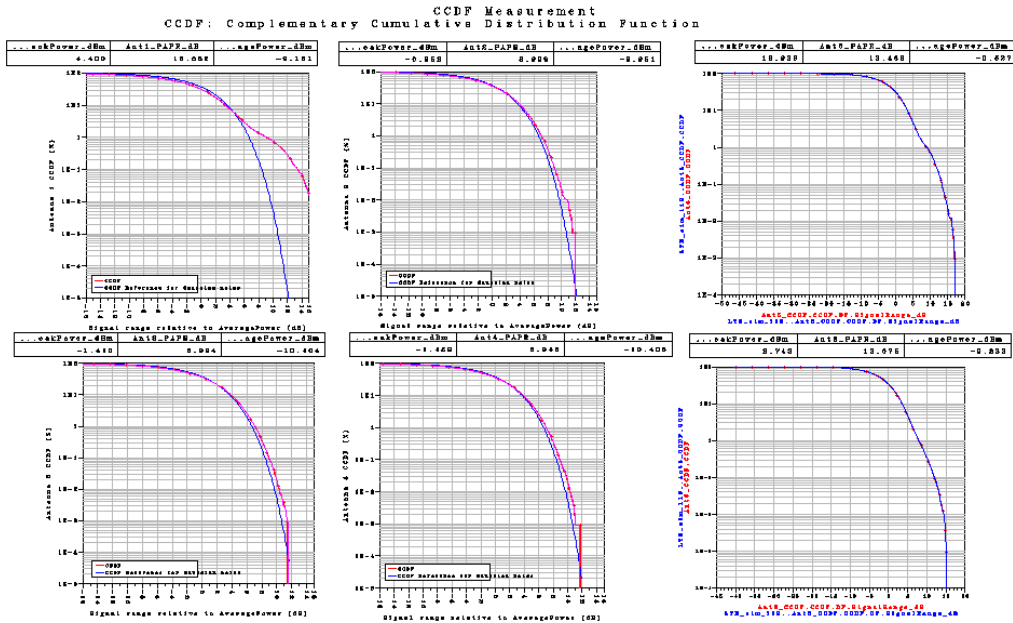
Σχήμα 106

Το LTE_sim_35 μαζί με το LTE_sim_71 δίνουν την γραφική παράσταση.



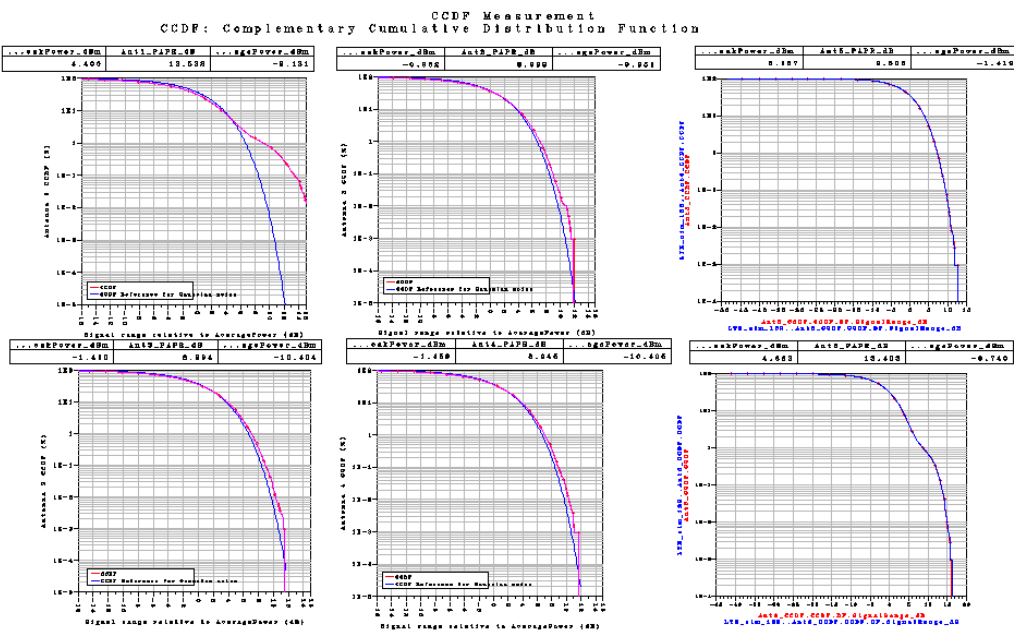
Σχήμα 107

Το LTE_sim_36 μαζί με το LTE_sim_72 δίνουν την γραφική παράσταση.



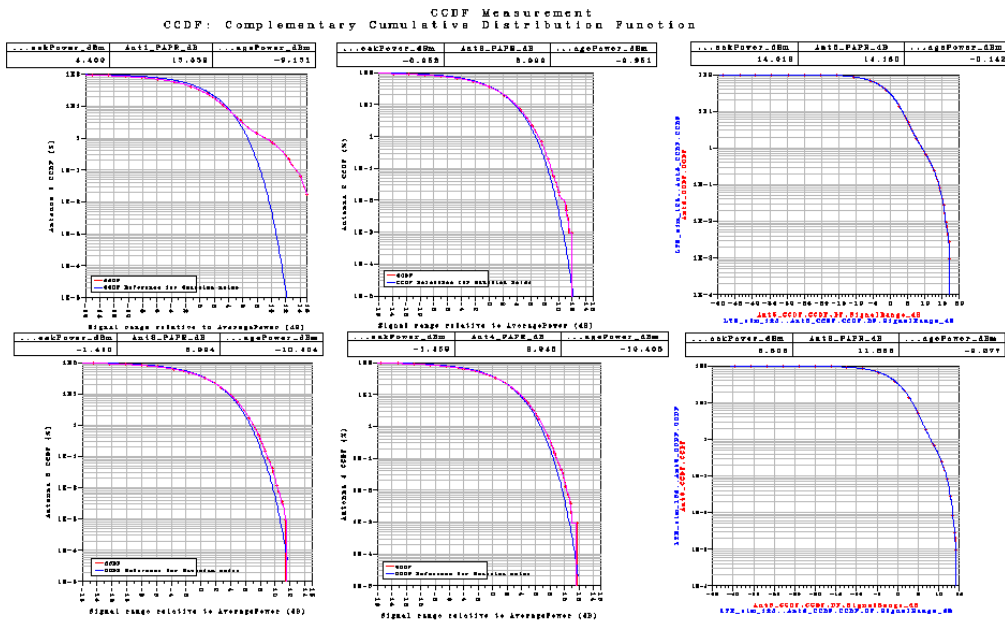
Σχήμα 108

Το LTE_sim_37 μαζί με το LTE_sim_73 δίνουν την γραφική παράσταση.



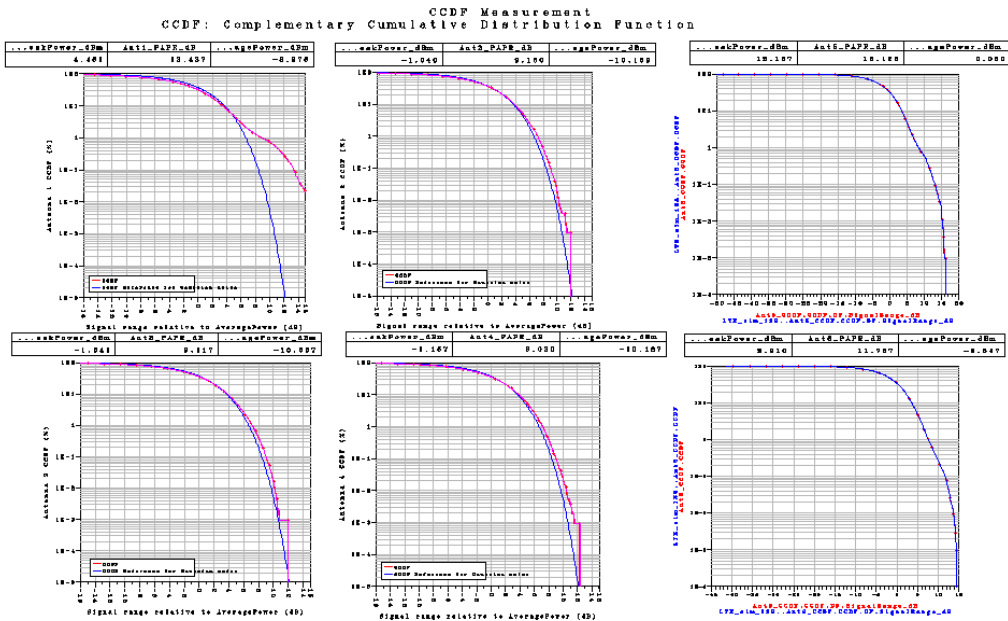
Σχήμα 109

Το LTE_sim_38 μαζί με το LTE_sim_74 δίνουν την γραφική παράσταση.



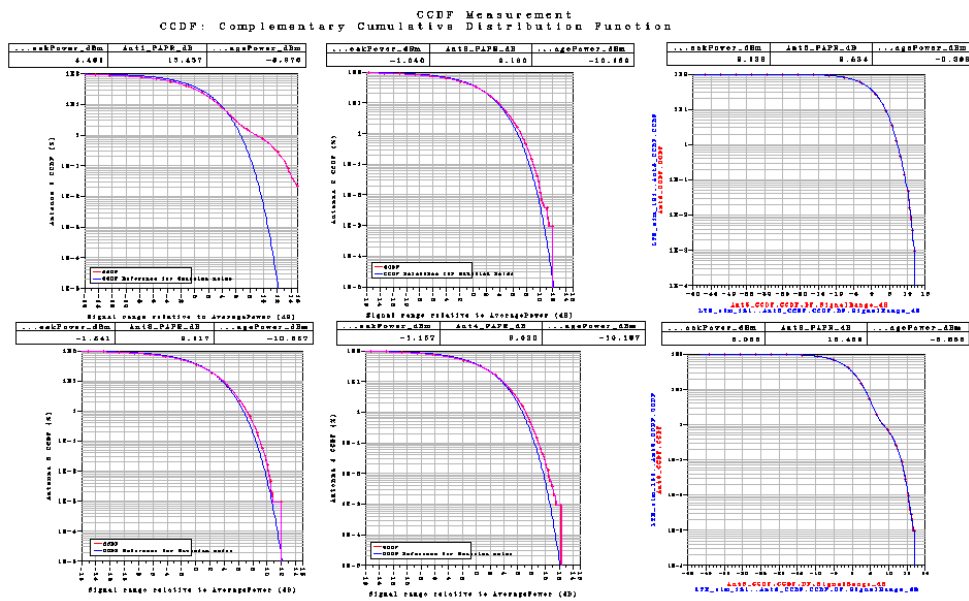
Σχήμα 110

Το LTE_sim_39 μαζί με το LTE_sim_75 δίνουν την γραφική παράσταση.



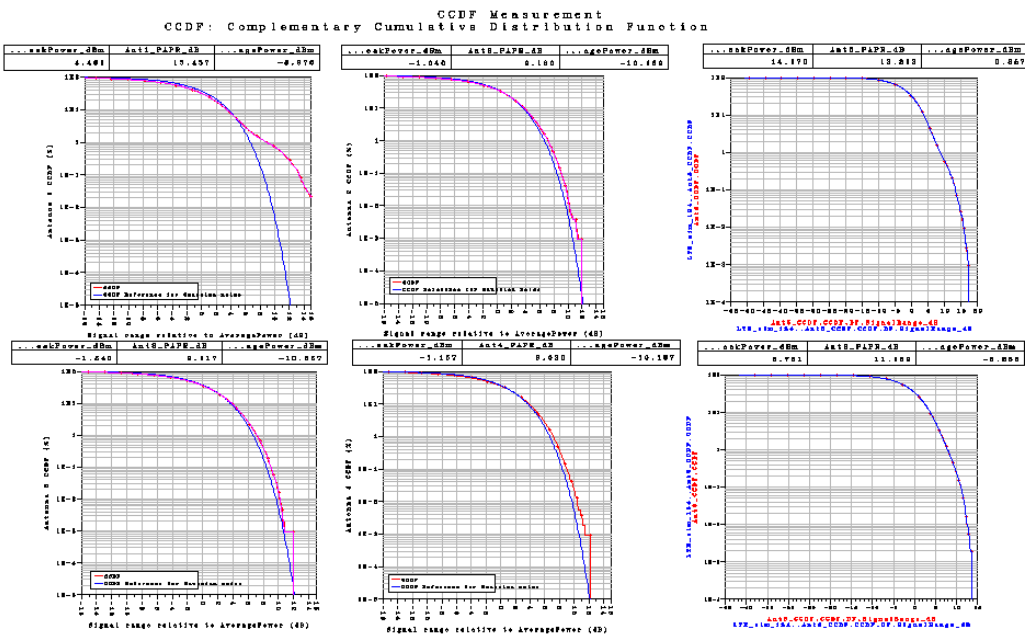
Σχήμα 111

Το LTE_sim_40 μαζί με το LTE_sim_76 δίνουν την γραφική παράσταση.



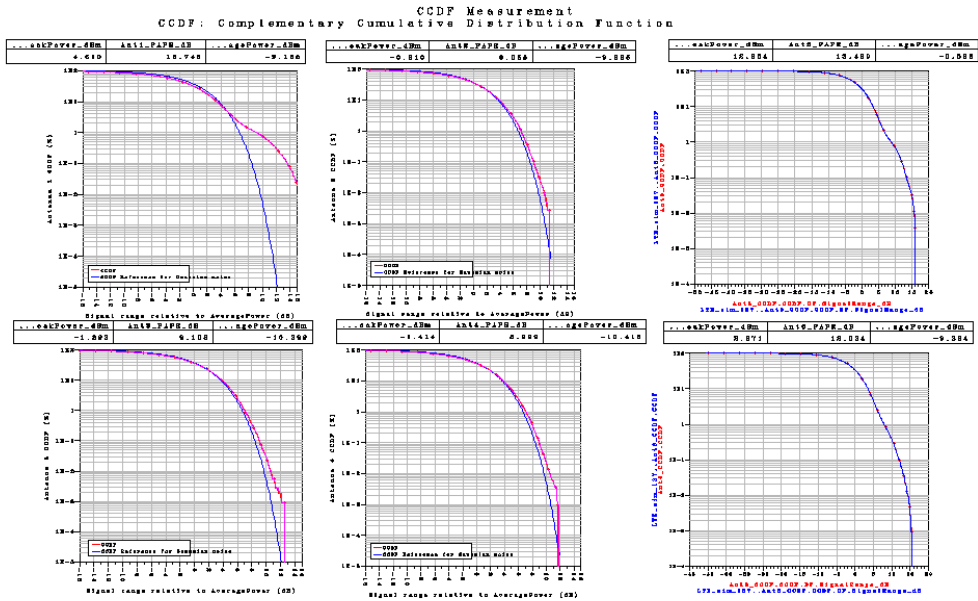
Σχήμα 112

Το LTE_sim_41 μαζί με το LTE_sim_77 δίνουν την γραφική παράσταση.



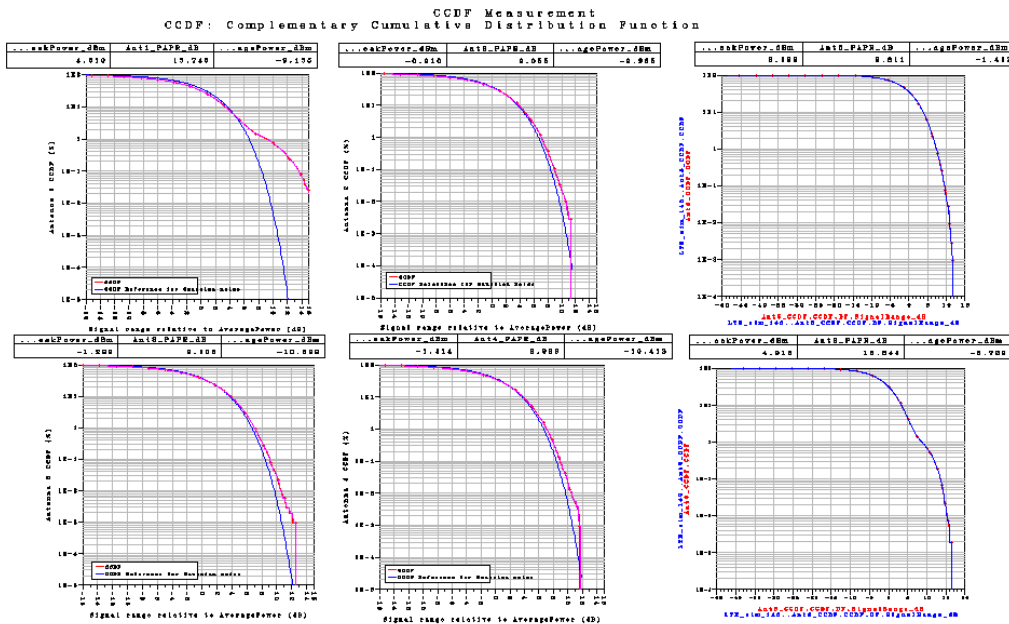
Σχήμα 113

Το LTE_sim_42 μαζί με το LTE_sim_78 δίνουν την γραφική παράσταση.



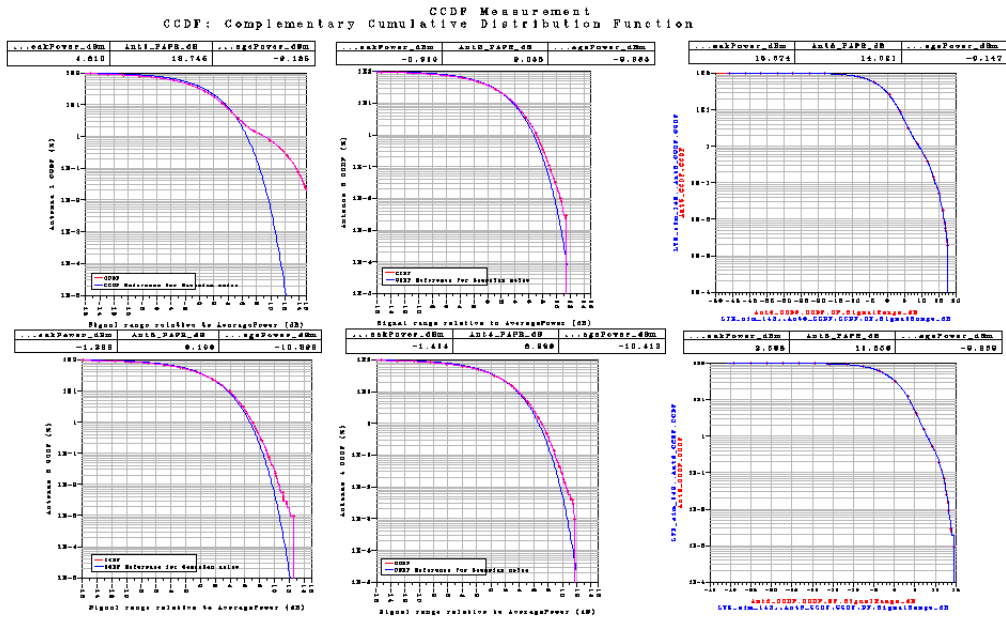
Σχήμα 114

Το LTE_sim_43 μαζί με το LTE_sim_79 δίνουν την γραφική παράσταση.



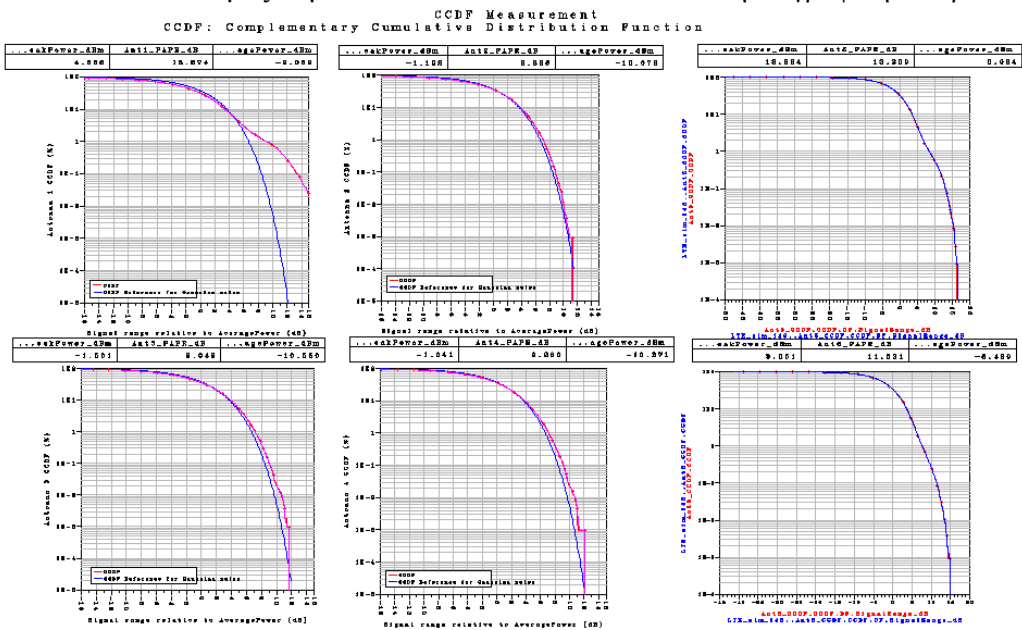
Σχήμα 115

Το LTE_sim_44 μαζί με το LTE_sim_80 δίνουν την γραφική παράσταση.



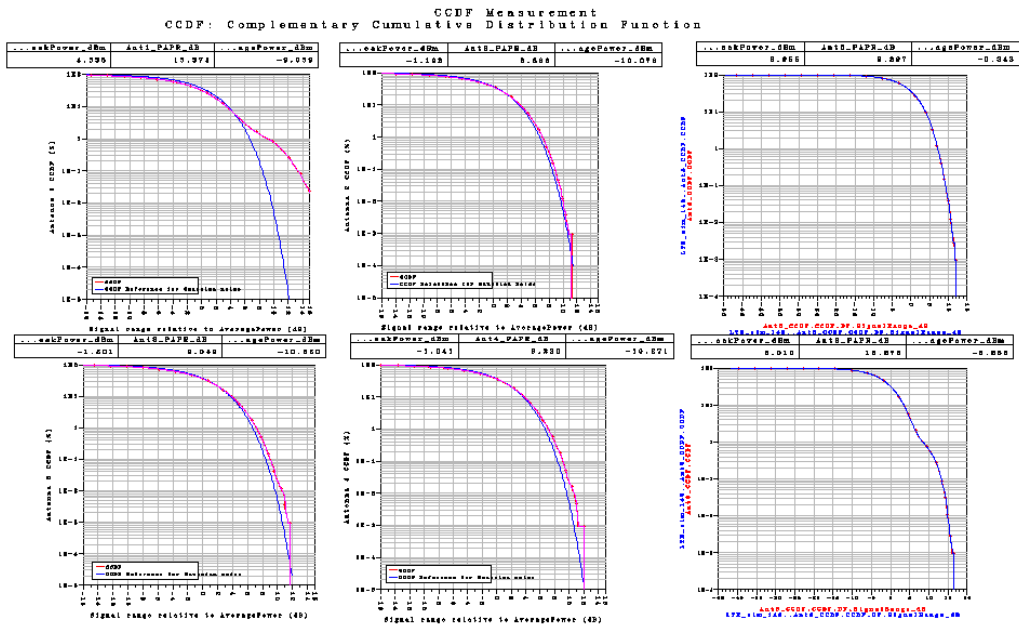
Σχήμα 116

Το LTE_sim_45 μαζί με το LTE_sim_81 δίνουν την γραφική παράσταση.



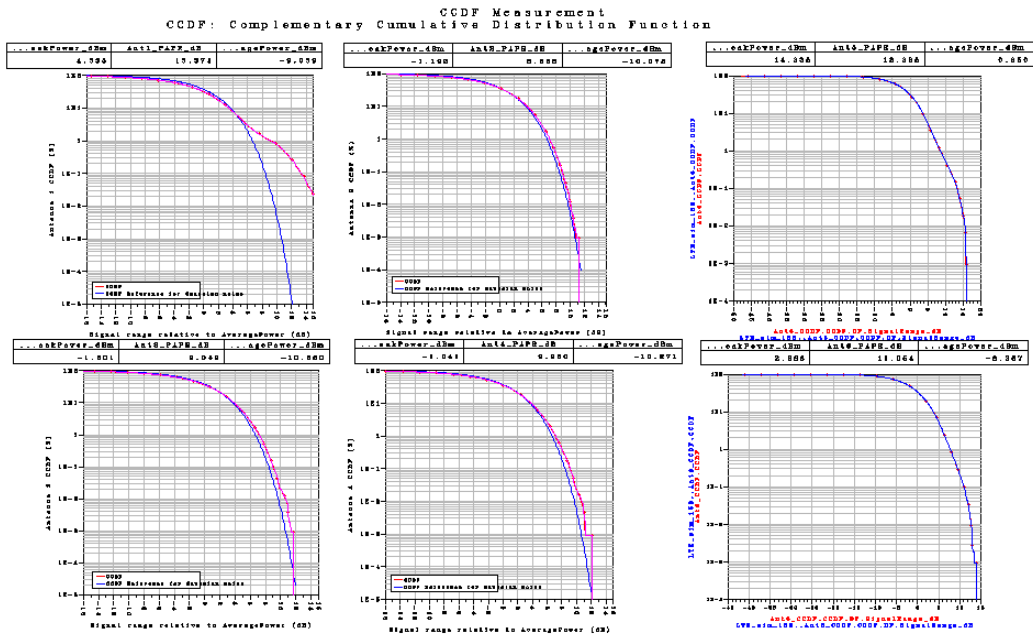
Σχήμα 117

Το LTE_sim_46 μαζί με το LTE_sim_82 δίνουν την γραφική παράσταση.



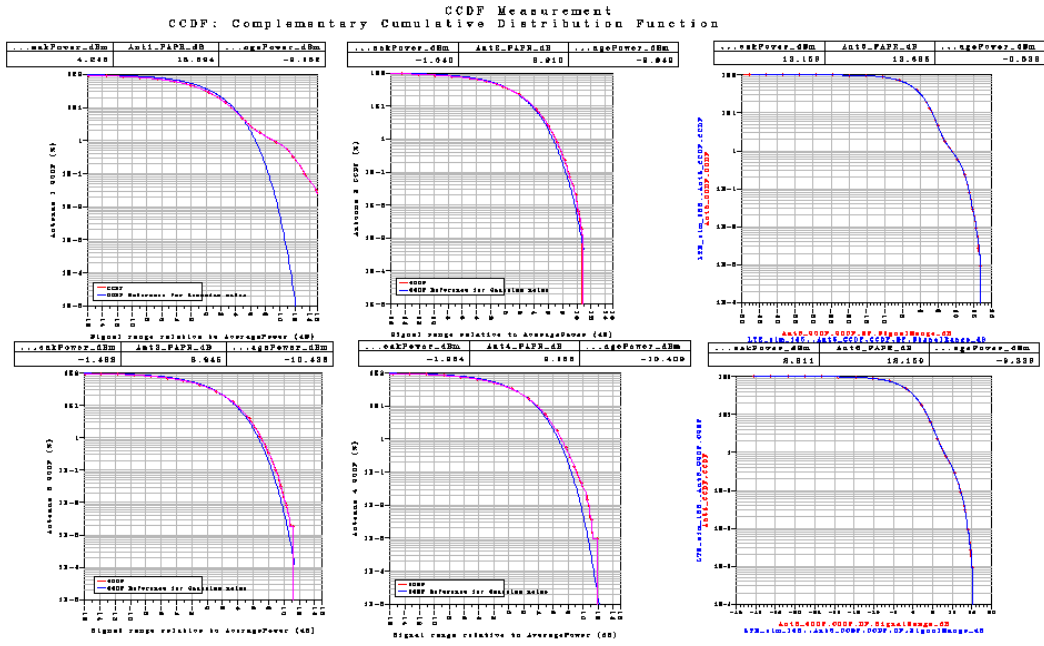
Σχήμα 118

Το LTE_sim_47 μαζί με το LTE_sim_83 δίνουν την γραφική παράσταση.



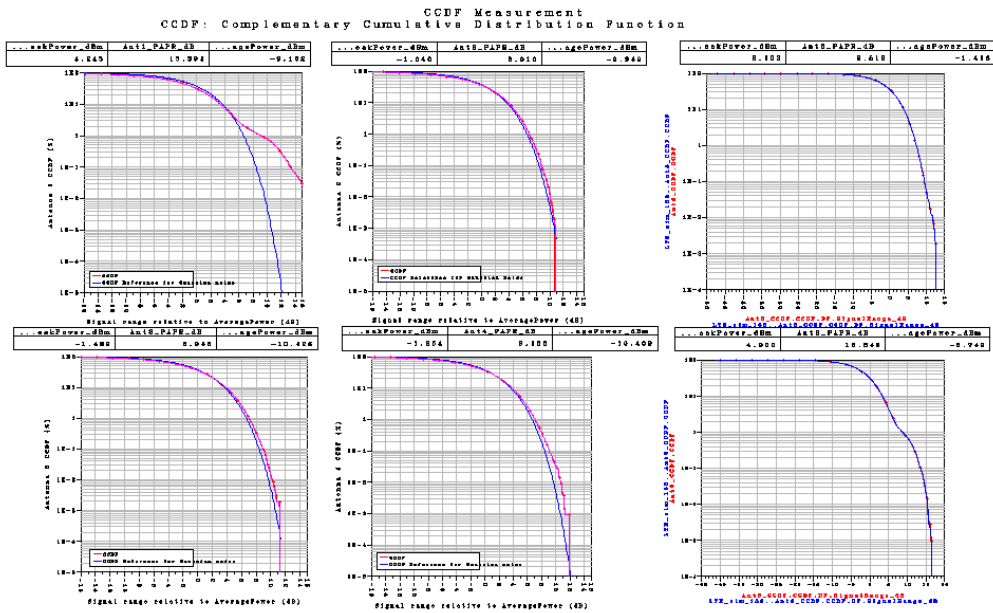
Σχήμα 119

Το LTE_sim_48 μαζί με το LTE_sim_84 δίνουν την γραφική παράσταση.



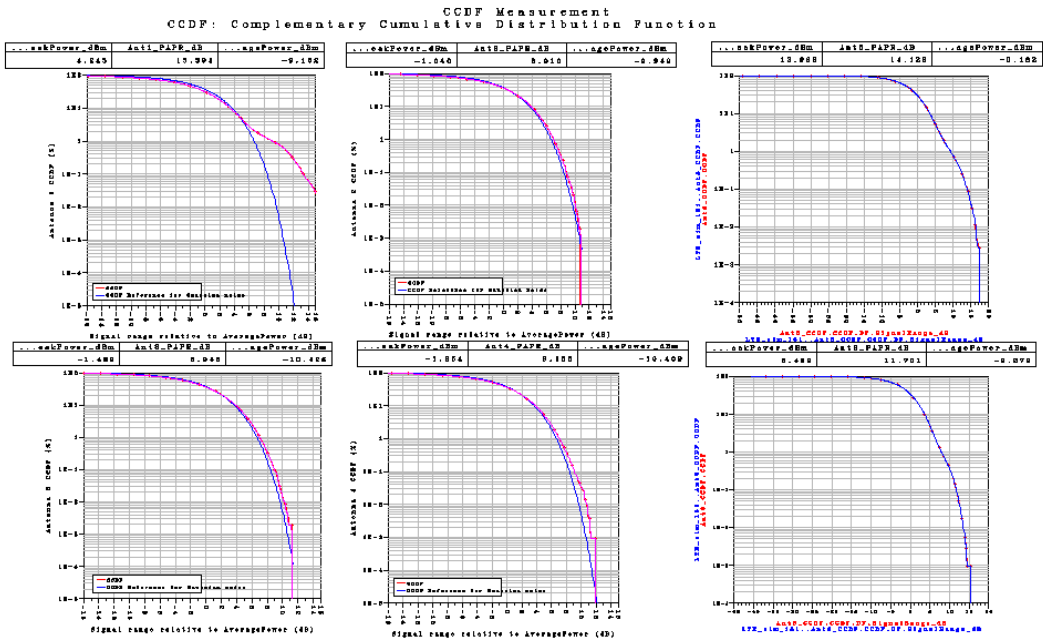
Σχήμα 120

Το LTE_sim_49 μαζί με το LTE_sim_85 δίνουν την γραφική παράσταση.



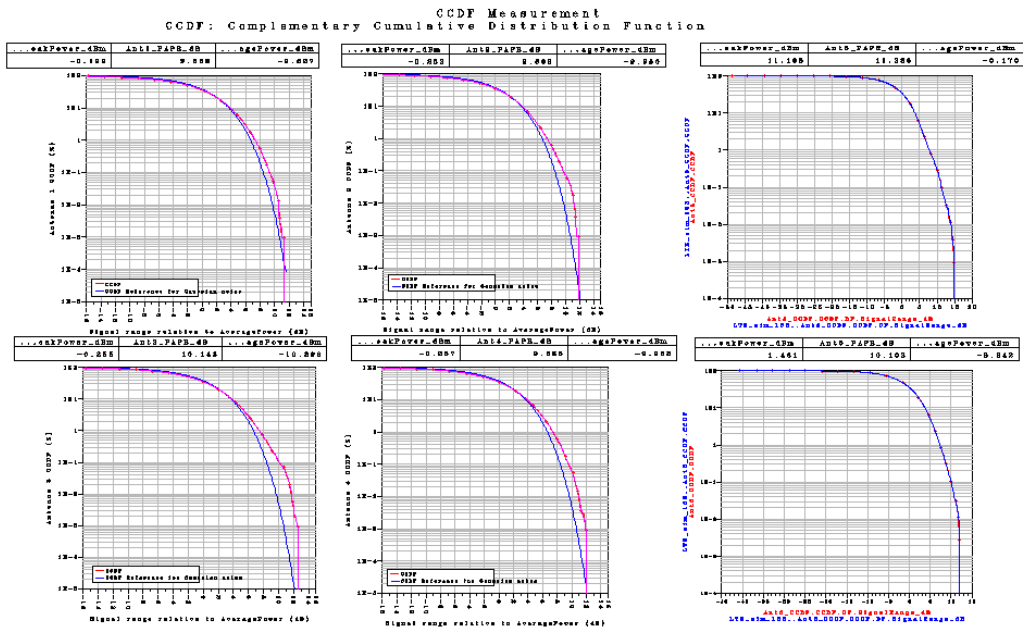
Σχήμα 121

Το LTE_sim_50 μαζί με το LTE_sim_86 δίνουν την γραφική παράσταση.



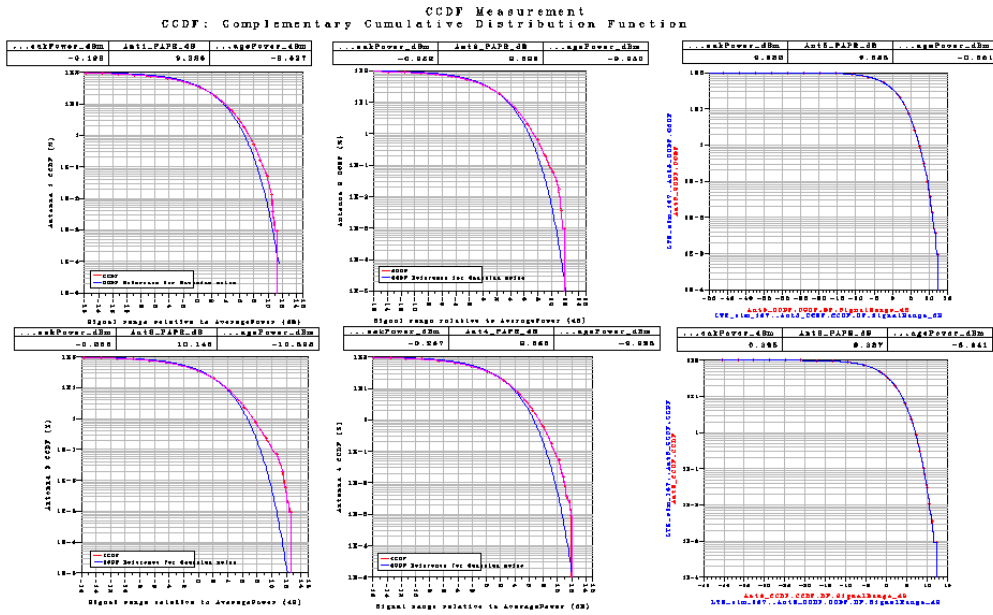
Σχήμα 122

Το LTE_sim_51 μαζί με το LTE_sim_87 δίνουν την γραφική παράσταση.



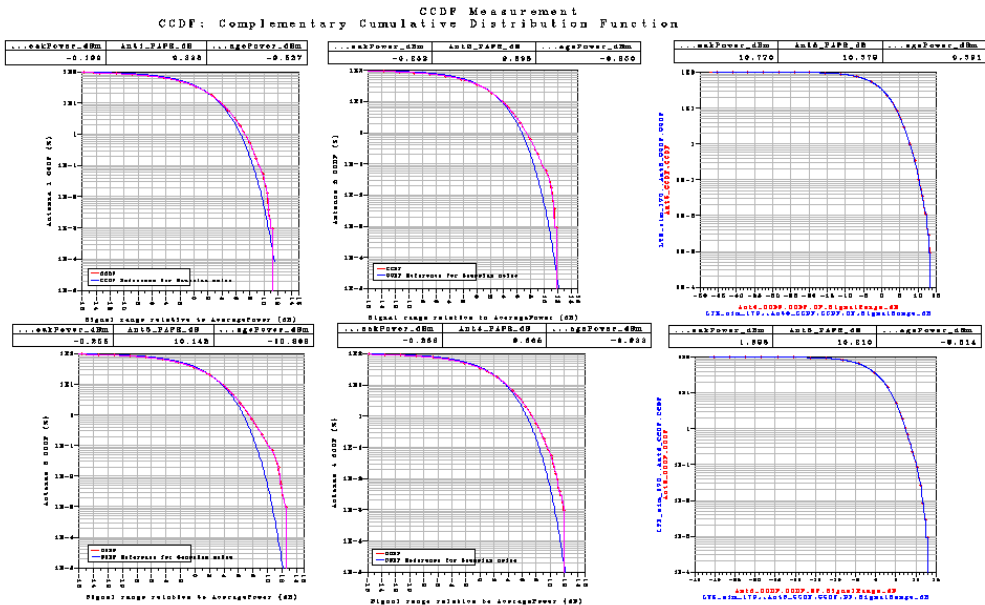
Σχήμα 123

Το LTE_sim_52 μαζί με το LTE_sim_88 δίνουν την γραφική παράσταση.



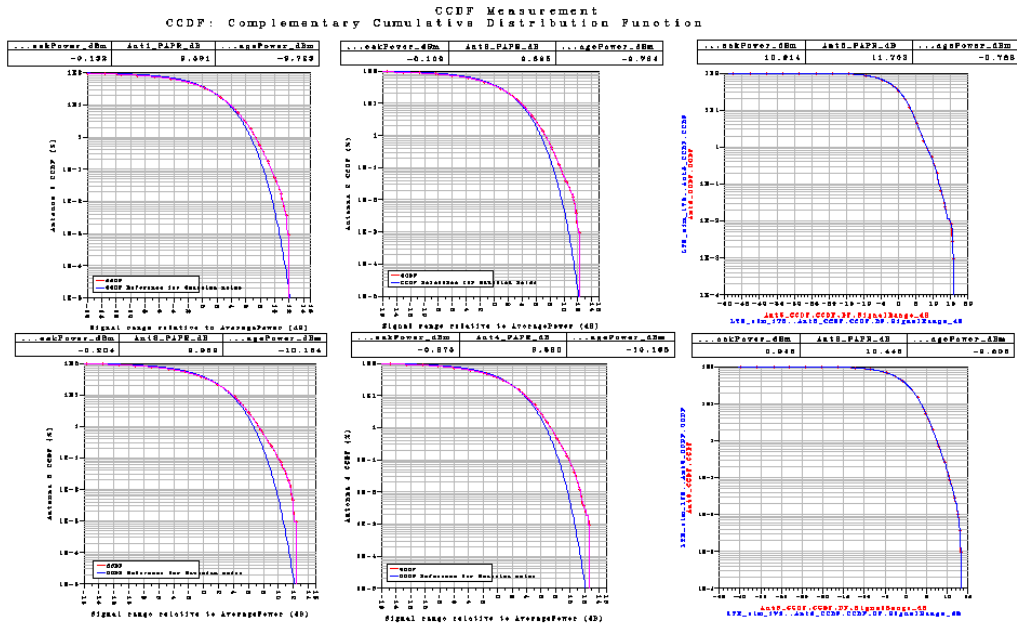
Σχήμα 124

Το LTE_sim_53 μαζί με το LTE_sim_89 δίνουν την γραφική παράσταση.



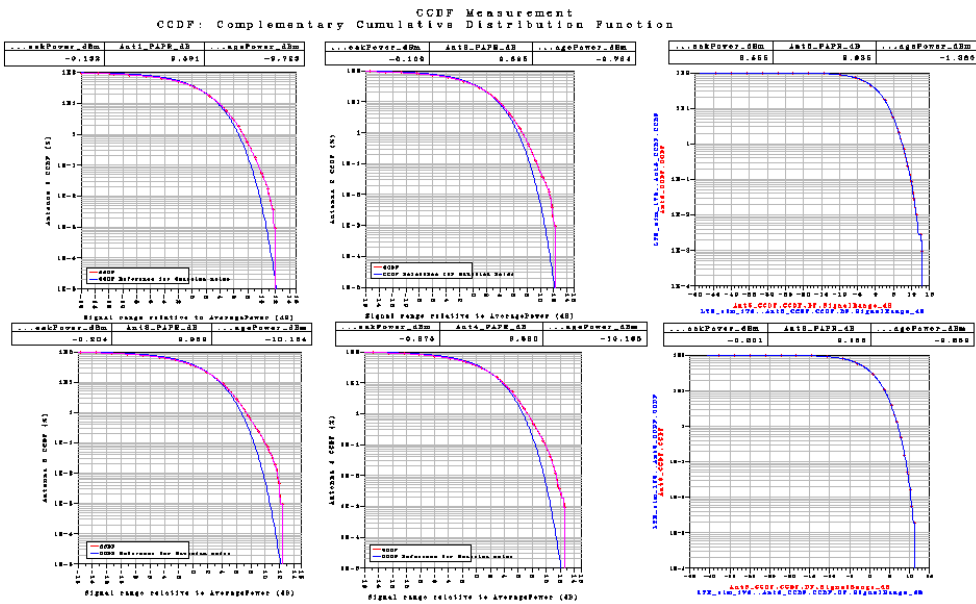
Σχήμα 125

Το LTE_sim_54 μαζί με το LTE_sim_90 δίνουν την γραφική παράσταση.



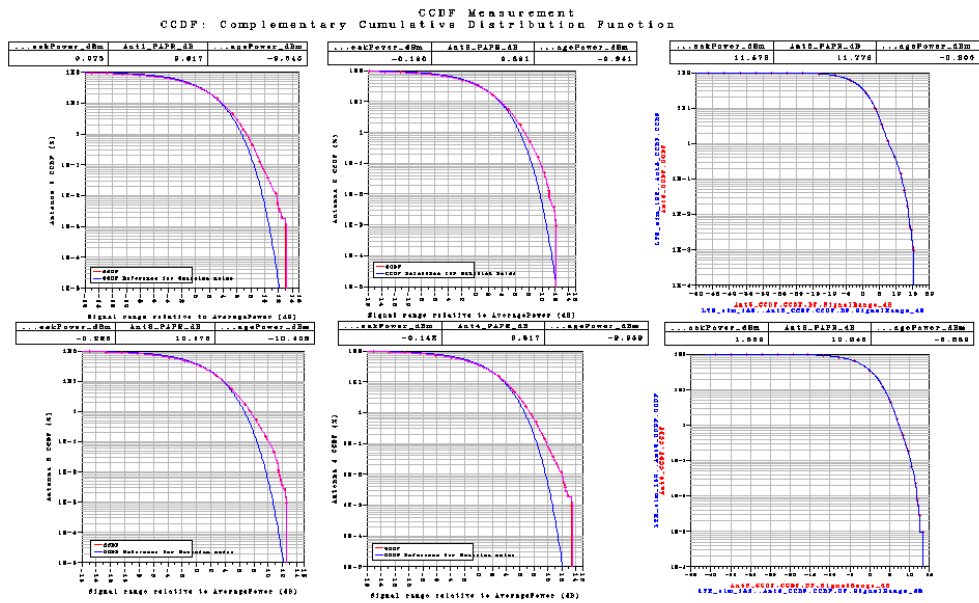
Σχήμα 126

Το LTE_sim_55 μαζί με το LTE_sim_91 δίνουν την γραφική παράσταση.



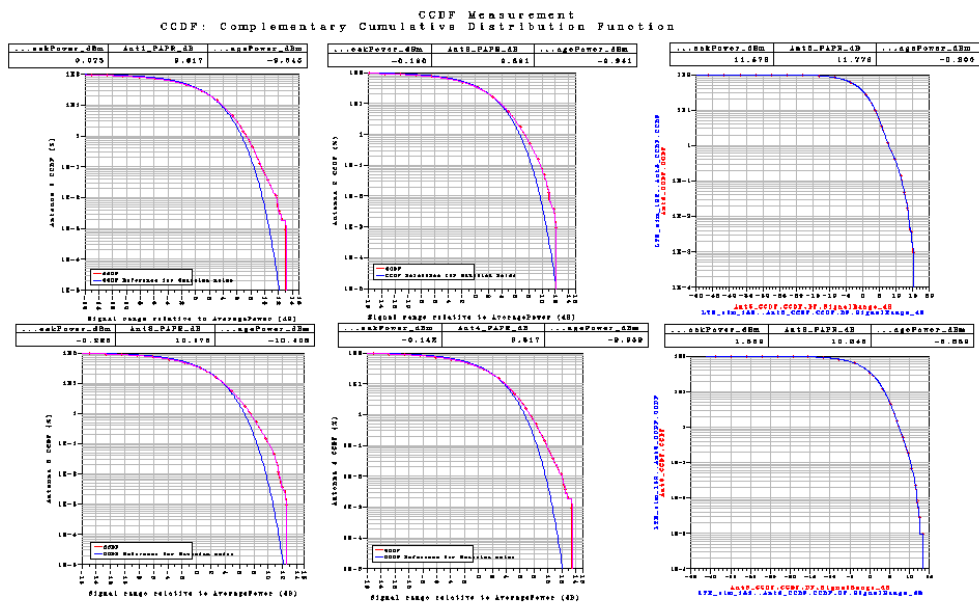
Σχήμα 127

Το LTE_sim_56 μαζί με το LTE_sim_92 δίνουν την γραφική παράσταση.



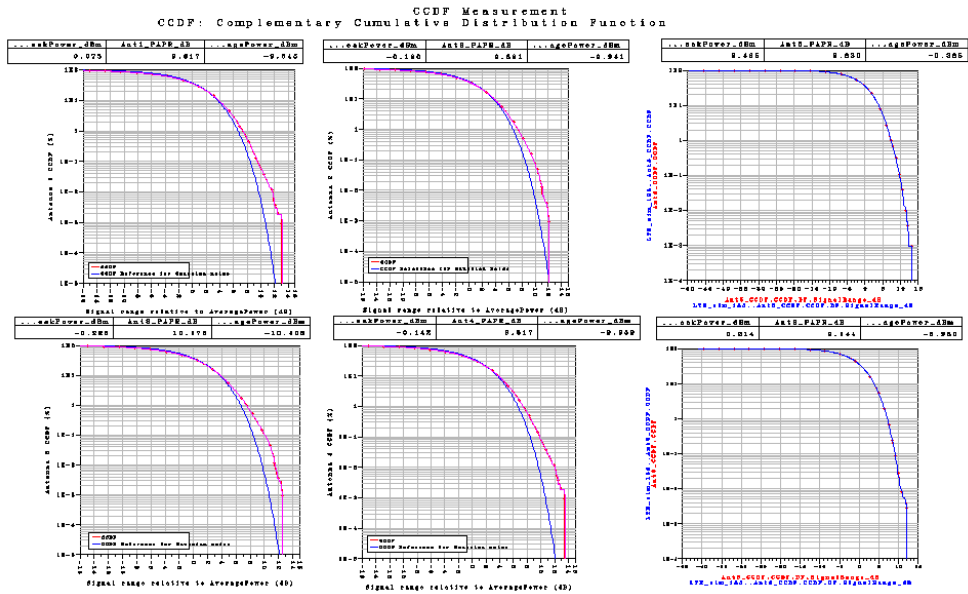
Σχήμα 128

Το LTE_sim_57 μαζί με το LTE_sim_93 δίνουν την γραφική παράσταση.



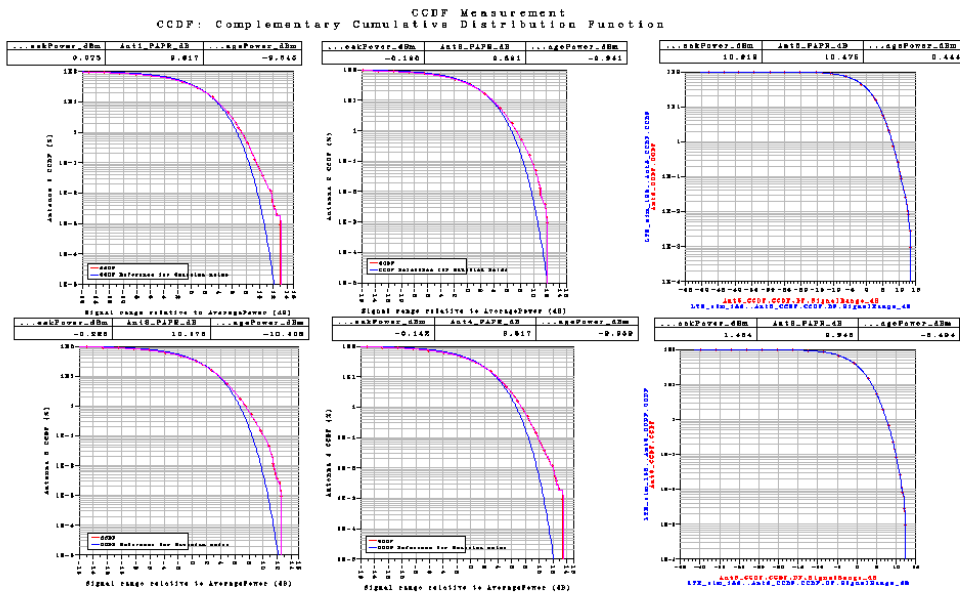
Σχήμα 129

Το LTE_sim_58 μαζί με το LTE_sim_94 δίνουν την γραφική παράσταση.



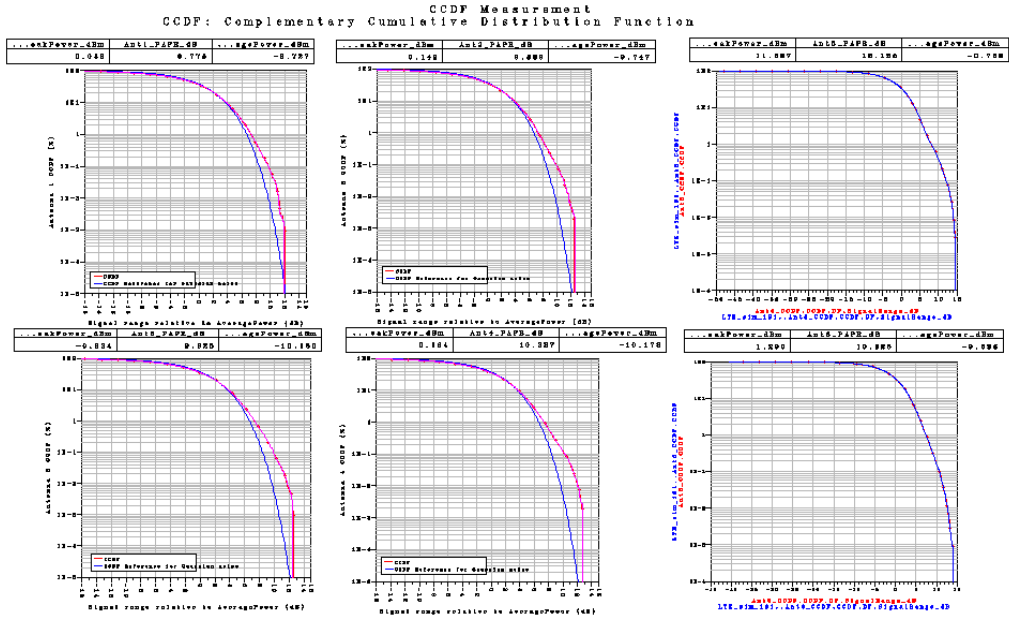
Σχήμα 130

Το LTE_sim_59 μαζί με το LTE_sim_95 δίνουν την γραφική παράσταση.



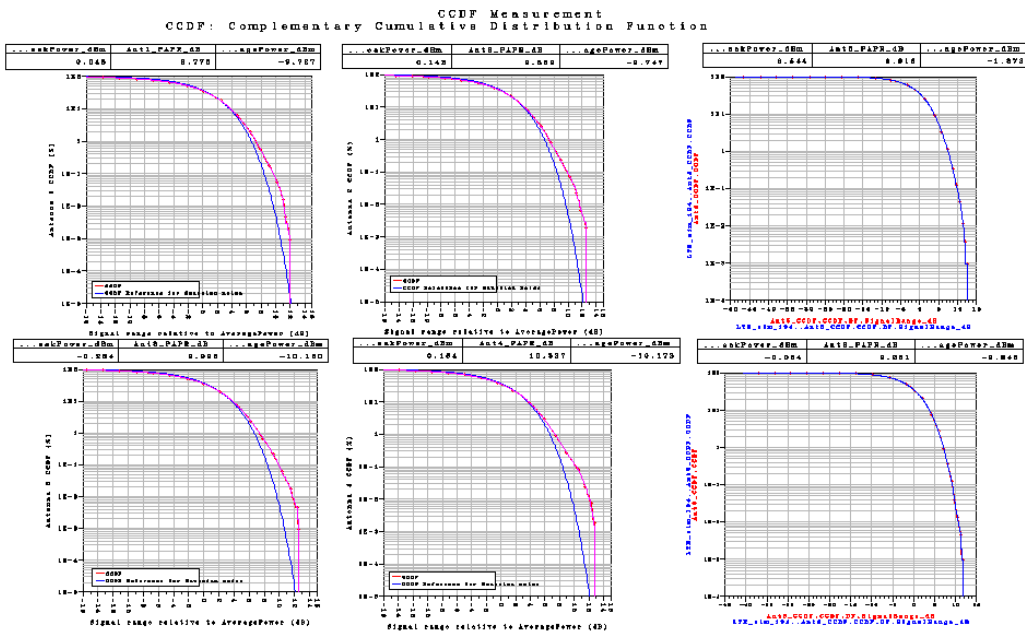
Σχήμα 131

Το LTE_sim_60 μαζί με το LTE_sim_96 δίνουν την γραφική παράσταση.



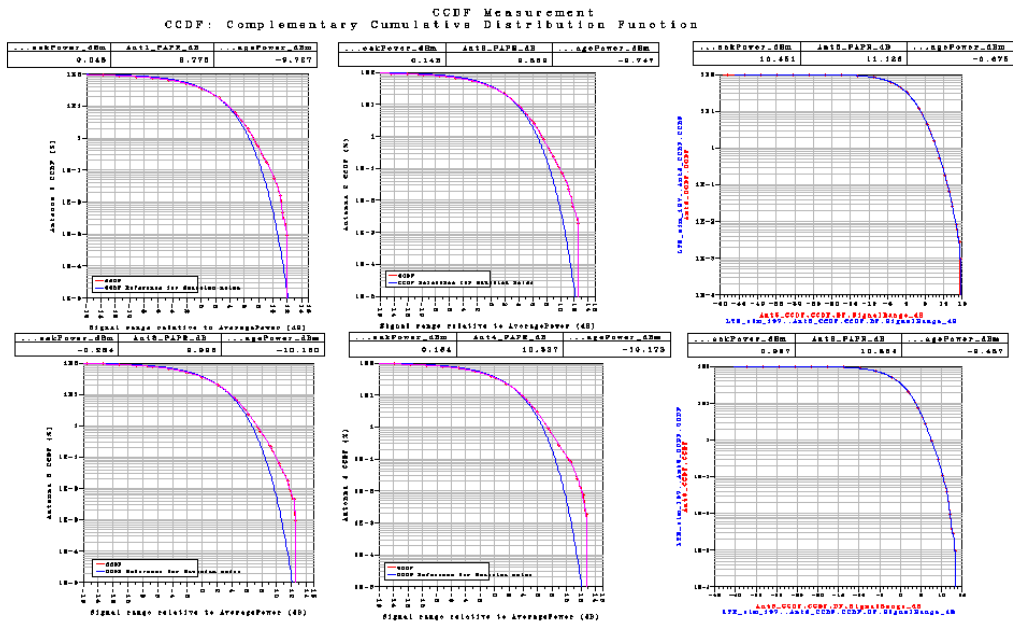
Σχήμα 132

Το LTE_sim_61 μαζί με το LTE_sim_97 δίνουν την γραφική παράσταση.



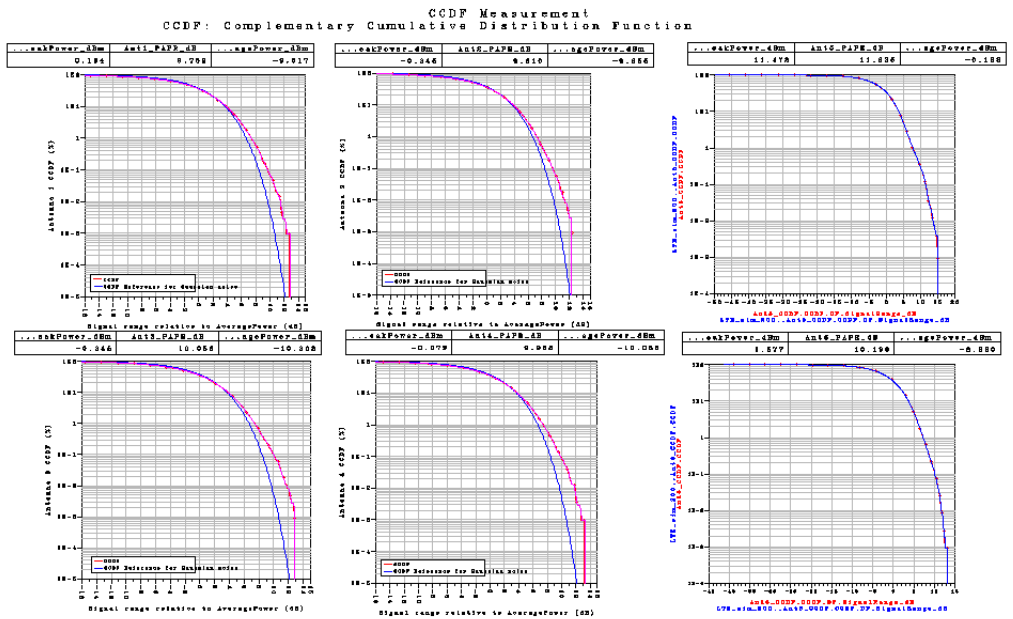
Σχήμα 133

Το LTE_sim_62 μαζί με το LTE_sim_98 δίνουν την γραφική παράσταση.



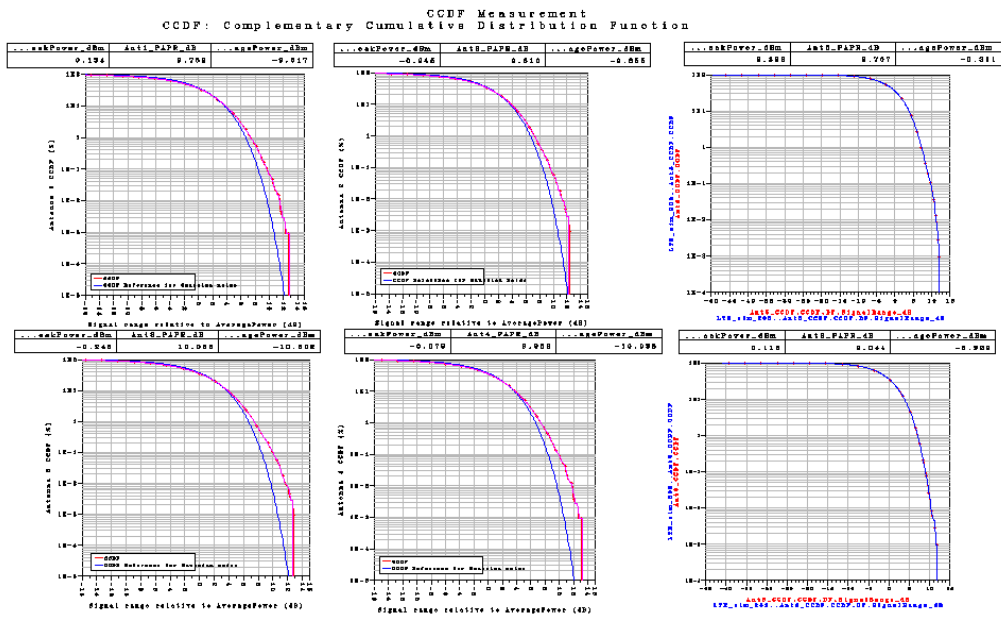
Σχήμα 134

Το LTE_sim_63 μαζί με το LTE_sim_99 δίνουν την γραφική παράσταση.



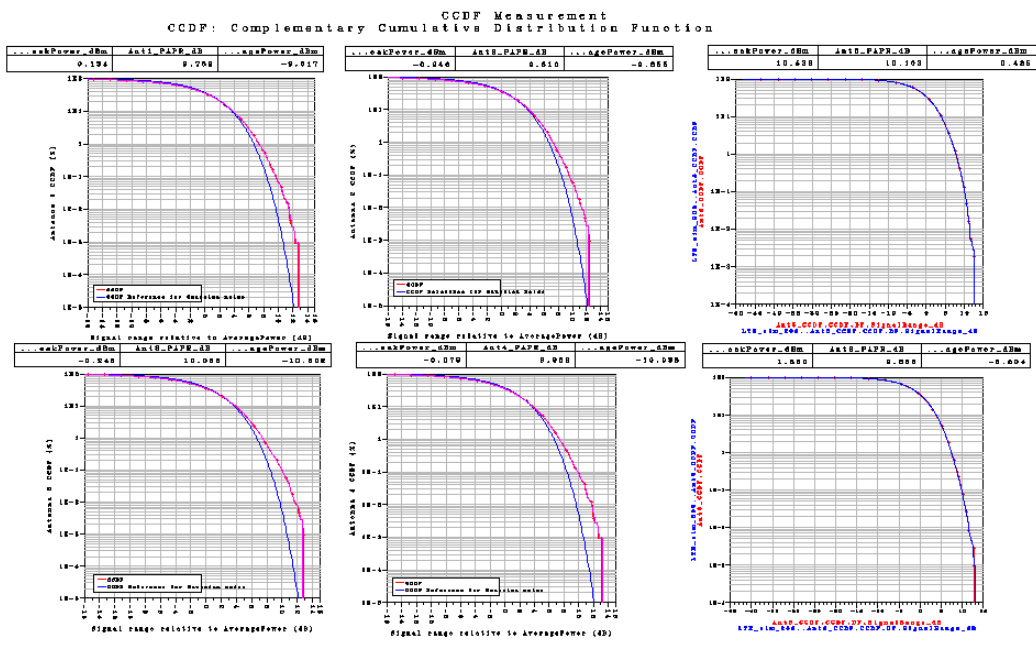
Σχήμα 135

Το LTE_sim_64 μαζί με το LTE_sim_100 δίνουν την γραφική παράσταση.



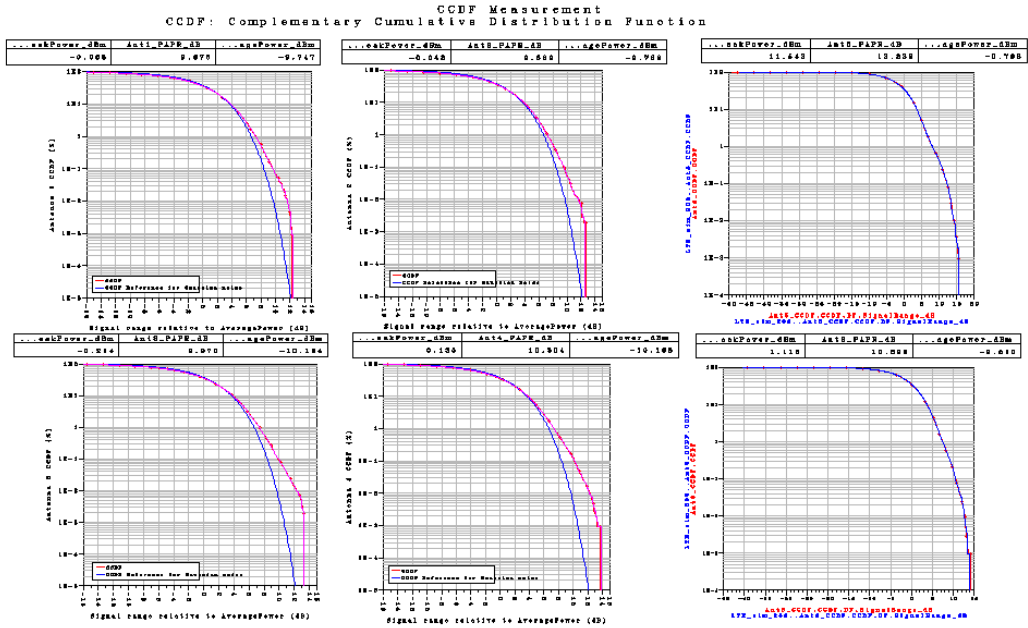
Σχήμα 136

Το LTE_sim_65 μαζί με το LTE_sim_101 δίνουν την γραφική παράσταση.



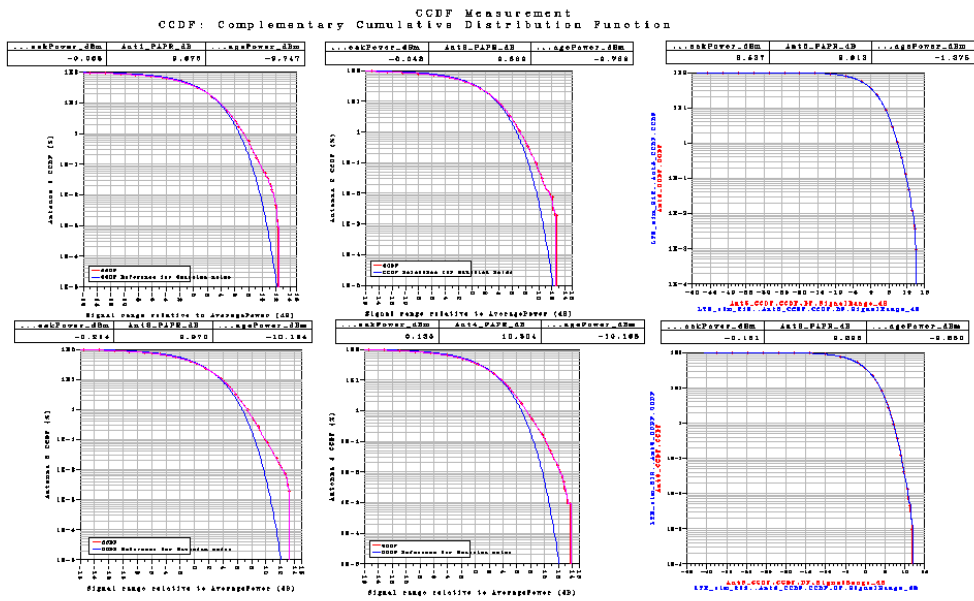
Σχήμα 137

Το LTE_sim_66 μαζί με το LTE_sim_102 δίνουν την γραφική παράσταση.



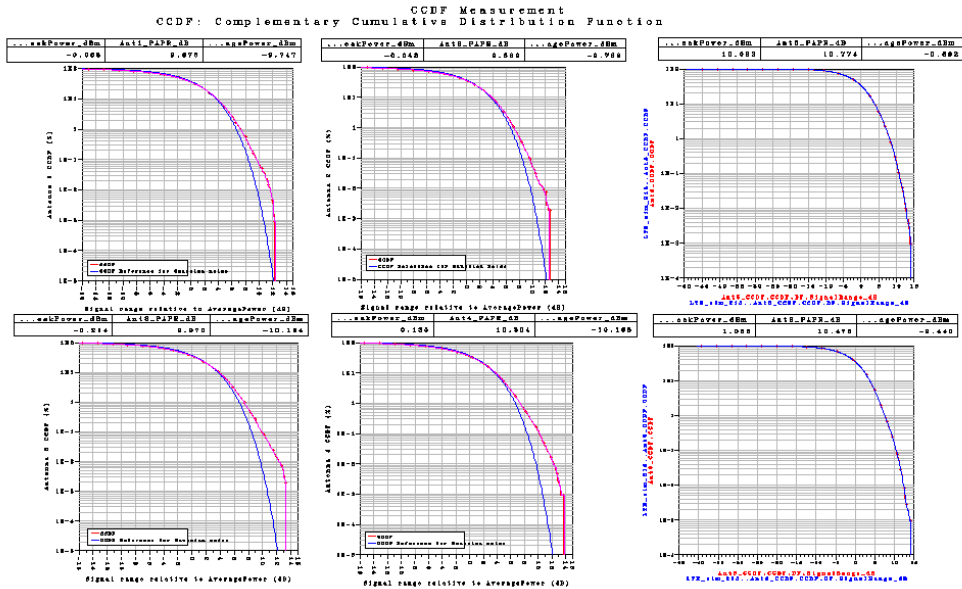
Σχήμα 138

Το LTE_sim_67 μαζί με το LTE_sim_103 δίνουν την γραφική παράσταση.



Σχήμα 139

Το LTE_sim_68 μαζί με το LTE_sim_104 δίνουν την γραφική παράσταση.



Σχήμα 140

Από τα σχήματα . 105 έως 140 βλέπουμε ότι στις γραφικές παραστάσεις δεν υπάρχει καμία αλλαγή στις γραφικές παραστάσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί μεταβάλαμε μόνο το Phase Imbalance. Αν είχαμε μεταβάλλει ή την διαμόρφωση ή το περιβάλλον τότε θα βλέπαμε αλλαγή στις γραφικές παραστάσεις CCDF.

Κεφάλαιο 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή είχε σαν θέμα την προσομοίωση ενός LTE δικτύου. Η προσομοίωση έγινε με την βοήθεια του προγράμματος ADS.

Από την πειραματική διαδικασία αλλάζοντας συγκεκριμένες παραμέτρους τις οποίες αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο παρατηρούμε ότι οι γραφικές παραστάσεις CDF που προκύπτουν δεν έχουν καμία μεταβολή. Αυτό συμβαίνει γιατί αλλάζουμε το Phase Imbalance. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουμε ούτε αύξηση αλλά ούτε μείωση του Λευκού Θορύβου προς το σήμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. <http://en.wikipedia.org/wiki/GSM>
- [2]. http://en.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service
- [3]. http://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_Data_Rates_for_GSM_Evolution
- [4]. http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System
- [5]. http://en.wikipedia.org/wiki/High_Speed_Packet_Access
- [6]. http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_%28telecommunication%29
- [7]. <http://en.wikipedia.org/wiki/E-UTRA>
- [8]. http://en.wikipedia.org/wiki/Duplex_%28telecommunications%29
- [9]. Yvonne Liu and Bai Ying Agilent Technologies-TD-LTE Technology
- [10]. <http://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>
- [11]. Agilent MIMO channel Modeling and Emulation Test Challenges.
- [12]. www.Πολυπλεξία_προγραμμάτων_με_διαμόρφωση_QAM.htm
- [13] Πτυχιακή εργασία του Σταύρου Νικολάου Σχεδίαση και υλοποίηση ψηφιακού δέκτη με διαμόρφωση QPSK.