



**Τ.Ε.Ι ΜΕΣΣΟΛΟΓΙΟΥ
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ)**

**ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΙΩΣΗΦΙΔΗ**

**ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ
ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΛΗΨΗΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΛΟΥΒΡΟΣ

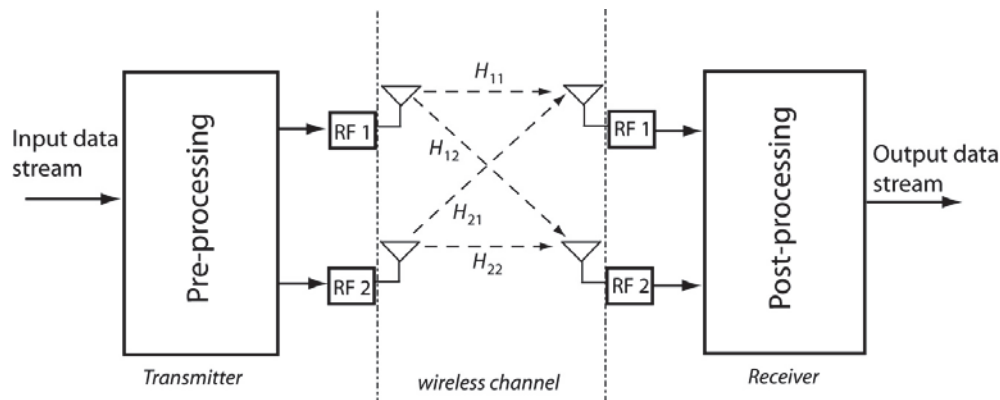
ΝΑΥΠΑΚΤΟΣ 2013

Η εργασία αυτή αφιερώνεται στον γιό μου Δημήτρη και στους γονείς μου.
22.10.2006-22.02.2007

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι α)η μελέτη των ασύρματων συστημάτων MIMO (Multiple Input–Multiple Output) .Τα MIMO συστήματα είναι διατάξεις κεραιών πολλών εισόδων και πολλών εξόδων ή γενικά $N_t \times N_r$ όπου N_t ο αριθμός των κεραιων που χρησιμοποιείται στην εκπομπή στον πομπό και N_r είναι ο αριθμός των κεραιών που χρησιμοποιείται στη λήψη στον δέκτη σε ασύρματη μετάδοση.Χρησιμοποιούμε παραπάνω από μια κεραιές για να βελτιωθεί ο σηματοθορυβικός λόγος (SNR) να περιοριστεί το φαινόμενο των διαλείψεων ειδικά σε κλειστούς χώρους με πολλους σκεδαστές να αυξήσουμε τον ρυθμό μετάδοσης εκμεταλλευόμενοι την πόλωση των κεραιών μεταξύ τους χωρο-χρονική κωδικοποίηση antenna διαφορισμό καθώς και την αμοιβαία σύζευξη που αναπτύσσεται σε γειτονικές κεραιές.

Εικόνα1



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1****ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ**

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.2 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΝΑΛΙΟΥ.....	7
1.3 ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ.....	9
1.3.1 ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ.....	12
1.3.2 ΣΦΑΙΡΕΣ ΣΥΜΠΗΚΝΩΣΗΣ.....	13
1.3.3 ΜΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ.....	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ**

2.1	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
2.1.1 ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ.....	16
2.1.1α ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ.....	17
2.1.1β ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΕΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ.....	18
2.1.3 RAYLEIGH.....	18
2.2 ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ.....	19
2.2.1.ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	19
2.2.2.ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ.....	19
2.2.2Α.ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΕΡΑΙΟΥΣ.....	20
2.2.3ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΛΩΣΗΣ.....	21
2.2.4 ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΧΩΡΟΥ.....	22
2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ.....	23
2.3.1ΚΑΝΑΛΙ ΜΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΙΑΣ ΕΞΟΔΟΥ.....	23
2.3.2ΚΑΝΑΛΙ ΜΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΠΟΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ.....	24
2.3.3ΚΑΝΑΛΙ ΠΟΛΛΩΝ ΕΙΣΟΔΩΝ ΜΙΑΣ ΕΞΟΔΟΥ.....	25
2.3.4ΚΑΝΑΛΙ ΠΟΛΛΩΝ ΕΙΣΟΔΩΝ ΠΟΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ.....	26
2.3.5ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΜΙΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	26
2.3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΥΣΙΑΣ ΓΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ.....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ
ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ SIMULINK**

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	30
3.2 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ SIMULINK.....	32
3.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑ SISO.....	38
3.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΙΑΣ ΕΞΟΔΟΥ(SISO).....	41
3.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΠΟΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ(SIMO).....	43
3.2.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΛΛΩΝ ΕΙΣΟΔΩΝ ΜΙΑΣ ΕΞΟΔΟΥ (MISO)....	44
3.2.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΛΛΩΝ ΕΙΣΟΔΩΝ ΠΟΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ(MIMO).....	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΟΥ-ΧΡΟΝΟΥ(SPACE TIME BLOCKCODING-STBC).....	48
4.2 ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ ΧΩΡΟΥ- ΧΡΟΝΟΥ(OSTBCS).....	48
4.3 ΔΕΚΤΕΣ ΣΤΑ MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	52
4.3.1 ΔΕΚΤΕΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑΣ (MAXIMUM LIKELIHOOD DIRECTOR ML).....	54
4.3.2 ΓΡΑΜΜΙΚΟΙ ΔΕΚΤΕΣ	55
4.3.3 ΔΕΚΤΕΣ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΚΥΡΩΣΗΣ BLAST(BELL LABS LAGEND SPACE TIME NULLING AND CANCELLING)	56
4.3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ CAPACITY ΣΕ MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΔΟΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ.....	60
5.1.1 QAM 16,32,64.....	60
5.1.2 16QAM-QPSK.....	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε βασικές έννοιες της ασύρματης επικοινωνίας. Καταρχήν με τον όρο ασύρματη επικοινωνία εννοούμε την μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που μεταφέρουν πληροφορίες από τον πομπό στον δέκτη διαμέσου του περιβάλλοντος χώρου. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε την χωρητικότητα των ασύρματων καναλιών και τις τεχνικές κωδικοποίησης για την επίτευξη μικρού αριθμού σφαλμάτων.

1.2 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

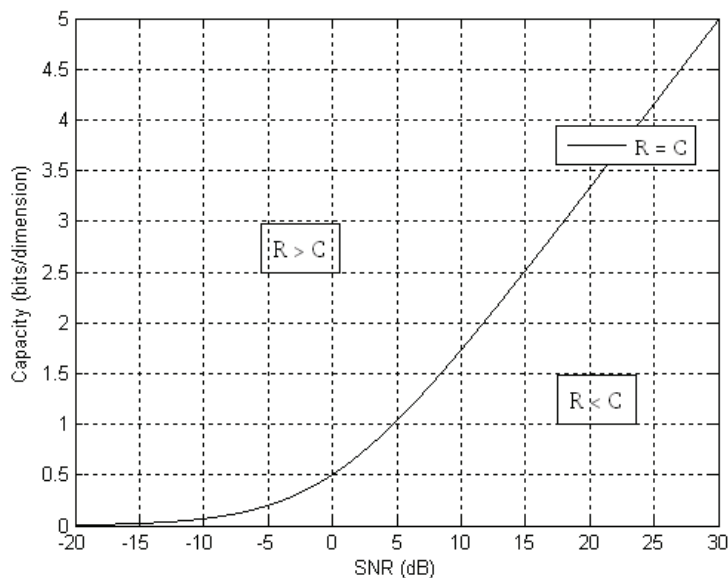
Στις τηλεπικοινωνίες **κανάλι** ορίζεται ο χώρος μετάδοσης της πληροφορίας ανάμεσα στον πομπό και δέκτη και **χωρητικότητα καναλιού** ονομάζεται η οριακή τιμή του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας μέσα από το κανάλι. Ο λόγος του ορισμού της χωρητικότητας απορρέει από το παρακάτω θεώρημα(θεώρημα **Shannon**), το οποίο είναι θεμελιώδες στην θεωρία των τηλεπικοινωνιών.

Θεώρημα: Αν ο ρυθμός πληροφορίας R είναι μικρότερος ή το πολύ ίσος με τη χωρητικότητα C του καναλιού, δηλαδή

$$R \leq C$$

τότε, υπάρχει πάντα μια τεχνική κωδικοποίησης, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση πληροφορίας μέσα από το κανάλι με οσοδήποτε μικρή πιθανότητα σφάλματος.

Αντίθετα, αν $R > C$, τότε δεν είναι δυνατή η μετάδοση μηνυμάτων χωρίς λάθη.



Εικόνα 1.1.0

Χωρητικότητα AWGN καναλιού για λευκή και γκαουσιανή πηγή πληροφορίας.

Όταν το κανάλι είναι συνεχούς χρόνου, με περιορισμένο εύρος ζώνης W και περιορισμό ισχύος μπορούμε δειγματοληπτώντας την έξοδο του με ρυθμό $2W$ να το μετατρέψουμε σε διακριτού χρόνου χρησιμοποιώντας τον τύπο

$C = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$ [bits/διάσταση], καταλήγουμε στον τύπο του Shannon

για την χωρητικότητα καναλιού συνεχούς χρόνου.

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ [bits/s]}. \quad (1.1.0)$$

Για αξιόπιστη μετάδοση ρυθμού $R < C$ ο παραπάνω τύπος γίνεται

$$R = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1.1.1)$$

Διαιρώντας τον ρυθμό με το εύρος ζώνης ,προκύπτει ένα νέο μέγεθος το οποίο ονομάζεται φασματική αποδοτικότητα(spectral bandwidth efficiency).

$$\eta = \frac{R}{W} < \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1.1.2)$$

Είναι ο κανονικοποιημένος στην μονάδα της συχνότητας ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας.Χρησιμοποιείται για την σύγκριση και αξιολόγηση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων .

$$\eta = \log_2 \left(1 + \frac{R E_b}{W N_0} \right) = \log_2 \left(1 + \eta \frac{E_b}{N_0} \right) \quad (1.1.3)$$

Ο τύπος αυτός δηλώνει μια σχέση συμβιβασμού μεταξύ της φασματικής αποδοτικότητας η , και της ενεργειακής αποδοτικότητας E_b / N_0 .

Γιά ρυθμό μετάδοσης ίσο με την χωρητικότητα του καναλιού($R=C$)

προκύπτει ο τύπος $\eta_{\max} = \log_2 \left(1 + \eta_{\max} \frac{E_b}{N_0} \right)$

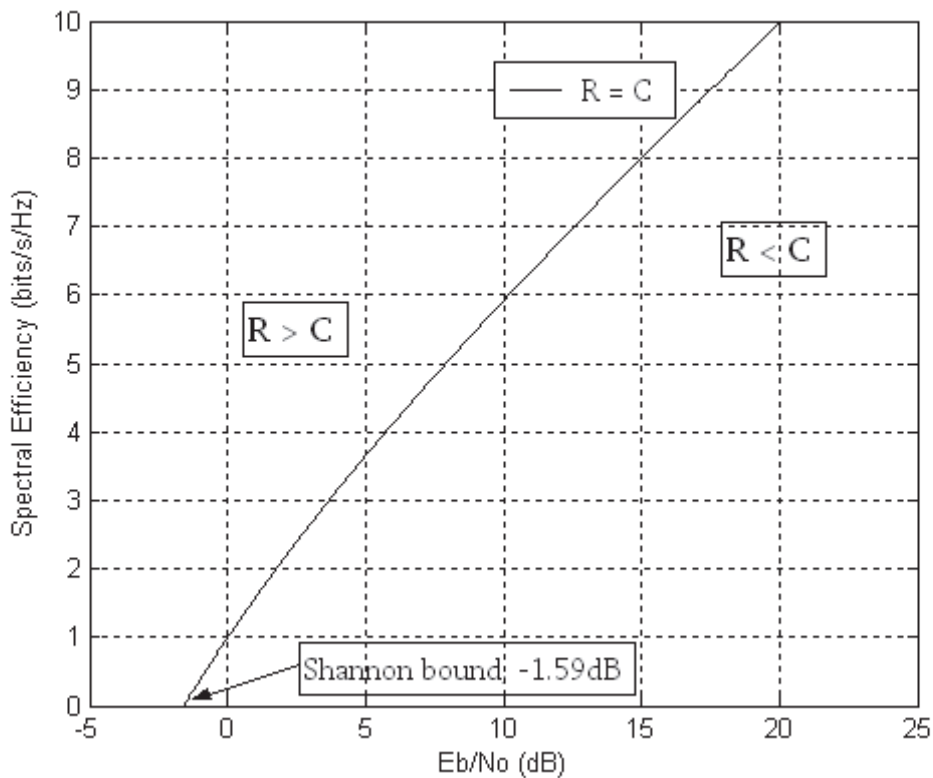
Ο παραπάνω τύπος λυμένος ως προς E_b / N_0 δίνει $\frac{E_b}{N_0} = \frac{2^{h_{\max}-1}}{h_{\max}}$ **(Σχέση**

1)

που είναι το περίφημο όριο Shannon (Shannon bound, Εικόνα 1.1.3), και το οποίο ορίζει κατά τον βέλτιστο τρόπο την απαιτούμενη σηματοθορυβική σχέση για την επίτευξη της χωρητικότητας, ιδωμένης ως μέγιστης φασματικής αποδοτικότητας. Ποιο είναι, δηλαδή, το ελάχιστο σηματοθορυβικό όριο για την αλάνθαστη (error free) αποστολή η_{\max} bits/s/Hz. Για παράδειγμα, μπορούμε να έχουμε ρυθμό μετάδοσης 3 bits/s/Hz με πιθανότητα σφάλματος έως και 0, αρκεί E_b/N_0 3.68dB. Η καμπύλη χωρίζει το επίπεδο (η , E_b/N_0) σε δύο περιοχές. Στην αριστερή είναι αδύνατη η αξιόπιστη μετάδοση ($R > C$), και στην δεξιά είναι επιτεύξιμη ($R < C$). Το απόλυτο όριο αξιόπιστης μετάδοσης είναι όταν $W \rightarrow \infty$, οπότε και μηδενίζεται η φασματική αποδοτικότητα, η . Σ' αυτήν την περίπτωση η Σχέση 1 δίνει

$$\frac{E_b}{N_0} = -1.59db$$

που είναι και το απόλυτο όριο Shannon.



Εικόνα 1.1.1

Περιοχή αξιόπιστης επικοινωνίας και όριο Shannon

1.3 ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ

Οι βασικοί πόροι ενός καναλιού ΠΛΓΘ είναι η λαμβανόμενη ισχύς P και το εύρος ζώνης W . Ας δούμε πρώτα πώς εξαρτάται η χωρητικότητα από την λαμβανόμενη ισχύ. Για αυτό τον σκοπό μια βασική παρατήρηση είναι ότι η συνάρτηση $f(\text{SNR}) := \log(1 + \text{SNR})$ είναι κοίλη δηλαδή $f''(x) < 0$ για κάθε $x \geq 0$. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της ισχύος υπόκειται στον νόμο της φθίνουσας περιθώριας απόδοσης: όσο μεγαλύτερο το SNR τόσο πιο μικρή η επίδραση του στην χωρητικότητα.

Έτσι όταν το SNR είναι χαμηλό η χωρητικότητα αυξάνει γραμμικά με την λαμβανόμενη ισχύ \bar{P} : για κάθε 3 db αύξησης της ισχύος διπλασιάζεται η χωρητικότητα. Όταν το SNR είναι υψηλό η χωρητικότητα αυξάνει λογαριθμικά με το \bar{P} : κάθε αύξηση 3 db δίνει μόνο ένα επιπλέον bit ανά

διάσταση. Τό φαινόμενο δεν πρέπει να μας εκπλήσσει καθώς όπως θα δούμε παρακάτω η συμπίκνωση πολλών bit ανά διάσταση δεν είναι καθόλου αποδότικη από την πλευρά της ισχύος.

Συνοψίζοντας υπάρχει δυνατότητα ανταλλαγής μεταξύ της ισχύος ανά δείγμα, P , και του εύρους ζώνης, W , υπο την έννοια ότι μείωση της μιας μπορεί να αντισταθμισθεί από την αύξηση της άλλης.

Η αύξηση της χωρητικότητας σε συνάρτηση με την ισχύ είναι λογαριθμική, δηλαδή είναι “αργή”.

Επίσης η χωρητικότητα του καναλιού μπορεί να αυξηθεί σε οποιαδήποτε τιμή αυξάνοντας την τιμή εισόδου.

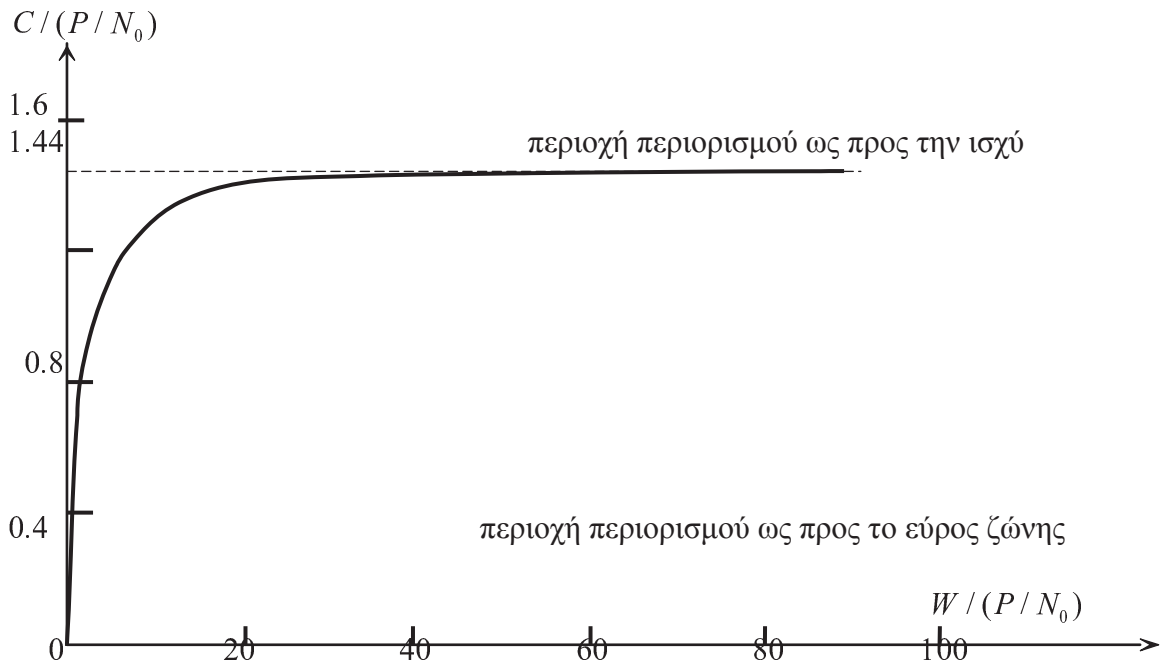
Η αύξηση του W έχει δύο αντίθετες επιπτώσεις

- Μ'ενα κανάλι μεγαλύτερου εύρους ζώνης μπορούμε να μεταδώσουμε περισσότερα δείγματα/sec και επομένως μπορούμε να επιτύχουμε υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης.
- Ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης σημαίνει υψηλότερο θόρυβο εισόδου στο δέκτη πράγμα που μειώνει την επιδοσή του.

Παρατηρούμε ότι

$$\lim C = \frac{P}{N_0} \log e = 1,44 \frac{P}{N_0}$$

Με την αύξηση του εύρους ζώνης δεν είναι δυνατή η αύξηση της χωρητικότητας μέχρι οποιαδήποτε επιθυμητή τιμή.

**Εικόνα 1.1.2**

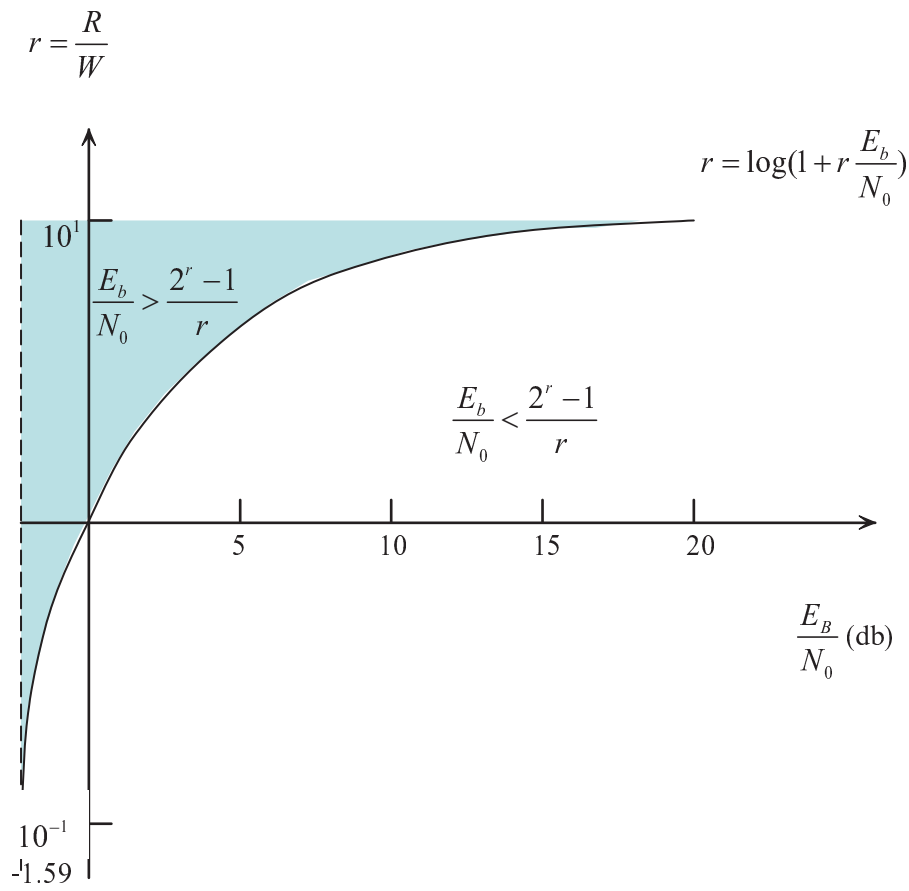
Γραφική παράσταση της χωρητικότητας καναλιού συναρτήσει του εύρους ζώνης.

Όταν το W αυξάνει η χωρητικότητα αυξάνει μονοτόνικα, γιατί ισχύει αυτό; Γιατί φτάνει στο ασυμπτωτικό όριο.

$$C_{\infty} = \frac{\bar{P}}{N_0} \log_2 e \text{ bit} / s$$

Όπως είδαμε και παραπάνω σε οποιοδήποτε πραγματικό σύστημα επικοινωνία πρέπει να ισχύει $R < C$.

Επίσης ορίζουμε ως φασματικό ρυθμό το $r = \frac{R}{W}$.



Εικόνα 1.1.3

Φασματικός ρυθμός bits συναρτήσσει του SNR/bit σ'ενα βέλτιστο σύστημα. Από την καμπύλη φαίνεται ότι

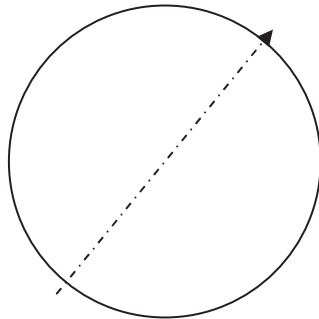
$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min} = \ln 2 = 0,694 \approx -1.6db$$

1.3.1

ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Με χρήση των μη κωδικοποιημένων συμβόλων BPSK $x(m) = \pm \sqrt{P}$ η πιθανότητα σφάλματος είναι $q(\sqrt{P}/\sigma^2)$. Για να την μειώσουμε μπορούμε να επαναλάβουμε τα ίδια σύμβολα N φορές για να μεταδώσουμε ενα bit πληροφορίας. Αυτός είναι ενας

επαναληπτικός κώδικας με μήκος μπλοκ N με κωδικές λέξεις $x(A) = \sqrt{p[1, \dots, 1]}^t$ και $x(B) = \sqrt{p[1, \dots, 1]}^t$. Οι κωδικές λέξεις ικανοποιούν ένα περιορισμό ισχύος p joule/σύμβολο. Συνεπώς το διάνυσμα που λαμβάνεται είναι $y = Xa + w$ όπου $w = w([1], \dots, w[N])^t$. Καταλαβαίνουμε ότι η επαναληπτική κωδικοποίηση σε ένα μεγάλο μπλόκ μπορεί να πετύχει αξιόπιστη επικοινωνία αλλά ο αντίστοιχος ρυθμός δεδομένων τείνει στο μηδέν όσο αυξάνεται το μήκος μπλόκ.



Εικόνα 1.1.4

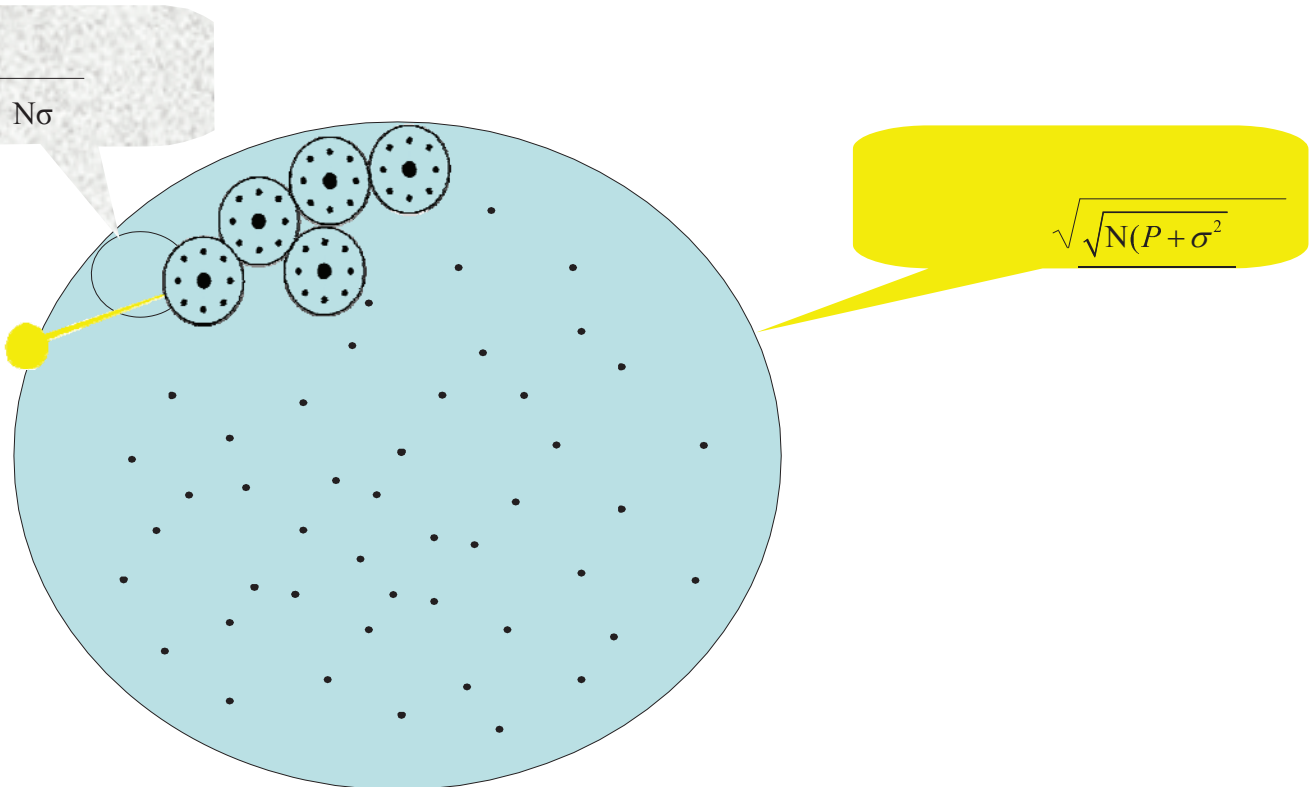
Επαναληπτική κωδικοποίηση συμπυκνώνει σημεία με μη αποδοτικό τρόπο στον πολυδιάστατο χώρο σημάτων.

1.3.2

ΣΦΑΙΡΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Σε αντίθεση με την επαναληπτική κωδικοποίηση που μόνο ένας μικρός αριθμός κωδικών λέξεων συμπυκνώνεται σε μια διάσταση, οι σφαίρες συμπίκνωσης εξαντλούν την χωρητικότητα καθώς είναι εξαπλωμένες στο χώρο. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε αξιόπιστη επικοινωνία όσο δεν επικαλύπτονται οι σφαίρες θορύβου γύρω από τις κωδικές λέξεις. Σύμφωνα με τον νόμο των μεγάλων αριθμών το λαμβανόμενο N -

διάστατο διάνυσμα $y=x+w$ θα βρίσκεται με μεγάλη πιθανότητα στο εσωτερικό μιας y -σφαίρας με ακτίνα $\sqrt{N\sigma^2}$ για μεγάλες τιμές του N το λαμβανόμενο διάνυσμα y βρίσκεται με μεγάλη πιθανότητα κοντά στην επιφάνεια μιας σφαίρας θορύβου με ακτίνα $\sqrt{N\sigma^2}$ γύρω από την εκπεμπόμενη κωδική λέξη.



Εικόνα 1.1.5
Σφαίρα συμπύκνωσης

Σφαίρες συμπύκνωσης

Ο μέγιστος αριθμός κωδικών λέξεων που μπορούν να συμπυκνωθούν με μη επικαλυπτόμενες σφαίρες θορύβου είναι ο λόγος του όγκου της y -σφαίρας προς τον

όγκο μιας σφαίρας θορύβου.
$$\left[\frac{(\sqrt{N(P+\sigma^2)})^N}{(\sqrt{N\sigma^2})^N} \right]^N$$

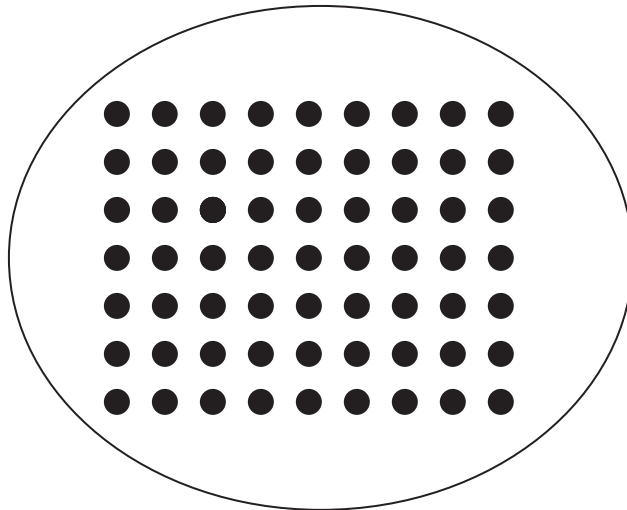
Αυτο σημαίνει ότι ο μέγιστος αριθμός bit ανά σύμβολο που μπορούν να σταλούν με

επιτυχία είναι $\frac{1}{N} \log \left[\frac{(\sqrt{N(P + \sigma^2)})^N}{(\sqrt{N\sigma^2})^N} \right] = \frac{1}{2} \log \left(1 + \frac{P}{\sigma^2} \right)$.

1.3.3

ΜΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΣΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Σε αυτή την περίπτωση η πιθανότητα σφάλματος είναι μεγάλη καθώς η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας θορύβου σε κάθε διάσταση είναι αρκετή για να μπερδέψει τον δέκτη



Εικόνα 1.1.5
N-διάστατος χώρος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

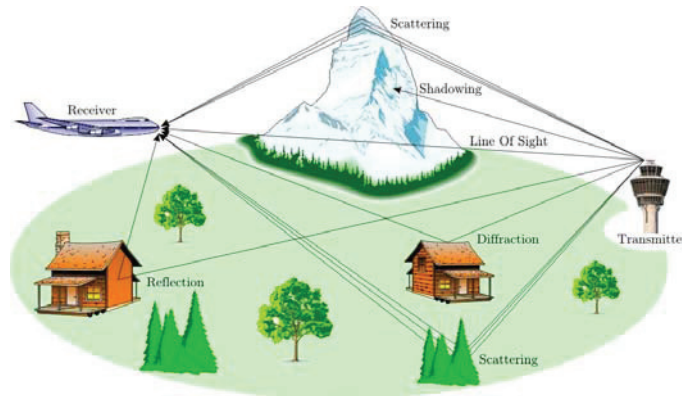
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε το φαινόμενο των διαλείψεων, καθώς και την τεχνική του διαφορισμού και της χωρητικότητας. Εν συνεχεία θα αναφέρουμε τα ασύρματα συστήματα και τις χαρακτηριστικές τους ιδιότητες.

2.1.1

ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ

Τό φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης (διαλείψεις) σε ένα περιβάλλον κινητών επικοινωνιών αφορά τα διαφορετικά μονοπάτια που ακολουθεί το σήμα μέχρι να φτάσει στο δέκτη. Αυτό συμβαίνει επειδή το ηλεκτομαγνητικό κύμα μπορεί να υποστεί τα φαινόμενα της ανάκλασης της περίθλασης και της σκέδασης κατά την πορεία διάδοσης. Έτσι στον δέκτη λαμβάνονται διαφορετικές συνιστώσες του εκπεμπόμενου σήματος οι οποίες αθροιζόμενες διανυσματικά οδηγούν στις αυξομειώσεις που παρατηρούνται στο πλάτος του σύνθετου λαμβανόμενου σήματος. Για την ακρίβεια οι συνιστώσες που φτάνουν στον δέκτη διαφέρουν ως προς τον χρόνο άφιξης, το πλάτος και την φάση.

**Εικόνα 1.1.6**

2.1.2

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ

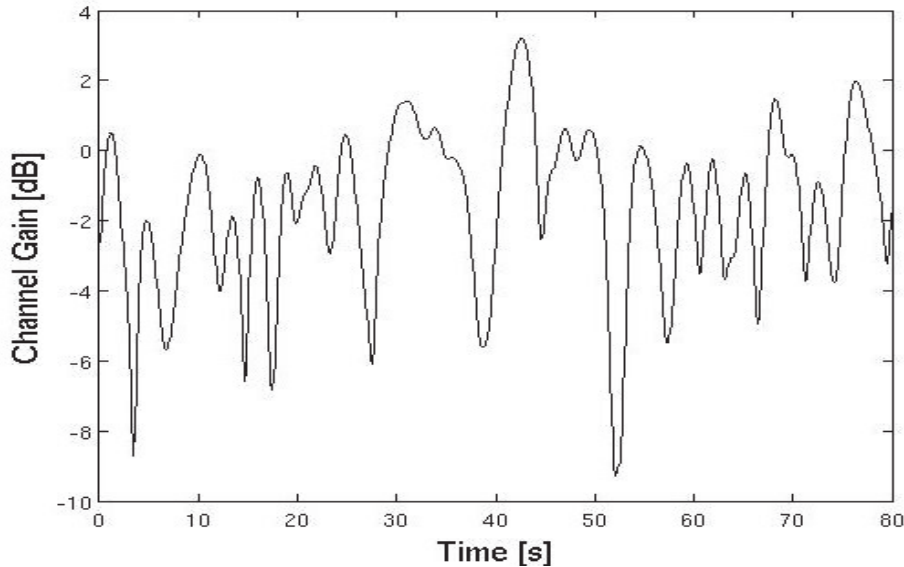
2.1.2.α Αργές και γρήγορες διαλείψεις (Slow and fast fading)

Η έννοια σχετίζεται με το χρόνο συνοχής (coherence time) του καναλιού, ο οποίος αντιπροσωπεύει την περίοδο κατά την οποία η επίδραση των διαλείψεων είναι συσχετισμένη (ή ισοδύναμα, η περίοδος του χρόνου μετά την οποία η συνάρτηση συσχέτισης δύο δειγμάτων της απόκρισης του καναλιού, που έχουν ληφθεί στην ίδια συχνότητα αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, πέφτει κάτω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι). Ο χρόνος συνοχής σχετίζεται επίσης με τη διασπορά Doppler (Doppler spread) f_d του καναλιού μέσω της σχέσης.

$$T_c \approx \frac{1}{f_d}$$

Οι διαλείψεις λέγεται ότι είναι αργές, όταν η διάρκεια του συμβόλου T_S είναι

μικρότερη του χρόνου συνοχής T_c του καναλιού, αλλιώς είναι γρήγορες. Κατά την ύπαρξη αργών διαλείψεων, μία συγκεκριμένη στάθμη διαλείψεων επιδρά σε πολλά διαδοχικά σύμβολα, ενώ όταν έχουμε γρήγορες διαλείψεις, αυτές επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο το κάθε σύμβολο.



Σχήμα 1.1.7: Απόκριση καναλιού σε περιβάλλον με διαλείψεις

2.1.2.β Διαλείψεις επιλεκτικές ως προς την συχνότητα

Η επιλεκτικότητα συχνότητας είναι επίσης ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των καναλιών που παρουσιάζουν διαλείψεις. Αν όλες οι φασματικές συνιστώσες του μεταδιδόμενου σήματος δέχονται όμοια επίδραση, οι διαλείψεις είναι μη επιλεκτικές στη συχνότητα ή ισοδύναμα επίπεδες. Αυτή η περίπτωση ισχύει για τα συστήματα στενής ζώνης (narrowband), στα οποία το εύρος ζώνης του εκπεμπόμενου σήματος είναι σημαντικά μικρότερο του εύρους ζώνης συνοχής (coherence bandwidth) f_c καναλιού. Αυτό το εύρος ζώνης αντιπροσωπεύει το εύρος συχνοτήτων για το οποίο οι διαλείψεις είναι συσχετισμένες και ορίζεται ως το εύρος ζώνης συχνοτήτων για το οποίο η συνάρτηση συσχέτισης δύο δειγμάτων της απόκρισης του καναλιού, που έχουν ληφθεί την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διαφορετική συχνότητα, πέφτει κάτω από μία κατάλληλη τιμή. Επιπλέον, το εύρος ζώνης συνοχής σχετίζεται με τη μέγιστη εξάπλωση καθυστέρησης (maximum delay spread) τ_{\max} μέσω της σχέσης.

$$f_c \approx \frac{1}{\tau_{\max}}$$

Από την άλλη πλευρά, αν οι φασματικές συνιστώσες του εκπεμπόμενου σήματος δέχονται επίδραση διαφορετικού κέρδους πλάτους και ολίσθησης φάσης, έχουμε επιλεκτικές στη συχνότητα διαλείψεις. Αυτή η περίπτωση ισχύει για ευρυζωνικά (wideband) συστήματα, στα οποία το εκπεμπόμενο εύρος ζώνης είναι μεγαλύτερο του εύρους ζώνης συνοχής του καναλιού.

2.1.3

RAYLEIGH

Η κατανομή Rayleigh χρησιμοποιείται συχνά σαν μοντέλο για τις διαλείψεις πολλαπλών οδεύσεων χωρίς άμεση οπτική επαφή (line-of-sight-LOS) μεταξύ πομπού και δέκτη. Σ' αυτή την περίπτωση, το πλάτος των διαλείψεων καναλιού a κατανέμεται σύμφωνα με τη σχέση

$$p_a(a) = \frac{2a}{\Omega} \exp\left(-\frac{a^2}{\Omega}\right), a \geq 0 \quad (2.1)$$

Το μοντέλο κατανομής Rayleigh συμφωνεί πολύ καλά με πειραματικά δεδομένα για συστήματα κινητής επικοινωνίας, όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ της κεραιάς εκπομπής και της κεραιάς λήψης.

2.2

ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ

Είδαμε παραπάνω ότι οι διαλείψεις εισάγουν σημαντική απώλεια της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος και υποβαθμίζουν την απόδοση του συστήματος. Μία από τις πιο αποτελεσματικές τεχνικές για την αντιμετώπιση των διαλείψεων είναι ο κατάλληλος συνδυασμός αντιγράφων του σήματος που προέρχονται από διαφορετικές διαδρομές. Η τεχνική αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι τα αντίγραφα αυτά, υπάρχει χαμηλή πιθανότητα να υποστούν βαθιές διαλείψεις ταυτόχρονα. Επομένως η ιδέα πίσω από τον διαφορισμό είναι η εκπομπή των ίδιων δεδομένων από ανεξάρτητα κανάλια. Το

πλεονέκτημα που προκύπτει από την ύπαρξη διαφορισμού σε ένα σύστημα λέγεται κέρδος διαφορισμού G_d και ουσιαστικά είναι η κλίση της καμπύλης πιθανότητας P_e (dB) ως προς το SNR (dB) για πολύ μεγάλες τιμές του SNR.

2.2.1

ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Κατά την μετάδοση μέσα από ένα ευρυζωνικό κανάλι, παρουσιάζονται διαλείψεις επιλεκτικές στη συχνότητα, δηλαδή κάθε φασματική συνιστώσα του σήματος επηρεάζεται με διαφορετικό τρόπο. Σκοπός είναι η καταπολέμηση αυτών των διαλείψεων που προκαλούν ενδοσυμβολική παρεμβολή και αυτό επιτυγχάνεται με τις τεχνικές CDMA και OFDM. Το κύριο πλεονέκτημα που προσφέρει η τεχνική OFDM είναι ο τρόπος με τον οποίο χειρίζεται την εξάπλωση καθυστέρησης (delay spread) των πολλαπλών οδύσεων (multipath) του λαμβανόμενου σήματος. Με την διαίρεση ακολουθίας των δεδομένων εισόδου N_s φέροντα η διάρκεια του κάθε συμβόλου αυξάνεται κατά N_s φορές και γίνεται μεγαλύτερη από την εξάπλωση καθυστέρησης.

2.2.2

ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΧΩΡΟΥ

Είναι η τεχνική η οποία χρησιμοποιείται στα συστήματα που χρησιμοποιούν πολλαπλές κεραιές εκπομπής και λήψης. Η τεχνική αυτή αναφέρεται στην λήψη του ίδιου σήματος από πολλές κεραιές στον δέκτη, ο λεγόμενος συνδυασμός μέγιστου λόγου (maximum ratio combining), παρόμοιες τεχνικές αποτελούν ο συνδυασμός ίσου κέρδους (Equal Gain Combining-EGC), ο συνδυασμός τετραγωνικού νόμου (Square Law Combining-SLC) και ο συνδυασμός επιλογής (Selection Combining-SC). Για την περίπτωση της χρήσης πολλαπλών κεραιών στον πομπό, έχει αποδειχθεί ότι διαφορισμός επιτυγχάνεται μόνο στη περίπτωση που υπάρχει γνώση του καναλιού από αυτόν (τεχνικές Beamforming).

2.2.2.α.

ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΙΣΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ

Σε αυτή την περίπτωση επιλέγεται η κεραιά με το καλύτερο σήμα (συνήθως η ισχύς του σήματος λαμβάνεται ως ένα μέτρο της ποιότητας του σήματος, αλλά και άλλα μέτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως είναι το ποσοστό σφάλματος(BER,bit error rate).

ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΙΣΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ

Ο ίσου κέρδους (equal gain) διαφορισμός επιδιώκει να βελτιώσει την ισχύ ή το BER προσπαθώντας να φέρει τα σήματα στην ίδια φάση και έπειτα να τα προσθέσει μεταξύ τους.

ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΛΟΓΟΥ

Ο MRC είναι η βέλτιστη μέθοδος παρουσία θορύβου και στάθμισης των βαρών που πολ/ζονται σεκάθε σήμα (φέρνοντας τα σήματα παράλληλα στην ίδια φάση) πριν από το συνδυασμό και πρόσθεση των SNRs τους.

2.2.3

ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΛΩΣΗΣ

Ο διαφορισμός πόλωσης αποτελεί μια έξυπνη ιδέα αντικατάστασης αρχικά δύο απομακρυσμένων κεραιών από μία η οποία δύναται να υποστηρίξει εκπομπή/λήψη με δύο είδη πολώσεων, δηλαδή οριζόντια και κάθετη. Παρ' όλα αυτά, λόγω αδυναμίας τέλειας πόλωσης στα πρακτικά συστήματα, η ποιότητα επικοινωνίας περιορίζεται εξαιτίας παρεμβολής των σημάτων που εκπέμπονται με τις δύο διαφορετικές πολώσεις.

2.2.4

ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ

Εφαρμόζεται μεταδίδοντας την ίδια πληροφορία σε L διαφορετικές χρονοθυρίδες που απέχουν ικανοποιητικά μεταξύ τους.

Μέ βαση τα παραπάνω γίνεται φανερό οτι ο διαφορισμός συχνότητας και χρόνου που χρησιμοποιεί αντίγραφα του ίδιου μηνύματος αυξάνει τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης για συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης κατα ένα παράγοντα L ενώ ο διαφορισμός κεραιών αν και δεν αυξάνει το απαιτούμενο εύρος ζώνης, απαιτεί περισσότερο χώρο.

2.3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Εισαγωγή

Τά ασύρματα συστήματα χωρίζονται ανάλογα με τον αριθμό κεραιών που διαθέτουν σε siso(single input-single output) σε miso(multiple input-single output) σε simo(single input-multiple output) και σε mimo(multiple input-multiple output) πριν αρχίσουμε την περιγραφή του κάθε συστήματος ξεχωριστά θα εξηγήσουμε γιατί τα συστήματα πολλαπλών κεραιών υπερτερούν έναντι των μονών κεραιών μετάδοσης.

1)Κέρδος στοιχειοκεραίας (Array gain): Λόγω της χρήσης των πολλαπλών κεραιών, το κέρδος κεραιών αυξάνεται και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε αυξημένη εμβέλεια και κάλυψη. Αυτό είναι χρήσιμο στις απομακρυσμένες περιοχές με το χαμηλό πληθυσμό. Έτσι, μια μεγάλη περιοχή μπορεί να εξυπηρετηθεί με λιγότερες βάσεις-σταθμούς (base station).

2)Καταπίεση παρεμβολής (Interference suppression): Με τη χρησιμοποίηση της χωρικής διάστασης που παρέχεται από τις πολλαπλές κεραιές, μπορούμε να

καταπιέσουμε τις παρεμβολές με έναν τρόπο που δεν μπορεί να γίνει με μια κεραιά. Ως εκ τούτου, το σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί για να είναι λιγότερο ευαίσθητο στις παρεμβολές και η απόσταση μεταξύ των σταθμών βάσης που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα καναλιού μπορεί να μειωθεί, το οποίο είναι ευεργετικό στις πυκνά κατοικημένες περιοχές. Αυτό οδηγεί σε μια αύξηση της χωρητικότητας του ασύρματου συστήματος (system capacity).

3)Χωρική διαφορικότητα (Spatial diversity): Οι πολλαπλές κεραιές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να αντιμετωπίσουν τις διαλείψεις του καναλιού λόγω της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών (multipath propagation). Οι πολλαπλές κεραιές λαμβάνουν τα σήματα που έχουν διαδοθεί μέσω του καναλιού με διάφορες διαλείψεις στο δέκτη. Έτσι, η πιθανότητα όλα τα λαμβανόμενα σήματα να είναι ταυτόχρονα ίδια είναι μικρή.

4)Εντοπισμός πομπού (Transmitter localization): Η κεραιά του δέκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εντοπίσει τον πομπό, ακριβώς όπως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα και τα δύο αυτιά μας για να εντοπίσουμε την πηγή ενός ήχου σε ένα δωμάτιο χωρίς χρησιμοποίηση των ματιών μας. Αυτό έχει εφαρμογή στις θέσεις προσδιορισμού και τον εντοπισμό κλήσης έκτακτης ανάγκης.

2.3.1

ΚΑΝΑΛΙ ΜΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΙΑΣ ΕΞΟΔΟΥ(SISO)

Αυτό το σύστημα αποτελείται από μία κεραιά εκπομπής και μία κεραιά λήψης. Είναι η πιο απλή αρχιτεκτονική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια από τότε που εμφανίστηκαν οι ασύρματες επικοινωνίες. Είναι ευάλωτο στις διαλείψεις καθώς δεν επιτυγχάνεται διαφορισμός.

2.3.2

Κανάλια μίας εισόδου –πολλών εξόδων (SIMO)

Θεωρούμε ένα κανάλι SIMO με μία κεραία εκπομπής και L κεραιές λήψης :

$$y_\ell[m] = h_\ell x[m] + w_\ell[m] \quad \ell = 1, \dots, L$$

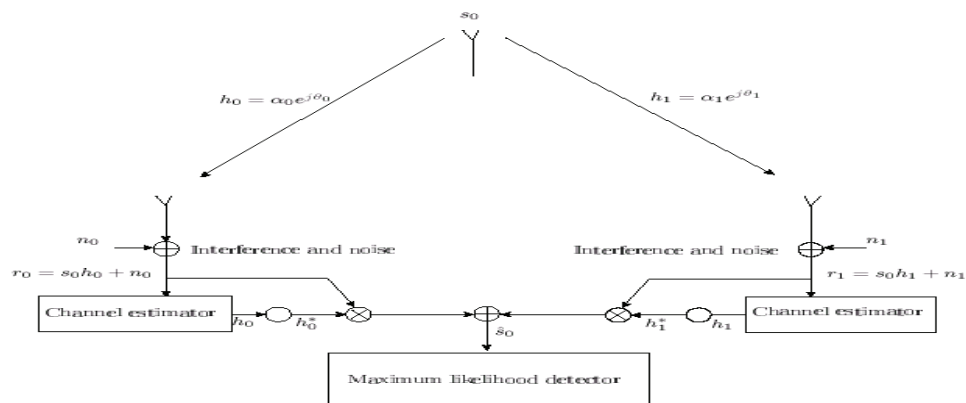
Όπου y_ℓ είναι η σταθερή μιγαδικά απολαβή τού καναλιού από την κεραία εκπομπής προς την ℓ -οστή κεραία λήψης, και w_ℓ ο προσθετικός γκαουσιανός θόρυβος, ανεξάρτητος μεταξύ τών κεραιών. Μία επαρκής στατιστική τιμή για την ανίχνευση του $x[m]$ από το $y[m] := [y_1[m], \dots, y_L[m]]^t$ είναι η

$$\hat{y}[m] := h^* [m] = \|h\|^2 x[m] + h^* w[m] .$$

Όπου $h = [h_1, \dots, h_L]^t$ και $[w_1[m], \dots, w_L[m]]^t$. Αυτό είναι ένα κανάλι ΠΛΓΘ με λαμβανόμενο SNR $P \|h\|^2 / N_0$, με P τη μέση ενέργεια ανά εκπεμπόμενο σύμβολο. Έτσι η χωρητικότητα αυτού του καναλιού είναι

$$C = \log \left(1 + \frac{P \|h\|^2}{N_0} \right) \text{bits / HZ} .$$

Οι πολλές κεραιές εκπομπής αυξάνουν την ενεργό τιμή του SNR και δίνουν απολαβή ισχύος. Για παράδειγμα, για $L=2$ και $|h_1| = |h_2| = 1$, πο διπλές κεραιές λήψης δίνουν απολαβή ισχύος 3 db παραπάνω απο την περίπτωση μίας κεραιάς λήψης. Ο γραμμικός συνδυασμός της εξίσωσης (1.2.2) μεγιστοποιεί το λόγο SNR στην έξοδο και μερικές φορές ονομάζεται μορφοποίηση δέσμης λήψης η και σχηματισμός δέσμης λήψης.

**Σχήμα 1.1.8****Απεικόνιση simo συστήματος****2.3.3****Κανάλια πολλών εισόδων –μίας εξόδου(MISO)**

Σε αυτήν την περίπτωση θεωρούμε ένα κανάλι MISO με L κεραιές εκπομπής και μία κεραιά λήψης :

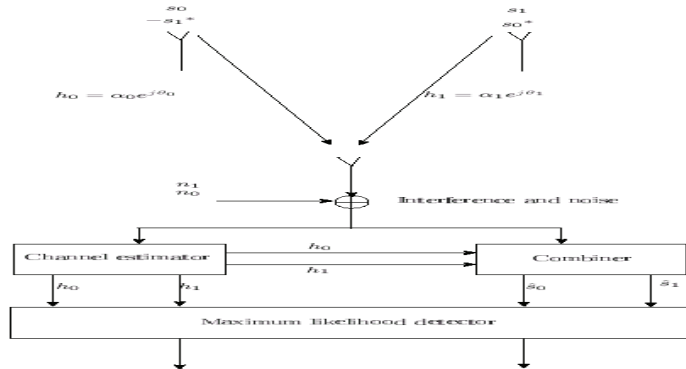
$$y[m] = h^* x[m] + w[m]$$

Τα συστήματα πολλαπλών κεραιών μίας κεραιάς λήψης παρέχουν διαφορισμό στον πομπό ,διανέμοντας ισομερώς την παρεχόμενη ισχύ στις κεραιές εκπομπής .Ας υποθέσουμε οτι έχουμε N_i κεραιές εκπομπής και μια κεραιά λήψης .Θεωρούμε οτι το κέρδος του i καναλιού $h_i e^{i\theta_i}$ και είναι γνωστό απο τον πομπό.Το εκπεμπόμενο σήμα s ,που έχει συνολική ενέργεια E_s , πολλαπλασιάζεται στον πομπό με τον μιγαδικό συντελεστή $a_i e^{-i\theta_i}$, $0 \leq a_i \leq 1$, όπου η ποσότητα a_i είναι ανάλογη του κέρδους του καναλιού ,και εκπέμπεται απο την i κεραιά.Εξαιτίας της συνολικής ενέργειας

E_s ,τα βάρη πρέπει να ικανοποιούν τη σχέση $\sum_{i=1}^{N_i} a_i^2 = 1$.Τα εκπεμπόμενα από

κάθε κεραιά σύμβολα προστίθεται μετά την εκπομπή τους και το σήμα στο

δέκτη έχει την μορφή $r = \sum_{i=1}^{N_t} |a_i| |h_i| s$



Σχήμα 1.1.9

Απεικόνιση MISO συστήματος

Τέτοια συστήματα βρίσκουν εφαρμογή στην κάτω ζεύξη (downlink) των κινητών επικοινωνιών, όπου χώρος, ισχύς και δυνατότητα επεξεργασίας είναι διαθέσιμα στην πλευρά του πομπού (σταθμός βάσης).

2.3.4

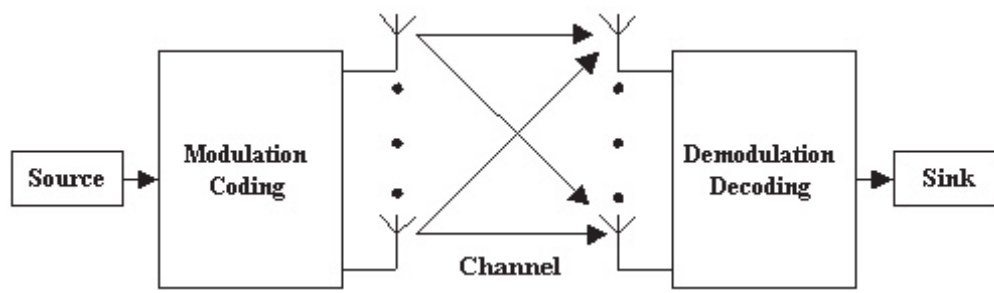
Κανάλια πολλών εισόδων –πολλών εξόδων(MIMO)

Ένα MIMO σύστημα με N_t κεραιές εκπομπής και N_r κεραιές λήψης μπορεί να αναπαρασταθεί από το παρακάτω μοντέλο

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{N_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1N_t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_r 1} & \dots & h_{N_r N_t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{N_t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix}$$

ή απλούστερα $\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n}$, όπου \mathbf{y} αναπαριστά τα λαμβανόμενα σήματα από τις N_r κεραιές λήψης, \mathbf{H} είναι ο $N_r \times N_t$ πίνακας των κερδών καναλιού h_{ij} που αντιπροσωπεύουν τις διαλείψεις από την κεραιά εκπομπής j στην κεραιά λήψης i ,

x είναι το διάνυσμα των σημάτων που εκπέμπονται από τις i/N κεραιές και n οι τιμές του θορύβου για κάθε κεραιά λήψης. Τα συστήματα MIMO περιλαμβάνουν διάφορες τεχνικές μετάδοσης που εστιάζουν είτε στην αξιοπιστία των υπηρεσιών μετάδοσης, δηλαδή στην μείωση της πιθανότητας σφάλματος που επιτυγχάνεται με ενίσχυση της σηματοθορυβικής σχέσης, είτε στην αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, μέσω της ταυτόχρονης μετάδοσης πακέτων δεδομένων από διαφορετικές κεραιές.



Σχήμα 1.1.9

Απεικόνιση mimo συστήματος

2.3.5

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η χωρητικότητα ενός ασύρματου συστήματος MIMO με M κεραιές εκπομπής και N κεραιές λήψης δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$C = \max_{R_S: \text{Tr}(R_S) \leq P^{S,av}} \log_2 \frac{\det(HR_S H^H + R_n)}{\det(R_n)}$$

Όπου

- $R_S = E\{ss^H\} \in C^{M \times M}$ εκφράζει την συμμεταβλητότητα των μεταδιδόμενων συμβόλων(s)
- $R_n = E\{nn^H\} \in C^{N \times N}$ εκφράζει την συμμεταβλητότητα του θορύβου
- $P^{s,av}$ εκφράζει την μέση εκπεμπόμενη ισχύ.

Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε λευκό προσθετικό Gaussian θόρυβο(AWGN) τα στοιχεία του (n) θα είναι ανεξάρτητες ομοιόμορφα κατανομημένες τυχαίες μεταβλητές με διακύμανση N_0 και η έκφραση της χωρητικότητας γίνεται

$$c = \max_{R_S: Tr(R_S) \leq P^{s,av}} \log_2 \left(I + \frac{HR_S H^H}{N_0} \right)$$

Όπου I είναι ο μοναδιαίος πίνακας $N \times N$.

Μία άλλη έκφραση για την χωρητικότητα του MIMO συστήματος μπορεί να προκύψει ως εξής

$$c = \max_{R_S: Tr(R_S) \leq P^{s,av}} \log_2 \left(1 + \frac{\Lambda_{ii}}{N_0} \right)$$

Όπου Λ_{ii} είναι η i-οστή ιδιότητα του πίνακα $HR_S H^H = \xi \Lambda \xi^H$ προκύπτει από την μέθοδο **EVD**(eigenvector decomposition). Εδώ ξ είναι ο πίνακας που περιέχει τα ιδιοδιανύσματα του $HR_S H^H$. Ο πίνακας $HR_S H^H$ εκφράζει την συμμεταβλητότητα του λαμβανόμενου σήματος απουσία θορύβου, έτσι η ιδιότητα Λ_{ii} εκφράζει την στάθμη της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος στο I υπό-κανάλι(eigenchannel). Ως υπό-κανάλι η ιδιόρρυθμο θεωρούμε ένα ισοδύναμο μη συζευγμένο SISO μεταξύ των κεραίων εκπομπής και λήψης. Με άλλα λόγια εφαρμόζοντας την μέθοδο **EVD** στον $HR_S H^H$ σχηματίζουμε μια εικόνα για τον αριθμό των ανεξάρτητων μη συζευγμένων SISO καναλιών που μπορούν να παραχθούν.

2.3.6**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΥΣΙΑΣ ΓΝΩΣΗΣ
ΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ**

Στην ειδική περίπτωση, όπου ο πομπός δεν γνωρίζει τα στοιχεία του καναλιού, δηλαδή τον πίνακα καναλιού \mathbf{H} , η εκπεμπόμενη ισχύς κατανέμεται εξίσου σε όλες τις κεραιές εκπομπής έτσι ισχύει $R_s = \frac{P^{S,av}}{M} I$. Σε αυτή την περίπτωση, η χωρητικότητα του καναλιού δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$C = \max_{R_s: \text{Tr}(R_s) \leq P^{S,av}} \log_2 \left(I + \frac{SNR}{M} \mathbf{H}\mathbf{H}^H \right)$$

Όπου $SNR = \frac{P^{S,av}}{N_0}$ είναι ο μέσος λόγος σήματος προς θόρυβο στον πομπό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ SIMULINK****3.1 Εισαγωγή στο simulink**

Το simulink είναι ένα πρόγραμμα το οποίο μας επιτρέπει να μοντελοποιούμε και να αναλύουμε συστήματα των οποίων οι έξοδοι μεταβάλλονται με το χρόνο. Τέτοιου είδους συστήματα αναφέρονται ως δυναμικά. Το simulink χρησιμοποιείται για να μελετηθεί η συμπεριφορά ενός μεγάλου εύρους δυναμικών συστημάτων συμπεριλαμβάνοντας ηλεκτρικά κυκλώματα, μηχανικά και θερμοδυναμικά συστήματα.

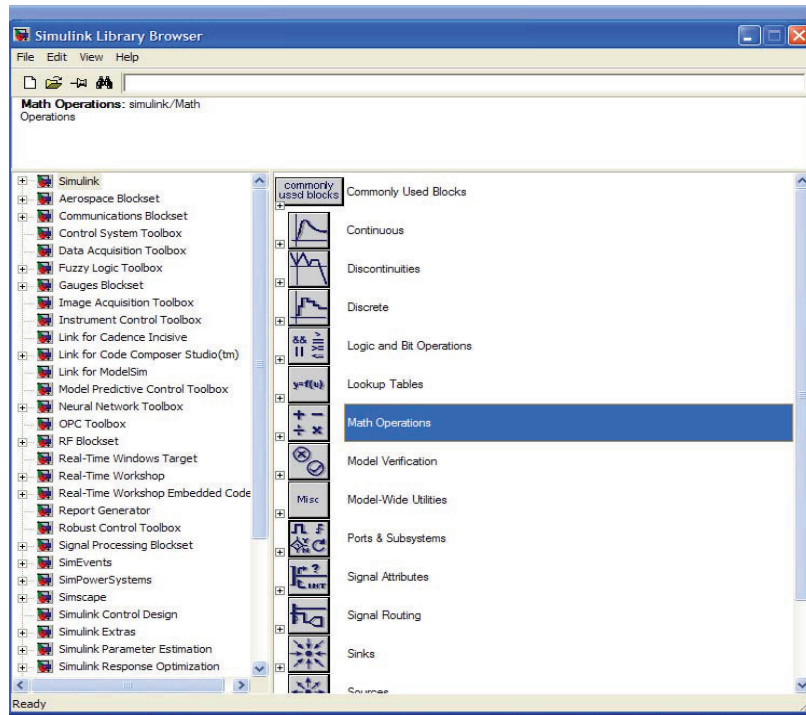
Υποστηρίζει ακόμη και μη γραμμικά συστήματα τα οποία λειτουργούν σε συνεχείς τιμές του χρόνου, σε διακριτές ή σε ένα συνδυασμό και των δύο. Τα συστήματα μπορεί επίσης να είναι πολύρρυθμα, δηλαδή διαφορετικά τμήματα του ίδιου συστήματος να ανανεώνονται με διαφορετική ταχύτητα. Το simulink επιτρέπει να θέσουμε μια ερώτηση αναφορικά με τη συμπεριφορά ενός συστήματος, να το υλοποιήσουμε και να δούμε τι θα συμβεί τελικά. Με το πρόγραμμα αυτό δίνεται η δυνατότητα να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο συστήματος από την αρχή ή να χρησιμοποιήσουμε ένα από τα ήδη υπάρχοντα και να το τροποποιήσουμε.

Η προσομοίωση ενός δυναμικού συστήματος είναι μια διαδικασία δύο βημάτων. Πρώτον ο χρήστης δημιουργεί ένα μπλοκ διάγραμμα χρησιμοποιώντας το simulink model editor το οποίο αναπαριστά γραφικά εξαρτημένες από το χρόνο μαθηματικές εκφράσεις ανάμεσα στις εισόδους, εξόδους και τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος. Έπειτα ο χρήστης δίνει εντολή στο simulink να προσομοιώσει το σύστημα που δημιουργήθηκε από μία αρχική χρονική στιγμή μέχρι μια τελική.

Ένα μπλοκ διάγραμμα είναι η γραφική αναπαράσταση του μαθηματικού μοντέλου ενός δυναμικού συστήματος. Ένα μαθηματικό μοντέλο ενός δυναμικού συστήματος περιγράφεται από ένα σύνολο εξισώσεων. Οι μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφονται από ένα μπλοκ διάγραμμα είναι συνήθως αλγεβρικές ή διαφορικές συναρτήσεις.

Η προσομοίωση ενός δυναμικού συστήματος αναφέρεται στη διαδικασία υπολογισμού των παραμέτρων και των εξόδων ενός συστήματος σε ένα χρονικό διάστημα, χρησιμοποιώντας πληροφορίες που παρέχονται από το μοντέλο του συστήματος. Το simulink προσομοιώνει ένα σύστημα όταν επιλέγουμε την εντολή Start από το μενού του Model editor.

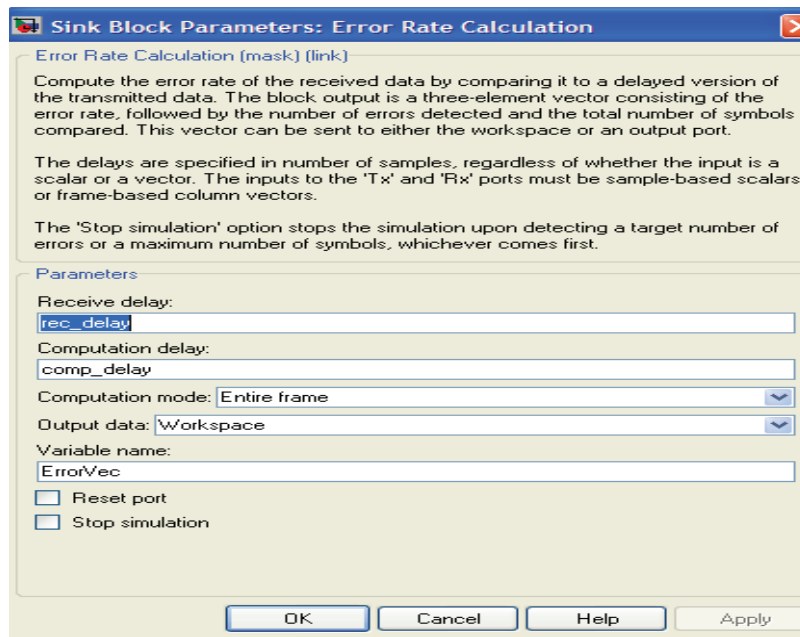
Για να ξεκινήσει το simulink ανοίγουμε το MATLAB και γράφουμε simulink στη γραμμή εντολών ή επιλέγουμε το αντίστοιχο εικονίδιο. Εμφανίζεται έτσι η “βιβλιοθήκη” του προγράμματος η οποία έχει τη μορφή δενδροδιαγράμματος όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 3.1 βιβλιοθήκη simulink

Με την εντολή `create an empty model` εμφανίζεται ένα κενό παράθυρο στο οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε το προς μελέτη σύστημα. Στη συνέχεια από τα οργανωμένα μπλοκ σύνολα που υπάρχουν επιλέγουμε αυτά που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε επιμέρους.

Στην εκπόνηση της παρούσης διπλωματικής εργασίας ασχοληθήκαμε κυρίως με τις κατηγορίες που αναφέρονται σε τηλεπικοινωνίες και συνθήκες πραγματικού χρόνου (*real time*). Τα πιο χαρακτηριστικά από αυτά, μιας και κύριος στόχος της διπλωματικής ήταν η δημιουργία SISO, SIMO, MISO και MIMO συστημάτων, ήταν γεννήτριες παραγωγής σημάτων, κανάλια AWGN, διαμορφωτές και αποδιαμορφωτές καθώς και μπλοκ που εισάγουν διαλείψεις Rayleigh.



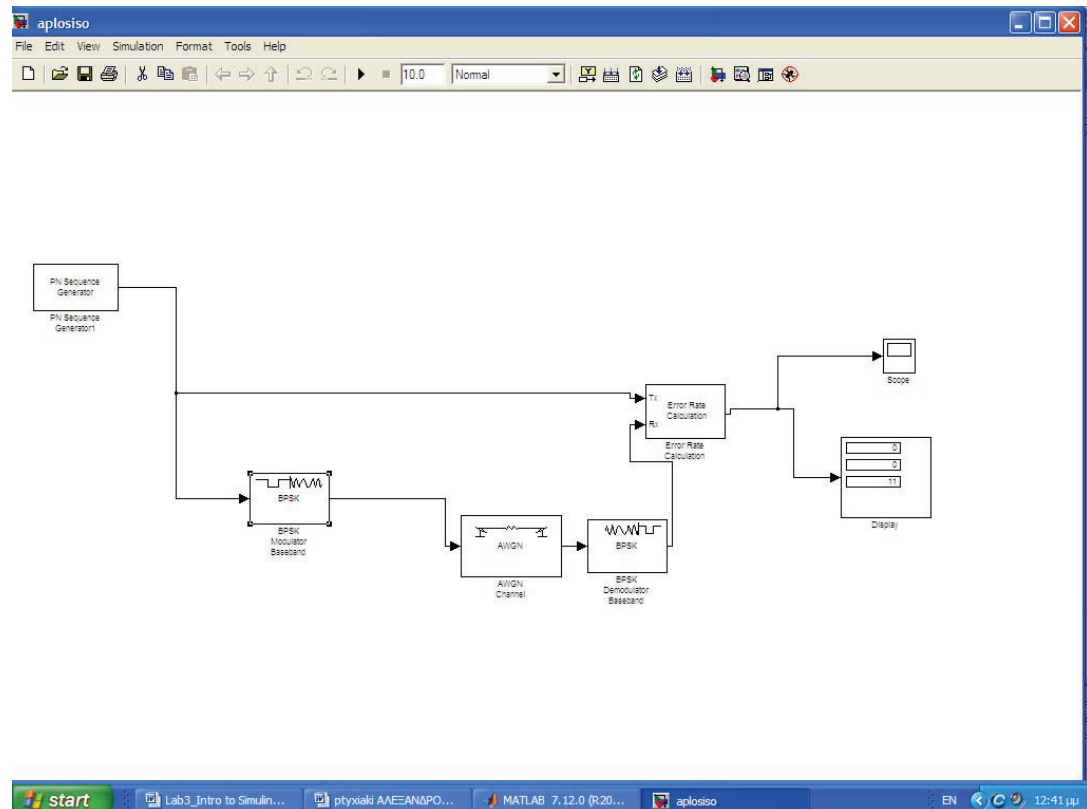
Εικόνα 3.2 Παράθυρο διαλόγου του καταμετρητή σφαλμάτων

3.2 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ SIMULINK

3.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑ SISO

Θα ξεκινήσουμε με την πιο απλη περίπτωση καναλιού αυτή του προσθετικού λευκού θορύβου (Additive White Gaussian Noise-AWGN) δηλαδή θορύβου με ομοιόμορφη πυκνότητα φασματικής ισχύος, όπου όλες οι συχνότητες εμφανίζονται με ίση ισχύ. Έχει αποδειχτεί ότι ο θερμικός θόρυβος στις ηλεκτρονικές διατάξεις, που παράγεται

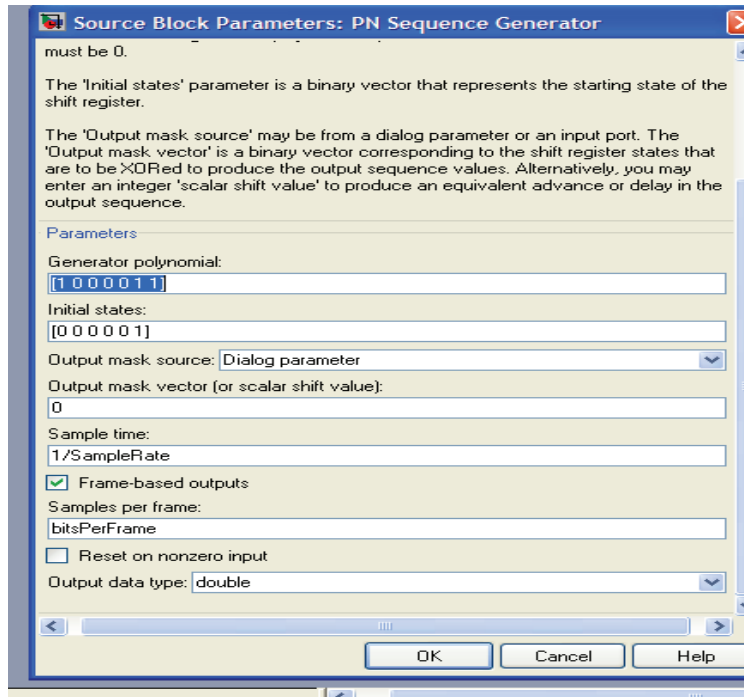
από την τυχαία κίνηση των ηλεκτρονίων μπορεί να μοντελοποιηθεί ως Gaussian διαδικασία.



Εικόνα 3.3 μπλοκ διάγραμμα siso συστήματος με bpsk διαμόρφωση

Τα επιμέρους στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος είναι:

Γεννήτρια παραγωγής ακολουθίας συμβόλων εισόδου (PN sequence generator): Παράγει μια ψευδοτυχαία ακολουθία θορύβου χρησιμοποιώντας έναν γραμμικής ανάδρασης καταχωρητή μετακινήσεων ψηφίων (linear feedback shift register – LFSR). Ο LFSR υλοποιείται χρησιμοποιώντας μια απλή διάταξη ενός καταχωρητή μετακινήσεων ψηφίων. Το dialog box είναι αυτό που παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 3.3: Dialog Box γεννήτριας PN

Οι τιμές της παραμέτρου πολυώνυμο γεννήτριας (generator polynomial) καθορίζουν τη σύνθεση του καταχωρητή μετακινήσεων ψηφίων. Οι τιμές αυτές μπορεί να έχουν τη μορφή είτε ενός δυαδικού διανύσματος (στην περίπτωση αυτή η πρώτη και η τελευταία τιμή πρέπει να είναι μονάδα), είτε ενός πολυωνύμου (το τελευταίο στοιχείο να είναι μηδέν)

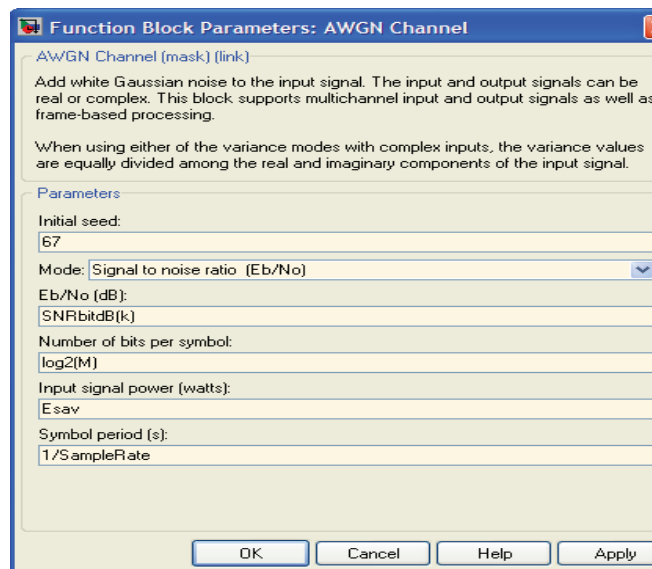
Η παράμετρος αρχικών συνθηκών (initial states) είναι ένα διάνυσμα σε δυαδική μορφή που προσδιορίζει την αρχική κατάσταση του καταχωρητή. Τέλος ορίζεται η περίοδος δειγματοληψίας (sample time).

Διαμορφωτής BPSK, μιας και η διαμόρφωση που αρχικά χρησιμοποιούμε είναι η δυαδική διαμόρφωση φέροντος κατά φάση. Η περίπτωση της ψηφιακής μετάδοσης σήματος με δυαδική μεταλλαγή ολίσθησης φάσης (Binary Phase Shift Keying- BPSK) διαμόρφωση μέσω καναλιού AWGN, έχει μελετηθεί θεωρητικά και η πιθανότητα σφάλματος για αυτό το σύστημα αποδεικνύεται ότι δίνεται από τον τύπο:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_{b0}}{N_0}}\right) \quad (3.1)$$

όπου η ποσότητα $\frac{E_{b0}}{N_0}$ είναι η σηματοθορυβική σχέση ανά bit (Signal-to-Noise ratio per bit).

Κανάλι λευκού προσθετικού Gaussian θορύβου (AWGN channel): Προσθέτει Gaussian θόρυβο σε ένα πραγματικό ή μιγαδικό σήμα εισόδου. Μπορούμε να επιλέξουμε οποιαδήποτε από τις εκφράσεις E_s/N_0 , E_b/N_0 , SNR για να ορίσουμε τη σηματοθορυβική σχέση και να δώσουμε τιμή στην ισχύ του σήματος που στη δική μας προσομοίωση είναι ίση με 1 watt (0 dB).



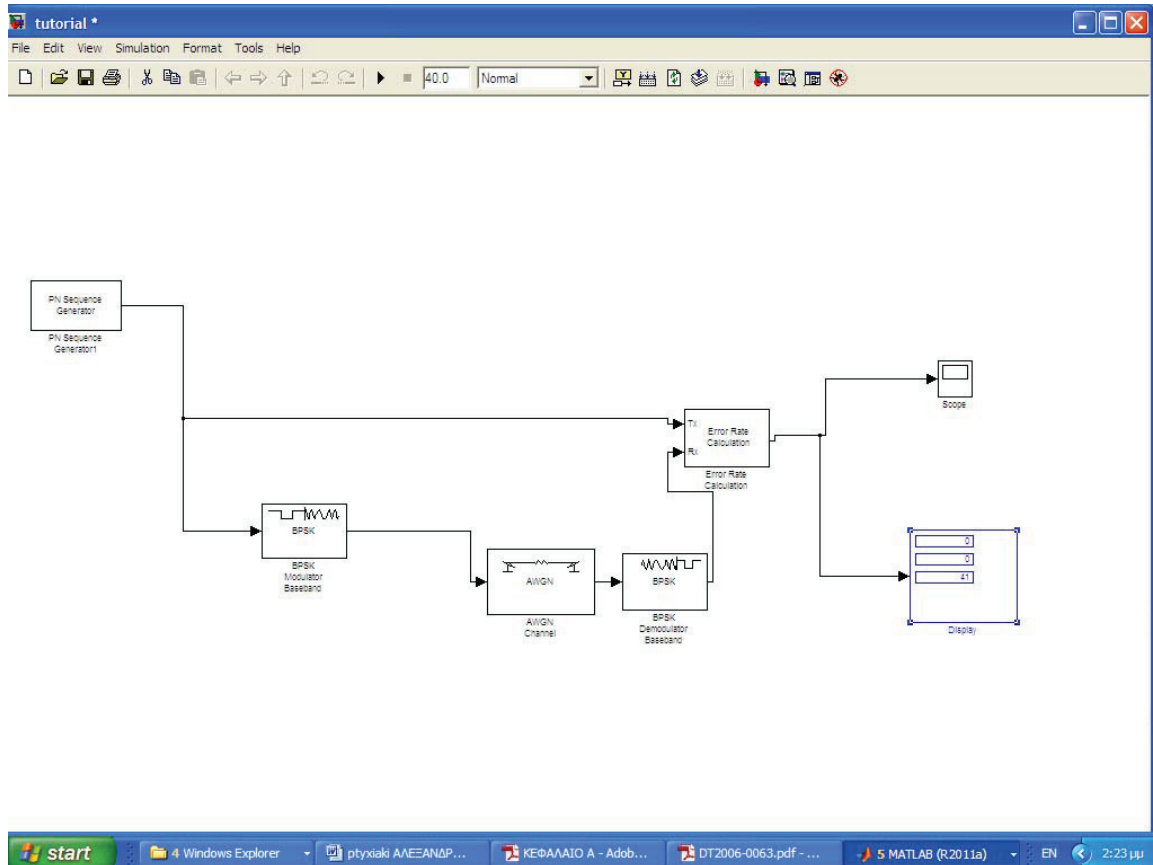
Εικόνα 3.4: Dialog box AWGN καναλιού

Αποδιαμορφωτής BPSK. Αποδιαμορφώνει το σήμα που τελικά φτάνει στο δέκτη.

Εκτιμητής σφαλμάτων (error rate calculator). Συγκρίνει το σήμα που στάλθηκε με το λαμβανόμενο στην κεραιά τελικό σήμα και υπολογίζει τον αριθμό των λαθών δηλαδή την αλλοίωση που υπέστη το αρχικό.

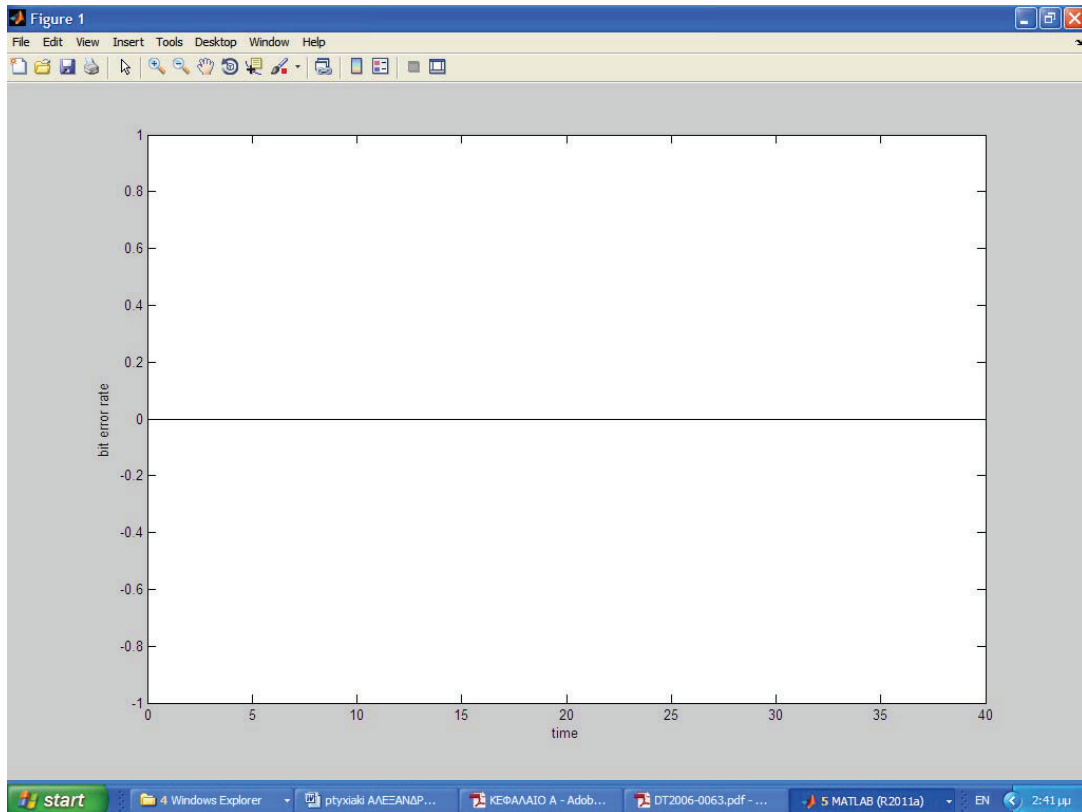
Θα δοκιμάσουμε να προσομοιώσουμε το σύστημα μας αλλάζοντας κάποιες τιμές στο AWGN και τι αντίκτυπο θα έχει στο σύστημα μας.

Θά αλλάξουμε τον σηματοθορυβικό λόγο αρχικά και στην συνέχεια θα προσθέσουμε καθυστέρηση.



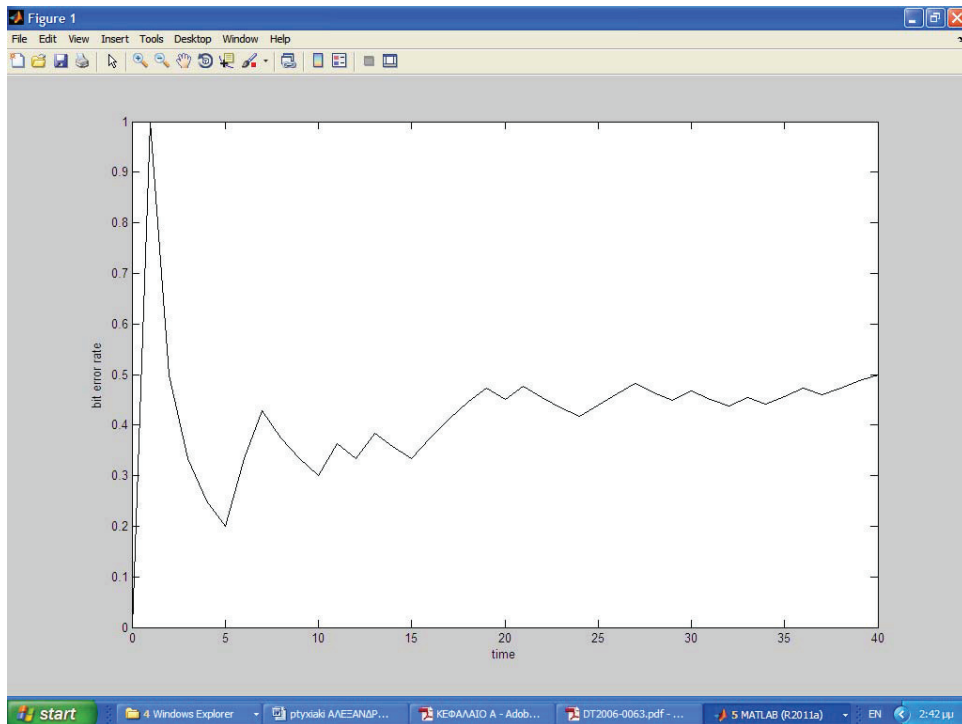
Εικόνα 3.5: προσομοίωση

Παρατηρούμε στον μπλέ πίνακα καταγραφής αποτελεσμάτων ότι η τιμή του ber για SNR με τιμή 7 παρουσιάζει μηδενικές απώλειες. Ως εκ τούτου καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όσο πιο μεγάλο σηματοθορυβικό λόγο δηλαδή μικρότερη επίδραση θορύβου τόσο καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζει το σύστημα μας.



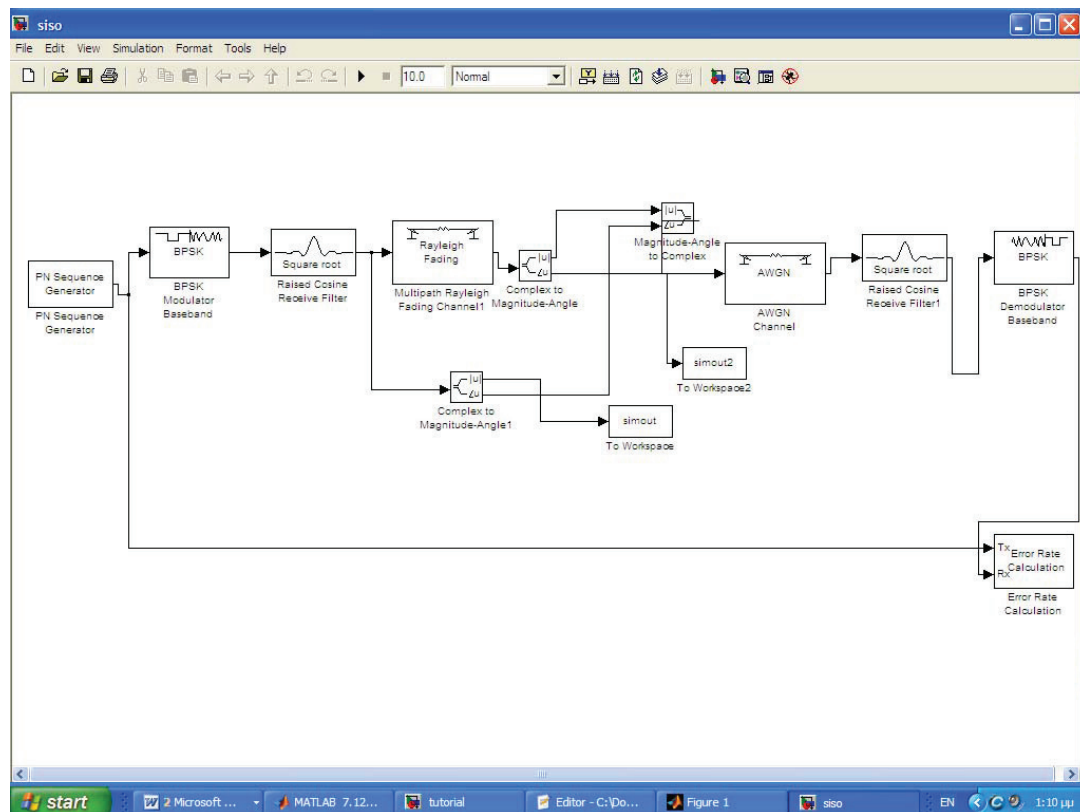
Εικόνα 3.6: προσομοίωση με bit error rate 0

Τό επόμενο βήμα μας είναι να προσθέσουμε καθυστέρηση 1 στον error rate calculator. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην γραφική μας παράσταση.



Εικόνα 3.7: προσομοίωση με bit error rate 0.5

3.2.2

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΙΑΣ ΕΞΟΔΟΥ (SISO)**Εικόνα 3.8: ολοκληρωμένο σύστημα siso**

Τά στοιχεία που προστέθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος είναι:

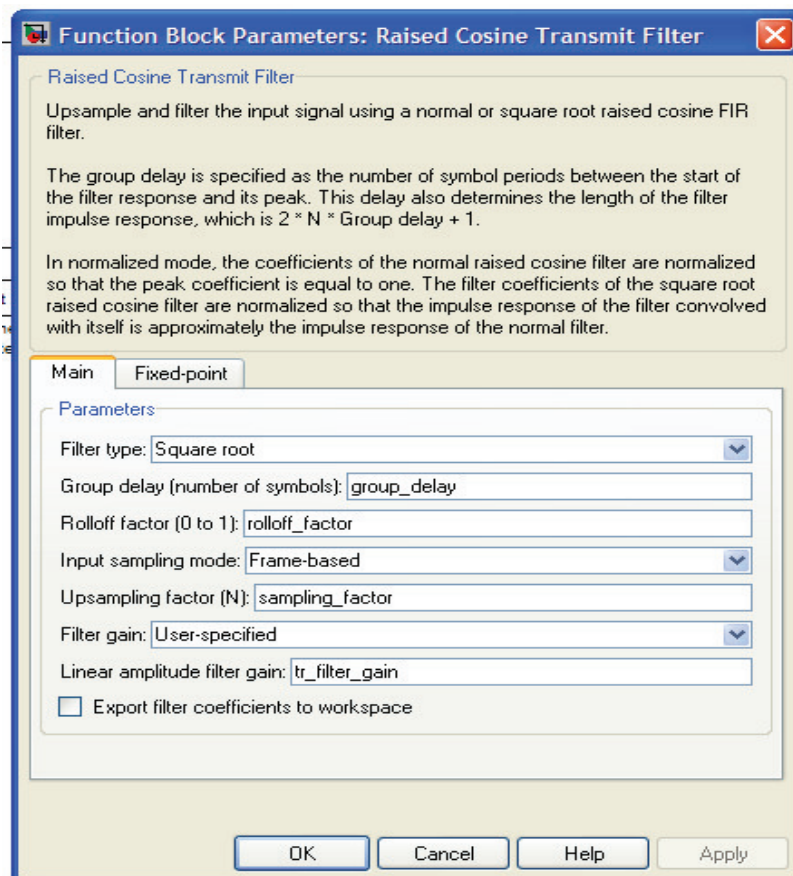
Φίλτρο μετάδοσης ανυψωμένου συνημίτονου (raised cosine transmit filter). Το φίλτρο αυτό δειγματοληπτεί και φιλτράρει το σήμα εισόδου. Η απόκριση ενός τέτοιου φίλτρου με παράγοντα rolloff R είναι:

$$h(t) = 4R \frac{\cos[(1+R)\pi t / T] + \frac{\sin[(1-R)\pi t / T]}{4Rt / T}}{\pi \sqrt{T} (1 - (4Rt / T)^2)} \quad (2.2)$$

Η παράμετρος καθυστέρηση ομάδας (group delay) είναι ο αριθμός των περιόδων που μεσολαβούν ανάμεσα στην απόκριση του σήματος και στη μέγιστη τιμή της απόκρισης του φίλτρου. Ο παράγοντας καθυστέρησης ομάδας και ο αριθμός δειγματοληψίας N , καθορίζουν το μέγεθος της απόκρισης του φίλτρου που είναι $2 * N * Group\ delay + 1$.

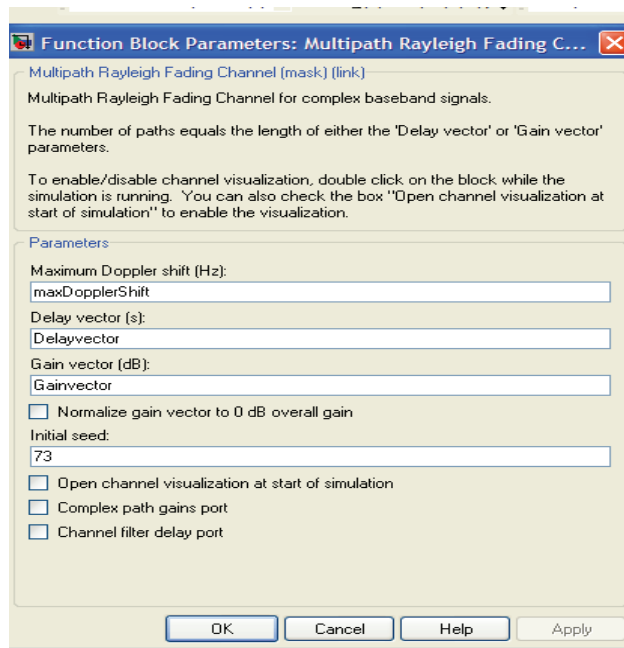
Ο παράγοντας rolloff είναι ένας πραγματικός αριθμός ανάμεσα στο 0 και το 1. Ουσιαστικά ο παράγοντας αυτός καθορίζει το επιπλέον εύρος ζώνης του φίλτρου.

Η παράμετρος κέρδος φίλτρου (filter gain) καθορίζει πως το μπλοκ κανονικοποιεί τους συντελεστές του φίλτρου.



Εικόνα 3.8

Κανάλι διαλείψεων Rayleigh: Όπως αναπτύχθηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο κατά τη μετάδοση ενός σήματος σε ένα περιβάλλον με εμπόδια αυτό ακολουθεί πολλαπλές διαδρομές για να φτάσει στον δέκτη. Το φαινόμενο αυτό περιγράφεται ως διαλείψεις Rayleigh. Στο μπλοκ διάγραμμα που χρησιμοποιούμε ορίζουμε το φαινόμενο Doppler, την καθυστέρηση αλλά και το κέρδος που θα έχει κάθε μια από τις ακολουθούμενες διαδρομές.



Εικόνα 3.9 dialog box καναλιού διαλείψεων rayleigh

Σε ένα SISO σύστημα σε περιβάλλον διαλείψεων, σαν και αυτό που παραστήσαμε με το μπλοκ διάγραμμα, εάν συμβολίσουμε με s το μεταδιδόμενο σήμα, με h την παράμετρο που εκφράζει τις διαλείψεις τύπου Rayleigh και με n τη συνιστώσα θορύβου τότε το λαμβανόμενο σήμα περιγράφεται από τη σχέση:

$$y = h * s + n \quad (2.3)$$

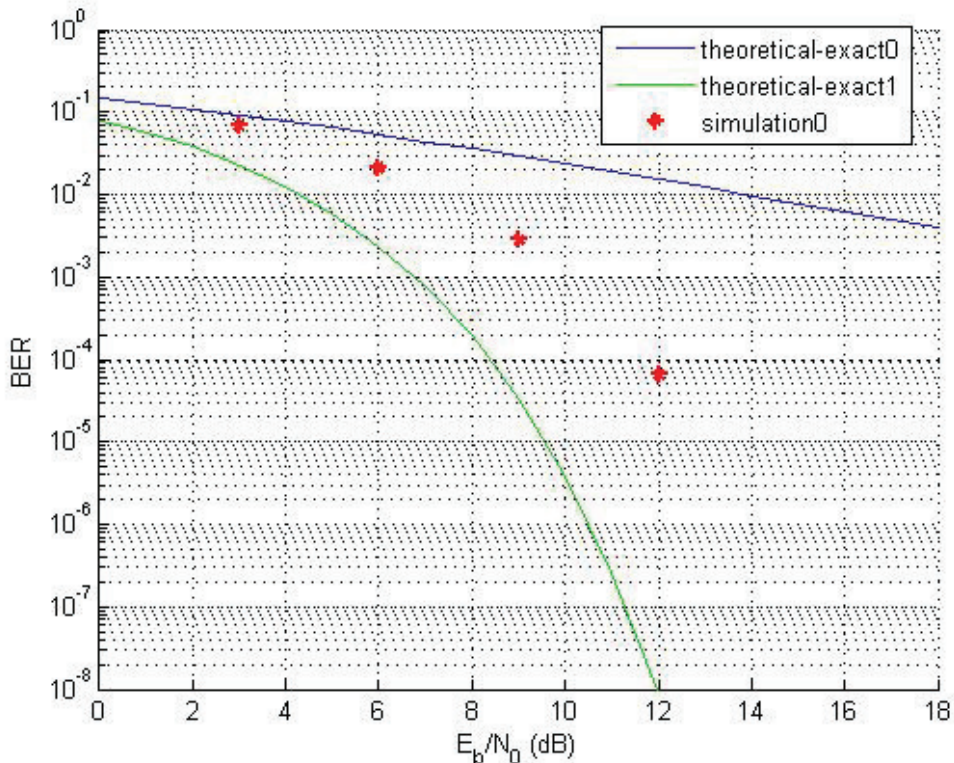
Η παράμετρος h είναι μία μιγαδική μεταβλητή που ακολουθεί κανονική κατανομή με μηδενική μέση τιμή και διακύμανση Ω , ενώ το μέτρο της $|h|$

ακολουθεί κατανομή Rayleigh με διακύμανση $\Omega/2$. Η μεταβλητή n είναι μία Gaussian μεταβλητή με μέση τιμή 0 και διακύμανση N_0 και συνιστώσες n_r και n_f ($n = n_r + j * n_f$). Εφόσον στην MPSK διαμόρφωση δεν μας ενδιαφέρει το μέτρο αλλά η φάση πολλαπλασιάζοντας την 2.2 με $e^{-j\varphi_n}$, όπου φ_n η φάση του h που ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή, προκύπτει:

$$\hat{y} = e^{-j\varphi_n} * y = |h| * s + e^{-j\varphi_n} * n \quad (2.4)$$

Η τυχαία στροφή αριστερά δεν αλλάζει τα στατιστικά χαρακτηριστικά του θορύβου. Άλλωστε όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η συνιστώσα του μεταδιδόμενου διανύσματος που είναι πιο κοντά σε αυτή που αρχικά στάλθηκε είναι:

$$\hat{s} = \arg \min |y - |h|s|^2.$$

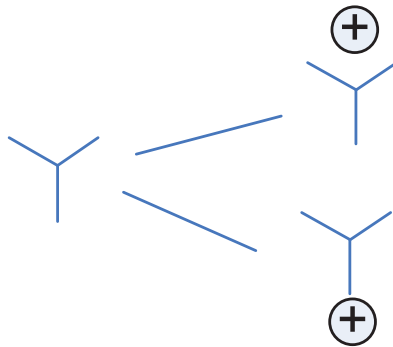


ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ SISO ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

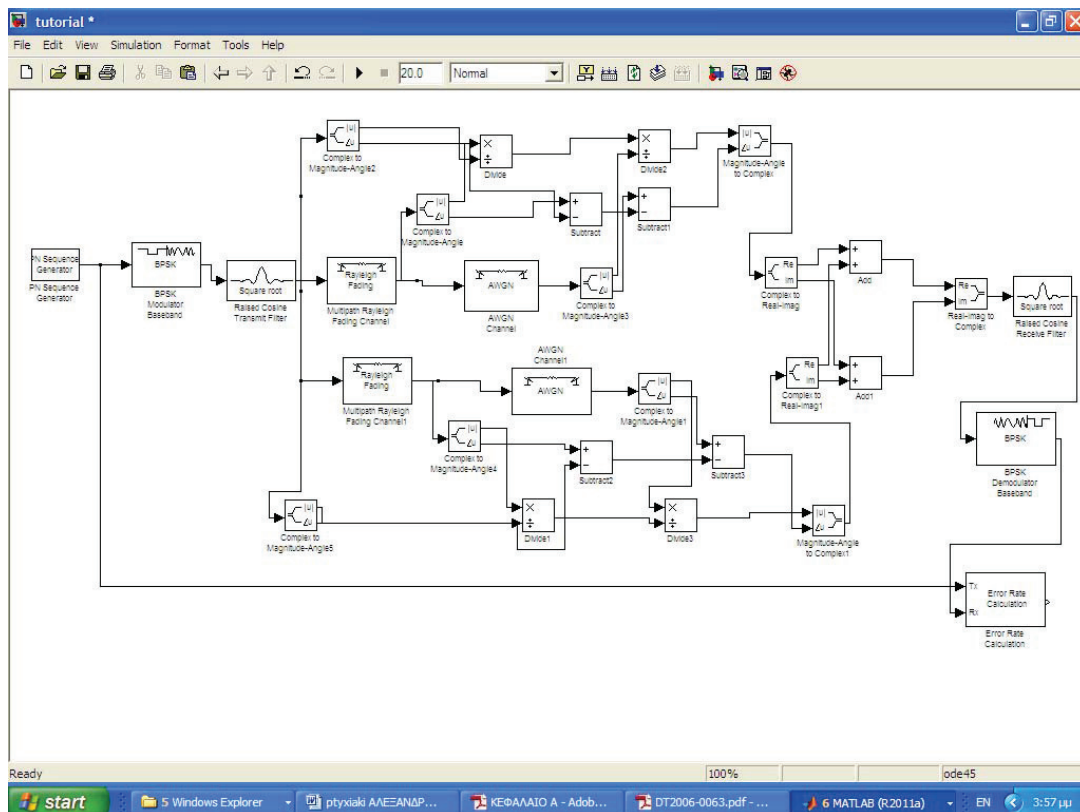
3.2.3

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΠΟΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ (SIMO)

Το σύστημα με μία κεραιά εκπομπής και πολλές κεραιές λήψης ονομάζεται SIMO σύστημα μετάδοσης. Σαν παράδειγμα αυτής της κατηγορίας μελετήσαμε τη συμπεριφορά ενός συστήματος με μία κεραιά εκπομπής και δύο κεραιές λήψης. Στο σύστημα αυτό από τις κατηγορίες διαφορισμού που αναφέραμε χρησιμοποιήσαμε αυτή του μέγιστου λόγου (MRC).



Εικόνα 3.10: Μπλοκ διάγραμμα SIMO συστήματος



Εικόνα 3.11 απεικόνιση simo συστήματος στο simulink

Τα επιμέρους μπλοκ διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ίδια με την απλή περίπτωση SISO οπότε δε χρειάζεται να αναλυθούν ξανά. Οι εξισώσεις τώρα, αφού έχουμε δύο και όχι μία κεραιές λήψης, είναι:

$$\begin{aligned}y_1 &= h_1 * s_1 + n_1 \\y_2 &= h_2 * s_2 + n_2\end{aligned}$$

όπου η στατιστική συμπεριφορά των h, y, s και n είναι αυτή που περιγράφηκε προηγουμένως.

Πολλαπλασιάζοντας την κάθε εξίσωση με την αντίστοιχη φάση του καναλιού διαλείψεων προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned}\hat{y}_1 &= h_1^* * y_1 = |h_1|^2 * s + \hat{n}_1 \\ \hat{y}_2 &= h_2^* * y_2 = |h_2|^2 * s + \hat{n}_2\end{aligned}$$

Από την τεχνική MRC γνωρίζουμε ότι μπορούμε να αθροίσουμε τα δύο αυτά διανύσματα τα οποία συνδυάζονται και μας δίνουν τελικά:

$$\hat{y} = \hat{y}_1 + \hat{y}_2 = (|h_1|^2 + |h_2|^2) * s + \hat{n}$$

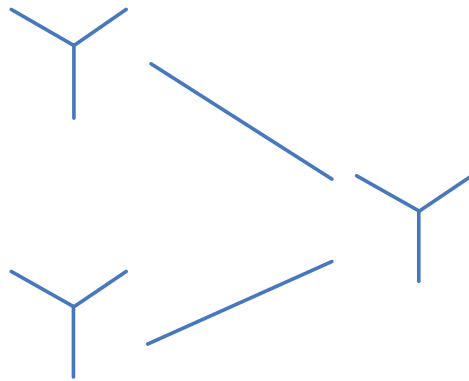
ενώ το διάνυσμα του λαμβανόμενου σήματος που είναι πιο κοντά σε αυτό που στάλθηκε δίνεται από τη σχέση:

$$\hat{s} = \arg \min |(|h_1|^2 + |h_2|^2) * s|$$

γι' αυτό και όπως φαίνεται στο μπλοκ διάγραμμα πριν τον error rate calculator διαιρούμε το λαμβανόμενο διάνυσμα \hat{y} με $|h_1|^2 + |h_2|^2$ για να προκύψει η βέλτιστη τιμή του s .

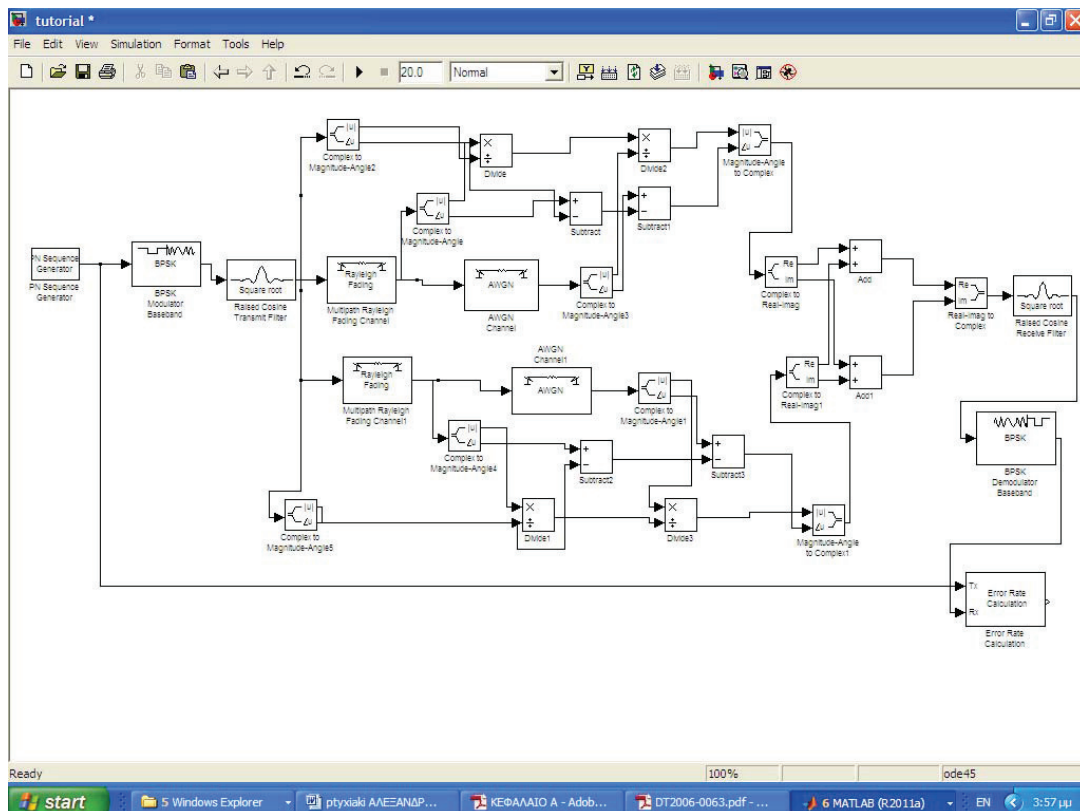
3.2.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΜΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ (MISO)

Το σύστημα με πολλές εξόδους και μια είσοδο όπως έχουμε πεί και στο κεφάλαιο 2 καλείται miso σύστημα στο οποίο η μετάδοση του σήματος γίνεται με τον κώδικα του alamouti. Τό σύστημα μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:



Εικόνα 3.12: Μπλοκ διάγραμμα MISO συστήματος

$$-S_2^* S_1$$



$$S_1^* S_2$$

Εικόνα 3.13 απεικόνιση simo συστήματος στο simulink

Αρχικά στέλνονται ταυτόχρονα τα σήματα s_1 και s_2 . Στη συνέχεια και μετά από ένα χρονικό διάστημα t στέλνονται ταυτόχρονα τα σήματα s_1^* και $-s_2^*$. Οι εξισώσεις που περιγράφουν τα λαμβανόμενα σήματα είναι:

$$\begin{aligned} y_1 &= h_1 s_1 + h_2 s_2 + n_1 \\ y_2 &= h_2 s_1^* - h_1 s_2^* + n_2 \end{aligned}$$

ή σε μορφή πινάκων:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 \\ -s_2^* & s_1^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix}$$

Μετά το χρονικό διάστημα t οι αντίστοιχες εξισώσεις που προκύπτουν για το νέο ζεύγος σημάτων είναι:

$$\tilde{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{pmatrix}$$

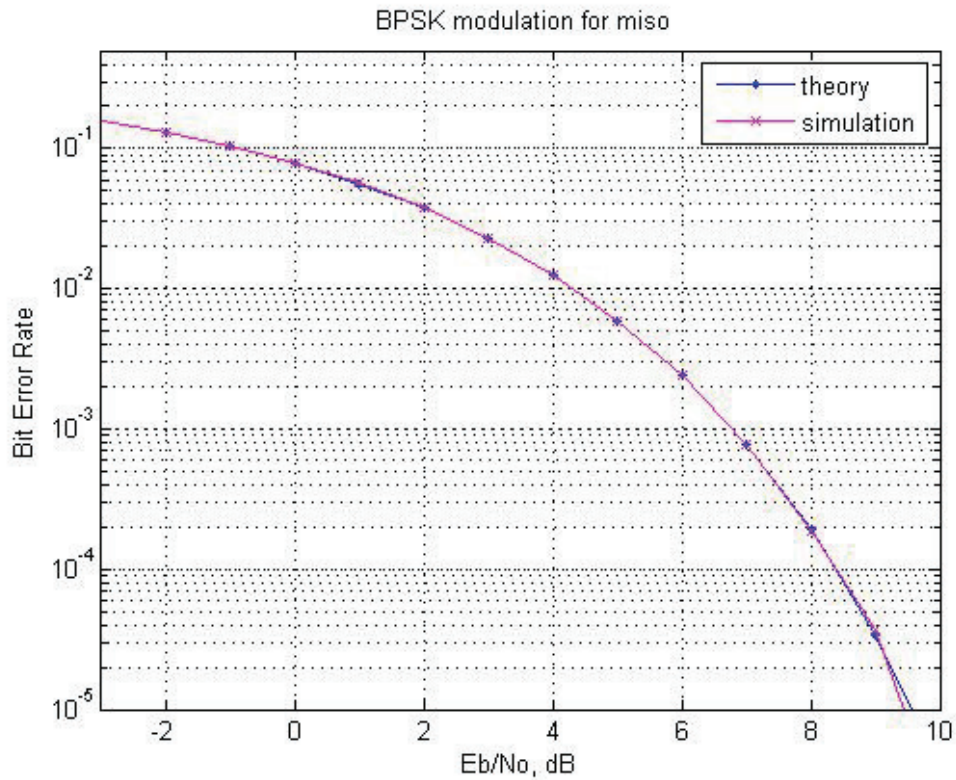
Αν ονομάσουμε $H_v = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{pmatrix}$ και $\tilde{n} = \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{pmatrix}$ τότε το διάνυσμα που λαμβάνεται

στο δέκτη μπορεί είναι ίσο με:

$$\hat{y} = H_v^H * \tilde{y} = (|h_1|^2 + |h_2|^2) \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \end{pmatrix} + H_v^H * \tilde{n}$$

Και πάλι τα διανύσματα \hat{s}_1, \hat{s}_2 (δύο, αφού έχουμε δύο κεραιές εκπομπής) είναι ίσα με :

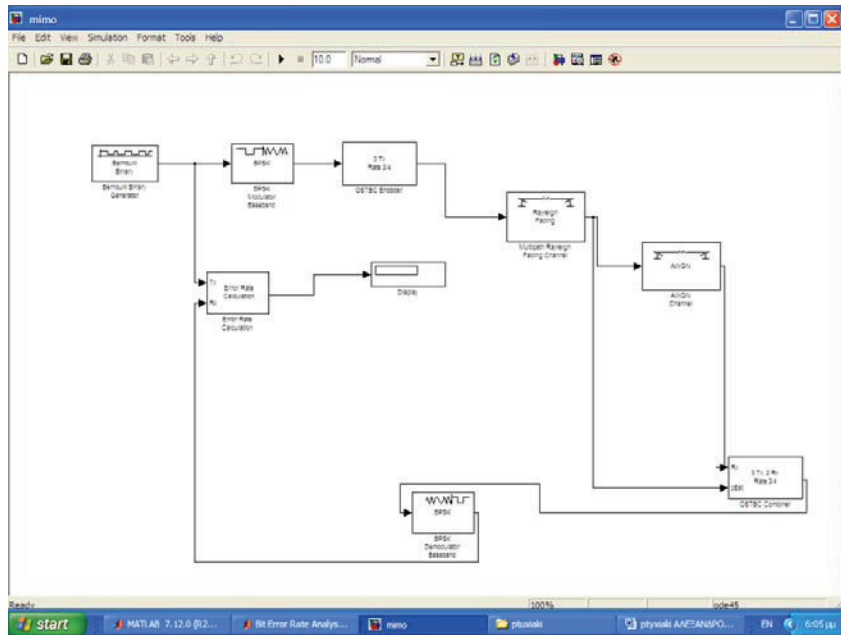
$$\begin{aligned} \hat{s}_1 &= \arg \min | \hat{y}_1 - (|h_1|^2 + |h_2|^2) * s_1 | \\ \hat{s}_2 &= \arg \min | \hat{y}_2 - (|h_1|^2 + |h_2|^2) * s_2 | \end{aligned}$$



Προσωμοίωση miso συστήματος

3.2.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΠΟΛΛΩΝ ΕΙΣΟΔΩΝ (MIMO)

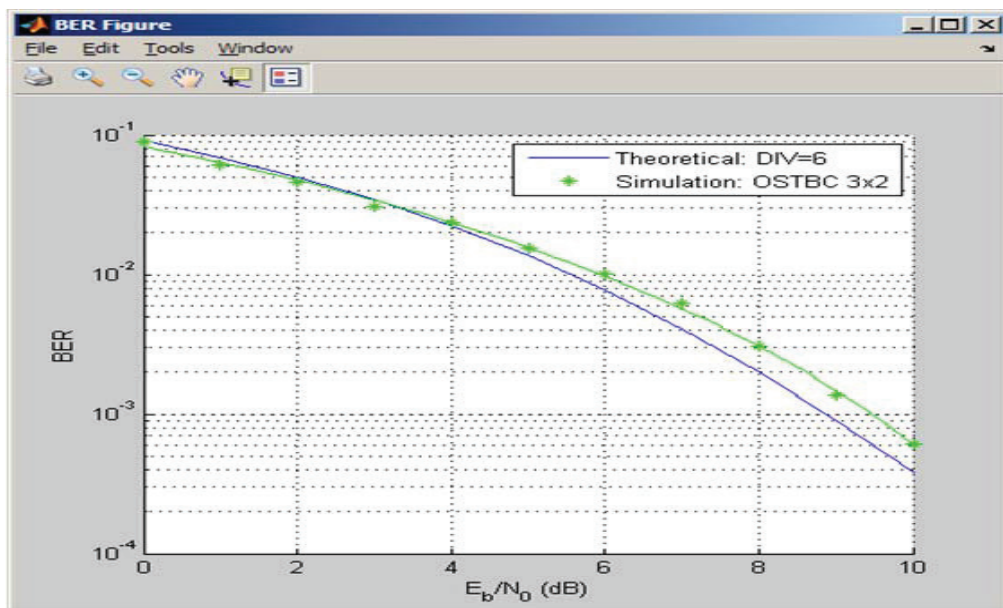
Είναι το σύστημα που έχουμε αναφέρει με τις πολλές εισόδους στον πομπό και τις πολλές εξόδους στον δέκτη. Το παρακάτω σχήμα στο simulink προσωμοιώνει ένα μμο σύστημα με ύπαρξη θορύβου αλλά και διαλείψεις και τι επίδοσεις παρουσιάζει το σύστημα μας σε επίπεδο λαθών.



Εικόνα 3.14 απεικόνιση mimo συστήματος στο simulink

Η προσωμοίωση αναφέρεται σε μίμο 3 πομπών και 2 και $rate=3/4$ στον δέκτη με ορθογώνια κωδικοποίηση(χώρου-χρόνου).Ας περιγράψουμε εκτενώς το τι συμβαίνει στο σύστημα μας.Αρχικά δημιουργείται ένα δυαδικό σήμα μέσω της γεννήτριας (Bernoulli binary generator) στην συνέχεια διαμορφώνεται μέσω BPSK τεχνικής και κωδικοποιείται με OSTBC.Τό σήμα περνάει από το Rayleigh κήναλι ενώ προστίθεται και θόρυβος στον δέκτη.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

CAPACITY ΣΕ MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.1

Κωδικοποίηση χώρου-χρόνου(Space-Time Block Coding-STBC)

Η κωδικοποίηση χώρου-χρόνου είναι διαδεδομένη τεχνική που χρησιμοποιείται στις ασύρματες επικοινωνίες για την εκπομπή διαφορετικών αντιγράφων μιας πληροφορίας από πολλαπλές κεραιές και την αξιοποίηση των διαφορετικών εκδοχών της ίδιας πληροφορίας στο δέκτη με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος.

Το γεγονός ότι το εκπεμπόμενο σήμα διαδίδεται σε περιβάλλον διαλείψεων και θερμικού θορύβου έχει ως συνέπεια να αλλοιώνεται η αρχική πληροφορία και κάποια αντίγραφα αυτής της πληροφορίας, που φτάνουν στο δέκτη, να είναι πιο ακριβή από κάποια άλλα. Η αφθονία τέτοιων συνιστωσών του σήματος που καταφθάνουν στο δέκτη, δίνει τη δυνατότητα να αξιοποιηθεί ένα ή περισσότερα αντίγραφα του αρχικού σήματος για την ακριβέστερη αποκωδικοποίηση του σήματος. Η κωδικοποίηση χώρου-χρόνου ουσιαστικά συνδυάζει (combining) όλα τα αντίγραφα του αρχικού σήματος, τα οποία λαμβάνονται με τον καταλληλότερο τρόπο έτσι ώστε να ανακτήσει από αυτά την καλύτερη δυνατή πληροφορία.

Η κωδικοποίηση χώρου-χρόνου συμβολίζεται συνήθως με έναν πίνακα συμβόλων. Κάθε σειρά αντιπροσωπεύει μια χρονική στιγμή (timeslot), στην οποία εκπέμπεται το σύμβολο και κάθε στήλη τον αριθμό των κεραιών εκπομπής που στέλνουν σύμβολα για χρόνο $[1, T]$. Το μπλοκ συμβόλων (block) είναι το σύνολο των συμβόλων που μεταδίδονται από όλες τις κεραιές τη χρονική περίοδο T . Κάθε διαμορφωμένο σύμβολο s_{ij} δηλώνει το σύμβολο που στάλθηκε τη χρονική στιγμή i από την κεραιά j . Για παράδειγμα, το στοιχείο της δεύτερης γραμμής και τρίτης στήλης του πίνακα s_{23} είναι το σύμβολο που μεταδίδεται από την τρίτη κεραιά τη δεύτερη χρονική στιγμή διάρκειας του μπλοκ.

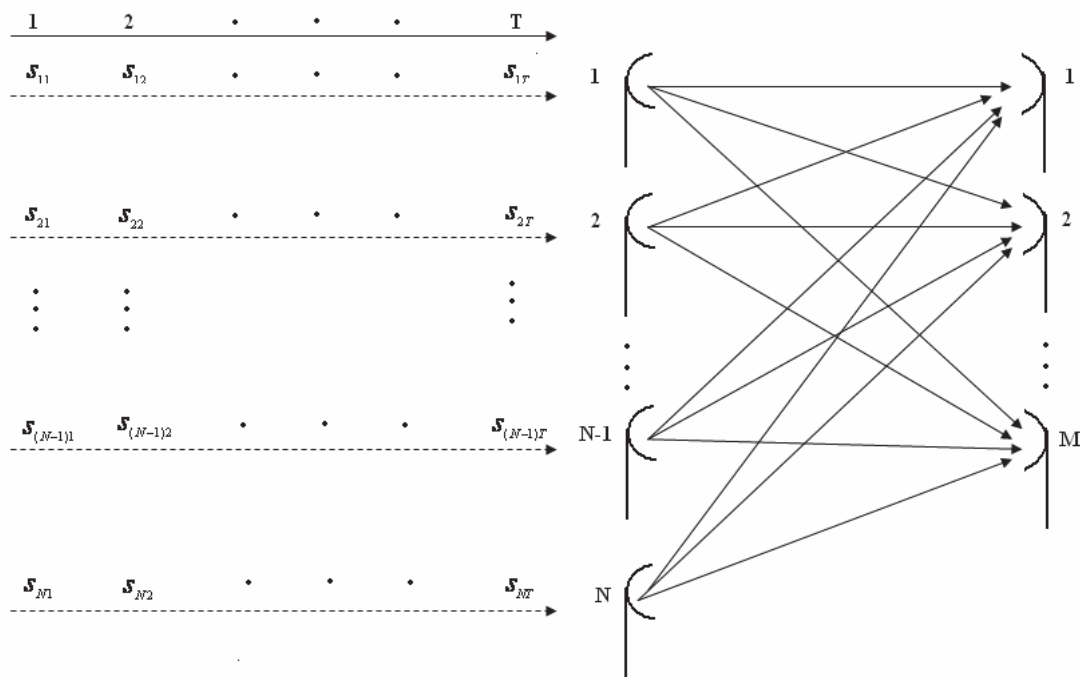
$$\begin{matrix} & \text{transmit antennas} \\ \text{time slots} & \begin{pmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1n_T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{T1} & \cdots & s_{Tn_T} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων εξαρτάται από τη συγκεκριμένη κωδικοποίηση χώρου-χρόνου. Θεωρούμε ότι χρησιμοποιείται μια διαμόρφωση με M στοιχεία αστερισμού και μεταδίδονται K διαφορετικά σύμβολα κατά τη διάρκεια ενός μπλοκ. Αυτό σημαίνει, ότι στην διάρκεια ενός μπλοκ εισέρχονται στον κωδικοποιητή $K * 2^M$ bits, τα οποία αντιστοιχίζονται σε K σύμβολα. Ο ρυθμός του κώδικα, δηλαδή ο μέσος αριθμός συμβόλων που μεταδίδονται στη χρονική διάρκεια ενός μπλοκ μετάδοσης ορίζεται ως $R = K / T$.

Θεωρούμε ένα MIMO σύστημα μετάδοσης με N κεραιές εκπομπής και M κεραιές λήψης. Στον πομπό, οι N κεραιές εκπέμπουν ταυτόχρονα σύμβολα s_{ij} από τον παρακάτω πίνακα μετάδοσης (transmission matrix), όπου κάθε στήλη αντιστοιχεί στα μεταδιδόμενα σύμβολα από το σύνολο των κεραιών εκπομπής για τις χρονικές στιγμές από 0 έως T .

$$s = \begin{pmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & \cdots & s_{mn} \end{pmatrix} \text{ όπου } i = 1, 2, \dots, N \text{ και } j = 1, 2, \dots, T.$$

Θεωρούμε ότι τα σύμβολα του πίνακα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και επιλέγονται από έναν αστερισμό υπό μετάδοση στοιχείων, ανάλογα με τη διαμόρφωση που έχει επιλεγεί. Σε ορισμένες μεθόδους μετάδοσης, τα σύμβολα του πίνακα μετάδοσης μπορεί να είναι εκτός των στοιχείων του αστερισμού, συζυγή αυτών ή γραμμικοί συνδυασμοί αυτών.



Εικόνα 4.1: MIMO σύστημα μετάδοσης.

Τα σύμβολα περνάνε μέσα από ένα κανάλι διαλείψεων πολλαπλών διαδρομών, το οποίο είναι ημιστατικό δηλαδή μεταβάλλεται, αλλά αρκετά αργά ώστε να θεωρηθεί σταθερό τουλάχιστον κατά τη διάρκεια T χρονικών στιγμών που απαιτούνται για τη μετάδοση όλων των στηλών του πίνακα μετάδοσης. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τους συντελεστές με τους οποίους πολλαπλασιάζεται κάθε σήμα του πίνακα μετάδοσης, κατά τη διέλευση του από το κανάλι.

$$H = \begin{pmatrix} h_{11} & \dots & h_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M1} & \dots & h_{MN} \end{pmatrix} \tag{1.17}$$

Το στοιχείο h_{ij} είναι ο συντελεστής διαλείψεων (fading coefficient) μεταξύ της κεραιάς εκπομπής και της κεραιάς λήψης και δίνεται από τη σχέση: $h_{ij} = |h_{ij}| * e^{j\varphi}$ όπου $|h_{ij}|$ και φ το πλάτος και η φάση του μιγαδικού κέρδους του καναλιού, αντίστοιχα.

Τα στοιχεία του πίνακα h_{ij} πρέπει να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους για την επιτυχή αντιμετώπιση των διαλείψεων. Η ανεξαρτησία αυτή διασφαλίζεται με την τοποθέτηση των κεραιών σε ικανή απόσταση μεταξύ τους.

Τα στατιστικά μοντέλα για τα κανάλια διαλείψεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως μπορούν να εφαρμοστούν για τα κέρδη h_{ij} του MIMO καναλιού. Για παράδειγμα, σε ένα κανάλι με ασυσχέτιστες διαλείψεις Rayleigh κάθε στοιχείο του πίνακα του καναλιού θα είναι μια ανεξάρτητη και όμοια κατανομημένη (independent and identical distributed – iid) μιγαδική Gaussian μεταβλητή, ενώ το πλάτος της $|h_{ij}|$ θα ακολουθεί κατανομή Rayleigh. Η μέση τιμή της θα είναι μηδέν και μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η διακύμανση της θα είναι $\sigma^2 = 0.5$ σε κάθε διάσταση, χωρίς απώλεια της γενικότητας. Αυτό σημαίνει ότι $2 * \sigma^2 = E\{|h_{ij}|^2\} = 1$

Το σύστημα επικοινωνίας ονομάζεται ανοιχτού βρόχου (open-loop systems), όταν ο δέκτης έχει πλήρη γνώση της κατάστασης του καναλιού (Channel State Information – CSI), ενώ ο πομπός δεν έχει καμία πληροφορία για την κατάσταση του. Ο δέκτης δηλαδή, γνωρίζει τους συντελεστές h_{ij} του πίνακα του καναλιού σε κάθε στιγμή και μπορεί να τους χρησιμοποιήσει στην αποκωδικοποίηση και στην αποδιαμόρφωση και φάραση. Αντίθετα, στα συστήματα κλειστού βρόχου (closed-loop systems), ο δέκτης στέλνει πίσω στον πομπό κάποια πληροφορία για το κανάλι διαμέσου ενός καναλιού ανάδρασης (feedback channel). Την πληροφορία αυτή τη χρησιμοποιεί ο πομπός για να βελτιώσει την επίδοση του συστήματος. Με τον τρόπο αυτό, βέβαια, αυξάνεται και η πολυπλοκότητα του τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Τα συστήματα που μελετώνται σε αυτή την εργασία είναι ανοιχτού βρόχου.

Με βάση τα παραπάνω, η εξίσωση που περιγράφει τη μετάδοση στο MIMO σύστημα είναι:

$$Y = H * S + N \quad (1.18)$$

όπου ο πίνακας Y περιλαμβάνει με τα μιγαδικά σήματα βασικής ζώνης που λαμβάνονται από τις M κεραιές λήψης τις T χρονικές στιγμές:

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & \dots & y_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{M1} & \dots & y_{Mn} \end{pmatrix} \quad (1.19)$$

Τα στοιχεία του πίνακα N αντιπροσωπεύουν το Λευκό Προσθετικό Gaussian Θόρυβο που προστίθεται στα μεταδιδόμενα σήματα. Τα στοιχεία και αυτού του πίνακα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο ρυθμός μετάδοσης του κώδικα είναι η μονάδα (full rate). Γενικά όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης τόσο μικρότερο είναι το κέρδος διαφορισμού, οπότε επιλέγεται ανάλογα με την εφαρμογή ο κατάλληλος κώδικας. Ο μόνος κώδικας που επιτυγχάνει μέγιστο κέρδος διαφορισμού με ταυτόχρονο ρυθμό ίσο με τη μονάδα ανήκει στην κατηγορία των ορθογώνιων κωδίκων και θα παρουσιαστεί εκτενώς στη συνέχεια.

Οι κώδικες χώρου-χρόνου χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- ορθογώνιοι (Orthogonal Space Time Block Codes – OSTBCs)
- ημιορθογώνιοι (Quasi-Orthogonal Space Time Block Codes – QOSTBCs)
- μη-ορθογώνιοι (Non-Orthogonal Space Time Block Codes).

4.2. Ορθογώνιοι κώδικες χώρου-χρόνου (OSTBCs)

Ένας ορθογώνιος κώδικας χώρου- χρόνου είναι ένας γραμμικός κώδικας S που έχει την ακόλουθη ιδιότητα:

$$S * S^H = \sum_{n=1}^N |s_n|^2 * I \quad (1.20)$$

όπου I ο μοναδιαίος πίνακας και ο δείκτης H υποδηλώνει την Ερμιτιανή (μιγαδικό ανάστροφο) ενός πίνακα.

Η βασική ιδιότητα των OSTBCs είναι ότι δύο οποιεσδήποτε στήλες του πίνακα μετάδοσης είναι μεταξύ τους ορθογώνιες. Αυτό σημαίνει ότι οι ακολουθίες μεταδιδόμενων σημάτων από δύο οποιεσδήποτε κεραίες είναι ορθογώνιες. Η ιδιότητα της ορθογωνικότητας των στηλών είναι αυτή που δίνει το μεγάλο πλεονέκτημα των ορθογώνιων κωδίκων χώρου- χρόνου, που είναι η δυνατότητα απλής γραμμικής αποκωδικοποίησης στο δέκτη με το κριτήριο μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood criterion ML). Έτσι, κάθε σύμβολο αποκωδικοποιείται ξεχωριστά στο δέκτη με τη χρήση μόνο γραμμικών διαδικασιών. Για να επιτευχθεί η γραμμική

αποκωδικοποίηση, είναι απαραίτητο ο δέκτης να έχει πλήρη γνώση του καναλιού, το οποίο παραμένει σταθερό για τη χρονική διάρκεια ενός μπλοκ.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα των OSTBCs είναι ότι επιτυγχάνουν μέγιστο κέρδος διαφορισμού, που για N κεραιές εκπομπής και M κεραιές λήψης σε περιβάλλον διαλείψεων Rayleigh έχει αποδειχθεί ότι είναι ίσο με $N * M$.

Εντούτοις, οι OSTBCs δεν μπορούν να επιτύχουν μέγιστο κέρδος διαφορισμού και μέγιστο ρυθμό μετάδοσης παράλληλα με μοναδική εξαίρεση τον κώδικα του Alamouti (Alamouti code).

4.3. Δέκτες στα MIMO συστήματα

Στα περισσότερα MIMO συστήματα η πολυπλοκότητα του πομπού από πλευράς επεξεργασίας σήματος είναι χαμηλή, και το κύριο μέρος της επεξεργασίας σήματος εκτελείται στο δέκτη. Οι δέκτες κατηγοριοποιούνται στις εξής δύο βασικές κατηγορίες:

4.3.1. Δέκτες Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Detector - ML)

Οι δέκτες μέγιστης πιθανοφάνειας εξασφαλίζουν την καλύτερη επίδοση συστήματος (μέγιστο κέρδος διαφορισμού και καλύτερη καμπύλη πιθανότητας σφάλματος), αλλά χρησιμοποιούν τον πιο περίπλοκο αλγόριθμο ανίχνευσης (detection). Ο δέκτης μέγιστης πιθανοφάνειας υπολογίζει το λαμβανόμενο σήμα για κάθε ένα από τα στοιχεία του αστερισμού διαμόρφωσης που μπορούν να μεταδοθούν, γνωρίζοντας το κανάλι και χωρίς να λαμβάνει υπ' όψιν του την επίδραση του θορύβου. Στη συνέχεια συγκρίνει κάθε λαμβανόμενο σήμα με καθένα από τα υπολογισμένα σήματα και υπολογίζει τις αποστάσεις τους. Έπειτα, αποφασίζει πως το στοιχείο του αστερισμού που οδηγεί στη μικρότερη απόσταση είναι το σήμα που έχει μεταδοθεί. Το βασικό μειονέκτημα των δεκτών μέγιστης πιθανοφάνειας είναι η υπολογιστική τους πολυπλοκότητα, που αυξάνεται απαγορευτικά για διαμορφώσεις με μεγάλο αστερισμό συμβόλων.

4.3.2. Γραμμικοί Δέκτες

Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρύτατα για το σχεδιασμό δεκτών με πολυπλοκότητα μικρότερη από αυτή του δέκτη μέγιστης πιθανοφάνειας είναι η

ισοστάθμιση (equalization) για το διαχωρισμό διαφορετικών συμβόλων. Αυτή η τεχνική αποσκοπεί στην εύρεση του κατάλληλου σήματος, που αντιπροσωπεύει κάθε ένα από τα σύμβολα, και στη συνέχεια αποκωδικοποιεί το κάθε σύμβολο χρησιμοποιώντας το ανιχνευόμενο σήμα. Στην ανίχνευση του σήματος αυτού η επίδραση των άλλων συμβόλων θεωρείται ενδοσυμβολική παρεμβολή. Ακόμη, ο γραμμικός ισοσταθμιστής προσπαθεί να διαχωρίσει τα σύμβολα χωρίς να ενισχύσει το θόρυβο. Οι δύο αυτές απαιτήσεις είναι αντικρουόμενες και στόχος πάντα είναι ο διαχωρισμός των συμβόλων με την ελάχιστη ενίσχυση του θορύβου. Οι κυριότεροι εκπρόσωποι αυτής της κατηγορίας είναι οι δέκτες επιβολής μηδενισμού (Zero Forcing-ZF) και οι δέκτες ελάχιστου μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Minimum Mean Square Error- MMSE).

Οι δέκτες ZF μηδενίζουν την επίδραση των σημάτων των υπολοίπων κεραιών εκπομπής και ανιχνεύουν το κάθε σήμα ξεχωριστά. Το βασικό μειονέκτημα αυτού του τρόπου λειτουργίας των ZF δεκτών είναι ότι ο Προσθετικός Θόρυβος αυξάνεται σημαντικά και η επίδοση του συστήματος υποβαθμίζεται. Από την άλλη μεριά, η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου ανίχνευσης είναι πολύ μικρότερη από αυτή του δέκτη μέγιστης πιθανοφάνειας, λόγω της ξεχωριστής ανίχνευσης κάθε μεταδιδόμενου σήματος.

Οι δέκτες MMSE βασίζονται στην ιδέα της ελαχιστοποίησης του μέσου τετραγωνικού σφάλματος μεταξύ των εκπεμπόμενων και των ανιχνευόμενων συμβόλων και εξασφαλίζουν ένα συμβιβασμό μεταξύ της αύξησης του Προσθετικού Θορύβου και της παρεμβολής των σημάτων διαφορετικών κεραιών εκπομπής. Οι δέκτες αυτοί είναι δύσκολα υλοποιήσιμοι και επιτυγχάνουν μόνο ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα από τους δέκτες επιβολής μηδενισμού, κι έτσι η χρήση τους είναι περιορισμένη.

4.3.3 Δέκτες μηδενισμού και ακύρωσης BLAST (Bell Labs Layered Space- Time nulling and canceling)

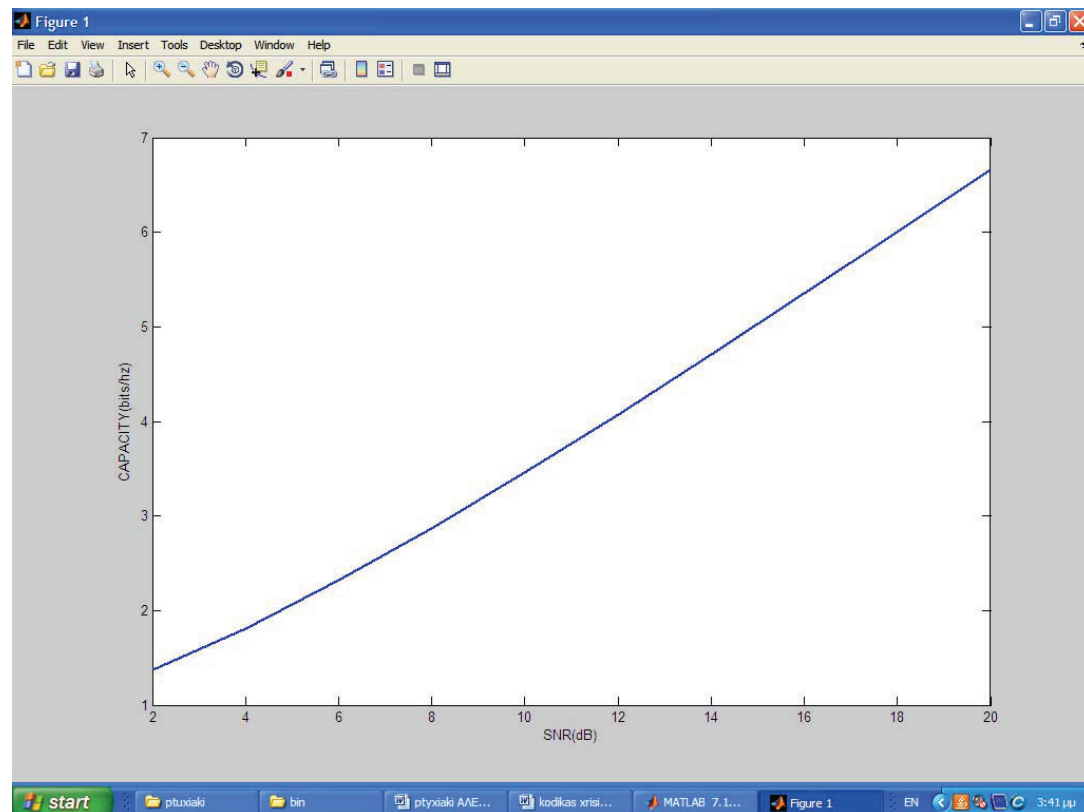
Οι δέκτες αυτοί ισοσταθμίζουν αρχικά όλα τα λαμβανόμενα σύμβολα σύμφωνα με την τεχνική επιβολής μηδενισμού ZF και συνέχεια το σύμβολο με την υψηλότερη σηματοθορυβική σχέση ανιχνεύεται και θεωρείται πως είναι σωστό. Στη συνέχεια η

επίδρασή του στο λαμβανόμενο διάνυσμα συμβόλων ακυρώνεται (Canceling) και συνεχίζεται η ανίχνευση. Η επίδοση αυτού του συστήματος είναι μεταξύ της επίδοσης των δεικτών μέγιστης πιθανοφάνειας και των γραμμικών δεικτών ZF και MSSE.

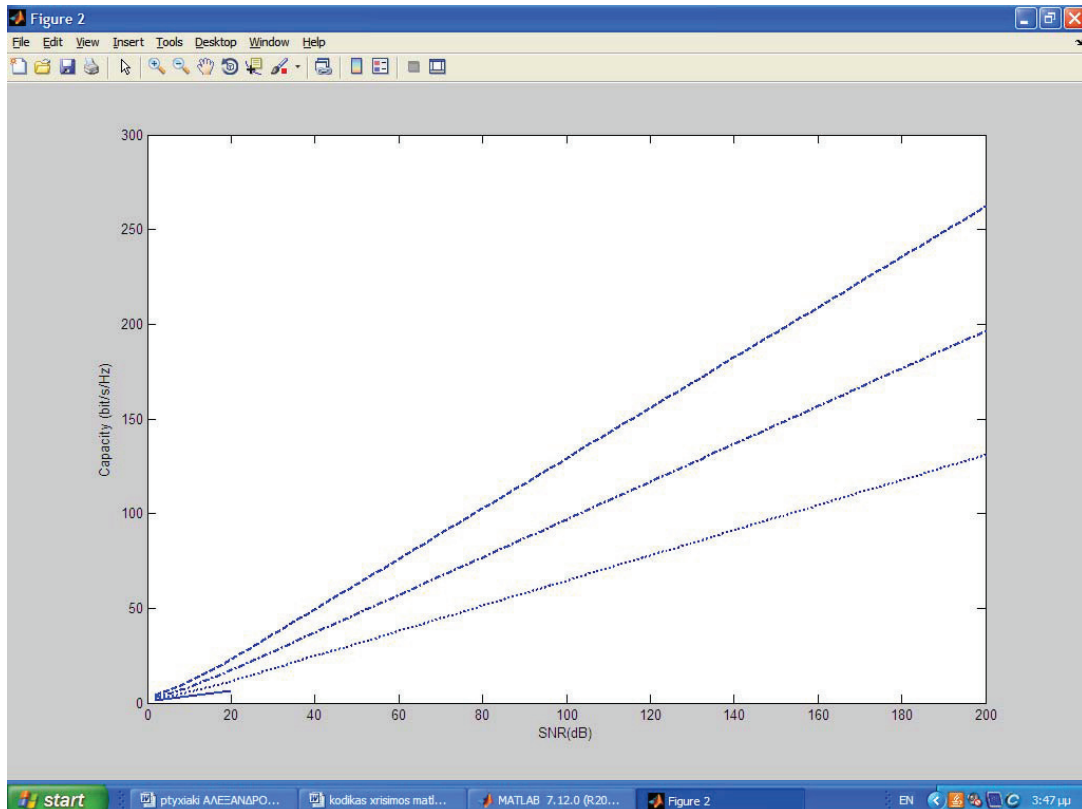
4.3.4

Αποτελέσματα capacity σε μίμο συστήματα

Εδώ θα παρουσιάσουμε την χωρητικότητα σε συστήματα 2X2,3X3,4X4 και θα τα συγκρίνουμε με ένα απλό σύστημα.



Εικόνα 4.2 Χωρητικότητα SHANNON όπως εξετάσαμε στο πρώτο κεφάλαιο.

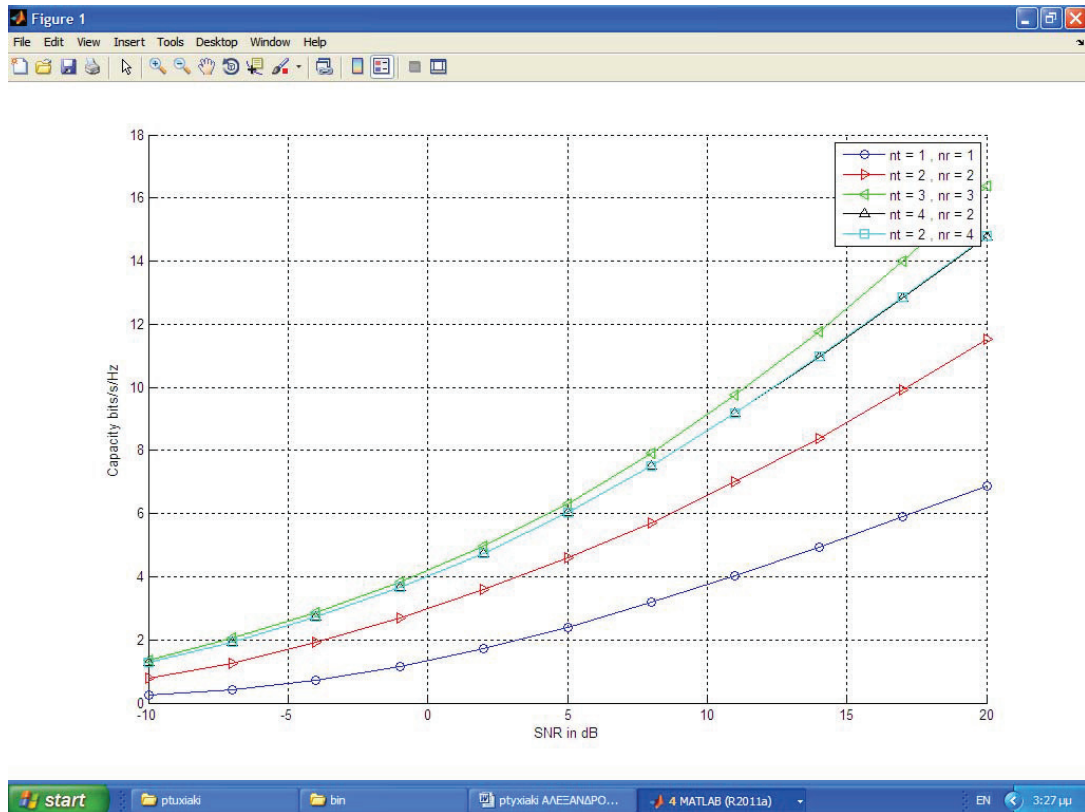


Εικόνα 4.3 Χωρητικότητα με 4x4.3x3.2x2

Από τα διαγράμματα μεταβολής της χωρητικότητας συναρτήσει του SNR παρατηρούμε αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού επικοινωνίας τόσο στην περίπτωση του συστήματος MIMO όσο και στην περίπτωση χρήσης μια κεραίας στον πομπό και μια στον δέκτη(siso).

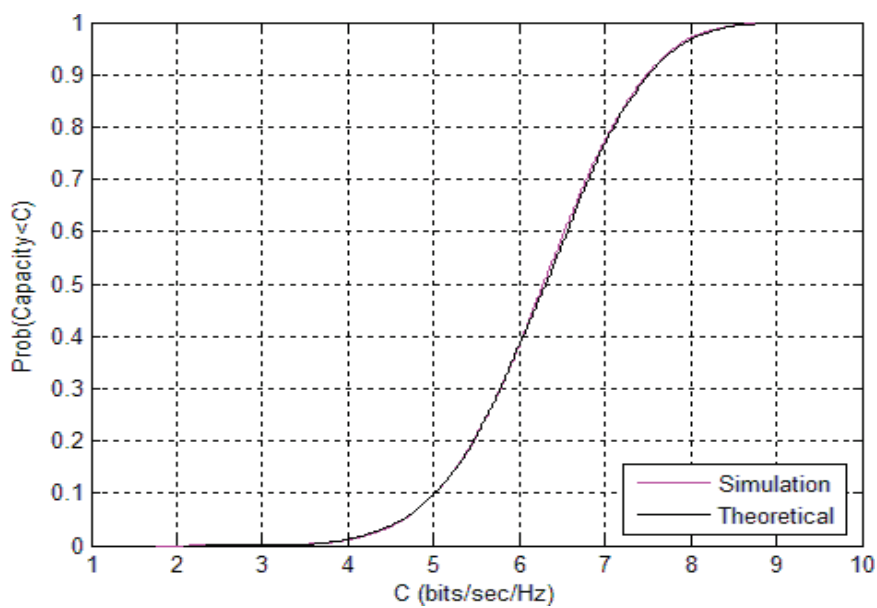
Η χρήση των διατάξεων μμο ωστόσο προσφέρει αρκετά μεγαλύτερες τιμές χωρητικότητας σε σχέση με τα siso συστήματα απόκλιση η οποία αυξάνεται καθώς μεγαλώνει η σηματοθορυβική σχέση. Έτσι η αρχική υπόθεση για βελτίωση του ρυθμού μετάδοσης με χρήση συστημάτων μμο σε περιβάλλον που εισάγει πολλαπλές διαδρομές επαληθεύεται.

Επίσης από τα ανωτέρω διαγράμματα μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων(δίπολων) μιας μμο διάταξης βελτιώνεται ταυτόχρονα και η χωρητικότητα.

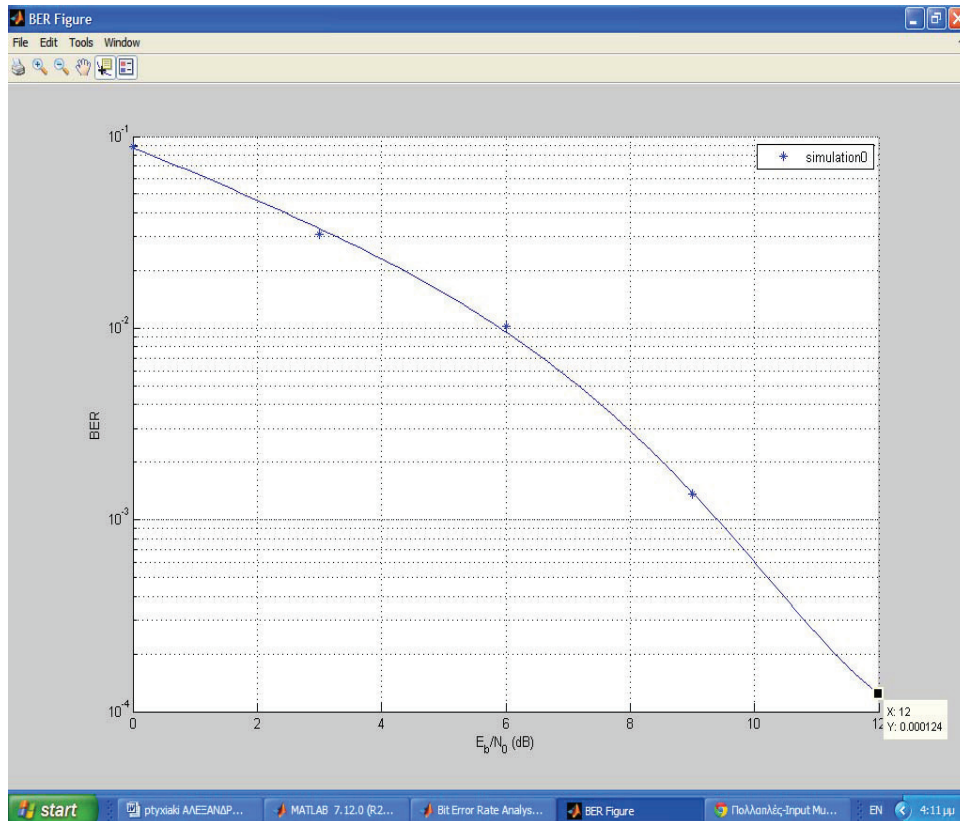


Εικόνα 4.4

Capacity mimo 1x1,2x2,3x3,4x2,2x4



Εικόνα 4.5 Χωρητικότητα μίμο 2x2 με SNR=10dB

**EIKONA 4.6****BER 4X2 WITH RAYLEIGH AND WHITE NOISE..**

Τα συμπεράσματα που εξάγουμε βάσει των σχημάτων είναι τα ακόλουθα

- Η χωρητικότητα αυξάνεται με την αύξηση των στοιχείων των κεραιών του πομπού και του δέκτη.
- Η χωρητικότητα του συστήματος λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές όταν υπάρχει στοιχειοκεραία τόσο στον πομπό ,οσο και στο δέκτη.Για παράδειγμα το 4x2 έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα απο ένα σύστημα 8x1 παρόλο που η στοιχειοκεραία του πομπού του δεύτερου συστήματος έχει περισσότερα στοιχεία.Αυτό εξηγείται γιατί στην περίπτωση που δεν έχουμε συσχέτιση το μίμο κανάλι αναλύεται σε $n = \min(M_t, M_R)$ παράλληλα siso υποκανάλια.Επομένως το 8x1 σύστημα με n=1 είναι χειρότερο απο το 4x2 το οποίο έχει n=2.

- Η χρήση 2 στοιχειοκεραίων στον δέκτη αυξάνει περισσότερο την χωρητικότητα απ' ότι η χρήση των 2 στοιχειοκεραίων στον πομπό. Για παράδειγμα στο σύστημα 2x4 έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα απ' ότι το 4x2. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν υπάρχει στοιχειοκεραία στον πομπό αλλά αυτός δεν έχει γνώση του καναλιού δεν μπορεί να λάβει χώρα κάποια διαδικασία προς βελτίωση της απόδοσης του συστήματος πριν την εκπομπή παρα μόνο ισοκατανομή της ισχύος στα στοιχεία της κεραιάς. Αντιθέτως, όταν υπάρχει στοιχειοκεραία στο δέκτη, μπορούν να γίνουν διεργασίες βελτιστοποίησης κατά τη λήψη, ακριβώς επειδή η κατάσταση του καναλιού είναι γνωστή στο δέκτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΠΟΔΟΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

5.1

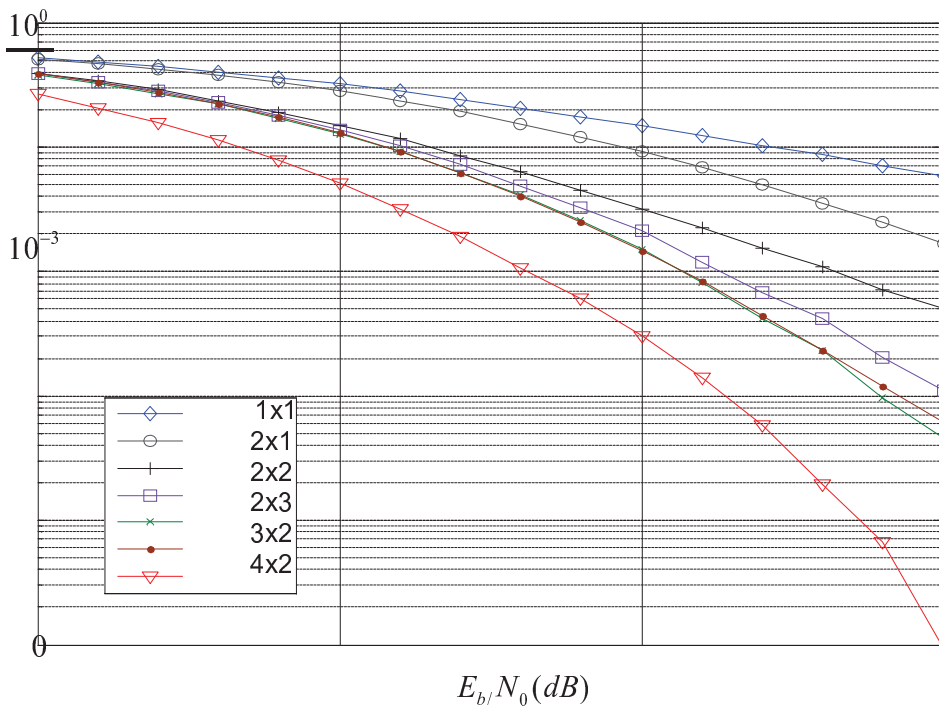
Qam 16,32,64

Η διαμόρφωση QAM (Quadrature Amplitude Modulation) είναι ουσιαστικά συνδυασμός των τεχνικών διαμόρφωσης PSK (Phase Shift Keying) και ASK (Amplitude Shift Keying). Συγκεκριμένα, η μετάδοση της πληροφορίας γίνεται με τη βοήθεια σήματος διαμορφωμένο κατά πλάτος και κατά φάση. Όταν εκπέμπουμε 2 σήματα διαμορφώνοντάς τα με QAM, το εκπεμπόμενο σήμα θα έχει την ακόλουθη μορφή:

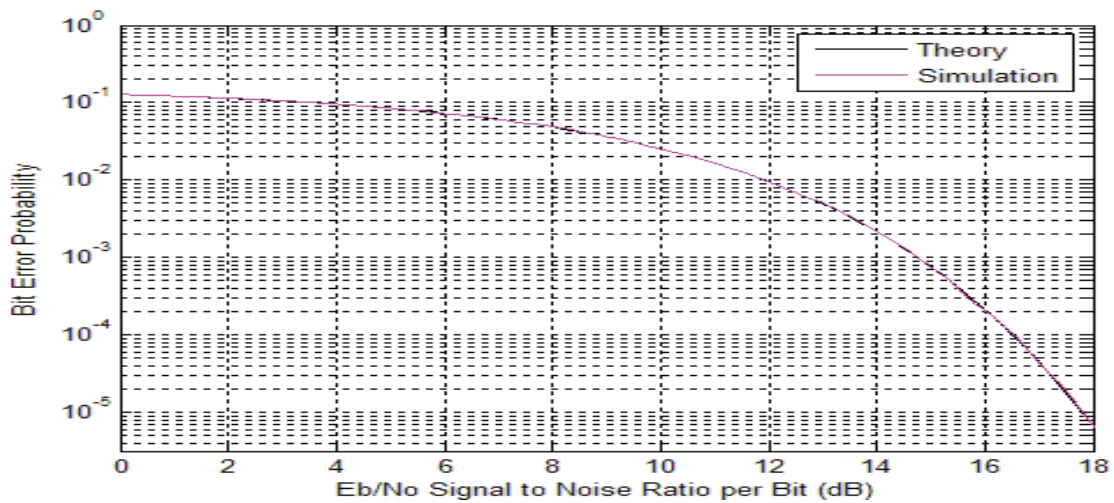
$$u_m(t) = A_{mc}g_T(t) \cos 2\pi f_c t + A_{ms}g_T(t) \sin 2\pi f_c t$$

Στις ψηφιακές επικοινωνίες κάνουμε λόγο για M-αδική QAM με το M να παίρνει τιμές των δυνάμεων του 2, για παράδειγμα 2,4,8,16,32,64 κοκ. Στις δύο πρώτες περιπτώσεις αναφερόμαστε ουσιαστικά στην BPSK και QPSK αντίστοιχα καθώς το πλάτος του σήματος παραμένει σταθερό κατά τη διαμόρφωση και χρησιμοποιείται μόνο η διαφορά φάσης για την μετάδοση της πληροφορίας. Εδώ θα εξετάσουμε την qam 64 η οποία κάνει διαμόρφωση κατά πλάτος με διαφορά φάσης 90 μοιρών δηλαδή θα παράγουμε 64 σύμβολα χρησιμοποιώντας 4 διαφορετικές φάσεις.

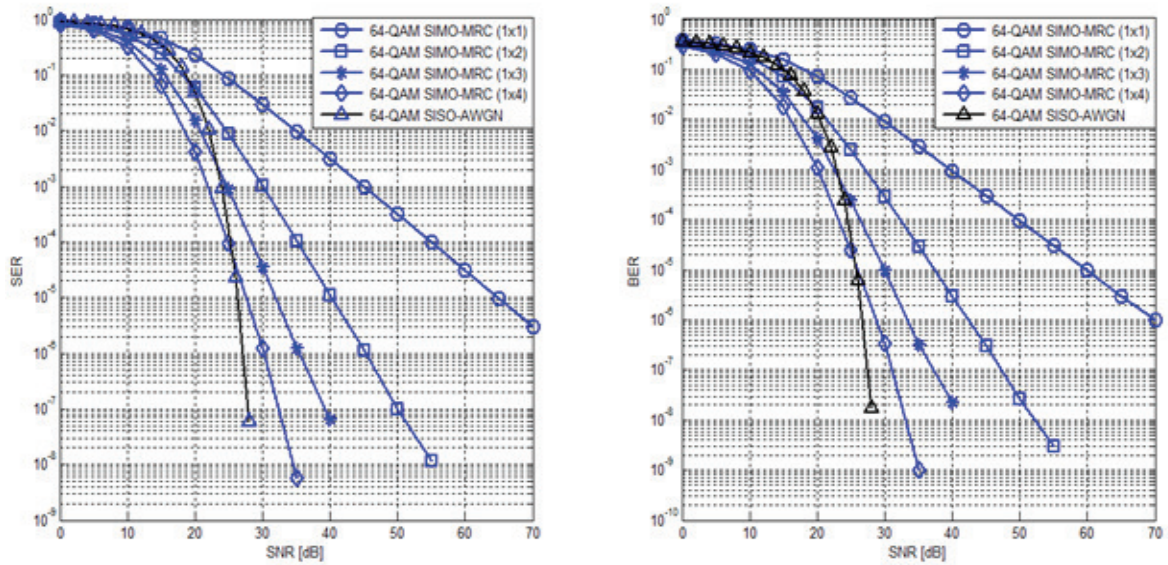
Στό σχήμα που ακολουθεί παρατηρούμε ο ρυθμός σφαλμάτων να πέφτει αισθητά όσο Αυξάνεται ο αριθμός των στοιχειοκεραιών. Με καλύτερη επίδοση να εμφανίζει ο συνδυασμός 4x2 λόγω μεγαλύτερου κέρδους διαφορισμού εκπομπής.



Εικόνα 5.2
64QAM με Rayleigh για 1x1,2x2,2x3,3x2,4x2



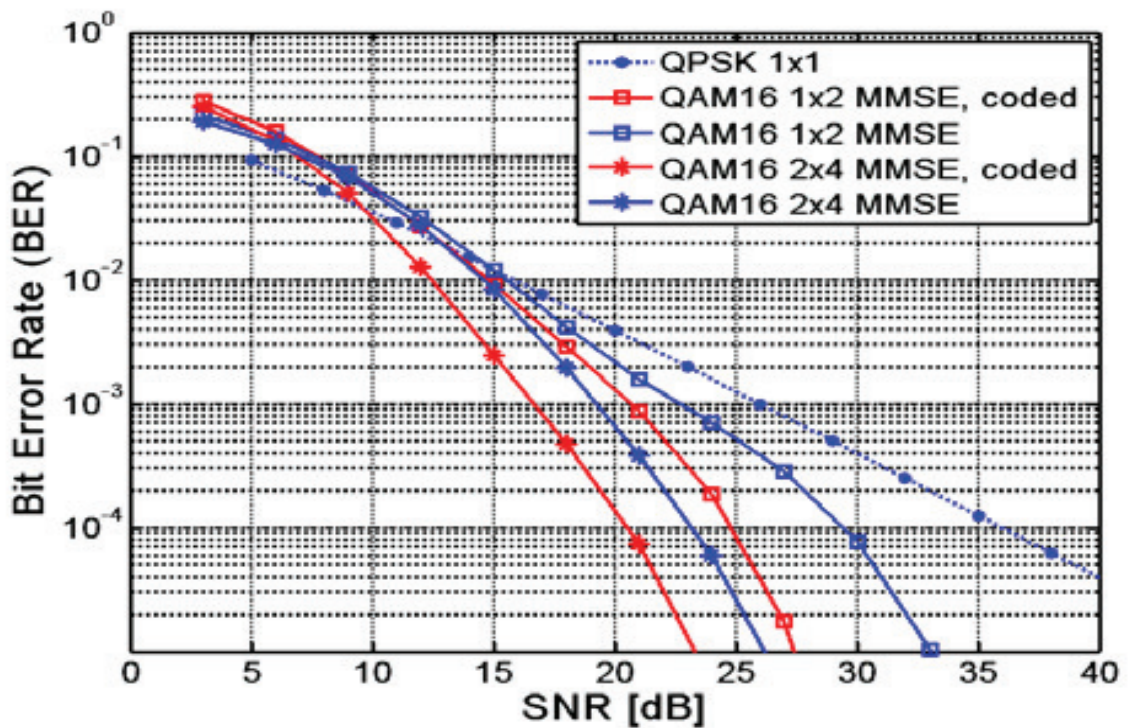
Εικόνα 5.3 64qam σε awgn κανάλι



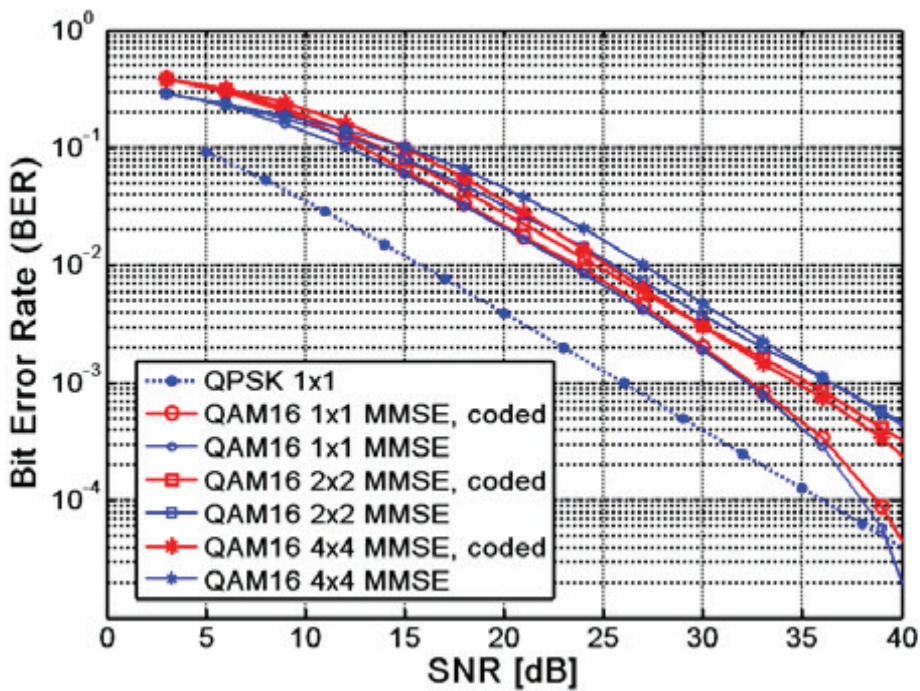
Εικόνα 5.4 64 QAM ΓΙΑ 1X1,1X2,1X3,1X4

5.1.2

16QAM-;gpsk

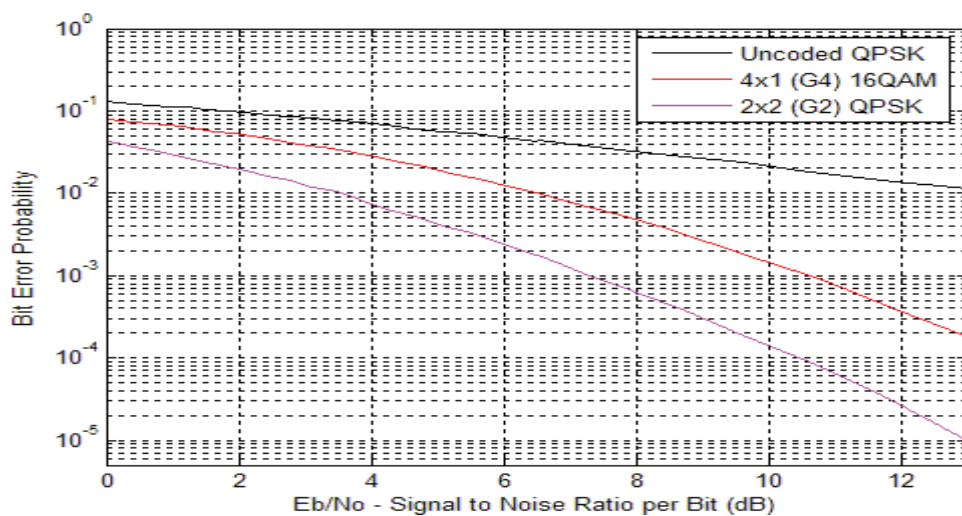


Εικόνα 5.4 qam 16 1x1,1x2,2x4,4x2

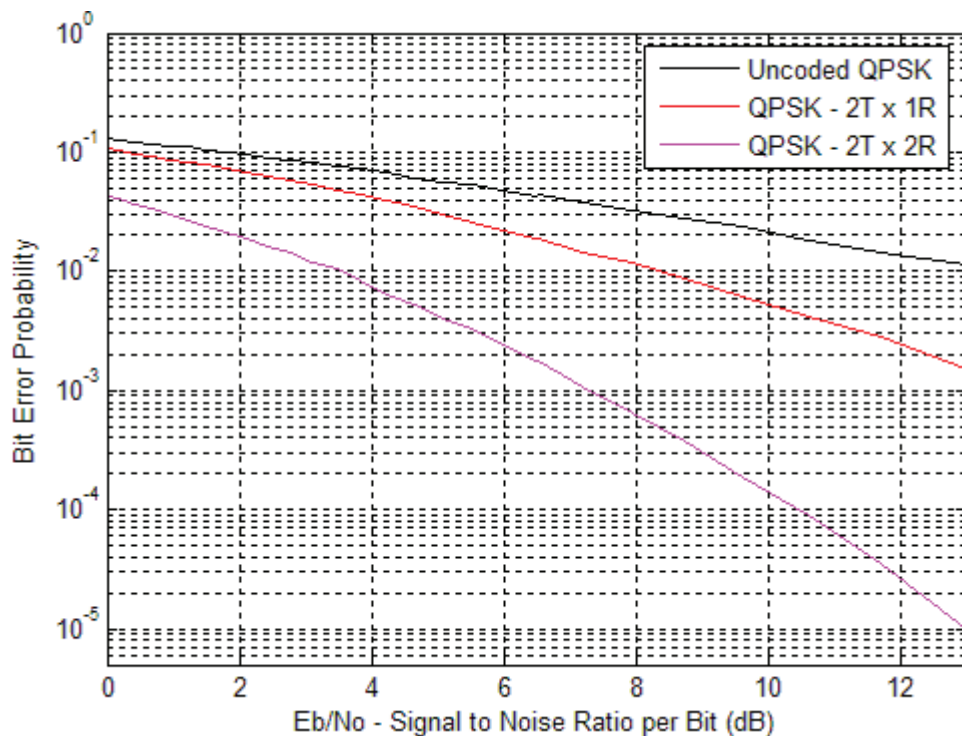


Εικόνα 5.5 qam 16 1x1,2x2,4x4,4x4

Παρατηρούμε πως μικρότερο ρυθμό σφαλμάτων έχει η qpsk λόγω ανθεκτικότητας στο θόρυβο λόγω αρχιτεκτονικής με κόστος χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων. Η qpsk μεταδίδει 2 bit/symbol σε αντίθεση με την qam με 4 bit/symbol με χαμηλότερο ρυθμό 1/4 bit rate.

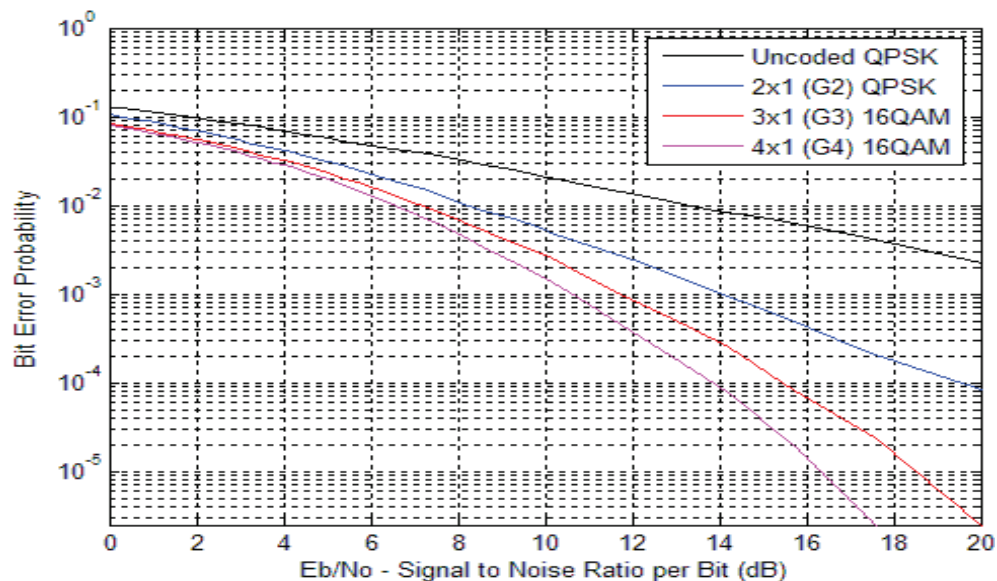


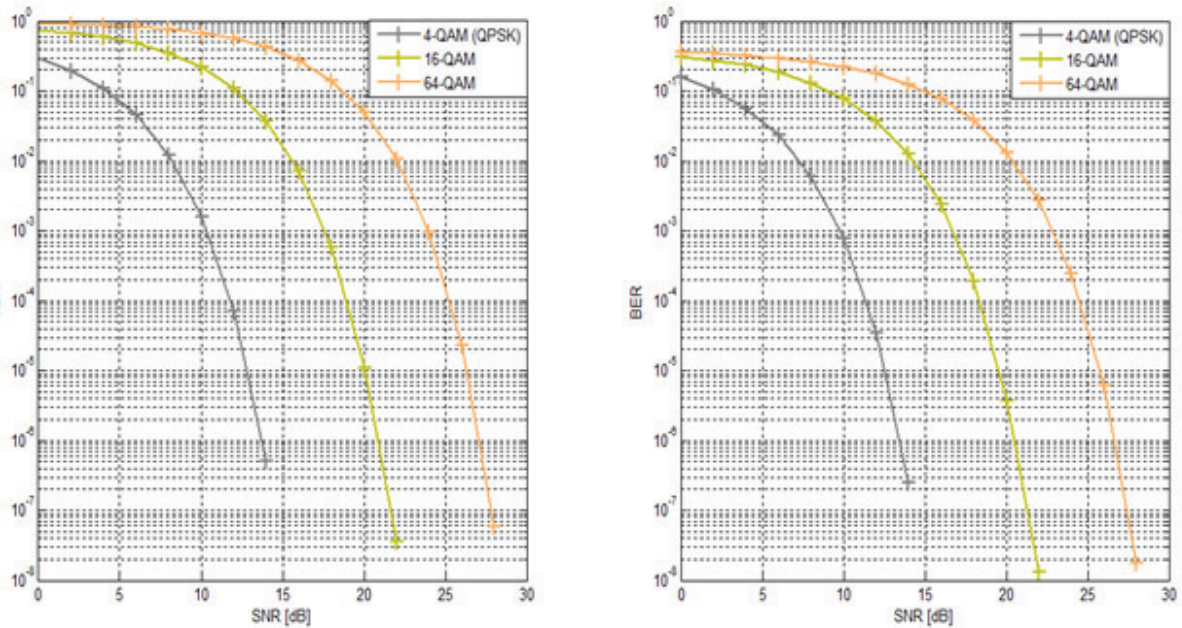
Εικόνα 5.6 qam 16 4x1 qpsk 2x2



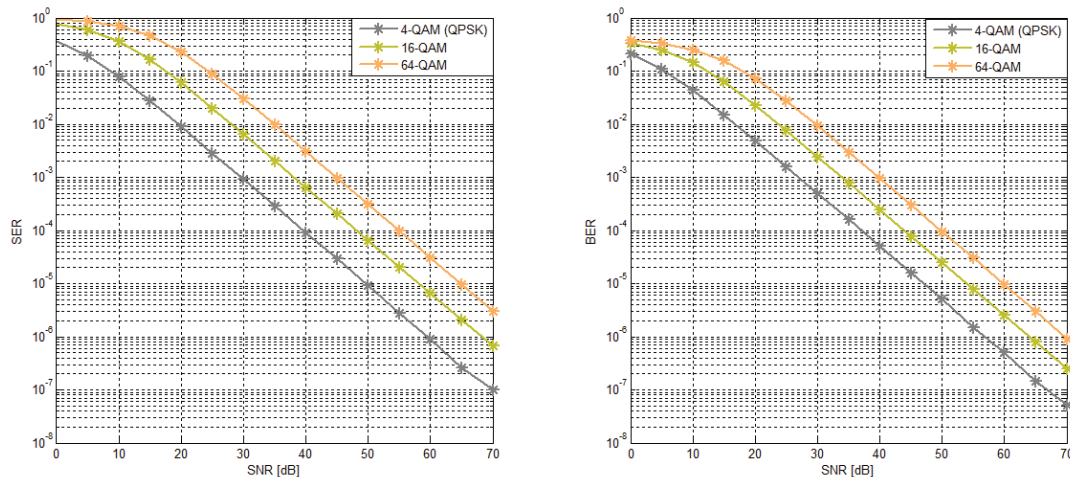
Εικόνα 5.6 qpsk 2x1 qpsk 2x2

Σύμφωνα με τα διαγράμματα αυτά, με την αύξηση των στοιχείων στο δέκτη αυξάνει, εκτός του κέρδους διαφορισμού, και το κέρδος κεραίας στο δέκτη. Επομένως αυξάνεται η κλίση της καμπύλης της πιθανότητας σφάλματος αλλά επιπρόσθετα έχουμε και μία μετατόπιση της καμπύλης προς χαμηλότερα SNR, με αποτέλεσμα να αυξάνεται περαιτέρω η απόδοση του συστήματος. Συγκρίνοντας τα συστήματα 4x1 και 2x2 βλέπουμε πως ενώ οι καμπύλες τους έχουν παραπλήσια κλίση λόγω ίδιου κέρδους διαφορισμού, το 2x2 σύστημα εμφανίζεται πολύ καλύτερη απόδοση λόγω της ύπαρξης κέρδους κεραίας στη λήψη.



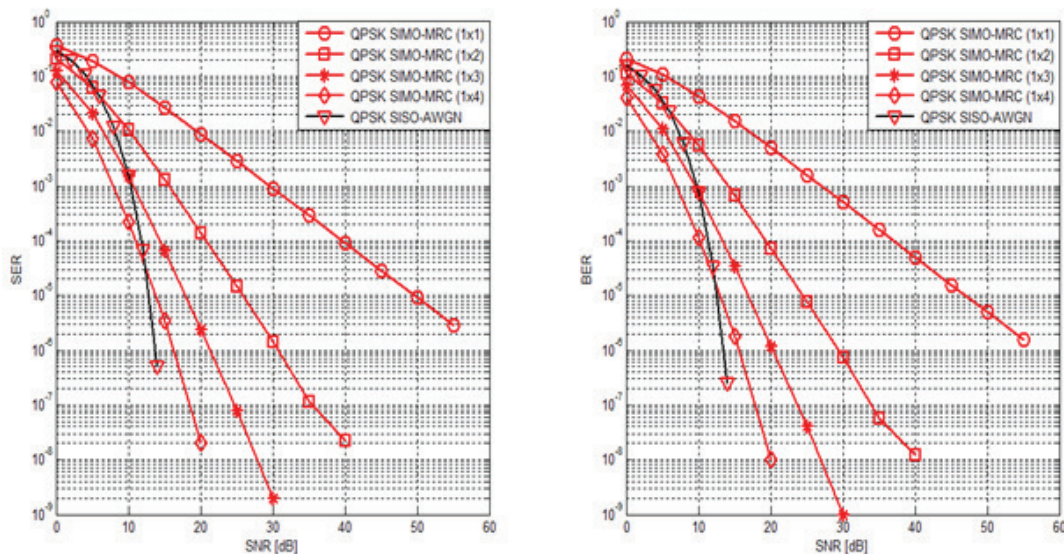


Εικόνα 5.7 Σύγκριση qpsk 16 qam ,64qam με AWGN



Εικόνα 5.8 Σύγκριση qpsk 16 qam ,64qam με RAYLEIGH

Εδώ αξίζει να αναφέρουμε την συμπεριφορά του καναλιού με διαλείψεις και του AWGN καναλιου στο πρωτο σχήμα οι γραφικές εμφανίζουν καμπυλοτητα σε αντίθεση με το δεύτερο και οτι το qpsk έχει καλύτερη συμπεριφορά σε επιπεδων λαθων.



Εικόνα 5.9 QPSK ΓΙΑ 1X1,1X2,1X3,1X4

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Tutorial MAT LAB - SIMULINK

[2] S. M. Alamouti, “A simple transmit diversity technique for wireless communications,” *IEEE Journal Sel. Areas Communications*, Vol. 16, No. 8, pp. 1452–1458, October 1998.

[3] David Gesbert, Mansoor Shafi, Da-Shan Shiu, Peter J. Smith, Ayman Naguib, “From Theory to Practice: An Overview of MIMO Space-Time Coded Wireless Systems”, *IEEE Journal Select. Areas Commun.*, Vol. 21, No. 3, April 2003, pp. 281-302.

[4] K. P. Liolis, I. Andrikopoulos, P. G. Cottis, “On statistical modeling and performance evaluation of SIMO Land Mobile Satellite Channels”, 2008.

[5] David tse, Pramod Viswanath “Βασικές αρχές Ασύρματης Επικοινωνίας.

