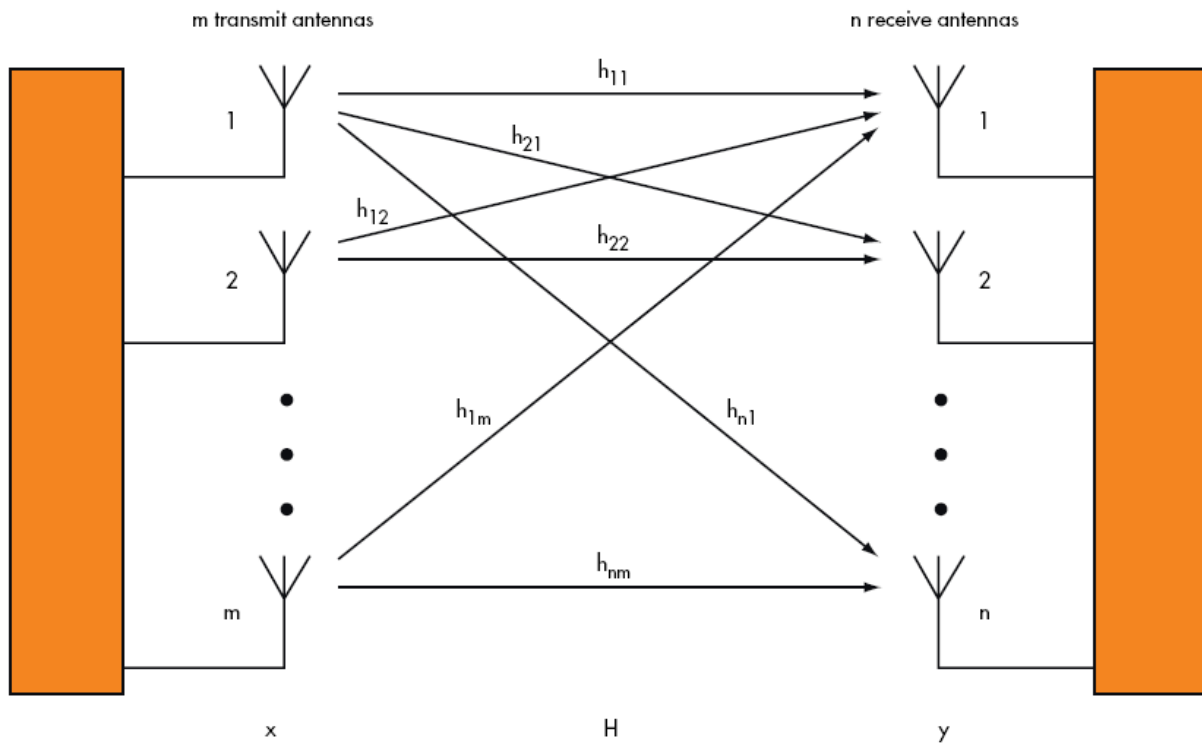


Εργασία στο Μάθημα των Ψηφιακών Τηλεπικοινωνιών II

Εργαστηριακή Άσκηση 3



Διδάσκοντες: Λεωνίδας Γεωργιάδης, Χρήστος Δημάκης

Φοιτητής: Ηλίας Χρυσοβέργης

A.E.M.: 8009

1) Χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών στο δέκτη

Σε αυτό το ερώτημα χρησιμοποιούμε 1 κεραία εκπομπής και N_r κεραιές λήψης. Αυτό το σύστημα λέγεται SIMO (Single Input Multiple Output). Θα χρησιμοποιήσουμε μέχρι 4 κεραιές, διότι είναι αρκετές ώστε να έχουμε μεγάλη μείωση της πιθανότητας σφάλματος. Ακόμη, θεωρούμε ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των καναλιών που δημιουργούνται μεταξύ της κεραίας εκπομπής και των κεραιών λήψης. Τέλος, στον δέκτη χρησιμοποιούμε το βέλτιστο συνδυαστή λόγου (Maximal Ratio Combiner) για να συνδυάσουμε τα σήματα που λαμβάνουμε από τις κεραιές λήψης.

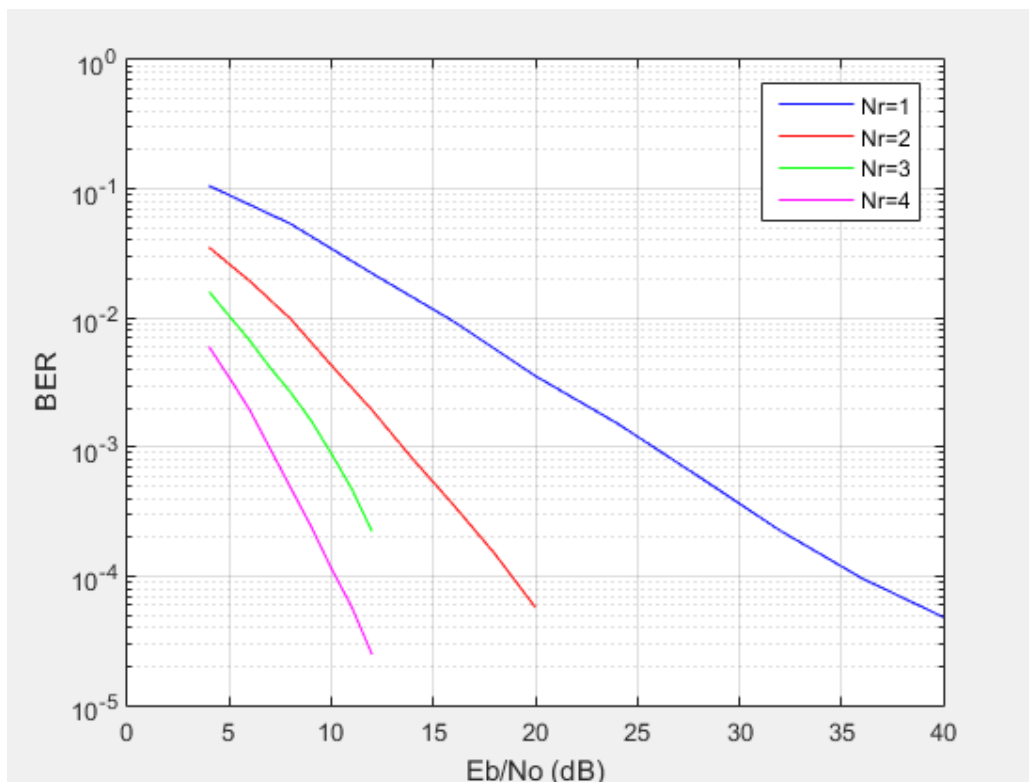
Ο βέλτιστος αυτός συνδυαστής προσθέτει τα σήματα που ήρθαν από τα διαφορετικά κανάλια με διαφορετικά βάρη. Το κάθε βάρος είναι ο συζυγής του συντελεστή του καναλιού, ο οποίος μετριέται στον δέκτη. Αυτή η τεχνική καταφέρνει να απαλείψει την επίδραση των διαλείψεων Rayleigh στην φάση του σήματος, και ενισχύει ή εξασθενεί το πλάτος του σήματος ανάλογα με τις διαλείψεις αυτές.

Στην συνέχεια θα δούμε την μεταβολή των επιδόσεων του συστήματος με την αύξηση των κεραιών λήψης αλλά και για διαφορετικές τιμές της συσχέτισης μεταξύ των καναλιών για 4 κεραιές λήψης:

a) BER για 1 έως 4 κεραιές λήψης

Για τον υπολογισμό του BER για τις διαφορετικές τιμές του N_r χρησιμοποιήσαμε $\rho=0$ (ανεξάρτητα κανάλια).

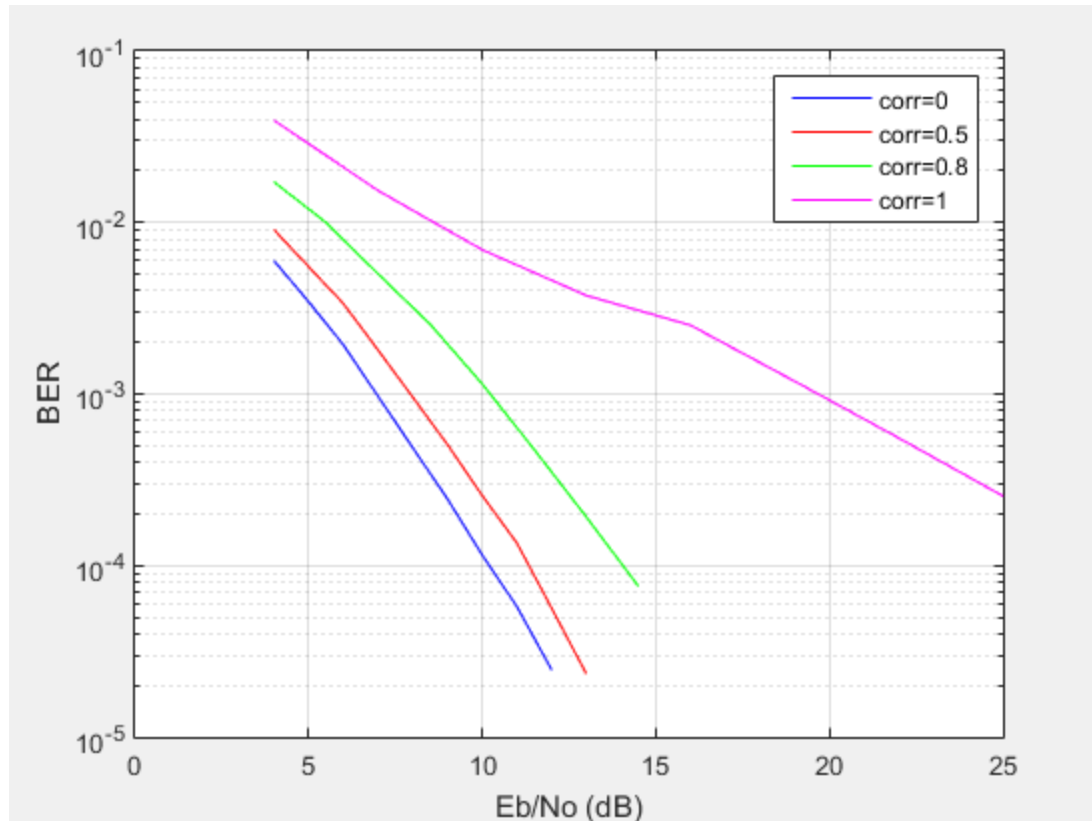
Στην συνέχεια βλέπουμε το διάγραμμα των BER:



Βλέπουμε ότι με την αύξηση των κεραιών λήψης έχουμε σημαντική μείωση του BER, διότι επιτυγχάνεται διαφορισμός χώρου τάξης ίσης με τον αριθμό των κεραιών λήψης. Αυτό το περιμέναμε, διότι ο δέκτης χρησιμοποιεί τα διαφορετικά κανάλια για να πάρει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο.

b) BER για 4 κεραιές λήψης με συσχετίσεις 0, 0.5, 0.8 και 1

Στην συνέχεια δίνεται το διάγραμμα των BER για τις διαφορετικές τιμές των συσχετίσεων:



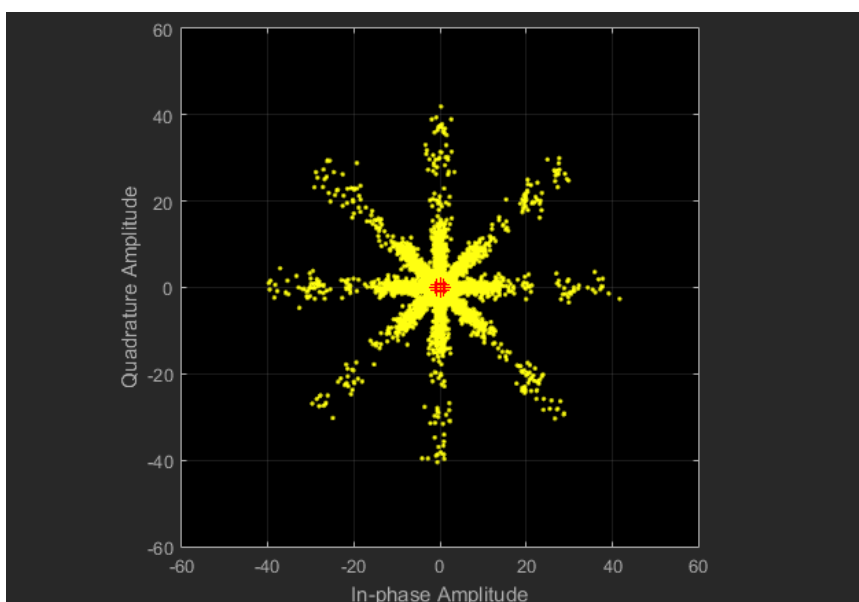
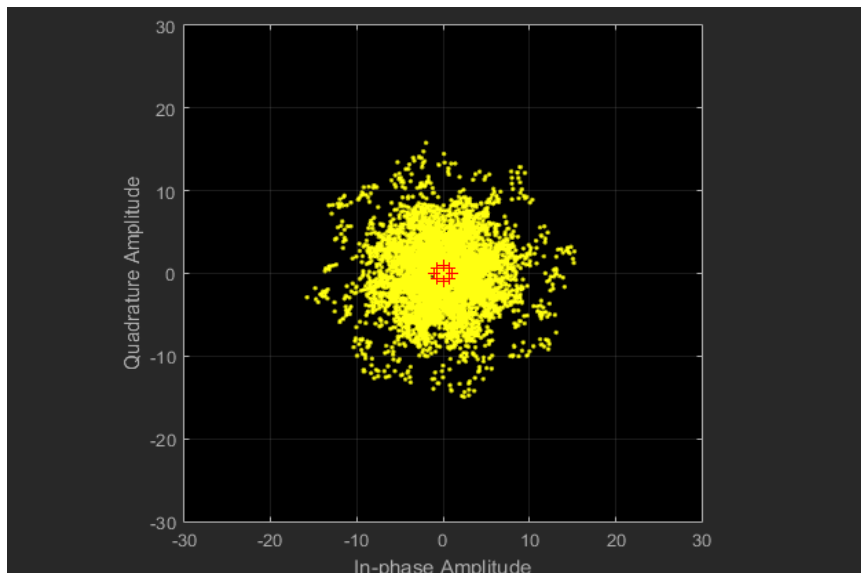
Παρατηρούμε ότι όσο μικρότερη είναι η συσχέτιση τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα σφάλματος. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι εφόσον έχουμε μικρή αυτοσυσχέτιση μεταξύ των καναλιών τα κανάλια θα διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους. Οπότε, ουσιαστικά με μηδενική συσχέτιση δημιουργούνται και διαφορετικά κανάλια, πλήθους ίσου με το πλήθος των κεραιών λήψης και άρα έχουμε διαφορισμό αντίστοιχης τάξης. Όσο αυξάνεται η συσχέτιση τόσο λιγότερο διαφέρουν τα κανάλια οπότε μειώνεται η τάξη διαφορισμού που μπορούμε να επιτύχουμε.

- Διαγράμματα χώρου και διαγράμματα πλάτους και φάσης των διαλείψεων

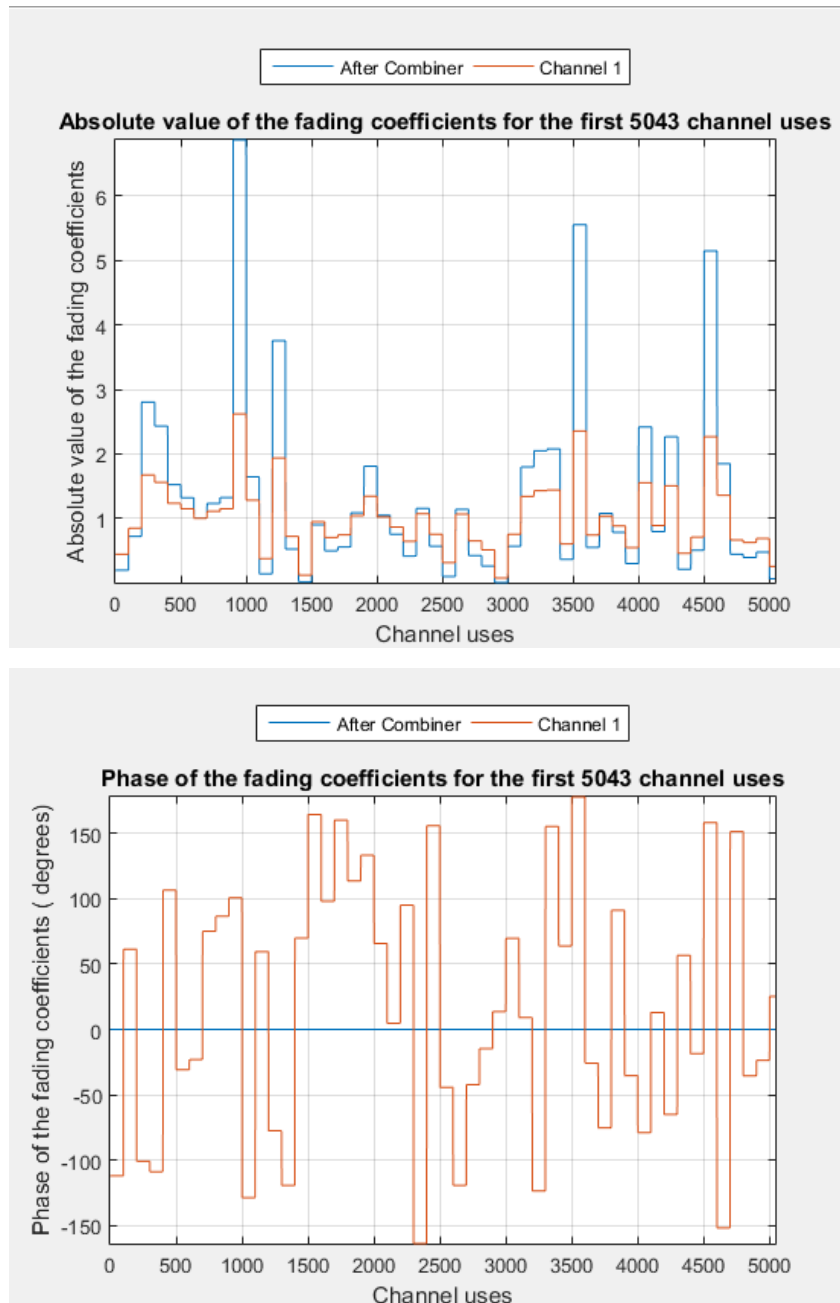
Τα διαγράμματα χώρου μας δείχνουν πως έχουν επηρεάσει οι διαλείψεις και ο θόρυβος τον αστερισμό 8-PSK στην κεραία του δέκτη, και ποιος είναι ο τελικός αστερισμός που έχουμε μετά την ανίχνευση. Θα δούμε κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα εδώ, για να κατανοήσουμε την επίδραση των διαλείψεων και την λειτουργία του δέκτη:

a) Μία κεραία λήψης και $E_b/N_0 = 10$

Τα διαγράμματα χώρου στην κεραία λήψης και μετά τον συνδυαστή δίνονται στην συνέχεια:



Τα διαγράμματα πλάτους και φάσης των διαλείψεων στην κεραία λήψης και μετά τον συνδυαστή δίνονται στην συνέχεια:

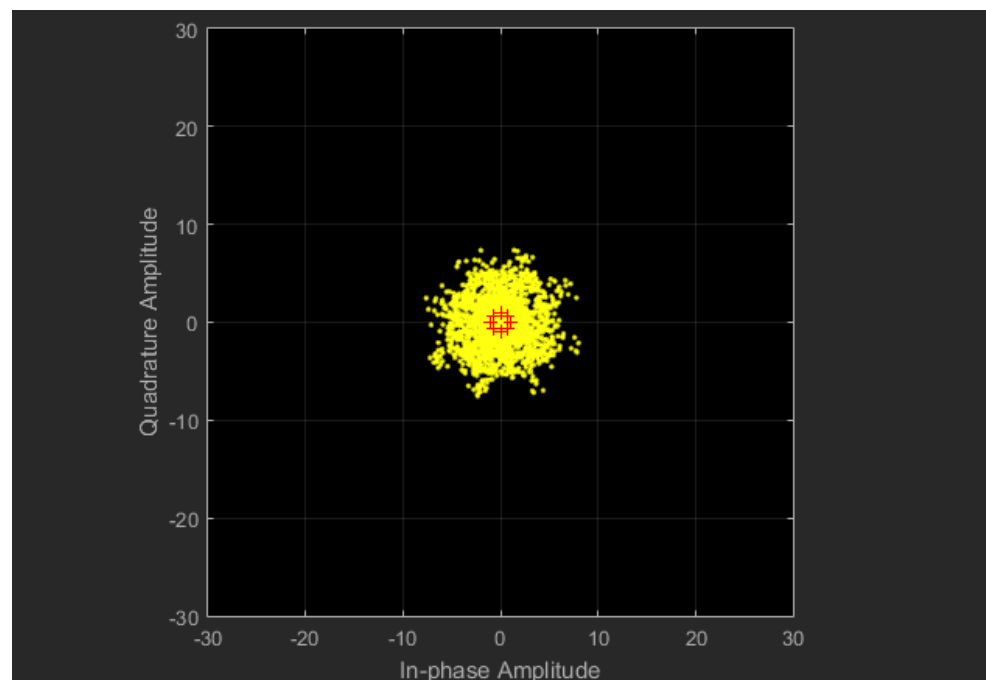


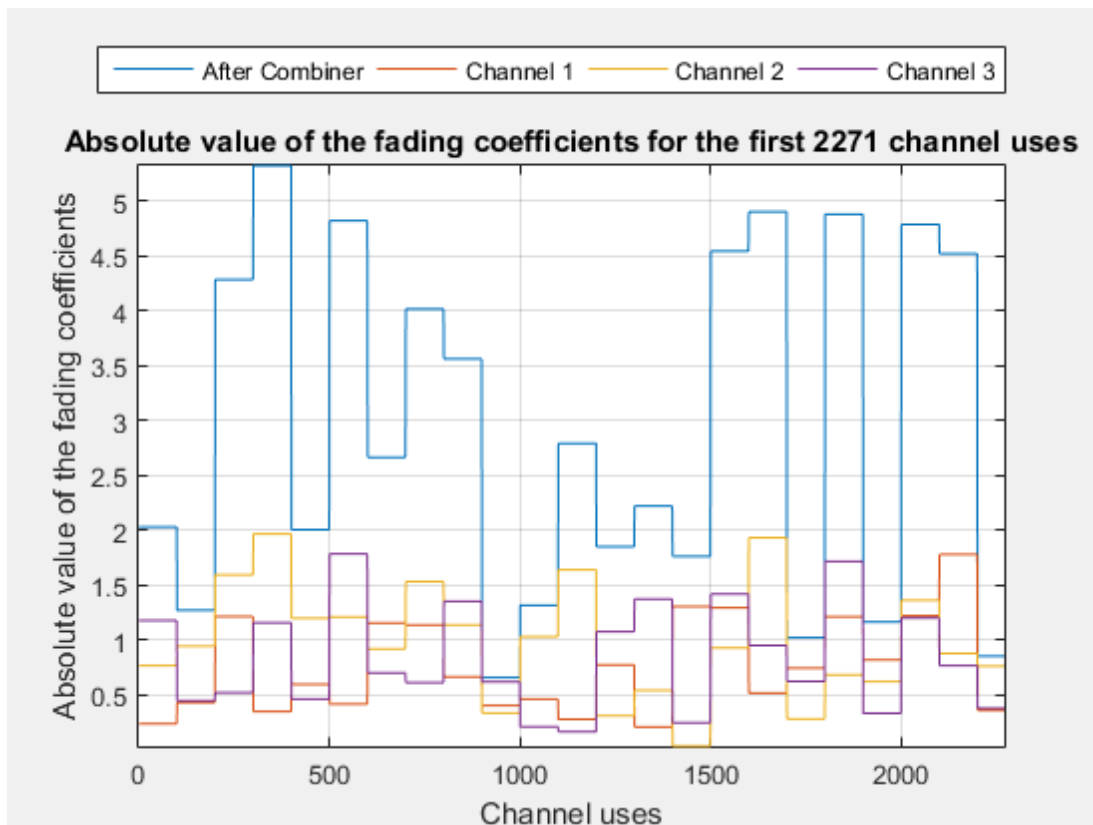
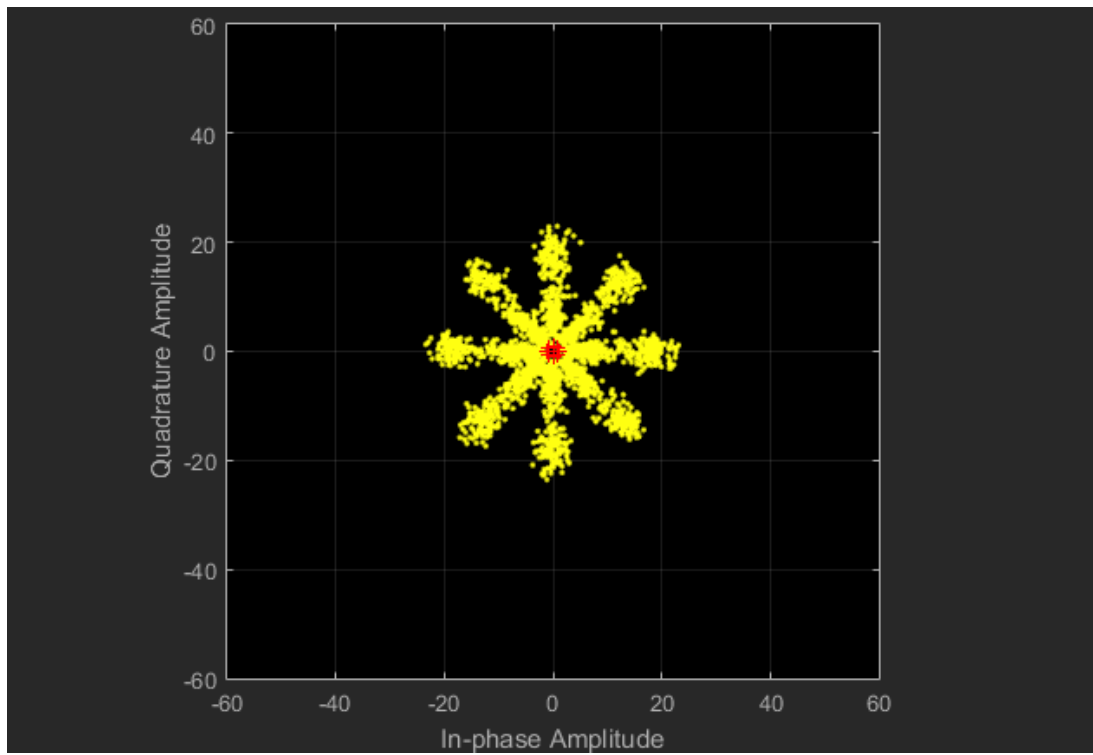
Βλέπουμε ότι οι διαλείψεις επιδρούν σημαντικά στον αστερισμό. Στο πρώτο διάγραμμα χώρου που έχουμε, το σήμα μας έχει επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τις διαλείψεις και δεν μπορούμε να κάνουμε σωστή ανίχνευση. Αυτό συμβαίνει διότι οι διαλείψεις αλλάζουν το πλάτος αλλά και την φάση του συμβόλου που θέλουμε να στείλουμε. Στο διάγραμμα πλάτους των διαλείψεων μπορούμε να δούμε ότι το πλάτος του σήματος μπορεί να αυξάνεται ή να μειώνεται. Η αύξηση του πλάτους είναι κάτι θετικό γιατί ενισχύει το σήμα και

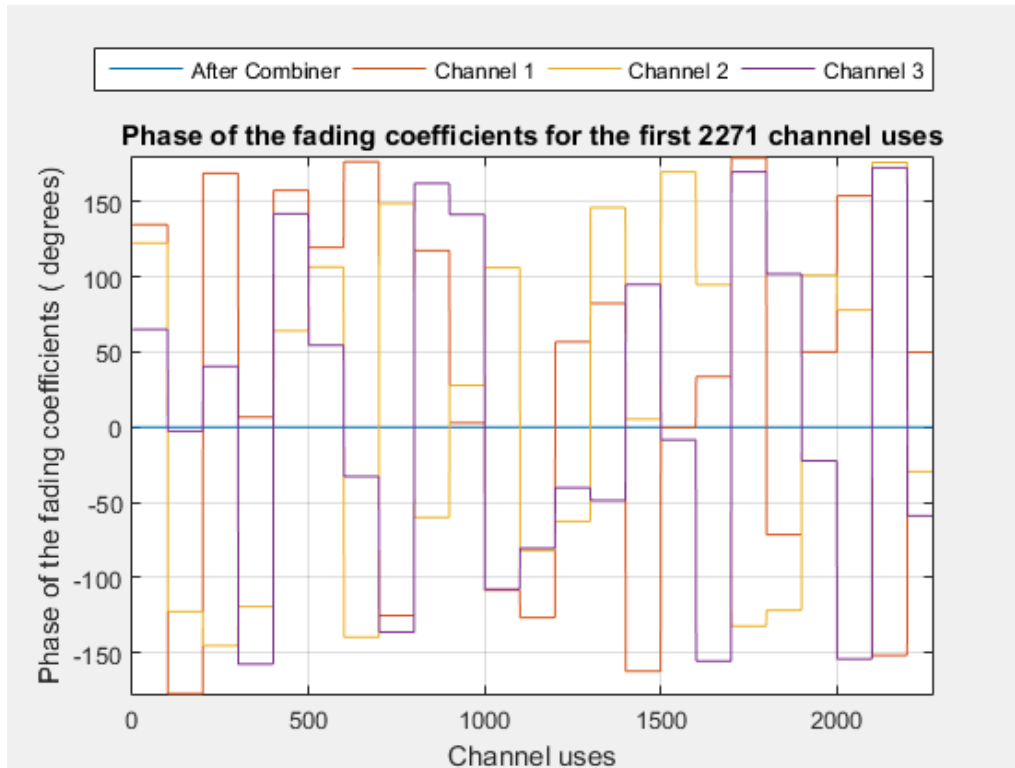
ανοίγει τον κύκλο στον οποίο βρίσκεται ο αστερισμός 8-PSK. Η μείωση του πλάτους (δηλαδή αν ο συντελεστής του πλάτους των διαλείψεων είναι μικρότερος του 1) μικραίνει την ακτίνα του κύκλου, οπότε είναι πολύ πιθανό να έχουμε κάποιο σφάλμα στην ανίχνευση. Ακόμη, μπορούμε να δούμε ότι επειδή ο συνδυαστής πολλαπλασιάζει με τον συζυγή των διαλείψεων θα έχουμε ακόμη μεγαλύτερη ενίσχυση όταν το πλάτος είναι μεγαλύτερο του 1 αλλά ακόμη μεγαλύτερη μείωση όταν το πλάτος των διαλείψεων είναι μικρότερο του 1. Πιο σημαντικό από το πλάτος των διαλείψεων είναι η φάση τους όμως. Η φάση των διαλείψεων μπορούν να στρέψουν το σύμβολο που έχουμε στείλει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση πάνω στον κύκλο, οπότε θα είναι αδύνατο να ανιχνεύσουμε ορθά τι στείλαμε. Για αυτό και είναι πολύ σημαντικό που ο συνδυαστής, πολλαπλασιάζοντας με τον συζυγή του συντελεστή των διαλείψεων, καταφέρνει και διώχνει την επίδραση στη φάση του 8-PSK σήματος, όπως βλέπουμε στο τελευταίο από τα τέσσερα διαγράμματα. Οπότε, τώρα βλέποντας το διάγραμμα χώρου μετά τον συνδυαστή μπορούμε να κατανοήσουμε γιατί έχουμε μπορέσει να βλέπουμε την μορφή του 8-PSK σήματος αλλά και γιατί έχουμε διαφορετικά πλάτη σε αυτόν τον αστερισμό.

b) Τρεις κεραίες λήψης και $E_b/N_0 = 7$

Τα διαγράμματα χώρου στις κεραίες λήψης και μετά τον συνδυαστή όπως και τα διαγράμματα πλάτους και φάσης των διαλείψεων στις κεραίες λήψης και μετά τον συνδυαστή δίνονται στην συνέχεια:







Η λογική είναι η ίδια και με την μία κεραία λήψης. Ο συνδυαστής πρέπει να μπορέσει να απαλείψει την επίδραση της φάσης των διαλείψεων κάτι που το καταφέρνει όπως βλέπουμε. Έτσι, έχουμε τον αστερισμό 8-PSK μετά τον συνδυαστή, αλλά με διαφορετικά πλάτη και πάλι λόγω των διαφορετικών πλάτων των διαλείψεων. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι είναι πολύ πιθανό να έχουμε πλάτος διαλείψεων μεγαλύτερο του 1, διότι αν ένα από τα διαφορετικά κανάλια έχει πλάτος διαλείψεων μεγαλύτερο του 1, τότε αυτό θα ισχύει και συνολικά. Αυτός είναι και ο λόγος που είναι προτιμότερο να έχουμε τρεις κεραίες λήψης από ότι μία.

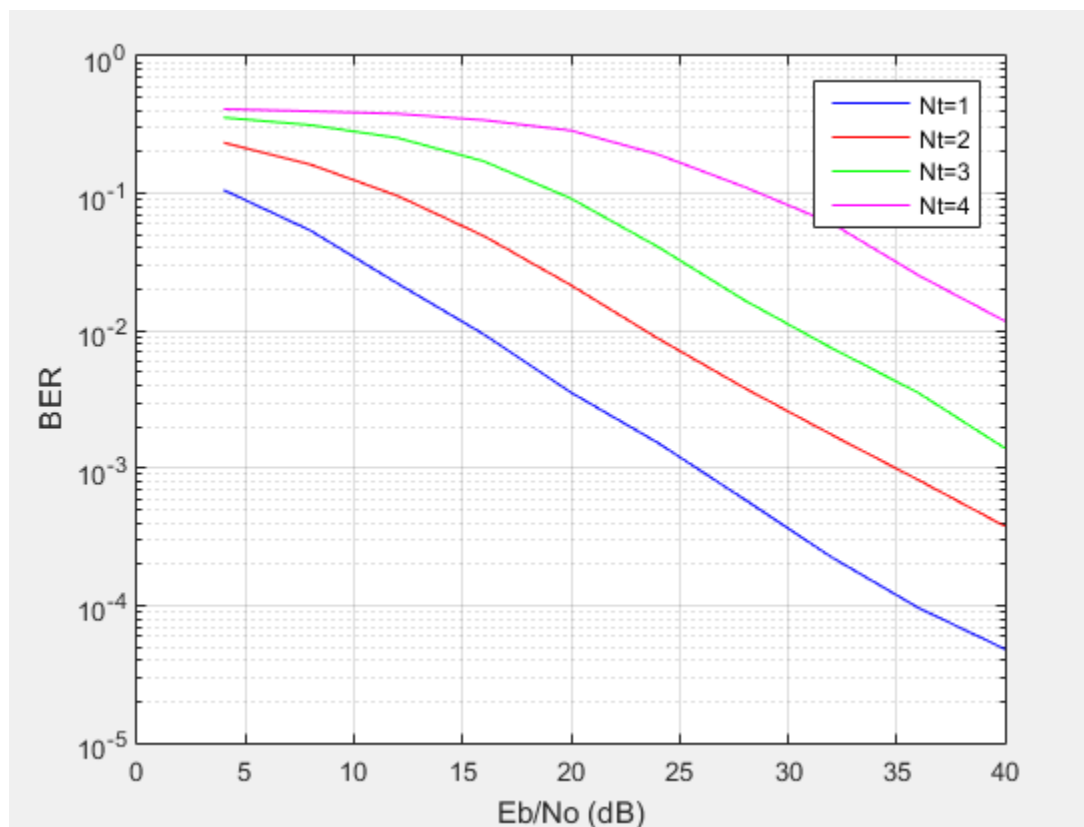
Όσον αφορά την συσχέτιση μεταξύ των καναλιών, έχουμε βγάλει το συμπέρασμα ότι η αύξηση της συσχέτισης οδηγεί σε χειρότερες επιδόσεις του συστήματος. Αυτό μπορούμε να το εξηγήσουμε από το γεγονός ότι αν υπάρχει κάποιο κανάλι που έχει πλάτος διαλείψεων μικρότερο της μονάδας τότε είναι πολύ πιθανό όλα τα κανάλια να έχουν αντίστοιχο πλάτος οπότε να μην ενισχύεται το σήμα. Για συσχέτιση ίση με την μονάδα έχουμε ουσιαστικά ένα κανάλι οπότε δεν μπορούμε να επιτύχουμε διαφορισμό τάξης ίσης με το πλήθος των κεραίων λήψης.

2)Χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών στον πομπό

Σε αυτό το ερώτημα χρησιμοποιούμε N_t κεραιές εκπομπής και 1 κεραιά λήψης. Αυτό το σύστημα λέγεται MISO (Multiple Input Single Output). Θα χρησιμοποιήσουμε μέχρι 4 κεραιές. Τώρα θεωρούμε ότι τα κανάλια είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, οπότε η συσχέτιση είναι μηδενική. Θα χρησιμοποιήσουμε 3 διαφορετικά σχήματα εκπομπής. Στο πρώτο θα στέλνουμε διαφορετικό σύμβολο από κάθε κεραιά. Στο δεύτερο θα στέλνουμε το ίδιο σύμβολο από κάθε κεραιά. Στο τρίτο στέλνουμε 3 σύμβολα σε τέσσερα time slots, χρησιμοποιώντας κώδικα χώρου χρόνου.

- i. Διαφορετικό σύμβολο από κάθε κεραιά

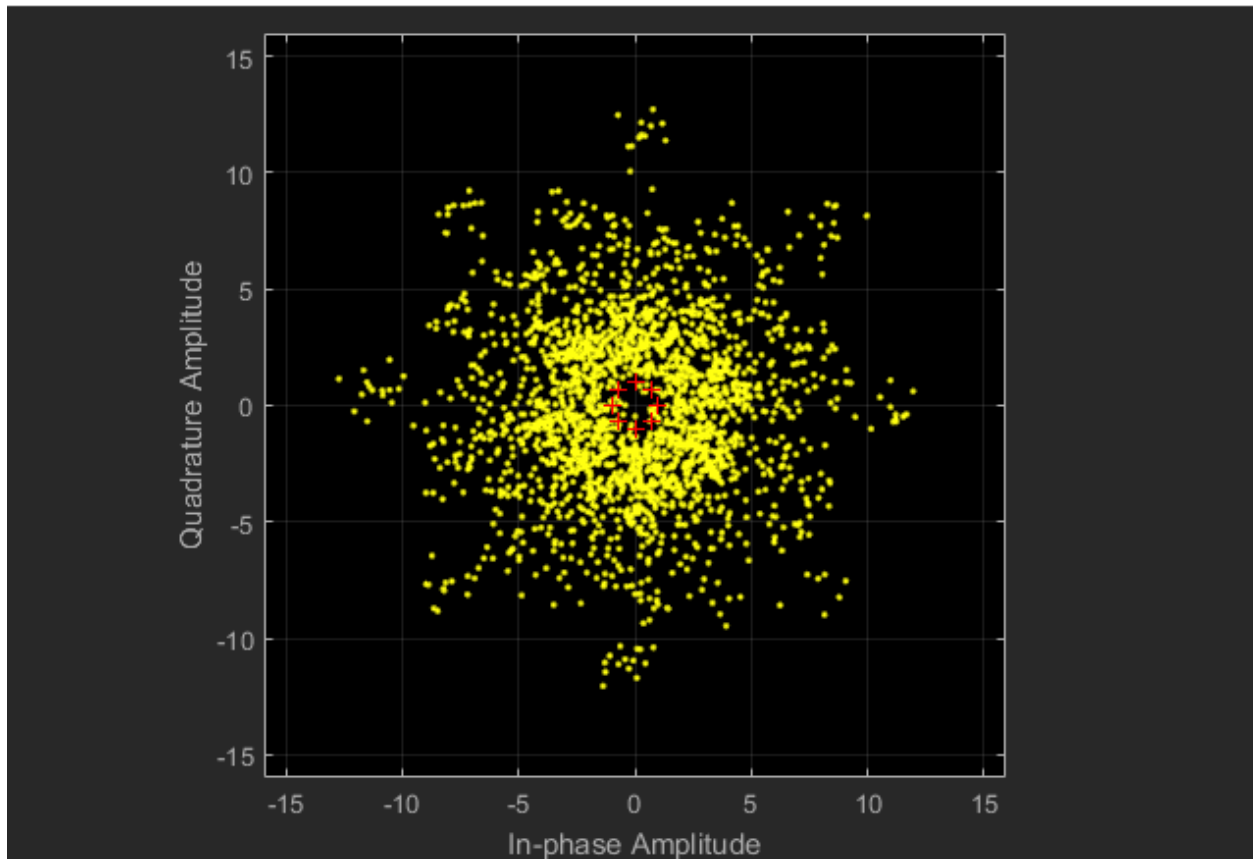
Το διάγραμμα των BER φαίνεται στην συνέχεια:



Παρατηρούμε ότι η αύξηση των κεραιών εκπομπής έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση και της πιθανότητας σφάλματος. Επειδή στέλνουμε διαφορετικά σύμβολα από διαφορετικές κεραιές, και ο δέκτης δεν έχει προνοήσει για αυτήν την λειτουργία, έχουμε χειροτέρευση της επίδοσης του συστήματος με αύξηση των κεραιών εκπομπής. Ο δέκτης λαμβάνει μία υπέρθεση των διαφορετικών σημάτων που έρχεται και δεν μπορεί να ξεχωρίσει ποια σύμβολα στάλθηκαν. Οπότε, είναι λογικό γιατί όσο αυξάνονται οι κεραιές εκπομπής αυξάνεται και το BER. Ο δέκτης, δηλαδή, αδυνατεί να εκμεταλλευτεί τον διαφορισμό που μπορεί να προσφέρουν στο σύστημα οι πολλές κεραιές εκπομπής.

➤ Διαγράμματα χώρου

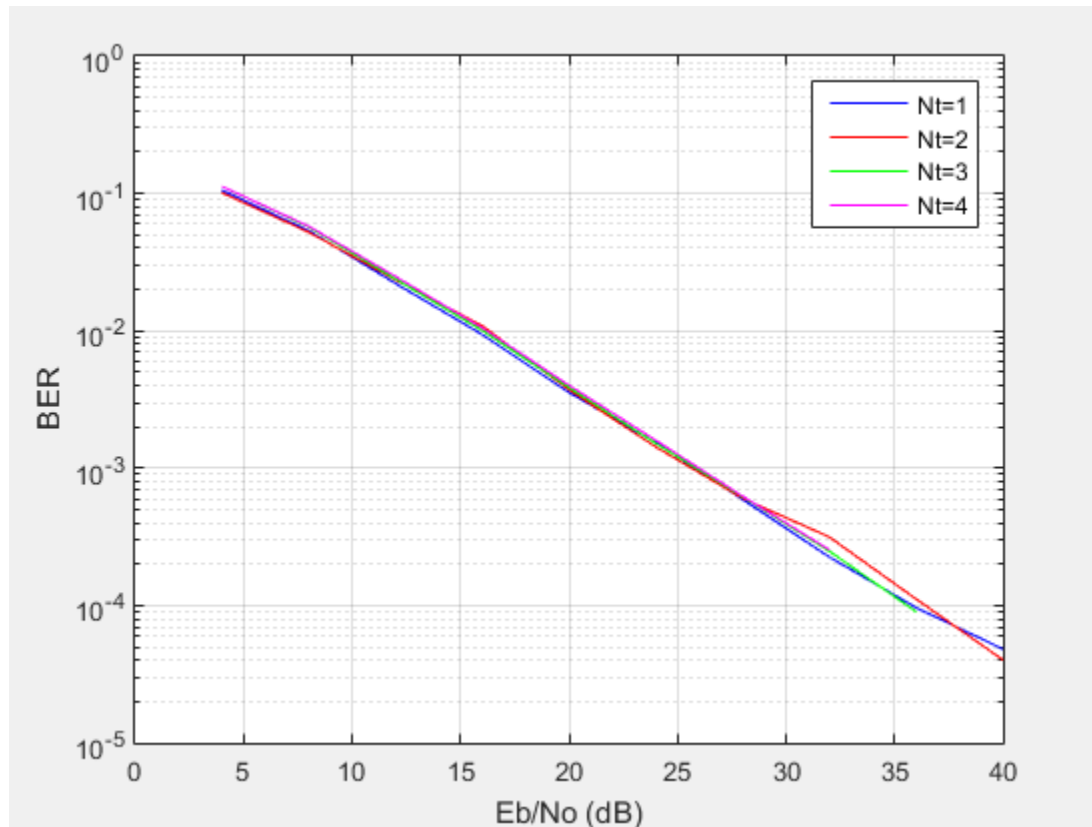
Το διάγραμμα χώρου δίνεται στην συνέχεια:



Τα διαγράμματα χώρου δεν έχουν να μας δώσουν κάτι ουσιαστικό για αυτό τον τρόπο εκπομπής. Λόγω της αδυναμίας μείωσης της επίδρασης των διαλείψεων οι επιδόσεις είναι πολύ κακές και όπως είπαμε όσο αυξάνονται οι κεραίες εκπομπές τόσο χειροτερεύει η επίδοση του συστήματος.

ii. Ίδιο σύμβολο από κάθε κεραία

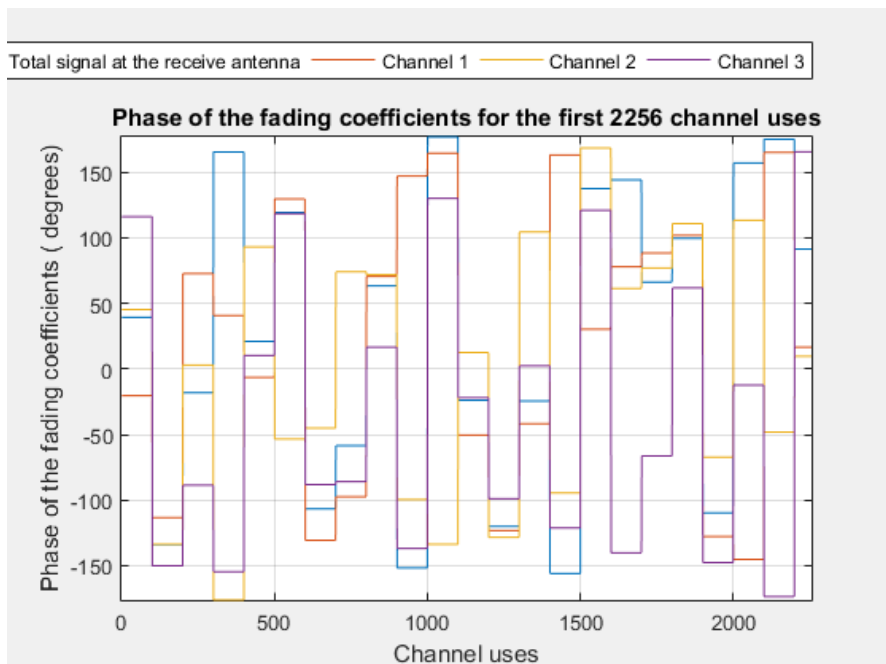
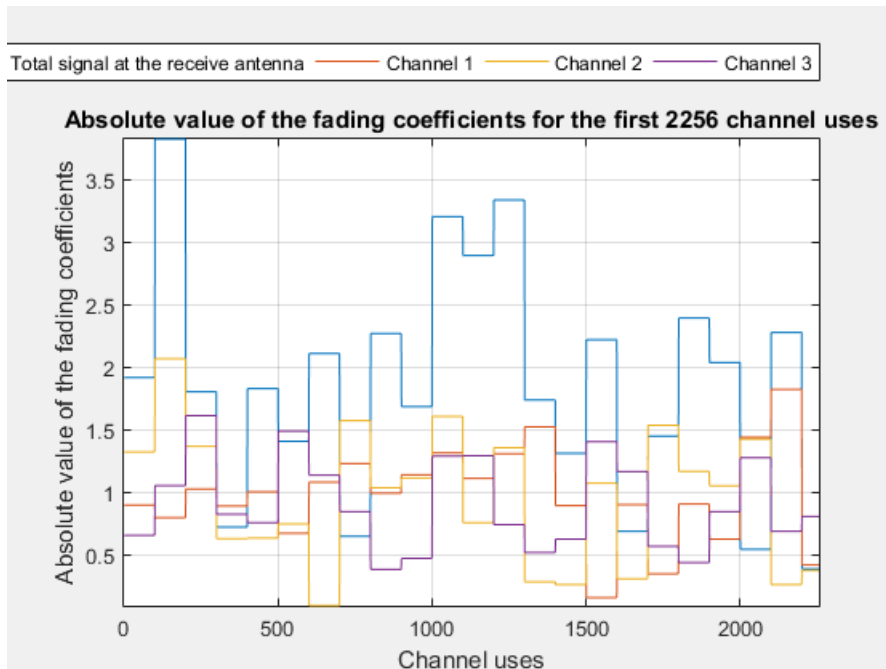
Το διάγραμμα των BER δίνεται στην συνέχεια:



Βλέπουμε ότι για διαφορετικές κεραίες εκπομπής έχουμε ίδια πιθανότητα σφάλματος. Οπότε δεν βλέπουμε ότι με αυτόν τον τρόπο εκπομπής κερδίζουμε κάτι, αλλά δεν χάνουμε κιόλας όπως στην περίπτωση της αποστολής διαφορετικών συμβόλων. Αυτό συμβαίνει διότι στην κεραία λήψης έχουμε υπέρθεση του ίδιου σήματος που έχει σταλεί από την κάθε κεραία εκπομπής, οπότε το κάθε σήμα έχει πολλαπλασιαστεί με διαφορετικό h (επίδραση διαφορετικού καναλιού). Τελικά όμως, λόγω της υπέρθεσης και του γεγονότος ότι έχουμε το ίδιο σήμα εκπομπής στην λήψη έχουμε πάλι το σήμα εκπομπής πολλαπλασιασμένο με μία παράμετρο h (που είναι η υπέρθεση των παραμέτρων των διαφορετικών καναλιών). Οπότε, ο δέκτης λαμβάνει το σήμα πολλαπλασιασμένο με έναν παράγοντα συχνοτικά επίπεδων διαλείψεων Rayleigh, οπότε δεν παίζει ρόλο με αυτή τη μορφή εκπομπής πόσες κεραίες εκπομπής έχουμε. Θα μπορούσαμε με αυτόν τον τρόπο να βρούμε την ιδανική θέση για την κεραία εκπομπής ώστε να μπορέσουμε να πετύχουμε ίδιο BER αλλά με μικρότερο E_b/N_0 ;

➤ Διαγράμματα πλάτους και φάσης των διαλείψεων

Στην συνέχεια βλέπουμε τα διαγράμματα πλάτους και φάσης των διαλείψεων Rayleigh:



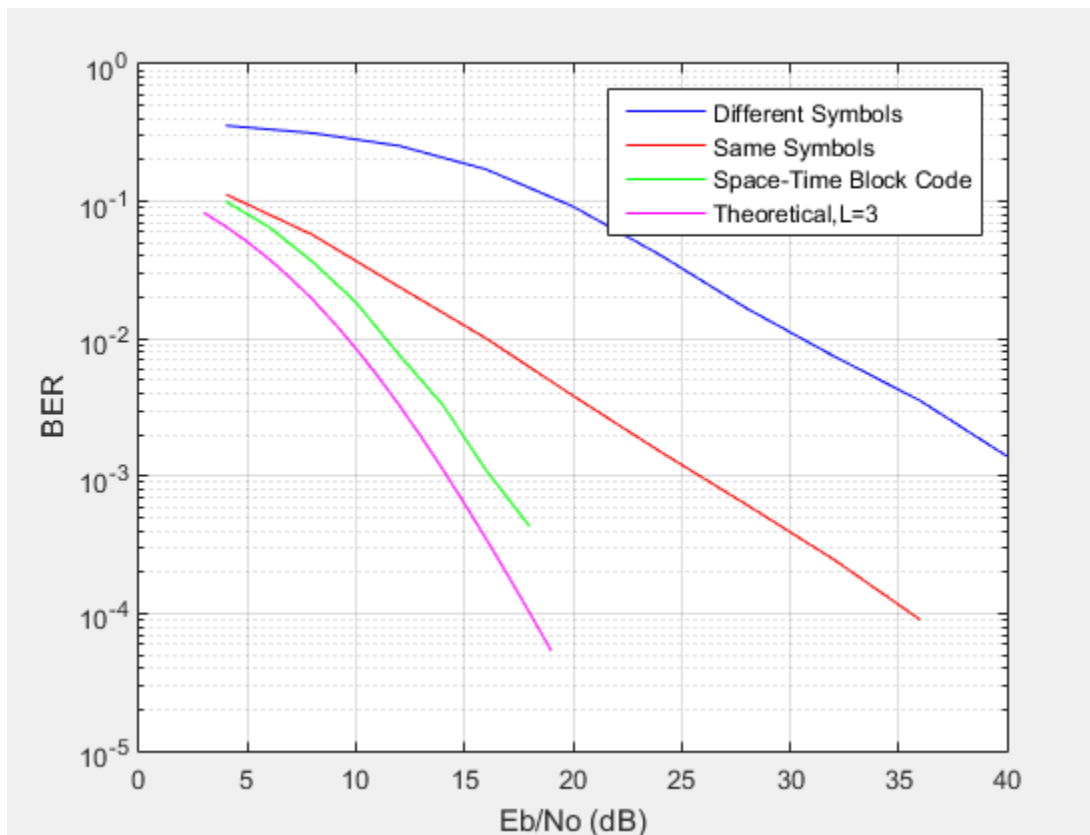
Τώρα βλέπουμε ότι δεν μπορούμε να διώξουμε την επίδραση της φάσης των διαλείψεων Rayleigh. Αυτό εξηγεί γιατί η αύξηση των καναλιών λόγω της αύξησης των κεραίων εκπομπής δεν προσφέρει τίποτα στην επίδοση του συστήματος.

Βλέπουμε ότι τελικά στην κεραία λήψης έχουμε ένα σήμα στο οποίο έχουν επιδράσει οι διαλείψεις εκτός από την προσθήκη θορύβου.

iii. Τρία σύμβολα σε τέσσερα time slots

Με αυτόν τον τρόπο εκπομπής επιτυγχάνουμε διαφορισμό τάξης 3 με χρήση κώδικα χώρου-χρόνου. Ο διαφορισμός στον χώρο έχει να κάνει με τα διαφορετικά κανάλια από τα οποία ο δέκτης λαμβάνει το σήμα. Ο διαφορισμός στον χρόνο έχει να κάνει με τα διαφορετικά σύμβολα που στέλνονται σε κάθε time slot. Στην συνέχεια θα εξηγήσουμε γιατί επιτυγχάνεται διαφορισμός στον χώρο και όχι στον χρόνο, και θα πούμε πως θα μπορούσαμε να επιτύχουμε και διαφορισμό στον χρόνο.

Στην συνέχεια μπορούμε να δούμε τα διάγραμμα BER για τους 3 διαφορετικούς τρόπους εκπομπής, όπως και την θεωρητική καμπύλη για 8-PSK σήμα για ένα κανάλι διαλείψεων Rayleigh με διαφορισμό τάξης 3:



Βλέπουμε ότι ο κώδικας χώρου χρόνου έχει βελτιώσει σημαντικά την επίδοση του συστήματος και έχει επιτύχει διαφορισμό τάξης 3, κάτι που είναι λογικό, εφόσον η μέγιστη τάξη διαφορισμού που μπορεί να επιτευχθεί είναι $N_t \cdot N_r$. Αυτό συμβαίνει γιατί το κανάλι παραμένει σταθερό στα time slots που διαρκεί ο κώδικας. Αν το κανάλι άλλαζε, όμως, κάθε 2 χρήσεις καναλιού, για παράδειγμα, θα μπορούσαμε

να φτάσουμε και σε διαφορισμό τάξης 6. Τέλος, βλέπουμε ότι η επίδοση είναι χειρότερη από αυτήν που μας δίνει η θεωρητική καμπύλη, πράγμα που εξαρτάται κατά πάσα πιθανότητα από την υλοποίηση του συστήματος.

❖ Σύγκριση αποτελεσμάτων

Από την πάνω ανάλυση μπορούμε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα για τα τέσσερα διαφορετικά συστήματα που χρησιμοποιήσαμε.

Αρχικά, το σύστημα με τις πολλαπλές κεραίες στο δέκτη κατάφερε να επιτύχει διαφορισμό τάξης ίσης με τον αριθμό των κεραιών λήψης. Αυτό έγινε λόγω του βέλτιστου συνδυαστή.

Στην συνέχεια η χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών στον πομπό δεν μπόρεσε να μας δώσει καλύτερες επιδόσεις διότι ο δέκτης είτε δεν μπόρεσε να διαχωρίσει τα διαφορετικά σύμβολα (περίπτωση εκπομπής διαφορετικών συμβόλων) είτε δεν μπόρεσε να αξιοποιήσει την αποστολή μέσα από διαφορετικά κανάλια (περίπτωση εκπομπής ίδιων συμβόλων).

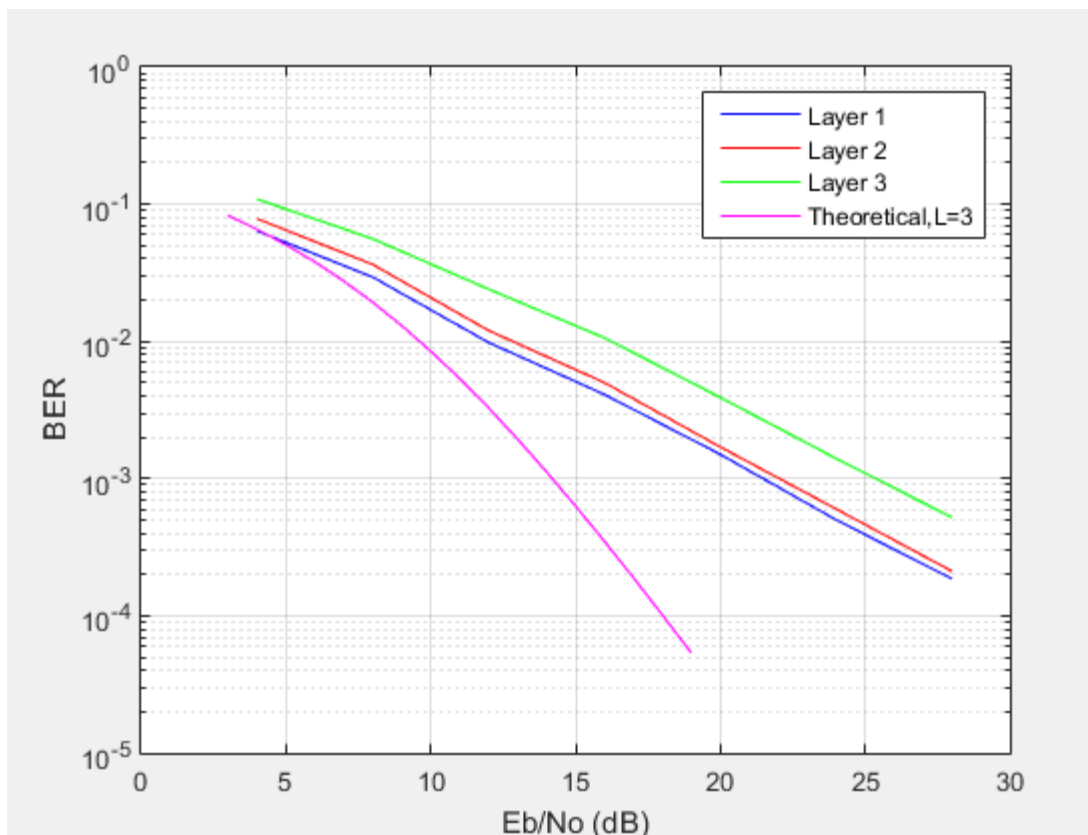
Το τελευταίο σύστημα κατάφερε να πετύχει διαφορισμό χώρου τάξης 3 και θα μπορούσε να πετύχει και χρόνου, οπότε συνολικά διαφορισμό μεγαλύτερης τάξης, αν είχαμε iid διαλείψεις.

3)Χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών στον πομπό και στον δέκτη με χωρική πολυπλεξία

Σε αυτό το ερώτημα έχουμε ένα 3x3 MIMO σύστημα. Στον πομπό χωρίζουμε το data stream που θέλουμε να στείλουμε σε 3 υπό data streams και στέλνουμε το κάθε ένα από αυτά μέσω μίας κεραία εκπομπής. Έτσι, δημιουργείται παρεμβολή μεταξύ των κεραιών, την οποία πρέπει να απαλείψουμε. Αυτό το επιτυγχάνουμε με 2 τρόπους. Ο πρώτος είναι η χρήση ενός γραμμικού MIMO ανιχνευτή επιβολής μηδενισμών με καταστολή και διαδοχική ακύρωση της παρεμβολής. Ο δεύτερος είναι με βέλτιστο MAP ανιχνευτή.

a. Γραμμικός ανιχνευτής (Linear VBLAST version1)

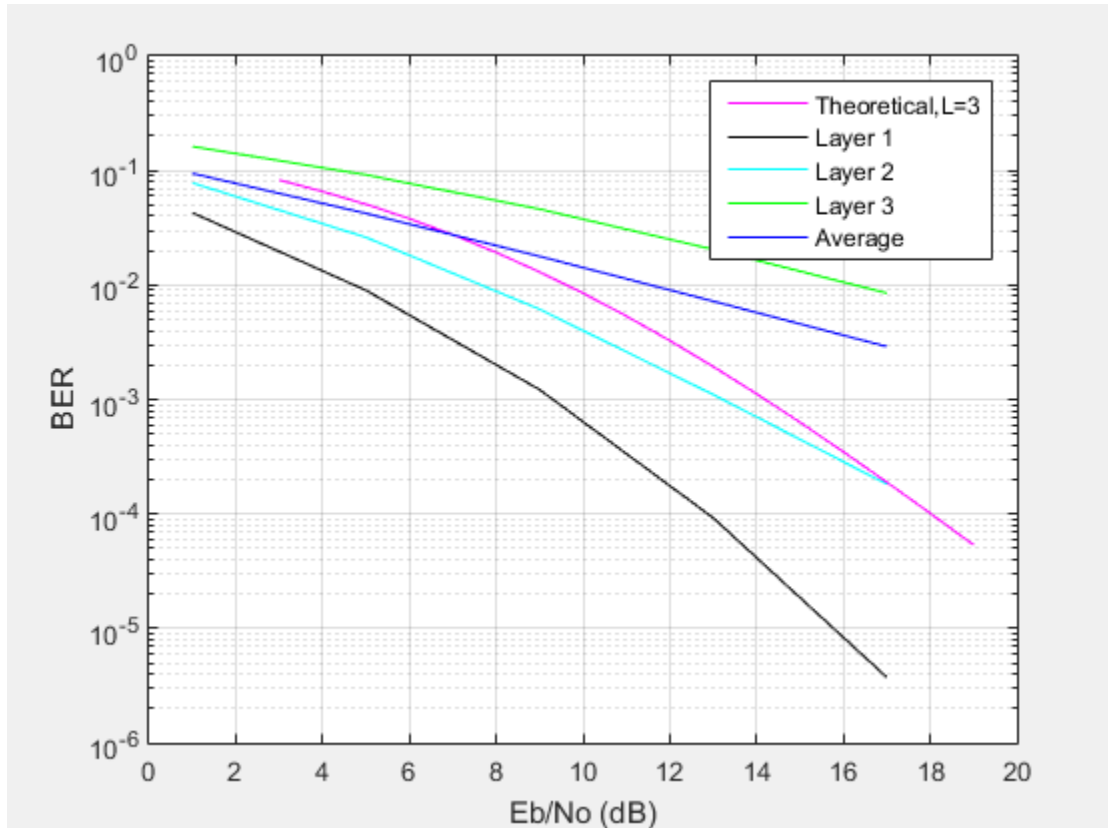
Στην συνέχεια βλέπουμε την πιθανότητα σφάλματος για τρία διαφορετικά επίπεδα:



Παρατηρούμε ότι η πιθανότητα σφάλματος είναι η μικρότερη για το πρώτο επίπεδο, ύστερα αυξάνεται για το δεύτερο επίπεδο και γίνεται η μέγιστη για το τρίτο επίπεδο. Αυτό συμβαίνει διότι αφαιρούμε την παρεμβολή. Βλέπουμε, ωστόσο, ότι δεν μπορεί να επιτευχθεί διαφορισμός μεγαλύτερης τάξης από ένα διότι για την αφαίρεση της παρεμβολής χρησιμοποιούμε τις εκτιμήσεις που κάνει ο ανιχνευτής, οι οποίες μπορεί να είναι και λάθος. Στο επόμενο πείραμα θα δούμε ότι μπορούμε να επιτύχουμε και διαφορισμό μεγαλύτερης τάξης, διότι θα αφαιρέσουμε την παρεμβολή θεωρώντας ότι έχει γίνει σωστή ανίχνευση των συμβόλων.

b. Γραμμικός ανιχνευτής (Linear VBLAST version2)

Στην συνέχεια βλέπουμε την πιθανότητα σφάλματος για τα 3 διαφορετικά επίπεδα, καθώς και την θεωρητική καμπύλη BER του 8-PSK για κανάλι διαλείψεων με διαφορισμό τάξης 3:



Βλέπουμε ότι την χειρότερη πιθανότητα σφάλματος έχει το Layer 3 το οποίο ανιχνεύεται και πρώτο. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έχουμε διαφορισμό τάξης ένα για το 3^ο επίπεδο. Στην συνέχεια βλέπουμε ότι το Layer 2 έχει χαμηλότερη πιθανότητα σφάλματος. Αυτό συμβαίνει διότι για αυτό το επίπεδο έχουμε αφαιρέσει την παρεμβολή από το τρίτο επίπεδο και άρα έχουμε πετύχει διαφορισμό τάξης 2. Τέλος, βλέπουμε ότι για το πρώτο επίπεδο έχουμε την χαμηλότερη πιθανότητα σφάλματος εφόσον έχουμε πετύχει διαφορισμό τάξης 3.

Το συνολικό BER είναι ο μέσος όρος των τριών BER για το κάθε layer.

➤ Διαγράμματα χώρου

Στην συνέχεια βλέπουμε τα διαγράμματα χώρου για κάθε επίπεδο:

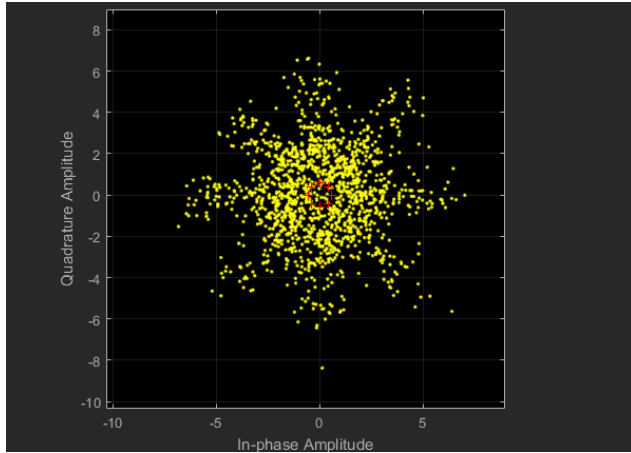


Figure 1: Τρίτο επίπεδο

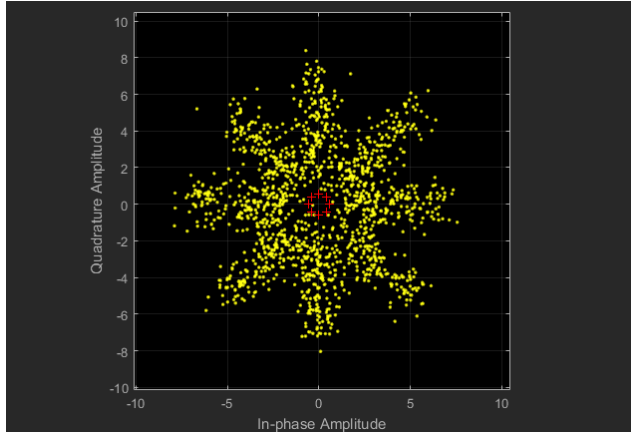


Figure 2: Δεύτερο επίπεδο

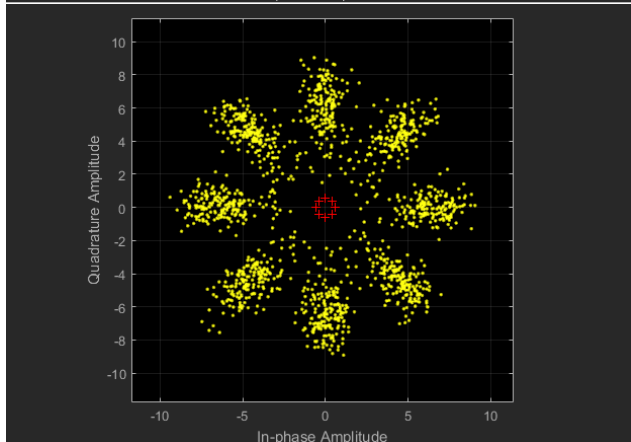
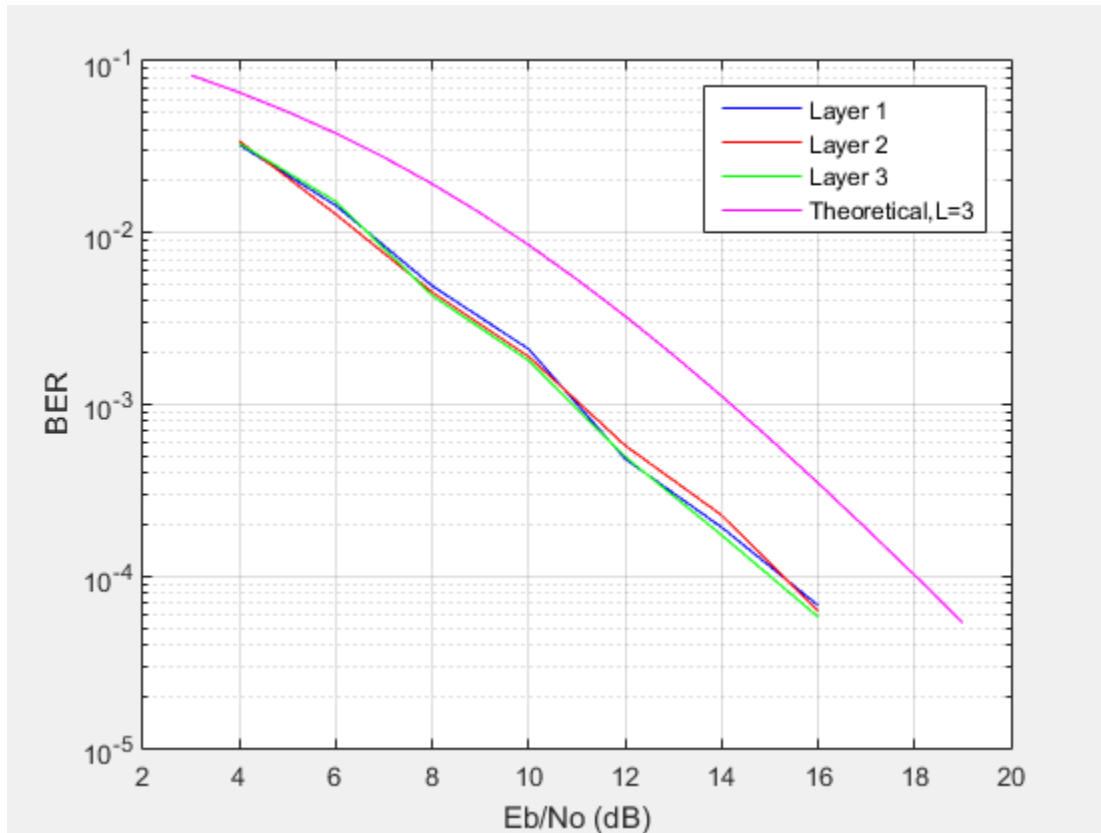


Figure 3: Πρώτο Επίπεδο

Βλέπουμε ότι η απαλειφή της παρεμβολής δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Χειρότερες επιδόσεις έχουμε στο 3^ο επίπεδο γιατί σε αυτό το επίπεδο γίνεται πρώτα η ανίχνευση. Στην συνέχεια, στο 2^ο επίπεδο έχουμε καλύτερες επιδόσεις και τέλος στο 3^ο επίπεδο μπορούμε να διακρίνουμε τον 8-PSK αστερισμό.

c. MAP ανιχνευτής

Στην συνέχεια βλέπουμε την πιθανότητα σφάλματος για τα τρία διαφορετικά επίπεδα όταν χρησιμοποιούμε βέλτιστο MAP ανιχνευτή:



Βλέπουμε ότι και για τα 3 επίπεδα (υπό-ροές) έχουμε ίδια πιθανότητα σφάλματος. Άρα και η συνολική πιθανότητα σφάλματος για όλο το data stream είναι αυτή. Ακόμη, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι αυτός ο ανιχνευτής επιτυγχάνει καλύτερο BER από αυτό που μας δίνει η θεωρητική καμπύλη BER για διαφορισμό τάξης 3. Ωστόσο, δεν επιτυγχάνεται διαφορισμός λόγω της λειτουργίας αυτού του ανιχνευτή. Ο MAP ανιχνευτής, ανιχνεύει το σύμβολο που αντιστοιχεί στο αντίστοιχο layer χρησιμοποιώντας την μέγιστη εκ των υστέρων πιθανότητα. Δεν ξεχωρίζει δηλαδή τα layers μεταξύ τους αλλά παρατηρεί το συνολικό διάνυσμα \bar{y} .

❖ Σύγκριση αποτελεσμάτων

Ο MAP ανιχνευτής φαίνεται να λειτουργεί καλύτερα από τον γραμμικό επιβολής μηδενισμών. Παρόλο που δεν πετυχαίνεται διαφορισμός έχουμε πολύ χαμηλή πιθανότητα σφάλματος λόγω της χρήσης της μέγιστης εκ των υστέρων πιθανότητας.