

Προχωρημένα Θέματα Τηλεπικοινωνιακών συστημάτων

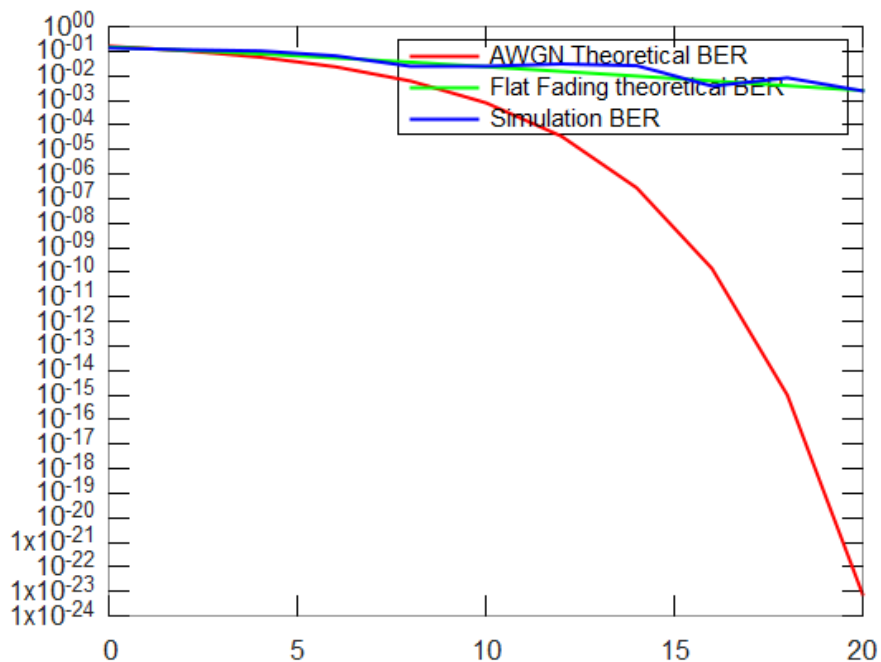


Αγγέλης Μάριος, ΑΕΜ:2406

3^η εργασία

Ερώτημα Α: Σας δίνεται ένα fading κανάλι $\vec{y} = H\vec{x} + \vec{w}$ (2x2 MIMO). Η τυχαία μεταβλητή h κάθε κεραίας έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με την προηγούμενη εργασία. Θεωρήστε ότι το κανάλι παραμένει σταθερό στην ίδια τυχαία τιμή για την διάρκεια T seconds. Υλοποιείτε την τεχνική spatial multiplexing χρησιμοποιώντας έναν δέκτη με Least Squares channel inversion (2x2 MIMO) και δείξτε το BER στο report. Χρησιμοποιήστε την απλή μορφή του πομπού/δέκτη όπου το OVERSAMPLING=1.

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει το simulation BER με χρήση MIMO 2x2 κεραίων και Least Squares channel inversion, το θεωρητικό BER ενός καναλιού μόνο με την παρουσία θορύβου καθώς και το θεωρητικό BER ενός flat fading LTI καναλιού με χρήση equalization. Το modulation που χρησιμοποιήσαμε είναι BPSK. Παρατηρούμε πως το simulation BER (MIMO 2x2) προσεγγίζει το θεωρητικό BER ενός flat fading LTI καναλιού με χρήση equalization.



Ερώτημα Β: Υλοποιήστε την γενική διαμόρφωση 16-QAM στον προσομοιωτή σας (αλλάξτε μόνο τον κωδικοποιητή συμβόλων και τον αλγόριθμο απόφασης). Δείξτε στο report την επίδοση του 16-QAM στο σύστημα μίας κεραίας και στο σύστημα MIMO.

Τα bit της διαμόρφωσης 16QAM καταναίμονται σε τρεις ομόκεντρους κύκλους με κέντρο την αρχή των αξόνων, όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Επιθυμούμε το μέσο SNR ανά bit να ισούται με E_b . Παρ' όλα αυτά, κάτι τέτοιο δεν ισχύει εάν δεν εφαρμόσουμε normalization. Παρατηρούμε πώς οι μιγαδικοί αριθμοί που αναπαριστούν σύμβολα τα οποία βρίσκονται σε ξεχωριστούς κύκλους θα έχουν μέτρο $\sqrt{2}, \sqrt{10}$ και $\sqrt{18}$ αντίστοιχα. Εάν πολλαπλασιάσουμε κάθε μιγαδικό αριθμό με την ποσότητα $E_b/\sqrt{10}$, τότε το μέτρο των μιγαδικών αριθμών θα γίνει $\frac{E_b}{5}, E_b$ και $\frac{E_b \cdot 18}{10}$ αντίστοιχα. Το 50% των συμβόλων βρίσκονται στο μεσαίο κύκλο, ενώ τόσο ο εσωτερικός όσο και ο εξωτερικός κύκλος κατέχουν από 25% των συμβόλων έκαστος. Έτσι, το 50% των μεταδιδόμενων συμβόλων θα έχουν ισχύ ίση με E_b , το 25% των μεταδιδόμενων συμβόλων θα έχουν ισχύ μικρότερη από E_b και το υπόλοιπο 25% των μεταδιδόμενων συμβόλων θα έχουν ισχύ μεγαλύτερη από E_b . Κατά μέσο όρο λοιπόν, η συνολική μεταδιδόμενη ισχύς ισούται με E_b . Για να διαπιστώσουμε την ορθότητα του normalization, εκτυπώσαμε τα constellation diagrams στο δέκτη, και για τις δύο περιπτώσεις. Επιπλέον εξετάσαμε το simulation BER ως προς το snr για τα ακόλουθα σενάρια:

- A) Flat fading channel with equalization
- B) MRC with 2 diversity branches
- Γ) MIMO 2x2 with Least Squares channel inversion

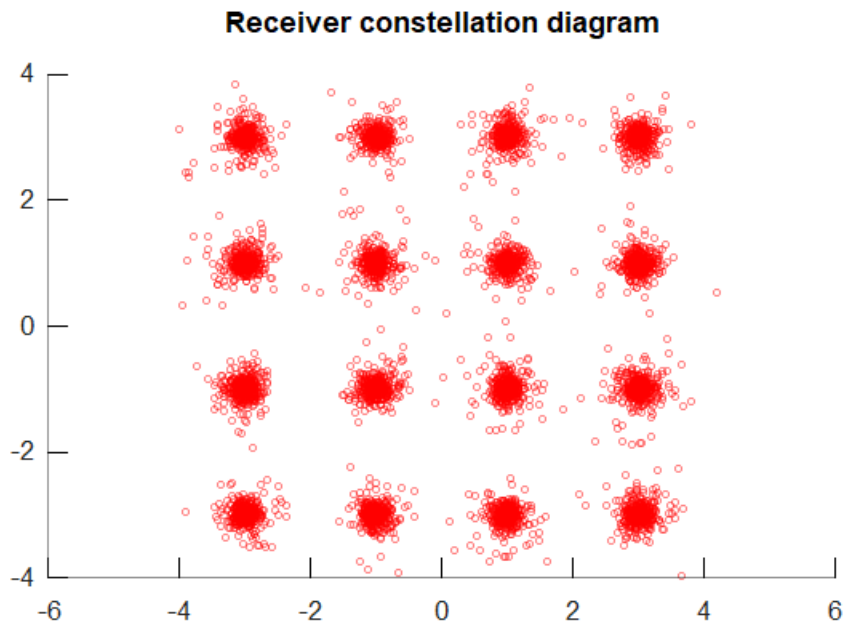
Οι μετρήσεις έγιναν τόσο για μη κανονικοποιημένη, όσο και για κανονικοποιημένη 16QAM διαμόρφωση.

16QAM constellation diagram

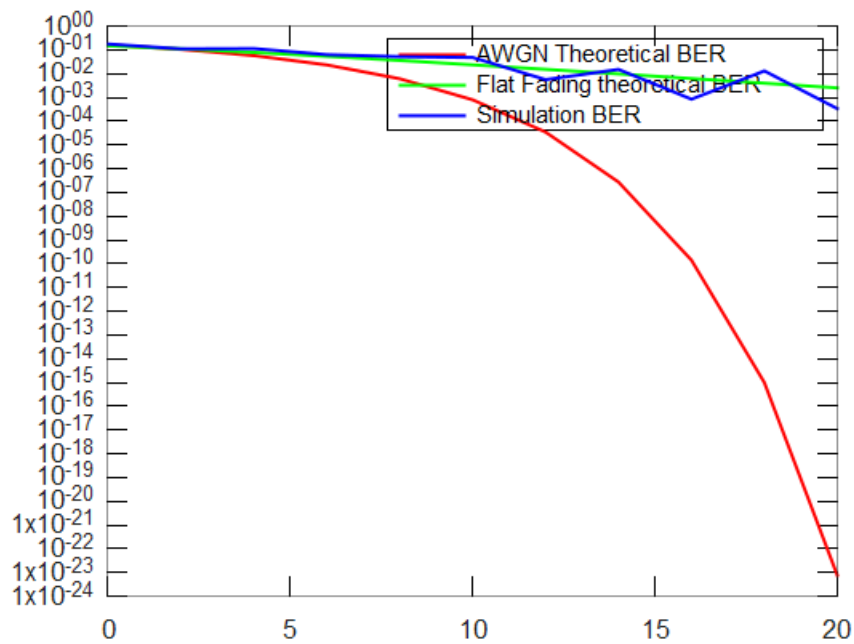


Not normalized 16QAM

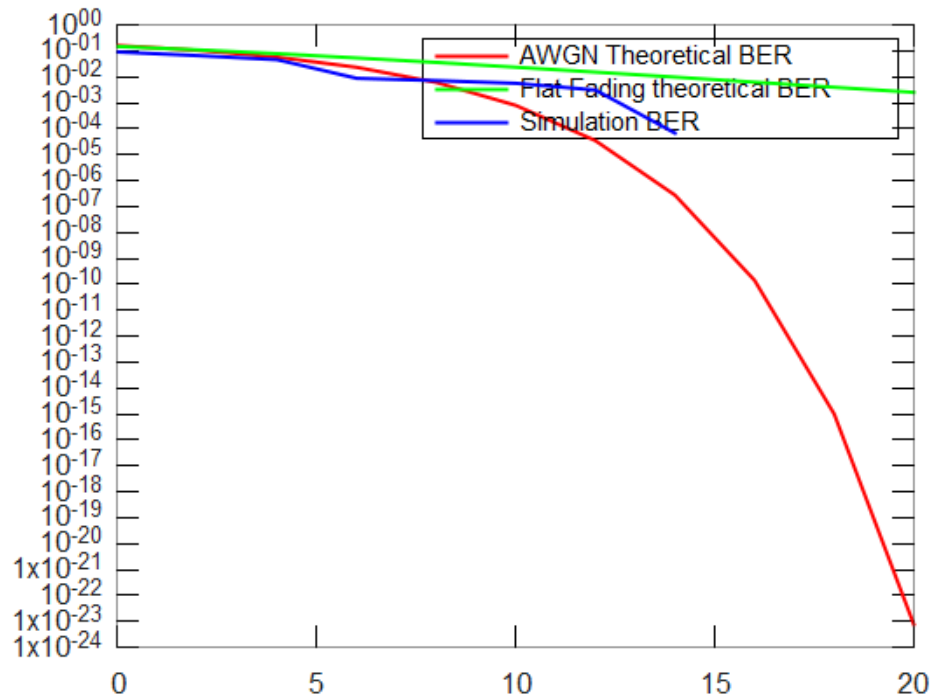
Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει το constellation diagram για μη κανονικοποιημένη 16QAM διαμόρφωση.



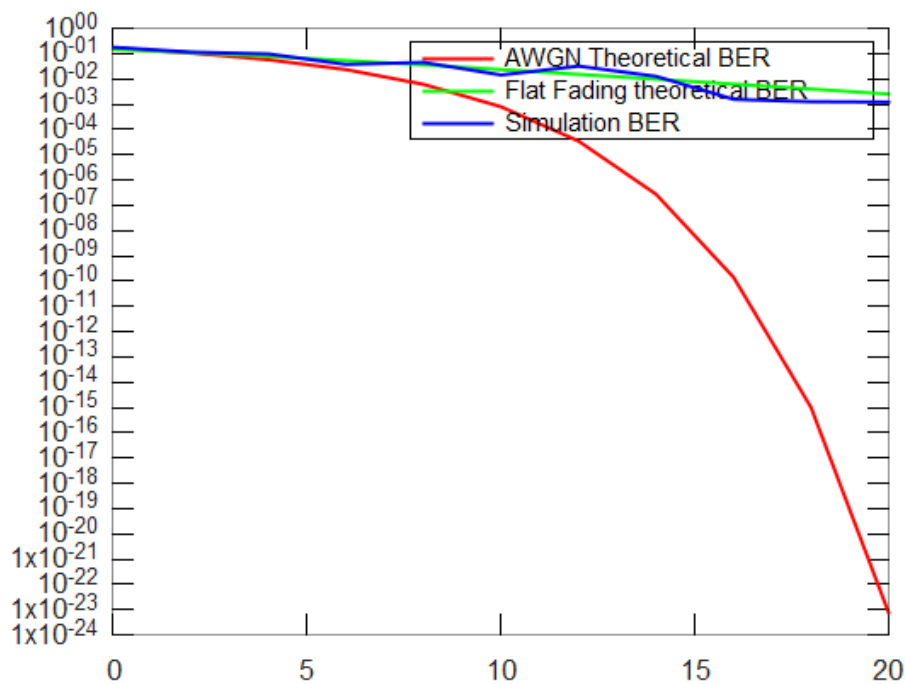
Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει το simulation BER ως προς το snr για μη κανονικοποιημένη 16QAM διαμόρφωση και Flat fading κανάλι με μία κεραία.



Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει το simulation BER ως προς το snr για μή κανονικοποιημένη 16QAM διαμόρφωση και χρήση MRC με 2 diversity branches.

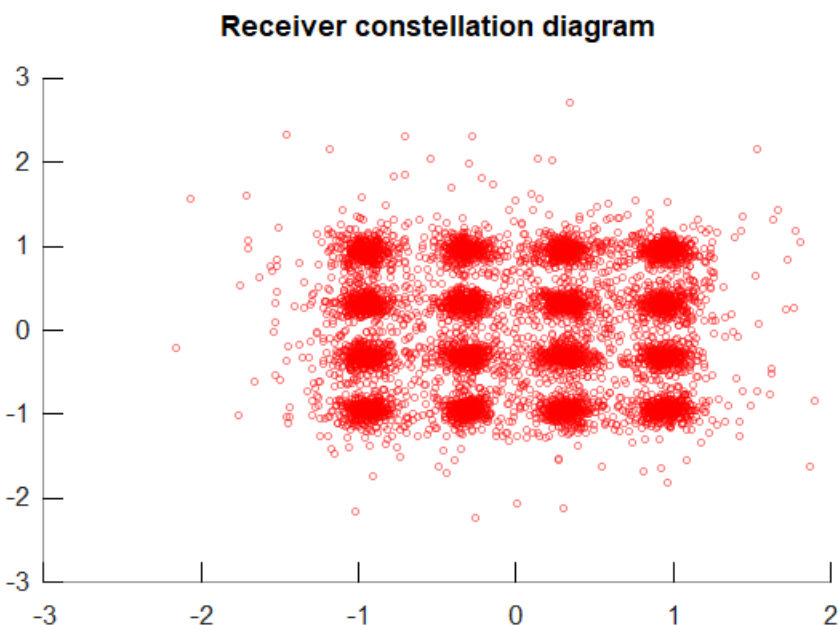


Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει το simulation BER ως προς το snr για μή κανονικοποιημένη 16QAM διαμόρφωση και χρήση MIMO 2x2 με Least Squares channel inversion.

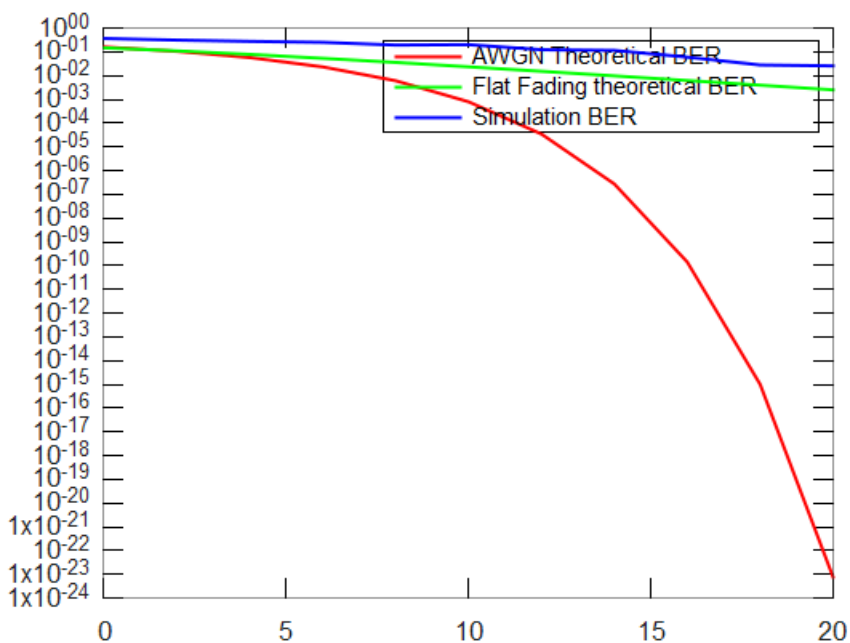


Normalized 16QAM

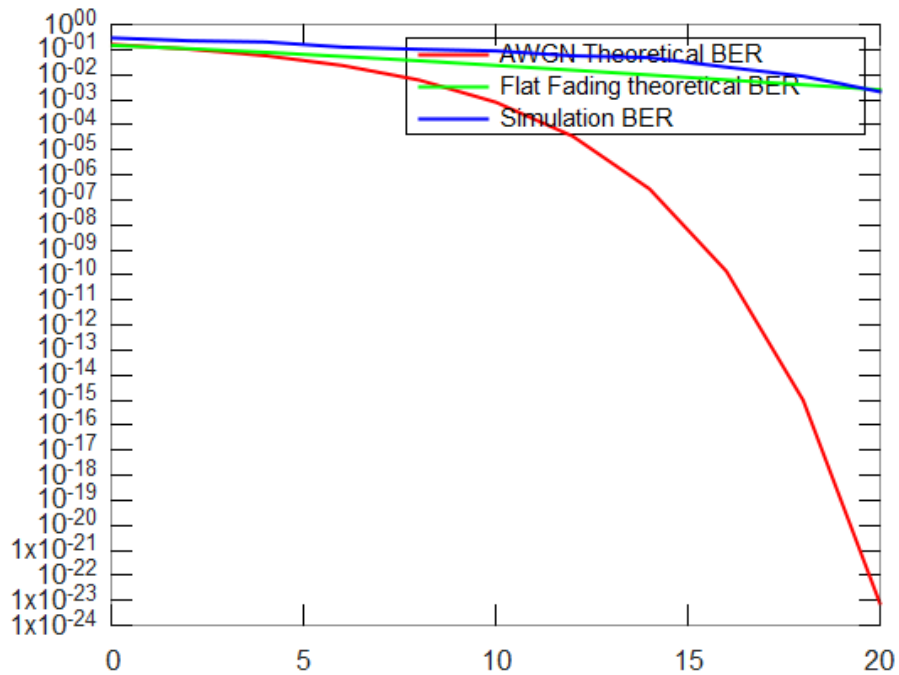
Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει το constellation diagram για κανονικοποιημένη 16QAM διαμόρφωση.



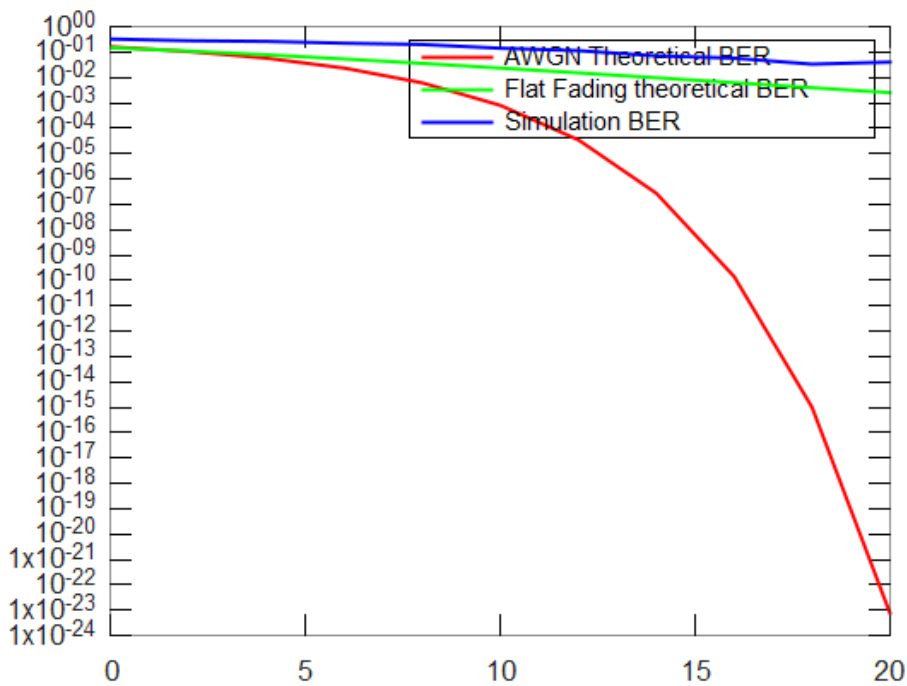
Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει το simulation BER ως προς το snr για κανονικοποιημένη 16QAM διαμόρφωση και Flat fading κανάλι με μία κεραία.



Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει το simulation BER ως προς το snr για κανονικοποιημένη 16QAM διαμόρφωση και χρήση MRC με 2 diversity branches.



Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει το simulation BER ως προς το snr για κανονικοποιημένη 16QAM διαμόρφωση και χρήση MIMO 2x2 με Least Squares channel inversion.



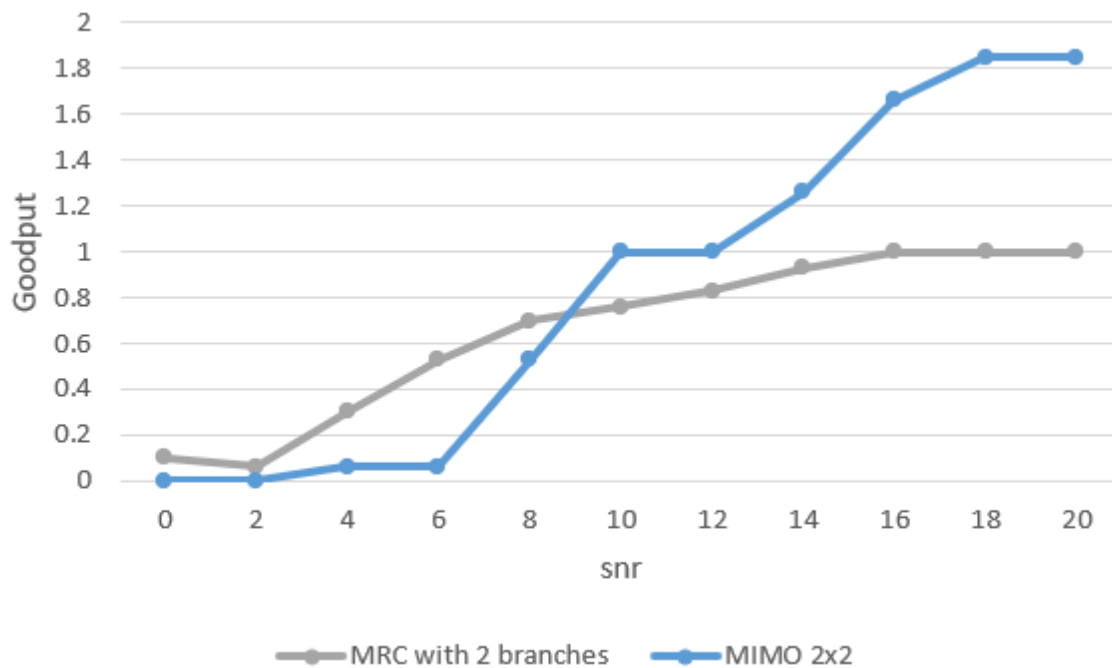
Παρατηρούμε πως όταν χρησιμοποιούμε normalized 16QAM διαμόρφωση, το simulation BER είναι πολύ υψηλότερο απ' ό,τι εάν χρησιμοποιήσουμε not normalized 16QAM διαμόρφωση. Συγκεκριμένα, για την not normalized 16QAM διαμόρφωση, για flat fading κανάλι με χρήση equalization, το simulation BER προσεγγίζει το θεωρητικό Flat fading channel BER. Για MRC equalization με 2 diversity branches, το simulation BER προσεγγίζει το θεωρητικό AWGN channel BER. Τέλος, για MIMO 2x2 με χρήση least squares channel inversion, το simulation BER προσεγγίζει το θεωρητικό Flat fading channel BER.

Εάν χρησιμοποιήσουμε normalized 16QAM διαμόρφωση, το simulation BER είναι υψηλότερο από το θεωρητικό Flat fading channel BER για όλα τα σενάρια.

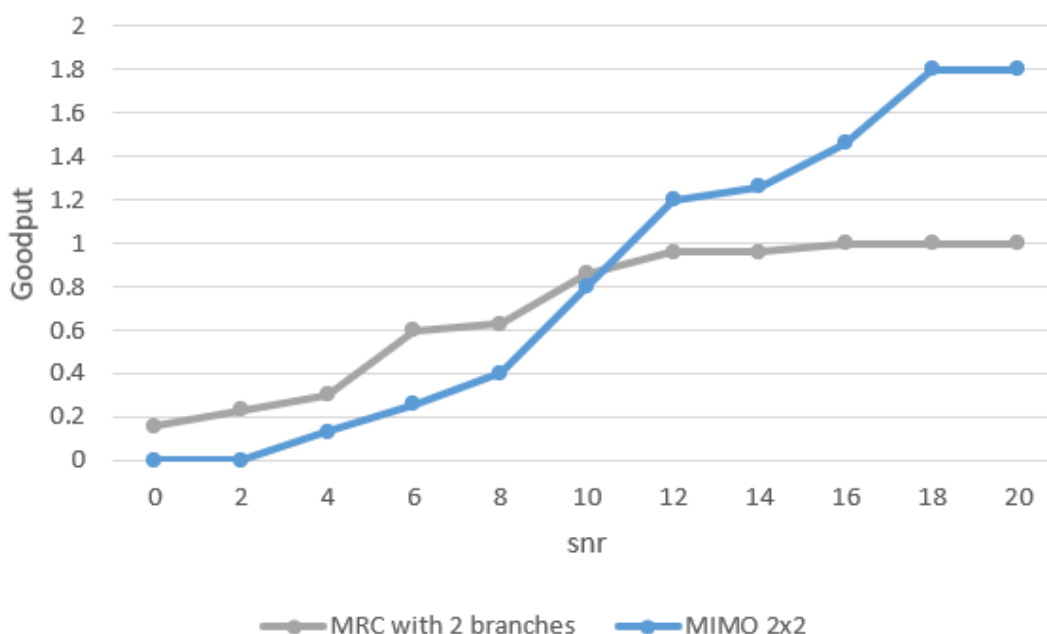
Ερώτημα Γ: Σε ένα access point με δύο κεραίες που λειτουργεί ως δέκτης, έχουμε υλοποιημένες σε software τις τεχνικές MRC (που έχετε υλοποιήσει ήδη) και spatial multiplexing. Μεταδίδουμε πακέτα διάρκειας T seconds από έναν πομπό με δύο επίσης κεραίες. Κάθε πακέτο θεωρείται ότι έχει ληφθεί σωστά αν όλα τα bits είναι σωστά. Για BPSK και 16-QAM μετάδοση πως μπορεί να μεγιστοποιηθεί το goodput (ο αριθμός των σωστών bit που λαμβάνουμε στην μονάδα του χρόνου) με τα δυο συστήματα και για διαφορετικές τιμές του SNR; Υποθέσεις χωρίς κωδικοποίηση καναλιού, γνώση του καναλιού στον πομπό. Δείξτε τα σχετικά figures όπου χρειάζεστε και εξηγήστε.

Θα εξετάσουμε το goodput για 2 modulations, BPSK και 16QAM.

Not normalized 16QAM modulation using MRC equalizer with 2 diversity branches vs not normalized 16QAM modulation using MIMO 2x2 spatial multiplexing with least squares inversion.



BPSK modulation using MRC equalizer with 2 diversity branches vs BPSK modulation using MIMO 2x2 spatial multiplexing with least squares inversion.



Παρατηρούμε ότι το μέγιστο goodput στο πείραμα MIMO (τόσο για BPSK όσο και για 16QAM διαμόρφωση) είναι 1.8 και όχι 2, ενώ στο πείραμα MRC (τόσο για BPSK όσο και για 16QAM διαμόρφωση), το μέγιστο goodput είναι 1. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς και το simulation BER στο πείραμα MIMO (για BPSK διαμόρφωση), προσέγγιζε το θεωρητικό Flat fading BER, ενώ το simulation BER στο πείραμα MRC (για BPSK διαμόρφωση), προσέγγιζε το θεωρητικό AWGN BER. Όπως αναφέραμε, η τεχνική MRC έχει κέρδος σε diversity, ενώ η τεχνική MIMO έχει κέρδος σε throughput. Συγκεκριμένα, στην αποδιαμόρφωση του spatial multiplexing, ο θόρυβος πολλαπλασιάζεται με τον ψευδοανάστροφο πίνακα, ενώ στην αποδιαμόρφωση του πειράματος MRC, ο θόρυβος μειώνεται λόγω του αθροίσματος γινομένων που προκύπτει στον αριθμητή. Συνοπτικά για το ίδιο SNR, ο θόρυβος στο πείραμα MRC είναι πιο ασθενής απ' ότι ο θόρυβος στο πείραμα MIMO.

Αναφορικά με το goodput, παρατηρούμε πως με χρήση BPSK διαμόρφωσης στο πείραμα MRC, το goodput συγκλίνει πιο γρήγορα στην τελική τιμή του σε σχέση με το πείραμα MIMO. Παρ' όλα αυτά, όταν το goodput συγκλίνει στο πείραμα MIMO, έχει διπλάσια τιμή από το goodput του πειράματος MRC. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι λογικό, καθώς ο στόχος του MIMO είναι να αυξήσει το throughput, ενώ ο στόχος του MRC είναι να μειώσει το BER. Αντίστοιχα, με χρήση 16QAM διαμόρφωσης στο πείραμα MRC, το goodput συγκλίνει πιο γρήγορα στην τελική τιμή του σε σχέση με το πείραμα MIMO.

Για να μεγιστοποιήσουμε το goodput, μπορούμε για χαμηλά snr να εφαρμόζουμε MRC και για υψηλά snr να εφαρμόζουμε MIMO (spatial multiplexing). Συγκεκριμένα, όπως παρατηρούμε και από τα διαγράμματα, εάν χρησιμοποιούμε 16QAM ή BPSK διαμόρφωση, μπορούμε όσο το snr είναι μικρότερο των 10 db να εφαρμόζουμε MRC και όταν το snr είναι μεγαλύτερο ή ίσο των 10 db να εφαρμόζουμε MIMO.