

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

## **1<sup>η</sup> Εργαστηριακή Άσκηση**

Ψηφιακές Τηλεπικοινωνίες  
Χειμερινό Εξάμηνο 2019-20



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

Ονοματεπώνυμο: Ντενέζος Παναγιώτης

A.M.: 5853

## Πίνακας Περιεχομένων

Μέρος 1.....	3
Ζητούμενο 1 <sup>ο</sup> : Κωδικοποίηση πηγής ήχου .....	3
Κωδικοποίηση PCM με Μη Ομοιόμορφη Κβάντιση (Lloyd-Max).....	3
Κωδικοποίηση ADM.....	6
Ζητούμενο 2 <sup>ο</sup> : Κωδικοποίηση πηγής εικόνας.....	7
Κωδικοποίηση PCM με Μη Ομοιόμορφη Κβάντιση (Lloyd-Max).....	7
Εντροπία.....	8
Ζητούμενο 3 <sup>ο</sup> : .....	9
Μέρος 2.....	11
Ζητούμενο 1 <sup>ο</sup> : Υλοποίηση συστήματος M-PAM .....	11
Ζητούμενο 2 <sup>ο</sup> : SNR vs BER .....	12
Ζητούμενο 3 <sup>ο</sup> : SNR vs SER.....	12

## Μέρος 1

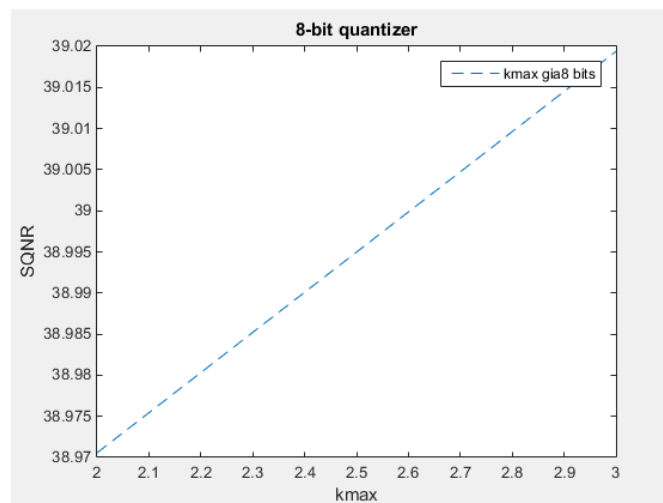
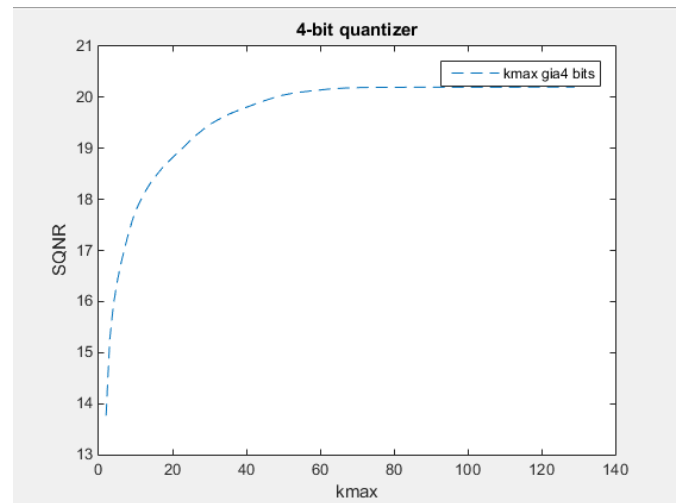
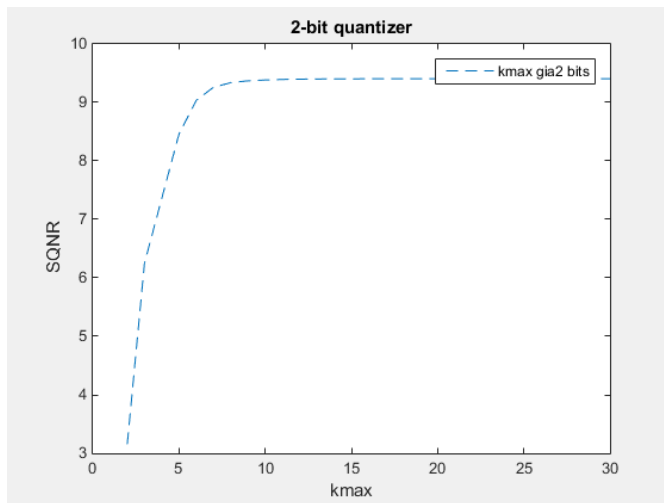
Ζητούμενο 1<sup>ο</sup>: Κωδικοποίηση πηγής ήχου

Αρχείο: speech.wav

Κωδικοποίηση PCM με Μη Ομοιόμορφη Κβάντιση (Lloyd-Max)

- a. Σε αυτό το ερώτημα ζητείται να υπολογιστεί πειραματικά το SQNR σε σχέση με τον αριθμό επαναλήψεων του αλγορίθμου *Lloyd-Max*. Η τιμή του SQNR, υπολογίζεται από τα πηλίκω των κέντρων του κωδικοποιημένου διανύσματος εισόδου  $x_k$  στο τετράγωνο προς την μέση παραμόρφωση. Εκφράζεται σε dB.

Με την εκτέλεση του κώδικα **wav\_main..m** εμφανίζονται τα εξής αποτελέσματα.



Στις παραπάνω εικόνες είναι προφανές ότι όσο αυξάνονται τα bits του κβαντιστή τόσο μεγαλώνει και η τιμή του SQNR. Το SQNR (Signal-to-Quantization-Noise Ratio) εκφράζει το κατά πόσο ο θόρυβος κβάντισης επηρεάζει το σήμα.

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι όσο αυξάνονται ο αριθμός σταθμών κβάντισης τόσο η κωδικοποίηση βελτιώνεται.

- b. Αρχικά, εκτελώντας τις παρακάτω εντολές παίζει ο ήχος του αρχικού σήματος εισόδου.

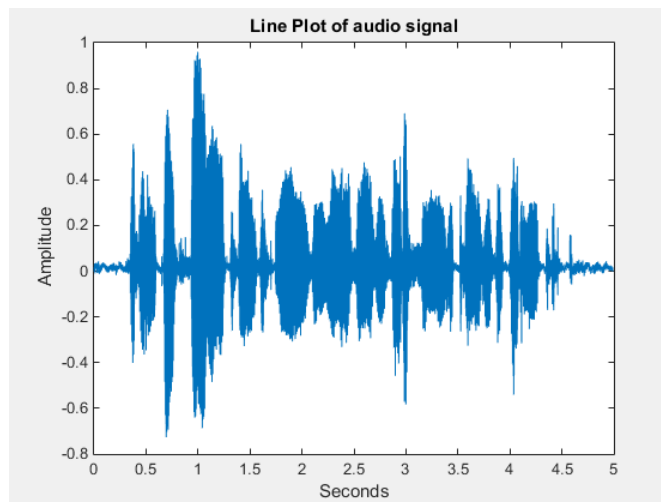
```
[y, fs]=audioread('speech.wav');  
audioplayer(y, fs);  
play(player);
```

Στη συνέχεια, για κάθε κβαντιστή διαφορετικών bits, εκτελέστηκαν οι παρακάτω εντολές.

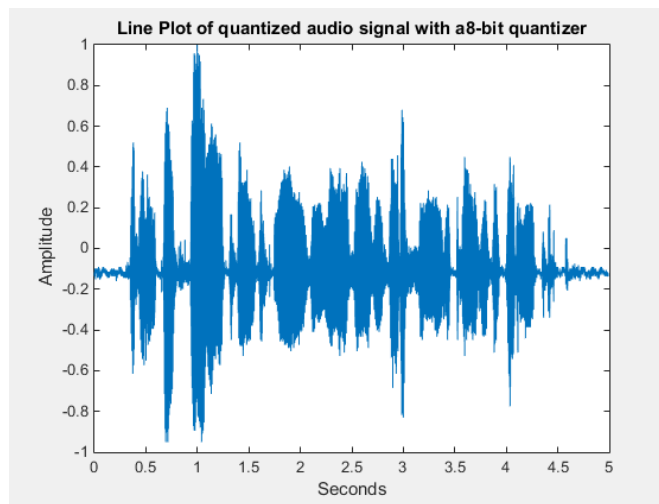
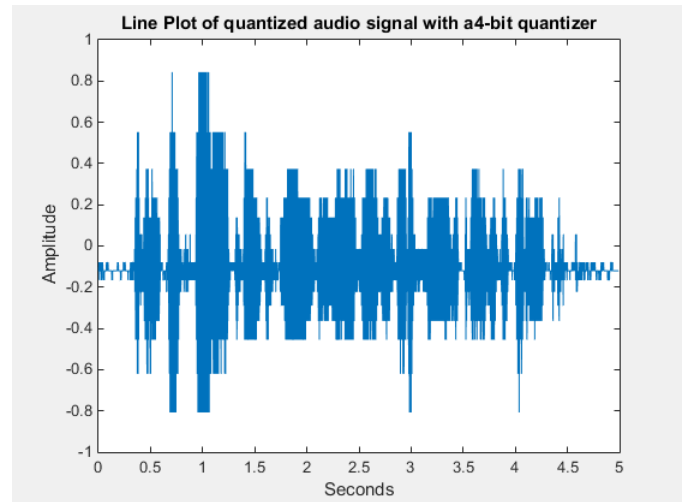
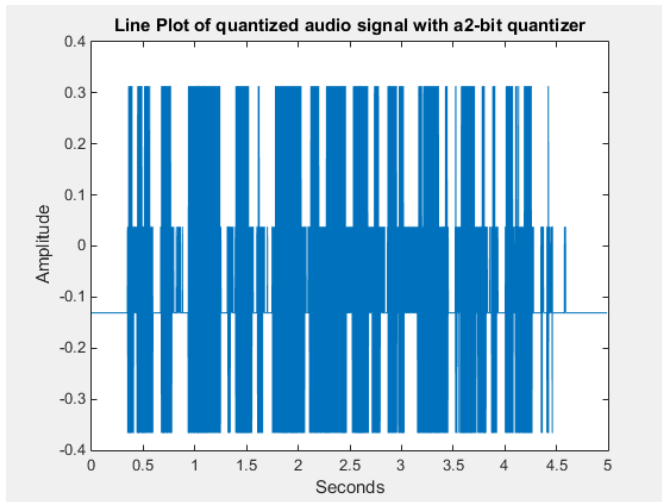
```
player = audioplayer(xq, fs);  
play(player);
```

Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν ότι η κωδικοποίηση με κβαντιστή 2-bit δημιουργούσε ένα σήμα με εμφανής διακοπές και ήχο όχι τόσο καθαρό, ενώ όσο μεγάλωνε ο αριθμός των bit του κβαντιστή ο ήχος στο άκουσμα του βελτιωνόταν. Παρ' όλ' αυτά, ακόμα και στην περίπτωση του κβαντιστή των 8-bit υπήρχαν κάποιες διακοπές (σχετικά ανεπαίσθητες) σε σχέση με το αρχικό σήμα.

- c. Το σήμα εισόδου έχει την παρακάτω κυματομορφή



Η εκτέλεση του κώδικα **wav\_main.m** μας δίνει επίσης και τα εξής αποτελέσματα.



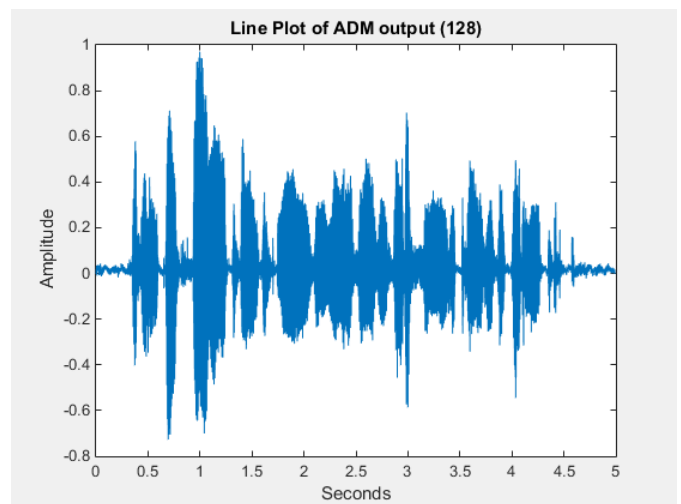
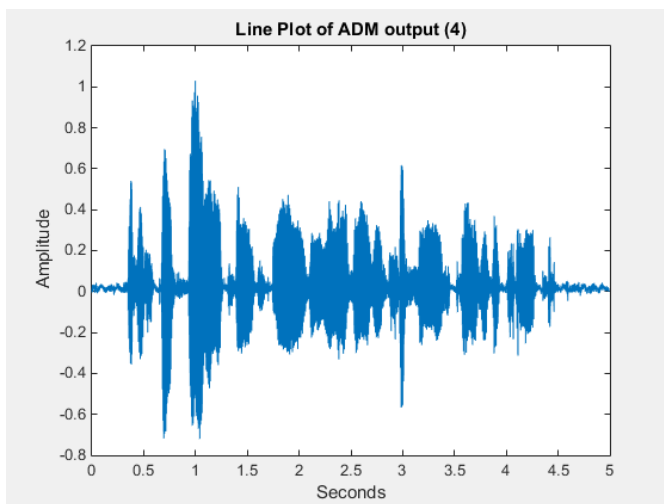
Στις παραπάνω κυματομορφές παρατηρείται πως όσο αυξάνονται τα bit του κβαντιστή τόσο η κυματομορφή του κβαντισμένου σήματος τείνει να μοιάζει στην κυματομορφή του αρχικού σήματος. Με άλλα λόγια, ο ήχος που παράγεται να είναι “ακουστικά” πιο κοντά στον αρχικό.

## Κωδικοποίηση ADM

Η κωδικοποίηση ADM είναι πολύ πιο περίπλοκη από την PCM, μιας και η κωδικοποίηση γίνεται δυναμικά και το βήμα κβάντισης είναι εξαρτώμενο από την παρούσα έξοδο του κβαντιστή και το προηγούμενο βήμα.

Η αποκωδικοποίηση του σήματος που βγαίνει από τον κωδικοποιητή και περιέχει μόνο -1 και 1, απαιτεί και την ύπαρξη των βημάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κωδικοποίηση (εκτός αν και αυτά υπολογιστούν πάλι δυναμικά, κάτι που θα αύξανε τον χρόνο αποκωδικοποίησης). Το αποκωδικοποιημένο σήμα περνά και από ένα βαθυπερατό φίλτρο (*lfp*) μετά την έξοδο του αποκωδικοποιητή για τη μείωση του σφάλματος κβαντισμού.

- Όσο αφορά το SQNR για υπερδειγματοληψία κατά 4 φορές το SQNR διαμορφώθηκε στα 13.02dB, ενώ για υπερδειγματοληψία κατά 128 φορές στα 54.73dB.
- Το ακουστικό αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό και στις δύο περιπτώσεις. Το αποτέλεσμα όμως στην ADM είναι 4πλάσιο ή 125πλάσιο σε μήκος από αυτό στην PCM, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται 4πλη και 128πλη συχνότητα αναπαραγωγής του κβαντισμένου σήματος εξόδου.
- Στη συνέχεια φαίνονται οι εξοδοί της ADM για υπερδειγματοληψία αρχικά κατά 4 φορές και 128.



Παρατηρείται, λοιπόν, πως όσο η συχνότητα υπερδειγματοληπτείται, τόσο αυξάνεται και το SQNR και συνεπώς το κβαντισμένο σήμα μοιάζει περισσότερο με το αρχικό.

Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί η ADM δεν είναι αποδοτική στις μεγάλες αλλαγές των τιμών (καθώς προσεγγίζεται επαναληπτικά). Επομένως, όσο πιο πολλά δείγματα έχουμε, τόσο περιορίζονται οι μεγάλες αλλαγές των τιμών.

Αυτό, όμως, έχει και σαν μειονέκτημα ότι η κωδικοποίηση ADM είναι τόσο απαιτητική σε υπολογιστική ισχύ όσο και σε μνήμη.

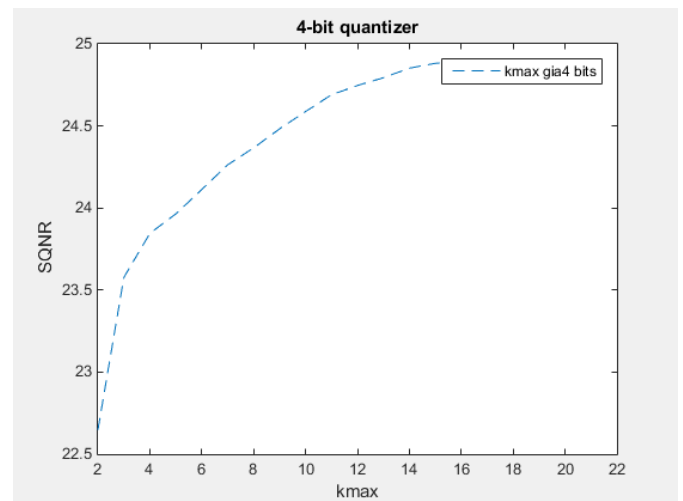
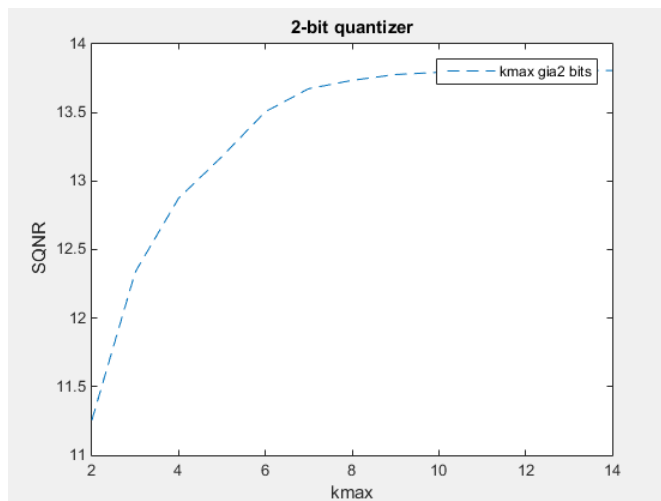
## Ζητούμενο 2<sup>ο</sup>: Κωδικοποίηση πηγής εικόνας

Αρχείο: cameraman.mat

Κωδικοποίηση PCM με Μη Ομοιόμορφη Κβάντιση (Lloyd-Max)

a. Για τον υπολογισμό του SQNR ισχύει ότι και για την πηγή ήχου.

Έτσι, εκτελώντας τον κώδικα **img\_main.m** εμφανίζονται τα εξής αποτελέσματα.

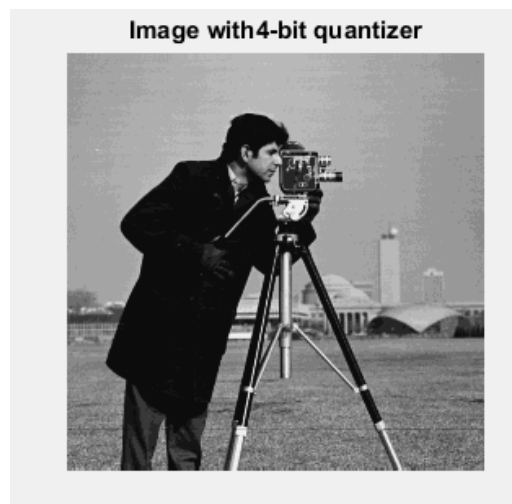


Όπως και πριν, παρατηρείται ότι όσο τα bit του κβαντιστή αυξάνονται τόσο αυξάνεται και το SQNR και συνεπώς τόσο λιγότερο επηρεάζει ο θόρυβος κβάντισης το αρχικό σήμα.

b. Το σήμα εισόδου έχει την παρακάτω οπτική απεικόνιση



Η εκτέλεση του κώδικα **img\_main.m** μας δίνει επίσης και τα εξής αποτελέσματα.



Η διαφορά μεταξύ του οπτικού αποτελέσματος όσο αυξάνονται τα bit του κβαντιστή είναι προφανής.

Εντροπία

Κβαντιστής Μ-επιπέδων	Εντροπία
M=2	1.968754015628774
M=4	3.451192088463479



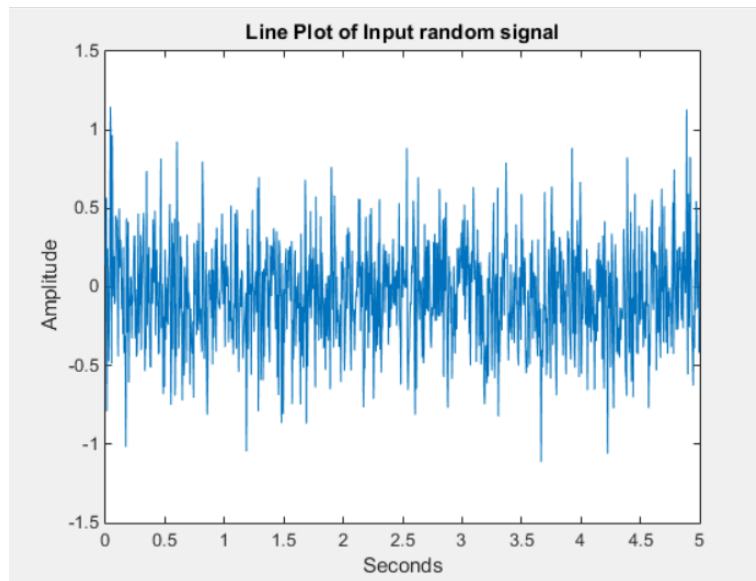
Ζητούμενο 3<sup>ο</sup>:

Αρχικά, δημιουργείται ένα τυχαίο σήμα με τιμές που ακολουθούν την κανονική κατανομή

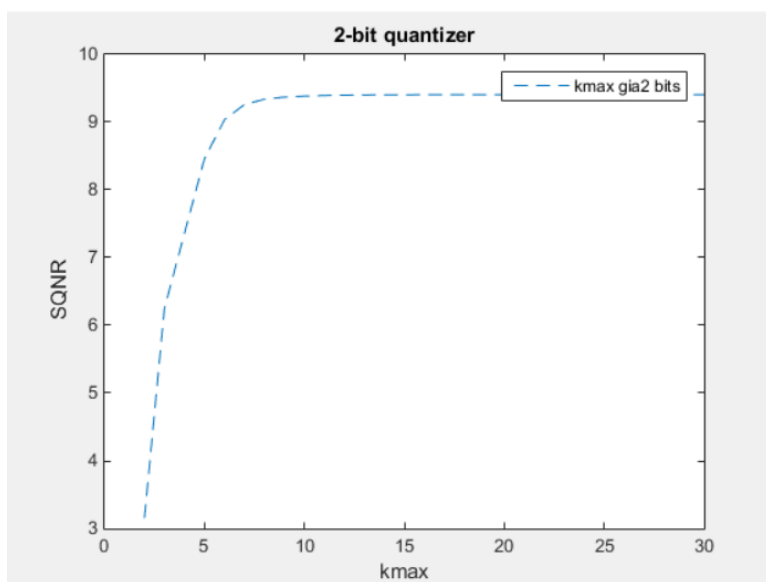
```
rng('default') %for reproducibility  
y = normrnd(-0.04,sqrt(0.11),[39921,1]);
```

Στη συνέχεια, , όπως και στο προηγούμενο ερώτημα το σήμα εισόδου κανονικοποιείται σε τιμές μεταξύ [-1,1] και τέλος δίνεται σαν είσοδος στη συνάρτηση lloyd\_max().

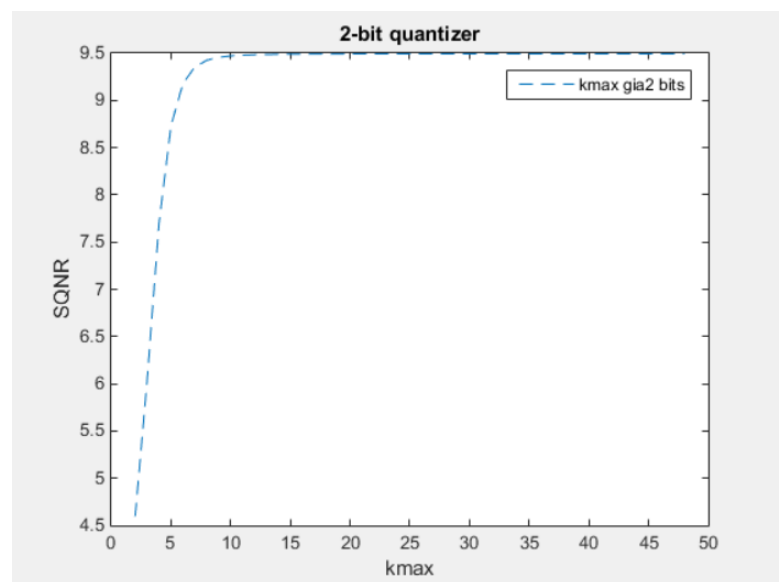
Το αρχικό σήμα είναι αυτό που φαίνεται στη εικόνα παρακάτω, πριν από την κανονικοποίηση.



Παρακάτω εμφανίζονται οι καμπύλες SQNR με το σήμα ήχου και με το τυχαίο σήμα αντίστοιχα.

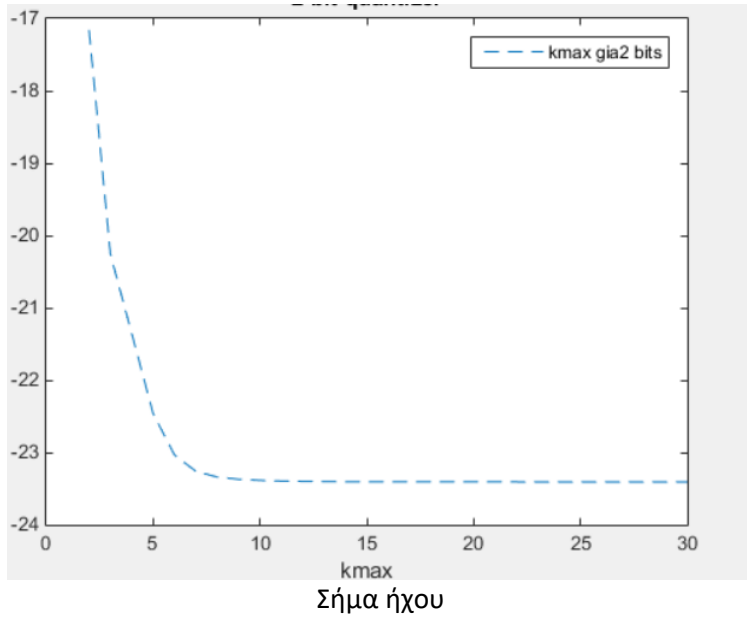


Σήμα ήχου

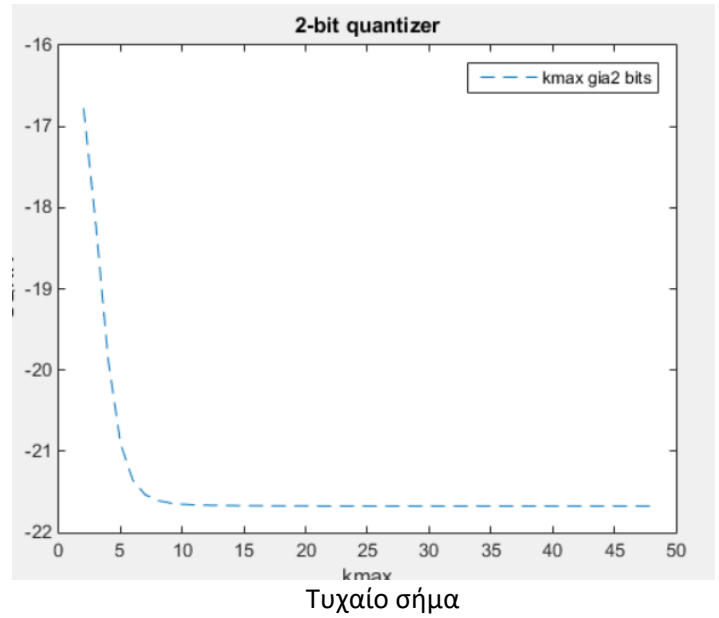


Τυχαίο σήμα

Επίσης, παρατίθενται και οι καμπύλες της μέσης παραμόρφωσης των δυο αυτών σημάτων



Σήμα ήχου



Τυχαίο σήμα

Από τις παραπάνω 4 (τέσσερις) εικόνες είναι φανερό πως τα πειραματικά αποτελέσματα με τα θεωρητικά είναι πολύ κοντά.

## Μέρος 2

### Ζητούμενο 1<sup>ο</sup>: Υλοποίηση συστήματος M-PAM

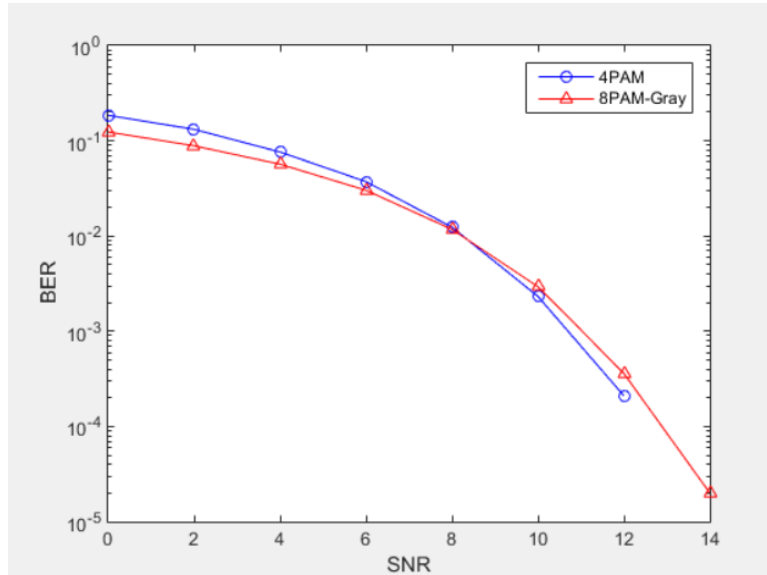
Ο κώδικας που αναπτύχθηκε υλοποιεί το σύστημα M-PAM που ζητείται. Πιο συγκεκριμένα, γίνονται οι παρακάτω λειτουργίες .

Αρχικά, καθορίζονται οι παράμετροι της εκτέλεσης και δημιουργείται η ακολουθία της εισόδου με χρήση της συνάρτησης `randsrc`. Στην συνέχεια, η ακολουθία αυτή δίνεται σαν είσοδος στον `mapper`, ο οποίος αναλύεται παρακάτω, και η έξοδος πολλαπλασιάζεται με τον ορθογώνιο παλμό και διαμορφώνεται. Όπως αναφέρεται και στην εκφώνηση, για κάθε σύμβολο συγκρατούμε 40 δείγματα στα οποία προσθέτουμε λευκό Γκαουσιανό θόρυβο και τα αποστέλλουμε στον δέκτη. Ο δέκτης συσχετίζει το σήμα με τη φέρουσα και ο φωρατής αναλαμβάνει να ανακτήσει το σύμβολο, αναζητώντας την μικρότερη απόσταση σε σχέση με τα σύμβολα του αστερισμού M-PAM. Τέλος, ο `demapper`, δέχεται ως είσοδο τα σύμβολα και επιστρέφει την τελική ακολουθία.

Έχουν υλοποιηθεί δύο συναρτήσεις, η `mapper`, η οποία ελέγχει αν έχει επιλεγεί κανονική κωδικοποίηση ή κωδικοποίηση κατά Gray και στη συνέχεια για τις περιπτώσεις που  $M = 4$  και  $M = 8$ , αντιστοιχίζει ομάδες  $\log_2 M$  bits στο αντίστοιχο σύμβολο. Αντίστοιχα, η συνάρτηση `demapper`, εκτελεί την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή αντιστοιχεί τα σύμβολα σε ομάδες  $\log_2 M$  bits.

## Ζητούμενο 2<sup>ο</sup>: SNR vs BER

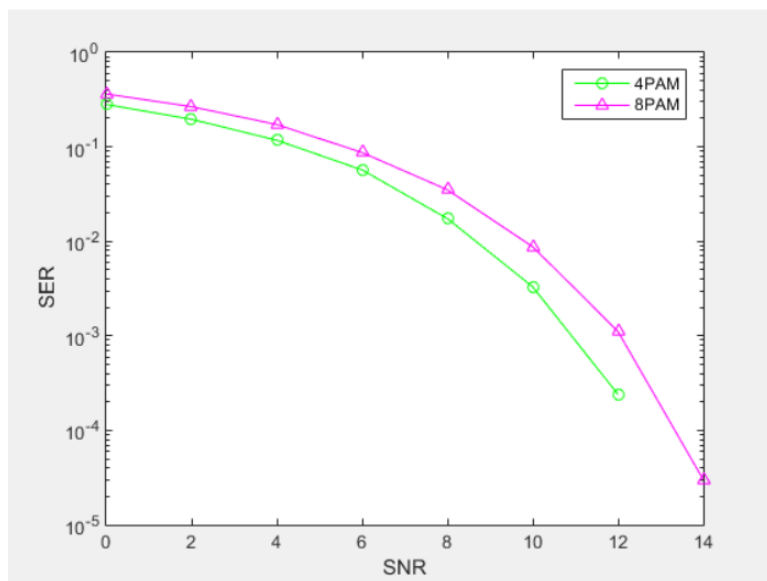
Οι καμπύλες που προκύπτουν παρουσιάζονται σε λογαριθμική κλίμακα και έχουν μεγάλη ομοιότητα με τις θεωρητικές.



Είναι φανερό ότι όσο μεγαλώνει ο αριθμός  $M$ , τόσο μειώνεται και η ανοχή στα σφάλματα, αλλά αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης.

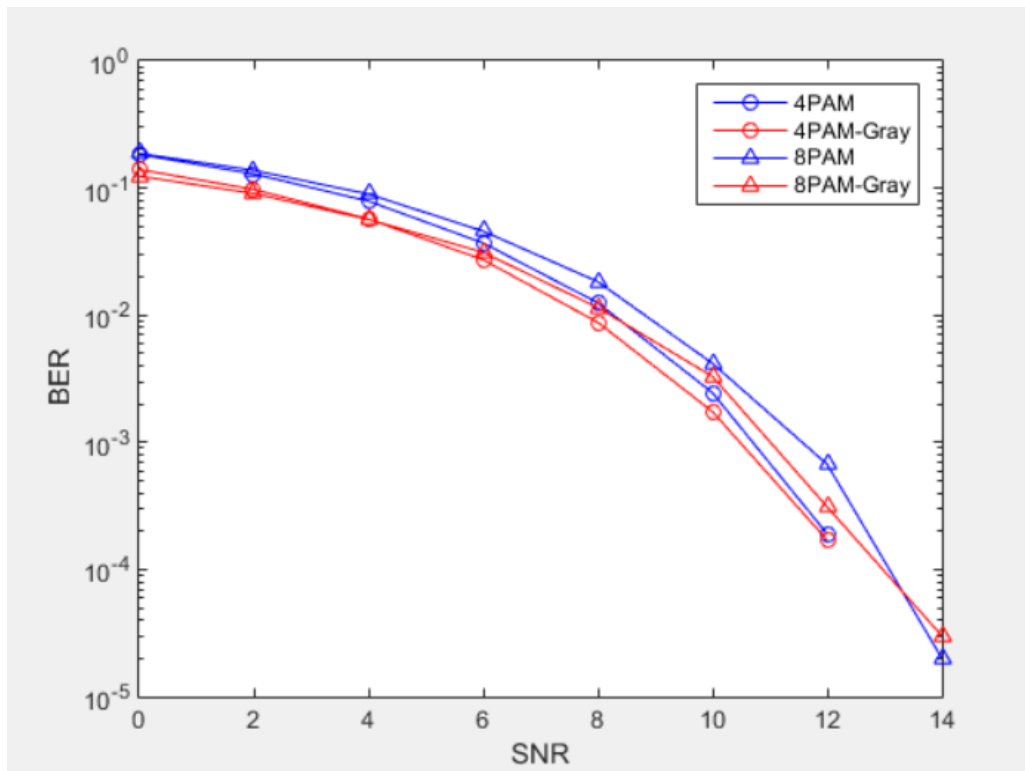
## Ζητούμενο 3<sup>ο</sup>: SNR vs SER

Οι καμπύλες που προκύπτουν παρουσιάζονται σε λογαριθμική κλίμακα και έχουν μεγάλη ομοιότητα με τις θεωρητικές.



Παρατηρείται ότι το Symbol Error Rate (SER) είναι μεγαλύτερο στη διαμόρφωση 8-PAM απ' ό τι στη διαμόρφωση 4-PAM. Αποτέλεσμα λογικό, καθώς η 8-PAM διαμόρφωση έχει παραπάνω σύμβολα και συνεπώς θα έχει και περισσότερα σφάλματα. Βέβαια, η 8-PAM καταφέρνει να μειώσει το σφάλμα περισσότερο από την 4-PAM, όταν το  $\text{SNR} > 13$

Για να βγεί ένα πιο καλό και καθαρό συμπέρασμα από τα παραπάνω δημιουργήθηκε το αρχείο **myResults.m** που εμφανίζει σε ένα διάγραμμα SNR vs BER τη διαμόρφωση 4-PAM τόσο με κωδικοποίηση Gray όσο και χωρίς. Το ίδιο και για την 8-PAM. Το διάγραμμα εμφανίζεται παρακάτω.



Οι καμπύλες που προκύπτουν παρουσιάζονται σε λογαριθμική κλίμακα και έχουν μεγάλη ομοιότητα με τις θεωρητικές.

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Όπως παρατηρείται, όσο μεγαλώνει ο αριθμός  $M$ , τόσο μειώνεται και η ανοχή στα σφάλματα, αλλά αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης. Επίσης, όπως είναι αναμενόμενο, και για τις δυο τιμές του  $M$ , η κωδικοποίηση κατά Gray είναι πιο αποδοτική καθώς δίνει μικρότερα σφάλματα από την αντίστοιχη κανονική κωδικοποίηση.