



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ**
UNIVERSITY OF PATRAS

Ψηφιακές Τηλεπικοινωνίες

Ακαδημαϊκό Έτος 2017/2018

Τουρλίδα Βάγια ΑΜ: 62233 (1041905)

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή 2

2 Περιβάλλον Εκτέλεσης 2

3 Προσομοίωση Ομόδυνου Ζωνοπερατού Συστήματος M-PAM 15

Περιγραφή 15

3.1 Mapper & Modulator 1

3.2 AWGN Κανάλι 17

3.3 Demodulator 17

3.4 Detector 17

3.5 Demapper 18

3.6 Main 18

3.7 Μετρήσεις BER 19

4 Συμπίεση Διακριτής Πηγής με Χρήση της Κωδικοποίησης DPCM 3

4.1 Υλοποίηση συστήματος DPCM 3

4.2 Ανάλυση Αρχικού Σήματος και Σφάλματος Πρόβλεψης 4

4.3 Ανάλυση Απόδοσης του Φίλτρου Πρόβλεψης 8

4.4 Ανάλυση Αρχικού και Ανακατασκευασμένου Σήματος 11

1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας πραγματοποιείται η υλοποίηση και ανάλυση δύο βασικών συστημάτων των ψηφιακών τηλεπικοινωνιών. Συγκεκριμένα, τα συστήματα που περιγράφονται παρακάτω είναι τα εξής:

1. Σύστημα Συμπίεσης Διακριτής Πηγής με Χρήση της Κωδικοποίησης DPCM
2. Σύστημα Προσομοίωσης Ομόδυνου Ζωνοπερατού Συστήματος M-PAM

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά :

1. οι αλγόριθμοι υλοποίησης των παραπάνω συστημάτων, καθώς
2. οι αντίστοιχες μετρήσεις/μετρικές για την αξιολόγηση της απόδοσής τους, υπό συγκεκριμένες συνθήκες εκτέλεσης.

2 Περιβάλλον Εκτέλεσης

Τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που χρησιμοποιήθηκε για τον υλοποίηση και την αξιολόγηση των διαφόρων συστημάτων περιγράφονται παρακάτω.

Λειτουργικό Σύστημα	Γλώσσα Προγραμματισμού
Windows 10 64-bit	MatlabR2017a

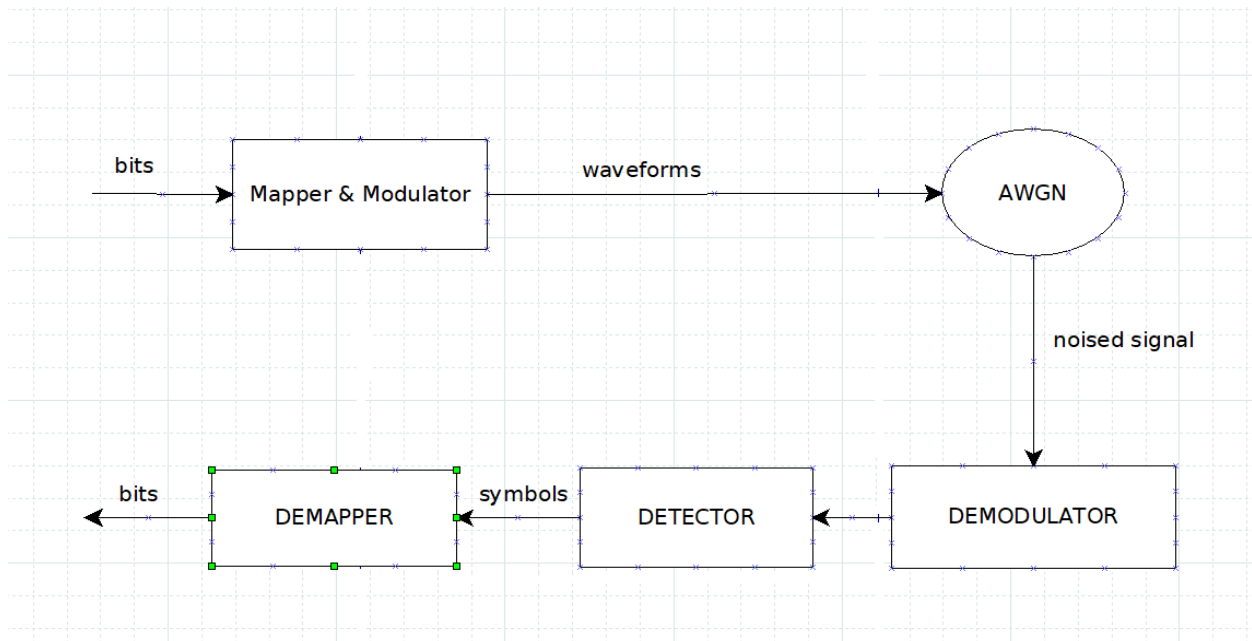
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Το **PAM** είναι μια μορφή διαμόρφωσης σήματος όπου η πληροφορία του μηνύματος κωδικοποιείται στο εύρος μιας σειράς παλμών σήματος. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα αναλογικής διαμόρφωσης παλμών στο οποίο τα πλάτη μεταβάλλονται σύμφωνα με την τιμή δείγματος του σήματος μηνύματος. Η αποδιαμόρφωση γίνεται με ανίχνευση του επιπέδου πλάτους του φορέα σε κάθε μία περίοδο.

Όπως κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα, έτσι και το PAM αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- **Δέκτη:** Αποτελείται από τον mapper και τον modulator.
- **Κανάλι:** Αποτελείται από ένα Additive white Gaussian noise (AWGN) κανάλι.
- **Πομπό:** Αποτελείται από τον demapper, τον decoder και τον demodulator.

Επομένως για την υλοποίηση της προσομοίωσης ενός συστήματος PAM απαιτήθηκε η υλοποίηση του καθενός υποσυστήματος ξεχωριστά, και στη συνέχεια η σύνδεση αυτών μεταξύ τους, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



4.1.1 Mapper

- Αρχικά υλοποιήθηκε το υποσύστημα του Mapper, ο οποίος αναλαμβάνει την μετατροπή της δυαδικής ακολουθίας του σήματος σε M σύμβολα. Ο Mapper υλοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζει δύο τρόπους κωδικοποίησης, την απλή και την Gray. Για να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε το Mapping για την κωδικοποίηση κατά Gray για το 8-PAM μετατρένουμε την αρχική ακολουθία που δημιουργούμε στην αντίστοιχη ακολουθία Gray υλοποιήσαμε την συνάρτηση **gray_encoder**. Αντίστοιχα για την αποκωδικοποίηση της ακολουθίας κατά Gray και την αντιστοίχιση της σε δυαδική ακολουθία υλοποιήθηκε η συνάρτηση **decode_gray**.
- Επίσης, ανάλογα του μεγέθους του σήματος εισόδου υπάρχει πιθανότητα να υπάρξουν κάποια bits τα οποία να μην αρκούν ώστε να σχηματίσουν ομάδα των $\log_2(M)$ bits. Για τον λόγο αυτό, κατά την κωδικοποίηση του σήματος, προστίθεται ο απαραίτητος αριθμός από bits μηδενικών στα MSB bits του σήματος, ώστε όλα τα bits να δημιουργούν αντίστοιχα ομάδα των $\log_2(M)$ bits. Με αυτόν τον τρόπο όλη η δυαδική πληροφορία του σήματος κωδικοποιείται σωστά, δίχως να υπάρξει πιθανώς κάποια απώλεια των τελευταίων δειγμάτων.

Modulator

- Στη συνέχεια υλοποιήθηκε το υποσύστημα του διαμορφωτή, ο οποίος αναλαμβάνει να πολλαπλασιάσει το κωδικοποιημένο σήμα με τον ορθογώνιο παλμό και στη συνέχεια να μεταφέρει το σήμα στη ζώνη μετάδοσης, ώστε τελικά να προκύψει το ζωνοπερατό σήμα S_m .

Τα δυο υποσυστήματα υλοποιήθηκαν στην ίδια συνάρτηση **my_mapper**.

4.1.3 AWGN Κανάλι

Επιπλέον υλοποιήθηκε το υποσύστημα του AWGN καναλιού, μέσω του οποίου διέρχεται το σήμα. Συγκεκριμένα θεωρήθηκε ότι το σήμα διέρχεται μέσω ενός ιδανικού καναλιού. Επομένως εφόσον παράχθηκε ο τυχαίος θόρυβος, με βάση την αντίστοιχη τιμή του SNR, τότε προστέθηκε στις αντίστοιχες τιμές του διαμορφωμένου σήματος.

4.1.4 Demodulator

Μετά υλοποιήθηκε το υποσύστημα του αποδιαμορφωτή, μέσω του οποίου το σήμα αποδιαμορφώνεται σε ένα δiάνυσμα r . Το συγκεκριμένο δiάνυσμα αντιστοιχεί στη θέση του ληφθέντος σήματος πάνω στον άξονα του M-PAM. Μέσω του συγκεκριμένου επιπέδου θα επιτευχθεί ο προσδιορισμός του αντίστοιχου συμβόλου της κάθε ομάδας των $\log_2(M)$ bits.

4.1.5 Detector

Στη συνέχεια υλοποιήθηκε το υποσύστημα του φωρατή, ο οποίος αξιοποιώντας το επίπεδο του M-PAM και την αντίστοιχη θέση του διανύσματος r πάνω σε αυτό, αποφασίζει σε ποιο σύμβολο βρίσκεται εγγύτερα. Για να επιτευχθεί αυτό εξετάζονται όλες οι αποστάσεις μεταξύ των διανυσμάτων r και S_m , χρησιμοποιώντας την μετρική της ευκλείδειας απόστασης, και εφόσον βρεθεί η μικρότερη απόσταση, τότε το αντίστοιχο δiάνυσμα S_m αντιστοιχεί στο σύμβολο που στάλθηκε.

4.1.6 Demapper

Τελευταίο υλοποιήθηκε το υποσύστημα του Demapper, ο οποίος δέχεται ως είσοδο το σύμβολο που έχει ανιχνεύσει ο φωρατής και στη συνέχεια παράγει την αντίστοιχη ομάδα από $\log_2(M)$ bits. Επιπλέον ανάλογα με την αρχική κωδικοποίηση που έχει υποστεί το σήμα, επιλέγεται και ο αντίστοιχος κατάλληλος τρόπος αποκωδικοποίησής του.

4.1.7 Main

Για την ένωση όλων των υποσυστημάτων που υλοποιήθηκαν δημιουργήθηκε ένα τελευταίο κομμάτι κώδικα, που συμβάλει στην πλήρη και ομαλή λειτουργία της προσομίωσης του συστήματος M-PAM.

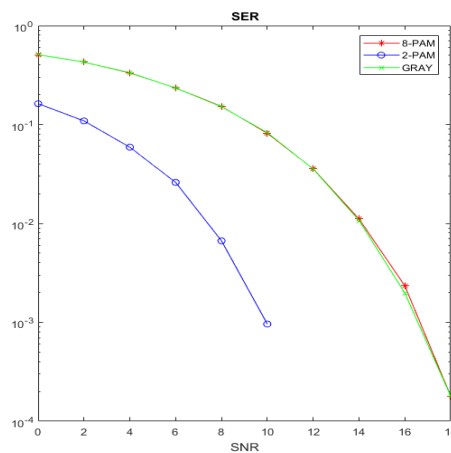
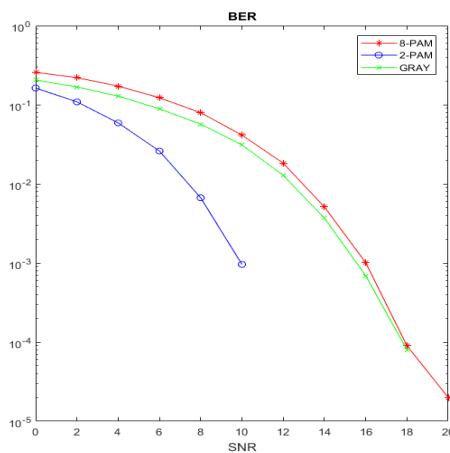
Συγκεκριμένα μέσω αυτού δημιουργείται αρχικά ένα τυχαίο δυαδικό σήμα εισόδου, με ισοπίθανες εμφανίσεις των 0 και 1. Στη συνέχεια αναλαμβάνει να χρησιμοποιήσει κατάλληλα τα αντίστοιχα υλοποιημένα υποσυστήματα, ώστε τελικά να προκύψει το αντίστοιχο δυαδικό σήμα εξόδου. Τέλος, αναλαμβάνει να αφαιρέσει τυχόν επιπλέον bits που προστέθηκαν μέσω του Mapper, τα οποία δεν προσφέρουν πια καμία πληροφορία στο σήμα.

ΕΡΩΤΗΜΑ Β

Υπολογισμός BER για M=2,M=8 με απλή κωδικοποίηση && κωδικοποίηση κατά Gray

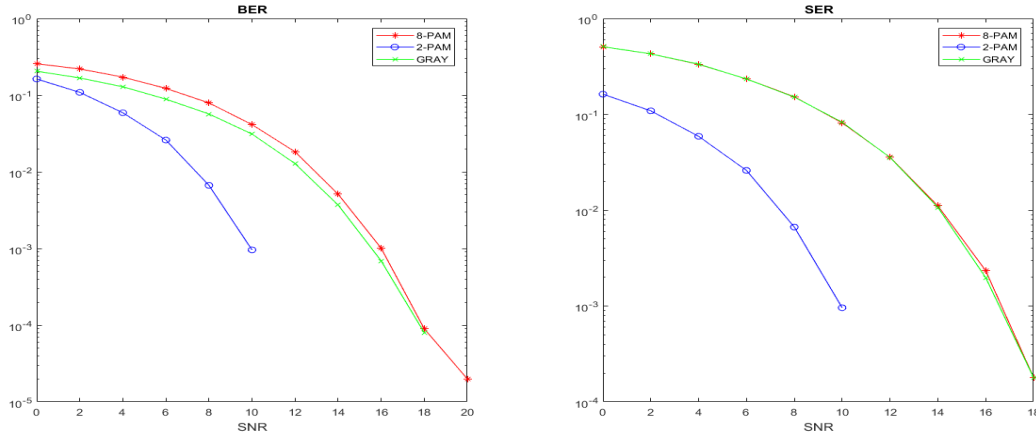
Για να υπολογίσουμε το BER χρειάστηκε να συγκρίνουμε την ακολουθία των bit που παράχθηκαν ύστερα από την εκτέλεση της συνάρτησης `my_demmapper` με ακολουθία εισόδου. Όμως επειδή το M παίζει ρόλο στον τρόπο με τον οποίο ομαδοποιούμε αρχικά τα bits της ακολουθίας εισόδου τα οποία τα ομαδοποιούμε ανά $\log_2(M)$ bits γίνεται αντιληπτό ότι κατά το demmapping πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας αυτή την αντιστοιχία ώστε να μπορέσουμε να κάνουμε σωστή αντιστοίχιση των δεκαδικών συμβόλων που προκύπτουν για τα διαφορετικά M και τις διαφορετικές κωδικοποιήσεις. Για τον λόγο αυτό υπολόγισαμε τα BER ξεχωριστά για κάθε διαφορετικό M και για κάθε διαφορετική κωδικοποίηση. Η αντιστοιχία κάθε M και κάθε κωδικοποίησης με την αντίστοιχη μεταβλητή BER που χρησιμοποιήθηκε παρατίθεται παρακάτω :

Μεταβλητές BER	M	Κωδικοποίηση
num_err_2PAM	2	απλή
num_err_8PAM	8	απλή
num_err_8PAM_Gray	8	Gray



ΕΡΩΤΗΜΑ Γ

Υπολογισμός SER για M=2,M=8 με απλή κωδικοποίηση && κωδικοποίηση κατά Gray



Για να υπολογίσουμε το SER χρειάστηκε να συγκρίνουμε την ακολουθία των συμβόλων που παράχθηκαν ύστερα από την εκτέλεση της συνάρτησης **my_detector** με ακολουθία εισόδου. Όμως επειδή το M παίζει ρόλο στον τρόπο με τον οποίο ομαδοποιούμε αρχικά τα bits της ακολουθίας εισόδου τα οποία τα ομαδοποιούμε ανά $\log_2(M)$ bits γίνεται αντιληπτό ότι κατά την αντιστοίχιση πρέπει ξανά να λάβουμε υπόψιν μας αυτή την αντιστοιχία ώστε να μπορέσουμε να κάνουμε σωστή αντιστοίχιση των δεκαδικών συμβόλων που προκύπτουν για τα διαφορετικά M και τις διαφορετικές κωδικοποιήσεις. Για τον λόγο αυτό υπολόγισαμε τα SER ξεχωριστά για κάθε διαφορετικό M και για κάθε διαφορετική κωδικοποίηση.

Η αντιστοιχία κάθε M και κάθε κωδικοποίησης με την αντίστοιχη μεταβλητή SER που χρησιμοποιήθηκε παρατίθεται παρακάτω :

Μεταβλητές	M	Κωδικοποίηση
signal_error_2PAM	2	απλή
signal_error_8PAM	8	απλή
signal_error_Gray	8	Gray

Παρατηρώντας το διάγραμμα του SER βλέπουμε ότι όταν αλλάζουμε το M από 2 σε 8 χρειαζόμαστε μεγαλύτερη ισχύ δηλαδή μεγαλύτερο SNR μέχρι να καταφέρουμε να πετύχουμε το ίδιο SER για την ακρίβεια κάθε φορά που διπλασιάζεται το M το SNR/bit θα πρέπει να αυξηθεί περισσότερο από 4dB για το ίδιο SER.

- Πιθανότητα σφάλματος συμβόλου (SER):

$$P_M = \frac{2(M-1)}{M} Q\left(\sqrt{\frac{2E_g}{N_0}}\right) = \frac{2(M-1)}{M} Q\left(\sqrt{\frac{6E_s}{(M^2-1)N_0}}\right)$$

Αυτό μπορούμε να το επαληθεύσουμε και αν στον παραπάνω τύπο αντικαταστήσουμε M=2 & M=8.

ΜΕΡΟΣ Β

Συμπίεση Διακριτής Πηγής με Χρήση της Κωδικοποίησης DPCM

ΕΡΩΤΗΜΑ Α

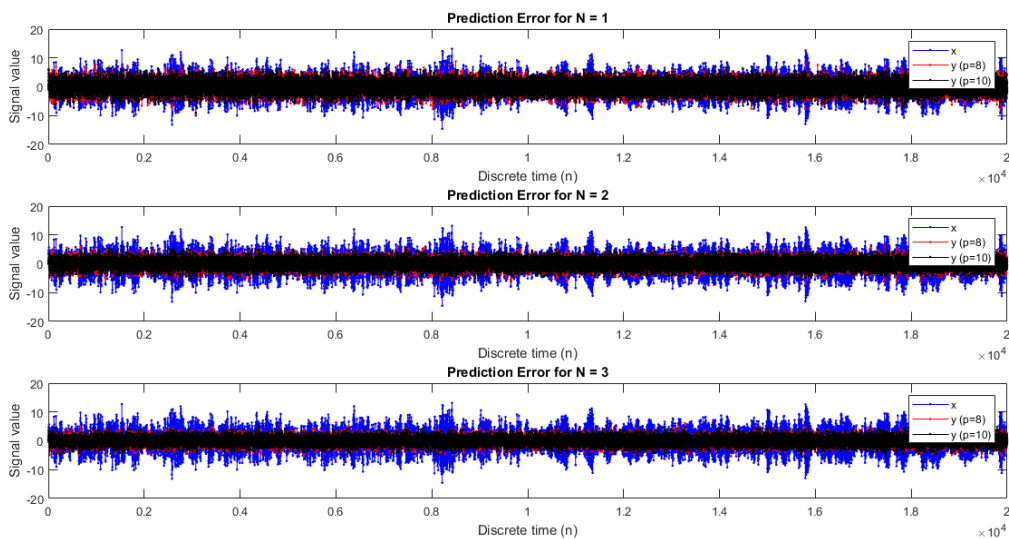
Υλοποίηση συστήματος DPCM

Για την υλοποίηση του συστήματος DPCM αρχικά χρειάστηκε να υλοποιηθεί ένας ομοιόμορφος κβαντιστής N δυαδικών ψηφίων, δηλαδή 2^N επιπέδων. Τα όρια κάθε επιπέδου θεωρήθηκαν ως εξής: $(-\infty, -\alpha)$, $[-\alpha, 0)$, $[0, +\alpha)$, $[+\alpha, +\infty)$ (αναπαράσταση κβαντιστή 4 επιπέδων). Στην συνέχεια για την υλοποίηση του DPCM υλοποιήθηκε και το φίλτρο πρόβλεψης όπως αναφέρεται στην εκφώνηση. Το φίλτρο πρόβλεψης βασίζεται στις p προηγούμενες τιμές που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη, παρ'όλα αυτά για την αρχικοποίηση του συστήματος θεωρήθηκε ότι οι p πρώτες τιμές μεταδίδονται χωρίς σφάλματα.

ΕΡΩΤΗΜΑ Β

Για την αξιολόγηση της απόδοσης του προβλέπτη του συστήματος DPCM, λήφθηκαν οι αντίστοιχες μετρήσεις του σφάλματος πρόβλεψης για $p = 8, 10$ και $N = 1, 2, 3$ bits. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται παρακάτω οι μετρήσεις του σφάλματος πρόβλεψης που λήφθηκαν σε σχέση με το αρχικό σήμα.

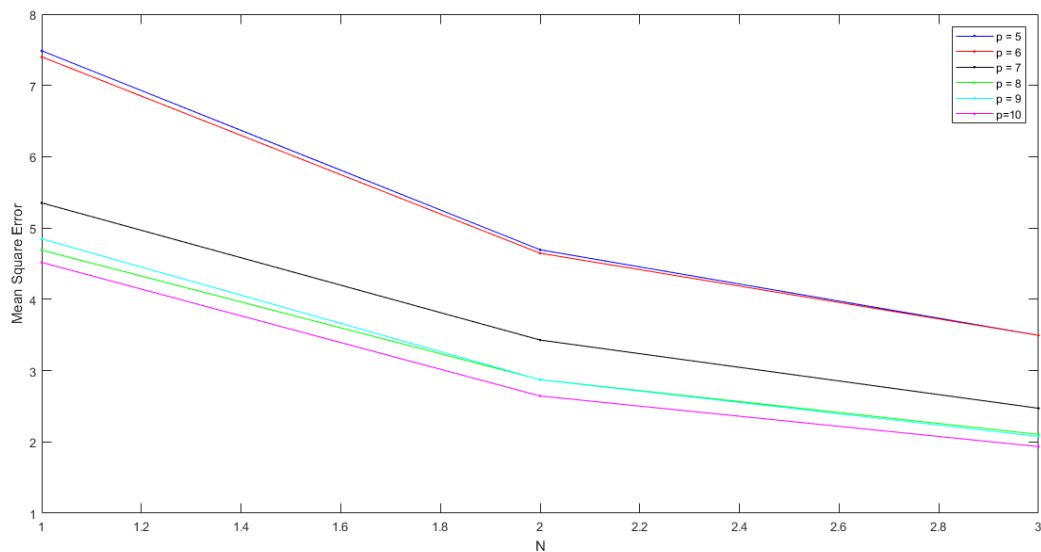
Από τις συγκεκριμένες γραφικές παραστάσεις είναι εμφανές ότι το σφάλμα πρόβλεψης επηρεάζεται μόνο από τον αριθμό bits κβάντισης, ανεξάρτητα του πλήθους p των προηγούμενων τιμών, στον οποίον στηρίζεται ο προβλέπτης. Συγκεκριμένα παρατηρείται αναλογική βελτίωση του σφάλματος κβάντισης όσο αυξάνεται ο αριθμός bits κβάντισης των δειγμάτων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη ακρίβεια που μας προσφέρουν τα επιπλέον bits κβάντιση.



ΕΡΩΤΗΜΑ Γ

Για την περαιτέρω αξιολόγηση του προβλέπτη του συστήματος DPCM, λήφθηκαν οι αντίστοιχες τιμές του προβλεπόμενου σήματος για $p = 5 : 10$ και $N = 1, 2, 3$ bits. Συγκεκριμένα για κάθε συνδυασμό των παραμέτρων p και N υπολογίστηκε και απεικονίστηκε αντίστοιχα το μέσο τετραγωνικό σφάλμα πρόβλεψης ως:

$$E(y^2) = E((x-y')^2)$$



Από το παραπάνω γράφημα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η απόδοση του φίλτρου πρόβλεψης του σήματος επηρεάζεται σχεδόν αποκλειστικά από την ακρίβεια κβάντισης των δειγμάτων. Όσο περισσότερα bits κβάντισης χρησιμοποιούνται, τόσο περισσότερο αξιόπιστα προσεγγίζει το αρχικό σήμα ο προβλέπτης.

p=5	p=6	p=7	p=8	p=9	p=10
1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29
-1,59	-1,59	-1,59	-1,59	-1,59	-1,59
0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
-0,54	-0,54	-0,54	-0,54	-0,54	-0,54
-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
0	-0,18	0,18	-0,18	0,18	-0,18
0	0	-0,18	0,18	-0,18	0,18
0	0	0	-0,18	0,18	-0,18
0	0	0	0	-0,18	0,18
0	0	0	0	0	-0,18

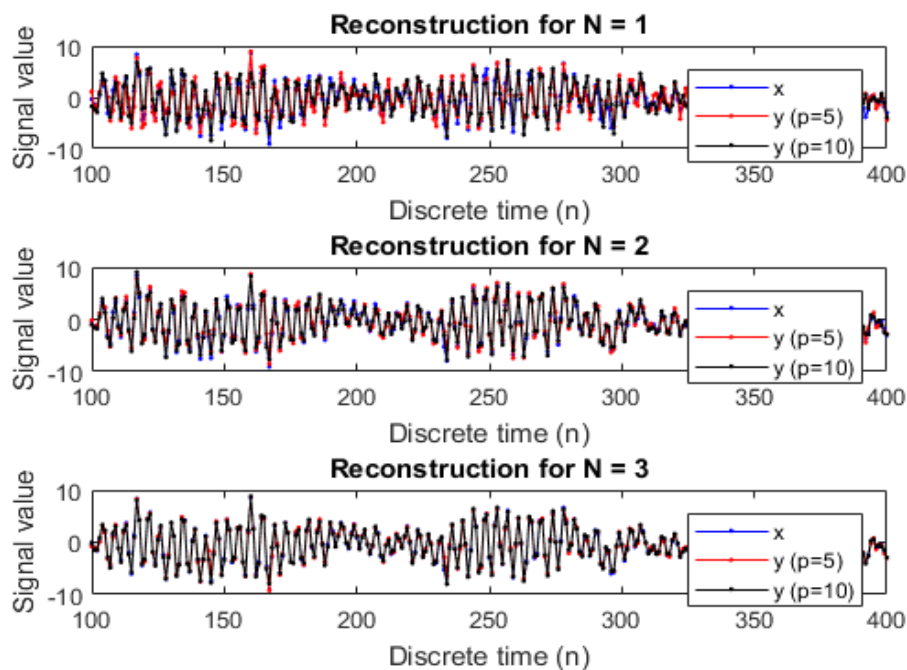
Οι τιμές των αντίστοιχων συντελεστών του προβλεπτή είναι ίδιοι για όλα τα p . Επίσης οι τιμές των συντελεστών από $\alpha 6$ ως $\alpha 10$ επαναλαμβάνονται διαδοχικά με αντίστροφα πρόσημα.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαδικασία εισόδου είναι κατασκευασμένη από μια Auto Regressive διαδικασία τάξης 5.

Για το ΕΡΩΤΗΜΑ 3 υλοποιήθηκε η συνάρτηση $\text{mean_sq}(x)$ και γράφτηκε το script3.

ΕΡΩΤΗΜΑ Δ

Για την αξιολόγηση του σύστημα μας λήφθηκαν οι αντίστοιχες τιμές του αρχικού σήματος και του ανακατασκευασμένου σήματος στο δέκτη. Πιο συγκεκριμένα για τον συνδιασμό των τιμών $p=8,10$ και $\text{bits}=1,2,3$ απεικονίστηκε το αρχικό και το ανακατασκευασμένο σήμα. Για να είναι πιο ευδιάκριτες οι διαφορές περιοριστήκαμε σε έναν μέρος δειγμάτων καθώς το γράφημα ήταν πολύ πυκνό λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων εισόδου.



Παρατηρώντας τις μετρήσεις γίνεται προφανές ότι όσα περισσότερα bits χρησιμοποιούνται τόσο καλύτερη απόδοση έχουμε, παρ'όλα αυτά σε μεγάλες μεταβολές του σήματος το σύστημα δεν ανταποκρίνεται κατάλληλα.