

ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ
Ακαδημαϊκό Έτος 2014-2015

1^η Εργαστηριακή Άσκηση

**Κωδικοποίηση PCM και Προσαρμοστική Κωδικοποίηση
Δέλτα**

1) Κωδικοποίηση PCM με Μη Ομοιόμορφη Κβάντιση

Η PCM είναι μια μέθοδος κωδικοποίησης κυματομορφής, η οποία μετατρέπει ένα αναλογικό σήμα σε ψηφιακά δεδομένα. Τυπικά, η μέθοδος PCM αποτελείται από τρία βασικά τμήματα: έναν δειγματολήπτη, έναν κβαντιστή, και έναν κωδικοποιητή (που δε σας ζητάται να υλοποιήσετε).

Στην άσκηση αυτή, ο βασικός στόχος είναι η εξοικείωση με τη λειτουργία του κβαντιστή. Συγκεκριμένα, καλείστε να υλοποιήσετε ένα μη ομοιόμορφο κβαντιστή N bits, δηλαδή 2^N επιπέδων.

Μη Ομοιόμορφος Κβαντιστής

Για τη μη ομοιόμορφη κβάντιση του διανύσματος εισόδου θα χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος Lloyd-Max ο οποίος επιτρέπει την σχεδίαση βέλτιστου κβαντιστή για οποιοδήποτε αριθμό επιπέδων. Καλείστε να υλοποιήσετε σε MATLAB την παρακάτω συνάρτηση:

```
[xq, centers, D] = Lloyd_Max(x,N,min_value,max_value);
```

Οι είσοδοι είναι:

- x : το σήμα εισόδου υπό μορφή διανύσματος
- N : ο αριθμός των bits που θα χρησιμοποιηθούν
- max_value : η μέγιστη αποδεκτή τιμή του σήματος εισόδου
- min_value : η ελάχιστη αποδεκτή τιμή του σήματος εισόδου

Οι έξοδοι:

- xq : το κωδικοποιημένο διάνυσμα εξόδου μετά από K_{\max} επαναλήψεις του αλγορίθμου
- centers : τα κέντρα των περιοχών κβάντισης μετά από K_{\max} επαναλήψεις του αλγορίθμου
- D : Διάνυσμα που περιέχει τις τιμές $[D_1:D_{K_{\max}}]$ όπου D_i αντιστοιχεί στην μέση παραμόρφωση στην i -οστή επανάληψη του αλγορίθμου.

Παρακάτω δίνεται μια σύντομη περιγραφή του αλγορίθμου:

Αρχικά επιλέγετε ένα τυχαίο σύνολο επιπέδων κβαντισμού (επιλέξτε τα επίπεδα αυτά να αντιστοιχούν στα κέντρα ενός αντίστοιχου ομοιόμορφου κβαντιστή).

$$\{\tilde{x}_1^{(0)}, \tilde{x}_2^{(0)}, \dots, \tilde{x}_M^{(0)}\}$$

Σε κάθε επανάληψη i του Αλγόριθμου Lloyd-Max:

1. Υπολογίστε τα όρια των ζωνών κβαντισμού, που πρέπει να είναι στο μέσον των επιπέδων κβαντισμού, δηλαδή:

$$T_k = \frac{\tilde{x}_k^{(i)} + \tilde{x}_{k+1}^{(i)}}{2}, \quad 1 \leq k \leq M - 1$$

2. Υπολογίστε το κβαντισμένο σήμα με βάση τις περιοχές αυτές και μετρήστε την μέση παραμόρφωση D_i με βάση το δοθέν σήμα.

3. Τα νέα επίπεδα κβαντισμού είναι τα κεντροειδή των ζωνών:

$$\tilde{x}_k^{(i+1)} = E[x | T_{k-1} < x < T_k]$$

4. Επαναλαμβάνουμε τα 3 τελευταία βήματα μέχρις ότου:

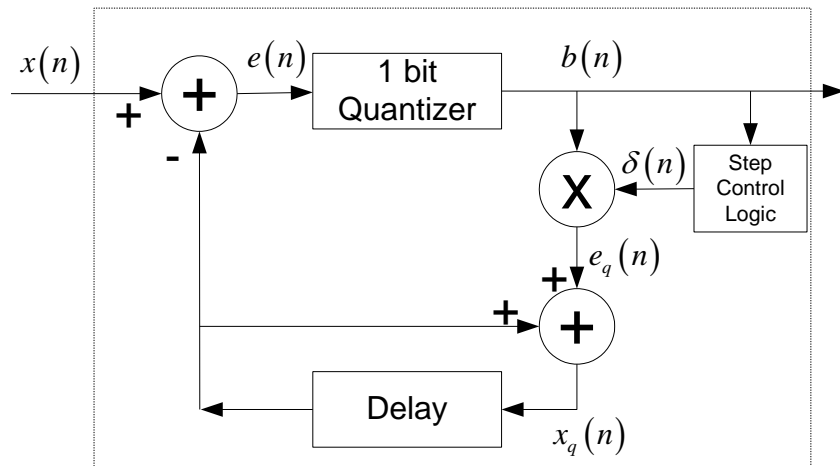
$$|D_i - D_{i-1}| < \varepsilon$$

Η τιμή του ε καθορίζει και τον αριθμό των K_{\max} επαναλήψεων.

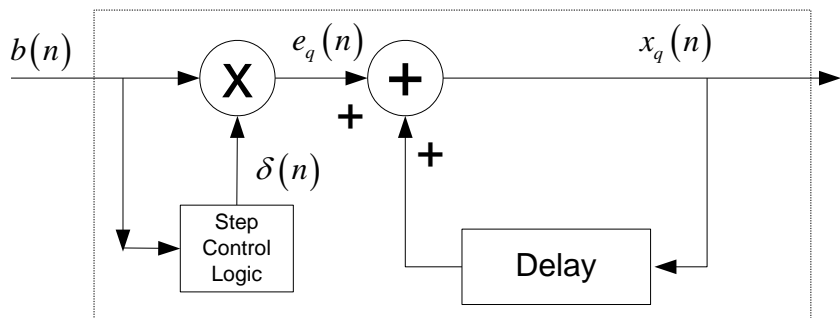
2) Προσαρμοστική Διαμόρφωση Δέλτα (ADM)

Καλείστε να υλοποιήσετε την προσαρμοστική διαμόρφωση Δέλτα που φαίνεται στο επόμενο σχήμα:

Προσαρμοστική Κωδικοποίηση Δέλτα



Κωδικοποιητής



Αποκωδικοποιητής

Η μόνη διαφορά ανάμεσα στην DM και την ADM, είναι ότι η ADM χρησιμοποιεί μεταβαλλόμενο βήμα. Συγκεκριμένα, σε περιοχές που η κυματομορφή του σήματος εμφανίζει απότομη κλίση, η ADM αυξάνει το βήμα. Αντίθετα, σε περιοχές σταθερής τιμής του σήματος, μικραίνει το βήμα, ώστε να αποφευχθεί ο κοκκώδης θόρυβος. Η ανανέωση του βήματος βασίζεται στο τρέχον και το προηγούμενο bit εξόδου, $b(n)$, ως εξής:

$$\delta(n) = \begin{cases} \delta(n-1)K, & b(n) = b(n-1) \\ \delta(n-1)K^{-1}, & b(n) \neq b(n-1) \end{cases}$$

Να σημειωθεί ότι τα bits είναι σε μορφή $\{+1, -1\}$. Η βέλτιστη τιμή της παραμέτρου K έχει βρεθεί πειραματικά ως $K=1,5$ και η τιμή του βήματος αρχικοποιείται σε μια μικρή τιμή.

Η ADM, όπως και η DM, προκειμένου να πετύχουν καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των γειτονικών δειγμάτων και να παρακολουθήσουν καλύτερα τις αυξομειώσεις της κυματομορφής, πραγματοποιούν υπερδειγματοληψία του σήματος κατά M .

Έτσι, ενώ το PCM στέλνει δεδομένα με ρυθμό $N \cdot f_s$ bits/sec, η κωδικοποίηση Δέλτα στέλνει $1 \cdot M \cdot f_s$ bits/sec. Προκειμένου να κάνετε υπερδειγματοληψία του σήματος, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την εντολή:

```
>> y2=interp(y,M);
```

3) Πηγές που θα χρησιμοποιηθούν

A. Πηγή Ήχου

Η πηγή A είναι ένα σήμα φωνής το οποίο εκτείνεται συχνотικά μέχρι τα 4KHz περίπου. Δίνεται ένα ψηφιακό ηχητικό σήμα υπό μορφή αρχείου κυματομορφής (.wav) το οποίο θα θεωρήσουμε ικανοποιητική αναπαράσταση του αντίστοιχου αναλογικού. Το αρχείο 'speech.wav', περιέχει δείγματα σήματος φωνής με ρυθμό δειγματοληψίας $f_s=8KHz$ κβαντισμένα με $N=16bits$ (PCM κωδικοποίηση).

Για να φορτώσετε το σήμα στο MATLAB, χρησιμοποιήστε την εντολή:

```
>> [y, fs, N]=wavread('speech.wav');
```

ενώ για να το ακούσετε, την εντολή

```
>> wavplay(y, fs);
```

B. Εικόνα

Η πηγή B είναι τα εικονοστοιχεία (pixels) μιας grayscale εικόνας. Μια τέτοια εικόνα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας πίνακας με εικονοστοιχεία, όπου κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχεί σε ένα byte πληροφορίας. Κάθε εικονοστοιχείο επομένως λαμβάνει μια τιμή στο δυναμικό εύρος [0:255] η οποία αντιστοιχεί σε ένα από τα 256 επίπεδα φωτεινότητας (το 0 αντιστοιχεί στο μαύρο και το 255 στο λευκό).

Στο αρχείο cameraman.mat περιέχεται ένα σήμα εικόνας. Για να φορτώσουμε το συγκεκριμένο σήμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση:

```
>> load cameraman.mat
```

οπότε το σήμα εικόνας φορτώνεται στο πίνακα i. Οι τιμές του πίνακα αυτού αντιστοιχούν στο δυναμικό εύρος [0:255]. Για να απεικονίσουμε την εικόνα που αντιστοιχεί στον πίνακα i εκτελούμε:

```
>> imshow(uint8(i));
```

Η πηγή B είναι το διάνυσμα που προκύπτει από τον πίνακα i αν αντιστοιχίσουμε τις τιμές που ανήκουν στο [0:255] στο δυναμικό εύρος [-1:1] εκτελώντας

```
>> x=i(:);  
>> x=(x-128)/128;
```

Οπότε έχουμε ένα σήμα το οποίο περιορίζεται στη δυναμική περιοχή [-1:1], όπου χρησιμοποιούνται 8 bits για την αναπαράσταση κάθε δείγματος. Για να απεικονίσουμε ένα τέτοιο σήμα σε μια εικόνα πρέπει αρχικά να αντιστοιχίσουμε τη δυναμική περιοχή του από [1:1] στη [0:255] εκτελώντας

```
>> x=128*x+128;
```

και στη συνέχεια να μετατρέψουμε το διάνυσμα σε εικόνα διαστάσεων MxN (στη περίπτωση μας M=N=256) εκτελώντας

```
>> y=reshape(x,M,N);
```

Τελικά απεικονίζουμε το πίνακα που προκύπτει χρησιμοποιώντας την εντολή

```
>> imshow(uint8(y));
```

C. Αγγλικό Κείμενο

Η πηγή C είναι οι χαρακτήρες ενός αποσπάσματος αγγλικού κειμένου. Το απόσπασμα αυτό δίνεται στο αρχείο fearnomore.mat.

4. Ερωτήσεις – Ζητούμενα

1. Κωδικοποιήστε τα δείγματα της πηγής A χρησιμοποιώντας τα σχήματα PCM και ADM για N=2,4 και 8 bits. Αξιολογήστε τις παραπάνω μεθόδους βασισμένοι:

a. Στις τιμές του SQNR. Για την περίπτωση του πρώτου σχήματος να σχεδιάσετε το πως μεταβάλλεται το SQNR σε σχέση με τον αριθμό των επαναλήψεων του αλγορίθμου Lloyd Max.

b. Στο ακουστικό αποτέλεσμα κάθε μεθόδου χρησιμοποιώντας την wavplay().

c. Στις κυματομορφές εξόδου.

2. Κωδικοποιήστε τα δείγματα της πηγής B χρησιμοποιώντας το σχήμα PCM για N=2 και 4 bits. Αξιολογήστε τις παραπάνω μεθόδους βασισμένοι:

a. Στις τιμές του SQNR. Σχεδιάστε το πως μεταβάλλεται το SQNR σε σχέση με τον αριθμό των επαναλήψεων του αλγορίθμου Lloyd Max.

b. Στο τελικό οπτικό αποτέλεσμα.

3. Για την περίπτωση του μη ομοιόμορφου PCM και για $N=2\text{bits}$, μετρήστε την πιθανότητα εμφάνισης κάθε στάθμης στην έξοδο του κβαντιστή. Θεωρήστε ότι η κατανομή των δειγμάτων ομιλίας μπορεί να προσεγγιστεί από την κανονική κατανομή με μέση τιμή $m=-0.04$ και διασπορά $\sigma^2=0.11$. Υπολογίστε σε αυτή τη περίπτωση τις πιθανότητες εμφάνισης κάθε στάθμης και τη μέση παραμόρφωση και συγκρίνετε τις τιμές που προκύπτουν με αυτές που προέκυψαν πειραματικά.

4. Υπολογίστε την εντροπία για την έξοδο του κβαντιστή στην περίπτωση του μη ομοιόμορφου PCM για τα ερωτήματα 1 και 2. Επιπλέον για την εικόνα υπολογίστε την εντροπία και πριν την κβάντιση.

5. Υλοποιήστε μια συνάρτηση που να επιστρέφει το αλφάβητο του κειμένου στη περίπτωση της πηγής C και να υπολογίζει την πιθανότητα εμφάνισης κάθε συμβόλου του αλφαβήτου, καθώς και την εντροπία της πηγής.

Παρατηρήσεις

- Η αναφορά παραδίδεται ηλεκτρονικά μέσω e-class (ενότητα “Εργασίες”) και εκτυπωμένη στη θυρίδα του μαθήματος (ΠΡΟΚΑΤ). Στο τέλος της αναφοράς, παραθέστε τον κώδικα που υλοποιήσατε. Το αρχείο της αναφοράς θα πρέπει να είναι σε μορφή pdf και να έχει ως όνομα τον αριθμό μητρώου σας. Για παράδειγμα αν η άσκηση έχει γίνει από τον φοιτητή με AM 3648 θα πρέπει το αρχείο να έχει όνομα 3648.pdf.
- Για να ανεβάσετε μια άσκηση θα πρέπει πρώτα να έχετε εγγραφεί στο μάθημα. Αν δεν είστε εγγεγραμμένοι στο μάθημα το σύστημα δεν θα σας αφήσει να ανεβάσετε την άσκηση. Η εγγραφή γίνεται από τις επιλογές που διατίθενται στο e-class.
- Φροντίστε να διαπιστώσετε ότι η άσκηση σας έχει υποβληθεί σωστά στο e-class. Δεν θα γίνουν δεκτές ασκήσεις αργότερα με την δικαιολογία ότι την έχετε υποβάλει αλλά για κάποιο λόγο η άσκηση δεν υπάρχει στο e-class.
- Η άσκηση είναι ατομική και θα γίνει προφορική εξέταση σε αυτή (δειγματοληπτικά) στο τέλος του εξαμήνου.
- Η παράδοση της άσκησης μπορεί να γίνει μέχρι Δευτέρα 12/01/2015.
- Τυχόν απορίες σχετικές με την άσκηση θα λύνονται μέσω του forum του μαθήματος στο my.ceid.