

ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Ακαδημαϊκό Έτος 2013-2014

1^η Εργαστηριακή Άσκηση

Κωδικοποίηση PCM και Κωδικοποίηση Huffman

Γενικές Πληροφορίες

Κωδικοποίηση PCM

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. Η έξοδος του κωδικοποιητή είναι μια ακολουθία από κωδικές λέξεις (σύμβολα) σταθερού μήκους N bits.

Στην άσκηση αυτή, ο βασικός στόχος είναι η εξοικείωση με τη λειτουργία του κβαντιστή. Συγκεκριμένα, καλούμαστε να υλοποιήσουμε έναν ομοιόμορφο και ένα μη ομοιόμορφο κβαντιστή N bits, δηλαδή 2^N επιπέδων. Οι κβαντιστές πρέπει να υλοποιηθούν ως συναρτήσεις της MATLAB.

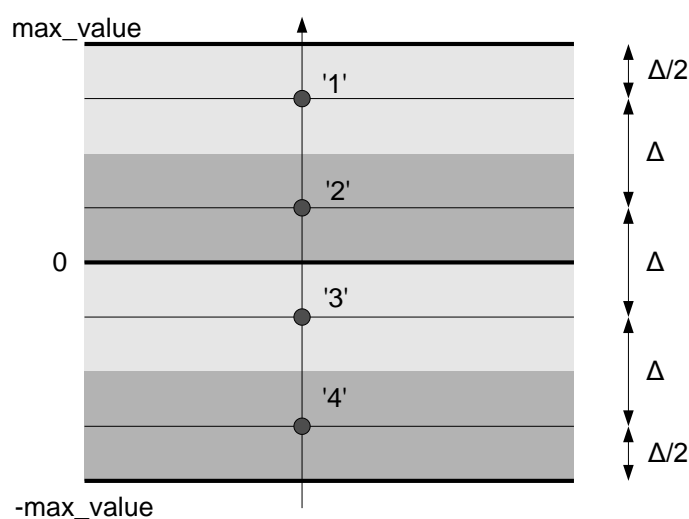
1.1.1 Ομοιόμορφος Κβαντιστής

Στην περίπτωση αυτή καλείστε να υλοποιήσετε σε MATLAB την παρακάτω συνάρτηση:

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

- 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
- xq : το διάνυσμα του σήματος εξόδου κωδικοποιημένο ως εξής: τα επίπεδα κβάντισης αναπαρίστανται με τους ακεραίους $1,2,\dots,2^N$, όπου το μεγαλύτερο θετικό επίπεδο κβάντισης αντιστοιχεί στον ακέραιο 1. Οι ακέραιοι αυτοί μπορούν να αναπαρασταθούν δυαδικά με N bits.
- centers : τα κέντρα των περιοχών κβάντισης.

Ειδικότερα, ο κβαντιστής θα πρέπει να περιορίζει τη δυναμική περιοχή του σήματος εισόδου στις τιμές $[\min_value : \max_value]$, θέτοντας τα δείγματα που βρίσκονται εκτός δυναμικής περιοχής στην αντίστοιχη ακραία αποδεκτή τιμή. Στη συνέχεια, ο κβαντιστής θα υπολογίζει το βήμα κβαντισμού Δ , τα κέντρα της κάθε περιοχής, την περιοχή στην οποία ανήκει κάθε δείγμα του σήματος εισόδου, και θα βγάζει ως έξοδο το διάνυσμα x_q των ακεραίων. Το διάνυσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης στο διάνυσμα `centers`, και να πάρουμε το κβαντισμένο σήμα ως `centers(xq)`. Ένα παράδειγμα των περιοχών κβάντισης για $N=2$ bits φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 1: Παράδειγμα ομοιόμορφου κβαντιστή για $N=2$ bits

1.1.2 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,max_value);
```

Οι είσοδοι είναι ίδιες με την περίπτωση του ομοιόμορφου κβαντιστή.

- x_q : 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:

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

Στο πλαίσιο της άσκησης επιλέξτε τα επίπεδα αυτά να αντιστοιχούν στα κέντρα του ομοιόμορφου κβαντιστή.

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:

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

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 Kmax επαναλήψεων.

Κωδικοποίηση Huffman

Ο αλγόριθμος Huffman αποτελεί έναν κωδικοποιητή διακριτών πηγών, όπου αντιστοιχεί τα σύμβολα εισόδου σε κωδικές λέξεις μεταβλητού αριθμού bits. Μαζί με την εκφώνηση της άσκησης, σας δίνεται το αρχείο `huffman.m` που υλοποιεί τον αλγόριθμο Huffman:

```
[code,len] = huffman(p);
```

- p: διάνυσμα πιθανοτήτων εμφάνισης κάθε συμβόλου
- code: ο κώδικας καθενός συμβόλου (μεταβλητή τύπου string)
- len: το μήκος της κωδικοποίησης κάθε συμβόλου σε bits.

Πηγές

Στην άσκηση αυτή, θα κωδικοποιήσουμε δύο πηγές, A και B.

Η πρώτη πηγή A είναι ένα σήμα φωνής το οποίο εκτείνεται συχνοτικά μέχρι τα 4KHz περίπου. Προκειμένου να συγκρίνουμε τις δύο κωδικοποιήσεις, ιδανικά θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε ένα σήμα φωνής του οποίου τα δείγματα να παίρνουν τιμές από ένα συνεχές αλφάβητο. Ωστόσο, για να αποφευχθεί η διαδικασία της ψηφιοποίησης, σας 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 στη MATLAB, χρησιμοποιήστε την εντολή:

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

ενώ για να το ακούσετε, την εντολή

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

Η δεύτερη πηγή B είναι οι χαρακτήρες ενός αποσπάσματος αγγλικού κειμένου. Το απόσπασμα αυτό δίνεται στο αρχείο keimeno.txt

Για να διαβάσετε του χαρακτήρες ενός αρχείου κειμένου μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη συνάρτηση fscanf(.) της MATLAB. Για τη μετατροπή κειμένου σε κωδικούς ascii και αντίστροφα μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις συναρτήσεις abs(.) και char(.).

Ερωτήσεις – Ζητούμενα

1. Υλοποιήστε τα παρακάτω σχήματα :
 - a. PCM με ομοιόμορφο κβαντιστή
 - b. PCM με μη ομοιόμορφο κβαντιστή, τον οποίο θα σχεδιάσετε χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Lloyd – Max.
2. Κωδικοποιείστε τα δείγματα της πηγής A χρησιμοποιώντας τα παραπάνω σχήματα για $N=2,4$ και 8 bits. Αξιολογείστε τις παραπάνω μεθόδους βασισμένοι:
 - a. Στις τιμές του SQNR. Για την περίπτωση του δεύτερου 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.
3. Για την περίπτωση του ομοιόμορφου PCM και για $N=2\text{bits}$, μετρείστε 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. Μαζί με την εκφώνηση της άσκησης, σας δίνεται το αρχείο `huffman.m` που υλοποιεί τον αλγόριθμο Huffman:
- ```
>> [code,len]=huffman(p);
```
- `p`: διάνυσμα πιθανοτήτων εμφάνισης κάθε συμβόλου
  - `code`: ο κώδικας καθενός συμβόλου (μεταβλητή τύπου `string`)
  - `len`: το μήκος της κωδικοποίησης κάθε συμβόλου σε bits.
5. Χρησιμοποιήστε τη ρουτίνα `Huffman` για να κωδικοποιήσετε την πηγή  $A$  (για  $N=4$  και 8 bits). Ποια είναι η αποδοτικότητα του κώδικα `Huffman` για κάθε ένα από τα παραπάνω σχήματα κωδικοποίησης;
6. Υλοποιήστε μια συνάρτηση που να επιστρέφει το αλφάβητο του κειμένου στη περίπτωση της πηγής  $B$  και να υπολογίζει την πιθανότητα εμφάνισης κάθε συμβόλου του αλφαβήτου, καθώς και την εντροπία της πηγής. Χρησιμοποιήστε τη συνάρτηση `Huffman` για να κωδικοποιήσετε την πηγή  $B$ . Ποια είναι η αποδοτικότητα του κώδικα;

### Παρατηρήσεις

- Η αναφορά παραδίδεται ηλεκτρονικά **μόνο μέσω e-class**. 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 2710 θα πρέπει το αρχείο να έχει όνομα 2710.pdf. Το αρχείο θα το ανεβάσετε στην ενότητα “Εργασίες” του μαθήματος στο e-class.
- **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 υποβάλλατε 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 Τετάρτη 8/1/2014.