Πανεπιστήμιο Πατρών
Τμήμα Μηχ. Η/Υ & Πληροφορικής

Ψ Η Φ Ι Α Κ Ε Σ   Τ Η Λ Ε Π Ι Κ Ο Ι Ν Ω Ν Ι Ε Σ

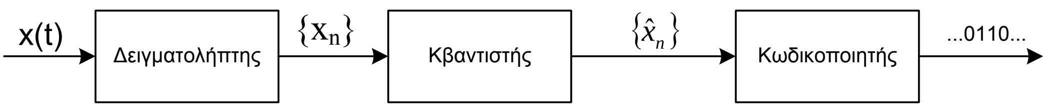
1η Εργαστηριακή Άσκηση

Ομοιόμορφη και μη ομοιόμορφη Παλμοκωδική Διαμόρφωση PCM

Στόχος μας είναι να αξιολογήσουμε τις δύο παραπάνω μεθόδους κωδικοποίησης.

PCM κωδικοποίηση

Το PCM είναι ένα σύστημα ψηφιακής διαμόρφωσης αναλογικών δεδομένων. Τυπικά, το σύστημα PCM αποτελείται από τρία βασικά τμήματα (σχήμα 1): έναν δειγματολήπτη, έναν κβαντιστή, και έναν κωδικοποιητή. Η έξοδος του κωδικοποιητή είναι μια ακολουθία από κωδικές λέξεις (σύμβολα) σταθερού μήκους N bits.



Σχήμα 1: Διάγραμμα βαθμίδων ενός συστήματος PCM

Ομοιόμορφος Κβαντιστής

Καλείστε αρχικά να υλοποιήσετε έναν ομοιόμορφο κβαντιστή N bits, δηλαδή 2^N επιπέδων. Ο κβαντιστής πρέπει να υλοποιηθεί ως συνάρτηση της MATLAB:

[xq, centers, p, D] = my_quantizer(x,N,max_value);

x: το σήμα εισόδου υπό μορφή διανύσματος

N: ο αριθμός των bits που θα χρησιμοποιηθούν

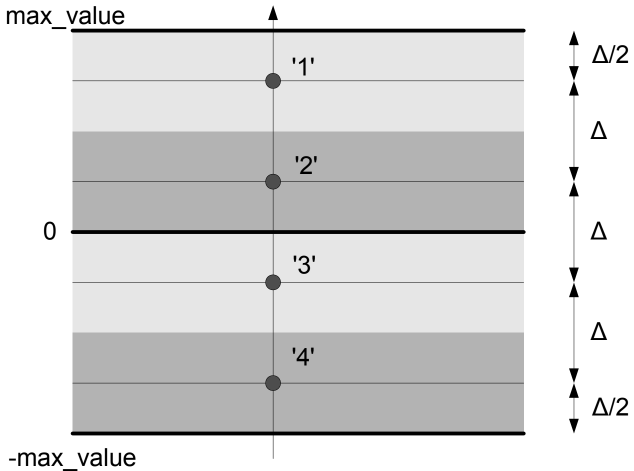
max_value: η μέγιστη αποδεκτή τιμή του σήματος εισόδου

xq: το διάνυσμα του κβαντισμένου σήματος εξόδου

centers: τα κέντρα των περιοχών κβάντισης (σύμβολα που εμφανίζονται στην έξοδο του κβαντιστή).

p: Διάνυσμα που περιέχει τις πιθανότητες εμφάνισης κάθε κέντρου του κβαντιστή.

Ειδικότερα, ο κβαντιστής θα πρέπει να περιορίζει τη δυναμική περιοχή του σήματος εισόδου στις τιμές [-max_value:max_value], θέτοντας τα δείγματα που βρίσκονται εκτός δυναμικής περιοχής στην αντίστοιχη ακραία αποδεκτή τιμή. Στη συνέχεια, ο κβαντιστής υπολογίζει το βήμα κβαντισμού Δ και τα κέντρα της κάθε περιοχής, όπως επίσης υπολογίζει σε ποια περιοχή ανήκει κάθε δείγμα του σήματος εισόδου, και βγάζει ως έξοδο το κέντρο της περιοχής. Ένα παράδειγμα των περιοχών κβάντισης για N=2 bits φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 2: Παράδειγμα ομοιόμορφου κβαντιστή για N=2bits

1. Μη ομοιόμορφος κβαντιστής

Όταν τα στατιστικά δεδομένα του σήματος εισόδου είναι κοντά στην ομοιόμορφη κατανομή, το ομοιόμορφο PCM λειτουργεί κανονικά. Ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις σημάτων όπως η ομιλία, η κατανομή της εισόδου απέχει πολύ από την ομοιόμορφη. Συγκεκριμένα σε μια κυματομορφή ομιλίας, τα μικρότερα πλάτη εμφανίζονται με μεγαλύτερη πιθανότητα από ότι τα μεγάλα. Είναι επομένως λογικό να σχεδιαστεί ένας μη ομοιόμορφος κβαντιστής που θα έχει περιοχές κβάντισης ποικίλου εύρους. 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 την παρακάτω συνάρτηση σε MATLAB

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

Οι είσοδοι είναι ίδιες με την περίπτωση του ομοιόμορφου κβαντιστή.

xq: το κωδικοποιημένο διάνυσμα εξόδου μετά από Kmax επαναλήψεις του αλγορίθμου

centers: τα κέντρα των περιοχών κβάντισης μετά από Kmax επαναλήψεις του αλγορίθμου

D: Διάνυσμα που περιέχει τις τιμές $[D_1:D_{kmax}]$ όπου D_i αντιστοιχεί στην μέση παραμόρφωση στην επανάληψη i του αλγορίθμου.

Παρακάτω δίνεται μια σύντομη περιγραφή του αλγορίθμου:

1. Αρχικά επιλέγετε ένα τυχαίο αρχικό σύνολο επιπέδων κβαντισμού:

$$\left\{\tilde{x}_1^{(0)}, \tilde{x}_2^{(0)}, \ldots, \tilde{x}_M^{(0)}\right\}$$

Στα πλαίσια της άσκησης επιλέξτε τα επίπεδα αυτά να αντιστοιχούν στα κέντρα του ομοιόμορφου κβαντιστή.

Σε κάθε επανάληψη i του Αλγόριθμου Lloyd-Max:

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

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

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:

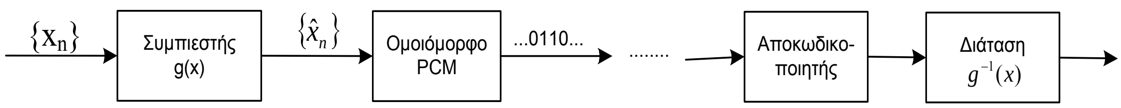
$$\tilde{x}_k^{(i+1)} = \mathrm{E}\left[x \middle| \mathrm{T}_{k-1} < x < \mathrm{T}_k\right]$$

4. Επαναλαμβάνουμε τα 3 τελευταία βήματα μέχρις ότου:

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

Η τιμή του ε καθορίζει και τον αριθμό των Kmax επαναλήψεων.

Μη Ομοιόμορφο PCM



Σχήμα 2: Διάγραμμα βαθμίδων ενός συστήματος μη ομοιόμορφου PCM

Η συνηθέστερη μέθοδος για την υλοποίηση μη ομοιόμορφης κβάντισης είναι τα δείγματα να διέλθουν πρώτα από ένα μη γραμμικό στοιχείο προκειμένου να συμπιεστούν στα μεγάλα πλάτη (μείωση της δυναμικής περιοχής του σήματος) και στη συνέχεια η έξοδος του μη γραμμικού στοιχείου να κβαντιστεί ομοιόμορφα. Στη λήψη εφαρμόζεται η αντίστροφη λειτουργία της συμπίεσης (διάταση), για να ανακτήσουμε τις τιμές των δειγμάτων. Η τεχνική αυτή ονομάζεται ***companding***. Το διάγραμμα των βαθμίδων του σχήματος αυτού φαίνεται στο Σχήμα 2.

Για την κωδικοποίηση της ομιλίας 2 τύποι συμπιεστών-αποσυμπιεστών χρησιμοποιούνται ευρέως:

- **Ο συμπιεστής τύπου μ**

Ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στις Η.Π.Α. και στην Ιαπωνία, χρησιμοποιεί τη λογαριθμική συνάρτηση στη πλευρά του πομπού

$$g(x) = sign(x)\frac{\ln(1+\mu|x|)}{\ln(1+\mu)}, \qquad -1 \le x \le 1$$

με μ=255, ενώ στο δέκτη χρησιμοποιείται ο αποσυμπιεστής

$$g^{-1}(x) = sign(x)\frac{1}{\mu}\left((1+\mu)^{|x|} - 1\right), \qquad -1 \le x \le 1$$

- **Ο συμπιεστής τύπου Α**

Ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στην Ευρώπη και η χαρακτηριστική του δίνεται από την

$$g(x) = \begin{cases} sign(x)\dfrac{\mathrm{A}|x|}{1+\ln(\mathrm{A})}, & 0 \le |x| \le \dfrac{1}{A} \\ sign(x)\dfrac{1+\ln(A|x|)}{1+\ln(A)}, & ,\dfrac{1}{A} < |x| \le 1 \end{cases}$$

όπου A=87.6, ενώ η χαρακτηριστική του αποσυμπιεστή στο δέκτη θα δίνεται από την

$$g^{-1}(x) = \begin{cases} sign(x)\dfrac{(1+\ln(A))|x|}{A}, & 0 \le |x| \le 1/(1+\ln(A)) \\ sign(x)\dfrac{e^{|x|(1+\ln(A))-1}}{A+A\ln(|A|)}, & ,\dfrac{1}{1+\ln(A)} < |x| \le 1 \end{cases}$$

Πηγή

Στην άσκηση αυτή, θα κωδικοποιήσουμε ένα σήμα φωνής. Το συγκεκριμένο σήμα φωνής εκτείνεται συχνοτικά μέχρι τα 4KHz περίπου, οπότε κατά την ψηφιοποίησή του θα πρέπει να διατηρήσουμε συχνότητα δειγματοληψίας τουλάχιστον 8KHz. Προκειμένου να συγκρίνουμε τις δύο κωδικοποιήσεις, ιδανικά θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε ένα αναλογικό σήμα φωνής. 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);
```

Ερωτήσεις – Ζητούμενα

1. Υλοποιήστε τα παρακάτω σχήματα κωδικοποίησης PCM
    a. Ομοιόμορφο PCM
    b. Μη ομοιόμορφο PCM που χρησιμοποιεί συμπιεστή τύπου μ και ομοιόμορφο κβαντιστή
    c. Μη ομοιόμορφο PCM που χρησιμοποιεί συμπιεστή τύπου A και ομοιόμορφο κβαντιστή
    d. PCM που χρησιμοποιεί μη ομοιόμορφο κβαντιστή, τον οποίο θα σχεδιάσετε χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Lloyd – Max.
2. Κωδικοποιείστε τα δείγματα της πηγής χρησιμοποιώντας τα παραπάνω σχήματα για N=2,4 και 6 bits. Αξιολογείστε τις παραπάνω μεθόδους βασισμένοι:
    a. Στις τιμές του SQNR. Για την περίπτωση του τέταρτου 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=2bits, 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 σ^2=0.11. Υπολογίστε σε αυτή τη περίπτωση τις πιθανότητες εμφάνισης κάθε στάθμης και τη μέση παραμόρφωση και συγκρίνεται 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.

   Χρησιμοποιήστε τη ρουτίνα Huffman για να κωδικοποιήσετε την πηγή (για N=4 και 6 bits). Ποια είναι η αποδοτικότητα του κώδικα Huffman για κάθε ένα από τα παραπάνω σχήματα κωδικοποίησης;

Παρατηρήσεις

- Η αναφορά παραδίδεται τυπωμένη και όχι ηλεκτρονικά. Στο τέλος της αναφοράς, παραθέστε τυπωμένο τον κώδικα που υλοποιήσατε.
- Η παράδοση της άσκησης θα γίνει 12/01/2009.
- Τυχόν απορίες σχετικές με την άσκηση θα λύνονται μόνο στα φροντιστήρια ή μέσω του forum του μαθήματος.