

## EE725 - Ειδικά Θέματα Ψηφιακών Επικοινωνιών Εργασία για μεταπτυχιακούς φοιτητές του Τμήματος Φυσικής

*Διευκρίνιση:* Επιτρέπεται να εργαστείτε σε μικρές ομάδες. Ωστόσο, θα πρέπει ο καθένας να γράφει το δικό του κώδικα. Δηλαδή, ο σκοπός είναι να προβληματιστείτε μαζί με άλλους για το τι πρέπει να κάνετε, αλλά σε καμία περίπτωση να αντιγράψετε κώδικα από άλλον ή να κάνει κάποιος άλλος την εργασία για εσάς. Θα εξεταστείτε προφορικά στην εργασία που θα παραδώσετε, οπότε θα πρέπει να μπορείτε να εξηγήσετε τον κώδικά σας.

Στην εργασία θα αποκωδικοποιήσετε ένα σήμα που λαμβάνεται στην έξοδο του αποδιαμορφωτή ενός καναλιού AWGN 2 διαστάσεων.

Συγκεκριμένα, το κανάλι δίνεται από το διακριτό μοντέλο  $\mathbf{y} = \mathbf{x} + \mathbf{z}$ , όπου  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{z}$  και  $\mathbf{y} \in \mathbb{R}^2$  και  $\mathbf{z} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ . Αν στείλουμε μία ακολουθία  $\mathbf{x}_1^n = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n\}$  από  $\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^2$ , λαμβάνουμε μία ακολουθία  $\mathbf{y}_1^n = \{\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_n\}$  από  $\mathbf{y}_i$ , με  $\mathbf{y}_i = \mathbf{x}_i + \mathbf{z}_i$ . Η ακολουθία  $\mathbf{x}_1^n$  έχει προκύψει από δειγματοληψία, κβάντιση και ψηφιακή διαμόρφωση ενός σήματος ήχου (με τρόπο που θα αναλυθεί στη συνέχεια). Έχετε στη διάθεσή σας την ακολουθία  $\mathbf{y}_1^n$  (θα σας δοθεί σε αρχείο), από την οποία θα πρέπει να προσπαθήσετε να ανακτήσετε το αρχικό σήμα ήχου.

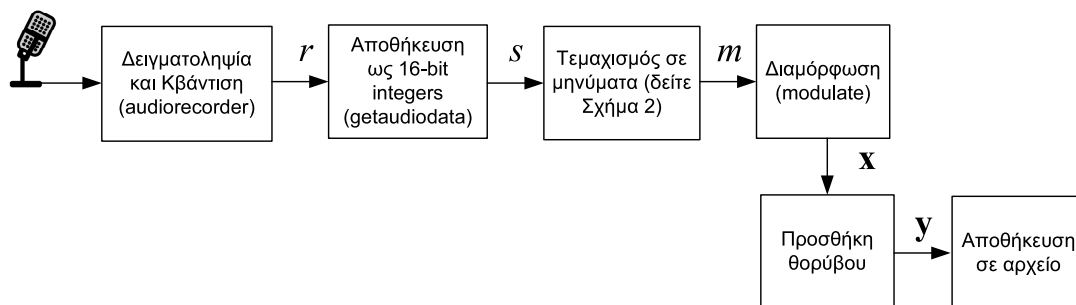
Συγκεκριμένα, γνωρίζετε ότι

- Τα  $\mathbf{x}_i$  είναι διαμορφωμένα με χρήση 4-PAM (είτε στον πραγματικό ή στο φανταστικό άξονα) ή με χρήση 16-PAM (είτε στον πραγματικό ή στο φανταστικό άξονα) ή με χρήση QPSK.
- Για τη δειγματοληψία έχει χρησιμοποιηθεί συχνότητα 8 kHz, ενώ για την κβάντιση έχουν χρησιμοποιηθεί 16 bits/δείγμα.
- Ο θόρυβος είναι κυκλική γκαουσιανή τ.μ., αλλά δεν είναι γνωστή η ισχύς του.

Θα πρέπει

- Να βρείτε ποια κωδικοποίηση χρησιμοποιήθηκε για το συγκεκριμένο αρχείο που σας έχει δοθεί.
- Να εκτιμήσετε την τιμή του SNR.

Στο Σχήμα 1 φαίνεται το δομικό διάγραμμα του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των  $y_i$ . Στις παρενθέσεις αναφέρονται οι συναρτήσεις της Matlab που χρησιμοποιήθηκαν. Στο αρχείο έχει αποθηκευτεί η ακολουθία μιγαδικών αριθμών  $y$ . Στο αρχείο η  $y$  ονομάζεται `Rx_signal` αντί για  $y$ . Δηλαδή, το array `Rx_signal` που θα δείτε όταν ανοίξετε το αρχείο που σας έχει δοθεί είναι η ακολουθία  $y$ .



Σχήμα 1: Δομικό διάγραμμα του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του αρχείου.

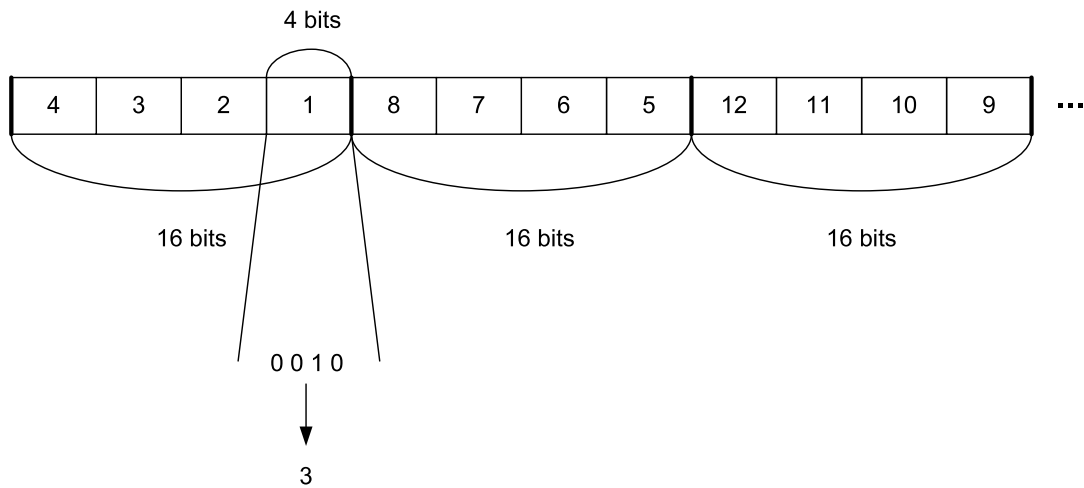
Στο Σχήμα 2 δίνονται λεπτομέρειες για τον τρόπο μετατροπής των 16-μπιτων ακεραίων της ακολουθίας  $s$  στην ακολουθία μηνυμάτων  $m$ . Έστω ότι χρησιμοποιείται αστερισμός με  $M$  μηνύματα. Για την αναπαράσταση των μηνυμάτων απαιτούνται  $b = \log_2 M$  bits. Επομένως, ο 16-μπιτος αριθμός τεμαχίζεται σε  $16/b$  κομμάτια, το καθένα από τα οποία περιέχει  $b$  bits. Στη συνέχεια, το κάθε κομμάτι μετατρέπεται σε δεκαδικό αριθμό (με τιμές από 0 έως  $M - 1$ ) και διαμορφώνεται. Στο σχήμα,  $M = 16$  (δηλαδή  $b = 4$ ). Οι αριθμοί μέσα στα κομμάτια είναι η σειρά με την οποία τα κομμάτια στέλνονται στο mapper. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στο σχήμα, η ακολουθία 0010 στο πρώτο κομμάτι αντιστοιχεί στο μήνυμα 3, δηλαδή στο mapper αποστέλλεται η τιμή 3. **Προσοχή:** Παρατηρήστε στο σχήμα ότι η αποστολή στο κανάλι αρχίζει από το τελευταίο κομμάτι του 16-μπιτου αριθμού και τελειώνει με το πρώτο κομμάτι.

Παράδειγμα: Έστω ο 16-μπιτος αριθμός  $s=1101101000110010$ . Χωρίζουμε σε κομμάτια 0010, 0011, 1010 και 1101. Τα μηνύματα που στέλνουμε στο διαμορφωτή είναι 2, 3, 10 και 11 (με αυτή τη σειρά). Άρα,  $m=[2 \ 3 \ 10 \ 11 \ \dots]$ .

Για την εργασία εσείς θα πρέπει να εκτελέσετε την αντίστροφη διαδικασία από αυτήν του Σχήματος 1.

Αρχικά, θα πρέπει να ανοίξετε το αρχείο που θα σας δοθεί με χρήση της εντολής `load file`, όπου `file.mat` το όνομα του αρχείου. Αφού το ανοίξετε θα πρέπει να δείτε ένα array `Rx_signal` στη μνήμη.

Στη συνέχεια, θα πρέπει να αποκωδικοποιήσετε το σήμα και να εκτιμήσετε το μήνυμα  $m$  που αντιστοιχεί σε κάθε σύμβολο εξόδου  $y_i$  του αρχείου `Rx_signal`. Αυτό, βέβαια, που δεν ξέρετε, είναι ποιος αστερισμός έχει χρησιμοποιηθεί για τη διαμόρφωση. Ας υποθέσουμε ότι ξέρατε ότι έχει χρησιμοποιηθεί 16-QAM. Σε αυτήν την περίπτωση, κάθε σύμβολο εξόδου



Σχήμα 2: Απεικόνιση 16-μπιτων ακεραίων σε μηνύματα b bits

αποκωδικοποιείται σε ένα από 16 μηνύματα (από 0 έως 15). Για την αποκωδικοποίηση μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις έτοιμες συναρτήσεις της Matlab (δείτε `help modem.qamdemod`).

Μετά, θα πρέπει να δημιουργήσετε 16-μπιτους αριθμούς συνδυάζοντας τις τιμές των μηνυμάτων. Αν έχει χρησιμοποιηθεί 16-QAM, θα πρέπει να συνδυάσετε 4 μηνύματα (από 4 bits) το καθένα, με τη σωστή σειρά. Παράδειγμα: Αν τα μηνύματα που έχετε εκτιμήσει είναι 4 0 13 7 (με αυτή τη σειρά), ο 16-μπιτος αριθμός που προκύπτει είναι 0111110100000100. Από αυτή τη διαδικασία θα προκύψει η εκτιμώμενη ακολουθία  $s$ .

Αφού σχηματίσετε όλη την ακολουθία  $s$ , μπορείτε να την ακούσετε στη Matlab με χρήση των εντολών

```
p=audioplayer(s,8000)
```

```
play(p)
```

Επομένως, αυτό που θα πρέπει να κάνετε είναι να δοκιμάσετε όλες τις πιθανές διαμορφώσεις (4-PAM (στον πραγματικό ή στο φανταστικό άξονα), 16-PAM (στον πραγματικό ή στο φανταστικό άξονα) και QPSK) και να βρείτε ποια είναι αυτή που έχει χρησιμοποιηθεί για το συγκεκριμένο αρχείο που σας δόθηκε. Ανάλογα με τη διαμόρφωση αλλάζει και ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να συνδυάσετε κομμάτια για να δημιουργήσετε τα στοιχεία της  $s$ .

Σημειώνεται ότι 4-PAM ή 16-PAM στο φανταστικό άξονα σημαίνει ότι το διαμορφωμένο σύμβολο μεταδίδεται ως φανταστική τιμή (στην οποία προστίθεται θόρυβος) και ότι το πραγματικό μέρος της  $y$  περιέχει μόνο θόρυβο (αντίστροφα όταν τα σύμβολα PAM βρίσκονται στο πραγματικό μέρος της  $y$ ).

Επίσης, υπάρχει περίπτωση να καταφέρετε να ακούσετε το αρχείο ακόμα και αν δεν υποθέσετε το σωστό αστερισμό (για παράδειγμα, αν η πραγματική διαμόρφωση είναι 16-PAM και εσείς υποθέσετε 4-PAM). Θα πρέπει να βρείτε ποια είναι η σωστή διαμόρφωση βασιζόμενοι στην

ποιότητα του ήχου που θα ακούσετε και στον SNR (περισσότερα στη συνέχεια).

Επομένως, αυτά που σας ζητούνται είναι τα εξής

1. Να βρείτε ποια διαμόρφωση χρησιμοποιήθηκε.
2. Τι ακούσατε (τι περιέχει το αρχείο ήχου).
3. Να εκτιμήσετε τον SNR του σήματος  $y$ .

Για το τελευταίο ερώτημα, σημειώνεται ότι σας ζητείται μία εκτίμηση του SNR και όχι η ακριβής τιμή του. Ο SNR ορίζεται ως  $\frac{\mathbb{E}[|x|^2]}{\mathbb{E}[|z|^2]}$ . Επομένως, πρέπει να σκεφτείτε πώς μπορείτε να εκτιμήσετε τις  $\mathbb{E}[|x|^2]$  και  $\mathbb{E}[|z|^2]$ .

## ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ

1. Σύντομη αναφορά στην οποία απαντάτε στα ερωτήματα, περιγράφετε τη δομή του προγράμματός σας και εξηγείτε πώς υπολογίζετε τον SNR.
2. Πρόγραμμα σε Matlab σε ηλεκτρονική μορφή. Το πρόγραμμα θα πρέπει να έχει αρκετά σχόλια ώστε να είναι κατανοητό τι κάνετε σε κάθε βήμα. Τα σχόλια μπορεί να είναι σε Αγγλικά ή σε greeklish.

Η παράδοση των εργασιών θα γίνει με e-mail μέχρι την ημερομηνία που θα καθορίσουμε στην τάξη. Για απορίες μπορείτε να μου στέλνετε e-mail.