

---

## Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα Ι

### Άσκηση 3

Ημερομηνία Παράδοσης: 12 Ιουνίου 2023

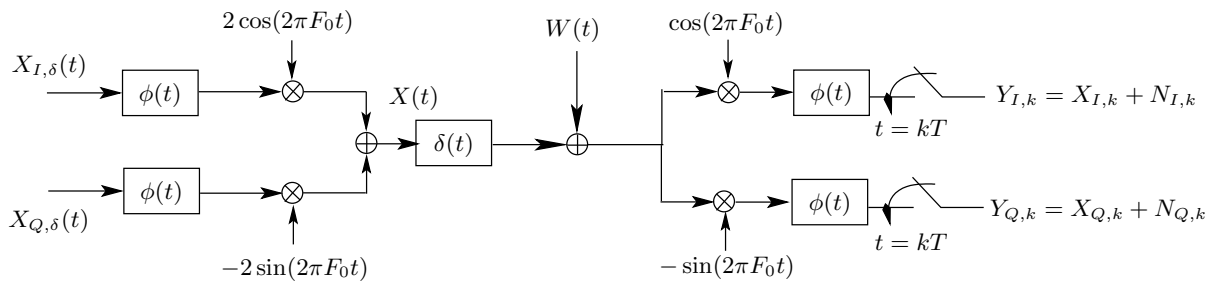
Η εργασία μπορεί να παραδοθεί από ομάδες  $\leq$  δύο ατόμων

Διδάσκων: Αθανάσιος Π. Λιάβας

Μονάδες 130/300

Στην πρώτη σελίδα της αναφοράς, να αναφέρετε το συνολικό χρόνο που απαιτήθηκε για την υλοποίηση της άσκησης.

---



Σε αυτή την άσκηση, θα προσομοιώσουμε το τηλεπικοινωνιακό σύστημα του Σχήματος, υποθέτοντας ότι χρησιμοποιείται διαμόρφωση 16-PSK, και θα μελετήσουμε την απόδοσή του.

1. Για δεδομένο  $N$  (ενδεικτικά,  $N = 100$ ), να δημιουργήσετε δυαδική ακολουθία `bit_seq` με στοιχεία  $4N$  ισοπίθανα bits.
2. (15) Να γράψετε συνάρτηση

```
function X = bits_to_PSK_16(bit_seq)
```

η οποία, χρησιμοποιώντας κωδικοποίηση Gray (δείτε τις σημειώσεις), απεικονίζει τη δυαδική ακολουθία εισόδου `bit_seq` σε ακολουθία 16-PSK συμβόλων  $X$ , μήκους  $N$ , με

στοιχεία τα δισδιάστατα διανύσματα

$$\mathbf{X}_n = \begin{bmatrix} X_{I,n} \\ X_{Q,n} \end{bmatrix}, \quad \text{για } n = 0, \dots, N-1.$$

Κάθε διάνυσμα  $\mathbf{X}_n$ , για  $n = 0, \dots, N-1$ , παίρνει τιμές από το αλφάβητο 16-PSK  $\{\mathbf{x}_0, \dots, \mathbf{x}_{15}\}$  με

$$\mathbf{x}_m = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{2\pi m}{16}\right) \\ \sin\left(\frac{2\pi m}{16}\right) \end{bmatrix}, \quad \text{για } m = 0, \dots, 15.$$

3. (5) Να περάσετε τις ακολουθίες  $\{X_{i,n}\}$  και  $\{X_{Q,n}\}$  από τα SRRC φίλτρα μορφοποίησης και υποθέτοντας περίοδο συμβόλου  $T = 10^{-2}$  sec,  $\text{over} = 10$ ,  $T_s = \frac{T}{\text{over}}$ , να σχηματίσετε και να σχεδιάσετε τις κυματομορφές εξόδου (**να θέσετε το σωστό άξονα χρόνου**), και τα περιοδογράμμά τους.
4. (5) Να πολλαπλασιάσετε κατάλληλα τις εξόδους των φίλτρων με φορείς συχνότητας  $F_0 = 200$  Hz και να σχεδιάσετε τις κυματομορφές που προκύπτουν,  $X_I(t)$  και  $X_Q(t)$ , καθώς και τα αντίστοιχα περιοδογράμματα. Τι παρατηρείτε;
5. (5) Να σχηματίσετε και να σχεδιάσετε την είσοδο του καναλιού,  $X(t)$ , και το περιοδογράμμά της. Τι παρατηρείτε;
6. Να υποθέσετε ότι το κανάλι είναι ιδανικό.
7. (5) Στην έξοδο του καναλιού, να προσθέσετε λευκό Gaussian θόρυβο  $W(t)$  με διασπορά ίση με

$$\sigma_W^2 = \frac{1}{T_s \cdot 10^{\frac{\text{SNR}_{\text{dB}}}{10}}},$$

λαμβάνοντας την ενθόρυβη κυματομορφή

$$Y(t) = X(t) + W(t).$$

Σημείωση: μπορεί να αποδειχθεί ότι, σε αυτή την περίπτωση, οι  $N_{I,n}, N_{Q,n}$   $n = 0, \dots, N-1$ , είναι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές με

$$N_{I,n}, N_{Q,n} \sim \mathcal{N}(0, \sigma_N^2), \quad \text{όπου } \sigma_N^2 = \frac{T_s \sigma_W^2}{2}.$$

Με αυτό τον τρόπο, διασφαλίζετε ότι το SNR στην έξοδο του προσαρμοσμένου φίλτρου, μετρημένο σε dB, είναι  $\text{SNR}_{\text{dB}}$  (ενδεικτικά,  $\text{SNR}_{\text{dB}} = 10, 20$ ), διότι

$$10 \log_{10} \frac{P_X}{P_N} = 10 \log_{10} \frac{1}{2\sigma_N^2} = \text{SNR}_{\text{dB}}.$$

8. (5) Να πολλαπλασιάσετε την ενθόρυβη κυματομορφή  $Y(t)$  στο δέκτη με τους κατάλληλους φορείς και να σχεδιάσετε τις κυματομορφές που προκύπτουν και τα περιοδογράμματά τους. Τι παρατηρείτε;
9. (5) Να περάσετε τις κυματομορφές που υπολογίσατε στο προηγούμενο βήμα από τα προσαρμοσμένα φίλτρα. Να σχεδιάσετε τις κυματομορφές που προκύπτουν και τα περιοδογράμματά τους (να θέσετε το σωστό άξονα χρόνου). Τι παρατηρείτε;
10. (5) Να δειγματοληπτήσετε την έξοδο των προσαρμοσμένων φίλτρων τις κατάλληλες χρονικές στιγμές και να σχεδιάσετε την ακολουθία εξόδου  $Y$  χρησιμοποιώντας την εντολή scatterplot.
11. Να γράψετε συνάρτηση

```
function [est_X, est_bit_seq] = detect_PSK_16(Y)
```

η οποία

- (α) (10) χρησιμοποιεί τον κανόνα εγγύτερου γείτονα και αποφασίζει για την ακολουθία εισόδου 16-PSK σύμβολο-προς-σύμβολο,
- (β) (10) χρησιμοποιεί την αντίστροφη απεικόνιση Gray, δηλαδή, από σύμβολα σε τετράδες bits, και από την εκτιμώμενη ακολουθία συμβόλων εισόδου υπολογίζει την εκτιμώμενη δυαδική ακολουθία εισόδου.
12. (10) Να γράψετε συνάρτηση

```
function num_of_symbol_errors = symbol_errors(est_X, X)
```

η οποία υπολογίζει το πλήθος των σφαλμάτων εκτίμησης συμβόλου.

13. (10) Να γράψετε συνάρτηση

```
function num_of_bit_errors = bit_errors(est_bit_seq, b)
```

η οποία υπολογίζει το πλήθος των σφαλμάτων εκτίμησης bit.

Αν έχετε υλοποιήσει σωστά τα παραπάνω βήματα, τότε έχετε καταλάβει πώς λειτουργεί ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί διαμόρφωση 16-PSK (φυσικά, έχουμε υποθέσει ότι το κανάλι είναι ιδανικό και ότι είμαστε τέλεια συγχρονισμένοι).

Στο δεύτερο μέρος, θα εκτιμήσετε την πιθανότητα σφάλματος συμβόλου και bit με χρήση της μεθόδου Monte Carlo.

1. Για  $\text{SNR}_{\text{dB}} = [-2 : 2 : 24]$ , να εκτιμήσετε πειραματικά την πιθανότητα σφάλματος απόφασης συμβόλου και bit επαναλαμβάνοντας τα παραπάνω βήματα  $K$  φορές (ενδεικτικά,  $K = 1000$ ), για κάθε SNR. Η πειραματική εκτίμηση της πιθανότητας σφάλματος συμβόλου, για κάθε SNR, υπολογίζεται ως εξής:

$$\hat{P}(\mathbf{E}_{\text{symbol}}) = \frac{\text{συνολικό πλήθος σφαλμάτων απόφασης συμβόλου}}{\text{συνολικό πλήθος απεσταλμένων συμβόλων}},$$

ενώ η πιθανότητα σφάλματος bit εκτιμάται ως εξής:

$$\hat{P}(\mathbf{E}_{\text{bit}}) = \frac{\text{συνολικό πλήθος σφαλμάτων απόφασης bit}}{\text{συνολικό πλήθος απεσταλμένων bits}}.$$

2. (20) Να σχεδιάσετε σε semilogy την εκτιμώμενη πιθανότητα σφάλματος συμβόλου ως συνάρτηση του  $\text{SNR}_{\text{dB}}$ . Στο ίδιο σχήμα, να σχεδιάσετε και το έξυπνο άνω φράγμα για την πιθανότητα σφάλματος συμβόλου. Τι παρατηρείτε;
3. (20) Να σχεδιάσετε σε semilogy την εκτιμώμενη πιθανότητα σφάλματος bit ως συνάρτηση του  $\text{SNR}_{\text{dB}}$ . Στο ίδιο σχήμα, να σχεδιάσετε και το κάτω φράγμα για την πιθανότητα σφάλματος bit, το οποίο προκύπτει από την εκτιμώμενη πιθανότητα σφάλματος συμβόλου και την κωδικοποίηση Gray. Τι παρατηρείτε; Μπορείτε να εξηγήσετε το φαινόμενο;