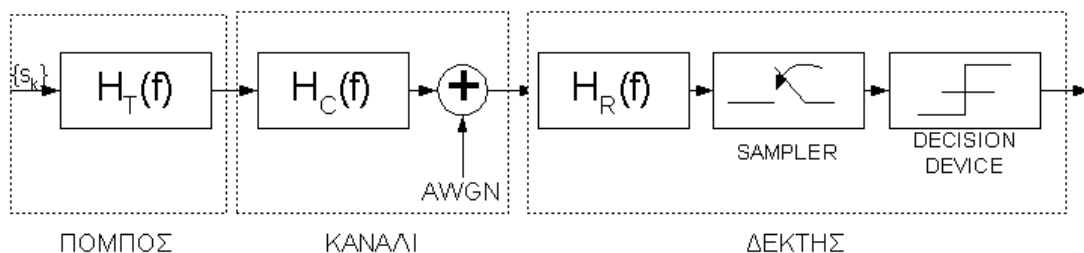


2^η Εργαστηριακή Άσκηση:

Εξομοίωση Τηλεπικοινωνιακού Συστήματος Βασικής Ζώνης

Στην άσκηση αυτή θα εξομοιώσετε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα βασικής ζώνης και θα εξετάσετε την επίδοση του για διάφορα είδη διαμόρφωσης σε ιδανικό και μη ιδανικό κανάλι .

Α' Μέρος: Περιγραφή Τηλεπικοινωνιακού Συστήματος



Φίλτρα Πομπού-Δέκτη

Θεωρούμε ότι το κανάλι είναι άγνωστο (όπως συμβαίνει συνήθως και στην πραγματικότητα). Οπότε, επειδή τα βέλτιστα φίλτρα πομπού και δέκτη δεν είναι δυνατό να υπολογιστούν, θα υλοποιηθούν (όπως και στην πράξη) ως φίλτρα τετραγωνικής ρίζας ανυψωμένου συνημιτόνου (square root raised cosine). Ως παράγοντα αναδίπλωσης (roll-off factor) χρησιμοποιείτε την τιμή 0.3.

Ιδανικά, τα φίλτρα αυτά έχουν άπειρη χρονική έκταση, δηλαδή έχουν άπειρους συντελεστές. Ωστόσο στην πράξη επιλέγεται ένα συνολικός αριθμός 6-8 περιόδων σηματοδοσίας ($6-8 T_s$).

Επίσης, για λόγους καλύτερης ψηφιακής αναπαράστασης (και όχι μόνο), τα φίλτρα αυτά δεν εφαρμόζονται απευθείας στην ακολουθία συμβόλων, αλλά σε μια υπερδειγματοληψία αυτής. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει και το φίλτρο να είναι υπερδειγματοληπτημένο, έστω κατά 4. Οπότε αν επιλέξουμε 6 περιόδους, με την υπερδειγματοληψία τους θα προκύψουν 25 συντελεστές (ένας κεντρικός, 12 αιτιατοί και 12 μη-αιτιατοί).

Για την κατασκευή των φίλτρων αυτών, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη συνάρτηση της MATLAB `rcosfir(.)` με κατάλληλες παραμέτρους.

Υπερδειγματοληψία Ακολουθιών και Καναλιού

Εφόσον η εξομοίωση των φίλτρων πομπού / δέκτη γίνεται με υπερδειγματοληψία κατά 4, το ίδιο θα πρέπει να γίνει και για την ακολουθία συμβόλων, αλλά και για την κρουστική απόκριση του καναλιού. Αυτό σημαίνει, ότι εισάγουμε 3 μηδενικά ανάμεσα σε κάθε δύο διαδοχικά σύμβολα της ακολουθίας εισόδου, και 3 μηδενικά ανάμεσα σε κάθε δύο συντελεστές του καναλιού.

Κανάλι

Στα πειράματα που θα πραγματοποιήσετε θα χρησιμοποιήσετε ένα ιδανικό κανάλι (που σημαίνει ότι το φίλτρο δέκτη λαμβάνει ως είσοδο την έξοδο του φίλτρου πομπού + θόρυβο), καθώς και το ακόλουθο μη ιδανικό κανάλι:

$$h(-5:5) = [0.04 \quad -0.05 \quad 0.07 \quad -0.21 \quad -0.5 \quad 0.72 \quad 0.36 \quad 0 \quad 0.21 \quad 0.03 \quad 0.07]$$

Θόρυβος Συστήματος

Στην έξοδο κάθε καναλιού, και πριν την είσοδο στο φίλτρο δέκτη, προστίθεται θόρυβος στην (υπερδειγματοληπτημένη) ακολουθία συμβόλων. Ο θόρυβος αυτός συνήθως εξομοιώνεται ως λευκός Gaussian θόρυβος, μηδενικής μέσης τιμής. Η ισχύς του, που ισούται με τη διασπορά του, καθορίζεται από το SNR που θέλουμε να έχουμε. Για να εισάγετε θόρυβο κατάλληλης ισχύος, μετρήστε την ισχύ της ακολουθίας στην έξοδο του καναλιού και ρυθμίστε τη διασπορά του θορύβου ώστε:

$$10 \cdot \log_{10} \frac{P_s}{P_n} = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_s}{\sigma_n^2} = \text{SNR}[dB]$$

Για την παραγωγή του θορύβου, χρησιμοποιείτε τη συνάρτηση `randn(.)`.

Σημείωση: Στη περίπτωση των μιγαδικών αστερισμών ο θόρυβος θα πρέπει να προστεθεί στο πραγματικό και στο φανταστικό των προς μετάδοση συμβόλων. Άρα οι μεταβλητές θορύβου που θα παράγετε θα δημιουργηθούν ως $(\text{randn}(\cdot) + j \cdot \text{randn}(\cdot)) / \sqrt{2}$, ώστε στο πραγματικό και στο φανταστικό μέρος των συμβόλων που πρόκειται να μεταδοθούν να έχουν αλλοιωθεί από θόρυβο διασποράς $\sigma_n^2/2$.

Διάταξη Απόφασης

Η ακολουθία των συμβόλων στην έξοδο του φίλτρου δέκτη υποδειγματοληπτείται στις κατάλληλες χρονικές στιγμές και τα δείγματα που

προκύπτουν περνούν από κάποια διάταξη απόφασης (κατώφλι), οπότε και αποφασίζεται ποια ήταν τα αντίστοιχα σύμβολα που στάλθηκαν. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το κριτήριο ML κατά το οποίο, το σύμβολο που στάλθηκε είναι αυτό που έχει την ελάχιστη Ευκλείδεια απόσταση από το ληφθέν διάνυσμα η οποία ορίζεται ως:

$$D(\mathbf{r}, \mathbf{s}_m) = \sum_{k=1}^N (r_k - s_{mk})^2$$

(σχέση 7.5.41 βιβλίου Proakis-Salehi), όπου \mathbf{r} το ληφθέν διάνυσμα και \mathbf{s}_m τα σύμβολα του αστερισμού που χρησιμοποιήθηκε στη διαμόρφωση.

Με βάση τις παραπάνω υποδείξεις, υλοποιήστε το σύστημα αυτό και αναφερθείτε στα βασικά του σημεία.

Β' Μέρος: Δυαδικό PAM

Στο σύστημα που υλοποιήσατε παραπάνω, εφαρμόστε μια δυαδική ακολουθία PAM από ισοπίθανα σύμβολα (-1, +1).

Στην έξοδο της διάταξης απόφασης, πραγματοποιείτε μετρήσεις BER (Bit Error Rate), δηλαδή ποσοστού εσφαλμένων αποφάσεων bit-συμβόλων επί του συνολικού αριθμού δυαδικών ψηφίων που στείλατε.

Οι μετρήσεις αυτές θα πρέπει να γίνουν για SNR=[0:2:20] dB και για τα δύο κανάλια.

Σχεδιάστε στο ίδιο γράφημα τα αποτελέσματα των μετρήσεων συναρτήσει του SNR και για τα δύο κανάλια μαζί και σχολιάστε.

Γ' Μέρος: Τετραδικό PAM

Σε αυτό το ερώτημα, θα χρησιμοποιήσουμε τετραδικό PAM. Αυτό σημαίνει ότι η αρχική δυαδική ακολουθία προτού μπει στο προηγούμενο σύστημα, κωδικοποιείται ανά δύο δυαδικά ψηφία σε ένα από τέσσερα σύμβολα, ενώ η έξοδος του φίλτρου δέκτη διοχετεύεται σε κατάλληλη διάταξη απόφασης.

Επειδή θέλουμε να συγκρίνουμε δίκαια το δυαδικό και το τετραδικό PAM, θα πρέπει:

- Οι μετρήσεις λαθών να αφορούν και σε αυτήν την περίπτωση το BER (δηλαδή σφάλματα δυαδικών ψηφίων και όχι συμβόλων), άρα χρειάζεται μετά τη διάταξη απόφασης, να μετατρέψετε τα σύμβολα σε δυαδικά ψηφία.
- Το συνολικό σήμα που στέλνεται με τις δύο κωδικοποιήσεις να έχει την ίδια ισχύ, οπότε τα σύμβολα θα πρέπει να είναι:

$$\left[-\frac{3}{\sqrt{5}} \quad -\frac{1}{\sqrt{5}} \quad \frac{1}{\sqrt{5}} \quad \frac{3}{\sqrt{5}} \right] \text{ (Πώς προέκυψε αυτό;)}$$

Οι μετρήσεις αυτές θα πρέπει να γίνουν για SNR=[0:2:20] dB και για τα δύο κανάλια.

Σχεδιάστε στο ίδιο γράφημα τα αποτελέσματα των μετρήσεων συναρτήσει του SNR και για τα δύο κανάλια μαζί και σχολιάστε.

Δ' Μέρος: Τετραδικό QAM

Οι αστερισμοί QAM ανήκουν στην κατηγορία των διδιάστατων αστερισμών των οποίων οι κυματομορφές σήματος μπορούν να θεωρηθούν ως δύο ορθογώνια φέροντα τα οποία διαμορφώνονται κατά πλάτος από τα δυαδικά ψηφία τα οποία πρόκειται να μεταδοθούν. Μια συνηθισμένη τακτική είναι να αντιστοιχίζουμε ξεχωριστά δυαδικά ψηφία σε κάθε μια ορθογώνια φέρουσα. Έτσι για την περίπτωση του τετραδικού QAM που ζητείται εδώ, μπορούμε να αντιστοιχήσουμε τα δυαδικά ψηφία που βρίσκονται στις ζυγές θέσεις στην μια ορθογώνια φέρουσα και αυτά που βρίσκονται στις μονές θέσεις στην άλλη. Ο αστερισμός του σήματος που θα χρησιμοποιηθεί για τη διαμόρφωση μπορεί να αναπαρασταθεί στο μιγαδικό επίπεδο από τα σημεία $\left[\frac{1+j}{\sqrt{2}} \quad \frac{-1+j}{\sqrt{2}} \quad \frac{-1-j}{\sqrt{2}} \quad \frac{1-j}{\sqrt{2}} \right]$ (γιατί διαιρούμε με το $\sqrt{2}$);). Επομένως, αν για παράδειγμα τα δύο διαδοχικά δυαδικά ψηφία τα οποία θα διαμορφωθούν μαζί είναι τα 1 και 1, τότε επιλέγεται το σημείο του αστερισμού $\frac{1+j}{\sqrt{2}}$, αν είναι τα 0 και 1 τότε επιλέγεται το $\frac{-1+j}{\sqrt{2}}$ και ούτω καθεξής.

Όμοια με τη περίπτωση του τετραδικού PAM οι μετρήσεις λαθών πρέπει να αφορούν και σε αυτήν την περίπτωση BER (δηλαδή σφάλματα δυαδικών ψηφίων και όχι συμβόλων), άρα χρειάζεται μετά τη διάταξη απόφασης, να μετατρέψετε τα σύμβολα σε δυαδικά ψηφία.

Οι μετρήσεις αυτές θα πρέπει να γίνουν για SNR=[0:2:20] dB και για τα δύο κανάλια.

Σχεδιάστε στο ίδιο γράφημα τα αποτελέσματα των μετρήσεων συναρτήσει του SNR και για τα δύο κανάλια μαζί και σχολιάστε.

Ε' Μέρος: Σύγκριση της επίδοσης των διαμορφώσεων

Παρουσιάστε τις μετρήσεις BER που προέκυψαν για τις διαμορφώσεις 2-PAM, 4-PAM και 4-QAM για το ιδανικό κανάλι σε ένα κοινό σχήμα. Συγκρίνετε τις επιδόσεις των αστερισμών αιτιολογώντας τα αποτελέσματα.

Διευκρινίσεις

- Κατά τη μέτρηση BER θα πρέπει να συγκρίνετε την απόφαση για το δυαδικό ψηφίο που πήρατε με το δυαδικό ψηφίο που πραγματικά στάλθηκε, δηλαδή να υπάρχει ένας συγχρονισμός δειγμάτων εισόδου -

εξόδου. Σε αυτό το σημείο, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στα μη-αιτιατά μέρη των φίλτρων (πομπού, δέκτη, καναλιού), τα οποία εμείς εξομοιώνουμε ως αιτιατά: άρα όταν στέλνεται το $x(n)$, εμείς λαμβάνουμε ως έξοδο όχι το $y(n)$, αλλά το $y(n-\text{delay})$. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να “πετάξουμε” κάποια αρχικά σύμβολα από την ακολουθία εισόδου κατά τη σύγκρισή της με την έξοδο. Ο αριθμός τους καθορίζεται από το συνολικό αριθμό μη-αιτιατών συντελεστών όλων των φίλτρων.

- Για να πραγματοποιήσετε αξιόπιστες μετρήσεις BER, θα πρέπει αυτές να προέρχονται από έναν αρκετά μεγάλο αριθμό δεδομένων. Ένας χονδρικός κανόνας είναι ότι για να μετρήσετε για παράδειγμα BER της τάξης του 10^{-2} χρειάζεστε 10^4 δυαδικά ψηφία δεδομένων, για BER της τάξης του 10^{-3} χρειάζεστε 10^5 δυαδικά ψηφία δεδομένων, κ.ο.κ.
- Για να υπολογίσετε την έξοδο ενός φίλτρου (πομπός, δέκτης ή κανάλι), μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις συναρτήσεις `filter(.)` ή `conv(.)`.
- Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε γραφικές χρησιμοποιήστε τη συνάρτηση `semilogy`.
- Οι γραφικές θα πρέπει να διακρίνονται ακόμα και σε μονόχρωμη εκτύπωση, οπότε χρησιμοποιήστε κατάλληλα τα ορίσματα της `semilogy`.

Διαδικαστικά Θέματα

- Σε κάθε ερώτημα, η διαδικασία που ακολουθείται, τα γραφήματα και τα αποτελέσματα θα πρέπει να σχολιάζονται επαρκώς.
- Στο τέλος της αναφοράς, θα πρέπει να παρατίθεται ο κώδικας που υλοποιήσατε.
- Παραδίδετε μόνο εκτυπωμένη την αναφορά.
- Προθεσμία παράδοσης της άσκησης: Δευτέρα 15/2/2010 στη θυρίδα των προκάτ.
- Απορίες σχετικές με την άσκηση θα λύνονται μόνο στα φροντιστήρια ή μέσω του forum του μαθήματος.