

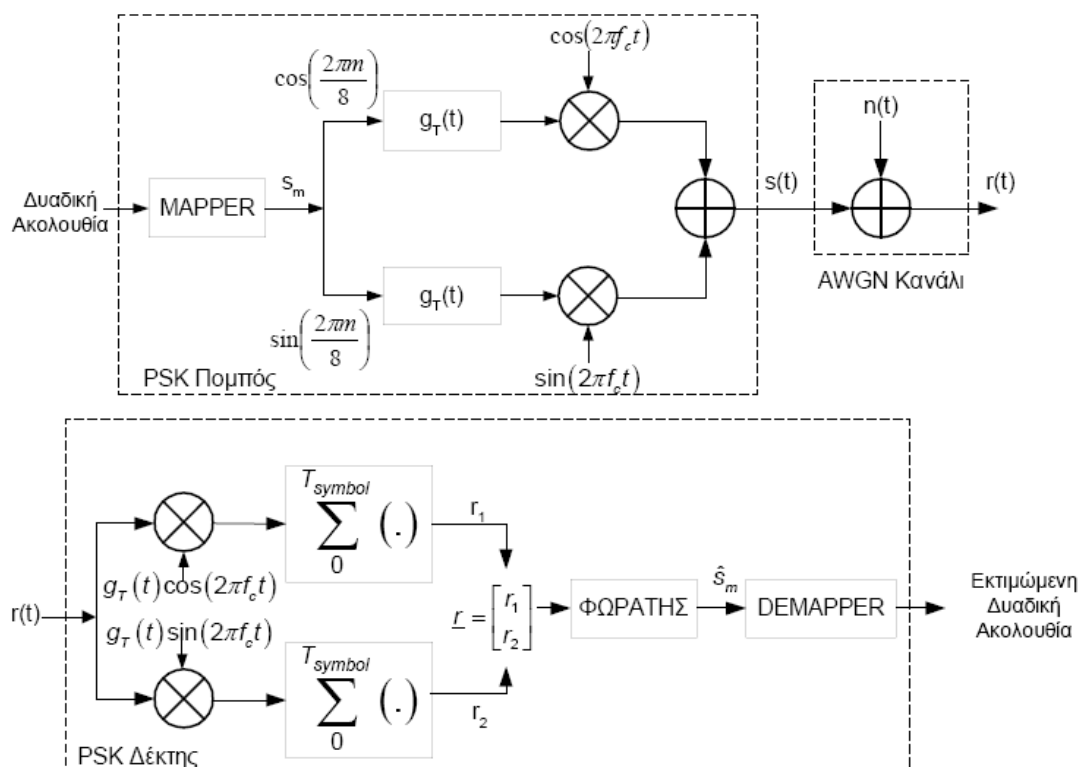
ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

2^η Εργαστηριακή Άσκηση

Σύγκριση Ομόδυνων Ζωνοπερατών Συστημάτων 8-PSK και 8-FSK

Στην άσκηση αυτή καλείστε να συγκρίνετε τις διαμορφώσεις 8-PSK και 8-FSK ως προς την απόδοσή τους. Η σύγκριση αυτή θα βασιστεί σε μετρήσεις πιθανότητας σφάλματος bit (Bit Error Rate, BER) και συμβόλου (Symbol Error Rate, SER), που θα πραγματοποιηθούν σε ομόδυνα ζωνοπερατά συστήματα με ορθογώνιο παλμό.

A. Ομόδυνο Οκταδικό PSK



Όπως φαίνεται στο σχήμα, ο πομπός του συστήματος 8-PSK δέχεται ως είσοδο μια δυαδική ακολουθία, τη μετατρέπει σε σύμβολα, την πολλαπλασιάζει με τον ορθογώνιο παλμό, και κατόπιν το σήμα μεταφέρεται στη ζώνη μετάδοσης μέσω του διαμορφωτή. Στο σήμα που στάλθηκε προστίθεται AWGN θόρυβος, και φθάνει στο δέκτη του συστήματος. Εκεί αποδιαμορφώνεται και προκύπτει ένα δισδιάστατο διάνυσμα, το οποίο εισάγεται στο φωρατή όπου και αποφασίζεται ποιο σύμβολο στάλθηκε. Τέλος, ο demapper κάνει την αντίστροφη αντιστοίχιση από σύμβολα σε bits. Τα συστήματα αυτά περιγράφονται στη συνέχεια.

Διαδική Ακολουθία Εισόδου

Η είσοδος των δύο συστημάτων είναι μια ακολουθία bits, όπου οι τιμές 0 και 1 εμφανίζονται ισοπίθانا. Μια τέτοια ακολουθία μπορεί να παραχθεί αν χρησιμοποιήσετε κατάλληλα κάποια από τις συναρτήσεις `randsrc`, `rand`, `randn`. Το πλήθος των bits που πρέπει να στείλετε θα πρέπει να είναι της τάξης των $L_b=10000-100000$ bits.

Αντιστοιχία Bits - Συμβόλων

Ο mapper είναι στην ουσία ένας μετατροπέας από bits σε σύμβολα. Δεδομένου ότι και τα δύο συστήματα που θα υλοποιήσουμε είναι 8-αδικά, κάθε σύμβολό τους αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τριάδα bits. Επομένως, ο mapper θα πρέπει για κάθε τριάδα bits να εξάγει και ένα από τα 8 σύμβολα της διαμόρφωσης. Αντίστοιχα, ο demapper δέχεται ως είσοδο το σύμβολο που έχει ανιχνεύσει ο φωρατής (decision device) του δέκτη, και βγάζει την αντίστοιχη τριάδα bits.

Στην περίπτωση των PSK, PAM, QAM διαμορφώσεων, ένα σημαντικό στοιχείο κατά την αντιστοίχιση αυτή είναι η κωδικοποίηση Gray. Σύμφωνα με αυτήν αν δύο σύμβολα είναι γειτονικά στο δισδιάστατο χώρο σημάτων, τότε σε αυτά ανατίθενται διατάξεις bits που διαφέρουν μόνο κατά ένα bit μεταξύ τους. Ένα παράδειγμα κωδικοποίησης για την περίπτωση του 8-PSK αστερισμού παρουσιάζεται στο σχήμα 7.20 του βιβλίου. Προσοχή θα πρέπει να εξετάσετε ποια είναι η θέση στο επίπεδο, του συμβόλου στο οποίο αντιστοιχεί η τριάδα από bits την οποία θέλετε να μεταδώσετε. Ας θεωρήσουμε τη περίπτωση που χρησιμοποιούμε τη κωδικοποίηση του σχήματος 7.20 και θέλουμε να μεταδώσουμε την τριάδα από bits 110. Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 7.20 αυτή η τριάδα από bits αντιστοιχεί στο σύμβολο 5 στο επίπεδο αν θεωρήσουμε ότι το σύμβολο 1 αντιστοιχεί στην τριάδα 000. Άρα το προς μετάδοση σύμβολο που εμφανίζεται στην έξοδο του mapper είναι το σύμβολο 5.

Ορθογώνιος Παλμός

Τόσο το σύστημα 8-PSK, όσο και το σύστημα 8-FSK που καλείστε να προσομοιώσετε χρησιμοποιούν ορθογώνιο παλμό για τη μετάδοση των συμβόλων. Ο ορθογώνιος παλμός ορίζεται ως:

$$g_T(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E_s}{T_{symbol}}} = \sqrt{\frac{2}{T_{symbol}}}, & 0 \leq t \leq T_{symbol} \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

όπου E_s είναι η ενέργεια ανά σύμβολο, την οποία κανονικοποιούμε ως $E_s=1$, και T_{symbol} είναι η περίοδος συμβόλου.

Διαμόρφωση 8-PSK

Κάθε σύμβολο της διαμόρφωσης 8-PSK ορίζεται από δύο συνιστώσες

$$s_m = \begin{bmatrix} \sqrt{E_s} \cos\left(\frac{2\pi m}{8}\right) \\ \sqrt{E_s} \sin\left(\frac{2\pi m}{8}\right) \end{bmatrix}, \quad m = 0, \dots, 7$$

όπου $E_s=1$ στην περίπτωση μας και για αυτό δε σημειώνεται η ενέργεια στο σχήμα. Κάθε συνιστώσα, αφού πολλαπλασιαστεί με τον ορθογώνιο παλμό, διαμορφώνεται από τη φέρουσα συχνότητα και προκύπτει το ζωνοπερατό σήμα:

$$s_m = \cos\left(\frac{2\pi m}{8}\right) g_T(t) \cos(2\pi f_c t) + \sin\left(\frac{2\pi m}{8}\right) g_T(t) \sin(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq T_{symbol}$$

Χρονικές Μονάδες Προσομοίωσης

Τα συστήματα που θέλουμε να προσομοιώσουμε μεταδίδουν σύμβολα με ρυθμό $R_{symbol}=250$ Ksymbol/sec οπότε η περίοδος συμβόλου είναι $T_{symbol}=4$ msec. Στη ζώνη μετάδοσης, χρησιμοποιείται η φέρουσα συχνότητα $f_c=2,5$ MHz, οπότε η περίοδος της φέρουσας είναι $T_c=0,4$ msec. Στα πλαίσια της προσομοίωσης, για να έχουμε μια ικανοποιητική αναπαράσταση των ζωνοπερατών σημάτων, πραγματοποιείται δειγματοληψία 2 φορές μεγαλύτερη του ορίου του Nyquist, δηλαδή παίρνουμε 4 δείγματα ανά περίοδο φέρουσας, και άρα η περίοδος δειγματοληψίας είναι $T_{sample}=T_c/4=0,1$ msec.

Εφόσον τα δύο συστήματα προσομοιώνονται σε ρυθμό δειγματοληψίας, κάθε τιμή των διανυσμάτων αντιστοιχεί σε χρόνο $T_{sample}=0,1$ msec, τον οποίο μπορούμε να κανονικοποιήσουμε στο $T_{sample}=1$, οπότε αντίστοιχα προκύπτει:

$$T_{sample}=1, \quad T_c=4, \quad T_{symbol}=40$$

δηλαδή σε κάθε περίοδο φέρουσας κρατάμε 4 δείγματα, και κάθε περίοδος συμβόλου περιλαμβάνει 10 κύκλους φέρουσας ή 40 δείγματα.

AWGN Κανάλι

Το ζωνοπερατό σήμα που εκπέμπει ο πομπός των συστημάτων διέρχεται μέσα από ένα ιδανικό κανάλι προσθετικού θορύβου. Ο θόρυβος είναι λευκός και ακολουθεί Gaussian κατανομή μηδενικής μέσης τιμής και διασποράς $\sigma^2=N_0/2$.

Η διασπορά του θορύβου καθορίζεται κάθε φορά από το SNR/bit που θέλουμε να έχουμε στο δέκτη του συστήματος. Υπενθυμίζεται ότι λόγω των κανονικοποιήσεων που έχουμε κάνει η ενέργεια ανά σύμβολο και στα δύο συστήματα είναι $E_s=1$, οπότε η ενέργεια ανά bit είναι $E_b=1/3$. Έτσι, αν θέλουμε να έχουμε $SNR=10 \cdot \log_{10}(E_b/N_0)=10$, θα πρέπει $N_0=1/30$ και $\sigma^2=1/60$.

Αποδιαμορφωτής 8-PSK

Ο αποδιαμορφωτής του συστήματος 8-PSK συσχετίζει (δηλαδή πολλαπλασιάζει και ολοκληρώνει-αθροίζει) το ληφθέν σήμα με τη φέρουσα και τον ορθογώνιο παλμό. Η συσχέτιση γίνεται στα χρονικά πλαίσια μιας περιόδου συμβόλου. Κατά την προσομοίωση υποθέτουμε ότι τόσο το 8-PSK, όσο και το 8-FSK είναι ομόδυνα

(coherent). Αυτό σημαίνει ότι ο δέκτης γνωρίζει τη φάση της φέρουσας και τα χρονικά πλαίσια κάθε συμβόλου, δηλαδή είναι πλήρως συγχρονισμένος με τον πομπό.

Ο αποδιαμορφωτής συσχετίζει το ληφθέν σήμα με τις δύο συνιστώσες της φέρουσας, οπότε προκύπτουν δύο τιμές, δηλαδή ένα διάνυσμα \underline{r} που είναι η εκτιμηθείσα τιμή του τρέχοντος συμβόλου πάνω στον αστερισμό του 8-PSK.

Φωρατής 8-PSK

Ο φωρατής δέχεται ως είσοδο το διάνυσμα \underline{r} , και αποφασίζει σε ποιο σύμβολο (όπως αυτά ορίστηκαν διανυσματικά παραπάνω) βρίσκεται εγγύτερα. Το διάνυσμα \underline{s}_m που θα έχει τη μικρότερη απόσταση από το \underline{r} , αντιστοιχεί και στο σύμβολο που στάλθηκε.

Β. Ομόδυνο Οκταδικό FSK

Ο πομπός και ο δέκτης ενός ομόδυνου τετραδικού FSK συστήματος φαίνονται στο επόμενο σχήμα. Τα περισσότερα σημεία της προσομοίωσής του έχουν διευκρινιστεί παραπάνω στα πλαίσια του 8-PSK. Οι μόνες διαφορές σχετίζονται με τη διαμόρφωση-αποδιαμόρφωση και το φωρατή. Να σημειωθεί ότι δεν έχει νόημα η κωδικοποίηση Gray, οπότε μπορείτε να κάνετε οποιαδήποτε αντιστοιχία bits-συμβόλων.

Διαμόρφωση - Αποδιαμόρφωση 8-FSK

Το σύστημα 8-FSK που καλείστε να προσομοιώσετε, χρησιμοποιεί τα εξής οκτώ σήματα για καθένα σύμβολο:

$$s_m(t) = g_T(t) \cos(2\pi(f_c + m\Delta f)t), \quad \Delta f = \frac{1}{T_{symbol}}, \quad m = 0, \dots, 7$$

οπότε οι 8 φέρουσες διαφέρουν κατά $1/T_{symbol}$ μεταξύ τους.

Φωρατής 8-FSK

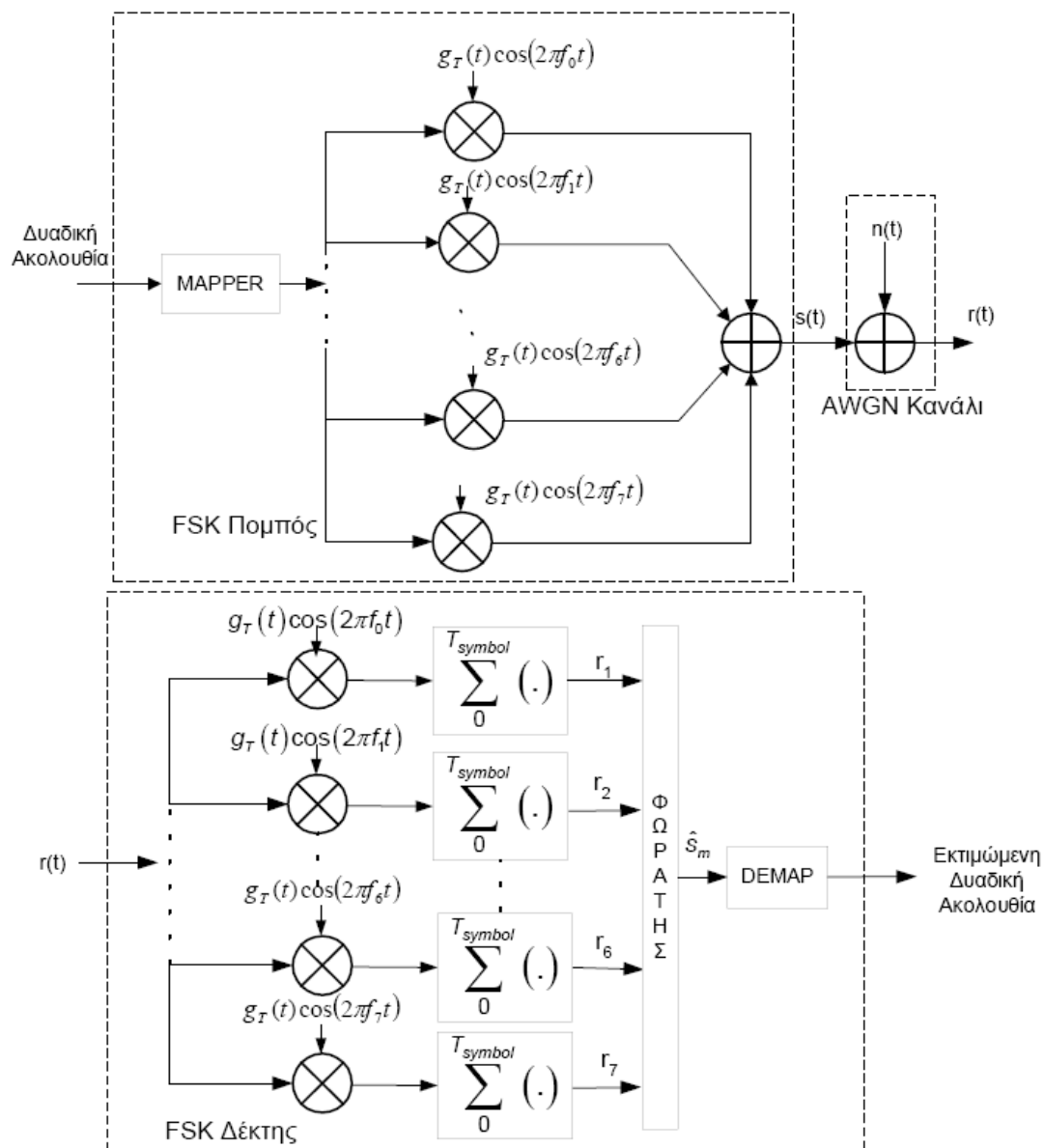
Καθένας από τους οκτώ κλάδους συσχέτισης του δέκτη παράγει μια τιμή r_i . Αυτές δίνονται στο φωρατή, και όποια έχει τη μεγαλύτερη τιμή, επιλέγεται το αντίστοιχο σύμβολο ως εκτιμηθέν.

Γ. Μετρήσεις BER-SER

Για να μετρήσετε το BER (Bit Error Rate), δηλαδή την πιθανότητα εμφάνισης σφάλματος bit, θα πρέπει να συγκρίνετε την τιμή bit που λάβατε με αυτήν που στείλατε. Για να πραγματοποιήσετε αξιόπιστες μετρήσεις BER, θα πρέπει αυτές να προέρχονται από έναν αρκετά μεγάλο αριθμό δεδομένων. Ένας χοντρικός κανόνας είναι ότι για να μετρήσετε μια τιμή BER της τάξης του 10^{-2} χρειάζεστε 10^4 bits δεδομένων, για BER της τάξης του 10^{-3} χρειάζεστε 10^5 bits δεδομένων, κ.ο.κ. Ο παραπάνω κανόνας δε σημαίνει ότι θα πρέπει να προσομοιώσετε παραπάνω από 10^5 bits!

Οι καμπύλες BER συνήθως σχεδιάζονται σε λογαριθμική κλίμακα ως προς τον άξονα y, δηλαδή ως προς την πιθανότητα σφάλματος (βλέπε π.χ. Σχ.7.57, όπου εκεί φαίνονται κάποιες καμπύλες SER (πιθανότητα σφάλματος συμβόλου)). Για να δείτε ενδεικτικές θεωρητικές τιμές BER για τα 8-PSK, 8-FSK, μπορείτε να ανατρέξετε αντίστοιχα στα Σχήματα 7.57, 7.63.

Για να μετρήσετε το SER (Symbol Error Rate), δηλαδή την πιθανότητα εμφάνισης σφάλματος συμβόλου, θα πρέπει να συγκρίνεται την τιμή συμβόλου που λάβατε με αυτό που στείλατε. Χρησιμοποιείστε τον ίδιο αριθμό δεδομένων που χρησιμοποιήσατε για τον υπολογισμό του BER.



Ερωτήσεις - Ζητούμενα

1. Με βάση τις παραπάνω υποδείξεις, υλοποιήστε τα συστήματα 8-PSK και 8-FSK και αναφερθείτε στα βασικά τους σημεία.
2. Για καθένα από τα δύο συστήματα, μετρήστε την πιθανότητα σφάλματος και σχεδιάστε τις καμπύλες BER και SER για τιμές του $SNR=[0:2:8]dB$. Οι καμπύλες BER θα πρέπει να σχεδιαστούν στο ίδιο γράφημα (Προσοχή: αν δεν εκτυπώσετε σε έγχρωμο εκτυπωτή, μη χρησιμοποιήσετε διαφορετικά χρώματα για τις καμπύλες, αλλά κάποια άλλη διάκριση). Στο ίδιο γράφημα, σχεδιάστε και το BER που προκύπτει για το 8-PSK όταν δε χρησιμοποιήσετε την κωδικοποίηση Gray. Σχολιάστε τα αποτελέσματα. Ποιο σύστημα είναι καλύτερο ως προς την πιθανότητα σφάλματος για το ίδιο SNR; Πόσο παραπάνω SNR απαιτείται για να έχει το χειρότερο την ίδια πιθανότητα σφάλματος (BER) με το καλύτερο;
3. [θεωρητική] Παρατηρήστε τα Σχήματα 7.57 και 7.63 του βιβλίου. Στο πρώτο φαίνονται οι καμπύλες SER για διάφορες τιμές του M σε συστήματα M-PSK. Την ίδια μορφή περίπου έχουν και οι αντίστοιχες καμπύλες BER. Στο δεύτερο σχήμα, φαίνονται καμπύλες BER για διάφορες τιμές του M σε συστήματα M-FSK. Τι παρατηρείται από τα δύο αυτά σχήματα; Σχολιάστε και συγκρίνετε τις διαμορφώσεις M-PSK, M-FSK, ως προς το ρυθμό μετάδοσης bits, την πιθανότητα σφάλματος, και το απαιτούμενο εύρος ζώνης όταν αυξάνει το M.