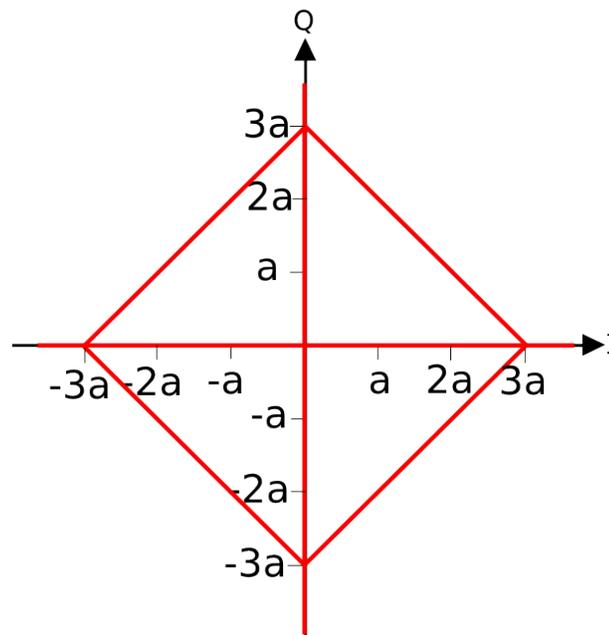


**MIC4240 Principes de communications II****Devoir 2**

**Exercice 1** Un espion industriel désire percer le secret d'un système de transmission numérique d'un concurrent. Il demande à son assistant d'en apprendre le plus possible sur la constellation utilisée. L'assistant revient, déçu, avec les informations suivantes:

- La constellation est à deux dimensions.
- La signalisation est équiprobable.
- Le canal est perturbé par du bruit blanc gaussien additif de densité spectrale de puissance bilatérale  $N_0/2$ .
- Les régions de décision sont comme illustré ci-dessous, en rouge:



L'espion estime en savoir assez sur le système de transmission et vous demande de répondre aux questions suivantes:

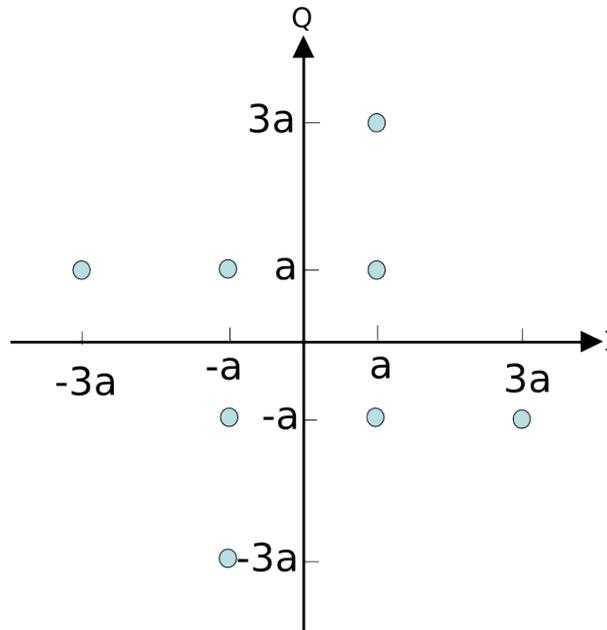
- Identifiez la position des points de la constellation.
- Assignez des codes binaire aux différents signaux, de façon à minimiser la probabilité d'erreur sur les bits.
- À quel type de modulation correspond cette constellation?
- Combien de bits/seconde seront transmis si la durée de symbole est de  $10^{-5}$  secondes.
- Déterminez l'énergie moyenne  $\mathcal{E}_c$  de la constellation et l'énergie moyenne par bit  $\mathcal{E}_b$ , en fonction de  $a$ .

- f) Déterminez le nombre de bits  $b$  par signal et le nombre de bits par dimension  $\bar{b}$ .
- g) Déterminez la distance minimum  $d_{\min}$  pour cette constellation.
- h) Évaluez une borne supérieure sur la probabilité d'erreur pour cette constellation, en fonction de  $a$  et de  $N_0$ . Utilisez la borne union en ne considérant que les voisins les plus rapprochés.
- i) Exprimez la borne sur la probabilité d'erreur calculée précédemment en fonction de l'énergie moyenne par bit  $\mathcal{E}_b$ .
- j) Proposez, si possible, une constellation ayant la même énergie moyenne, mais une meilleure probabilité d'erreur que celle-ci.

**Exercice 2** Considérez les constellations de signaux PSK à huit phases et à seize phases. Soient  $E_8$  et  $E_{16}$  les valeurs d'énergie par signal respectives pour ces constellations.

- a) Déterminez de combien  $E_{16}$  doit être supérieur à  $E_8$  pour que la distance minimum des deux constellations soit la même.
- b) Si les deux constellations ont la même distance minimum, dans quelles conditions observera-t-on la même probabilité d'erreur de signal pour les deux constellations? Expliquez.
- c) Si les deux constellations ont la même distance minimum, observera-t-on la même probabilité d'erreur de bits pour les deux constellations? Expliquez.
- d) Considérez une constellation 16-QAM qui a la même énergie moyenne que la constellation PSK à seize phases.
  - Donnez la distance minimum de la constellation 16-QAM en fonction de  $E_{16}$ .
  - Comparez la probabilité d'erreur de signal des deux constellations, PSK à seize phases et 16-QAM, et identifiez celle qui a la meilleure probabilité d'erreur de signal.

**Exercice 3** Considérez la constellation de signaux à 8 points illustrée ci-dessous. On suppose les points de signal équiprobables.



- Déterminez et tracez les régions de décision.
- Déterminez le nombre de bits  $b$  par signal et le nombre de bits par dimension  $\bar{b}$ .
- Déterminez l'énergie moyenne  $\mathcal{E}_c$  de la constellation et l'énergie moyenne par bit  $\mathcal{E}_b$ , en fonction de  $a$ .
- Déterminez la distance minimum  $d_{\min}$  pour cette constellation.
- Comparez l'efficacité de puissance de cette constellation avec celle de l'exercice 1.

**Exercice 4** On effectue la démodulation par corrélation d'un signal modulé par déplacement de phase binaire en présence de bruit gaussien blanc additif. Une PLL est utilisée pour estimer la phase de porteuse  $\phi$ . Les signaux utilisés sont

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t), 0 \leq t \leq T_b : \text{représente un bit 1}$$

$$s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi), 0 \leq t \leq T_b : \text{représente un bit 0}$$

$E_b$ : énergie transmise par bit. On suppose un fonctionnement sans bruit.

- Déterminez l'effet d'une erreur de phase  $\phi - \hat{\phi}$  sur la probabilité d'erreur.
- Quelle est la dégradation du rapport signal sur bruit lorsque l'erreur de phase  $\phi - \hat{\phi} = 45^\circ$ .
- Dessinez le schéma-bloc du récepteur, incluant les blocs nécessaires pour la synchronisation de porteuse.
- Lorsque la PLL verrouille sur le signal reçu, il peut y avoir une ambiguïté de phase. Une approche pour contrer ce problème consiste à transmettre une séquence connue (appelée en anglais *unique word*) au début de la transmission (avant les bits d'information) et à comparer les symboles observés en réception avec ce qu'on est supposé obtenir avec le bon verrouillage.

- De combien de degrés est l'ambiguïté de phase ici?
- Si le mot unique (en binaire) transmis est 

position $k$	0	1	2	3
valeur de bit	0	1	0	0

 donnez la séquence de composantes vectorielles reçues observées en supposant le bon verrouillage.
- Donnez la ou les séquences de composantes vectorielles reçues observées en supposant le ou les mauvais verrouillages.
- Indiquez précisément le traitement de signal qui doit être effectué sur la séquence de composantes vectorielles reçues observées pour déterminer si le verrouillage est bon ou non?<sup>1</sup>
- Quelle serait l'ambiguïté de phase et combien de comparaisons de séquences seraient nécessaires pour une modulation QPSK?

**Exercice 5** On désire transmettre des données par modulation impulsionnelle d'amplitude binaire. Le canal est soumis à du bruit blanc gaussien additif dont la densité spectrale de puissance est  $N_0/2 = 10^{-9} \text{ V}^2/\text{Hz}$ . L'énergie transmise par bit est  $E_b = A^2T/2$  avec  $T$  la durée d'un bit, et  $A$  l'amplitude du signal. Déterminez l'amplitude  $A$  nécessaire pour atteindre un taux d'erreurs de  $10^{-6}$  ou mieux en supposant les débits suivants suivants:

- a) 10 kbps
- b) 100 kbps
- c) 1 Mbps

---

<sup>1</sup>Pensez corrélation.