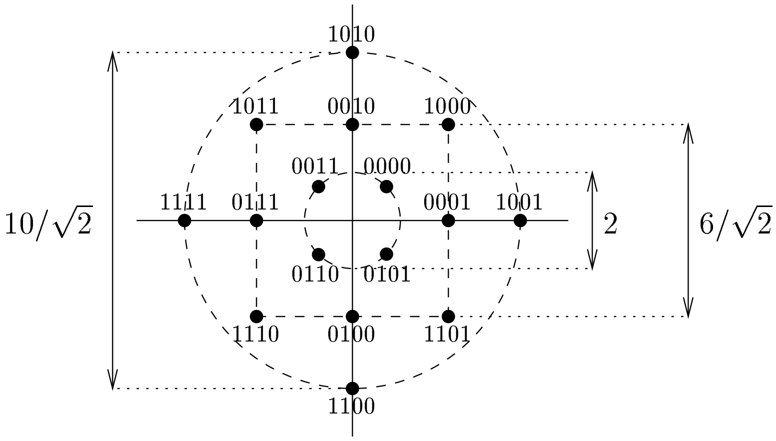
Prière de répondre aux questions sur des feuilles séparées!

1. La modulation linéaire classique CIR(4,4,4,4) (Recommandation V29 de la CCITT de 1980) est caractérisée par le diagramme de constellation suivant :



Sachant que le débit binaire est noté $R_b = 1/T_b$, que la fréquence porteuse est notée f_c et que l'impulsion de mise en forme est rectangulaire, répondez aux questions suivantes:

(a) Déterminez et représentez l'évolution temporelle de la phase, de l'amplitude, de l'enveloppe complexe, des composantes en phase et en quadrature, et du signal modulé pour la séquence binaire 1001001001101101.

(b) De quel type de modulation s'agit-il? Précisez votre réponse.

(c) En supposant que tous les symboles soient équiprobables et non corrélés, déterminez la densité spectrale de puissance du signal modulé.

(d) Comparez la modulation CIR(4,4,4,4) à la modulation 16-QAM du point de vue bande passante. Sur quel autre critère pourrait-on se baser pour choisir en faveur d'une de ces deux modulations? Précisez votre réponse.

2. On désire dimensionner un nouveau central téléphonique sur base d'une durée d'observation T de 20 minutes. Durant la journée, on observe qu'en moyenne le nombre d'appels est égal à 100 pour une durée moyenne de communication de 4 minutes. Après 18h30, l'étude du profil des appels montre qu'il y a de nombreux appels vers le réseau Internet si bien que la durée moyenne d'une communication passe à 15 minutes tandis que le nombre d'appels moyen tombe à 50.

   (a) Déterminez, par un raisonnement simple et sans calcul, quelle situation vous considérez comme critique pour le dimensionnement du réseau.

   (b) Calculez la probabilité qu'il y ait 30 tentatives d'appel sur un laps de temps de 10 minutes, en journée et en soirée.

   (c) Déterminez le nombre minimum de lignes qu'il faut installer pour que la probabilité de blocage reste inférieure à 0,001.

   (d) En supposant que chaque utilisateur reconduise tout appel refusé jusqu'à avoir une ligne libre, combien de lignes faut-il installer pour que la probabilité de blocage soit toujours inférieure à 0,001?

3. Considérez le signal suivant

$$s(t) = m_1(t)\,\cos(2\pi f_c t) - m_2(t)\,\sin(2\pi f_c t) \tag{1}$$

qui représente un signal modulé en quadrature de phase de deux signaux en bande de base $m_1(t)$ et $m_2(t)$, tous deux de largeur de bande de base W. Par la suite, on considère que $f_c \gg W$.

(a) Calculez la transformée de Hilbert $\widetilde{s}(t)$ de $s(t)$. Déduisez-en son signal analytique $s_a(t)$ et son enveloppe complexe $e_s(t)$.

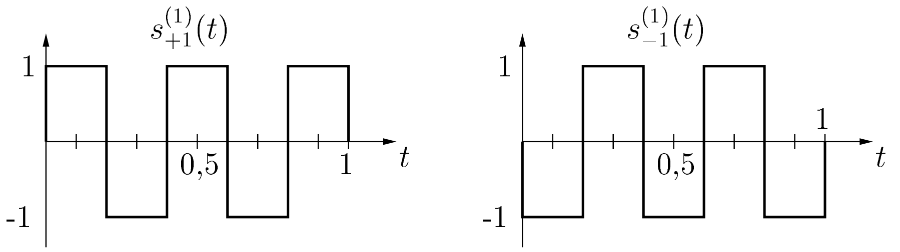
(b) On désire transformer le signal $s(t)$ en un signal à bande latérale supérieure (BLS). Pour y parvenir, on applique le signal $s(t)$ à l'entrée du filtre

$$H(f) = \begin{cases} 1 & |f| \geq f_c \\ 0 & |f| < f_c \end{cases} \tag{2}$$

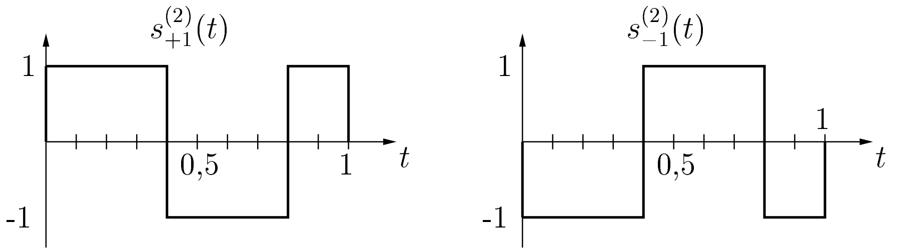
Déterminez le signal $y(t)$ à la sortie du filtre ainsi que son enveloppe complexe $e_y(t)$; exprimez-les en fonction de $m_1(t)$, $m_2(t)$, $\widetilde{m}_1(t)$ et $\widetilde{m}_2(t)$.

(c) Comment pourrait-on retrouver les signaux modulant $m_1(t)$ et $m_2(t)$ à partir de $y(t)$?

4. Soit à étudier les performances d'un système à étalement de spectre simple, limité à deux utilisateurs.
   Le premier utilisateur émet les deux symboles suivants $s_{+1}^{(1)}(t)$ et $s_{-1}^{(1)}(t)$ avec les probabilités respectives $p^{(1)}(+1)$ et $p^{(1)}(-1)$:



   (a) Déterminez le gain d'étalement.
   (b) Détaillez le schéma du récepteur.
   (c) On ajoute ensuite un second utilisateur dont les symboles d'émission sont $s_{+1}^{(2)}(t)$ et $s_{-1}^{(2)}(t)$ avec les probabilités respectives $p^{(2)}(+1)$ et $p^{(2)}(-1)$:



   Les signaux des deux utilisateurs sont émis simultanément. De la sorte, tout récepteur voit, à son entrée,

$$R(t) = A_1 s_i^{(1)}(t) + A_2 s_j^{(2)}(t) + N(t) \tag{3}$$

   où les indices $i,j \in \{-1,+1\}$ désignent les signaux émis par les deux utilisateurs et $N(t)$ est un bruit aléatoire gaussien, de moyenne nulle et de densité spectrale $\frac{N_0}{2}$. Dans ces conditions, trouvez l'expression de la probabilité d'erreur du récepteur dédié à la réception du signal de l'utilisateur (1).

   Rappel*: la probabilité d'erreur P_e d'un récepteur pour un signal rectangulaire valant $+V$ sujet à un bruit additif gaussien, de moyenne nulle et de densité spectrale $\frac{N_0}{2}$, vaut*

$$P_e = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0/T_b}} \int_{-\infty}^{\lambda} e^{-\frac{(y-V)^2}{N_0/T_b}}\, dy \tag{4}$$

   (d) Que vaut cette probabilité d'erreur lorsque $A_2 \to +\infty$? Commentez ce résultat. Chiffrez ensuite la réponse pour $p^{(1)}(+1) = p^{(1)}(-1)$.