



المسابقة الوطنية للالتحاق بالتكوين في الطور الثالث (دكتوراه ل.م.د.)
Concours National d'Accès à la Formation en Troisième Cycle (Doctorat LMD)

Epreuve de la matière : Communications Numériques Avancées

Coefficient : 3 – Durée : 2H00 – Date : 13/02/2025

Variante 4

Exercice n°1 : (6pts)

On considère un canal multi-trajets ayant un étalement moyen $\tau_{rms} = 6.67\mu s$. La bande passante du canal est $B = 10MHz$.

1. Calculer B_c , la bande de cohérence du canal. Déterminer si le canal est sélectif en fréquence.
2. On décide de transmettre en OFDM. Calculer N_{min} , le nombre minimal de sous-porteuses à utiliser dans ce système sachant que chaque sous-porteuse a une bande $B_{sp} = 149,92kHz$.
3. Calculer N_{FFT} , le nombre de sous-porteuses permettant l'utilisation de la Transformée de Fourier Rapide (FFT). En déduire la nouvelle valeur de B_{sp} correspondante.
4. Pour pouvoir compenser le retard maximal $T_m = 20\mu s$ du canal multi-trajets, quelle doit être, dans ce cas, la durée minimale du préfixe cyclique.
5. Calculer la durée totale d'un symbole OFDM.
6. Calculer la proportion (en %) du préfixe cyclique dans un symbole OFDM.
7. Calculer le débit binaire utile en supposant une 16-QAM.

Exercice n°2 : (6pts)

Dans un système de communication numérique, le filtre équivalent, de réponse en fréquence $P(f)$, doit être choisi pour garantir l'absence d'interférence intersymboles (ISI). Un exemple de ce filtre est celui dont la réponse en fréquence est représentée sur la Figure (a).

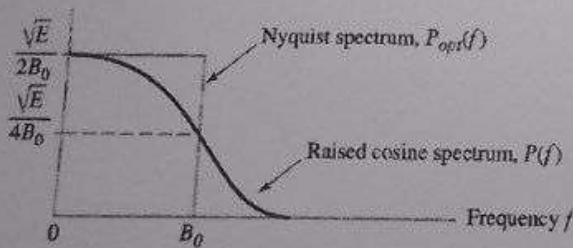


Figure (a)

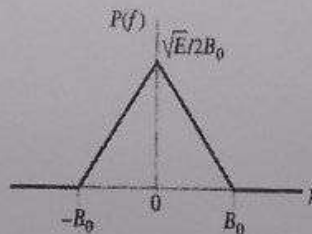


Figure (b)

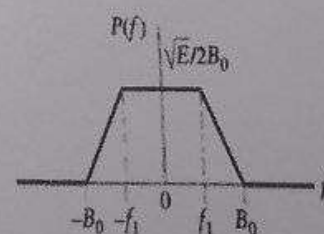


Figure (c)

1. Donner la condition de Nyquist permettant une ISI nulle.
2. Donner l'expression mathématique $P(f)$ correspondant aux cas des deux figures (b) et (c) (On se limite à l'intervalle $[0, B_0]$). Pour chacun des cas, trouver B_0 permettant de satisfaire la condition de Nyquist.
3. Pour les trois réponses en fréquence (a), (b) et (c), quelle est celle la plus utilisée en pratique? Justifier votre réponse.

Exercice n°3 : (8pts)

Considérons le diagramme de constellation de la figure 1, où tous les points sont équiprobables.

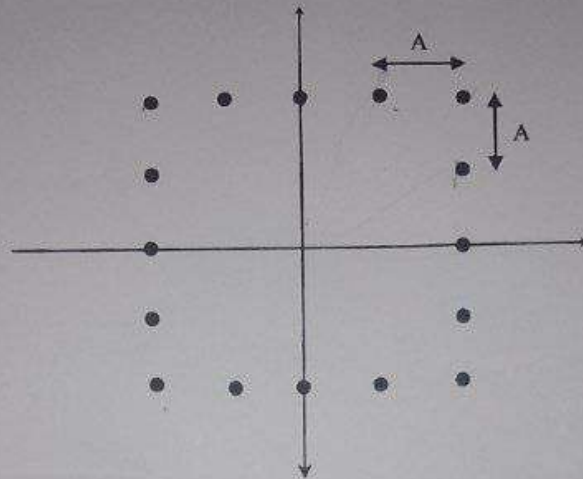


Figure 1

La transmission se fait sur un canal AWGN avec une densité spectrale de puissance $N_0/2$.

1. Dériver une expression de l'énergie moyenne E_{moy} de la constellation.
2. Donner une expression de la probabilité d'erreur de symbole basée sur l'approximation du plus proche voisin (*Nearest Neighbor Approximation*).
3. Tracer une constellation 16-PSK avec un rayon de valeur A et dériver l'expression de l'énergie moyenne E_{moy} de cette constellation.
4. Comparer les performances (en termes de probabilité d'erreur de symbole) de la constellation de la Figure 1 avec celle de la 16-PSK pour la même E_{moy} .

On donne: Nearest Neighbor Approximation

$$P_e^{NN} \approx \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} n_i Q\left(\frac{d_{min}}{\sqrt{2N_0}}\right)$$