

Tous documents autorisés / 35 min

Le barème est donné à titre indicatif.

Il sera tenu compte des justifications apportées à chaque réponse, ainsi que de la présentation.

Un capteur fournit un signal électrique de bande passante égale à 3 KHz. Celui-ci est échantillonné à 8 KHz puis converti par un convertisseur analogique numérique sur 10 bits.

Le signal binaire de bande de base est ensuite modulé en QPSK et transposé en fréquence autour de 433 MHz et transmis sur le canal hertzien. On considérera le canal comme un canal AWGN.

On considère que la densité spectrale de bruit est égale à -174 dBm/Hz et que le facteur de bruit du récepteur est de 5 dB. Le gain total du récepteur est de 15 dB.

1. Calculer le débit binaire en sortie du convertisseur analogique numérique ? (2 pts)

*Débit binaire = fréquence échantillonnage * nb de bits/échantillons*

$$\dot{D} = F_{ech} \times N_{bit} = 8000 \times 10 = 80Kbits/s$$

2. Qu'appelle t-on quantité de décision ? Quelle est la quantité de décision du signal modulé ? (3 pts)

La quantité de décision est le nombre de symboles élémentaires permettant de représenter un alphabet de symboles plus large. En particulier, si on utilise une représentation binaire, il s'agit du nombre de bits utilisés pour représenter les symboles. Si on note D la quantité de décision et M le nombre de symboles pouvant être représentés, dans une représentation binaire, on a : $D = \log_2(M) \Leftrightarrow M = 2^D$.

Le signal est modulé en QPSK. Le symbole transmis par le signal modulé correspond à un état de phase qui peut prendre 4 valeurs : $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$. Chaque symbole est codé par 2 bits, donc la quantité de décision $D = 2$.

3. Calculer le débit de symbole transmis par le signal modulé. (2 pts)

Puisque la quantité de décision = 2, le débit de symbole transmis par le signal modulé est :

$$\dot{D} = D \times \dot{M} \Rightarrow \dot{M} = \frac{\dot{D}}{D} = \frac{80000}{2} = 40KBds$$

4. Qu'appelle t-on interférences intersymboles ? Calculer la bande passante minimale du canal nécessaire pour transmettre le signal sans risque d'interférences intersymboles. (3 pts)

Dans le cadre d'une transmission numérique, le phénomène d'interférence intersymbole consiste en un chevauchement partiel entre les symboles adjacents transmis. Il peut donc conduire à une erreur d'interprétation du symbole reçu.

La bande passante minimale est donnée par le critère de Nyquist qui considère un canal passe bas idéal de bande passante B:

$$\overset{\circ}{M} \leq 2B \Rightarrow B \geq \frac{\overset{\circ}{M}}{2} = \frac{40000}{2} = 20\text{KHz}$$

Remarque : dans notre exemple, la transmission ne se fait pas en bande de base, mais autour d'une fréquence porteuse. Donc il faudrait considérer un canal passe bande, de largeur 2B si la modulation conserve les 2 bandes latérales. Pour réduire l'occupation spectrale, il est néanmoins possible de supprimer une des bandes.

Dans la correction, cette distinction transmission dans un canal passe-bas ou passe-bande ne sera pas prise en compte.

5. Calculer le rapport signal à bruit minimal pour distinguer sans erreurs les différents symboles transmis par le signal modulé. (3 pts)

La quantité de décision D du signal modulé = 2 bits. Dans le cadre d'un canal AWGN :

$$D \leq D_{\max} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \Rightarrow \frac{S}{N} \geq \exp(\ln 2 \times 2D) - 1 = \exp(\ln 2 \times 2 \times 2) - 1 = 15$$

$$\frac{S}{N} \geq 11.8\text{dB}$$

6. Quel est le taux d'erreur binaire du récepteur lorsque le rapport signal à bruit et la bande passante sont à leur valeur minimale ? (4 pts)

On commence par calculer le rapport Eb/No :

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{S}{N} \times \frac{B}{D} \Rightarrow \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{dB} = \left(\frac{S}{N} \right)_{dB} + 10\log(B) - 10\log(D)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{dB} = 11.8 + 10\log(20000) - 10\log(80000) = 5.78\text{dB}$$

La modulation étant de type QPSK, dans le cas d'un canal AWGN, le taux d'erreur binaire

est lié au rapport Eb/No par : $BER = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right)$. En utilisant un tracé de cette courbe (cf

poly de cours), on trouve un taux d'erreur binaire = 0.3 % (si la réponse est comprise entre 0.2 et 0.6 %, la réponse sera acceptée).

7. On souhaite que la perte de propagation maximale sur le canal hertzien soit de 150 dB. Calculer la puissance minimale qui doit être émise. (3 pts)

Calculons d'abord le seuil de bruit du récepteur. On connaît la densité spectrale de bruit No, on raisonne avec la bande passante minimale (seuil de bruit minimal) et on connaît le facteur de bruit NF.

$$N = N_0 + 10\log(B) + NF = -174 + 10\log(20000) + 5$$

$$N = -126\text{dBm}$$

Le rapport signal à bruit minimal > 11.8 dB, donc le signal en sortie du récepteur doit être supérieur à :

$$S(\text{dBm}) \geq N(\text{dBm}) + \left(\frac{S}{N} \right)_{dB} = -126 + 11.8 = -114.2\text{dBm}$$

Sachant que le récepteur amplifie le signal de $G = 15 \text{ dB}$, la puissance minimale reçue S_{in} est de :

$$S_{in}(\text{dBm}) \geq S(\text{dBm}) - G(\text{dB}) = -114.2 - 15 = -129.2 \text{ dBm}$$

Sachant que la perte de propagation max $L_p = 150 \text{ dB}$, la puissance émise P_e doit être supérieure ou égale à :

$$P_e(\text{dBm}) \geq S_{in}(\text{dBm}) + L_p(\text{dB}) = -129.2 + 150 = 20.8 \text{ dBm} = 120 \text{ mW}$$