Université Paris Descartes / UFR de Mathématiques et Informatique
L3 MIA

Systèmes de Communication

Examen 1ère session (1h30) - 19 mai 2008

Documents, calculatrices et téléphones interdits

Il est attendu la plus grande rigueur dans la rédaction des réponses, qui devront être claires, courtes et précises à la fois. *Les quatre parties peuvent être abordées dans l'ordre qui vous conviendra, mais les réponses à chaque partie ne devront pas être dispersées dans la copie. Vous trouverez en annexe quelques compléments éventuellement utiles.*

1 Questions de cours (6 points)

a) Dans le codage d'une trame MPEG-1, le nombre de bit par échantillon dans chaque bande i doit respecter la relation $n_i > \frac{P^i_{\mathrm{dB}} - M_i}{6}$, où P^i_{dB} et M_i désignent respectivement la puissance du signal et le seuil de masquage dans la i^{eme} bande. D'autre part, la somme des n_i doit rester inférieure à une certaine valeur N qui dépend du débit autorisé. Quel problème peut survenir ? Par quel mécanisme y remédie-t-on dans le codeur MP3 ? *(ne pas donner simplement le nom du mécanisme, mais expliquer en quoi il consiste)*

b) Pourquoi la radio-diffusion utilise-t-elle les grandes longueurs d'onde ?

c) Dans un système de communications, il faut trouver un compromis entre un débit raisonnable et une bonne protection des données, qui implique nécessairement une augmentation du débit. Expliquer brièvement comment ce compromis est mis en œuvre dans le codage de la parole sur le GSM.

d) Dans les systèmes de communications mobiles (GSM et UMTS), pourquoi entrelace-t-on les données après le codage de canal ?

2 Exercices

2.1 MAQ-8 (9 points)

Les constellations de deux modulations de type MAQ-8 sont représentées sur la figure 1. On les note respectivement C_1 et C_2.

Lors de l'émission d'un symbole de coordonnées (x, y), on reçoit, après démodulation, filtrage adapté et échantillonnage, un point (z_c, z_s) tel que :

$$\begin{aligned} z_c &= x + b_c \\ z_s &= y + b_s \end{aligned}$$

où b_c et b_s sont des variables aléatoires indépendantes, gaussiennes, centrées, de variance σ^2.

a) Ces constellations permettent-elle un codage de Gray ? (justifier) Pour la ou les constellation(s) le permettant, dessinez la constellation en indiquant sur chaque symbole le mot binaire associé.

b) Sur la constellation C_1, dessiner les zones de décisions associées aux différents symboles. On émet le symbole $S_{ij} = (\lambda, \lambda)$. Montrer que la probabilité de ne pas reconnaître ce symbole peut s'exprimer :

$$\mathrm{P}(\overline{R_{ij}}|S_{ij}) = 1 - \mathrm{P}(-\lambda < b_c < \lambda)\mathrm{P}(b_s > -\lambda)$$

En exploitant le caractère gaussien de b_c et b_s, exprimer $\mathrm{P}(\overline{R_{ij}}|S_{ij})$ à l'aide de la fonction Q :

$$Q : x \to \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \mathrm{e}^{-z^2/2} \mathrm{d}z$$

On simplifiera l'expression obtenue en considérant que, pour un bruit de canal modéré, $Q(\lambda/\sigma) \ll 1$.

On peut montrer ainsi que pour les 4 symboles centraux de la constellation, $\mathrm{P}(\overline{R_{ij}}|S_{ij}) = 3Q(\lambda/\sigma)$, tandis que pour les 4 autres, $\mathrm{P}(\overline{R_{ij}}|S_{ij}) = 2Q(\lambda/\sigma)$. En déduire la probabilité d'erreur par symbole P_{eS}.

c) L'énergie d'un symbole de coordonnées (x, y) vaut $(x^2 + y^2)T/2$, où T désigne la durée symbole. Calculer l'énergie moyenne par symbole, puis la puissance moyenne, pour les deux modulations. Pour quelle valeur de λ les deux modulations ont-elles la même puissance ? On prend désormais cette valeur.

d) Pour chaque modulation, calculer le nombre moyen de plus proches voisins d'un symbole (*i.e.* le nombre de voisins situés à la distance minimale d_{min} de ce symbole).

e) La probabilité d'erreur par symbole d'une modulation s'exprime :

$$P_{eS} = K.Q\left(\frac{d_{min}}{2\sigma}\right)$$

où K désigne le nombre moyen de plus proches voisins d'un point de la constellation.

Calculer la probabilité d'erreur par symbole pour chacune des deux modulation et vérifier votre résultat de la question b.

Pour un débit et une puissance d'émission donnés, la constellation la plus intéressante est celle qui offre la plus faible probabilité d'erreur. Que peut-on conclure ici ?

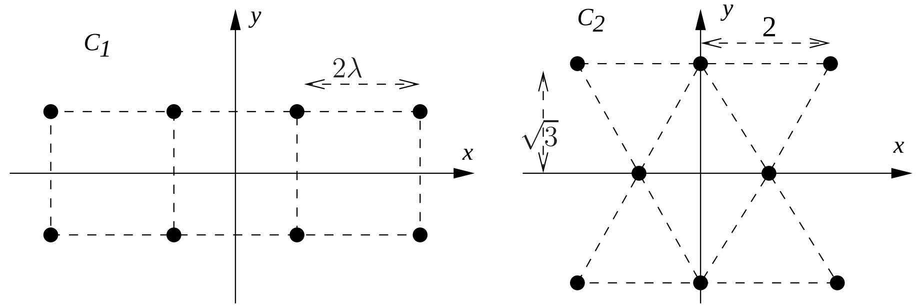
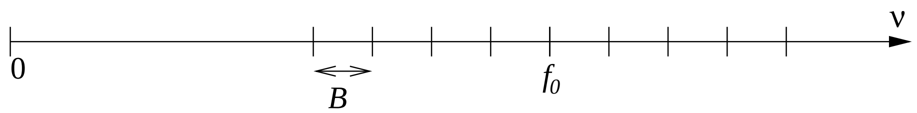


FIG. 1 – Constellations MAQ-8. Les traits pointillés relient les plus proches voisins.

2.2 Multiplexage (4 points)

Un émetteur hertzien doit multiplexer et transmettre les données de plusieurs utilisateurs avec une modulation d'amplitude à 2 états (MDA-2). Les impulsions du modulant étant en cosinus surélevé, l'occupation spectrale pour un débit D est $B = (1+\alpha)D$, où α est le facteur de retombée. La bande totale disponible est $8B$, autour d'une fréquence f_0.



a) Trois utilisateurs ont un débit $2D$ et deux ont un débit D. Dans le cas d'un multiplexage fréquentiel, indiquer, sur l'axe des fréquences positives, le partage de la bande de fréquence entre les 5 utilisateurs. (on ne demande pas de représenter le spectre)

b) On adopte un multiplexage par code, avec des codes OVSF (voir ci-dessous). Quels codes attribuer aux différents utilisateurs ? (justifier votre réponse). Si le nombre et le débit des utilisateurs change, quel est l'intérêt du CDMA par rapport au FDMA ?

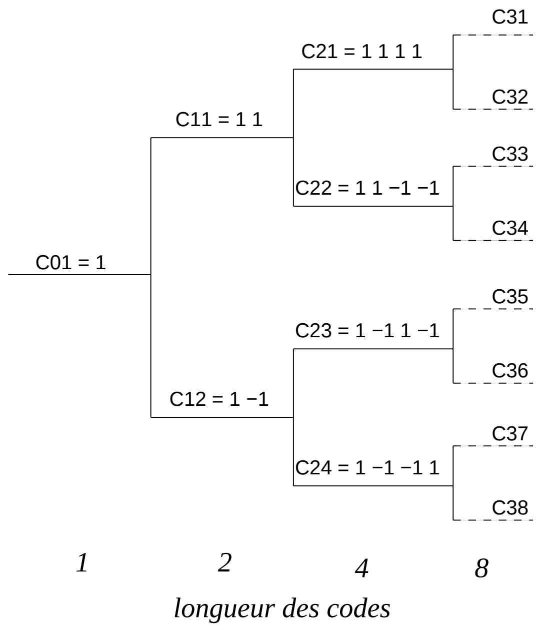


FIG. 2 – Arbre de codes OVSF.

2.3 Adaptation du nombre de symboles à la largeur de bande (3 points)

On souhaite transmettre un message binaire à 1 Mbit/s sur un canal non bruité, avec un codage NRZ à M niveaux. La bande passante étant limitée, on utilise des impulsions en cosinus surélevé, avec un facteur de retombée $\alpha = 0.4$.

a) Dans le cas où M=2 (symboles binaires), quelle est la bande passante nécessaire à une transmission sans interférence entre symboles ?

b) La largeur de bande est à présent fixée à 200 kHz. Quelle valeur minimale de M faut-il prendre ?

3 Annexes

Probabilités

Soient une variable aléatoire Z et deux réels a et b :

$$\mathrm{P}(a < Z < b) = \int_a^b \mathrm{p}(z)\mathrm{d}z$$

Densité de probabilité p d'une variable aléatoire gaussienne centrée Z de variance σ^2 :

$$p(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\Big(-\frac{z^2}{2\sigma^2}\Big)$$

Spectre des signaux de communication

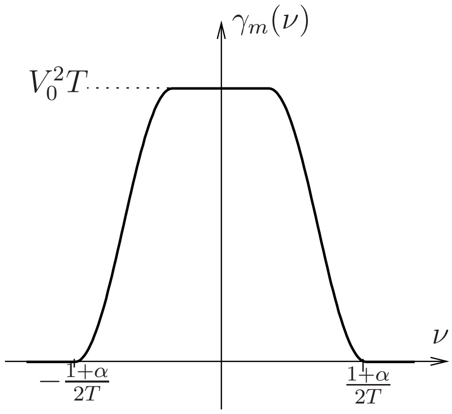


FIG. 3 – Densité spectrale de puissance d'un signal NRZ utilisant des impulsions en cosinus surélevé