

TP du module TS217

R. Tajan

1 Objectifs et évaluation

L'objectif de ce TP de modélisation des canaux et d'égalisation est de simuler, à l'aide du logiciel Matlab, des chaînes de communications numériques en présence de canaux sélectifs en fréquences.

Les TP se font en **binôme ou monôme** et l'évaluation porte sur une note de rapport et une note de travail continu (en séances).

Concernant le rapport, il ne doit pas excéder **10 pages**, vous devez fournir un document scientifique et technique, qui doit présenter votre travail, vos choix techniques et dans lequel **tous les résultats obtenus doivent être interprétés et commentés**. Les codes Matlab doivent également être transmis à votre enseignant. Ils doivent pouvoir être compris rapidement. Cela passe par l'utilisation de commentaires. Les commentaires doivent permettre de répondre au moins à la question : que fait la ligne de code ? Une attention particulière doit être portée à la lisibilité du programme. Les rapports et les codes doivent être rendus par l'intermédiaire de la plateforme Thor.

2 Développement de l'émetteur

Dans ce TP, nous considérerons la transmission de $N_s = 5000$ symboles QPSK avec mapping de Gray. Le débit symbole est supposé constant à $D_s = 1\text{Msymboles/s}$. Le facteur de sur-échantillonnage considéré est $F_{se} = \frac{T_s}{T_e} = 4$ imposant une fréquence d'échantillonnage des signaux dans le canal de $F_e = 4\text{MHz}$.

Les symboles sont mis en forme par un filtre en racine de cosinus surélevé avec les paramètres suivants :

- $SPAN = 8 (T_s)$
- $F_{se} = 4$
- $\alpha = 0.35$ (rolloff)

Vous pourrez utiliser la fonction `rcosdesign` de Matlab pour synthétiser ce filtre.

3 Développement du canal

L'objectif de cette section est de se familiariser avec les concepts de simulation des canaux multi-trajets.

3.1 Un canal à 1 trajet

Nous considérons ici un canal à 1 trajet de délai $10 + d$ échantillons (soit $(10 + d)T_e$ secondes). Afin de simuler ce canal, nous utiliserons le filtre numérique suivant

$$h_n^{(d)} = \frac{\sin(\pi(n - 10 - d))}{\pi(n - 10 - d)} p_n$$

où p_n est une fenêtre de Hann de 21 échantillons.

En utilisant l'outil `fvtool` de Matlab, vérifier que ce filtre induit bien un décalage temporel de $(10 + d)T_e$ pour les signaux considérés. Vous vérifierez en particulier vos résultats pour $d = -2.5$ et $d = 1.3$.

3.2 Un canal à 2 trajets

On considère maintenant le canal à 2 trajets donné par

$$h'_n = \frac{1}{C} (a_0 h_n^{(d_0)} + a_1 h_n^{(d_1)})$$

où a_0 et a_1 sont deux nombres complexes et C une constante qui assure que $\sum_n |h'_n|^2 = 1$.

Une fois implémenté la synthèse de ce filtre, tracer la réponse en fréquence des canaux suivants :

- $a_0 = 1, a_1 = 1, d_0 = 0, d_1 = 1$
- $a_0 = 1, a_1 = 1, d_0 = 0, d_1 = 4$
- $a_0 = 1, a_1 = 0.5, d_0 = 0, d_1 = 1$
- $a_0 = 1, a_1 = 0.5, d_0 = 0, d_1 = 4$

Montrer, à l'aide de ces spectres la relation existante entre l'étalement temporel du canal et la bande de cohérence.

4 Égalisation

Dans cette partie nous allons nous intéresser à l'égalisation du canal suivant :

$$h(t) = \delta(t) + \alpha \delta(t - T_s)$$

Le filtre de réception sera adapté uniquement au filtre de mise en forme.

Si vous implémentez ce canal en utilisant le filtre numérique de la partie précédente, il faut penser à compenser le retard de 10 échantillons qu'il introduit en plus du retard lié à la causalité du filtre adapté.

Les étapes pour calculer les filtres égaliseurs sont les suivantes :

1. Calculer le filtre équivalent $v_n = (g * h * g_a)(nTs)$
2. Calculer les coefficients du filtre égaliseur, après filtrage adapté et échantillonnage au temps symbole.

Afin de calculer les coefficients d'un filtre égaliseur de réponse impulsionnelle finie de longueur P , le signal r_n (sur une fenêtre de P échantillons) est réécrit d'abord exprimée en fonction des

symboles s_n comme suit :

$$\begin{bmatrix} r_{n-P+1} \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{L-1} & \cdots & v_0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & v_{L-1} & & v_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & v_{L-1} & \cdots & v_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{n-P-L+1} \\ \vdots \\ s_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_{n-P+1} \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

Cette expression qui peut être réécrite de façon plus compacte comme

$$\mathbf{r}_n = V_n \mathbf{s}_n + \mathbf{z}_n \quad (2)$$

L'approche par forçage à zéro pour estimer l'un des symboles du vecteur \mathbf{s}_n (i.e. s_{n-d}) à partir de \mathbf{r}_n en inversant V_n

$$\hat{s}_{n-d} = \mathbf{e}_{P-d}^\dagger V_n^\dagger (V_n V_n^\dagger)^{-1} \mathbf{r}_n = w_{ZF}^\dagger(d) \mathbf{r}_n$$

Le filtre égaliseur est alors obtenu en trouvant la valeur de d qui minimise l'IES en sortie de l'égalisation. Pour chaque valeurs de d calculer

1. la convolution de v_n par un filtre de coefficients $w_{ZF,-n}^*$, $p_n^{(d)} = v_n * w_{ZF,-n}^*(d)$
2. un rapport signal à interférences : $S_d = \sum_k \frac{|p_k^{(d)}|^2}{|p_d^{(d)}|^2} - 1$
3. trouver la valeur de d maximisant le niveau précédent : $d^* = \arg \min_d S_d$
1. Tracer les constellations des symboles avant et après égalisation ZF pour $\alpha = 1$, $P = 10$, $P = 30$, $P = 100$
2. Tracer les constellations des symboles avant et après égalisation MMSE pour $\alpha = 1$, $P = 10$, $P = 30$, $P = 100$
3. Tracer dans les deux cas (ZF ou MMSE) la probabilité d'erreur binaire en fonction du rapport signal à bruit pour $\alpha = 1$ et $\alpha = 0.5$.

Expliquer vos résultats.

5 Contacts

— Romain Tajan - romain.tajan@ims-bordeaux.fr