

TP du module TS217 – année 2021/2022

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.

Mettre en place la génération du signal transmis et tracer sa densité spectrale de puissance en utilisant le périodogramme de Welch.

3 Simuler un trajet

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

4 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 convolver par 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 $d = 1.3$.

5 Un canal à 2 trajets

On considère maintenant le canal à 2 trajets donné par

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

où a_0 et a_1 sont deux nombres complexes.

Une fois implémenté la synthèse de ce filtre, tracer les spectres pour les valeurs suivantes :

- $a_0 = 1, a_1 = 1, d_0 = 0, d_1 = 1$
- $a_0 = 1, a_1 = 1, d_0 = 0, d_1 = 2$
- $a_0 = 1, a_1 = 1, d_0 = 0, d_1 = 3$

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

6 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.

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.
3. Tracer les constellations des symboles avant et après égalisation ZF pour $\alpha = 1, P = 10, P = 30, P = 100$
4. Tracer les constellations des symboles avant et après égalisation MMSE pour $\alpha = 1, P = 10, P = 30, P = 100$
5. Si le temps le permet, tracer dans les deux cas la probabilité d'erreur binaire en fonction du rapport signal à bruit.

On rappelle que

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

Ce qui peut être réécrit comme

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

L'approche par forçage à zéro pour estimer s_{n-d} à partir de \mathbf{r}_n sera la suivante

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

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 : $S_d = \frac{|p_d^{(d)}|^2}{\sum_k |p_k^{(d)}|^2 - |p_d^{(d)}|^2}$
3. trouver la valeur de d maximisant le niveau précédent : $d^* = \arg \max_d S_d$

7 Contacts

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