

Communications numériques multi-porteuses

Les systèmes OFDM

module TS217 – année 2019/2020

Romain Tajan*, Guillaume Ferré

1 Objectifs

L'objectif de ce TP de communications numériques est de mettre en pratique avec Matlab les concepts théoriques vus en cours dans le cadre du module TS217. Ce TP concerne la simulation d'un système CP-OFDM dans le cadre d'un canal de Rayleigh.

2 Évaluation

Les TD/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 **15 pages** et il devra être remis à vos enseignants au format électronique (document pdf) **à la fin de la séance**. 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 vos enseignants par Email au **à la fin de la séance**. 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.

3 Partie 2 : OFDM sur canal de Rayleigh (OFDM_Rayleigh.m)

3.1 Paramètres de simulation

Pour cette partie les paramètres de simulations sont les suivants :

- Modulation numérique : BPSK (symboles iid),
- Le temps symbole $T_s = 0.05\mu s$,
- Nombre de sous-porteuses totales : $N = 128$,
- Nombre de sous-porteuses utilisées : $N_u = 128$,
- Les symboles OFDM sont modulés et démodulés en utilisant respectivement les algorithmes IFFT et FFT de Matlab,
- Une trame OFDM contient : $N_T = 500$ symboles OFDM,

*romain.tajan@ims-bordeaux.fr

- Le canal de propagation est tel que $h_l[p] = \sum_{k=0}^{L-1} h_l[k] \delta[p - k]$, où les $h_l[k]$ sont iid et $h_l[k] \sim \mathcal{N}_{\mathbb{C}}(0, \frac{1}{L})$. On supposera que la réponse impulsionnelle (RI) du canal est invariante sur la durée d'une trame OFDM et que $L \ll N$.
- La durée du préfixe cyclique $T_{CP} \geq LT_s$,
- Le bruit $n_l[p] \sim \mathcal{N}_{\mathbb{C}}(0, \sigma_{n_l}^2)$,
- les échantillons du signal OFDM, du canal et du bruit sont supposés décorrélés et indépendants.

3.2 Questions

1. (*Rapport*) Formaliser mathématiquement une architecture de communications numériques permettant d'émettre un symbole OFDM avec préfixe cyclique dit symbole CP-OFDM (Utiliser les mêmes notations que celles du cours).
2. (*Implémentation*) À partir des paramètres de simulation, implémenter sous Matlab la chaîne de communication (choisissez un nombre d'échantillons $CP = L = 16$). Valider votre implémentation en vous assurant que sans canal et sans bruit ($h_l[p] = \delta[p]$ et $\sigma_{n_l}^2 = 0$) le taux d'erreur binaire (TEB) est nul sur la réception d'une trame OFDM.
3. (*Rapport*) Quel est le nouveau débit binaire utile de cette communication numérique ?
4. (*Implémentation*) Mettre en place un égaliseur de canal après la démodulation OFDM (FFT). Faire une égalisation par forçage à zéro. Tester votre égaliseur avec $L = 16$ et $\sigma_{n_l}^2 = 0$.
5. (*Implémentation et rapport*) Évaluer les performances de votre chaîne de communications numériques (OFDM_Rayleigh_TEB.m). Pour cela tracer l'évolution du TEB en fonction du **rapport signal sur bruit par sous-porteuses** (SNR) définit pour la n^{ieme} sous-porteuse comme le rapport entre le produit $\sigma_s^2 \mathbb{E}(|H[n]|^2)$ et la variance du bruit $\sigma_{n_l}^2$: $SNR = \frac{\sigma_s^2 \mathbb{E}(|H[n]|^2)}{\sigma_{n_l}^2}$ où $H[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h_l[k] e^{j2\pi \frac{nk}{N}}$. Comparer les résultats expérimentaux à la probabilité d'erreur binaire d'une modulation BPSK sur canal de Rayleigh lorsque le SNR évolue de 0 à 15dB par pas de 1dB (la probabilité d'erreur d'une BPSK sur canal de Rayleigh s'obtiendra par l'outil bertool.m de Matlab).
6. (*Implémentation et rapport*) Refaire la même simulation qu'à la question précédente en ne respectant plus la contrainte : $CP \geq L$. Prendre par exemple $L = 16$ et $CP = 8$. Interpréter l'évolution de la nouvelle courbe TEB=f(SNR) obtenue.
7. (*Implémentation et rapport*) Modifier votre code Matlab (OFDM_Rayleigh_1.m) afin que le signal OFDM émis comporte deux bandes de gardes de 30 sous-porteuses à gauche et à droite de la DSP. Valider votre implémentation en traçant la DSP de ce nouveau signal (moyenner les DSP avec un nombre de points par DSP de $N_{FFT} = 4N$).
8. (*Rapport*) Combien valent désormais la largeur de bande du signal OFDM et le débit binaire ?