

Introduction aux communications numériques

Etude de modulateurs bande de base

Première année - Département Sciences du Numérique

2020-2021

1 Introduction

1.1 Objectifs

Ce premier travail va être dédié à l'étude des modulateurs bande de base. Pour cela, vous allez devoir en implanter quelques uns sous Matlab afin de les analyser et de les comparer en termes d'efficacité spectrale.

1.2 Schéma général d'un modulateur en bande de base

Un modulateur bande de base est composé des éléments suivants :

1.2.1 Information binaire à transmettre

La génération de l'information binaire à transmettre (bits 0 et 1 équiprobables et indépendants) pourra être réalisée grâce à la fonction *randi* de Matlab.

1.2.2 Mapping

Un mapping devra être réalisé afin de passer de l'information binaire aux symboles a_k . Le mapping est un des éléments qui pourra différer selon les modulateurs à implanter.

1.2.3 Suréchantillonnage

La suite d'impulsions de Dirac espacées de la durée symbole T_s et pondérées par les symboles a_k issus du mapping sera générée, en numérique, en insérant $N_s - 1$ zéros entre deux symboles a_k , si N_s représente le nombre d'échantillons utilisés par symbole (ou facteur de suréchantillonnage : $T_s = N_s T_e$, T_e étant la période d'échantillonnage). N_s est déterminé pour que le signal numérique généré respecte la condition d'échantillonnage de Shannon.

1.2.4 Filtrage de mise en forme

La réponse impulsionnelle, $h(t)$, du filtre de mise en forme est un des éléments qui pourra différer selon les modulateurs à étudier et implanter. Ne seront implantés que des filtres de type RIF (à réponse impulsionnelle finie). Une fois la réponse impulsionnelle numérique générée ($h = [h(0)h(1)...h(N - 1)]$, si N représente l'ordre du filtre), le filtrage pourra être réalisé en utilisant la fonction *filter* de matlab : `signal_filtre=filter(h,1,signal_a_filtre)`.

2 Modulateurs à étudier et comparer

Le travail qui va vous être demandé va consister à étudier et comparer, en termes d'efficacité spectrale, les modulateurs suivants :

- Modulateur 1:
 - Mapping : symboles binaires à moyenne nulle.

- Filtre de mise en forme : réponse impulsionnelle rectangulaire de durée $T_{s_1} = N_{s_1}T_e$. Vous pouvez utiliser la fonction *ones.m* de Matlab afin de générer la réponse impulsionnelle de ce filtre de mise en forme :
 $h = \text{ones}(1, N_{s_1})$ (filtre RIF d'ordre $N = N_{s_1}$).
- Modulateur 2:
 - Mapping : symboles 4-aires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : réponse impulsionnelle rectangulaire de durée $T_{s_2} = N_{s_2}T_e$.
- Modulateur 3:
 - Mapping : symboles binaires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : réponse impulsionnelle de type front de durée $T_{s_3} = N_{s_3}T_e$.
- Modulateur 4:
 - Mapping: symboles binaires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : réponse impulsionnelle en racine de cosinus surélevé. Vous pourrez utiliser la fonction *rcosdesign.m* de Matlab afin de générer la réponse impulsionnelle de ce filtre, dont nous reparlerons plus en détails par la suite. Ce filtre a une bande fréquentielle finie, il a donc une réponse impulsionnelle infinie qui devra être tronquée afin de réaliser un filtre de type RIF. Vous pouvez utiliser, par exemple, $h = \text{rcosdesign}(0.5, 8, N_{s_4})$; afin de réaliser un filtre en racine de cosinus surélevé avec une réponse impulsionnelle de longueur $N = 8 \times N_{s_4} + 1$ échantillons (ou coefficients), de roll off 0.5 (paramètre compris entre 0 et 1 qui fixe la largeur de bande), pour une période symbole $T_{s_4} = N_{s_4}T_e$.

3 Travail à réaliser

Les modulateurs précédemment décrits devront être implantés sous Matlab avec une fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000$ Hz pour transmettre un débit binaire $R_b = \frac{1}{T_b} = 6000$ bits par seconde.

1. Implanter chaque modulateur.
2. Pour chaque modulateur implanté :
 - Tracer le signal transmis avec une échelle temporelle en secondes.
 - Tracer la densité spectrale de puissance (DSP) du signal transmis avec une échelle fréquentielle en Hz. Vous pouvez, par exemple, réaliser une estimation de la DSP par périodogramme de Welch grâce à la fonction Matlab *pwelch.m*, que vous pouvez utiliser de la manière suivante : `pwelch(x,[],[],Fe,'twosided')` pour tracer la DSP en échelle log entre 0 et F_e , ou bien de la manière suivante `PSDx=10*log10(pwelch(x))`, en sachant qu'elle va vous renvoyer alors la DSP en échelle log entre 0 et $F_e/2$.
 - Comparer la DSP obtenue avec la DSP théorique du signal généré. *Remarque* : Les DSPs théoriques des signaux générés par les trois premiers modulateurs proposés ont été vues en cours et TD. La DSP du signal généré par le quatrième modulateur proposé vous est donnée ci-dessous :

$$S_x(f) = \frac{\sigma_a^2}{T_s} \begin{cases} T_s \text{ if } |f| \leq \frac{1-\alpha}{2T_s} \\ \frac{T_s}{2} \left(1 + \cos \left(\frac{\pi T_s}{\alpha} \left(|f| - \frac{1-\alpha}{2T_s} \right) \right) \right) \text{ for } \frac{1-\alpha}{2T_s} \leq |f| \leq \frac{1+\alpha}{2T_s} \\ 0 \text{ elsewhere} \end{cases} \quad (1)$$

3. Comparaison des modulateurs implantés :
 - tracer, sur une même figure (grâce à *hold.m*), les DSPs des signaux générés par les différents modulateurs étudiés pour transmettre le même débit binaire,
 - en déduire un classement des modulateurs étudiés par ordre d'efficacité spectrale croissante, en identifiant les éléments qui expliquent ce classement.