

TP1 : Introduction aux communications numériques

OBJECTIFS :

Dans ce TP, vous étudierez dans un premier temps les bases d'un système de communications numériques à savoir les codes en ligne, DSP, récepteur optimal, filtre adapté, etc.

Ensuite, vous aborderez les modulations numériques (M-PSK, M-QAM, M-FSK) en étudiant en particulier :

- Les performances en termes de TEB
- L'efficacité spectrale

Enfin, un système simple avec codage canal sera étudié.

EXERCICE 1 : Codes en lignes, DSP, récepteur optimum

1) Codes en lignes binaires

A l'aide des fonctions *randsrc* ou *randint* de Matlab, générer une source numérique d'informations binaires de longueur $L=10$ et 1024 . Ecrivez un programme qui permet de générer le code NRZ (Non-Retour à Zéro). La durée d'un bit est fixée à $1\ \mu\text{s}$ et la fréquence d'échantillonnage à $16\ \text{MHz}$. Afficher le code obtenu en fonction du temps.

2) Densité spectrale de puissance

Faire un programme qui permet de calculer puis d'afficher la DSP du code en fonction de la fréquence.

3) Filtre de réception

Dans l'hypothèse du récepteur optimal, la réponse impulsionnelle du filtre $h(t_0 - t)$ si $h(t)$ est la forme d'onde utilisée.

Effectuer le produit de convolution du code en ligne avec la RI du filtre de réception, échantillonner correctement le signal résultant de façon à retrouver le même nombre de bits qu'à l'émission puis implémenter une décision qui permet de retrouver les valeurs des bits émis.

EXERCICE 2 : Modulations numériques

Préparation théorique :

Un signal PSK (Phase Shift Keying) à M états peut s'écrire :

$$s_m = h(t) \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{M}(m-1)\right] \cos(2\pi f_c t) - h(t) \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{M}(m-1)\right] \sin(2\pi f_c t)$$

Avec $h(t)$ la forme d'onde de l'impulsion binaire et $m = 1, 2, \dots, M$, les M états de phase possibles de la porteuse représentant l'information à transmettre. Nous remarquons que chaque symbole possède la même énergie :

$$E_s = \int_0^{T_s} s_m^2(t) dt = \frac{1}{2} \int_0^{T_s} h^2(t) dt = \frac{E_h}{2}$$

De plus, les formes d'ondes associées au signal M-PSK peuvent être représentées comme une combinaison linéaire de deux composantes orthogonales, $\phi_1(t)$ et $\phi_2(t)$ c'est-à-dire :

$$S_m(t) = S_{m1}(t) \cdot \phi_1(t) + S_{m2}(t) \cdot \phi_2(t)$$

Avec:

$$\begin{aligned}\phi_1(t) &= \sqrt{\frac{2}{E_h}} \cdot h(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) \\ \phi_2(t) &= \sqrt{\frac{2}{E_h}} \cdot h(t) \cdot \sin(2\pi f_c t)\end{aligned}$$

Où les vecteurs bidimensionnels $S_m = [S_{m1} \ S_{m2}]$ sont donnés par :

$$\begin{aligned}S_{m1} &= \sqrt{\frac{E_h}{2}} \cdot h(t) \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{M}(m-1)\right] \\ S_{m2} &= \sqrt{\frac{E_h}{2}} \cdot h(t) \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{M}(m-1)\right]\end{aligned}$$

Rappel de la notion de distance Euclidienne :

On appelle distance Euclidienne entre deux points d'une constellation la distance :

$$d_{mn}^e = |s_m - s_n|$$

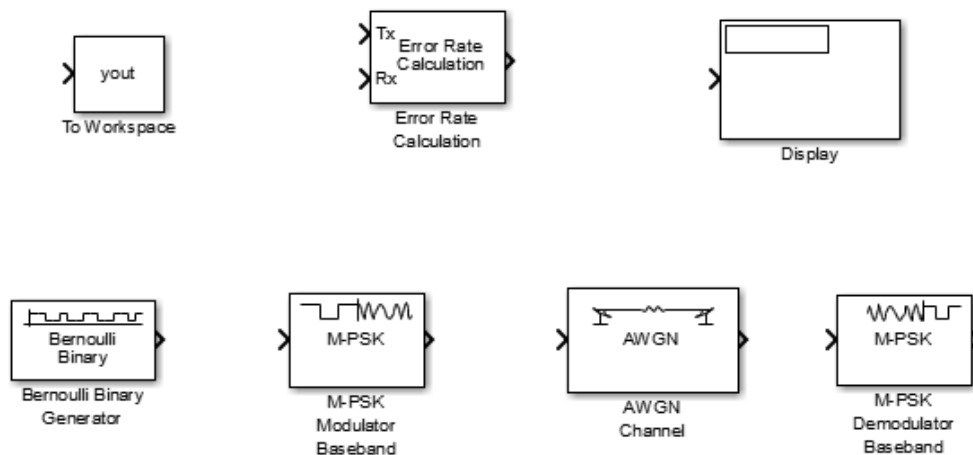
- 1) Montrer que la distance Euclidienne de ces modulations peut s'écrire :

$$d_{mn}^e = \left\{ E_h \left[1 - \cos \frac{2\pi}{M} (m - n) \right] \right\}^{1/2}$$

- 2) Donner la distance Euclidienne minimale (entre deux points les plus proches) pour les modulations suivantes : BPSK, QPSK, 8-PSK.

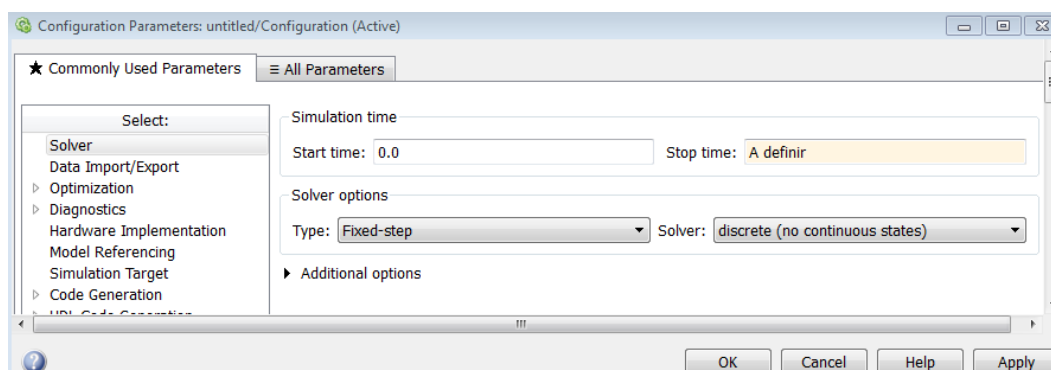
Simulations :

Vous utiliserez les blocs Simulink suivants et BERTool



Configurations :

Après avoir lancé Simulink, allez dans « Model Configuration Parameters » puis configurez les paramètres de la manière suivante :



Durant ce TP, la fréquence d'échantillonnage est égale à $f_e = 10 \text{ kHz}$.

Conditions d'arrêt de la simulation :

Le nombre d'erreurs max : $\text{maxNumErrs} = 100$;

Le nombre de bits max : $\text{maxNumBits} = 10^8$.

1) Modulation M-PSK**a) TEB :**

- Réaliser une chaine simple avec une modulation M-PSK sur un canal AWGN. A partir de la chaine réalisée, générer et imprimer les courbes de performances BER (Bit Error Rate) en fonction de E_b/N_0 pour $M=2, 4, 8, 16$ et 32 .
- Toujours à l'aide de BERTool, tracer les courbes théoriques

b) Efficacité spectrale :

Pour la modulation QPSK et 8-PSK, ajouter des filtres en racine de cosinus surélevé en émission et en réception (Rollof factor = 0.33) et afficher les spectres. Que remarque-t-on ? Commenter

2) Modulations M-QAM**a) TEB :**

- Modifier le modèle précédent en remplaçant les blocs M-PSK par des blocs M-QAM. Générer les courbes pour $M=2, 4, 8, 16$ et 32

b) Efficacité spectrale :

Ajouter des filtres en racine de cosinus surélevé en émission et en réception (Rollof factor = 0.33) et afficher le spectre du signal 16-QAM.

3) Modulations M-FSK

- Modifier le modèle précédent en remplaçant les blocs M-QAM par les blocs M-FSK pour $M=2, 4, 8$ et 16 .

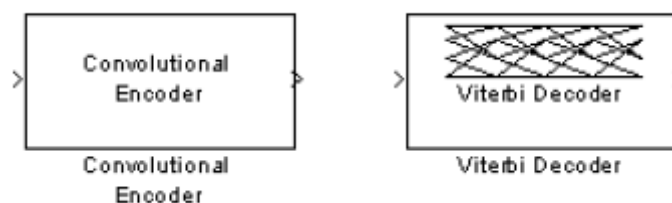
4) Synthèse

Faire une synthèse de toutes les modulations étudiées pour un BER cible de 10^{-5} ainsi qu'un tableau comparatif des efficacités spectrales pour les cas suivants : BPSK, QPSK, 8PSK, 16-QAM. Conclure.

EXERCICE 3 : Etude d'un système codé

Dans les exercices précédents, vous avez étudié les performances d'une chaine de transmission simple sur un canal AWGN. Vous allez maintenant reprendre cette étude pour un système codé.

- Pour cela, reprendre la chaine de communication avec la modulation QPSK. Rajouter un bloc code convolutif. Utiliser les blocs suivants



- a) Tracer la courbe des performances BER en fonction du E_b/N_0 avec un décodage de type soft et hard pour $G = (3, [7 \ 5])$ et $(6, [77 \ 55])$.
 - b) Quel est le code le plus performant ? Pourquoi ?
 - c) Quel est le type de décision le plus efficace ? Pourquoi ?
- 2) Reprendre la chaîne et remplacer le code convolutif par un code bloc Reed-Solomon (RS).
 - a) Tracer la courbe des performances BER en fonction du E_b/N_0 avec un décodage de type hard pour RS (7, 3) et RS (32, 28)
 - b) Compléter les figures obtenues avec les courbes théoriques. Commenter.
- 3) Quels sont les gains obtenus comparés à un système non codé ? Conclure