

Projet de Filtrage Numérique

SEATECH parcours IRIS

Modulation/démodulation numérique

1 Avant de commencer

L'objectif de ce projet est double : Premièrement, vous permettre de mettre en oeuvre des techniques vues en cours et en TP afin de résoudre un problème technique. Deuxièmement, vous exercer à présenter votre démarche et vos résultats sous la forme d'un rapport technique (appelé compte-rendu). Vous rendrez vos codes Matlab, mais on insiste sur le fait que la moitié de l'évaluation porte sur la rédaction du compte-rendu. En particulier, les points techniques devront être illustrés par de nombreux graphiques pertinents et lisibles.

2 Modulation MIA en bande de base

L'objectif est de simuler une modulation/démodulation numérique échantillonnée à deux états. Les amplitudes (ou symboles) possibles peuvent prendre les valeurs $+1$ et -1 . On choisit un facteur d'échantillonnage $K = 100$, autrement dit l'intervalle de temps correspondant à la période symbole est représenté par 100 échantillons.

Première étape : Générer le filtre d'émission. On choisit un filtre RIF passe-bas obtenu par troncature de la RI (sans application de fenêtre). On limite la longueur de la RI à ± 3 périodes symboles (donc $\pm 3K$ échantillons). On souhaite un filtre qui vérifie la condition de Nyquist, pour simplifier la démodulation. La contrainte sur la RI h s'exprime alors de la façon suivante :

$$h[pK] = \delta[p], \quad p \in \{-3, 3\}$$

Autrement dit, $h[0] = 1$, et h vaut 0 aux autres indices d'échantillons multiples de K .

A partir de la condition de Nyquist, déterminer la fréquence de coupure du filtre d'émission puis générer la RI, qu'on rendra causale (ce qui induit un retard de groupe qu'on mesurera). On vérifiera que les caractéristiques de la RI et de la RF sont conformes à ce qui est attendu. En déduire la largeur de bande théorique occupée par la modulation.

Deuxième étape : Générer une séquence d'amplitudes/symboles à valeurs pseudo-aléatoires de longueur variable. Pour les tests, on choisira des séquences courtes (typiquement 100 symboles), pour les mesures de taux d'erreurs et d'estimation des spectres, on choisira des séquences longues (typiquement 10^4 symboles, ou plus si l'ordinateur le permet). A partir de la séquence des amplitudes, générer le signal d'amplitudes sur-échantillonné d'un facteur K (par interpolation à zéro).

Troisième étape : Par application du filtre d'émission au signal d'amplitudes, obtenir le signal émis. On vérifiera que le système vérifie globalement la condition de Nyquist : après compensation du retard de groupe du filtre d'émission, quand on échantillonne le signal aux instants pK , on retrouve les amplitudes. Vérifier que le spectre du signal correspond approximativement à la RF du filtre d'émission.

Quatrième étape : Échantillonner le signal pour obtenir les amplitudes démodulées. Afin de rendre la transmission robuste aux erreurs, on arrondit à $+1$ les valeurs positives et à -1 les valeurs négatives. Cela peut

être réalisé facilement avec la fonction `sign`. Compter les erreurs (non-correspondance entre la séquence des amplitudes d'origine et la séquence démodulée) et calculer le taux d'erreur (nombre d'erreurs normalisé par la longueur de la séquence). Pour l'instant, il ne doit y avoir aucune erreur, la transmission étant parfaite.

3 Modulation MIA sur fréquence porteuse

Dans cette partie, on ajoute une modulation sur fréquence porteuse. Pratiquement, le signal en bande de base est multiplié par une sinusoïde de fréquence $\nu_p = 0.2$ (on choisira une fonction cosinus). Vérifier que le spectre du signal modulé est conforme à ce qui est attendu.

Pour simuler une transmission réaliste, on ajoute deux canaux supplémentaires aux fréquences $\nu_p + \delta_\nu$ et $\nu_p - \delta_\nu$. δ_ν est appelé "bande de garde". Pour implémenter ces deux canaux, on générera deux autres séquences d'amplitudes, indépendantes de la première, qu'on modulera et dont les signaux seront additionnés au canal central. Pour commencer, on choisira $\delta_\nu = 0.05$. Vérifier que le spectre du signal modulé est conforme à ce qui est attendu. Par la suite, on ne considèrera que la démodulation du canal central.

Pour démoduler, on applique la technique de démodulation cohérente décrite en cours. On choisira un filtre de démodulation RIF obtenu par la méthode de la fenêtre, avec une fenêtre de Hann. Dans un premier temps, proposer une fréquence de coupure théorique qui sera justifiée par l'observation des spectres des signaux. Rechercher l'ordre minimal qui permet une démodulation sans erreurs.

Reprendre la démodulation en baissant progressivement la bande de garde δ_ν . A chaque fois, déterminer le filtre de démodulation d'ordre minimal qui permet une démodulation sans erreurs. Jusqu'à quelle valeur peut-on baisser la bande de garde ? Proposer une explication pour cette valeur limite.

4 Etude de la résistance au bruit

Une simulation réaliste suppose que le canal de transmission ajoute du bruit. En pratique, on superpose au signal modulé un bruit blanc gaussien centré de variance σ^2 . Un tel bruit est obtenu en générant un bruit normalisé dont on multiplie l'amplitude par σ . En conservant les paramètres de modulation et de démodulation limites (bande de garde, fréquence de coupure et ordre minimum pour une transmission sans erreurs), expérimenter l'effet d'un bruit de variance croissante. Jusqu'à quelle valeur de σ peut-on aller pour ne pas générer d'erreurs ? Recommencer pour $\delta_\nu = 0.05$. Commenter les résultats.