

TP de synchronisation

TS-218 – année 2019/2020

Romain Tajan

Table des matières

1 Objectifs	1
2 Evaluation	1
3 Partie 1 – Étude théorique de la chaîne d’émission/réception	2
4 Techniques de synchronisation	3
4.1 Étude de la synchronisation temporelle et fréquentielle bloc	3
4.2 Synchronisation temporelle et fréquentielle adaptatives	4
5 Partie 2 – Traitement / décodage de signaux réels	4
6 Contacts	4

1 Objectifs

L’objectif de ce TP est de mettre en pratique dans un cas concret les concepts vu dans le cours TS 218. Pour cela, il est demandé de simuler sous Matlab un émetteur/récepteur utilisant une transmission mono-porteuse. Ce projet peut être décomposé en 3 parties différentes :

- **Partie 1** : La première partie de ce TP est consacrée à la simulation d’une transmission de transmission mono-porteuse comprenant les défauts rencontrés dans la chaîne de transmission. Vous devrez alors analyser les différents défauts et leurs effets.
- **Partie 2** : La seconde partie de ce TP est dédiée à l’application des techniques de synchronisation vues en cours afin corriger les défauts de la première partie.
- **Partie 3** : La troisième partie consiste à décoder des signaux réels.

2 Evaluation

Le projet se fait en binôme et l’évaluation porte sur une note de rapport et une note de travail continu (en séances).

3 Partie 1 – Étude théorique de la chaîne d’émission/réception

Dans cette partie, on s’intéresse à une chaîne de transmission classique, dans laquelle les défauts ne sont pas compensés. Vous commencerez donc par implémenter une chaîne de communication **en bande de base** avec les paramètres suivants :

- la chaîne est simulée pour un temps d’échantillonnage de $T_e = 1\mu s$,
- le temps symbole est $T_s = 10\mu s$,
- le nombre de symboles envoyé est $N = 1000$,
- La séquence binaire est générée aléatoirement avec une densité de probabilité uniforme $\mathbb{P}(b_k = 0) = \mathbb{P}(b_k = 1) = 1/2$
- la modulation considérée est une modulation QPSK avec une phase 0 et avec un codage de gray,
- le filtre de mise en forme $h(t)$ est un filtre en racine de cosinus sur-élevé de facteur d’expansion de bande (rolloff) $\beta = 0.5$,
- le filtre du canal est $h_n = \delta(n)$ (le filtre de canal est non-sélectif en fréquence),
- le signal reçu s’écrit :

$$y_l(t) = s_l(t) + w_l(t) \quad (1)$$

où $w_l(t)$ est un bruit blanc gaussien.

Question 1 Rappeler l’expression de $s_l(t)$. En déduire l’expression de $s_l[n] = s_l(nT_e)$ et de $y_l[n] = y_l(nT_e)$.

Question 2 Tracer le taux d’erreur binaire (TEB) en fonction du Rapport Signal sur Bruit (RSB), E_b/N_0 pour des valeurs de E_b/N_0 allant de 0 à 10 dB par pas de 0.5dB. Les valeurs minimale et maximale pour E_b/N_0 ainsi que le pas doivent être des paramètres de votre simulation. Vérifiez le bon fonctionnement de votre chaîne en vérifiant que votre TEB vaut $P_b = Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}\right)$.

Dans un second temps, vous modifierez votre chaîne de communication afin d’y intégrer un canal ayant la forme suivante :

$$y_l(t) = Ae^{j(2\pi\delta_f t + \phi_0)} s_l(t - t_0) + w_l(t) \quad (2)$$

où le vecteur $\Psi = (A, t_0, \delta_f, \phi_0)$ sera un paramètre défini par l’utilisateur.

Question 3 Tracer les constellations après filtrage adapté et échantillonnage pour les configurations de canal suivantes

- (a) $\Psi = (1, 0, 0, \frac{\pi}{12})$
- (b) $\Psi = (1, 0, \frac{1}{10T_e}, \frac{\pi}{12})$
- (c) $\Psi = (1, 3T_e, 0, 0)$
- (d) $\Psi = (0.25, 0, 0, 0)$

A chaque fois, comparer ces constellations à la constellation des symboles émis.

Question 4 Sur un même graphique, tracer le TEB en fonction du Rapport Signal sur Bruit (RSB), E_b/N_0 pour les configurations de canal (a)-(d) présentées dans la question précédente. Commenter votre résultat en vous aidant des constellations de la question précédente. Attention, dans la configuration (d), le coefficient A doit être pris en compte dans $\frac{E_b}{N_0}$.

4 Techniques de synchronisation

Dans cette partie, on s'intéresse à la correction des défauts une chaîne de transmission avec défaut. Cette section est divisée en deux parties

- la première partie considère une estimation en **bloc** des paramètres Ψ ,
- la seconde partie considère une estimation **adaptative** des paramètres Ψ .

4.1 Étude de la synchronisation temporelle et fréquentielle bloc

Afin de faciliter la synchronisation temporelle et fréquentielle, nous considérons que $L = 10$ symboles issus d'une modulation QPSK sont envoyés en entête du paquet de données. Ces symboles seront notés a_n pour $n = 0$ à $L - 1$, ils sont connus de l'émetteur et du récepteur. Pour cette situation, nous considérerons les propriétés suivantes

- La séquence binaire est générée aléatoirement avec une densité de probabilité uniforme $\mathbb{P}(b_k = 0) = \mathbb{P}(b_k = 1) = 1/2$,
- la modulation considérée est une modulation QPSK identique à la question précédente,
- la chaîne est simulée pour un temps d'échantillonnage de $T_e = 1\mu s$,
- les symboles a_n et s_n sont transmis au rythme $R_s = 10^5$ symboles/seconde,
- les symboles a_n et s_n sont mis en forme par un filtre en racine de cosinus surélevé de coefficient d'excès de bande $\beta = 0.5$, et de temps de propagation de groupe $4T_s$,
- la trame de synchronisation dure $L = 10$ symboles,
- la trame de données est de $N = 1000$ symboles,
- les trames de synchronisation et de données sont séparées par une durée $8T_s$,
- le canal est construit avec les paramètres $\Psi = (0.25, 23T_e, \frac{\pi}{12}, \frac{1}{10T_s})$.

Soient $F_{se} = \frac{T_s}{T_e}$ le facteur de sur-échantillonnage, $\nu_f = \frac{\delta f}{F_e}$ le décalage de fréquence réduite, $d_0 = \frac{t_0}{T_e}$ de retard en nombre d'échantillon, $s_{a,\ell} = s_a(\ell T_e)$ le signal de synchronisation échantillonné de L_a échantillons et $y_\ell = y_\ell(\ell T_e)$ le signal reçu. On considère l'estimateur suivant pour les paramètres ν_f et d_0 :

$$(\hat{\nu}_f, \hat{d}_0) = \arg \max_{\nu \in [0, 1], d \in [0, 30]} \frac{\left| \sum_{\ell=d}^{d+L_a-1} s_{a,\ell-d}^* y_\ell e^{-j2\pi\nu\ell} \right|^2}{\sum_{\ell=0}^{L_a-1} |s_{a,\ell}|^2 \sum_{\ell=d}^{d+L_a-1} |y_\ell|^2} \quad (3)$$

Soit maintenant $z_A = Ae^{j\phi_0}$, un estimateur de z_A peut être construit en sortie de filtre adapté, après avoir corrigé les deux défauts précédents, et après échantillonnage au temps T_s . Soit $r(t)$ le signal suivant :

$$r(t) = h^*(-t) \star \left(y(t) e^{-j2\pi\hat{\nu}_f \frac{t}{T_e}} \right), \quad (4)$$

et soit $r_m(\hat{d}_0) = r(mT_s + \hat{d}_0T_e)$, l'estimateur de z_A est le suivant :

$$\hat{z}_A = \frac{\sum_{m=0}^{L-1} a_m^* r_m}{\sum_{m=0}^{L-1} |a_m|^2} \quad (5)$$

Question 5 Montrer que l'équation (3) est semblable à un estimateur obtenus dans le cours de Mr Vallet. Si cet estimateur est calculé avec une FFT calculée sur N_{FFT} points, quelle est la résolution fréquentielle de l'estimateur (3) ?

Question 6 Justifier que l'équation (5) fonctionne, quelle est sa limitation.

Question 7 Implémenter les estimateurs proposés dans les équations (3) et (5). Utiliser ces estimateurs pour synchroniser le signal reçu puis tracer le TEB pour des valeurs de $\frac{E_b}{N_0}$ allant de 0 à 10dB par pas de 0.5dB.

4.2 Synchronisation temporelle et fréquentielle adaptatives

Grâce aux estimateurs proposés dans la question précédente, nous supposons aurons des grandeurs initiales pour les estimateurs adaptatifs.

Question 8 *Implémenter une boucle à remodulation pour la synchronisation adaptative en fréquence et phase.*

Question 9 *Implémenter une boucle à remodulation pour la synchronisation adaptative temporelle.*

Question 10 *Tracer le TEB pour des valeurs de $\frac{E_b}{N_0}$ allant de 0 à 10dB par pas de 0.5dB.*

5 Partie 2 – Traitement / décodage de signaux réels

6 Contacts

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