

TP 3. Filtres numériques

Ce TP se déroule sur deux séances et a pour objectif de réaliser deux filtres pour supprimer la dérive basse fréquence d'un électrocardiogramme (ECG), qui est le tracé de l'activité électrique du cœur.

Définition du gabarit

Un ECG a été enregistré à une fréquence de 1 kHz et sauvegardé dans le fichier `ecg_lfn.dat`.

1. Le signal étant trop grand, il faut d'abord réduire sa taille. À quoi faut-il faire attention ?
2. Ré-échantillonnez le signal à 100 Hz, puis affichez le signal obtenu.
3. Tracez le spectre du signal en fonction de la fréquence (centrez l'axe des fréquences).

Un ECG normal comporte plusieurs signaux caractéristiques appelés « ondes » (figure ci-dessous). Le signal enregistré contient dix ondes auxquelles s'ajoute une dérive basse fréquence à éliminer.

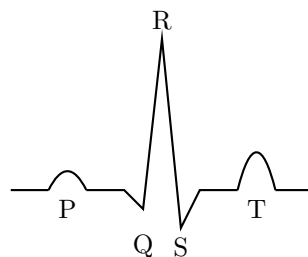


FIGURE 1 – Représentation schématique d'un ECG normal.

4. Quel type de filtre (passe-bas, passe-haut, passe-bande ou coupe-bande) faut-il ? Donnez une valeur approximative de la (ou les) fréquence(s) de coupure.
5. Proposez un gabarit pour le filtre en précisant les valeurs numériques des fréquences. L'ondulation dans la bande passante devra être comprise entre -1 dB et $+1$ dB et l'atténuation devra être supérieure à 60 dB. Si la largeur de la (ou des) bande(s) de transition est trop faible, cela peut conduire à des erreurs numériques : seule la synthèse lors des questions suivantes vous permettra de corriger cette valeur.

Réalisation d'un filtre RII avec la transformation bilinéaire

On rappelle qu'avec la transformation bilinéaire, un filtre RII est conçu à partir d'un filtre analogique obtenu à l'aide d'un gabarit analogique, lui-même construit à partir du gabarit numérique.

6. Déterminez le gabarit du filtre analogique.
7. Rappelez l'expression de la transformation bilinéaire permettant d'obtenir $H(z)$ à partir de $H(s)$.

Nous proposons d'utiliser l'outil graphique *filterDesigner* de Matlab qui permet la conception d'un filtre RII à l'aide de la transformation bilinéaire.

8. Tapez « **filterDesigner** » dans Matlab, puis rentrez les paramètres du gabarit et du filtre dans la fenêtre qui s'affiche. Choisissez la famille permettant d'obtenir l'ordre le plus faible. Cliquez enfin sur le bouton *Design Filter* pour synthétiser le filtre.
9. Vérifiez que le filtre obtenu correspond bien au gabarit numérique en traçant sa réponse en fréquence sur le gabarit.

Pour exporter les coefficients d'un filtre obtenu à l'aide de *filterDesigner*, il faut tout d'abord transformer la structure du filtre : menu *Edit, Convert Structure, Direct Form I, SOS* puis à nouveau *Edit et Convert to Single Section*. Ensuite, cliquez sur *File, Export...* puis exportez les coefficients vers un fichier ASCII (ce qui permet de conserver plus de décimales, donc de précision, que l'exportation vers l'invite de commande). Un fichier `.fcf` est alors créé dans lequel vous pourrez récupérer les valeurs des coefficients en les copiant dans votre script.

10. En analysant le retard de groupe du filtre, indiquez quel est son effet sur le déphasage des fréquences.

Réalisation d'un filtre RIF avec la méthode des fenêtres

11. Donnez, en le justifiant, les types de fenêtres pouvant être utilisés pour la synthèse du filtre numérique.
12. Calculez la longueur des fenêtres qui conviennent.

On choisit alors de ne travailler qu'avec la fenêtre permettant d'avoir l'ordre du filtre le plus faible.

13. Synthétisez le filtre RIF avec *filterDesigner*.
14. Vérifiez que le filtre obtenu correspond bien au gabarit numérique en traçant sa réponse en fréquence sur le gabarit.
15. De même que pour un filtre RII, analysez le retard de groupe du filtre.

Comparaison des filtres synthétisés

16. Comparez les deux filtres synthétisés, notamment sur :
 - leur performance vis-à-vis du gabarit souhaité,
 - leur phase et retard de groupe,
 - leur stabilité,
 - leur encombrement mémoire,
 - leur robustesse par rapport à la précision de leur coefficients,
 - etc.
17. Appliquez ces filtres sur l'ECG et discutez du résultat obtenu, en temporel comme en fréquentiel.