



Contrôle - SE748 - année 2018-2019

Durée 1h30 - Documents et Calculatrice autorisés

Nom :
Prénom :

Date : 31/01/2019
Heure : 13h30

Exercice 1 - Capsule Cardiaque

Nous souhaitons dimensionner et concevoir une capsule cardiaque qui sera fixée dans le ventricule du coeur d'un patient. Cette capsule sera composée de :

- un capteur de battement cardiaque
- un amplificateur
- un convertisseur analogique numérique (CAN)
- un traitement numérique pour éliminer les signaux parasites
- un deuxième traitement numérique qui permet la compression des données

Question 1.1 Quelles sont, selon vous, les deux contraintes principales à respecter pour la conception de cette capsule ?

1.1 Amplificateur

Commençons par considérer l'amplificateur faible bruit (LNA). Cet amplificateur a pour rôle d'amplifier le signal issu du capteur pour rendre sa dynamique égale à la pleine échelle du CAN afin de profiter pleinement de la résolution de ce dernier. Ce signal d'intérêt a une bande passante de 100 Hz et doit être numérisé avec un rapport signal à bruit (SNR) supérieur à 60 dB. Les performances en bruit de cet amplificateur impactent fortement le facteur de bruit total du récepteur. La puissance du signal d'intérêt à l'entrée de notre chaîne est $P_S = -87$ dBm et la puissance du bruit est $P_N = -154$ dBm.

Question 1.2 Calculer le SNR à l'entrée de la chaîne.

Question 1.3 Pour garantir un SNR en sortie du LNA supérieur à 60 dB, quel est le facteur de bruit maximal autorisé pour le LNA ?

1.2 Convertisseur analogique numérique

Intéressons nous à présent au CAN.

Question 1.4 Calculer le nombre de bits nécessaires pour un CAN Nyquist (sans sur-échantillonnage) pour atteindre un SNR de 60 dB sachant que le signal à l'entrée du CAN occupera sa pleine échelle grâce à l'amplification du LNA.

Nous disposons d'un CAN 8 bits échantillonné à $f_e = 3$ kHz.

Question 1.5 Justifier, à l'aide d'un calcul, que ce CAN pourrait être utilisé pour cette application. Cette solution sera retenue pour notre système.

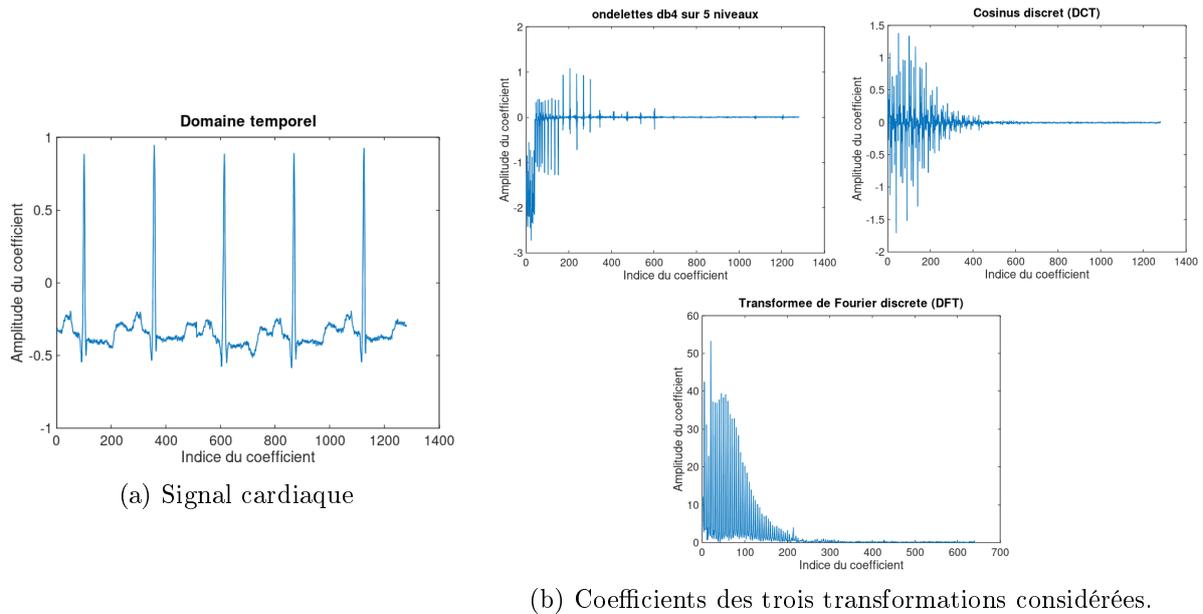


FIGURE 1 – Signal cardiaque et coefficients des trois transformations considérées.

1.3 Filtrage numérique et décimation

Passons à présent au traitement numérique. Nous souhaitons filtrer le bruit de quantification et les signaux parasites hors bande ($f > 100$ Hz) avant de décimer le signal pour passer de 3 kHz à 200 Hz.

Question 1.6 Que se passerait-il si on réalise la décimation sans filtrage passe bas.

Pour réaliser le filtrage passe bas, nous disposons du filtre décrit par la relation de récurrence suivante :

$$y(k) = 0,8 \cdot y(k-1) - 0,2 \cdot x(k-1)$$

Question 1.7 Calculer la réponse impulsionnelle du filtre pour les 5 premières périodes ($0 \leq k \leq 4$). La sortie du filtre $y(k)$ est nulle pour $k < 0$.

Question 1.8 Déterminer la fonction de transfert en \mathcal{Z} du filtre. Etudier sa stabilité.

1.4 Compression des données

Afin de réduire la quantité de données à transmettre vers l'extérieur du corps, on souhaite mettre en place un système d'échantillonnage compressif du signal cardiaque. Les échantillons temporels à la sortie du décimateur échantillonnés à 200 Hz sont représentés sur la fig. 1a.

Pour étudier la parcimonie du signal, plusieurs bases sont considérées. La première est une transformée en ondelettes de type Daubechies-4 sur 5 niveaux. La seconde est une décomposition en cosinus discret (DCT) et la dernière une transformée de Fourier discrète (DFT). Les résultats de ces trois transformations sont illustrés en fig. 1b.

Pour chacune des 4 représentations, une normalisation est réalisée afin d'être comprises dans l'intervalle $[-1; 1]$. Les valeurs des coefficients sont ensuite triées dans l'ordre décroissant. Le résultat est illustré en fig. 2.

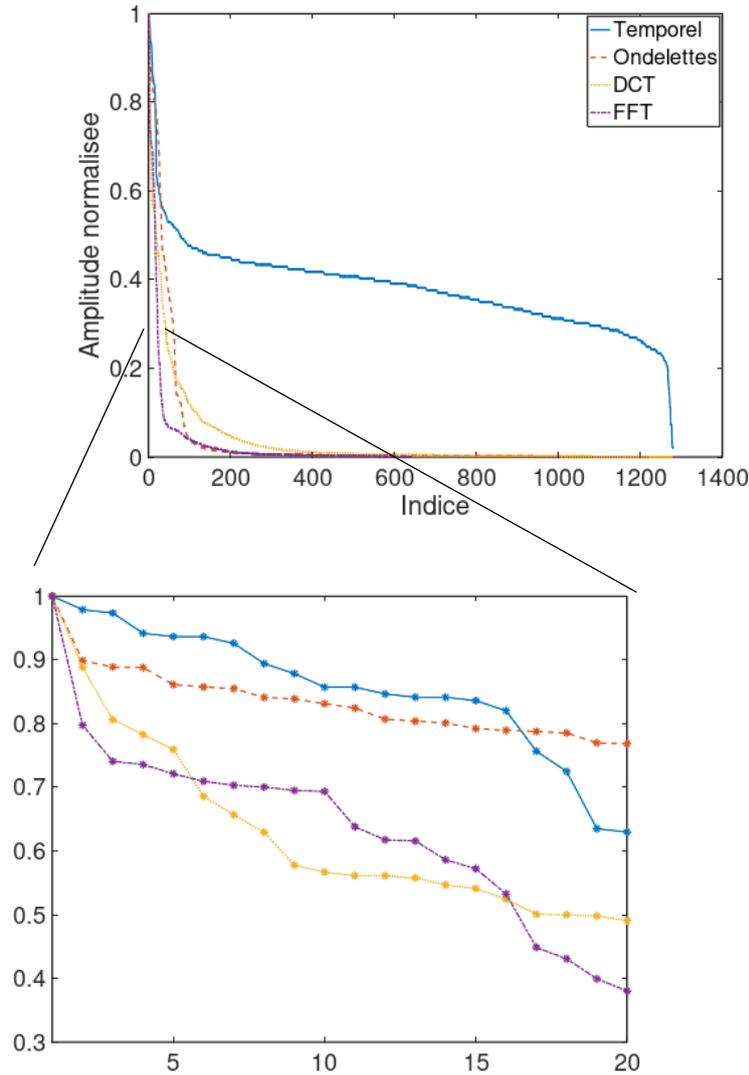


FIGURE 2 – Coefficients normalisés et triés pour les 4 représentations du signal.

Question 1.9 On ne souhaite conserver que les échantillons ayant une grande amplitude et forcer les autres à zéro. Dans quelle base (représentation), le signal est-il le plus parcimonieux si l'on fixe un seuil de 0,7? Dans ce cas, quel est le degré de parcimonie K du signal? Faire apparaître votre raisonnement sur la fig 2.

Question 1.10 Refaire l'étude pour un seuil de 0,4.

1.5 Alimentation et récupération d'énergie

La capsule est alimentée avec une tension de 1,2 V et consomme $12 \mu\text{W}$. On intègre une batterie rechargeable de 1,25 mA·h. Pour des raisons de sécurité, on considère que la recharge est nécessaire quand on atteint 20 % de la capacité de la batterie.

Question 1.11 A partir d'une charge complète, combien de temps la capsule peut-elle fonctionner avant qu'une recharge ne soit nécessaire?

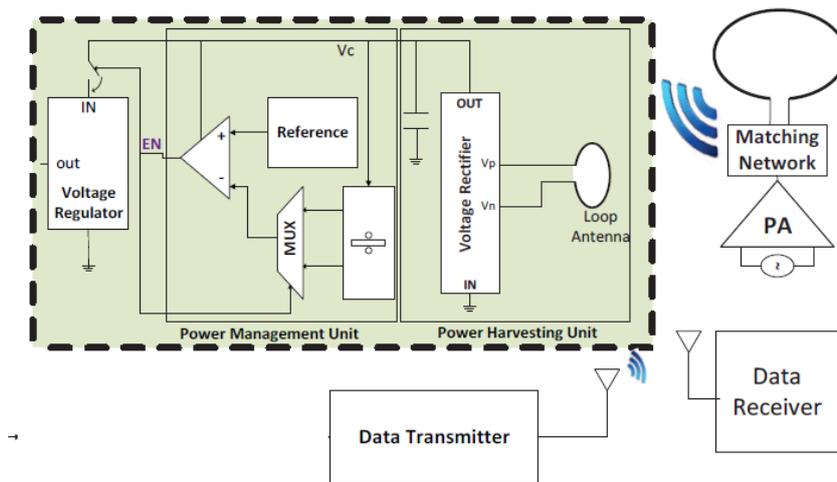


FIGURE 3 – Système de recharge de la batterie

Pour charger cette batterie, on utilise le système de récupération d'énergie de la fig. 3. Le système est composé d'une partie intégrée dans la capsule contenant une antenne boucle et l'électronique pour convertir l'énergie récupérée à une source de recharge continue à 1,2 V régulée. L'autre partie contient un émetteur-récepteur connecté à une antenne boucle. Cette dernière partie est placée sur le torse du patient pour la recharge. Le gain des deux antennes boucle est 3,05 dB. Le rendement de l'électronique de conversion de l'énergie est 50%. La distance entre la capsule et le système de recharge externe est de 8 cm. On utilise un émetteur WiFi centré à 2.45 GHz d'une puissance de 100 mW¹.

Question 1.12 Quelle est temps nécessaire pour réaliser une recharge complète de la batterie ?

1. La vitesse de la lumière $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.