



Contrôle continu - SE208 - 2019-2020

Durée 1h20 - Documents et Calculatrice autorisés

Date : 17/06/2020

Heure : 15h15

## Objectif Alpe d'Huez

*Ceci est une fiction, toute ressemblance avec des faits réels ne serait que pure et fortuite coïncidence.*

Chady, à ne pas confondre avec Chadi, adore faire du vélo. Il aime notamment grimper des cols, cependant à cause de sa surcharge pondérale, il est incapable de suivre le rythme de son ami Patryck. Pour améliorer ses performances et réaliser son objectif de gravir le col de l'Alpe d'Huez en moins de 1h30, Chady a décidé de concevoir et installer un système de capteurs sur son vélo qui inclut :

- Un GPS pour mesurer la vitesse et la position
- Un capteur de cadence pour mesurer la vitesse de pédalage
- Un cardiofréquencemètre pour faire la télémétrie de l'activité cardiaque
- Un système X qu'on gardera secret pour l'instant

### Exercice 1 - Capteur de cadence

Le capteur de cadence est un accéléromètre qui permet de mesurer la vitesse de pédalage moyenne ainsi que l'évolution de la vitesse de pédalage durant le cycle. Il a une bande utile qui s'étale de 0 à 100 Hz. La réponse de l'accéléromètre n'est pas constante en fréquence, elle varie de  $\pm 5$  mV à  $\pm 50$  mV. Le convertisseur analogique numérique utilisé pour la numérisation est un CAN 5 bits avec une pleine échelle de  $\pm 1$  V

**Question 1.1** Que doit on faire dans le domaine analogique pour maximiser la résolution en sortie du CAN ? Utiliser la solution adoptée pour le reste de la partie

**Question 1.2** Sachant qu'il nous faut un rapport signal à bruit de 25 dB dans l'intégralité de la bande utile à la sortie du CAN<sup>1</sup>, calculez la fréquence d'échantillonnage requise pour ce dernier pour assurer cette résolution.

### Exercice 2 - GPS

Intéressons nous à présent au capteur GPS, ce dernier permet de fournir des informations sur la vitesse avec une fréquence de 5 données par seconde. Cependant ces données présentent des variations importantes non représentatives dues aux vibrations transversales et verticales du vélo. Chady souhaiterait en fait avoir une vitesse moyennée sur 1 seconde.

**Question 2.1** Proposer une implémentation non récursive d'un filtre numérique qui permet de réaliser cette opération.

**Question 2.2** Donner la réponse indicielle du filtre  $y_{ind}[n]$  pour  $1000 < n < 1005$ .

**Question 2.3** Proposer une forme récursive pour le filtre. Analyser sa stabilité.

---

1. Vous pouvez approximer l'entrée à une sinusoïde pour ce calcul

**Question 2.4** Proposer une implémentation pour les 2 filtres et comparer brièvement (2-3 lignes) leurs complexités d'implémentation.

### Exercice 3 - Capteur cardiaque

Le troisième élément du système de capteurs est le capteur cardiaque. Ce dernier a pour rôle de faire la télémétrie de l'activité du coeur et de permettre à Chady de rester sous le seuil anaérobie, seuil à partir duquel le corps développe de l'acide lactique entraînant des courbatures musculaires.

On va étudier, dans cette partie, l'impact du bruit sur ce système. Le cahier des charges exige un rapport signal à bruit supérieur à 20 dB à la sortie du capteur pour qu'on puisse faire une acquisition fiable du signal. On sait que 2 types de bruit sont présents à la sortie du capteur, le bruit thermique et le bruit 1/f dit également *flicker noise*. La bande d'intérêt du signal est comprise entre 0 et 50 Hz.

**Question 3.1** Vu que le *flicker noise* a un comportement en 1/f, ceci veut dire que le bruit tend vers l'infini quand la fréquence tend vers zéro, expliquez pourquoi ceci n'est pas un problème pour ce capteur ainsi que pour tous les autres composants électroniques.

A la sortie du capteur, les densités spectrales de puissance (PSD) du *flicker noise* et du bruit thermique sont données par :

$$PSD_{flicker} = \frac{5 \cdot 10^{-10}}{f} \text{ W/Hz} \quad PSD_{therm} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ W/Hz}$$

**Question 3.2** Calculer la puissance de bruit total intégrée sur la bande 1  $\mu$ Hz à 50 Hz.

**Question 3.3** Sachant que le signal utile a une puissance de -30 dBm, calculer le rapport signal à bruit en sortie du capteur. Conclure sur la compatibilité du capteur.

### Exercice 4 - Système X

Ayant très peu confiance en ses capacités physiques, Chady décide de prévoir un système de dopage mécanique<sup>2</sup> qu'il souhaite alimenter en faisant de la récupération d'énergie RF.

Cette énergie n'est pas si rare sur les pentes de l'Alpe d'Huez notamment sur le 7ème virage grâce aux supporteurs hollandais qui ont installé quelques stations de base pour que leurs enfants puissent, entre autre, suivre les cours à distance sur *Collaborate*.

Ainsi, Chady décide de s'équiper du dernier Bibax Assist<sup>3</sup>, illustré Figure 1, qui se compose de différentes pièces dont :

- un contrôleur électronique installé dans le tube de la selle
- moteur de 200 W avec roue libre
- chargeur de batterie externe 33.6 V, 3 A.h
- une batterie Li-ion 30V avec une capacité totale de 3 Ah

**Question 4.1** Quel est le temps de charge théorique de la batterie sur son chargeur externe à la tension nominale de la batterie?

Le système est conçu afin de consommer une puissance électrique de 110 W de manière optimale.

**Question 4.2** Quel est le temps de fonctionnement théorique de l'assistance?

2. pratique évidemment réprimée par la loi et les règlements sportifs dans les compétitions; mais rien n'empêche Chadi d'épater son ami Germin, créateur de montres de sports connectées et de GPS

3. le nom a été modifié pour éviter tout effet de publicité; déjà qu'on avait mentionné Décathlon durant le cours...



FIGURE 1 – Photographies de quelques éléments du Bibax Assist

D'autres batteries sont proposées à la vente par le constructeur. Pour des raisons de contraintes budgétaires et de poids, Chady ne peut s'offrir que la batterie de 3 A·h. Mais, quitte à tricher pour épater la galerie, il décide de trafiquer le contrôleur électronique et règle le système pour une assistance à 200 W. À ce niveau de consommation, sa batterie ne tient que 27 min ; c'est le temps nécessaire pour atteindre le 7ème virage. Le hasard fait bien les choses, c'est l'endroit exact où doit s'opérer la recharge de sa batterie. Il lui reste approximativement 4 km qu'il doit effectuer en moins de 10 min s'il veut égaler le record de l'italien Marco Pantani de 36 min 50 s en 1995. On peut montrer qu'il lui faut juste charger sa batterie à un niveau de 3933 C pour terminer la course au même rythme et sans effort.

Dans le 7ème virage, Chady effectue une trajectoire que l'on supposera parfaitement circulaire. Trois stations de base sont positionnées autour du virage :

- à l'entrée (Antenne A)
- au milieu (Antenne B)
- à la sortie (Antenne C)

comme représenté sur le schéma Fig. 2.

Chaque station est positionnée à 4 m de l'endroit où Chady doit passer.

Chaque station émet à une fréquence de 2.4 GHz et afin de maximiser la recharge de la batterie, la puissance émise est fixée à la PIRE maximum autorisée : 20 dBm. Les stations A et C possèdent des antennes isotropes dont le gain sera considéré égale 6 dB. La station B possède elle une antenne isotrope dont le gain sera considéré égale 3 dB. Le vélo est équipé d'une antenne dont le gain vaut 2 dB.

**Question 4.3** Quel est la puissance reçue au point A, au point B et au point C.

Pour les besoins de cet exercice, nous allons supposer que la puissance reçue, durant la totalité de la trajectoire de Chady dans ce virage, est constante et vaut la moyenne des trois puissances précédentes.

**Question 4.4** En supposant une conversion énergétique idéale des ondes RF en électricité, quel temps faudrait-il pour charger la batterie sous tension nominale ?

**Question 4.5** Listez les degrés de libertés possibles pour accélérer le temps de recharge à distance et discutez la faisabilité d'une telle recharge dans le contexte envisagé en considérant un plus grand nombre d'antennes (un calcul très approximatif sera suffisant).

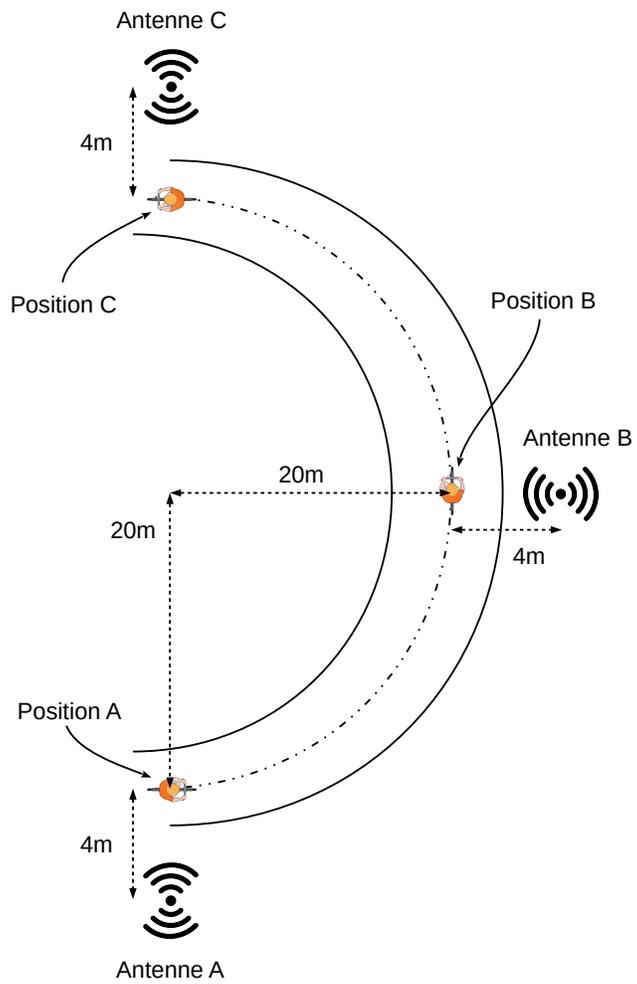


FIGURE 2 – Configuration spatiale des antennes dans le virage (vue de haut)