

Projet signal
Filière Télécommunications, 2ème année, 2021-2022
Exemple d'extraction de signatures de signaux :
première étape d'une approche par machine learning

1 Introduction

1.1 Objectif

Le traitement du signal permet non seulement de manipuler du son, de la parole et de l'audio, mais aussi :

- ✓ d'analyser des signaux biomédicaux,
- ✓ d'aborder des problématiques dans le secteur de l'aéronautique liées aux signaux sonar et radar, à la localisation et à la navigation GPS, à la poursuite de missiles,
- ✓ d'étudier des systèmes de communications mobiles,
- ✓ de mettre en œuvre des systèmes combinant différents capteurs, etc.

Il est à noter que l'extraction de signatures (ou de marqueurs) joue aussi un rôle important dans des approches par machine learning.

L'objectif de ce projet en traitement du signal est de vous familiariser avec l'extraction de signatures (« features » en anglais) de signaux et de mettre en pratique les enseignements fondamentaux de traitement du signal vus en première année et ce premier semestre, notamment en cours de « processus et signaux aléatoires », de « signal continu », de « traitement numérique du signal » et de « filtres numériques et estimation ».

Ce projet vous permet de renforcer vos compétences en traitement du signal en vue d'une découverte de cette thématique ou d'une orientation envisagée pour l'option de 3^{ème} année I2SC.

Le projet sera effectué en binôme pendant quatre séances. Le projet sera mené sous *matlab*.

1.2 Evaluation

L'évaluation du travail repose sur un rapport et une note de travail continu.

Le travail peut être mené en binôme. Le rapport d'une dizaine de pages maximum doit être dactylographié (sous *Word* ou *latex*).

Sous *Word*, les équations doivent être générées avec l'éditeur d'équations et numérotées. Les commentaires doivent être pertinents et tout résultat justifié. Les programmes *matlab* peuvent être mis en annexe. Des références bibliographiques peuvent être introduites et seront regroupées dans une section en fin de rapport.

Le rapport devra également comporter **un bilan de l'organisation** et du déroulement du projet, qui comprendra en particulier la liste des tâches entreprises, avec une évaluation du temps passé par chacun lors de chaque séance et entre les séances.

Des interfaces *Matlab* peuvent être mises aussi en œuvre et seront comptées comme un bonus dans l'évaluation. Dans ce cas, l'envoi des codes par mail sera nécessaire. La qualité du code produit et une bonne organisation seront des points pris en compte pour la note de travail continu.

Une attention particulière devra être apportée à l'orthographe et à la rédaction de l'introduction et de la conclusion. L'introduction doit amener le sujet que vous abordez et

poser le problème. Elle doit enfin présenter le plan de votre rapport. La conclusion doit dresser un bilan technique du travail mené.

Un entretien oral lors de la dernière séance sera pris en compte dans la note. Tout plagiat sera sanctionné, Cf. règlement pédagogique de l'école.

Le rapport sera à déposer sous *moodle*.

1.3 Contacts

Ce projet est encadré par E. Grivel. eric.grivel@enseirb-matmeca.fr

2 Projet à mener

2.1 Introduction

La sélection de signatures permettant de caractériser des signaux joue un rôle clé dans des approches de classification de signaux, notamment en parole, biomédical, etc. On peut certes exploiter l'énergie du signal ou le nombre de passages par zéro, mais cela reste une caractérisation élémentaire du signal.

Dans ce projet, on se propose d'étudier la puissance véhiculée dans certaines bandes fréquence ; c'est notamment utile en biomédical pour l'analyse d'un électrocardiogramme (ECG) ou d'un électroencéphalogramme (EEG). D'un point de vue physiologique, cela permet respectivement de déduire de l'ECG l'influence du système nerveux sympathique ou parasympathique ou de détecter à partir d'un EEG si certaines ondes ont été émises par le cerveau.

2.2 Théorie et pratique

Il s'agit tout d'abord de répondre aux questions présentées dans les 3 sous-sections suivantes ; cela vous permettra de mener à bien le projet.

1. Approche par fft

Question n°1 : Quel est l'intérêt d'un zéro padding ?

Question n°2 : Quel est l'impact d'un fenêtrage rectangulaire sur l'analyse d'un signal sinusoïdal à temps discret ?

Question n°3 : Quel est l'intérêt d'un périodogramme ; quels sont les différents périodogrammes qui ont été développés dans la littérature ?

Question n°4 : Qu'appelle-t-on spectrogramme ? Comment est-il obtenu ?

Action à mener :

Après avoir répondu aux quatre questions, développer un code *matlab* permettant d'estimer la puissance véhiculée par un signal dans une bande de fréquence donnée ; cette bande sera caractérisée par les valeurs f_{\min} et f_{\max} qui seront choisies par l'utilisateur. On supposera la fréquence d'échantillonnage f_{ech} connue.

L'utilisateur pourra avoir le choix entre un spectre de puissance et un périodogramme (parmi ceux existants) ; comme cela a été précisé en cours, il pourra aussi combiner ces approches avec la méthode des rectangles ou la méthode des trapèzes afin d'estimer la puissance véhiculée. Le zéro padding pourra aussi être un degré de liberté proposé à l'utilisateur.

Est-ce que cette méthode est adaptée quand le signal n'est pas stationnaire ? Si ce n'est pas le cas, que proposez-vous de faire ?

2. Approche par méthode de Capon

La méthode de Capon consiste à balayer l'ensemble des composantes fréquentielles du signal étudié et à étudier la puissance associée, en filtrant le signal d'analyse à l'aide d'un filtre causal RIF très sélectif en fréquence et de gain égal à 1 à la fréquence d'intérêt. Ainsi, plus la puissance du signal filtré sera élevée, plus on pourra évaluer la présence ou non de la composante fréquentielle dans le signal.

Question n°1 : Soit la réponse impulsionnelle du filtre définie à partir des coefficients $\{h(k)\}_{k=0,\dots,N-1}$.

Quelle relation satisfait le signal d'entrée réel x , le signal de sortie réel y et la réponse impulsionnelle h du filtre ?

En déduire une expression de y comme le produit de deux vecteurs.

Question n°2 : Trouver une expression de la puissance instantanée du signal de sortie, $E[|y(n)|^2]$, en fonction de la matrice de corrélation du signal d'entrée,

$$R_x = \begin{bmatrix} r_{xx}(0) & \cdots & r_{xx}(1-N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{xx}(N-1) & \cdots & r_{xx}(0) \end{bmatrix}, \quad \text{où } r_{xx}(\tau) \text{ désigne la fonction}$$

d'autocorrélation du signal d'entrée x .

Question n°3 : Exprimer la transformée de Fourier $H(f)$ de la réponse impulsionnelle du filtre RIF en fonction du vecteur $\underline{a}(f) = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \exp\left(-j2\pi(N-1)\frac{f}{f_{ech}}\right) \end{bmatrix}^T$.

Dans le cadre de l'approche de Capon, pour une fréquence f donnée, que doit vérifier $H(f)$?

En déduire une expression de cette contrainte en fonction de $\underline{a}(f)$

Question n°4 : Rechercher les coefficients de la réponse impulsionnelle $\{h(k)\}_{k=0,\dots,N-1}$ permettant de minimiser $E[|y(n)|^2]$ en tenant compte de la contrainte définie à la question n°3.

On précisera pour cela le critère à minimiser en introduisant les multiplicateurs de Lagrange. Ces derniers sont introduits pour résoudre des problèmes d'optimisation sous contrainte.

On donnera l'expression du vecteur colonne \underline{h}_{opt} stockant des coefficients de la réponse impulsionnelle du filtre optimal, puis celle de $E\left[|y(n)|^2\right]$.

Remarque :

Les réponses à ces différentes questions devront être incluses dans le rapport sous la forme d'une section cohérente (Il ne faudra donc pas rédiger le rapport sous la forme « réponse à la question n°1 », etc.).

Après avoir répondu aux quatre questions de cette nouvelle section, développer un code *matlab* permettant d'estimer la puissance véhiculée par un signal dans une bande de fréquence donnée à partir de la méthode de Capon ; cette bande sera caractérisée par les valeurs f_{min} et f_{max} qui seront choisies par l'utilisateur. On supposera la fréquence d'échantillonnage f_{ech} connue comme précédemment.

Il s'agit ensuite de préciser quels sont **les avantages et les inconvénients** de la méthode et d'indiquer l'influence des différents paramètres.

3. Influence d'un bruit blanc additif

Supposons que le signal est perturbé par un bruit blanc Gaussien centré selon un rapport signal à bruit donné. Analyser l'impact de ce bruit sur les méthodes d'analyse spectrale proposées.

Remarque : une fenêtre interactive permettant de charger des signaux et d'effectuer la représentation temporelle et fréquentielle sera considérée comme un bonus dans la notation.