

Projet signal
Filière Télécommunications, 2ème année, 2020-2021
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 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 de caractériser le signal par un jeu de paramètres. Ces paramètres sont tels qu'ils permettent de définir les propriétés statistiques du signal.

2.2 Préliminaire 1 : propriétés des modèles autorégressifs

Question n°1 : Rappelez ce que l'on appelle un *modèle autorégressif* ainsi que les interprétations que l'on peut donner à ce modèle ; soyez le plus précis possible en précisant les propriétés spectrales que l'on peut obtenir avec un tel modèle. En outre, exprimez la densité spectrale de puissance en fonction des paramètres du modèle.

Question n°2 : Proposez un code *matlab* permettant de générer un processus autorégressif d'ordre p . On optera pour un code qui assure que le signal généré ne diverge pas. Pour cela, on précisera comment opérer.

Dans le rapport, vous aurez à fournir une illustration donnant sur une figure décomposée en deux parties situées l'une au-dessus de l'autre. Ces deux parties donneront :

- la représentation temporelle de $N=5000$ échantillons du processus AR généré,
- le spectre de puissance obtenu avec la fonction *fft* ainsi que la densité spectrale de puissance. On optera pour un ordre p égal à 4.

Commentez la figure obtenue.

2.3 Préliminaire 2 : bruiteur le signal selon un rapport signal à bruit donné

Question n°1 : Mettez en œuvre un traitement visant à bruiteur le signal avec un bruit additif pour un rapport signal à bruit (RSB) donné.

Proposez un code *matlab*. On utilisera la fonction *randn* et on définira le RSB en fonction des échantillons du signal et du bruit additif. Les cas suivants sont à tester : -5 dB, 0 dB et 10 dB.

Question n°2 : Fournir, sur une même figure décomposée en deux parties, la représentation temporelle d'une part et le spectre de puissance et la densité spectrale de puissance du processus AR bruité d'autre part.

2.4 Estimation des paramètres AR

- Question n°1 : Présentez la manière d'estimer les paramètres AR en vous appuyant sur un critère de type moindres carrés. Donnez l'expression des paramètres AR en fonction des échantillons du signal.
- Question n°2 : Appliquez votre approche sur l'exemple d'un processus AR que vous avez généré. Commentez les résultats obtenus. Réduisez le nombre N d'échantillons disponibles. Qu'observez-vous ?
- Question n°3 : Appliquez cette approche sur l'exemple d'un processus AR bruité selon un RSB égal à 0 dB. Commentez les résultats obtenus. Expliquez le phénomène observé.

2.5 Paramètres alternatifs : paires de raies spectrales

On se propose dans cette dernière partie de traiter de paramètres alternatifs aux paramètres AR : il s'agit des paires de raies spectrales.

Etant donné les paramètres AR notés $\{a_i\}_{i=0,\dots,p}$ avec $a_0 = 1$, on peut définir d'une part

$A(z) = \sum_{i=0}^p a_i z^{-i}$ et d'autre part les deux polynômes suivants :

$$P(z) = A(z) + z^{-(p+1)} A(z^{-1}) \text{ et } Q(z) = A(z) - z^{-(p+1)} A(z^{-1})$$

- Question n°1 : Déterminer des propriétés des coefficients des polynômes $P(z)$ et $Q(z)$.
- Question n°2 : Trouver d'éventuelles racines évidentes de $P(z)$ et $Q(z)$ dans le cas où p est pair puis p est impair.
- Question n°3 : Montrer que les racines de $P(z)$ et $Q(z)$ sont sur le cercle unité dans le plan complexe. On appelle ces racines les paires de raies spectrales. Quel est selon vous leur intérêt ?
- Question n°4 : Comment retrouver les paramètres AR à partir des racines de $P(z)$ et $Q(z)$?
- Question n°5 : Ecrire un code *matlab* permettant de déterminer et de visualiser les racines des polynômes $P(z)$ et $Q(z)$. Représenter sur la même figure les racines de $A(z)$. Commenter.