

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.

La parole est l'une des applications classiques. Bien qu'elle reste complexe à maîtriser, elle ne requiert pas trop d'expertise *a priori*. L'objectif de ce projet en traitement du signal est de vous familiariser avec des signaux de parole et de mettre en pratique les enseignements fondamentaux de traitement du signal vus en première année et ce premier semestre, notamment le cours de processus aléatoires, de signal continu, de traitement numérique du signal et de filtres numériques et estimation.

Ce projet vous permet de renforcer vos compétences dans le secteur des Télécommunications, en vue d'une découverte de cette thématique ou d'une orientation envisagée pour des options de 3^{ème} année telles qu'I2SC.

Le projet sera effectué en binôme pendant quatre à cinq séances selon les groupes.

Le projet sera mené sous *Matlab*.

1.2 Evaluation

L'évaluation du travail repose sur un rapport, une note de travail continu, la qualité du code fourni et un court entretien oral durant la dernière séance projet.

Le rapport d'une dizaine de pages maximum doit être dactylographié (sous *Word* ou *Latex*). **Le rapport en pdf sera déposé sous Moodle.** Les dates de remise seront renseignées sur *Moodle*.

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 aussi mises 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.

A titre d'exemple voici quelques retours sur la forme du rapport transmis à la promotion l'an passé :

-Attention aux fautes de français ou aux expressions familières qui peuvent être utilisées à l'oral mais doivent être évitées dans un rapport ; dans certains cas, on peut atteindre une trentaine de fautes pour un rapport de quelques pages. Ce n'est pas acceptable. Voici des exemples (à vous de trouver les fautes !) :

- *le nombre d'observation*
- *la largeur du lobe principale*
- *cette approche est peut être aborder en utilisant un spectre de puissance*
- *implémentassions du périodogramme de Welch*
- *on parcours les fréquences*
- *Ces signature sont utilisés*
- *nous avons choisit un ordre de filtre égal à la taille du signal.*
- *estimer la puissance véhiculer*
- *Cette technique a connut un essor important*
- *Ces K segments sont créer avec un recouvrement*

-Dire qu'une méthode est simple ou difficile n'a aucun sens pour le lecteur. Restez factuel. Quelque chose peut être simple pour une personne et difficile pour une autre.

-Evitez l'emploi de "en fait" et "on a affaire avec" qui restent des marques d'expression orale. Evitez des phrases du genre "maintenant on va essayer de..."

-Il n'y a pas de majuscule après une virgule. Attention à l'usage des espaces avant et/ou après les ponctuations ; des règles existent mais varient selon la langue utilisée.

-A la place de "..." dans une liste ou une itération, écrivez ", etc."

-Merci de bien écrire la transformée de "Fourier" et non "la transformée de fourrier".

-Evitez l'emploi d'expressions comme « notre signal » ou « nos échantillons ». On dit plutôt « le signal » ou « les échantillons ».

-Les notations doivent être homogènes : si X est la notation utilisée dans une équation, la même mise en forme doit être utilisée dans le texte si vous souhaitez la mentionner.

-Evitez le copier/coller d'illustrations ou figures qui ont été proposées par d'autres ! Soyez créatifs et personnalisez vos rapports. Evitez cependant des schémas faits sur une feuille puis pris en photo. Vous disposez de logiciels dédiés.

-Les figures doivent comporter un titre et doivent être numérotées. Lorsque vous faites référence à une figure, au lieu de dire "selon la figure ci-dessous", soyez plus précis et indiquez "selon la figure n°..."

-Evitez le mélange de notations propres au code matlab et de notations mathématiques.

Enfin, **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.

1.3 Contacts

Ce projet est encadré par Lucas Steffanutto, lucas.steffanutto@u-bordeaux.fr

2 Projet à mener

2.1 Introduction

Ce projet est consacré au **rehaussement de la parole à partir d'un unique microphone, fondé sur les techniques de soustraction spectrale**. Il s'agit d'une technique classique en traitement du signal.

Pour évaluer la pertinence de la méthode, on dispose d'un signal non bruité que l'on perturbe par un bruit synthétique puis on le rehausse.

D'un point de vue méthodologique, il est préférable d'avancer étape par étape dans un projet de traitement du signal. Pour commencer, on se place dans un cas d'école où le signal de parole non bruité est disponible : il sert de référence. On ajoute un bruit pour générer des observations bruitées. Puis, on traite le signal synthétique obtenu. Cela permet de valider une méthode (ici celle du rehaussement) en analysant ses limites, ses avantages et ses inconvénients. Une fois ce cas d'école mené, les traiteurs de signaux se placent dans des hypothèses de plus en plus réalistes jusqu'à traiter le cas où les données ne sont plus synthétiques, mais réelles.

Dans ce projet, le bruit est supposé aléatoire de nature Gaussienne, centré, blanc et stationnaire au sens large. C'est le cas le plus « simple » du fait des propriétés de corrélation et spectrales. On pourrait ensuite traiter le cas d'un bruit synthétique coloré stationnaire, celui d'un bruit coloré synthétique non-stationnaire et enfin le cas d'un bruit réel.

Afin d'analyser subjectivement la qualité du signal rehaussé, on peut écouter les signaux et donner un avis sur la qualité du rehaussement. Cela donne lieu à des campagnes d'écoute et d'évaluation connues sous le nom de « Mean Opinion Scores ». Pour se faire aussi un avis, on peut représenter les signaux non bruités, bruités et rehaussés dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel. Comme le signal de parole est non-stationnaire, une analyse temps-fréquence du signal est nécessaire. La méthode la plus simple est alors le spectrogramme.

Afin d'analyser objectivement la qualité du rehaussement, on utilisera le gain en rapport signal à bruit, c'est-à-dire la différence en dB entre les rapports signal à bruit avant et après traitement.

Dans la suite, on présente les différentes étapes à mener dans ce projet :

2.2 Bruiter un signal de parole selon un rapport signal à bruit donné

- ✓ Générer un bruit blanc de moyenne nulle et de variance σ^2 ; représenter sa fonction d'autocorrélation théorique et celle estimée à partir de différents estimateurs. Représenter le spectre de puissance d'une réalisation de ce bruit blanc, le périodogramme d'une réalisation et comparer les à la densité spectrale de puissance du bruit. Commenter.
- ✓ Ecrire une fonction *matlab* permettant de :
 - 1/ bruiteur le signal de parole avec un bruit additif pour un rapport signal à bruit (RSB) donné. On définira le RSB en fonction des échantillons du signal et du bruit additif. On testera les cas suivants pour le RSB : 5 dB, 10 dB et 15 dB.
 - 2/ fournir sur une même figure, la représentation temporelle et le spectrogramme du signal de parole original à l'aide de la fonction *subplot*, puis sur une seconde figure la représentation temporelle et le spectrogramme du signal de parole bruité. Les axes

temporels (à savoir les axes des abscisses) doivent coïncider entre la représentation temporelle et le spectrogramme.

- ✓ Dans le rapport, commenter l'allure des spectrogrammes.

2.3 Procédure dite d'addition-recouvrement

Le signal de parole étant non-stationnaire, on peut être amené quand le bruit est aléatoire et/ou non-stationnaire à effectuer un traitement « trame par trame », à l'aide d'un fenêtrage, pour se placer dans des hypothèses de quasi-stationnarité.

Ecrire une fonction *matlab* permettant de :

- 1/ décomposer le signal en trames avec ou sans recouvrement,
- 2/ de reconstruire **exactement** le signal global à partir des trames (à l'exception du début et de la fin du signal). Pour vous assurer que le signal global est exactement reconstruit, partez d'un signal synthétique, appliquez la méthode d'addition-recouvrement et comparez le signal reconstruit au signal d'origine.

Remarque : une réflexion sur le fenêtrage (et notamment le choix de la fenêtre) est ici à mener. Elle devra aussi apparaître dans le rapport.

2.4 Traitement d'une trame d'un signal de parole bruité par un bruit blanc gaussien :

Le principe de la soustraction spectrale revient à estimer l'amplitude du spectre de puissance du signal de parole original à partir du spectre de puissance du signal de parole bruité et de la densité spectrale de puissance du bruit.

Considérons un signal de parole s contaminé par un bruit additif b . La $k^{\text{ème}}$ observation de la fenêtre d'analyse vérifie :

$$y(k) = s(k) + b(k). \quad (2.1)$$

La transformée de Fourier de (2.1) s'exprime alors comme suit :

$$|Y(f)| e^{j\varphi_y(f)} = |S(f)| e^{j\varphi_s(f)} + |B(f)| e^{j\varphi_b(f)} \quad (2.2)$$

où $|Y(f)|$, $|S(f)|$, $|B(f)|$, $e^{j\varphi_y(f)}$, $e^{j\varphi_s(f)}$ et $e^{j\varphi_b(f)}$ désignent respectivement les modules et les phases de la transformée de Fourier à court terme du signal de parole bruité, du signal de parole original et du bruit additif.

Comme le signal et le bruit sont décorrélés, le spectre de puissance du signal de parole rehaussé peut se déduire du spectre de puissance du signal de parole bruité auquel on a retiré une estimation de la densité spectrale de puissance.

Si la soustraction donne une valeur négative, on affecte alors la valeur nulle au spectre de puissance du signal de parole estimé, à la fréquence considérée.

Pour en déduire l'expression du signal dans le domaine temporel, on utilise la transformée de Fourier inverse. Comme on ne dispose que d'une estimation du module $|S_w(f)|$ de la transformée de Fourier du signal, on utilise la phase de la transformée de Fourier du signal bruité afin d'obtenir une approximation de la transformée de Fourier à court terme du signal de parole.

Ecrire une fonction *matlab* correspondant à ce traitement.

Dans la suite on supposera la variance du bruit additif connue. Comment peut-on l'estimer dans la pratique ?

2.5 Combiner toutes les parties

A partir d'un signal de parole échantillonné à 8 KHz (fourni), vous devrez réaliser sous *Matlab* les actions suivantes :

1. Créer le signal bruité.
2. Effectuer le traitement de rehaussement demandé trame par trame, en appliquant sur chaque trame de N échantillons la méthode décrite dans la section 2.4.
 - observer, trame après trame, sur une figure :
 - les représentations temporelles de la trame de parole bruitée, de la trame de parole originale et de la trame de parole rehaussée.
 - les spectres d'amplitude de la trame de parole bruitée, de la trame de parole originale et de la trame de parole rehaussée.
 - On prendra trois couleurs différentes pour les représentations.
 - appliquer la méthode d'addition recouvrement pour reconstruire le signal global et fournir sur une même figure la représentation temporelle et le spectrogramme du signal de parole rehaussé dans sa totalité.
 - recommencer les étapes avec une autre séquence de bruit blanc additif.
3. Effectuer alors une analyse critique des résultats obtenus :
 - calculer le RSB sur les signaux rehaussés (cela est possible dans le cas présent car vous disposez du signal de parole non bruité) ; fournir un tableau récapitulatif des gains en RSB obtenus quand le RSB avant traitement vaut 5dB, 10dB et 15dB. Afin d'avoir une analyse représentative, donner des valeurs moyennées sur un nombre de réalisations jugé suffisant. A l'écoute du signal rehaussé, que pouvez-vous entendre ? Quel phénomène observez-vous ? Expliquez ce phénomène.