

Temps-fréquence instantané

TP Matlab

Thomas Oberlin

ENSEEIH7 3EN TSI

Octobre 2019

1 Introduction

Ce TP a pour but de tester quelques une des méthodes présentées dans ce cours : décomposition en modes empiriques, réallocation, etc. Ce sera également l'occasion d'observer les limites des représentations temps-fréquences traditionnelles. Le TP est découpé en deux parties distinctes, comprenant chacune deux séances de 1h45. Dans la première partie, on se familiarisera avec le signal analytique, et on pratiquera l'EMD et certaines de ses variantes. La seconde partie concernera les représentations temps-fréquence, la réallocation ou le synchrosqueezing.

Pour chaque partie, on partira du script fourni (*ras2_tp.m*), puis on répondra aux questions. On commencera par considérer des signaux synthétiques, et on étudiera ensuite deux signaux réels présentés en cours : la série des températures moyennes mondiales, ainsi qu'un signal gravitationnel.

L'évaluation de ce cours se fera sur les résultats du TP, et grâce à une présentation orale. Les consignes précises sont résumées ci-dessous :

- ◊ Travail en binôme, pendant 4 séances de 1h45
- ◊ Livrables : un court rapport contenant des figures commentées, et le code avec un script de démonstration. A m'envoyer par email dans un fichier zip, avant le 22/10 au soir.
- ◊ Présentation orale le 23/10 14h00 en A202 : 5 minutes de présentation et 5 minutes de questions. Sans rentrer dans les détails, vous présenterez en détail un résultat intéressant obtenu sur un signal réel.

2 Signaux réels étudiés

2.1 Températures moyennes

Les températures mensuelles moyennes mondiales sont une donnée de première importance dans l'étude de l'évolution du climat. Les données pour la période 1851-2012 sont données dans le dossier *data/*, on les chargera en Matlab avec la commande *load_mean_temp.mat*. Une version plus actualisée de ces données peut être téléchargée sur le site <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> de l'université d'East Anglia. On trouvera aussi de nombreuses données en accès libre sur le site de la NASA <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.

2.2 Ondes gravitationnelles

Les projets LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) et Virgo ont été lancés il y a une trentaine d'années pour détecter des ondes gravitationnelles. Le principe consiste à mesurer, aux moyen d'un interféromètre de Michelson, la distorsion de l'espace-temps causée par le passage d'une onde gravitationnelle. De telles ondes sont générées par des événements cosmiques très énergétiques, en l'occurrence, pour les instruments actuels, la fusion de deux trous noirs. LIGO a détecté pour la première fois une onde gravitationnelle le 14 septembre 2015, ce qui a valu à ses fondateurs le prix Nobel

de physique en 2017. Pour plus d'informations sur les détecteurs on pourra consulter la page Wikipédia en Français de Virgo [https://fr.wikipedia.org/wiki/Virgo_\(interféromètre\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Virgo_(interféromètre)).

Vous pouvez charger un signal pré-traité correspondant à l'événement **GW150914** avec la commande `load gw_hanford.mat`. Il s'agit d'un signal assez "propre", même sans analyse temps-fréquence le chirp est bien visible. Les autres signaux, que vous pouvez charger avec la commande `csvread` (cf. `ras2_tp2.m`), sont plus difficiles à analyser. Pour un aperçu des pré-traitement et éventuellement télécharger les données brutes (attention, très bruitées!) vous pouvez consulter <https://losc.ligo.org/events/> et https://losc.ligo.org/s/events/GW150914/GW150914_tutorial.html.

3 TP1 : signal analytique et EMD

Le but ici est de créer des représentations temps-fréquence en utilisant une décomposition de type EMD, ainsi qu'une estimation de l'amplitude et de la fréquence instantanée.

1. Télécharger le code Matlab à `/usr/local/home/toberlin/ownCloud/Enseignement/RAS2/tp_ras2.zip`
2. Exécuter la première section du script `ras2_tp1.m`
3. Changer la valeur de f_0 , qui contrôle la force des modulations. Observer le résultat.
4. Exécuter la deuxième section, qui applique l'EMD sur un signal synthétique formé de 3 composantes
5. Pourquoi le spectre pour ce signal est-il oscillant ? Modifier la fonction `plot_hilbert` pour éviter ce défaut.
6. Ajouter un peu de bruit, et observer le résultat de la décomposition. Pour limiter l'effet du mode-mixing, implémenter et tester la variante appelée *Ensemble EMD* (EEMD) [1]. Le principe consiste à réaliser plusieurs EMDs du signal auquel on aura ajouté un bruit blanc, puis à moyenner ces réalisations. On étudiera en particulier l'influence de la puissance du bruit et du nombre de réalisations.
7. Appliquer ces techniques aux séries temporelles des températures, analyser et commenter les résultats.

4 TP 2 : représentations temps-fréquence et réallocation

On s'intéresse ici aux représentations temps-fréquences vues en cours, la TFCT et la TOC. Pour des contraintes de temps et parce que leurs implémentations diffèrent un peu, nous n'aurons pas le temps de voir les deux, et nous nous concentrerons sur la TOC.

1. Lancer la première section du script `ras2_tp2.m`. Observer les images obtenues. Comprendre le rôle des paramètres γ et nv .
2. Changer la largeur de bande de l'ondelette-mère, et observer les résultats. On pourra aussi utiliser d'autres ondelettes exactement analytiques : les ondelettes de Morse ou l'ondelette Bump (se référer à l'aide de Matlab ou à la fonction `Wsst`).
3. Ajouter du bruit, observer.
4. Implémenter un détecteur de ridges et une méthode de reconstruction à partir du synchrosqueezing.
5. Tester ces approches sur les signaux d'ondes gravitationnelles.
6. Bonus : tester la segmentation basée sur les ridges [2], en utilisant le code disponible à <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/374/2065/20150205.full>.

Références

- [1] Colominas, M. A., Schlotthauer, G., and Torres, M. E. (2014). "Improved complete ensemble EMD : A suitable tool for biomedical signal processing". *Biomedical Signal Processing and Control*, 14, 19-29.
- [2] Meignen, S., Oberlin, T., Depalle, P., Flandrin, P., and McLaughlin, S. "Adaptive multimode signal reconstruction from time-frequency representations". *Phil. Trans. R. Soc. A*, 374(2065), 2016.