

M2 - DFE - Techniques Expérimentales Avancées

Acquisition - Traitement du signal

Romain Monchaux, ENSTA-ParisTech (monchaux@ensta.fr)

Rendez-vous à l'adresse suivante : <http://www.ensta.fr/~monchaux/TEA.html>. Vous y trouverez les scripts Matlab à compléter tout au long du TD ainsi que les signaux à analyser. Les fichiers sont téléchargeables par clic droit sur les liens.

1 Bruit blanc gaussien

1.1 Moyenne, écart-type et densité de probabilité

Ouvrir le script Matlab `M2DFE_TEA_Ex1_BBG_STAT.m` et s'en servir pour traiter les questions suivantes.

Question 1 : Tracez le signal brut dans une figure. Changez l'horizon des abscisses pour zoomer plus ou moins sur ce signal. Décrivez le signal tel qu'il vous apparaît aux différentes échelles.

Question 2 : Nous allons maintenant calculer la moyenne et l'écart-type du signal en utilisant un nombre variable de points. Remplissez le vecteur `NbPt` avec différentes valeurs croissantes pour étudier, sur un exemple, l'influence du nombre de points considérés sur les valeurs estimées de la moyenne et de l'écart-type. Comparez à ce qui a été dit en cours.

Question 3 : Nous allons maintenant estimer la densité de probabilité de ce bruit blanc gaussien.

- Choisissez un nombre de points successifs `NbPt` à prélever dans le signal original.
- Pour chaque valeur choisie, remplissez le vecteur `NbBin` avec cinq valeurs croissantes.
- Exécutez la cellule, vous obtiendrez les cinq densités de probabilités calculées sur `NbPt` points avec `NbBin` intervalles de valeurs.
- Notez le nombre d'intervalles qui vous semble produire le meilleur résultat pour chaque valeur de `NbPt`.
- Synthèse des résultats : tracez ce nombre en fonction de `NbPt`.
- Commentez

1.2 Spectre et auto-corrélation

Question 1 : Nous allons estimer le spectre (la densité spectrale de puissance) du bruit blanc gaussien. Pour ce faire, nous utilisons la fonction `pwelch` qui prend les 6 arguments suivants :

- `Sig1(1:NbPoint)` : le signal restreint à `NbPoint` points
- `Nwindow` : le nombre de points des fenêtres utilisées
- `Noverlap` : le nombre de points de chevauchement entre deux fenêtres successives
- `Nfft` : le nombre de points sur lequel la FFT est calculée
- `'psd'` : un argument constant pour déterminer le type de sortie de la fonction
- `Fs` : la fréquence d'échantillonnage du signal d'entrée

Tracez le spectre du bruit blanc gaussien en utilisant différentes longueurs de fenêtres. Décrivez les spectres obtenus.

Quelle est dans chaque cas la résolution fréquentielle du spectre ?

Expliquez ce qui vous guidera dans le futur pour choisir les arguments de la fonction `pwelch`.

Question 2 : Tracez l'auto-corrélation du bruit blanc gaussien. Effectuez quelques zooms pour analyser le résultat obtenu. Commentez.

2 Étude de trois signaux synthétiques

Ouvrir le script Matlab `M2DFE_TEA_Ex2_3signaux.m` et s'en servir pour traiter les questions suivantes. Pensez à sauver dans chaque cas une figure qui vous semble représentative de ce que vous avez compris/trouvé. Notez bien les valeurs "optimales" des paramètres qui vous ont permis de l'obtenir.

Question 1 : Tracez les trois signaux en fonction du temps. Faites des zooms pour vous faire une idée de leur contenu. Avancez des hypothèses sur leur nature, essayez de deviner comment sera leur spectre, leur densité de probabilité, leur auto-corrélation.

Question 2 : Pour chaque signal, tracez son spectre en jouant sur les paramètres de tracés en vous inspirant de ce que nous avons trouvé dans la partie précédente afin d'avoir une estimation qui vous semble fidèle du spectre du signal considéré. Avez-vous davantage d'idée sur la nature de ces signaux?

Question 3 : Pour chaque signal, n'utilisez que 10^{12} points. Tracez sa densité de probabilité en jouant sur les paramètres de tracés en vous inspirant de ce que nous avons trouvé dans la partie précédente afin d'avoir une estimation qui vous semble fidèle de la PDF du signal considéré. Avez-vous davantage d'idée sur la nature de ces signaux?

Question 4 : Pour chaque signal, utilisez maintenant 10^{20} points (tout le signal). Tracez sa densité de probabilité en jouant sur les paramètres de tracés en vous inspirant de ce que nous avons trouvé dans la partie précédente afin d'avoir une estimation qui vous semble fidèle de la PDF du signal considéré. Avez-vous davantage d'idée sur la nature de ces signaux?

Question 5 : Pour chaque signal, tracez son autocorrélation. Faites à nouveaux des zooms pour être bien sûr de comprendre le résultat que vous avez obtenu. Avez-vous davantage d'idée sur la nature de ces signaux?

Question 6 : Comparez les valeurs des paramètres "optimaux" qui vous ont permis de comprendre la nature des signaux étudiés.

Question 7 : Tirez-en des conclusions sur ce que vous ferez pendant votre stage quand vous analyserez des signaux expérimentaux ou numériques.

3 Analyse de signaux réels

Nous allons ici analyser différents signaux réels en utilisant les grandeurs statistiques que nous venons de découvrir sur les signaux synthétiques.

3.1 Jet turbulent

Nous nous intéressons d'abord au signal d'un jet turbulent capté par un fil chaud. Celui-ci mesure donc la composante de vitesse longitudinale U_x au niveau de l'axe du jet à environ 60 diamètres après la sortie de la buse.

Question 1 : Chargez le fichier `signal_jet` à l'aide la fonction `load` de Matlab.

1. Tracez le signal de vitesse en fonction du temps. Effectuez des zooms sur différents horizons temporels et centrés sur différents instants.
2. Commentez à partir de ces visualisations la stationnarité du signal et son contenu fréquentiel.
3. Calculez la moyenne ($\overline{U_x}$) et l'écart-type ($u_{x_{rms}}$) de la vitesse sur des intervalles temporels de différentes longueur.
4. Commentez les différences obtenues. Le signal est-il stationnaire?

Question 2 : Calculez le spectre du signal de vitesse pour le signal complet.

1. Quelle est la résolution fréquentielle de ce spectre?
2. Commentez le spectre obtenu, en particulier ses bornes

Question 3 : Calculez le spectre du signal de vitesse pour des longueurs de fenêtres (*i.e.* des résolutions fréquentielles) différentes.

1. Commentez les spectres obtenus et comparez les à celui obtenu pour le signal complet.

Question 4 : Tracez l'auto-corrélation et la PDF du signal de jet. Discutez les résultats obtenus. Comparez aux signaux synthétiques de l'exercice précédent.

3.2 Sillage

Nous nous intéressons maintenant au signal d'un sillage turbulent capté par un fil chaud. Celui-ci mesure donc la composante de vitesse longitudinale U_x au niveau de l'axe du sillage à environ 10 diamètres après le cylindre.

Question 1 : Chargez le fichier `signal_cylindre.txt` à l'aide la fonction `load` de Matlab.

1. Tracez le signal de vitesse en fonction du temps. Effectuez des zooms sur différents horizons temporels et centrés sur différents instants.
2. Commentez à partir de ces visualisations la stationnarité du signal et son contenu fréquentiel.
3. Calculez la moyenne ($\overline{U_x}$) et l'écart-type ($u_{x_{rms}}$) de la vitesse sur des intervalles temporels de différentes longueur.
4. Commentez les différences obtenues. Le signal est-il stationnaire?

Question 2 : Calculez le spectre du signal de vitesse en utilisant pour des longueurs de fenêtres (*i.e.* des résolutions fréquentielles) différentes. Calculez la PDF et l'auto-corrélation du signal.

1. Commentez les différents résultats obtenus.

3.3 Signal de gong

Nous nous intéressons maintenant au signal de pression produit par un gong forcé par un système bobine aimant oscillant de façon sinusoïdale à une fréquence f_0 donnée.

Question 1 : Chargez le fichier `gong_force.wav` à l'aide la fonction `wavread` de Matlab. Cette fonction retourne également la fréquence d'échantillonnage du signal ainsi que le nombre de bits utilisés pour la discrétisation.

1. Tracez le signal de pression ainsi que le signal de forçage en fonction du temps.
2. Calculez la moyenne (\overline{p}) et l'écart-type (p_{rms}) de la pression sur des intervalles de 1 seconde.
3. Le signal est-il stationnaire?

Question 2 : Calculez le spectre du signal de réponse en pression pour le signal complet ($K = 1$).

1. En jouant sur le zoom en fréquence et sur l'échelle (lin ou log) de la DSP, commentez le contenu du signal de réponse en pression.

Question 3 : Calculez le spectre du signal de réponse en pression et celui du forçage à une résolution de 5 Hz sans recouvrement.

1. Quelle est la résolution temporelle associée?
2. Est-il possible d'augmenter la résolution temporelle?
3. Étudiez la réponse en pression. Que se passe-t-il dans le système?
4. Étudiez le forçage. Trouve-t-on ce à quoi on se serait attendu? Si non, proposez une explication.