Année 2021 - 2022

TD ETRS 802_ESET

Traitement numérique du Signal

Analyses de signaux et études de systèmes sous Matlab

<u>Objectifs d'apprentissage</u> :

- **Tracer les signaux temporels en utilisant les bonnes échelles, les analyser.**
- **Manipuler les concepts liés à l'échantillonnage de signaux.**
- **Etablir les bonnes échelles fréquentiels connaissant la période d'échantillonnage et les durées des signaux.**
- **Calculer, tracer et analyser les transformées de fourrier des signaux.**

<u>Objectifs du TD :</u>

PARTIE 1

- **Extraire un signal utile enfoui dans du bruit à l'aide d'un filtre RII :**
  * Analyses temporelle et spectrale d'un enregistrement audio bruité à l'aide de ***Matlab***.
  * Synthèse du filtre RII et test de filtrage sous ***Matlab***.

PARTIE 2 (si le temps le permet)

- **Construction de signaux carré de fréquence 440 Hz et 880 Hz à partir des harmoniques disponibles dans l'enregistrement audio bruité fourni. *(Clin d'œil à Fourier et à son développement en série)***
  * Analyses temporelle et spectrale de l'enregistrement audio bruité à l'aide de ***Matlab*** pour établir le DSF (développement en série de Fourier) approprié.
  * Synthèse et tests sous ***Matlab*** des éléments nécessaires à la construction des signaux carré.

PARTIE 1 : *EXTRACTION D'UN SIGNAL UTILE ENFOUI DANS DU BRUIT*

Dans cette partie sont fournis,
* 2 fichiers ***script MATLAB*** au format ***.m*** :

- Le fichier **FiltrageBruitRII.m** qui sera à **COMPLETER** en fonction des questions ci-après posées.

* 2 fichiers sons au format .***wav*** :

- Le fichier **EnreAudioBruite16Bits_1.wav**.
- Le Fichier **EnreAudioBruite16Bits_2.wav**.

Activités du TD - Partie 1

1) Ecoutez les deux enregistrements audio fournis au format ***.wav*** en lançant les fichiers dans un lecteur multimédia***.***
Ces enregistrements sont-ils intelligibles ?

2) Chargez les données audio (enregistrement audio le plus intelligible) dans la variable « **EnrAudio** » sous MATLAB à l'aide de la commande « ***audioread*** » dans le script **FiltrageBruitRII.m** fourni. L'utilisation de cette commande (ainsi que toutes celles dont vous aurez besoin) est à comprendre avec l'help de ***Matlab***.
En déduire la fréquence Fe d'échantillonnage de l'enregistrement audio et le nombre de points NbPoint le constituant ?

3) Tracez (commande « ***plot*** ») le signal audio dans le domaine temps avec les bonnes échelles.
Commentez le résultat observé au regard de la question 1 et d'autres considérations que vous jugerez pertinentes?

4) - Calculez une image de la transformée de Fourier (TF) de l'enregistrement audio par TFD (TF discrète) (commandes «***fft*** » et « ***fftshift***»).
- Tracez le module et la phase de la TF dans le domaine fréquentiel avec les bonnes échelles.
Commentez le résultat observé au regard des questions 1 et 3 et d'autres considérations que vous jugerez pertinentes ?

5) On veut récupérer les harmoniques que vous avez pu observer sur le spectre en éliminant le bruit.
Quel type de filtre est nécessaire ?
Quelle doit être approximativement la fréquence de coupure du filtre ?

****** A CETTE ETAPE DU TD => FAIRE VALIDER PAR L'ENSEIGNANT LE TRAVAIL EFFECTUE ******

Pour les questions qui suivent, quelques rappels sont donnés en annexe 1 concernant les filtre RII.

6) - Synthétisez un filtre RII de votre choix (Butterworth, Chebychev, etc….) (commandes « ***butter*** », « ***cheby1*** », etc……).
- Tracez le module et la phase de la fonction de transfert du filtre pour vérification (commande « ***freqz »***).
Commentez les résultats obtenus, notamment sur les deux grandeurs : module et phase?

Faites quelques essais en changeant l'ordre du filtre ou son type (Butterworth, Chebychev, etc….) : commentaires ?

7) - Appliquez votre filtre RII à l'enregistrement audio bruité (commande «***filter »***).
- Tracez le signal audio obtenu après filtrage dans le domaine temps ainsi que son spectre (module et phase) dans le domaine fréquentiel avec les bonnes échelles.
Commentez les résultats observés : en comparant les signaux et les spectres avant et après filtrage, au regard d'autres considérations que vous jugerez pertinentes ?

8) - Enregistrez le signal audio obtenu après filtrage dans un fichier au format ***.wav*** à l'aide la commande « ***audiowrite*** ».
- Ecoutez le signal audio obtenu et ceux (**EnreAudioBruite16Bits_1.wav** et/ou **EnreAudioBruite16Bits_2.wav**) que vous aviez avant filtrage.
Commentaires sur la restitution du signal ?

****** A CETTE ETAPE DU TD => FAIRE VALIDER PAR L'ENSEIGNANT LE TRAVAIL EFFECTUE ******

<u>PARTIE 2 :</u> CONSTRUCTION DE SIGAUX CARRE DE FREQUENCE 440 Hz et 880 Hz A PARTIR DES HARMONIQUES DISPONIBLES DANS L'ENREGISTREMENT AUDIO BRUITE FOURNI

Dans cette partie, vous créerez vous-même le fichier au format .m pour l'analyse sous Matlab en vous inspirant de la première partie.

<u>Activités du TD - Partie 2</u>

1) En vous appuyant sur l'annexe 2 (rappels sur les développements en série de Fourier) et en examinant le spectre de l'enregistrement audio 1 fourni au format ***.wav, que faudrait-il faire pour construire un signal carré de 440 Hz et un autre de 880 Hz à partir de cet enregistrement audio?***
(au moins deux solutions possibles ………)

****** A CETTE ETAPE DU TD => FAIRE VALIDER PAR L'ENSEIGNANT VOTRE ANALYSE DU PB ******

2) - En suivant la procédure que vous aurez proposez en réponse à la question précédente, **réalisez un code Matlab qui permet de créer les deux signaux carré.**
- Testez l'application e**t tracez les deux signaux sur le même graphe temporel.**

3) **Les signaux 440 et 880 Hz sont-ils synchrones CAD en phase ?**
S'ils ne le sont pas expliquez pourquoi en donnant votre analyse du PB à l'enseignant ?

4) Si les signaux ne sont pas synchrones, que faut-il faire pour qu'ils le soient ?
Proposez votre solution à l'enseignant pour qu'il la valide.

5) Réalisez l'application Matlab qui créée les deux signaux 440 Hz et 880 Hz de manière synchrone ?

ANNEXE 1

Les filtres numériques RII (ou IIR en anglais) sont des filtres à Réponse Impulsionnelle Infinie. Ils sont caractérisés par une équation de récurrence à coefficients constants liant la sortie du filtre y(n) à l'entrée x(n) telle que :

$$y(n) = \sum_{i=0}^{Q} b(i)\, x(n-i) - \sum_{k=1}^{P} a(k)\, y(n-k)$$

La fonction de transfert en Z associée à cette équation de récurrence est alors :

$$H(Z) = \frac{\sum_{i=0}^{Q} b(i)\, Z^{-i}}{1 + \sum_{k=1}^{P} a(k)\, Z^{-k}}$$

Nota : les coefficients b(i) sont les coefficients associés au numérateur de la fonction de transfert en Z et les coefficients a(k) ceux associés au dénominateur de La F de T en Z. Q et P représentent le nombre total de coefficients associés respectivement au numérateur et au dénominateur.
Bien souvent Q = P. L'ordre du filtre sera donné par P ou Q.

ANNEXE 2

Toute fonction périodique f(t), de période $T = 1/F = 2\pi / \omega$ peut se décliner sous la forme d'une somme de sinusoïdes et de cosinusoïdes de fréquences multiples de F ; f(t) est donc décomposable sur une base de fonctions $\sin(\omega t)$ et $\cos(\omega t)$ indépendantes et orthogonales (l'intégrale de leur produit scalaire est nulle)

La fonction périodique f(t) est alors telle que :

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\,\omega\,t) + b_n \sin(n\,\omega\,t)$$

a_0, a_n et b_n constituent les coefficients de Fourier tels que :

$$a_0 = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} f(t)\,dt \qquad a_n = \frac{2}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} f(t)\cos(n\,\omega\,t)dt \qquad b_n = \frac{2}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} f(t)\sin(n\,\omega\,t)dt$$

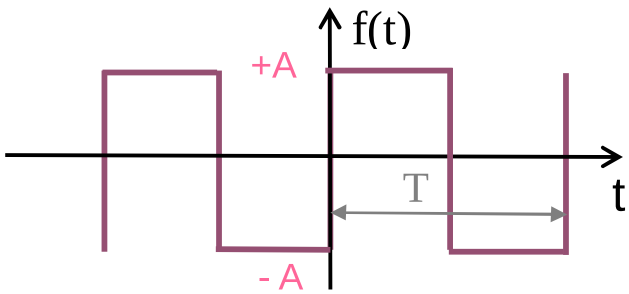
Si f(t) est paire alors

$$a_n = \frac{4}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} f(t)\cos(n\,\omega\,t)dt \qquad et \qquad b_n = 0$$

Si f(t) est impaire alors

$$a_0 = 0 \qquad a_n = 0 \qquad et \quad b_n = \frac{4}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} f(t)\sin(n\,\omega\,t)dt$$

Soit le signal carré de fréquence 440 Hz suivant :



Avec A = 1 et T = 2.27 ms (F = 440 Hz).

Les coefficients de Fourier de la décomposition de f(t) en série sont alors tels que :

$$a_0 = 0 \qquad a_n = 0 \qquad et \quad b_n = \frac{2\,A}{n\,\pi}\,[1 - \cos(n\,\pi)]$$