

Pour ce TP, lors de l'écoute des signaux audios vous devez utiliser des écouteurs

1. Introduction et éléments théoriques

Introduction

Dans ce TP nous allons caractériser les signaux audio. Plusieurs fichiers préenregistrés sont à votre disposition sur Moodle. Vous pourrez également utiliser vos propres fichiers sons. Dans ce cas vous devez impérativement utiliser des fichiers au format WAV non compressé appelé également PCM. Vous ne pouvez pas utiliser des fichiers compressés tel que le format MPEG3.

Selon les individus, l'oreille peut entendre les sons dans la gamme de fréquence 20Hz à 20kHz. Néanmoins, la plupart des individus n'entend pas au-delà de 15kHz.

Par ailleurs, lorsqu'on enregistre un son la bande de fréquence peut être réduite, par exemple pour optimiser la taille de l'enregistrement ou du fait de la qualité du système de prise de son : microphone, amplificateurs, système d'enregistrement.

De même, lorsqu'on écoute un son la bande de fréquence réellement diffusée par le casque ou les enceintes peut elle aussi être réduite du fait de la qualité du système de restitution : lecteur, amplificateurs, casque ou enceintes.

Enfin, la bande de fréquence entendue dépendra également des oreilles des auditeurs.

Éléments théoriques

Comme expliqué en cours un signal $s(t)$ peut aussi être représenté dans un espace dual à l'espace temporel, l'espace fréquentiel. La transformation de Fourier est l'outil mathématique qui permet de passer d'une représentation à l'autre : $s(t) \leftarrow \text{transformation de Fourier} \rightarrow S(f)$

Cette transformation exprime le fait que tout signal temporel peut s'écrire comme une somme de signaux sinusoïdaux.

Le signal $S(f)$ est appelé représentation fréquentielle du signal $s(t)$. $S(f)$ est un signal complexe. A une fréquence f_1 , $|S(f_1)|$ représente le « poids » du terme $\cos(2 \pi f_1 t + \varphi_1)$ dans la somme, et $\varphi_1 = \text{Arg}(S(f_1))$.

Si l'on trace $|S(f)|$ on voit donc le poids des différentes fréquences dans le signal $s(t)$. L'argument de $S(f)$ représente la phase de ces fréquences. Dans ce TP on ne s'occupera que du module de $S(f)$.

Souci :

La théorie de Fourier nous dit que pour calculer $S(f)$ il nous faut connaître entièrement $s(t)$, c'est-à-dire de $-\infty$ à $+\infty$.

Conséquence, si un signal (un morceau de musique par exemple), commence par une mélodie grave (à basse fréquence) puis continue par une mélodie haut perchée alors $|S(f)|$ aura une valeur importante aux basses fréquences de la mélodie du début ET aux hautes fréquences de la fin. Même si on n'a pas à la fois les deux mélodies. $S(f)$ est une représentation « globale » de $s(t)$. C'est-à-dire une représentation de $s(t)$ de $-\infty$ à $+\infty$.

Solution : Découper $s(t)$ en morceaux en utilisant une fenêtre temporelle glissante et calculer la représentation fréquentielle de chacun des morceaux de $s(t)$.

On obtient alors un spectrogramme : une représentation fréquentielle variable dans le temps d'une partie du signal.

2. Astuces techniques « Linux » pour ce TP

La commande `file` permet d'afficher des informations sur le contenu des fichiers (type, codage, métadonnées, ...).

La commande `soxi` affiche spécifiquement les informations des fichiers audio.

La commande `sox` permet de modifier des fichiers audio. Par exemple, `sox in.wav out.wav trim 0:42 0:3.1415` extrait 3,1415 secondes du fichier `in.wav` à partir de la seconde 42 et crée le fichier `out.wav`.

3. Analyse fréquentielle

1. Charger la simulation spectrogramme-son n°1 et le fichier 32768.wav. Ce fichier contient un court extrait d'un morceau de musique (0,7s).
2. Lancer la simulation et relever la représentation spectrale du son. Dans la simulation, le bloc « Frequency Sink » est paramétré pour prendre en compte tout le signal.
3. Ecouter le son. Entendez-vous qu'il n'est pas monotone ? Expliquez les variations du son que vous entendez.

Pour faire travailler GnuRadio avec une fenêtre glissante il faut un signal plus long. Charger alors le fichier 10s.wav, écouter le son puis modifier la simulation pour utiliser ce son.

4. Visualiser et commenter le spectrogramme pour 32768 points (FFT Size) soit 0,7 s.
5. Changer le réglage du « Frequency Sink » pour le faire travailler sur une fenêtre d'environ 0,1 s soit 4096 points. Visualiser et commenter le spectrogramme.
6. Le bloc Waterfall Sink permet de visualiser le spectrogramme en fonction du temps. Ajouter ce bloc, configurer FFT Size et Spectrum Width comme dans le bloc précédent. Adapter le jeu de couleur pour augmenter la lisibilité de la courbe.
7. Relevez et commentez le spectrogramme. Vous vous limiterez aux 10s que dure le son. Vous devrez donc adapter le programme. Pensez à ajouter un bloc Throttle pour synchroniser le temps de calcul au temps réel.
8. Le fichier complet.wav contient tout le morceau. Faites l'analyse fréquentielle à fenêtre glissante. Prendre les captures d'écran pertinentes, commenter en ayant écouté le morceau.
9. Comparer les spectrogrammes des deux prises de son de djembé : `djembe.wav` et `djembe2.wav`.

4. Filtrage

Charger le schéma `filtrage_audio` et choisir un morceau de musique comme signal d'entrée. Attention à être cohérent dans le paramétrage de la fréquence d'échantillonnage.

Le schéma proposé cascade deux filtres de fréquences de coupure réglables. Le premier est un passe-bas de fréquence de coupure f_b , le second est un passe-haut de fréquence de coupure f_h .

1. Dans un premier temps régler les fréquences de coupure pour ne rien couper ! Expliquer comment vous faites. Écouter le morceau et visualiser le spectrogramme.
2. Couper les fréquences au-delà de 5kHz. Expliquer comment vous faites. Écouter le morceau, visualiser le spectrogramme. Expliquer ce qu'il se passe. Faire le lien entre l'analyse fréquentielle et la perception auditive.
3. Programmer la cascade pour laisser passer le signal entre 300 Hz et 3400 Hz (norme de la téléphonie traditionnelle). Expliquer comment vous faites. Écouter le morceau, visualiser le spectrogramme. Expliquer ce qu'il se passe. Faire le lien entre l'analyse et la perception.
4. Tester d'autres réglages pertinents et les commenter.

5. Bruit et filtrage

Remplacer le son par un générateur de bruit : « noise source ». Laisser les paramètres par défaut sauf le type de sortie.

1. Quel est le spectrogramme de ce bruit. Activer le moyennage dans l'analyseur de spectre. Relever le « spectre moyen » du bruit.
2. Un tel bruit est appelé bruit blanc, pourquoi selon vous ?
3. Relever le spectre moyen en sortie du filtre pour $f_b=10\text{kHz}$ et $f_h=1000\text{Hz}$.
4. Modifier les largeurs de transition des filtres, mettre 1000Hz. Relever le spectre moyen en sortie du filtre. Quel lien a-t-il avec la fonction de transfert harmonique du filtre. Expliquer pourquoi.
5. Relever quelques exemples pertinents.