

Série supplémentaire d'ICC théorie : signaux

Le but de cette série est d'apporter un complément pratique et expérimental à la partie introductive aux signaux abordée dans le cours.

Il vous a été fourni un logiciel sous forme de page web qui vous permettra de faire vos expérimentations en suivant cette série. Attention ! N'utilisez pas un volume sonore trop élevé, au risque d'endommager de manière potentiellement grave et irréversible votre ouïe.

Coup d'œil

Lancer tout d'abord votre logiciel.

En haut vous pouvez ajouter des ondes sonores en réglant la fréquence et l'amplitude de 0 (non compris) à 1. Les ondes sonores sont affichées dans le petit résumé en haut à gauche de la page.

Vous pouvez réinitialiser la somme des signaux avec le bouton «Réinitialiser»

Sur le premier graphe, la somme des signaux ajoutés est visualisables. Il est affiché et donc calculé pour la période entre 0 et 1 seconde, afin qu'il ne soit pas possible de se perdre dans le graphe. En dessous, un slider vous permet de régler le zoom. Le nombre à droite en millisecondes est le temps maximal affiché dans le graphe.

Vous aurez plus tard la possibilité d'activer un échantillonneur en cochant la case correspondante et en réglant la fréquence d'échantillonnage et d'activer un filtre à moyenne mobile en cochant la case correspondante et en réglant la période du filtre. Le résultat de l'échantillonnage s'affichera dans le deuxième graphe.

Vous pouvez entendre les résultats en appuyant sur la première touche « Jouer » et la seconde touche « Jouer » de, respectivement, la somme des signaux avec un éventuel filtre et de la somme reconstituée des signaux.

Premiers sons

Pour chacune de ces notes :

Note	Fréquence [Hz]
Do	262
Ré	294
Mi	330
Fa	349
Sol	392
La	440
Si	494

Ajouter la fréquence correspondante, faites la jouer et observer sa tonalité, puis réinitialiser.

Qu'observez-vous ?

Plus la fréquence est élevée, plus la note est aiguë. Ainsi, une note grave aura moins d'oscillations qu'une note aiguë pour la même période. Toutes ses notes sont des sinusoïdales.

La trop haute note

Mettez seulement une sinusoïdale à 1 kHz. Qu'observez-vous en changeant l'échelle ?

À 1000 ms, on ne voit rien sur le graphe car il n'est pas possible pour le programme de représenter autant d'oscillations. On note en outre que la note est très aiguë. Quand on change l'échelle, donc quand on représente moins d'oscillations, il est possible qu'elle soit dessinée.

Humain...

Écoutez une sinusoïdale à 440 Hz, puis réinitialiser et ajoutez-en une à 200 Hz, donc bien plus grave. Finalement, recommencez à 1 Hz donc vraiment plus grave. Que constatez-vous ?

La note à 200 Hz est en effet plus grave. Par contre, la note est à 1 Hz ne semble pas plus grave. On n'entend rien, à la rigueur un léger acouphène. En réalité, cette note, si elle existait, serait très grave. Un humain ne peut entendre un son à pareille fréquence mais dû à d'éventuels problèmes d'audition, la qualité de votre ordinateur, la limitation de la carte son, du navigateur web ou du programme, on peut entendre tout de même un son.

OVNI

Maintenant, ajoutez une sinusoïdale à 440 Hz et une autre à 432 Hz en même temps. Il est recommandé de zoomer jusqu'à environ 270 ms. Comment la forme totale affichée sur le graphe change-t-elle par rapport à une sinusoïdale simple ? Qu'entend-t-on ?

On voit maintenant des oscillations elles-mêmes composées d'autres oscillations. On note le bruit d'un objet qui tournerait sur lui-même. Ce phénomène est dû à l'effet Doppler. Ce genre de sons mystérieux a souvent été utilisé dans des films de science-fiction au milieu du siècle dernier.

Bruits

Le bruit est un phénomène apparaissant à de nombreux niveaux en audio. Nous allons maintenant en simuler. Zoomer vers 50 ms et ajouter un La, c'est-à-dire une fréquence de 440 Hz et une amplitude de 1, et écoutez-le. Maintenant, ajoutez du bruit par-dessus: on mettra une sinusoïdale de fréquence de 1 kHz et une amplitude de 0.1 avec une autre sinusoïdale de fréquence de 1.5 kHz et une amplitude de 0.2. Écoutez la différence. Comment varie le graphe ?

On note l'apparition d'irrégularités et de nouvelles périodicités. La courbe n'est plus une belle sinusoïdale. En l'écoutant, on constate une différence significative.

Filtre à moyenne mobile

Maintenant, en se basant sur la configuration de l'exercice précédent, quelle est la période T_c du filtre à moyenne mobile qui permettrait d'atténuer le bruit désagréable et retrouver plus au moins notre La ?

Notre note est à 440Hz et les perturbations sont à 1 kHz et 1.5 kHz, il faut donc une fréquence pour le filtre f_c entre 440Hz et 1kHz. On choisira $T_c = 0.001$ secondes ce qui, en plus, joue bien à l'écoute. En écoutant avec le filtre et sans le filtre, on note une différence significative.

Défauts des filtres à moyenne mobiles

Pour une sinusoïdale à 440Hz, régler un filtre à moyenne mobile de période $T_c = 0.001$ s. Que remarquez-vous ?

Il y a apparition d'un déphasage et une perte d'amplitude sur le signal, même si $T_c < 1/440$.

Échantillonnage

Ajoutez simplement une sinusoïdale de 200 Hz. Ensuite, régler la fréquence d'échantillonnage à 600 Hz. Écoutez le son original et le son reconstruit puis commentez.

On remarque que le son a correctement été reconstitué et on ne peut pas remarquer la différence entre les deux audios.

Sous-échantillonnage

Pour une sinusoïdale de 200 Hz avec une autre sinusoïdale de 150 Hz, régler la fréquence d'échantillonnage à 800 Hz, puis idem avec une fréquence d'échantillonnage à 300 Hz et finalement de même avec une fréquence d'échantillonnage à 120 Hz. Que constatez-vous ?

Pour 800 Hz, on conserve le signal d'entrée. Mais on constate que les autres fréquences d'échantillonnage proposées dans cet exercice sont en dessous du double de la plus grande fréquence que l'on souhaite conserver, en l'occurrence 200 Hz et donc il y a perte de qualité. Pour 300 Hz, le signal est le incorrectement reconstruit et à 120 Hz, il est simplement mal reconstruit.

Imprécisions inhérentes à l'échantillonnage dans un domaine fini

Maintenant, mettez une sinusoïdale à 450 Hz et échantillonnez à 1 kHz. Observez les graphes avec le zoom à 1000 ms, puis à environ 512 ms. Commentez. Recommencez avec une sinusoïdale à 499 Hz au l'effet sera extrêmement marqué.

On remarque que même si la fréquence d'échantillonnage est suffisamment grande, le signal n'est pas parfaitement reconstruit. La raison est que l'échantillonnage n'est pas infini. Avant le temps 0 ms et après le temps 1000 ms, aucun échantillon n'est pris ce qui influence et nuit à la reconstruction. Plus la fréquence d'échantillonnage est grande moins cet effet est présent.