

Traitement du signal temps-réel

SEATECH IRIS 2ème année

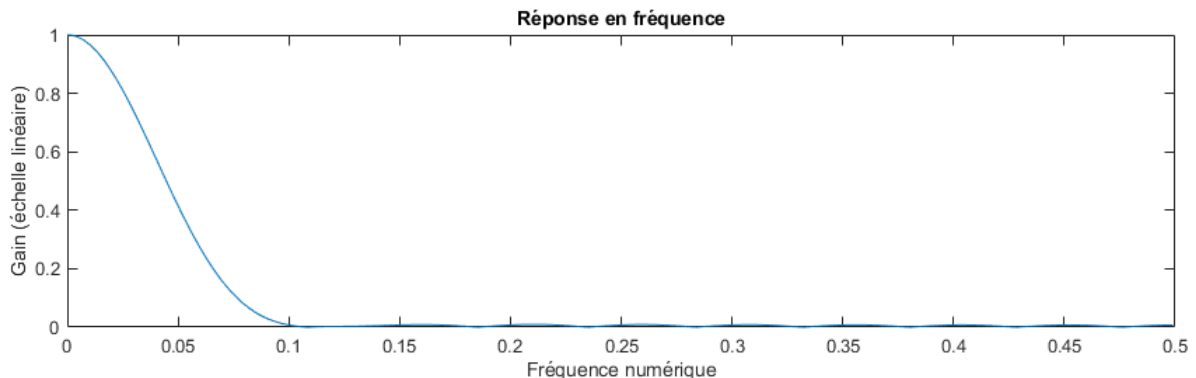
TP 4 : Modulation sur fréquence porteuse

1 Boucle à verrouillage de phase

La boucle à verrouillage de base est un composant essentiel pour réaliser la démodulation cohérente d'un signal. Dans cette section, l'objectif est d'implémenter un traitement qui prend en entrée un signal pseudo-périodique et qui génère, en sortie, une sinusoïde dont la fréquence et la phase sont calées sur celles du signal d'entrée. L'implémentation suit la méthode présentée en cours. La fréquence porteuse est fixée à 4000 Hz et la constante de boucle est fixée à $a = 0.05$. Le filtre de boucle est défini comme suit :

- RIF passe-bas à phase linéaire d'ordre 20
- Fréquence de coupure numérique 0.2

Afficher la réponse en fréquence. On doit obtenir ceci :



Implémenter le traitement pour des blocs de taille 512 échantillons. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'utiliser l'affichage spectral. Tester le programme avec le fichier audio `sinusoide_4000_phase_variable.wav` fourni (en version entrée sur un fichier puis entrée sur la carte son). Vérifier sur l'affichage des formes d'onde que les signaux d'entrée et de sortie sont correctement alignés en phase.

2 Modulation d'amplitude sur fréquence porteuse

L'objectif est d'implémenter un traitement qui prend en entrée un signal audio échantillonné à la fréquence 8000 Hz et qui génère, en sortie, un signal de modulation échantillonné à 48000 Hz. La fréquence porteuse est fixée à 4000 Hz.

Pour réaliser la modulation, la première étape consiste à ré-échantillonner le signal d'entrée de 8000 à 48000 Hz. On note $x[n]$ et $y[n]$ les signaux (échantillonnés à la fréquence 48000 Hz) en entrée et en sortie. La formule définissant la modulation est :

$$y[n] = g (x[n] + \alpha) \sin(2\pi\nu_0 n)$$

où α est un coefficient qui permet de doser la quantité de porteuse injectée dans le signal pour aider la démodulation. On choisira $\alpha = 0.01$. ν_0 est la fréquence numérique de la porteuse. Le gain g sera ajusté de telle sorte que l'amplitude du signal de sortie ne dépasse pas 1.

Implémenter le traitement pour des blocs de taille 512 échantillons. L'ordre du filtre de ré-échantillonnage sera fixé à 576. On prendra garde au fait qu'il faut assurer la continuité de phase de la sinusoïde entre les blocs. Pour cela, une bonne solution consiste à reprendre la méthode d'implémentation de la PLL, en fixant une correction de phase nulle (i.e. l'incrément de phase est égal à l'incrément théorique constant), et en ne conservant que la sortie sinus.

Tester le modulateur avec en entrée le fichier audio `Meteo_8k.wav` fourni. Pour l'instant, on se limite à des entrées/sorties dans des fichiers.

3 Démodulation d'amplitude cohérente

L'objectif est d'implémenter un traitement qui prend en entrée un signal de modulation échantillonné à 48000 Hz, comme celui généré par le modulateur de l'étape précédente, et qui renvoie, en sortie, un signal audio démodulé échantillonné à 8000 Hz. Ce signal qui doit être identique au signal de départ (en entrée du modulateur). La formule définissant la démodulation cohérente est :

$$y[n] = x[n] \sin(2\pi\nu_0 n + \varphi[n])$$

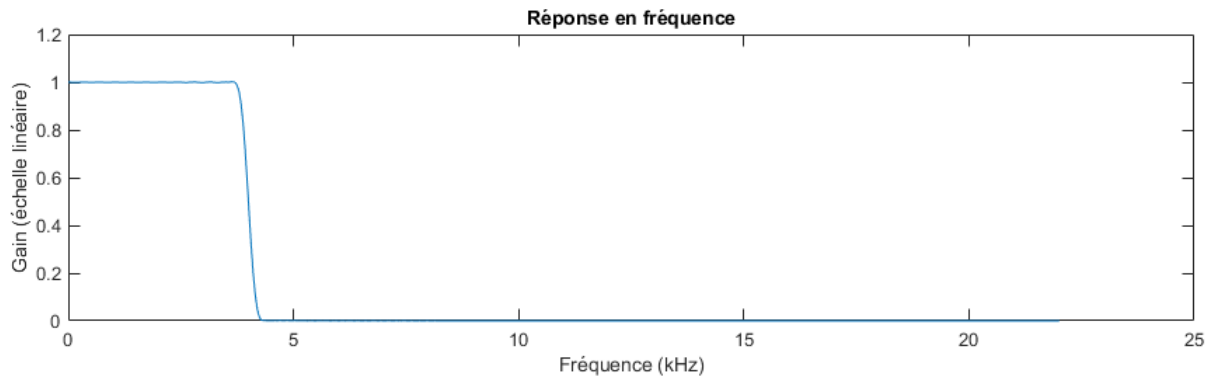
où $\varphi[n]$ est un incrément de phase variable, ajusté de telle sorte que la sinusoïde de démodulation soit calée en phase avec la sinusoïde de modulation. En pratique, on utilise une PLL qui prend en entrée le signal modulé et dont on utilise la sortie sinus comme sinusoïde de démodulation. Ré-utilisez directement la PLL implémentée précédemment.

On peut constater qu'en sortie de ce traitement, la composante continue du signal n'est pas nulle. Pour remédier simplement au problème, on soustrait sur chaque bloc la valeur moyenne du signal sur l'ensemble du bloc.

La seconde phase du traitement consiste à appliquer un filtre de démodulation. Les spécifications de ce filtre sont les suivantes :

- RIF passe-bas à phase linéaire d'ordre 256
- Fréquence de coupure égale à la bande passante du signal audio d'origine, soit 4000 Hz
- Le gain statique est ajusté de telle sorte que l'amplitude du signal de sortie ne dépasse pas 1

Afficher la réponse en fréquence. On doit obtenir ceci (au gain de sortie près) :



La troisième phase du traitement consiste en une conversion de fréquence d'échantillonnage de 48000 vers 8000 Hz. Expliquer pourquoi, dans ce cas particulier, cette opération est très simple.

Tester le modulateur avec en entrée le fichier audio obtenu en sortie du modulateur de l'étape précédente. Vérifier que le signal résultant est globalement indentique à l'audio de départ. Reprendre l'implémentation avec E/S sur la carte son, en utilisant un premier PC comme modulateur et un second PC comme démodulateur.

4 Multiplex fréquentiel

Un des intérêts majeurs de la modulation sur fréquence porteuse est la possibilité de réaliser des multiplex, i.e. de combiner plusieurs signaux d'entrée/sortie dans un seul canal de transmission. Dans ce TP, on réalise le multiplexage de 3 signaux d'entrée (échantillonnés à 8000 Hz) sur 3 fréquences porteuses 4000, 12000 et 16000 Hz. Le signal de modulation multiplexé est échantillonné à 48000 Hz. En effet, la bande passante du multiplex doit être au moins être égale à la somme des bandes passantes de chacune des voies.

Implémenter un modulateur à 3 voies d'entrées, en utilisant les signaux `canal1.wav`, `canal2.wav` et `canal3.wav` fournis. Ces signaux ont été formatés de telle sorte qu'ils ont exactement la même durée. Pour cela, il faut utiliser 3 objets `reader` en parallèle. Dans un premier temps, utiliser des entrées/sorties sur des fichiers. Le signal multiplexé est simplement la somme des trois signaux de modulation individuels. On veillera à ajuster le gain global pour que l'amplitude du signal multiplexé ne dépasse pas 1.

Implémenter un démodulateur générique pouvant être syntonisé, au choix, sur une des 3 fréquence porteuses, à la manière d'un récepteur de TV ou de radio. Pour permettre à l'utilisateur de choisir la fréquence, on aura recours à une boîte de dialogue (par exemple en utilisant `lisdlg()`).

Pour finir, implémenter une chaîne de traitement utilisant les cartes son, fonctionnant avec deux ordinateurs. Le premier PC joue le rôle de l'émetteur : il lit les fichiers audio sur le disque et génère le multiplex. Le second PC joue le rôle du récepteur : il reçoit le multiplex en entrée de sa carte son et restitue en sortie le signal démodulé correspondant à la porteuse sélectionnée.