

LP - Traitement linéaire et non linéaire du signal

Cassandra Dailedouze - Joseph Delpy

2021

Niveau : L2

Prérequis

- Représentation temporelle et spectrale des signaux
- Transformée de Fourier des fonctions périodiques
- Filtrage linéaire passif et actif
- Echantillonnage : critère de Shannon et repliement

Table des matières

1	Introduction	1
2	Mise en forme du signal à transmettre	1
2.1	Modulation d'amplitude	1
2.2	Caractérisation du signal	2
3	Extraction des informations	3
3.1	Démodulation d'amplitude	3
3.2	Filtrage actif : amplificateur non-inverseur	3
4	Commentaires	3

1 Introduction

Définition d'un signal. on ne s'intéresse qu'à des signaux électriques. On s'intéresse ici à un signal radio, émis dans les fréquences sonores, puis transmis et reçu par une radio personnelle puis écoutée par l'utilisateur.

2 Mise en forme du signal à transmettre

Signal analogique : fonction continue dans le temps, car convertie en signal électrique par un capteur physique.

2.1 Modulation d'amplitude

Signal sonore : transmis sous forme d'onde électromagnétique (rapide et peu coûteux). Problèmes : les signaux se mélangeraient, seraient perturbés par des bruits électromagnétique, distorsion du signal, fortement atténués, les antennes doivent faire 10000 km de long. On fait appel à la modulation d'amplitude.

Modulation du signal : combinaison d'un signal (message à transmettre $u_m(t)$) avec un signal sinusoïdal (porteuse, $u_p(t) = U_p \cos \omega_p t$). Le signal porteur à une très grande fréquence devant celle du signal modulant ($f_p \gg f_m$). Il peut donc être transporté par des ondes électromagnétiques.

Slide : différents types de modulation (amplitude, fréquence, phase). On se restreint à l'AM.

ODG : Canal de transmission (largeur spectrale du signal) de l'ordre de $\Delta f = 10$ kHz autour d'une porteuse à $f_p = 162$ kHz.

Signal à transmettre sinusoïdal $u_m(t) = U_m \cos \omega_m t$. Traitement **non-linéaire** : Multiplication de signaux. Au tableau : schéma du multiplicateur, signaux d'entrée, signal de sortie. On ajoute à ça la porteuse : plus facile pour démoduler (donne une référence fréquence au capteur). **Modulation à porteuse conservée**. Calcul : forme du signal de sortie, mise en évidence du taux de modulation.

Au tableau : tracé de l'allure du signal modulé. Notion d'enveloppe, signal compris entre $U_p(1 - m)$ et $U_p(1 + m)$. Mise en évidence de la période de la porteuse et de l'enveloppe, on montre $T_p \ll T_m$.

Cas du taux de modulation supérieur à 1 sur slide. Problème au niveau de la démodulation. On prendra $m < 1$ pour la suite.

Manip : Sur oscillo, modulation de la porteuse correspondant à France Inter par une modulante de 100 Hz. Amplitude 10 Vpp pour les deux. Mise en évidence du taux de modulation.

Relation de trigo, on réécrit le signal modulé comme :

$U'(t) = U_p [\cos \omega_p t + m/2 \cos (\omega_m + \omega_p)t + m/2 \cos (\omega_p - \omega_m)t]$ Tracé du spectre correspondant au tableau. **Opération non-linéaire**.

Sur slide : généralisation à une modulante non-sinusoïdale, discuter points communs et différences.

Remarque : On s'affranchit des problèmes de mélanges de signaux par multiplexage : prendre différentes porteuses éloignées les unes des autres, plus de problème sur le spectre.

2.2 Caractérisation du signal

On va s'intéresser à l'outil de **Transformée de Fourier rapide**. Sur slide : principe de l'échantillonnage, peigne de Dirac. Problème du recouvrement de spectre. Au tableau : **critère de Shannon**. "La fréquence d'échantillonnage doit être au moins double de la fréquence maximale présente dans le spectre du signal échantillonné."

Relation $N = T_0 F_e$, puis raisonnement pour montrer que $\Delta f = \frac{F_e/2}{N/2} = \frac{1}{T_0}$. Donc le critère de Shannon impose F_e grand, mais F_e grand impose T_0 faible donc une résolution mauvaise (car N fixé sur un oscillo).

Manip : Mise en évidence de l'intérêt de sous-échantillonnage. Au début on respecte Shannon, on voit qu'il est difficile de distinguer les composantes du spectre. On cherche donc à obtenir du repliement : dans ce cas, les fréquences affichées ne sont pas celles du spectre réel, en revanche, si on s'intéresse aux écarts entre pics, il est le bon.

3 Extraction des informations

Après transmission et réception par l'utilisateur de la radio, il faut pouvoir retrouver le signal transmis à la base et encodé dans le signal modulant $u_m(t)$.

3.1 Démodulation d'amplitude

Principe de la détection synchrone : Cette fois on multiplie le signal modulé $U'(t)$ avec le signal de la porteuse $u_p(t)$. On obtient $u_X(t) = KU_p^2 [1 + m \cos \omega_m t] \cos^2 \omega_p t = KU_p^2/2 [1 + m/2 \cos \omega_m t + m/2 \cos(2\omega_p - \omega_m)t + m/2 \cos(2\omega_p + \omega_m)t]$.

Tracé au tableau du spectre obtenu. On insiste sur le fait que les deux triplets de pics sont très éloignés, du fait de la relation $\omega_p \gg \omega_m$.

Filtrage linéaire : présentation sur slide du filtre passe-bas RC. Donner la fonction de transfert. Programme python : diagramme de Bode du RC, spectre initial, fréquence de coupure, spectre filtré. On abaisse l'amplitude des pics situés après la fréquence de coupure.

Retour à la détection synchrone : c'est ce qu'on souhaite faire pour couper le triplet de pics centré en $2\omega_p$. On prend une fréquence de coupure de l'ordre de la centaine de Hertz. En sortie du filtre : on obtient un signal de fréquence ω_m , donc on a récupéré le message transmis.

Remarque : Il reste une composante continue, on peut l'éliminer avec un filtrage passe-haut.

Problème : le signal obtenu est faible. On peut donc chercher à amplifier le signal.

3.2 Filtrage actif : amplificateur non-inverseur

Pas traité en direct.

Bibliographie

- Traitement des signaux et acquisition de données, Francis Cottet
- Transmission de signaux, Christophe More
- Electronique, Pérez
- Précis d'électronique

4 Commentaires

- Au lieu de détailler le filtre actif, peut-être discuter les histoires d'adaptation d'impédance.

- Tout centrer sur la modulation est une **bonne idée**.

- Conserver la porteuse : bonne idée ou non ? Pourquoi on le fait ?

- Parler du problème de la multiplication par une porteuse (qu'on a pas sous la main a priori)! Si la détection synchrone n'est pas synchrone, on a une amplitude du signal démodulé qui s'annule périodiquement.
- Parler de la boucle à verrouillage de phase pour régler ce problème.
- **Partie FFT un petit peu hors sujet...** C'est de l'analyse, pas vraiment du traitement. Il aurait fallu plutôt discuter les problèmes de la détection synchrone.
- Discuter la fréquence de coupure utilisée pour le filtre pour une vraie radio. En gros, grand devant 10 kHz (une décade), très petit devant $2f_p$. Complicé donc! On peut utiliser des filtres d'ordre plus élevé. Ca permet de plus parler de filtrage.
- Discuter le rôle d'un passe-bande lors du multiplexage, pour isoler la plage de fréquence qui nous intéresse. Pourquoi pas faire un python qui permet de montrer le filtrage plus efficace.
- Canal de transmission? Non, encombrement spectral.
- En intro, mettre de vrais signaux (vrai ECG, vrai signal télé, vrai signal micro). Pas des dessinés...
- Une idée des fréquences de porteuses utilisées pour d'autres domaines de signaux?
- Parler de vrais composants (diode, multiplieur, bobines, etc) de traitement **physique** du signal
- On peut axer la leçon sur les signaux issus de capteur.
- On peut axer la leçon sur les bruits
- Discuter la notation complexe qui n'est absolument pas adaptée aux opérations non-linéaires.