

Estimation du canal acoustique sous-marin pour la Tomographie Acoustique Océanique

Olivier Rabaste

Directeur de Thèse et encadrant: Thierry Chonavel

Projet PEA/STEREO financé par le SHOM/CMO

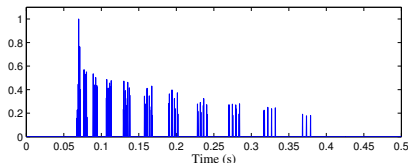
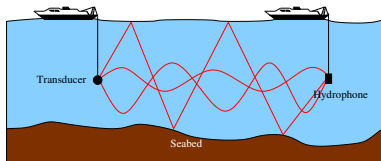
en partenariat avec l'ENSIETA

Plan de la présentation

- Tomographie Acoustique Océanique (TAO)
- Problème d'estimation et méthode proposée
- Estimation des temps de retard
- Estimation des amplitudes et des décalages Doppler

TAO et canal acoustique sous-marin

- TAO: Outil d'observation de l'océan.
- Objectif de l'étude: estimer le canal acoustique sous-marin pour remonter aux paramètres physiques (température, pression, salinité, fond, ...)



- Spécificités du canal:
 - ◆ multitrajets
 - ◆ longue réponse impulsionnelle
 - ◆ amplitudes décroissantes
 - ◆ présence possible d'effets Doppler,...

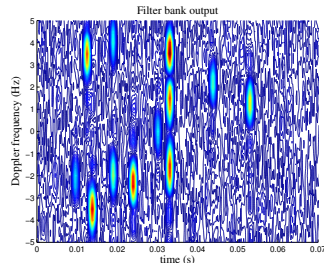
Problème d'estimation

- Estimation des paramètres $P, (\alpha_p, \tau_p, f_{d_p})_{p=1,P}$
- Démodulation à différentes fréquences et filtrage adapté
- Signal en sortie du filtre à la fréquence f :

$$x_f(t) = \sum_{p=1}^P \alpha_p e^{-2j\pi f \tau_p} A_e(t - \tau_p, f - f_{d_p}) + n_f(t),$$

où $A_e(t, f)$ est la fonction d'ambiguïté de $e(t)$

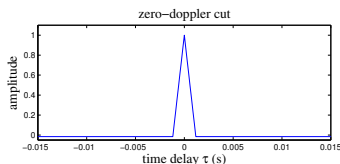
$$A_e(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} e(t) e^*(t - \tau) e^{-j2\pi f t} dt$$



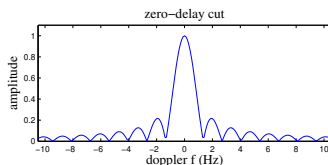
Cas des séquences SBLM

- Fonction d'ambiguïté des SBLM intéressante

- ◆ Coupe à Doppler nul:



- ◆ Coupe à retard nul:

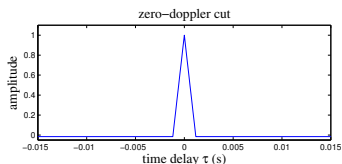


- $\tau \rightarrow A_e(\tau, f)$ a une forme triangulaire pour tout f !

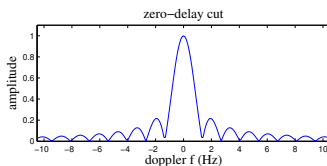
Cas des séquences SBLM

- Fonction d'ambiguïté des SBLM intéressante

- ◆ Coupe à Doppler nul:



- ◆ Coupe à retard nul:



- $\tau \rightarrow A_e(\tau, f)$ a une forme triangulaire pour tout f !

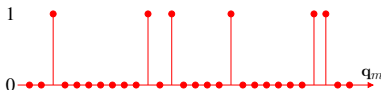
- ➡ Découplage de l'estimation:
1. temps de retard
 2. amplitudes et fréquences Doppler

Estimation des temps de retard

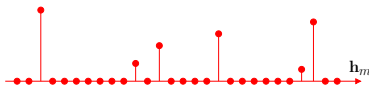
- Signal à la fréquence f_m après échantillonnage: $\mathbf{x}_m = \mathbf{S}_\lambda \mathbf{h}_m + \mathbf{n}_m$
- Méthode proposée: introduction d'un *a priori* Bernoulli-Gaussien
 ➔ introduction d'un vecteur d'état sous-jacent \mathbf{q}_m ;

- composantes de \mathbf{q}_m :

$$q_m(k) \sim \mathcal{B}(\mu)$$



- composantes de \mathbf{h}_m ($a = 0, 1$):
 $h_m(k) | q_m(k) = a \sim \mathcal{CN}(0, 2\sigma_a^2)$



modèle complété: $\mathbf{z}_m = (\mathbf{q}_m, \mathbf{h}_m)$

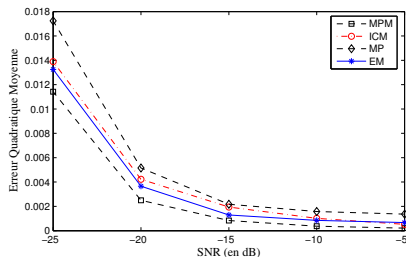
Estimation par méthode MCMC

- Estimateur MAP: $\hat{\mathbf{z}}_{\text{MAP}} = (\hat{\mathbf{q}}, \hat{\mathbf{h}}) = \arg \max_{(\mathbf{q}, \mathbf{h})} p(\mathbf{z}|\mathbf{x}, \theta)$
- Problème d'optimisation difficile à résoudre...
- Solution:
 1. simuler des échantillons z suivant $p(\mathbf{z}|\mathbf{x})$
 2. estimer \mathbf{q} et \mathbf{h}
- Méthode:
 1. échantillonnage de Gibbs
 2. estimateur empirique et/ou MAP et MV

Résultats d'estimation

- Critère de comparaison fondé sur l'erreur quadratique moyenne (EQM):

$$\text{EQM} = \mathbb{E}[\|\mathbf{S}_\lambda \mathbf{h} - \mathbf{S}_\lambda \hat{\mathbf{h}}\|^2]$$
- Comparaison de l'estimateur proposé avec d'autres méthodes:
 - ◆ Matching Pursuit
 - ◆ Algorithme ICM
 - ◆ Algorithme EM



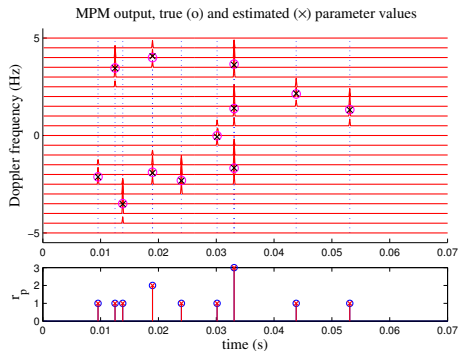
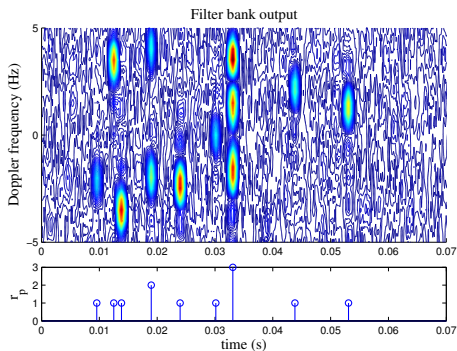
Estimation des amplitudes et des fréquences Doppler

- Soit $g_p(f, \theta_p)$ la contribution du trajet au temps de retard estimé τ_p , avec $\theta_p = [\alpha_p, f_{d_p}]$
- A τ_p : signal reçu $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_K]^T$ correspondant aux fréquences (f_1, \dots, f_K)
- Estimation au sens des moindres carrés de θ :

$$\hat{\theta} = [\hat{\alpha}_p, \hat{f}_{d_p}] = \arg \min_{\alpha_p, f_{d_p}} \sum_{k=1}^K |g_p(f_k, \theta) - x_k|^2$$

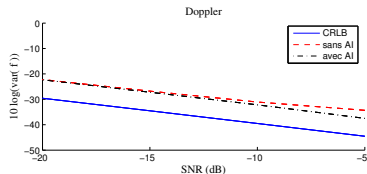
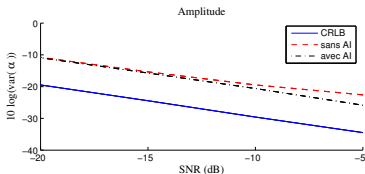
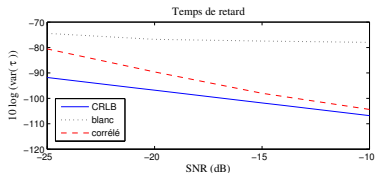
- Minimisation du critère: au moyen d'un algorithme d'optimisation déterministe, par exemple l'algorithme de Levenberg-Marquart

Exemple avec trajets simultanés



Résultats

- Interférences gênantes à SNR élevé
- Ajout d'une étape supplémentaire d'annulation d'interférences
- Résultats présentés avec les bornes de Cramer-Rao



Conclusions

- Méthodes d'estimation d'un canal acoustique sous-marin adaptée aux séquences SBLM
- Deux étapes:
 1. estimation des temps de retard: modélisation BG et méthodes MCMC
 2. estimation conjointe des amplitudes et des fréquences Doppler: algorithme de descente
- Possibilité de prendre en compte des enregistrements successifs pour améliorer les performances d'estimation
- Algorithmes testés sur des données réelles