

Comparaison du traitement d'antenne et du traitement Doppler large bande actifs pour les antennes synthétiques

Ph. Graffoulière et G. Jourdain

CEPHAG (UPRESA 50-86), BP46 F-38402

Saint Martin d'Hères FRANCE

Philippe.Graffouliere@cephag.inpg.fr

RÉSUMÉ

L'objet de cet article est de comparer les deux méthodes utilisables pour le traitement de données d'antenne synthétique : le traitement d'antenne et la mesure de Doppler. On chiffre la non-optimalité du traitement d'antenne, et on montre la concordance des résultats obtenus avec chacune des deux méthodes sur un jeu de données réelles en acoustique sous-marine.

ABSTRACT

This article aims to compare the two methods that can be used to process synthetic antenna data: array processing and Doppler measurement. Results concerning the loss of performance due to the use of array processing methods are given. With the help of real data, we emphasize the similarity of results obtained using both methods.

1 Introduction

Dans le cadre d'un système de mesure actif (en sonar, radar, ou en tomographie océanique), l'utilisation d'une antenne verticale à la réception améliore la résolution de trajets multiples, en vertu de son pouvoir séparateur en directions d'arrivées (DDA). En sonar, l'utilisation de basses fréquences porteuses (moins de 1000 Hz) conduit à vouloir utiliser des antennes de grandes dimensions, ce qui est parfois plus facile d'obtenir avec des antennes synthétiques.

Qu'est-ce qu'une « antenne synthétique » ?

Une « antenne synthétique » [3] (figure 1) met en jeu à la fois l'émission et la réception. En effet, il faut émettre un signal s de façon récurrente avec une période T , tandis que la réception est assurée par un hydrophone animé d'un mouvement rectiligne (vertical dans notre cas) paramétré par le vecteur vitesse v .

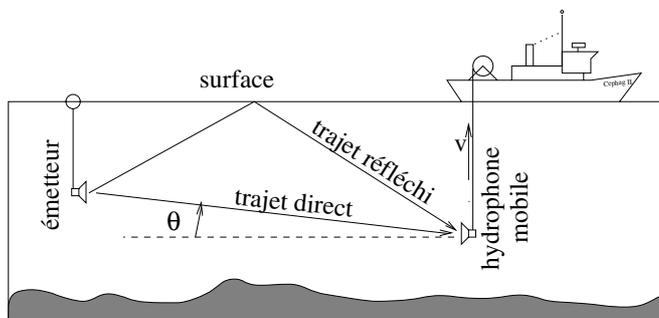


FIG. 1 —

Le signal reçu peut être assimilé à celui reçu par une antenne linéaire uniforme d'une seule émission du signal s . La

distance entre capteurs est alors virtuellement de $l = vT$. Si l'on veut estimer la direction d'arrivée (DDA) du signal reçu (par exemple θ), la méthode optimale est alors d'estimer le Doppler $\chi = 1 + \frac{v_r}{c}$ (où v_r est la vitesse radiale) à la réception, puisqu'il est analytiquement lié à θ par la relation :

$$v_r = v \sin \theta$$

Si on utilise un traitement d'antenne pour estimer θ , le fait que l'antenne soit synthétique conduit à une méthode sous-optimale.

Objectifs

L'utilisation d'une antenne synthétique permet la comparaison de résultats obtenus grâce à une méthode de mesure HR de retard et de direction (nommée « traitement d'antenne ») et une méthode de mesure HR de retard et de Doppler (nommée « traitement Doppler »). Le Doppler et la direction sont deux paramètres sans aucun rapport *a priori*, sauf dans ce type de situation.

Nous allons comparer les résultats de ces deux types de mesure de la direction, sachant d'ores et déjà que seule la mesure de Doppler est optimale. Nous avons chiffré la perte de performance d'estimation de la direction par traitement d'antenne.

2 Méthodes utilisées : méthodes Haute Résolution (HR)

Parfois, certains trajets restent non résolus après traitement actif classique (filtrage adapté et formation de voies large bande en traitement d'antenne, ambiguïté en compression en traitement Doppler). Il faut alors avoir recours à des traitements HR. Puisqu'une expérience d'antenne synthétique est

difficilement reproductible, il est nécessaire d'utiliser des méthodes HR se satisfaisant d'une seule réalisation. Nous avons donc utilisé des méthodes de maximum de vraisemblance (MV) passives et actives pour estimer retards et DDA.

Estimation précise de la forme du signal

Avant tout, un filtrage adapté au signal émis est effectué sur les signaux reçus, pour en réduire le support temporel. Puis, l'utilisation d'une méthode MV paramétrique passive [4] permet une première estimation des DDA (figure 2 : fenêtre glissante de 3 capteurs, et figure 3 : fenêtre glissante de 5 capteurs) et des formes d'onde associées. Celles-ci permettent l'estimation des réponses impulsionnelles de l'émetteur et du récepteur convoluées (figure 4). Le modèle de signal reçu s'en trouve affiné, et c'est celui que l'on utilisera pour l'estimation précise HR des DDA en actif. Les performances des méthodes actives HR seront ainsi améliorées.

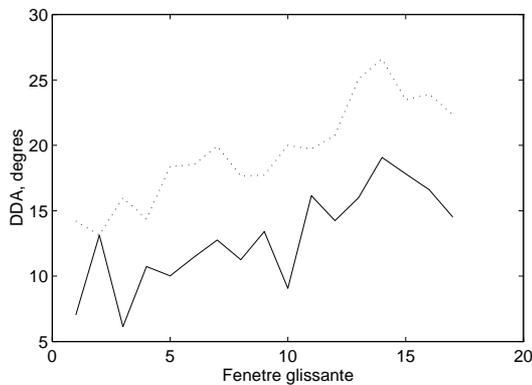


FIG. 2 — Estimation des DDA, MV passif.

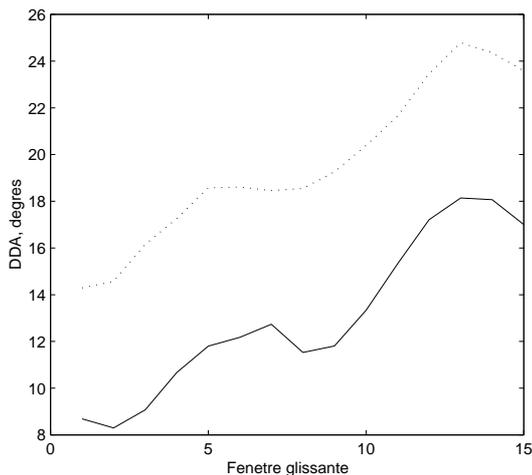


FIG. 3 — Estimation des DDA, MV passif.

Méthodes MV actives HR

Une méthode MV active HR avait été proposée dans le cas d'estimation de retards [2]. Nous avons étendu cette méthode à l'estimation conjointe des DDA et des retards, et ajouté

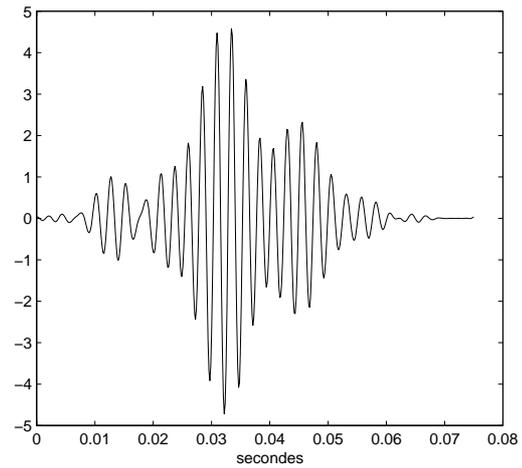


FIG. 4 — Réponse impulsionnelle estimée

un blanchiment après filtrage adapté pour en optimiser les performances. Ceci conduit à la méthode nommée « traitement d'antenne large bande actif ».

Par ailleurs, cette méthode a été développée pour l'estimation HR conjointe des retards et du Doppler, fournissant un traitement optimal en antenne synthétique. Cette méthode, qui utilise plusieurs coupes successives de l'interambiguïté du signal reçu et de K périodes du signal émis, sera nommée « traitement Doppler ».

3 Performances (cas d'un seul trajet) et comparaison

On se propose dans ce paragraphe de comparer, dans le cas d'un seul trajet, les performances de chacune des deux méthodes, d'une part le traitement Doppler adapté (qui est une interambiguïté émis-reçu large bande), et d'autre part le traitement d'antenne actif (qui est constitué d'un filtrage adapté au signal émis suivi d'une formation de voies large bande).

Les estimateurs qui nous intéressent sont l'estimateur de DDA mais aussi l'estimateur de retard, puisque nous sommes en actif. En ce qui concerne la DDA, la performance de son estimateur par traitement d'antenne ne peut *a priori* être calculée via une dérivation de BICR, puisque celle-ci se rapporte à un estimateur optimal. Elle a donc ici été approximée par la BICR relative à l'estimation de la direction par traitement d'antenne à partir des données issues d'une antenne véritable, de même taille et du même nombre de capteurs que l'antenne virtuelle. Nous comparons donc ici les $BICR$ concernant un traitement d'antenne de K capteurs (notées $BICR_{\theta}$), avec celles se rapportant à une interambiguïté avec K périodes du signal émis (notées $BICR_{\chi}$). Les calculs détaillés sont effectués dans [5].

Le mode d'estimation (antenne ou Doppler) influe peu sur la BICR des estimateurs de retard. Celle-ci est donnée par :

$$var(\hat{\tau}) \geq BICR(\hat{\tau}) = \frac{1}{KR} \frac{1}{B_s^2 - \omega_0^2} = \frac{1}{KRB_c^2}$$

(ω_0 est la pulsation porteuse)

$$\text{avec : } B_s^2 = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} |\dot{s}(t)|^2 dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} |s(t)|^2 dt}$$

et : $R = E/\gamma_0$ le rapport S/B.

E est l'énergie d'une période du signal émis, et γ_0 est la DSP du bruit blanc réel.

En revanche, on observe $BICR_\theta(\hat{\theta})$ et $BICR_\chi(\hat{\theta})$ sont différentes. $BICR_\theta(\hat{\theta})$ est calculée à partir de la $BICR$ en traitement d'antenne actif large bande, pour une antenne de K capteurs espacés de vT :

$$BICR_\theta(\hat{\theta}) = \frac{12c^2}{R(K^2 - 1)v^2T^2B_s^2 \cos^2 \theta}$$

La borne $BICR_\chi(\hat{\theta})$ est obtenue à partir de la $BICR$ sur l'estimation de χ , et la formule liant θ à χ :

$$\chi = 1 + \frac{v \sin \theta}{c}$$

On utilise pour ça la formule donnant la relation entre les $BICR$ de deux estimateurs x et y liés par $y = f(x)$: $BICR(\hat{y}) = BICR(\hat{x})f^2(x_0)$. On obtient alors, dans le cas d'un signal BPSK ou FP :

$$BICR_\chi(\hat{\theta}) = \frac{12c^2}{R(K^2 + K - 1)v^2T^2B_s^2 \cos^2 \theta}$$

Le rapport de ces bornes $e = BICR_\chi/BICR_\theta$ en découle immédiatement :

$$e = \frac{K^2 - 1}{K^2 + K - 1}$$

e converge vers 1 quand le nombre de capteurs K augmente. Notons que $BICR_\theta$ est infinie pour $K = 1$, puisqu'un traitement d'antenne ne peut estimer de direction à partir d'un seul capteur. En revanche, il est possible d'effectuer un traitement Doppler sur une seule récurrence du signal émis.

4 Traitement de données expérimentales

Lors de l'expérimentation CONVHIV [5], on reçoit un signal (BPSK de BT 511, de fréquence centrale 400 Hz, 5 périodes par digit) sur une antenne synthétique de 19 capteurs, la propagation s'effectuant par l'intermédiaire de deux trajets, direct et réfléchi (figure 1). Le récepteur a été remonté de -350m à -250m à raison d'1 m/s. L'antenne virtuelle est donc de grande dimension, et aurait dû permettre la séparation des deux trajets, compte tenu des prévisions données par le tracé de rayons. En raison d'une perte de cohérence, il n'est pas possible de traiter plus de 5 capteurs à la fois. Les méthodes classiques n'arrivent donc pas à résoudre les deux trajets. Nous avons utilisé les méthodes HR actives (en traitement d'antenne ou en traitement Doppler) en prenant sur les 19 capteurs des fenêtres glissantes de 1, 3 ou 5 capteurs.

La figure 5 montre les estimations des retards et des DDA des deux trajets, en traitement d'antenne actif HR, en utilisant des fenêtres glissantes de 3 capteurs. On note une nette amélioration de l'estimation des DDA (tant en variance

qu'en qualité de séparation) par rapport à la figure 2, pourtant également obtenue avec des fenêtres glissantes de 3 capteurs. L'amélioration observée est donc due au traitement actif.

La figure 6 montre les estimées du retard et de la direction par traitement Doppler, utilisant l'interambiguïté du signal reçu et de 3 périodes du signal émis. On n'observe aucune amélioration notable par rapport au traitement d'antenne : le rapport théorique des variances entre ces deux méthodes n'est de toute façon que de 1,37, soit un rapport de 1,17 pour les écarts-types.

La figure 7 montre les estimations des retards et des DDA des deux trajets, en traitement actif Doppler, utilisant l'interambiguïté du signal reçu et de 5 périodes du signal émis. L'effet de lissage dû à de plus grandes fenêtres est très net.

5 Conclusion

En conséquence, pour un nombre de capteurs virtuels supérieur ou égal à 3, il n'y a pas très grand intérêt à effectuer le traitement optimal Doppler, plus complexe à mettre en oeuvre qu'un traitement d'antenne large bande, puisque l'amélioration observée est faible, voire indétectable. En revanche, le traitement Doppler permet d'effectuer des estimations de direction sur un seul capteur, contrairement au traitement d'antenne. La largeur de la fenêtre glissante est alors beaucoup plus petite, et la finesse d'analyse y gagne beaucoup. Comme le montre la figure 8, on observe alors des fluctuations (lissées lorsqu'on utilise 5 capteurs), qui, compte tenu de leur ordre de grandeur, peuvent être attribuées à l'effet de la houle sur le bateau tirant l'hydrophone mobile. Nous disposons alors d'un outil précieux pour l'évaluation des déformations d'une antenne synthétique, thème suscitant un vif intérêt de la part des utilisateurs de ce type de technique.

Remerciements

L'expérimentation ConvHiv a été menée par le groupe tomographie français en Méditerranée.

Références

- [1] Ph. Graffoulière et A. Essebbar. *Multisensor Active Broadband Sonar in Multipath Propagation*. OCEANS'95 San Diego, California.
- [2] V. Nimier et G. Jourdain. *Estimation active d'un canal de propagation à trajets multiples par méthode bayésienne*. TS vol10 n°3, 1993
- [3] F. Le Chevalier. *Principe de traitement des signaux radar*. Masson 1989.
- [4] A. Essebbar. *Parametric Separation Applied To Underwater Acoustic Multipath Propagation*. ICASSP'94, Adelaide, 19-22 April 1994, Australia.
- [5] P. Graffoulière. *Méthodes actives spatio-temporelles large bande, techniques et performances, application en sonar*. Thèse de docteur ingénieur INPG, mars 97.

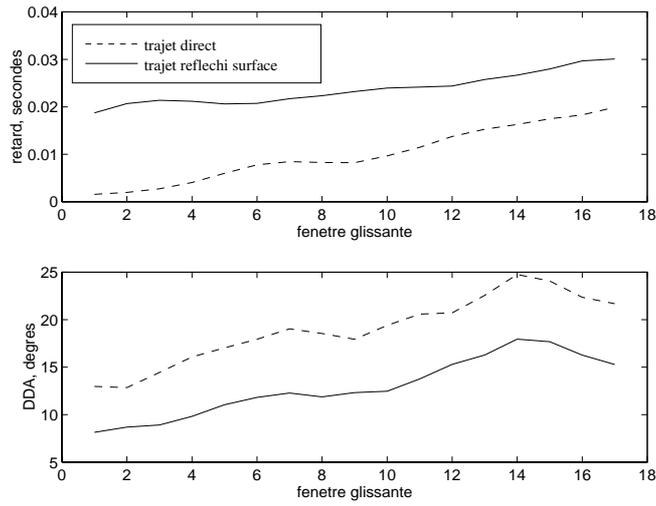


FIG. 5 — Estimation de retards et de DDA par traitement d'antenne HR, $K=3$.

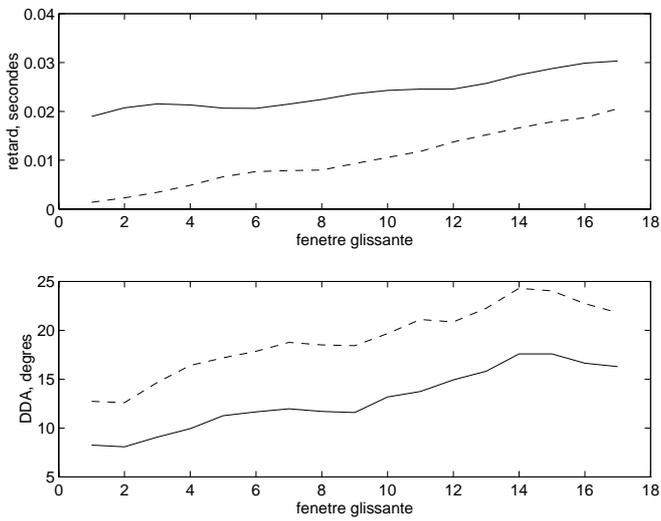


FIG. 6 — Estimation de retards et de DDA par traitement Doppler HR, $K=3$

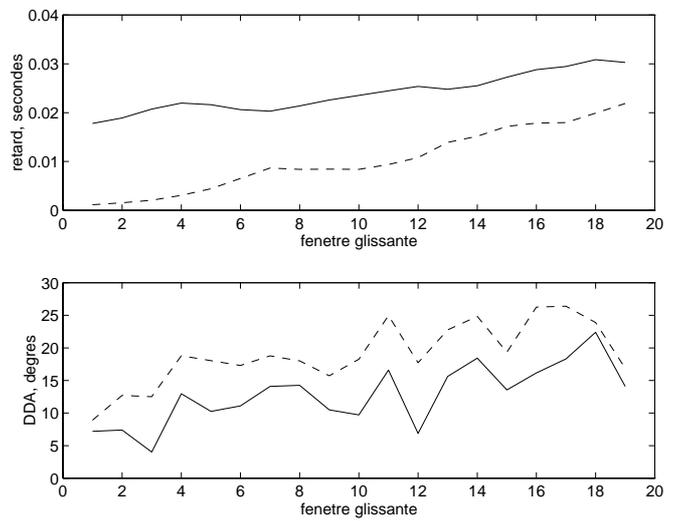


FIG. 8 — Estimation de retards et de DDA par traitement Doppler HR, $K=1$

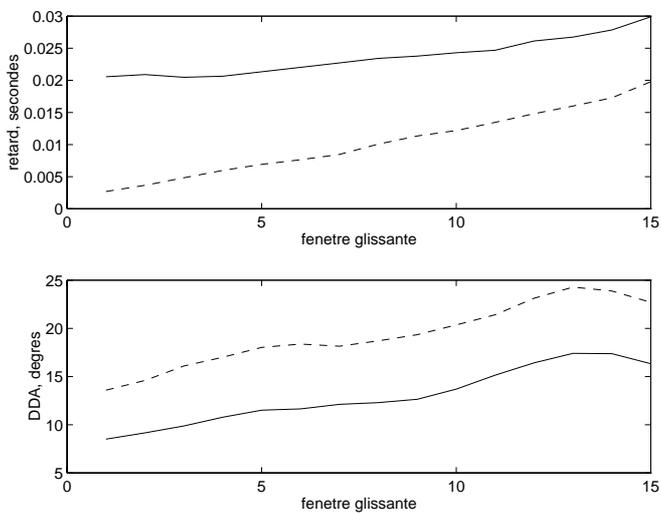


FIG. 7 — Estimation de retards et de DDA par traitement Doppler HR, $K=5$