

Estimation de hauteur de points brillants dans un environnement marin.

Jérôme HABONNEAU¹, Jean-Marc LE CAILLEC², Ali KHENCHAF³, Laurent MANDRIDAKE¹

¹Cassidian

Metapole, 1 boulevard Jean Moulin, ZAC Clef Saint Pierre, CS 40001, 78996 Elancourt Cedex, France

²Labsticc UMR CNRS 6285
Telecom Bretagne, Brest, France

³Labsticc UMR CNRS 6285
Ensta Bretagne, Brest, France

jerome.habonneau@cassidian.com, jm.lecaillec@telecom-bretagne.eu
ali.khenchaf@ensta-bretagne.fr, laurent.mandridake@cassidian.com

Thème – Applications: Radar et Sonar

Problème traité – La méthode d'imagerie radar ISAR ne fonctionne pas pour des états de mer faibles car les navires ne bougent pas assez pour générer des étalements Doppler. Les multiples trajets des ondes électromagnétiques sont généralement supprimés car source d'interférences dans les traitements radars. Ces multiples trajets peuvent permettre d'imager les navires lorsque l'ISAR ne fonctionne pas.

Originalité – Nous proposons d'utiliser les multiples trajets des ondes électromagnétiques pour extraire l'information de hauteur des points brillants qui constituent la cible dans des conditions de mer calme.

Résultats – Pas de résultats pour l'instant.

1 Introduction

La reconnaissance et l'identification radar de cibles non coopératives a pour objectif de reconstruire la structure de la cible dans l'espace. Les radars côtiers haute résolution à incidence rasante permettent d'imager une cible marine dans un rayon de 20 nautiques. La reconstruction de la structure d'un navire se fait en localisant la position et la nature des réflecteurs élémentaires du navire, les points brillants. La méthode ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar) est la méthode de référence pour reconstruire le navire. Elle utilise les mouvements de rotation propres du navire pour estimer la position des points brillants grâce à leurs étalements Doppler. Dans des conditions de mer calme, la méthode d'imagerie radar ISAR n'est plus pertinente car les mouvements propres de la cible ne sont pas assez grands. Dans cette contribution, nous proposons une nouvelle méthode d'imagerie qui utilise les multiples trajets des ondes électro-magnétiques pour une mer calme.

Dans un premier temps, un simulateur de calcul électro-magnétique d'une scène marine est développé. Le simulateur se compose d'une surface de mer linéaire, d'un navire constitué d'un ensemble de points brillants isotropes et d'un radar côtier haute résolution. Les multiples trajets des ondes électro-magnétiques sont modélisées par le modèle des quatre chemins. Dans un deuxième temps, la méthode d'estimation des hauteurs des réflecteurs est étudiée. L'estimation du retard temporel entre les différents chemins permet de retrouver la hauteur du réflecteur. Deux cas sont à distinguer :

- les multiples trajets suffisamment résolus en distance,
- les multiples trajets non résolus en distance.

L'erreur d'estimation de la hauteur des points brillants sera reliée aux pentes des vagues de la surface de mer. La robustesse de l'algorithme sera testée en fonction du niveau de bruit du radar.

Notre contribution se compose de quatre sections. Les modèles physiques utilisés dans le simulateur de données radar sont décrits dans la deuxième section. Les algorithmes d'estimation de retards sont expliqués dans la troisième section.

2 Modèles physiques du simulateur de données radar

Des données radars sont simulées afin de pouvoir tester nos algorithmes d'estimation de retards. Des tests sur des données réelles seront effectués par la suite.

2.1 Rétrodiffusion de la surface de mer

Les propriétés de rétrodiffusion de la surface de mer dépendent de ses caractéristiques géométriques et électromagnétiques. Une surface de mer est générée à partir d'un spectre directionnel d'Elfouhaily pour des conditions de vent donné. Le modèle de section efficace radar normalisé du GIT est adopté [2]. Le champ électrique rétrodiffusé par la surface de mer, discretisée en facettes rectangulaires, s'écrit de la manière suivante :

$$E_{\text{mer}} = E_0 e^{j2\pi ft} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{P-1} G_{kl} \sqrt{\frac{\Delta x \Delta y \sigma_{kl}}{4\pi R_{kl}}} e^{-j\phi_{kl}} e^{-j\frac{\omega}{c} R_{kl}} \delta_{kl} \quad (1)$$

où E_0 est le champ électrique incident, G_{kl} le gain de l'antenne associée à la facette de la surface de mer, $\Delta x \Delta y$ les dimensions de la facette, σ_{kl} la section efficace radar normalisée, R_{kl} la distance de la facette au radar, ϕ_{kl} la phase de la facette de la surface de mer suivant une loi uniforme sur $[0, 2\pi]$ et δ_{kl} un facteur d'ombrage.

2.2 Rétrodiffusion de la cible

La rétrodiffusion du navire est la somme des champs rétrodiffusés par les réflecteurs élémentaires. Les contributions liés aux multiples trajets sont modélisées grâce au modèle des quatre chemins [1], visible sur la Figure 1 :

- le trajet direct-direct,
- le trajet direct-indirect,
- le trajet indirect-direct,
- le trajet indirect-indirect.

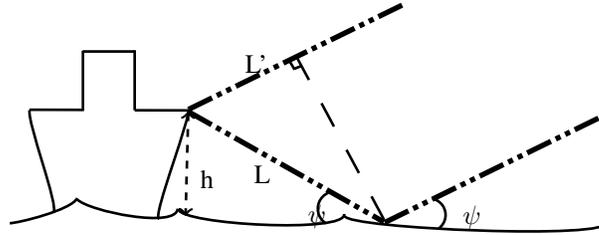


FIGURE 1 – Schéma illustrant le mécanisme de propagation des ondes dans le modèle des quatre chemins.

Le champ électrique réfléchi par un point isotrope de section efficace σ_{iso} est la somme cohérente de trois termes :

$$E_{\text{navire}} = E_0 e^{j2\pi ft} e^{-jkL} G \sqrt{\sigma_{iso}} (1 + 2\rho_r e^{-jk2h \sin \psi} + \rho_r^2 e^{-jk4h \sin \psi}) \quad (2)$$

avec ρ_r le coefficient de réflexion rugueux à la surface de l'océan, h la hauteur du point isotrope, ψ l'angle de rasance, G le gain de l'antenne. En effet, la différence de chemin entre les multiples trajets s'exprime en fonction de la hauteur du point brillant h et de l'angle de rasance ψ :

$$\Delta = L - L' = 2h \sin \psi. \quad (3)$$

Le coefficient de réflexion rugueux correspond au produit du coefficient de Fresnel et d'un facteur d'atténuation :

$$\rho_r = \rho_s \quad (4)$$

avec

$$\rho_s = \begin{cases} e^{-2(2\pi\tau)^2} & 0 \leq \tau \leq 0.1 \\ 0.812537/[1 + 2(2\pi\tau)^2] & \tau > 0.1 \end{cases} \quad (5)$$

où $\tau = \sigma_h \cos \theta_i / \lambda$, λ la longueur d'onde de l'onde incidente, θ_i l'angle d'incidence, et σ_h la hauteur quadratique moyenne de la rugosité de la mer. Pour des conditions de mer forte, l'atténuation liée à la diffusion due à la rugosité de la mer empêche de distinguer les échos secondaires.

2.3 Champ total rétrodiffusé

Le champ total rétrodiffusé par la scène maritime correspond à la somme des champs électriques liés à la surface de l'océan et au navire :

$$E_{\text{total}} = E_{\text{mer}} + E_{\text{navire}} \quad (6)$$

3 Algorithmes d'estimation de hauteur de points brillants

Les multiples trajets peuvent être résolus ou non en distance sur le profil distance de la cible. Cela dépend de la résolution de radar, de la hauteur et de la distance de la cible, et de l'angle de rasance. Pour des cibles lointaines et à faible altitude, les multiples trajets ne sont généralement pas résolus en distance. En fonction de la résolution des échos, deux algorithmes différents d'estimation de hauteurs sont utilisés.

3.1 Echos résolus en distance

L'estimation du retard entre deux chemins voisins utilisera la fonction d'autocorrélation du signal [3]. Cet estimateur permet de retrouver les paramètres de la propagation par multiples trajets.

3.2 Echos non résolus en distance

L'estimation du retard temporel s'effectue en utilisant conjointement les algorithmes d'estimation MODE et WRELAX [4]. Cet algorithme permet d'estimer le retard temporel dans le cas d'un seul capteur ayant des formes d'ondes émises connues.

Le problème d'estimation de retard temporel s'écrit de la manière suivante :

$$y(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_L s(t - \tau_l) + e(t) \quad (7)$$

où $s(t)$ représente le signal transmis ayant une forme d'onde connue, $y(t)$ est le signal au niveau du receptrice, avec L répliques de $s(t)$ avec différentes amplitudes α_l et retards τ_l . L'algorithme travaillant dans le domaine fréquentiel, (7) devient :

$$Y(k) = S(k) \sum_{l=1}^L \alpha_l e^{j\omega_l k} + E(k) \quad (8)$$

avec $Y(k)$, $S(k)$, $E(k)$ les transformées de Fourier respectives de $y(t)$, $s(t)$, $e(t)$.

$$\omega_l = \frac{2\pi\tau_l}{NT_s} \quad (9)$$

Dans notre cas, $L = 2$ et l'estimation de τ_l permettra de retrouver une estimation de hauteur :

$$\hat{h} = \frac{\hat{\tau}}{2 \sin \psi} \quad (10)$$

4 Conclusion

Un nouveau principe d'imagerie a été exposé permettant d'imager une cible marine dans des conditions de mer où l'ISAR est pris en défaut. Cette méthode d'imagerie utilise les multiples trajets des ondes électromagnétiques. Un simulateur de données radar prenant en compte les multiples trajets a été développé. Les algorithmes d'estimation de hauteur sont en cours d'implémentation. Les résultats seront analysés lors de la prochaine soumission.

Références

- [1] A. Shtager. *An estimation of sea surface influence on radar reflectivity of ships*. IEEE Trans. On Ant. And Prop., 1999.
- [2] M. Horst, F. Dyer et M. Tuley. *Radar Sea Clutter Model*. International Conference on Antennas and Propagation, 1978.
- [3] P. Moghaddam, H. Amindavar et R. Kirilin. *A New Time-Delay Estimation in Multipath*. IEEE Trans. On Signal Processing, 2003.
- [4] H. Liu, H. Su, P. Shui et Z. Bao. *Multipath signal resolving and time delay estimation for high range resolution radar*. IEEE Trans. On Ant. And Prop., 2008.