

Détection de cibles par radar HFSW : utilisation des curvelets et des ondelettes continues

Alexandre BAUSSARD, Samuel GROSDIDIER

Laboratoire E³I² - ENSIETA
2 rue François Verny, 29806 Brest Cedex 9, France
alexandre.baussard@ensieta.fr, grosdisa@ensieta.fr

Résumé – La surveillance du trafic maritime de la Zone Economique Exclusive est un enjeu important que ce soit en terme de sécurité civile ou militaire. L’objectif de notre projet est d’évaluer le potentiel de radars Hautes-Fréquences à ondes de surface utilisés à des fins océanographiques pour la détection et le suivi de bateaux. Les images Distance/Doppler obtenues en sortie de ces systèmes possèdent des traits caractéristiques qui vont être exploités dans l’algorithme de détection. Celui-ci utilise dans un premier temps la transformée en curvelets pour extraire/supprimer les informations directionnelles qui sont limitantes pour la détection. Puis, dans un deuxième temps, les ondelettes continues sont utilisées pour répondre à l’aspect détection.

Abstract – Sea traffic monitoring of the Exclusive Economic Zone is of great interest for civilian and military applications. The goal of this project is to evaluate the capabilities of High Frequency Surface Wave (HFSW) radars, designed for oceanographic applications, for target detection and tracking. The Range/Doppler images obtained from this kind of system show particular morphological characteristics which are going to be exploited in the detection process. The idea in this paper is to use a curvelet analysis to extract/remove the directional components in the image which damage the detection task. Then, continuous wavelet transforms are applied on the resulting image to detect the targets.

1 Présentation de la problématique

La surveillance du trafic maritime nécessite de disposer de systèmes efficaces permettant de détecter et de suivre des cibles diverses en continu jusqu’aux limites de la Zone Economique Exclusive (ZEE - 200 Milles Marins). Afin de répondre à cette problématique, il pourrait être envisagé un système couplant les radars en bande X et les radars Hautes-Fréquences (HF) à ondes de surface (HFSW). En effet, les radars X permettent d’atteindre des distances pouvant aller jusqu’à 30km avec de bonnes résolutions spatio-temporelles et les radars HFSW permettent de couvrir une zone pouvant aller jusqu’à la ZEE mais avec des résolutions nettement inférieures.

Dans notre projet, nous nous intéressons à l’évaluation du potentiel de détection des radars HFSW (voir figure 1). Ces radars, dont les fréquences sont comprises entre 3MHz et 30MHz, sont principalement utilisés en océanographie pour l’estimation, par exemple, des vents ou des courants de surface. Dans ce cas, on cherche à caractériser avec précision le fouillis de mer (dont la signature dépend de paramètres météorologiques). Nous allons donc utiliser ces radars pour la surveillance de cibles marines (détection de bateaux) non coopératives. On va alors chercher à minimiser l’influence du fouillis de mer pour optimiser la sensibilité du radar vis-à-vis des cibles. Les informations utiles pour des aspects océanographiques vont donc être limitantes et fortement perturbantes pour les aspects de détection. Afin de bien se rendre compte du problème, la figure 2 illustre le type d’image obtenue en sortie du système. La lon-

gueur d’onde des radars HF est de l’ordre de deux fois celle des vagues dominantes de l’océan. Ceci se traduit dans l’image Distance/Doppler par deux raies appelées les raies de Bragg (‘first-order resonant scattering’ sur la figure 2). Il s’y ajoute des phénomènes dits du deuxième ordre (‘second-order resonant scattering continuum’) et tout un ensemble d’interférences qui sont fortement limitants pour notre problème de détection.

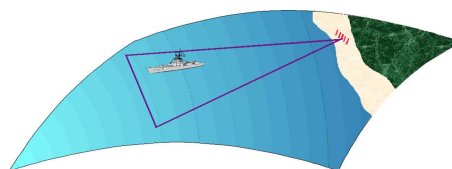


FIGURE 1 – Système radar HF à ondes de surface pour la surveillance côtière.

Notons bien ici que nous n’allons pas chercher à optimiser le système radar HF existant qui est utilisé pour l’estimation de paramètres océanographiques, mais que nous souhaitons évaluer le potentiel de ces radars (non dédiés) pour des aspects de détection.

2 Méthode d’extraction des cibles

Différentes méthodes ont déjà été appliquées pour détecter les cibles dans le fouillis maritime en HF [4, 5, 8, 9]. Comme

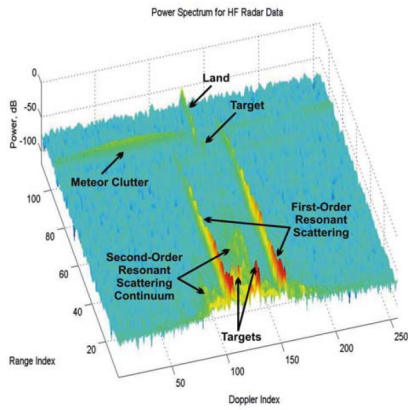


FIGURE 2 – Description d’une image Doppler/Distance obtenue par un radar HFSW [4].

nous pouvons l’observer sur la figure 2, les phénomènes les plus limitants pour la détection vont être la présence des raies du premier ordre et du deuxième ordre, des interférences et le fait de travailler avec une puissance d’émission faible.

L’idée va donc être dans un premier temps de supprimer ces contributions puis, dans un deuxième temps, d’extraire les cibles. Pour cela, nous allons profiter des formes caractéristiques des raies présentes dans l’image Distance/Doppler afin de pouvoir les extraire. Pour cela, nous allons passer par une analyse par curvelets. Puis, la détection de cibles s’effectue par une méthode basée sur une décomposition en ondelettes continues (CWT) suivant les deux axes de l’image.

2.1 Ondelettes continues et Curvelets

Le sujet de cette contribution n’étant pas un développement théorique des curvelets et des ondelettes continues, et surtout du fait d’un nombre de pages limité, nous ne donnons ici que quelques références utiles pour les lecteurs qui ne seraient pas familiers avec ces notions.

La transformée en curvelets est une transformation multi-échelles multi-directionnelles [1]. Dans cette contribution, nous utilisons la transformée dite de ‘deuxième génération’ qui est proposée dans la Toolbox CurveLab [3]. Pour plus de détails on pourra se reporter à [2].

En ce qui concerne les ondelettes, nous proposons par exemple la référence [10].

2.2 Algorithme de détection

Dans cette partie, nous allons illustrer l’approche proposée à partir de données simulées [6] puis, dans la partie 3, nous testerons cette approche sur des données réelles.

La première étape consiste donc à supprimer de l’image les formes directionnelles liées en grande partie soit au clutter de mer (essentiellement suivant l’axe des distances), soit aux interférences ou encore aux traitements (formation de voie sur un temps d’intégration ‘court’). On effectue sur l’image une

décomposition en curvelets. Puis, on reconstruit partiellement celle-ci en ne sélectionnant qu’un pourcentage des coefficients (de valeurs importantes) et en mettant à zéro les autres.

La figure 3 présente l’image Doppler/Distance initiale ainsi que l’image obtenue après reconstruction partielle. On peut noter la relative bonne extraction des composantes directionnelles de l’image.

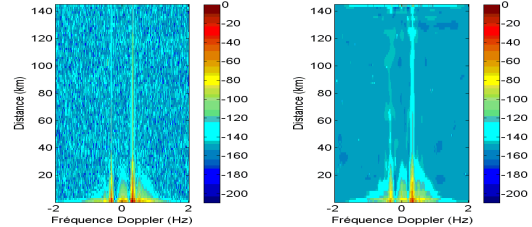


FIGURE 3 – A gauche : image Doppler/Distance simulée. A droite : image obtenue par reconstruction partielle.

La deuxième étape est celle de la détection proprement dite. On applique une analyse en ondelettes continues (CWT) suivant les lignes et les colonnes de l’image résultant de la différence entre l’image originale et l’image partiellement reconstruite (figure 4). Cette image contient donc essentiellement le bruit de fond et les cibles.

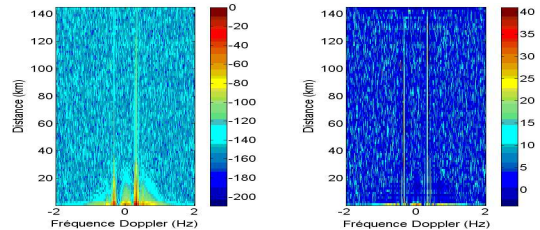


FIGURE 4 – A gauche : image Doppler/Distance simulée. A droite : image obtenue par soustraction de l’image initiale et de l’image après reconstruction partielle.

La CWT permet de faire ressortir certaines informations à certaines échelles. Ainsi, pour extraire les cibles, nous allons seuiller (le seuil étant estimé de manière classique à partir des statistiques sur chaque échelle considérée) certaines échelles de décomposition (différentes suivant les lignes et les colonnes). L’image finale est obtenue en combinant les résultats issus de l’analyse suivant les lignes et de celle suivant les colonnes (ce qui va permettre de réduire les fausses détections).

Comme nous pouvons le voir sur la figure 5, l’approche proposée permet bien de détecter la cible (sa signature) présente dans l’image.

Notons la possible présence de fausses alarmes proches du radar (distance < 30km). Ceci n’est pas vraiment un problème dans l’objectif de notre projet puisque cette zone pourra être (sera) surveillée par des radars en bande X. L’objectif avec les radars HFSW est de pouvoir faire de la détection à grande distance.

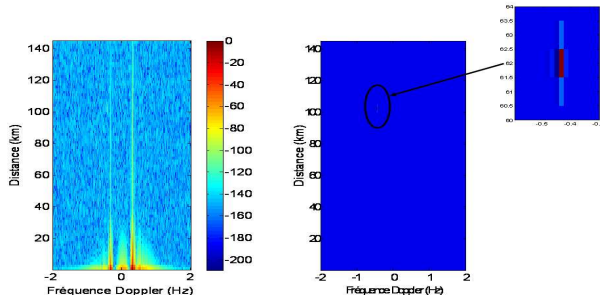


FIGURE 5 – A gauche : image Distance/Doppler simulée. A droite : image obtenue en sortie du détecteur.

3 Application à des données réelles

3.1 Introduction aux données réelles

Dans cette partie nous appliquons notre algorithme sur des données réelles qui nous ont été fournies par le SHOM et traitées par ACTIMAR. Le système radar HF utilisé est un réseau d’antennes d’émission/réception de type WERA [7] implanté dans la zone Iroise (voir figure 6). Sur cette figure, les traits rouges donnent les axes de visée de deux radars.

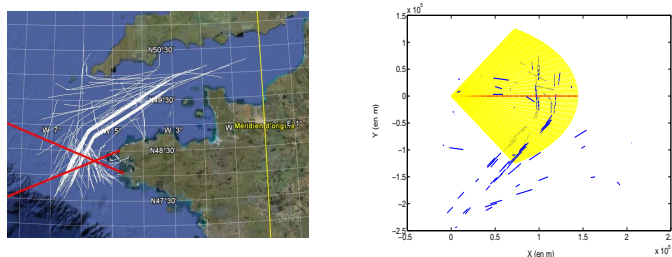


FIGURE 6 – Trajectoires de navires équipés de l’AIS dans la mer d’Iroise. A gauche : visualisation sous GoogleEarth. A droite : dans le repère local du radar (celui le plus au sud) et zone d’observation de ce dernier.

ACTIMAR nous a également fourni des données AIS (Automatic Identification System). Ce système d’échange automatisé de messages entre navires et avec les centres de surveillance du trafic permet de connaître l’identité, le statut, la position et la route des navires se situant dans la zone de navigation. Ces données nous permettent par exemple de tracer les routes des navires et ainsi d’avoir une certaine vérité terrain (voir figure 6). En effet, notons que le système AIS n’équipe pas tous les navires (il est obligatoire uniquement pour les navires de jauge brute¹ supérieure à 300) ou peut ne pas être activé pour diverses raisons.

La figure 6 représente les trajectoires de navires (en bleu) dans le repère local du radar (celui le plus au sud) ainsi que sa grille d’observation (qui est fonction des paramètres d’acquisition). Le trait rouge correspond à l’axe de visée du radar.

1. <http://www.douane.gouv.fr/data/file/1359.pdf>

3.2 Comparaison qualitative entre les données réelles et simulées

Comme nous pouvons le voir sur la figure 7, les données réelles, même si elles sont globalement proches des données simulées, présentent beaucoup plus d’interférences et de variabilités.

Les raies caractéristiques dans les images Distance/Doppler ne sont pas parfaitement rectilignes et résolues. Cela est dû à la présence de courants de surface locaux (état de mer non homogène sur la zone de surveillance). Les variations d’intensité des raies de Bragg ainsi que les trames suivant l’axe Doppler proviennent du fait que la surface de mer est un phénomène aléatoire (ce qui n’a pas été pris en compte dans ce modèle) et que le temps d’acquisition considéré (ici 1min) ne permet pas d’obtenir une caractéristique moyenne de la surface.

Ces différents éléments font que la détection des cibles va être particulièrement délicate (d’où une probable apparition soit d’un grand nombre de fausses alarmes, soit de non détections - voire les deux - en fonction des paramètres de l’algorithme).

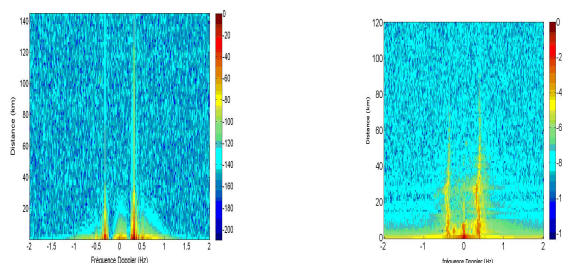


FIGURE 7 – Images Distance/Doppler obtenues en sortie d’un radar HFSW. A gauche : données simulées, à droite : données réelles.

3.3 Détection sur données réelles

Les premiers résultats obtenus à partir de ces données réelles sont présentés dans ce qui suit.

La figure 8 présente un exemple de reconstruction partielle d’une image réelle Distance/Doppler. Notons encore ici la bonne extraction des composantes directionnelles de l’image. La figure 9 présente l’image obtenue en sortie du détecteur. Si nous faisons une première évaluation qualitative des résultats obtenus par cette approche sur les données réelles, nous pouvons estimer que nous allons avoir un grand nombre de fausses alarmes dans la zone proche du radar (il suffit de regarder l’image Distance/Doppler pour comprendre pourquoi). Cependant, parmi ces ‘fausses alarmes’, il est aussi probable d’avoir détecté des bateaux sans AIS et donc d’avoir en réalité une bonne détection. Cette imprécision sur la vérité terrain fait qu’il n’est pas vraiment possible d’évaluer avec précision les performances réelles en détection de notre approche. Ceci permet aussi de souligner l’intérêt de développer un modèle performant du système afin de pouvoir évaluer les performances des détecteurs. Enfin, nous devons avoir moins de fausses alarmes mais aussi un plus fort

taux de non-détection loin du radar (en effet plus la cible est loin du radar et plus sa signature va être faible et donc noyée dans le bruit de fond).

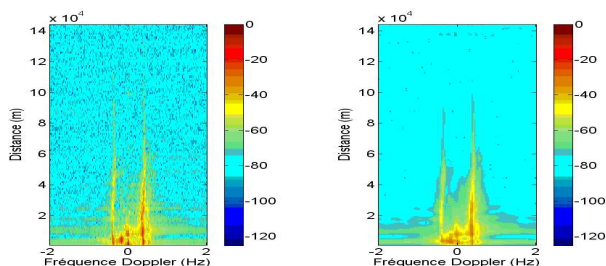


FIGURE 8 – A gauche : image Distance/Doppler. A droite : image obtenue par reconstruction partielle.

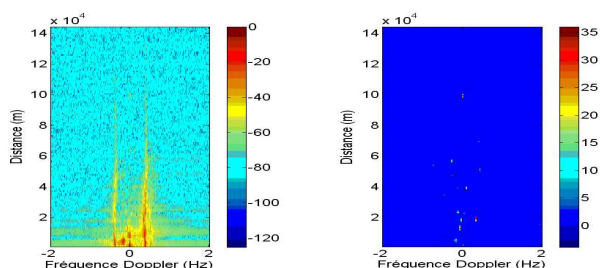


FIGURE 9 – A gauche : image Distance/Doppler. A droite : image obtenue en sortie du détecteur.

Afin de mieux appréhender le résultat obtenu à la figure 9 et d'illustrer les commentaires précédents, la figure 10 présente la carte de détection obtenue dans la zone d'observation du radar sur une acquisition de 1min ainsi que la position des navires (positions sur une période de 20min afin d'intégrer les informations de tous les bateaux sur zone - en effet, les informations AIS ne sont pas fournies en continu mais envoyées avec un intervalle de temps pouvant aller jusqu'à quelques minutes).

Comme nous pouvons le voir sur la figure 10, un certain nombre de navires ne sont pas détectés et des fausses alarmes apparaissent (ce résultat était attendu). Afin d'améliorer les performances de notre détecteur il est éventuellement d'intégrer les résultats sur plusieurs temps d'acquisition. Cela permettrait notamment de réduire le taux de fausse alarme.

Notons enfin que les paramètres à modifier/ajuster (entre les données simulées et réelles) dans l'algorithme sont le pourcentage de coefficients sélectionnés lors de la reconstruction partielle et l'estimation du seuil utilisé dans la partie utilisant les CWT. Grâce au simulateur, il est envisageable d'estimer ces seuils en fonction des états de mer et ainsi obtenir une 'abaque'.

4 Conclusion et perspectives

Dans cette contribution nous avons proposé et évalué une méthode de détection faisant appel aux curvelets et aux onde-

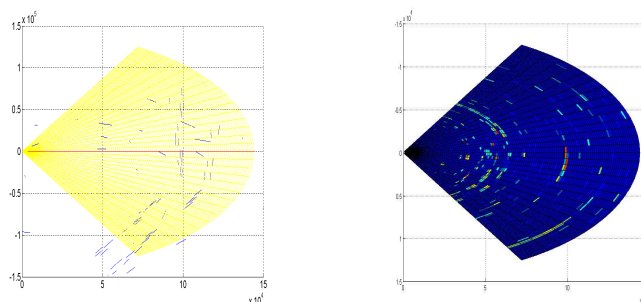


FIGURE 10 – A gauche : trajectoire des navires sur 20min. A droite : détection obtenue sur la première minute d'acquisition.

lettes continues afin de prendre en compte au mieux les aspects caractéristiques des images Distance/Doppler obtenues par les radars HFSW. Les premiers résultats obtenus montrent le potentiel de ce type d'approche. Ils montrent aussi l'intérêt de l'extraction de sources (liées à des phénomènes physiques donnés) pour cette application. Des travaux se poursuivent dans cette voie.

Remerciements

Les auteurs remercient le SHOM et ACTIMAR pour leur avoir fourni les données réelles présentées dans cet article et pour avoir autorisé leur exploitation.

Références

- [1] E.J. Candès and D.L. Donoho. *Curvelets : a surprisingly effective nonadaptive representation for objects with edges*. Curves and Surfaces, Vanderbilt University Press, Nashville, TN, 1999.
- [2] E.J. Candès, L. Demanet, D. Donoho, L. Ying. *Fast discrete curvelet transforms*. SIAM, Multiscale Modeling and Simulation, vol. 5, pp. 861-899, 2006.
- [3] CurveLab Toolbox. <http://www.curvelet.org/index.html>.
- [4] A.L. Dzvonkovskaya and H. Rohling. *Adaptive Thresholding for HF Radar Ship Detection*. Radiowave Oceanography - 6th International Workshop, mai 2006, Hamburg.
- [5] T. Górski, J-M. Le Caillec, A. Kawalec, W. Czarnecki, M. Lennon, N. Thomas. *Target Detection Using HF Radar Data*. IEEE Oceans 2007 - Europe, 4 pages, juin 2007, Aberdeen.
- [6] S. Grosdidier, A. Baussard, A. Khenchaf. *HFSW Radar model for detection performance evaluation*. International RADAR Conference (RADAR'09), octobre 2009, Bordeaux.
- [7] K.W. Gurgel, G. Antonischki, H.H. Essen, T. Schilck. *Wellen Radar (Wera) : a new ground-wave HF radar for ocean remote sensing*. Coastal Engineering, vol. 37, no. 3, pp. 219-234, 1999.
- [8] K.W. Gurgel and T. Schlick. *HF Radar Wave Measurements in the Presence of Ship Echoes - Problems and Solutions*. IEEE Oceans 2005 - Europe, vol. 2, pp. 937- 941, 2005.
- [9] F. Jangal, S. Saillant, M. Hélier. *Wavelet Contribution to Remote Sensing of the Sea and Target Detection for a High-Frequency Surface Wave Radar*. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 5, no. 3, pp. 552-556, 2008.
- [10] S. Mallat. *A wavelet tour of signal processing*. Academic Press, 1999.