

Estimation autorégressive polaire: Application à l'étude des images radar maritimes

Anne-Laure Jousset, étudiante 3^e cycle

Béatrice Philibert, directrice de recherche

Geneviève Jourdain (CEPHAG, Grenoble), co-directrice

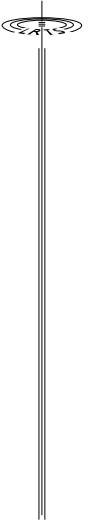
Abstract: In order to introduce radar components into oceanic measurement methods, it is necessary to develop techniques to find the sea surface characteristics from the received signal. Considering the bulky computations of existing techniques, we chose to go above the problem with a tridimensionnal parametric method (autoregressive model) which, amongst other factors, takes into account the polar form of the radar image pixels.

Résumé: Dans le but d'utiliser un radar comme instrument de mesures océaniques, il apparaît nécessaire de développer des méthodes destinées à retrouver les caractéristiques d'une surface de mer, à partir du signal reçu par le radar. Les techniques actuelles faisant appel à de lourds calculs, nous proposons d'aborder le problème à l'aide d'une méthode paramétrique (modèle autorégressif) tridimensionnelle, tenant compte d'autre part de la form polaire des pixels de l'image radar.

1. Problème

Un radar émettant en bande X s'avère comme un bon instrument de mesures océanographiques [1]. Ce matériel, relativement peu coûteux et peu encombrant, fait partie de l'équipement standard d'un bateau et par conséquent est très facile à utiliser pour des mesures locales. À partir de l'image radar obtenue par rétrodiffusion sur la surface océanographique, nous cherchons à extraire des paramètres significatifs afin de déterminer l'état de mer.

Les solutions existant actuellement font appel soit à une méthode d'analyse spectrale tridimensionnelle [1], soit à une méthode basée sur l'algorithme MUSIC [2]. Ces deux méthodes permettent d'arriver au résultat recherché avec une bonne précision et de retrouver les différents paramètres caractérisant la surface de mer : la période (T) des vagues, leur longueur d'onde (λ), leur direction et leur sens (ϕ), leur vitesse de propagation (C) ... Cependant, leur coût de calcul reste élevé, d'où l'intérêt de mettre au point une méthode plus rapide. C'est dans cette optique, que nous pensons utiliser un modèle autorégressif tridimensionnel pour représenter l'image radar de la surface de mer.



2. Modèle de mer et simulations

Afin de tester notre méthode, nous avons été amenés à choisir un modèle pour construire une surface de mer, et une image radar synthétiques. Nous avons préféré l'approche statistique à l'approche déterministe, choisissant de définir une surface maritime à partir d'un spectre d'énergie de l'océan au lieu de décrire celle-ci comme une superposition de sinusoides ou cycloïdes d'équations connues.

Pierson et Moskowitz (1964) ont proposé une forme de spectre valable pour les vagues de gravité et des mers complètement développées [3]. Cette forme de spectre, éventuellement légèrement modifiée, est très utilisée actuellement. En utilisant une version bidimensionnelle de ce spectre, et grâce à une transformée de Fourier inverse, il est possible de reconstituer un relief marin (figure 2).

Le radar qui fournit les images est embarqué sur un bateau, suffisamment loin des côtes pour négliger leur influence sur le relief marin. Ainsi, nous serons en situation d'incidence rasant, et le phénomène d'ombrage sera prépondérant (figure 1). Le radar émet en bande X (8 GHz à 12 GHz), ce qui garantit la présence de l'onde de Bragg nécessaire à la rétrodiffusion de l'onde radar, dans la plupart des situations.

Les images reçues seront tridimensionnelles et polaires : Une radiale, une composante azimuthale, et une composante temporelle. L'image synthétique devra prendre en compte ce phénomène.

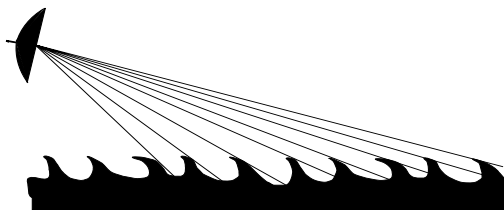


Figure 1 Phénomène d'ombrage

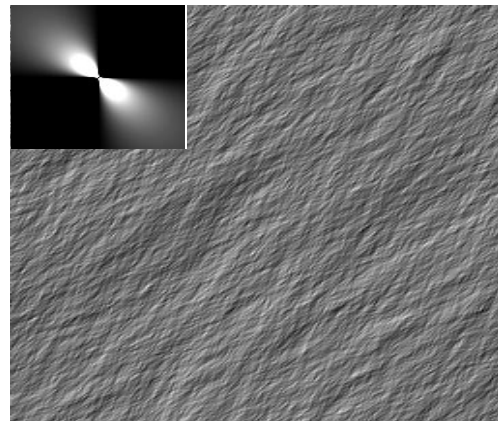


Figure 2 Surface de mer reconstituée et spectre correspondant, ($U=15\text{m/s}$, $\phi = 45^\circ$).

3. Modèle autorégressif

Une surface de mer peut être représentée par un modèle autorégressif bidimensionnel, en



coordonnées cartésiennes. Le niveau de gris d'un pixel s'exprime alors par une combinaison linéaire des niveaux de gris de ses pixels voisins [4]:

$$s(i, j) = \sum_p \sum_q a_{p,q} s(i-p, j-q) + \eta_{i,j} \quad (1)$$

- p et q appartiennent à W^* , qui est un voisinage du pixel (i,j) , excluant ce pixel;
- $a_{p,q}$ sont les coefficients AR du modèle;
- $\eta_{i,j}$ est un bruit blanc, centré;
- $E\{s(i,j)\}=0$.

Il est donc possible de faire une estimation linéaire du pixel (i,j) , en minimisant l'erreur quadratique moyenne entre le pixel et son estimée. Le problème se formule ainsi :

$$\frac{\partial S}{\partial a_{k,l}} = 0 \dots \forall (k, l) \in W \quad (2)$$

$$S = E\{e_{i,j}^2\} = E\{(s_{i,j} - \hat{s}_{i,j})^2\} \quad (3)$$

- W est un voisinage incluant le pixel (i,j) ;
- S est l'erreur quadratique moyenne;
- $\hat{s}(i, j)$ est l'estimée de $s(i,j)$.

En choisissant judicieusement le voisinage W , on peut définir l'image au complet par une seule série de paramètres AR. Ainsi, ces paramètres sont constants et indépendants du pixel (i,j) . Le passage aux coordonnées polaires ne donne pas des résultats si simples. En effet, les paramètres AR polaires ne sont pas constants sur toute l'image mais dépendent des coordonnées r et θ du pixel considéré. De plus, nous devons tenir compte de la composante temporelle de l'image. Ainsi, l'image radar se représente dans l'espace (x,y,t) par une surface hélicoïdale (figure 3). Finalement, le signal peut être complètement défini par deux composantes seulement.

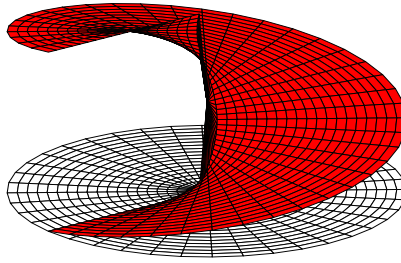
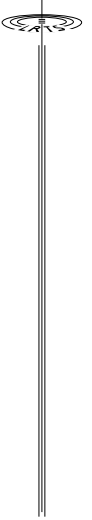


Figure 3 Représentation d'une image radar dans l'espace (x,y,t) .

4. Modèle autorégressif sur grille polaire

En continu, l'équation (1) est équivalente à l'équation différentielle suivante :

$$s(x, y) = \sum_p \sum_q \alpha_{p,q} \frac{\partial^{(p+q)} s}{\partial x^p \partial y^q} + e(x, y) \quad (4)$$

À partir de cette équation, nous pouvons retrouver la forme de l'équation (1), et exprimer les coefficients $a_{p,q}$ en fonction des coefficients $\alpha_{p,q}$, et de Δx et Δy qui sont les périodes d'échantillonnage du signal suivant x et y respectivement.

L'étape suivante consiste à introduire les dérivées partielles $\frac{\partial s}{\partial r}$, $\frac{\partial s}{\partial \theta}$, ainsi que les ordres supérieurs, afin d'arriver à une forme autorégressive polaire, où entrent en jeu r , θ , Δr , $\Delta \theta$.

Grâce à cette expression, nous pourrions calculer la matrice d'autocorrélation de l'image radar définie en coordonnées polaires, retrouver les coefficients AR et enfin estimer les paramètres significatifs de la surface de mer considérée.

Références:

- [1]: B. Philibert, G.Y. Delisle, M. Lecours, *Utilisation du radar comme instrument de mesures océanographiques*, Rapport technique, LRTS Université Laval, mars 1991.
- [2]: E. Grisel, B. Philibert, *Analyse super-résolutive appliquée à la reconnaissance de courants marins*, Congrès canadien en génie électrique et informatique, sept. 1994, vol.2 pp 409-412.
- [3]: W.J. Pierson, L. Moskowitz, *A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S.A Kitaigorodkii*, Journal of Geophysical Research, 1964, vol. 69 pp 181-5190
- [4]: L. Alparone, G. Benelli, A. Vagniluca, *Texture-based analysis techniques for the classification of radar images*, IEE Proceedings, jul. 1990, vol 137 part F, pp 276-282.