

Traitement rapide des images radar de surface de mer

Anne-Laure Jousset, étudiante 3^e cycle

Huu Tuê Huynh, Directeur 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 extract the sea surface features from the received signal. Because of its computation burden, the existing techniques, cannot be used in real time applications. In this work, we propose a new approach using a simple model for the sea surface. Based on this simplification, we obtain a bidimensional AR model that serves as basis for a new computation algorithm to rapidly extract the characteristic parameters of the sea surface. This new algorithm automatically includes the correction of the distortion due to the ratio of the radar rotating speed and the wave propagation speed.

Résumé: Pour utiliser un radar comme instrument de mesures océaniques, il est 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 consomment beaucoup de temps de calculs, ce qui empêche des applications en temps réel. Pour parer à cette difficulté, nous proposons une nouvelle approche basée sur un modèle simple pour la surface de la mer. Cette simplification permet d'utiliser un modèle AR bidimensionnel comme base pour extraire très rapidement les paramètres désirés. En plus de sa simplicité de calcul, notre méthode corrige automatiquement la distorsion due au rapport entre la vitesse de balayage du radar et celle des vagues.

1. Problème

Un radar émettant en bande X s'avère comme étant 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 qui peut éventuellement se réduire à une analyse bidimensionnelle [1], soit à une méthode basée sur l'algorithme MUSIC [2]. Ces deux méthodes permettent d'arriver au résultat recherché avec une précision acceptable 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). Toutefois, leur temps et leur complexité de calculs restent élevés; l'objectif de notre travail consiste à trouver une méthode plus rapide tout en conservant une précision comparable, sinon supérieure aux méthodes existantes.

2. Proposition d'un modèle simple

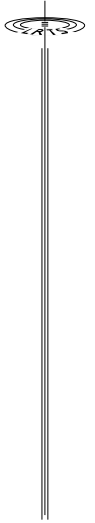
Pour résoudre le problème posé, nous proposons une modélisation très simple de la surface de mer. Nous supposons qu'une image de surface de mer décrite par ses coordonnées cartésiennes peut être représentée par un modèle autorégressif bidimensionnel du second ordre. Cette hypothèse est basée d'une part sur le fait que l'image est périodique (et à énergie finie), et d'autre part, sur le fait que les deux paramètres principaux qui nous permettent de caractériser la surface de mer sont la longueur d'onde et la direction du courant. Ces deux caractéristiques sont parfaitement décrites par le vecteur d'onde \vec{k} , et dans le cas où la surface étudiée correspond à une mer complètement développée, sous l'hypothèse d'eau libre, \vec{k} nous permet de calculer toutes les autres caractéristiques (période, célérité, hauteur significative ...).

L'image étant périodique, le signal $s(x, y)$ se décompose en série de Fourier, et toute l'information que nous cherchons se retrouve dans le premier terme qui correspond au mode fondamental. Ainsi, en extrayant les paramètres AR d'ordre 2 d'un signal $s(x, y)$, il est possible de reconstruire non pas le signal original, mais son mode fondamental, qui nous fournit l'information recherchée (longueur d'onde et direction de la vague). Des tests effectués sur des images représentant une photo de surface de mer fournit des très bons résultats.

3. Images radar de surfaces de mer

Le signal reçu par le radar ne représente pas tout à fait une photo de la surface marine. Nous allons essayer de détailler qualitativement les transformations subies par une image de mer (fixe dans le temps) et une image radar.

- **La rétrodiffusion** : L'énergie rétrodiffusée par la surface de l'eau ne donne pas directement la hauteur des vagues, mais la transformation reste linéaire.
- **L'ombrage** : Étant donné que le radar est situé à une faible altitude au dessus de l'eau, le phénomène prépondérant de la rétrodiffusion est l'ombrage. L'image radar obtenue est donc une image quasiment binaire, où apparaissent principalement des zones éclairées concordant avec le sommet des vagues, et des zones sombres concordant avec leur creu.
- **Image spatio-temporelle** : Contrairement aux images qui n'ont que deux dimensions spatiales x et y , une image radar fait intervenir une troisième dimension qui est le temps t . En effet, le signal radar n'est pas une photo, et le relief marin évolue durant le balayage du radar.
- **Système de coordonnées polaires** : L'acquisition des signaux s'effectue dans le système de coordonnées polaires (r, θ) . Par conséquent, on se retrouve avec un



signal bidimensionnel, puisque l'azimut est relié au temps par la relation linéaire $\theta = \alpha t$, où α est la vitesse de rotation du radar exprimée en radians par seconde.

- **Distorsion** : Lorsque la vitesse de la vague est beaucoup plus grande que la vitesse de rotation du radar, le signal subit une distorsion par rapport au signal original de la surface de mer. Cette distorsion, qui peut être qualifiée de temporelle ou azimutale, a pour effet de courber le dessin des crêtes des vagues sur l'image radar.

Dans le travail de simulation, les phénomènes de rétrodiffusion et d'ombrage seront pris en compte dans un premier temps, grâce à un seuillage. Comparée aux observations faites sur des signaux réels cette méthode de simulation semble refléter la réalité. Les trois autres transformations sont en fait dépendantes les unes des autres. Pour en tenir compte simultanément tout en gardant notre modélisation simple, nous allons chercher à utiliser une estimation linéaire bidimensionnelle d'ordre 2, en partant des coordonnées polaires du signal radar.

4. Estimation autorégressive bidimensionnelle

- **Autocorrélation en coordonnées polaires** : Le principe est de calculer une estimation de la matrice d'autocorrélation en coordonnées cartésiennes $\Gamma(\tau_x, \tau_y)$ à partir des coordonnées polaires r et θ . Pour cela, après avoir fait le changement de variable et la discrétisation adéquate, on introduit une fonction de coût visant à contrôler la précision sur l'estimation.
- **Paramètres AR polaires** : Dans le cas d'un signal décrit par ses coordonnées cartésiennes, nous connaissons les relations entre ses paramètres AR d'ordre 2 et les composantes du vecteur d'onde représentant son mode fondamental. Nous introduisons alors une matrice de passage des coordonnées cartésiennes aux polaires et obtenons les mêmes paramètres à partir de l'autre système de coordonnées.

Les deux méthodes présentées ci-dessus, même si elles permettent d'arriver au résultat désiré, ne sont pas numériquement acceptables dans notre cas. En effet, dans le premier cas, pour obtenir une estimation précise de la matrice d'autocorrélation en coordonnées polaires, il faut faire les calculs sur un nombre suffisant de points. Par conséquent, le temps de calcul devient trop important et la méthode perd son intérêt. Dans le deuxième cas, le passage des coordonnées cartésiennes aux coordonnées polaires n'est pas linéaire, et on doit donc inclure certaines approximations qui influenceraient beaucoup la précision du résultat. Le compromis précision-temps de calculs n'est alors plus intéressant. C'est ainsi que nous sommes arrivés à la dernière idée qui offre les performances espérées, tant au niveau de la précision que du temps de calculs.

- **Estimation linéaire** : Au lieu de chercher à traiter le signal radar comme une image et faire une estimation bidimensionnelle, ce qui alourdit beaucoup les expressions, nous allons exploiter l'évolution temporelle de l'image radar. Une

image radar est en réalité une succession de signaux unidimensionnels $s(r)$ représentant chacun le relief marin dans une direction fixée θ et par conséquent pour un temps fixé t . Pour un azimuth donné, nous pouvons extraire les paramètres AR du signal variant selon sa portée r , et suivant le raisonnement décrit plus haut, retrouver les caractéristiques du mode fondamental du signal dans cette direction. En répétant cette opération sur l'image complète, nous obtenons une fonction $\hat{k}(\theta)$ qui représente l'estimation du nombre d'onde suivant les différentes directions θ . Le maximum de cette fonction nous donne la valeur estimée du nombre d'onde sur l'image totale, et la direction θ_m correspondante est la direction de la vague ϕ . Le gain de calcul est très important car on remplace une technique de traitement bidimensionnelle par une analyse unidimensionnelle parfaitement équivalente.

5. Résultats

Les résultats présentés aux figures 1 et 2 ont été obtenus à partir d'images radar simulées. Les images ont été construites de façon à se rapprocher le plus possible des signaux réels que nous possédons. Par conséquent, en tenant compte des observations du paragraphe 3, nous avons simulé des signaux radar de surfaces de mer pour des radar émettant à courte et à moyenne portée (portée maximale allant de 650 mètres à 1 kilomètre), et en incidence rasante. Nous traitons ainsi des signaux synthétiques du type de celui présenté à la figure 1-a.

Les figures 1-b et 2, nous montrent les estimations des longueur d'onde et direction de la vague, selon la nouvelle approche décrite précédemment. La courbe en pointillés représente l'estimation du nombre d'onde au court de balayage du radar, alors que la courbe en trait plein est un lissage permettant de repérer le nombre d'onde maximum. On obtient alors une très bonne précision sur les estimations tant de la direction que de la longueur d'onde. De plus, cette méthode est très robuste en présence du bruit additif (bruit de mesures).

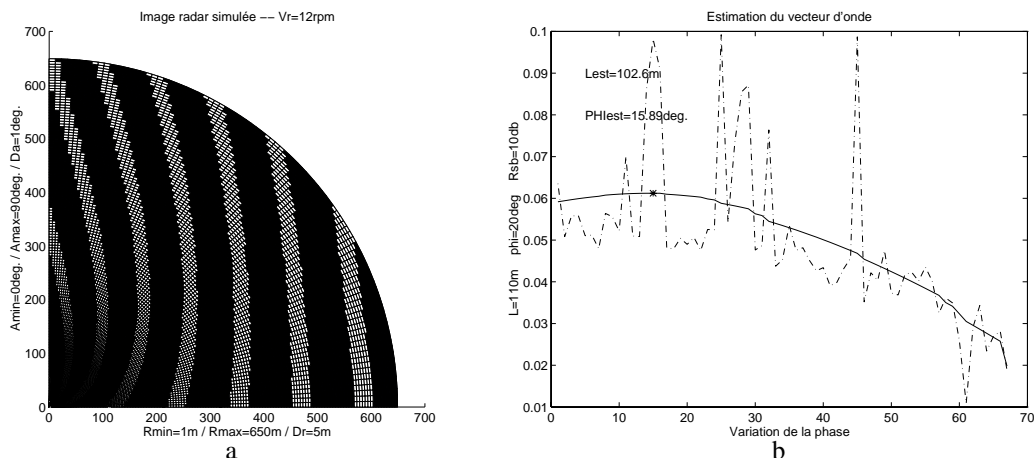


Figure 1 Image radar simulée pour une portée maximale de 650 mètres et une vitesse de rotation du radar de 12 rotation par minute (a) et estimation correspondante du vecteur d'onde (b).

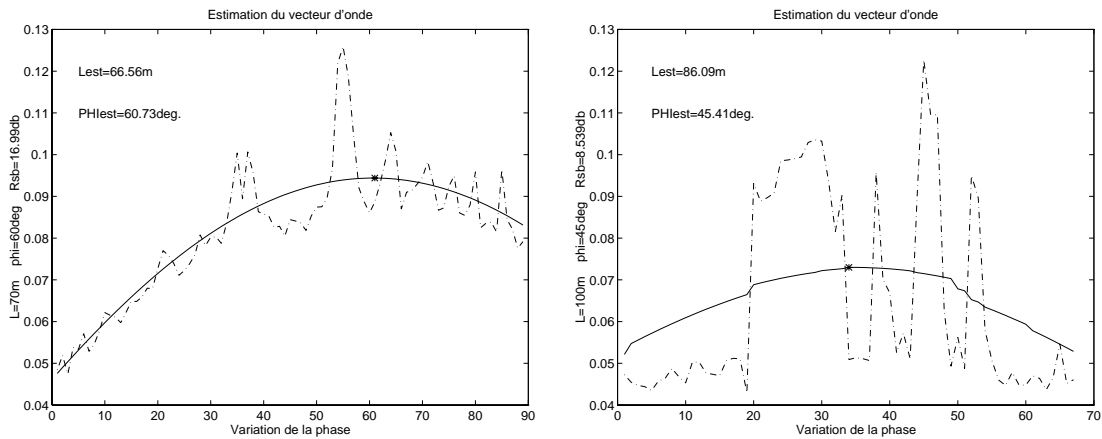
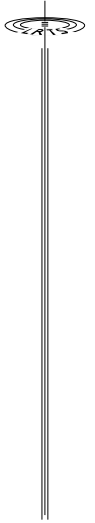


Figure 2 Estimations de la longueur d'onde et de la direction de la vague en présence de bruit.

6. Conclusion

Grâce à un modèle très simple de la surface de mer, nous avons pu mettre au point une nouvelle méthode qui nous permet de caractériser une surface de mer à partir d'un signal reçu par un radar émettant en bande X, et à courte et à moyenne portée. Les résultats obtenus sont satisfaisants car en plus de sa très bonne précision, cette méthode d'analyse est très rapide, ce qui peut permettre des applications en temps réel. Enfin, elle tient compte du système de coordonnées polaires de l'image radar, et corrige automatiquement la distorsion temporelle introduite dans l'image par une vitesse de rotation du radar trop lente par rapport à la vitesse de la vague.

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.