

Restauration d'images marines issues d'un radar à ouverture synthétique par filtrage adapté et technique multivues

Myriam Grandchamp⁽¹⁾ et Jean-François Cavassilas⁽²⁾

⁽¹⁾CTSN/DLSM,
Site du Mourillon
83800 Toulon Naval, France

⁽²⁾Laboratoire GESSY, ISITV
83157 La Valette du Var, France

RÉSUMÉ

Les images issues de radars à ouverture synthétique sont entachées d'un bruit de granularité (speckle) pouvant affecter fortement la lisibilité de l'image. Nous avons récemment proposé une technique qui consiste à rehausser une texture particulière dans l'image, tout en réduisant le bruit de speckle, en utilisant la corrélation existant entre différentes vues d'une même scène. Les résultats obtenus par cette technique sont très encourageants. Cependant ils dépendent beaucoup du choix du modèle de texture et de bruit.

C'est pourquoi nous proposons dans cette communication l'utilisation d'un modèle qui tient compte de la réponse impulsionnelle du système imageur.

ABSTRACT

Synthetic Aperture Radar (SAR) images are affected by a granular noise (speckle) which can affect their lisibility. Recently, we have proposed a new technique which consists in enhancing a specific texture in an image, while simultaneously reducing speckle, by using the correlation existing between the different views of a scene. Results are promising, but depend on the choice of the model for the texture and noise. In this paper, we propose to use a model taking into account the impulse response of the imaging system.

1 Introduction

Dans le processus de formation de l'image radar à ouverture synthétique (ROS), la technique multivue constitue une approche courante pour diminuer le bruit de speckle. Cette réduction de bruit est réalisée par la sommation incohérente de plusieurs vues (ou looks) en intensité. Etant donné que ces vues peuvent être corrélées, il apparaît intéressant d'utiliser cette information supplémentaire.

Nous avons récemment proposé une technique basée sur la prise en compte de cette information, qui utilise le procédé de filtrage adapté stochastique multidimensionnel. Ce procédé consiste à construire des filtres adaptés à une texture particulière et à réduire simultanément le bruit. Les signaux utiles et les bruits sont caractérisés par leur matrice de covariance. Ces matrices sont composées de coefficients représentant la corrélation existant entre les différentes vues.

Les modèles de texture et de bruit sont choisis sur les images. Dans notre cas, la texture à mettre en valeur est constituée par un sillage de mobile marin. Le bruit est choisi dans des zones homogènes de l'image. Cependant, différents tests ont montré que les résultats obtenus pouvaient varier selon le choix

du modèle de texture et de bruit. Nous proposons dans cette communication des modèles prenant en compte la corrélation spatiale existant entre les pixels, ainsi que la corrélation entre les différentes vues.

Le principe du filtrage adapté stochastique multidimensionnel ainsi que son application à la technique multivue sont rappelés en section 2. La modélisation des signaux utiles et des bruits est ensuite exposée en section 3. La section 4 fournit les résultats expérimentaux.

2 Formulation mathématique

La technique du filtrage adapté stochastique a été formalisée dans [2] pour le cas scalaire et dans [1] pour le cas multidimensionnel. Une de ses applications se trouve dans [6]. Rappelons brièvement les principaux points de cette technique.

Considérons M signaux utiles s_1, s_2, \dots, s_M , respectivement bruités par M bruits n_1, n_2, \dots, n_M . La technique du filtrage adapté consiste à trouver un vecteur h qui maximise le rapport signal à bruit, donné par la relation suivante

$$K = \frac{\sigma_s^2 h^t \Gamma_0 h}{\sigma_n^2 h^t R_0 h}, \quad (1)$$

où Γ_0 et R_0 sont respectivement les matrices de covariance normalisées des signaux et des bruits. On a $\sigma_s^2 = \max(\sigma_{s_j}^2)$ et $\sigma_n^2 = \max(\sigma_{n_j}^2)$ où $j \in \{1, \dots, M\}$. K sera maximum si le filtre est constitué par le vecteur propre associé à la plus grande valeur propre de la matrice

$$C = R_0^{-1} \Gamma_0.$$

Supposons que C possède T valeurs propres distinctes et T vecteurs propres $h_{0,j}, h_{1,j}, \dots, h_{T-1,j}$ pour le $j^{\text{ième}}$ signal. Les vecteurs propres $h_{i,j}$ ($i^{\text{ième}}$ vecteur propre, $j^{\text{ième}}$ signal) correspondant aux valeurs propres supérieures à 1 peuvent contribuer à une amélioration du rapport signal à bruit.

Soit P le nombre de valeurs propres supérieures à 1. La décomposition des signaux s_j et n_j sur la base constituée par les P vecteurs $y_{i,j} = R_0 h_{i,j}$ donne :

$$s_j = \sum_{i=1}^P v_i y_{i,j}; \quad n_j = \sum_{i=1}^P w_i y_{i,j}. \quad (2)$$

avec $j \in \{1, \dots, M\}$ et

$$\begin{aligned} v_i &= h_{i,1}^t s_1 + h_{i,2}^t s_2 + \dots + h_{i,M}^t s_M; \\ w_i &= h_{i,1}^t n_1 + h_{i,2}^t n_2 + \dots + h_{i,M}^t n_M. \end{aligned}$$

Dans notre cas, les M signaux sont représentés par M vues. La décomposition précédente est appliquée à chaque vue. Les différentes vues sont ensuite projetées au sol et additionnées en intensité pour obtenir l'image finale. Les matrices de covariance Γ_0 et R_0 représenteront les corrélations existant entre les différentes vues.

Soit une imagerie (L, L) représentant la texture de la $k^{\text{ième}}$ vue. Cette imagerie est mise sous forme de vecteur $x_k(L^2, 1)$. Un vecteur signal $s(L^2 \times M, 1)$ est ensuite construit en concaténant les M vecteurs correspondant aux M vues. L'expression de s est donnée par

$$s = (x_1^t \ x_2^t \ \dots \ x_M^t)^t.$$

n est obtenu de la même façon. L'expression de la matrice de covariance de la texture est alors donnée par

$$\sigma_s^2 \Gamma_0 = E\{s^t s\} = \begin{bmatrix} \Gamma_{x_1 x_1} & \Gamma_{x_1 x_2} & \dots & \Gamma_{x_1 x_M} \\ \Gamma_{x_2 x_1} & \Gamma_{x_2 x_2} & \dots & \Gamma_{x_2 x_M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Gamma_{x_M x_1} & \Gamma_{x_M x_2} & \dots & \Gamma_{x_M x_M} \end{bmatrix} \quad (3)$$

où $\Gamma_{x_k x_k}$ est la matrice de covariance de la $k^{\text{ième}}$ vue, et $\Gamma_{x_k x_l}$ représente les intercorrélations existant entre la $k^{\text{ième}}$ et la $l^{\text{ième}}$ vue.

Les résultats obtenus par l'application de cette méthode, en prenant comme texture un sillage de bateau, et en choisissant le bruit dans une zone homogène de chaque vue, sont montrés dans [5]. Différents tests ont montré que ces résultats pouvaient varier selon le choix des zones représentant la texture et le bruit. Il apparaît donc nécessaire de synthétiser des modèles.

3 Modélisation de la texture et du bruit

Pour modéliser la texture et le bruit, des images représentant les coefficients de réflectivité initiaux vont être simulées et traitées suivant les deux axes distance et azimut.

Il est effectivement plus réaliste de faire intervenir le mécanisme d'imagerie dans cette modélisation car il introduit une corrélation spatiale entre les pixels [7].

3.1 Modélisation des coefficients de réflectivité

Afin de modéliser une zone homogène, une distribution surfacique de diffuseurs est simulée, qui représentera la carte de réflectivité radar pour le bruit de speckle. On considère que chaque élément de surface comporte M diffuseurs élémentaires. Pour une case distance quelconque, soit ξ_i le coefficient de réflexion complexe du diffuseur à la position azimutale représentée par l'indice i . L'expression de ξ_i est donnée par

$$\xi_i = \sum_{m=1}^M \rho_m^i e^{j\psi_m^i} \quad (4)$$

$$= A_i + jB_i \quad (5)$$

où ρ_m^i représente l'amplitude de la réflectivité complexe du diffuseur élémentaire d'indice m de l'élément de surface d'indice i , et ψ_m^i sa phase.

Si l'on considère un bruit de speckle complètement développé, les phases et les amplitudes sont des variables aléatoires indépendantes [3]. Les phases sont supposées uniformément distribuées entre $-\pi$ et π , étant donné qu'aux fréquences utilisées, la longueur d'onde émise est faible par rapport à la cellule de résolution. La distribution d'amplitude utilisée sera gaussienne.

En ce qui concerne la texture, l'image des coefficients de réflectivité peut être représentée par un bandeau bicolore, afin de simuler la différence d'amplitude entre le sillage et la mer. Le coefficient ξ_i aura donc une amplitude constante sur chaque partie du bandeau, d'abord de forte valeur puis de faible valeur. La phase sera uniformément distribuée sur l'intervalle $[-\pi, \pi]$.

3.2 Simulation des traitements distance et azimut

Afin d'introduire une corrélation suivant l'axe distance, la réponse impulsionnelle du système suivant cet axe est modélisée par une fonction sinus cardinal, pondérée par une fenêtre de Hamming. La résolution est représentée par la largeur du lobe principal à -3 dB.

Les images représentant les coefficients de réflectivité initiaux sont donc filtrées suivant l'axe distance. Les images résultantes sont ensuite traitées suivant l'axe azimutal afin d'obtenir l'expression de l'estimée des coefficients de réflectivité initiaux.

Pour une case distance quelconque, soit $R_p = A_p + jB_p$

l'amplitude complexe d'un pixel filtré suivant l'axe distance et se trouvant à la position azimutale P . On montre [4] que les expressions des estimées de A_p et B_p , après traitement suivant l'axe azimut, ont la forme suivante

$$\begin{aligned} \hat{A}_p &= A_p \\ &+ (A_{p-1} + A_{p+1}) \left(\tilde{\Gamma}_{cc_n}(1) + \tilde{\Gamma}_{ss_n}(1) \right) \\ &+ \dots \dots \\ &+ (A_1 + A_{2p-1}) \left(\tilde{\Gamma}_{cc_n}(p-1) + \tilde{\Gamma}_{ss_n}(p-1) \right) \\ &+ (B_{p-1} - B_{p+1}) \left(\tilde{\Gamma}_{cs_n}(1) - \tilde{\Gamma}_{sc_n}(1) \right) \\ &+ \dots \dots \\ &+ (B_1 - B_{2p-1}) \left(\tilde{\Gamma}_{cs_n}(p-1) - \tilde{\Gamma}_{sc_n}(p-1) \right) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \hat{B}_p &= B_p \\ &+ (B_{p-1} + B_{p+1}) \left(\tilde{\Gamma}_{cc_n}(1) + \tilde{\Gamma}_{ss_n}(1) \right) \\ &+ \dots \dots \\ &+ (B_1 + B_{2p-1}) \left(\tilde{\Gamma}_{cc_n}(p-1) + \tilde{\Gamma}_{ss_n}(p-1) \right) \\ &+ (A_{p-1} - A_{p+1}) \left(\tilde{\Gamma}_{sc_n}(1) - \tilde{\Gamma}_{cs_n}(1) \right) \\ &+ \dots \dots \\ &+ (A_1 - A_{2p-1}) \left(\tilde{\Gamma}_{sc_n}(p-1) - \tilde{\Gamma}_{cs_n}(p-1) \right) \end{aligned} \quad (7)$$

où $\tilde{\Gamma}_{cc_n}$ et $\tilde{\Gamma}_{ss_n}$ sont respectivement les fonctions d'autocorrélations normalisées des réponses impulsionnelles en cosinus et sinus du système imageur, suivant l'axe azimutal.

Cette simulation est réalisée pour chaque colonne distance. Comme nous disposons pour chaque vue de la réponse impulsionnelle azimutale du système et des paramètres radar, il sera possible de créer un modèle de bruit pour chaque vue. Un seul modèle de texture sera créé et utilisé pour chaque vue afin d'avoir une corrélation maximale.

4 Résultats expérimentaux

4.1 Résultats de la modélisation

La texture que l'on souhaite modéliser est représentée par un sillage vertical de mobile marin. Les fonctions d'autocorrélation des modèles de texture et de bruit sont respectivement montrées en figures 1 et 2. La présence d'anticorrélations sur la fonction d'autocorrélation de la texture traduit le passage d'une zone brillante à une zone sombre.

La comparaison de ces fonctions d'autocorrélation avec celles obtenues pour des textures ou bruits choisis sur les images réelles montre qu'elles sont assez semblables. Mais dans le cas de vues très bruitées, la fonction d'autocorrélation de la texture peut ressembler fortement à celle du bruit, d'où la nécessité d'une modélisation.

4.2 Résultats de la technique

Les images utilisées proviennent d'un radar à ouverture synthétique aéroporté, de l'Office National d'Etudes et de

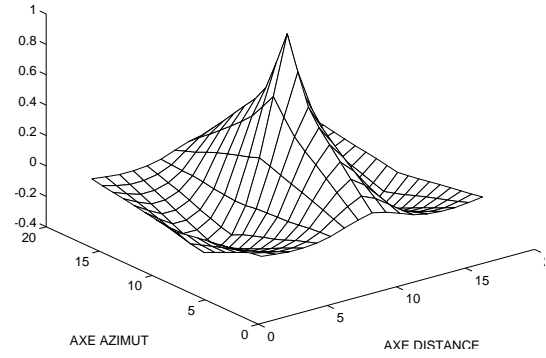


FIG. 1 — Fonction d'autocorrélation du modèle de texture

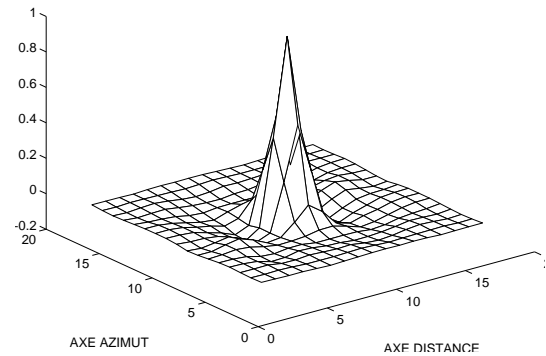


FIG. 2 — Fonction d'autocorrélation du modèle de bruit

Recherches Aérospatiales (ONERA). La figure 3 représente l'image originale, obtenue par la technique multivue classique (dans ce cas, 4 vues ont été utilisées).

L'image finale obtenue par filtrage sur les différentes vues est montrée en figure 4 dans le cas où la texture et le bruit sont choisis directement sur les vues. Dans le cas où des modèles sont utilisés, l'image finale correspondante est représentée en figure 5. Toutes ces images sont des images en amplitude.

Le niveau de speckle sur chaque image finale est mesuré par le coefficient de variation sur des zones homogènes des images. Ce coefficient est donné par

$$C_A = \frac{\sigma_A}{E\{A\}}$$

et a été calculé sur un grand nombre d'images dans différentes zones. Les résultats obtenus sont montrés dans le tableau 1 pour chaque image.

Image originale	Après trait. sans modèles	Après trait. avec modèles
0.2752	0.0657	0.0594

TAB. 1 — Valeurs de C_A pour les différentes images

5 Conclusion

Le niveau de speckle a été fortement diminué grâce à la technique proposée, que l'on utilise ou non un modèle pour la

texture à rehausser et pour le bruit. Cependant, visuellement, l'image obtenue avec utilisation de modèles paraît plus nette. On constate en effet la présence d'une sorte de tramage sur l'image finale après traitement, dans le cas où la texture et le bruit n'ont pas été modélisés.

De plus, l'utilisation de modèles permet d'obtenir un nombre suffisant d'observations pour le calcul des matrices de covariance et est très utile dans le cas où le sillage, sur les images réelles, est peu visible.

Références

- [1] J. F. Cavassilas, G. Chabriel. *Filtrage adapté stochastique multidimensionnel*. Rapport interne Gessy, 1996.
- [2] J. F. Cavassilas, B. Xerry. *Extension de la notion de filtre adapté. Contribution à la détection de signaux courts en présence de termes perturbateurs*. *Traitement du Signal*, Vol. 10, No. 3, pp. 215-222, 1993.
- [3] J. W. Goodman. *Some fundamental properties of speckle*. *JOSA*. Vol. 66, no 11, 1976.
- [4] M. Grandchamp. *Compte-rendu d'activités*. Avril 1997.
- [5] M. Grandchamp, J. F. Cavassilas. *Improved Multilook Technique Applied to SAR Images*. in Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing. Vol. 4, pp. 2821-2824, 1997.
- [6] C. Lévêque et J. F. Cavassilas. *Généralisation du concept de filtrage adapté-Application au filtrage d'images ROS d'états de surface de la mer*. 14^{ème} colloque Grets. Vol. 1, pp. 539-543, 1993.
- [7] R. K. Raney et G. J. Wessels. *Spatial Considerations in SAR Speckle Simulation*. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 26, no 5, pp. 666-672, 1988.

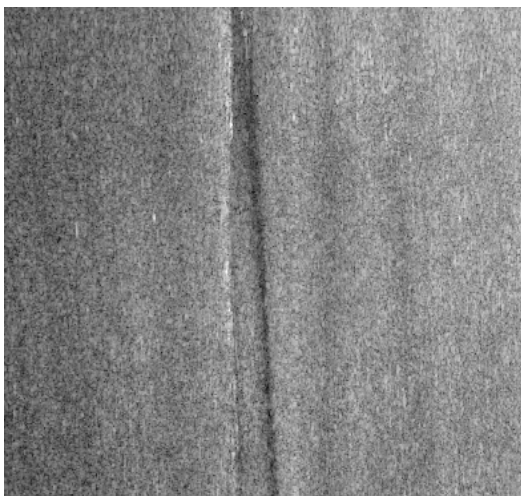


FIG. 3 — Image finale originale

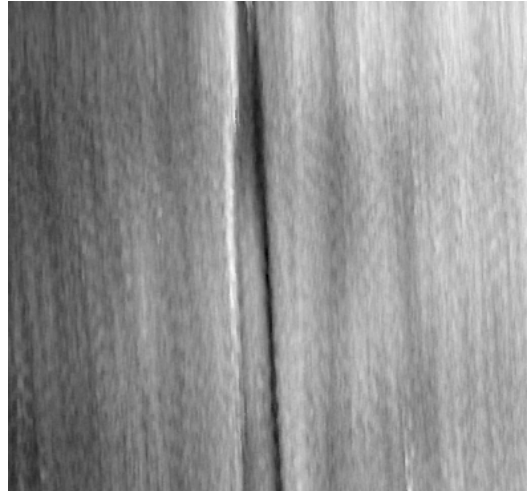


FIG. 4 — Image finale après traitement, sans utilisation de modèles



FIG. 5 — Image finale après traitement, avec utilisation de modèles