

Détection de changement sur images SAR monovariées par analyse temps-fréquence linéaire

Ammar Mian, Jean-Philippe Ovarlez, Guillaume Ginolhac, Abdourrahmane Atto

▶ **To cite this version:**

Ammar Mian, Jean-Philippe Ovarlez, Guillaume Ginolhac, Abdourrahmane Atto. Détection de changement sur images SAR monovariées par analyse temps-fréquence linéaire. GRETSI 2017, Sep 2017, Juan Les Pins, France. hal-01617062

HAL Id: hal-01617062

https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-01617062

Submitted on 16 Oct 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Détection de changement sur images SAR monovariées par analyse temps-fréquence linéaire

Ammar MIAN[1,2], Jean-Philippe OVARLEZ[1,3], Guillaume GINOLHAC[2], Abdourrahmane M. ATTO[2]

[1]CentraleSupelec SONDRA
Plateau de Moulon, 3 rue Joliot-Curie, F-91192 Gif-sur-Yvette Cédex - France

[2]Polytech Annecy Chambéry LISTIC
5 Chemin de bellevue, Annecy-Le-Vieux, 74940 Annecy

[3]ONERA
Chemin de la Hunière, 91123 Palaiseau

ammar.mian@centralesupelec.fr, jeanphilippe.ovarlez@centralesupelec.fr
guillaume.ginolhac@univ-smb.fr, abdourrahmane.atto@gmail.com

Résumé – Nous proposons, dans ce papier, une nouvelle méthodologie pour la Détection de Changement entre deux images SAR monovarié. Des outils d'analyse Temps-Fréquence Linéaire sont utilisés pour obtenir une diversité spectrale et angulaire. Cette diversité est utilisée dans une problème de détection sur vecteurs multivariés et le détecteur obtenu affiche de meilleurs performances que le détecteur classique en SAR monovarié.

Abstract – In this paper, we propose a novel methodology for Change Detection between two monovariate complex SAR images. Linear Time-Frequency tools are used in order to recover a spectral and angular diversity of the scatterers present in the scene. This diversity is used in bi-date change detection framework to develop a detector, whose performances are better than the classic detector on monovariate SAR images.

1 Introduction

En télédétection, la détection de changement entre deux images acquises à différentes dates est un outil très utile dans diverses applications pratiques telles que la surveillance d'une scène d'intérêt ou la mesure de la déforestation d'une zone. L'imagerie par synthèse d'ouverture (SAR) est intéressante dans ce contexte de par sa capacité à être utilisée par toutes conditions de luminosité.

De nombreuses méthodes pour la détection de changement en SAR ont été explorées [1]. Pour des images monovariées, la méthode la plus simple consiste à estimer la variance des données, supposées gausiennes, pour chaque pixel sur une fenêtre et à effectuer le rapport [2] :

$$\hat{\Lambda}_{\mathrm{GLRT-mono}} = \frac{\left(\sum_{k=1}^{K}|x_k|^2 + \sum_{k=1}^{K}|y_k|^2\right)^2}{\sum_{k=1}^{K}|x_k|^2 \sum_{k=1}^{K}|y_k|^2} \qquad (1)$$

x_k représentant la valeur du pixel sur image 1 and y_k sur the image 2. K correspond à la taille de la fenêtre d'analyse.

Cette méthode ne prends en compte que l'amplitude de chaque pixel pour la détection. Les résultats peuvent être améliorés en développant un détecteur prenant en compte une diversité supplémentaire comme la polarimétrie. Dans ce cas, chaque pixel est représenté par un vecteur de données correspondant au coefficient de rétrodiffusion dans chaque mode polarimétrique (HH, VV ou HV). Plusieurs travaux ont été effectués pour prendre en compte cette diversité [3, 4] afin d'améliorer les performances de détection. On peut alors se demander si demander si à part la polarimétrie, d'autres types de diversités peuvent être exploitées. Cela peut se révéler intéressant dans des cas où la polarimétrie n'est pas disponible. En effet, elle nécessite des capteurs avec des capacités d'émettre des ondes électromagnétiques dans différents modes de polarisation, et ne sont pas toujours disponibles. Ainsi, souvent, les seules données disponibles sont des images monovariées de la scène.

Nous proposons dans ce papier d'exploiter une diversité spectrale en angulaire présente dans les images SAR très haute résolution. En effet, l'hypothèse traditionnelle faite en SAR d'anisotropie et de blacheur des diffuseurs de la scène n'est plus valable en haute résolution [5, 6]. Les diffuseurs peuvent avoir une signaute spectro-angulaire particulière du fait de leur matériau (dispersif), de l'orientation du radar ou de leur géométrie. Cette diversité est d'intérêt dans notre problème de détection de changement sur des images monovariées. Cette diversité est exploitée dans [7] à l'aide d'une analyse Temps-Fréquence pour

des fins de détection de cible. Nous étendons dans ce papier cette méthodologie dans le cadre de la détection de changement.

La section 2 présente une généralisation de la technique de détection présentée en introduction au cas multivariée. En 3, nous présentons une méthodologie pour obtenir une information sur les signatures sprectro-angulaire des diffuseurs présents dans la scène. Une simulation est présentée en section 4 et nous concluons en 5.

Tu peux enlever ce paragraphe. Pas utile pour des papiers de conf de 4p

2 Formalisation du problème

Nous avons deux images multivariées (vecteur de taille p) $\mathbf{I}$ et $\mathbf{J}$ de taille M, à deux dates différentes :

$$\begin{cases} \mathbf{I} = [\mathbf{i}_1, \mathbf{i}_2, \ldots, \mathbf{i}_M] \in \mathbb{C}^{p \times M} \\ \mathbf{J} = [\mathbf{j}_1, \mathbf{j}_2, \ldots, \mathbf{j}_M] \in \mathbb{C}^{p \times M} \end{cases}$$

Un détecteur de changement a été proposé par Novak dans [3] pour des vecteurs supposés gaussiens : $\forall k$, $\mathbf{i}_k \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}_p, \mathbf{C}_i)$ et $\mathbf{j}_k \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}_p, \mathbf{C}_j)$. Le problème de détection est le suivant :

$$\begin{cases} H_0 : \mathbf{C}_i = \mathbf{C}_j \\ H_1 : \mathbf{C}_i \neq \mathbf{C}_j \end{cases}$$

La détection est faite à partir des matrices de covariances des données qui sont estimées sur une fenêtre correspondant à K échantillons. La statistique de détection obtenue en dérivant le GLRT qui est la suivante :

$$\hat{\Lambda}_{\mathrm{GLRT-multi}} = \frac{\left| \frac{1}{2K} \left(\sum_{k=1}^{K} \mathbf{i}_k \, \mathbf{i}_k^H + \sum_{k=1}^{K} \mathbf{j}_k \, \mathbf{j}_k^H \right) \right|^{2K}}{\left| \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} \mathbf{i}_k \, \mathbf{i}_k^H \right|^{K} \left| \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} \mathbf{j}_k \, \mathbf{j}_k^H) \right|^{K}}. \quad (2)$$

3 Construction de la diversité Spectrale et Angulaire

La figure 1 présente la géométrie classique d'un système SAR stripmap. Le radar bouge sur un axe y et émet une onde représentée par son vecteur d'onde $\mathbf{k}$. Ce vecteur d'onde est reliée à la fréquence émise par $|\mathbf{k}| = k = 2f/c$ (c étant la célérité de la lumière) et à l'angle de visée par $\theta = \arg(\mathbf{k})$. Nous avons donc $\mathbf{k} = [k_x, k_y]^T = [k\cos(\theta), k\sin(\theta)]^T$.

Chaque réflecteur de la scène est à la position $\mathbf{r} = [x, y]^T$ et ont un coefficient de réflection $I(\mathbf{r})$. La carte de ces coefficients pour chaque réflecteur de la scène correspond à l'image reconstituée. Dans les algorithmes traditionnels (type RMA [8]), une étape correspond au calcul de la section efficace radar $H(\mathbf{k})$. Une interpolation de Stolt est ensuite effectuée pour passer d'un repère cartésien à un repaire polaire. L'image finale est obtenue par une transformée de Fourier inverse sur k_x et k_y :

$$I(\mathbf{r}) = \iint_{\mathbb{R}^2} H(k_x, k_y) \, e^{2\,j\,\pi\,(k_x\,x + k_y\,y)} \, dk_x \, dk_y \quad (3)$$

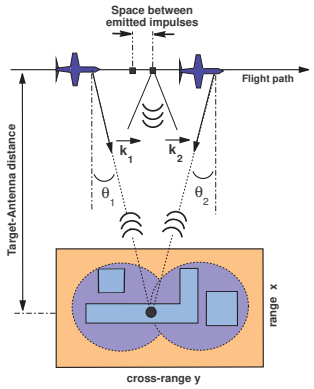


FIGURE 1 – Géométrie d'acquisition. Un réflecteur est vu selon deux angles d'illuminations

En haute résolution, cette opération résulte en une perte d'information sur la signature sprectro-angulaire des diffuseurs. On peut néanmoins conserver cette information par une analyse Temps-Fréquence comme présentée dans [7]. Dans ce papier, nous proposons d'utiliser une transformée de Fourier à court terme sur $H(\mathbf{k})$ afin de reconstruire l'image pour différents intervalles de fréquences et angles. d'angles

Supposons que nous avons une image dont le spectre a le domaine de définition $\Delta = [k_{\min}, k_{\max}] \cup [\theta_{\min}, \theta_{\max}]$. On pose $\kappa = k_{\max} - k_{\min}$, $\Theta = \theta_{\max} - \theta_{\min}$ et on peut définir la fonction $\phi_{l,m}(k, \theta)$

$$\phi_{l,m}(k,\theta) = \begin{cases} 1 \text{ si } (k,\theta) \in \Delta_{l,m} \\ 0 \text{ autrement} \end{cases} \quad (4)$$

avec

$$\begin{aligned} \Delta_{l,m} = &\left[k_{\min} + \frac{(l-1)\kappa}{N_k}, k_{\min} + \frac{l\kappa}{N_k} \right] \\ &\cup \left[\theta_{\min} + \frac{(m-1)\Theta}{N_\theta}, \theta_{\min} + \frac{m\Theta}{N_\theta} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

$\phi_{l,m}$ est une fenêtre qui permet de sélectionner un intervalle d'angles et de fréquences afin de construire une image des diffuseurs répondant à ce domaine spectro-angulaire. La taille de la fenêtre détermine le nombre de bandes de fréquences N_k et d'angles N_θ. Les différentes images sont obtenu par :

$$W_{l,m}(\mathbf{r}) = \int_0^{2\pi} \mathrm{d}\theta \int_0^{+\infty} k \, H(k,\theta) \, \phi_{l,m}(k,\theta) \, e^{+j2\pi\mathbf{k}^T\mathbf{r}} \, \mathrm{d}k \quad (6)$$

La figure 2 montre un exemple de décomposition pour $N_k = N_\theta = 3$. On peut ainsi obtenir une image multivariée : pour chaque pixel, on peut associer un vecteur $\mathbf{i}$ de taille $N_k \times N_\theta$ correspondant à $\mathbf{i} = [W_{1,1}(x,y), W_{1,2}(x,y), \ldots, W_{N_k,N_\theta}(x,t)]^T$.

En pratique, l'image obtenue doit être décimée conformément au principe d'incertitude : le support de la fenêtre étant plus limité, la résolution spatiale obtenue est moins bonne. Ainsi l'image est décimée d'un facteur N_k dans la direction x et N_θ dans la direction y.

Nous obtenons ainsi à partir de l'image monovariée de départ, une image multivariée contenant l'information sur la diversité

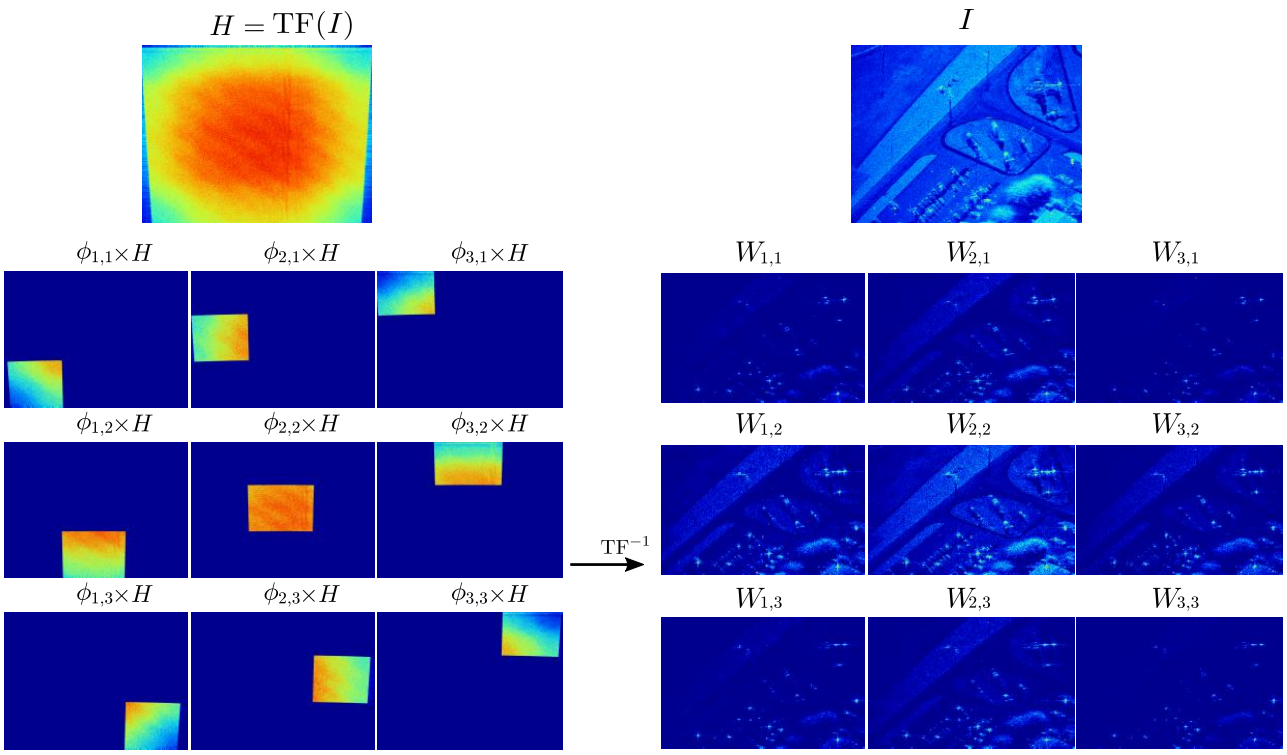


FIGURE 2 – Exemple de décomposition avec $N_k, N_\theta = 3, 3$

spectro-angulaire des diffuseurs. Cette méthodologie permet d'appliquer le détecteur présenté en 2.

4 Simulations

Nous présentons dans cette section, des simulations réalisées sur une image SAR (disponible sur `http://www.sandia.gov/radar/complex_data/`) afin de comparer les performances du détecteur (2) avec la décomposition Temps-Fréquence et le détecteur en monovarié (1).

Toutes les simulations présentées ont été faite pour $N_k = 5$ and $N_\theta = 5$. Nous ajoutons sur cette image des cibles avec une certaine signature spectro-angulaire afin de simuler un changement. Le RSB peut être contrôlé par ce moyen. Il est défini comme le rapport de la puissance de la cible sur la puissance moyenne de l'image sur une fenêtre de 20×20 autour de la cible. Du bruit Gaussien a été ajouté pour prendre en compte la différence de speckle entre les images, et sa variance a été estimée sur les zones sombres de l'image. La figure 3 présente un exemple de changement obtenu pour 20 cibles.

La figure 4, présente des courbes P_{FA}-seuil calculés entre deux images pour lequel aucun changement n'a été ajouté. On constate que la taille de la fenêtre d'analyse est important, notamment dans le cas multivarié où pour une fenêtre 5×5, la P_{FA} n'est pas bien régulée car le nombre de données secondaire est insuffisant.

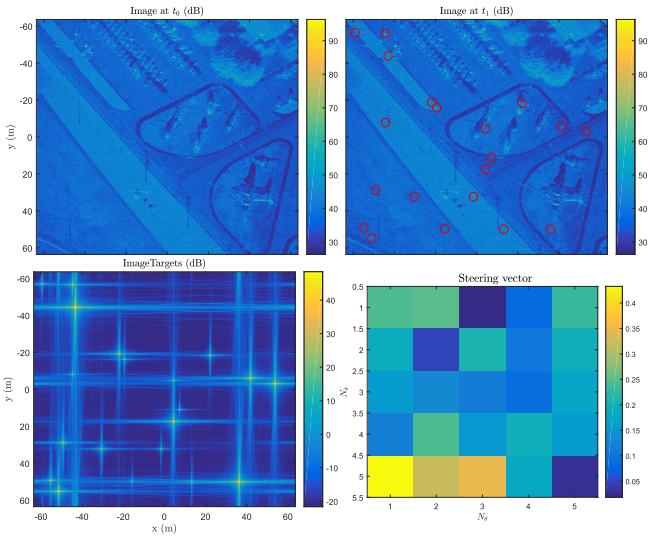


FIGURE 3 – Exemple de changement (RSB : entre $[0; 30]$ dB, position : aléatoire). Haut-gauche : Image **I**. Haut-droit : Image **J**. Bas-gauche : Image des cibles. Bas-droit : Signature d'une cible.

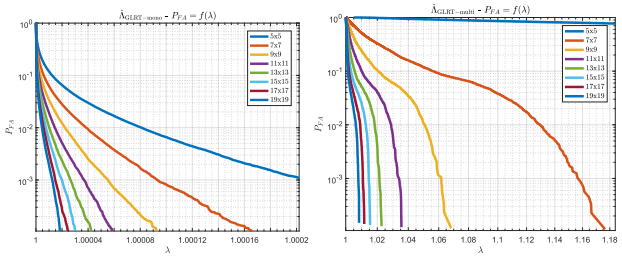


FIGURE 4 – $P_{FA} = f(\lambda)$ (calculé sur 1500×1500 échantillons). Gauche : $\hat{\Lambda}_{\mathrm{GLRT-mono}}$. Droite : $\hat{\Lambda}_{\mathrm{GLRT-multi}}$.

Nous testons les performances de détection sur l'image de la figure 3 en fixant la P_{FA} a 10^{-3}. Le résultat est présenté à la figure 5. Le détecteur $\hat{\Lambda}_{\mathrm{GLRT-multi}}$ montre de meilleures performances que $\hat{\Lambda}_{\mathrm{GLRT-mono}}$. En effet, deux cibles (entourées en rouge) qui ne sont pas détectées en monovarié le sont dans le cas multivarié. De plus, la quantité de fausse alarmes est moins élevée. On remarque toutefois que la résolution de la détection est moins grande pour le cas multivarié du fait de la décimation. Il y a un compromis à faire entre les performances de détection que l'on souhaite et la résolution voulue. Ceci est fait en choisissant N_k et N_θ.

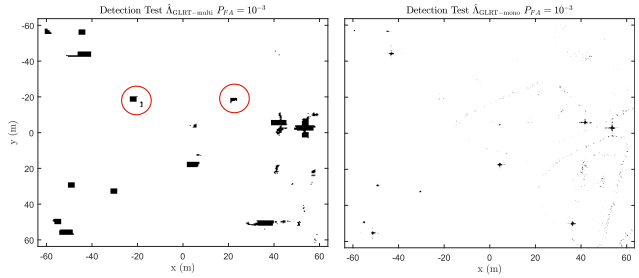


FIGURE 5 – Détection à $P_{FA} = 10^{-3}$. Gauche : $\hat{\Lambda}_{\mathrm{GLRT-multi}}$ (7×7). Droite : $\hat{\Lambda}_{\mathrm{GLRT-mono}}$ (5×5).

Les performances statistiques des détecteurs ont été calculés par des simulations de Monte-Carlo. Une unique cible est placée à une position aléatoire pour chaque réalisation. La figure 6 montre une courbe a ROC (Radar Operational Curve) pour un RSB -5 dB ainsi qu'une courbe P_D-SNR à $P_{FA} = 10^{-3}$. Ces courbes montrent que le détecteur multivarié a performances que le détecteur monovarié.

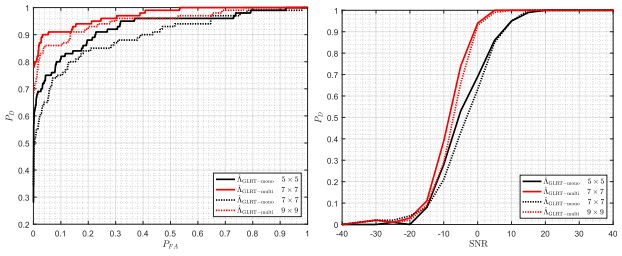


FIGURE 6 – Gauche : $P_D = f(P_{FA})$ (100 réalisations, SNR $= -5$dB, position aléatoire). Droite : $P_D = f(\mathrm{SNR})$ (100 réalisations, $P_{FA} = 10^{-3}$, position aléatoire).

5 Conclusion

Nous avons proposé dans ce papier une nouvelle méthodologie se basant sur une diversité sprectro-angulaire pour la détection de changement sur des images SAR monovariées. Des simulations ont montré que les performances sont meilleures lorsque les diffuseurs présents dans la scène ont une signature non blanche et anisotrope. Ce travail a été effectué avec une modélisation Gaussienne des données, ce qui peut être une hypothèse discutable. Il sera étendu au cas des distributions SIRV et CES.

Références

[1] M. Hussain, D. Chen, A. Cheng, H. Wei, and D. Stanley, "Change detection from remotely sensed images : From pixel-based to object-based approaches," *{ISPRS} Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 80, pp. 91 – 106, 2013. [Online]. Available : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271613000804

[2] Y. Hsu, H.-H. Nagel, and G. Rekers, "New likelihood test methods for change detection in image sequences," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 26, no. 1, pp. 73 – 106, 1984. [Online]. Available : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0734189X84901312

[3] L. M. Novak, "Change detection for multi-polarization multi-pass sar," in *Defense and Security*. International Society for Optics and Photonics, 2005, pp. 234–246.

[4] M. Preiss and N. J. S. Stacy, "Polarimetric sar coherent change detection," in *7th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, June 2008, pp. 1–4.

[5] M. Tria, J. P. Ovarlez, L. Vignaud, J. C. Castelli, and M. Benidir, "Discriminating real objects in radar imaging by exploiting the squared modulus of the continuous wavelet transform," *IET Radar, Sonar and Navigation*, vol. 1, no. 1, pp. 27–37, Feb. 2007.

[6] M. Duquenoy, J. P. Ovarlez, L. Ferro-Famil, E. Pottier, and L. Vignaud, "Scatterers characterisation in radar imaging using joint time-frequency analysis and polarimetric coherent decompositions," *IET Radar, Sonar and Navigation*, vol. 4, no. 3, pp. 384–402, June 2010.

[7] J.-P. Ovarlez, G. Ginolhac, and A. M. Atto, "Multivariate linear time-frequency modeling and adaptive robust target detection in highly textured monovariate sar image." International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2017, p. to appear.

[8] M. Soumekh, *Fourier Array Imaging*. Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1994.