

Étude du récepteur dans une configuration *MIMO SAR*

Vishal RICHER¹, Stéphane MÉRIC², Eric POTTIER¹

¹Université de Rennes 1

Campus Beaulieu-bat 11D 263 avenue du Général Leclerc, CS 74205, 35042 Rennes cedex, France

²INSA de Rennes

20 avenue des buttes de coësmes, CS70839, 35708 Rennes Cedex 7, France

vishal.riche@univ-rennes1.fr, stephane.meric@insa-rennes.fr
eric.pottier@univ-rennes1.fr

Résumé – Dans une configuration SISO, le traitement SAR (*Synthetic Aperture Radar*) est basé sur l’envoi d’une onde cohérente vers la scène à imager. La configuration MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) se base sur l’émission simultanée de plusieurs signaux différents les uns des autres afin d’améliorer la résistance face aux bruits et la résolution en azimut. Dans cet article, nous présentons différentes méthodes d’imagerie radar en configuration MIMO et nous les comparons à une configuration SISO SAR. Nous montrons alors que certaines méthodes présentent un gain de la résolution mais montrent des lobes secondaires plus élevés que le traitement SISO SAR. D’autres méthodes donnent la même résolution que le traitement SISO SAR mais possèdent des lobes secondaires moindres.

Abstract – In a conventional radar, the antenna send a coherent waveform to image the scene. The MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) configuration is based on the emission of different signals to improve the resolution and the noise resistance. In this article, we present different methods to produce an image in a MIMO configuration and we compare them to a SISO SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Some methods show an improvement of the azimuth resolution but with higher side lobes compared to the SISO configuration. Other methods have the azimuth resolution unchanged but the sidelobe are lower.

1 Introduction

Pour des applications radar dont le but est tourné vers l’identification et la discrimination de la scène observée, le caractère dit de « haute résolution » est essentiel pour le système de réception. À cet effet, de nombreuses configurations en réception sont étudiées et dont une actuellement [1] issue du monde des communications numériques. Cette configuration est basée sur l’application du principe MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) [2] dans une configuration radar : plusieurs antennes en émission et réception, utilisation de plusieurs formes d’ondes orthogonales entre elles en émission.

Deux approches du radar MIMO sont actuellement étudiées : le radar MIMO dit « statistique » et le radar MIMO colocalisé. Le radar MIMO « statistique » est basé sur la diversité angulaire obtenue de par les positions entre les antennes. Cette configuration permet d’obtenir une amélioration de la résolution ainsi que de meilleures performances en détection. Le fonctionnement du radar MIMO colocalisé est basé sur le principe de l’antenne virtuelle. Cette configuration permet aussi d’obtenir un gain en résolution et d’être plus robuste face aux interférences et au bruit.

Dans cet article, nous nous intéressons au cas du radar MIMO colocalisé afin d’appliquer un traitement de synthèse d’ouverture de type SAR (*Synthetic Aperture Radar*) et obtenir une image radar. Nous présentons les différentes possibilités de

traitement du signal en réception afin de tirer profit de la diversité du radar MIMO. Ces possibilités de traitement SAR utilisant l’interpolation de Stolt seront comparées en termes de gain en résolution. Une étude au niveau de la résistance face aux bruits sera faite entre une configuration MIMO SAR et une configuration SISO SAR.

2 Description du système

On considère M antennes en émission et N antennes en réception. Les antennes en émission sont suffisamment proches les unes des autres pour être considérées comme colocalisées. En réception, les antennes sont séparées de $\frac{\lambda}{2}$ afin d’éviter les ambiguïtés. De plus, les M antennes en émission émettent des formes d’ondes différentes $\Phi = [\phi_1(t) \ \phi_2(t) \ \cdots \ \phi_M(t)]^T$. Si les formes d’ondes émises ne sont pas orthogonales, elles sont choisies afin que le produit d’intercorrélation entre chacune d’elles soit faible.

Le signal reçu $s_R(t)$ est défini comme étant la somme des différents signaux émis $s_{i_T}(t)$ auxquels on ajoute des interférences diverses $s_I(t)$ (tel qu’un brouilleur ou un signal parasite dans la même bande de fréquence) et du bruit $s_{n_0}(t)$.

$$s_R(t) = \sum_{i=1}^M s_{i_T}(t) + s_I(t) + s_{n_0}(t) \quad (1)$$

Dans notre étude, la configuration choisie est composée de deux antennes en émission séparées d'une distance (dt) et de deux antennes en réception séparées d'une distance (dr), comme indiqué sur la figure 1(a). Chaque antenne d'émission envoie une modulation linéaire de fréquence (*chirp*), l'une étant une fonction croissante de la fréquence et l'autre une fonction décroissante de la fréquence. Ces deux *chirp* possèdent la même bande passante B et la même fréquence porteuse, comme indiqué sur la figure 1(b). Ces deux *chirp* ne sont pas orthogonaux mais possèdent une fonction d'intercorrélation dont les niveaux peuvent être considérés comme négligeables (figure 1(c)).

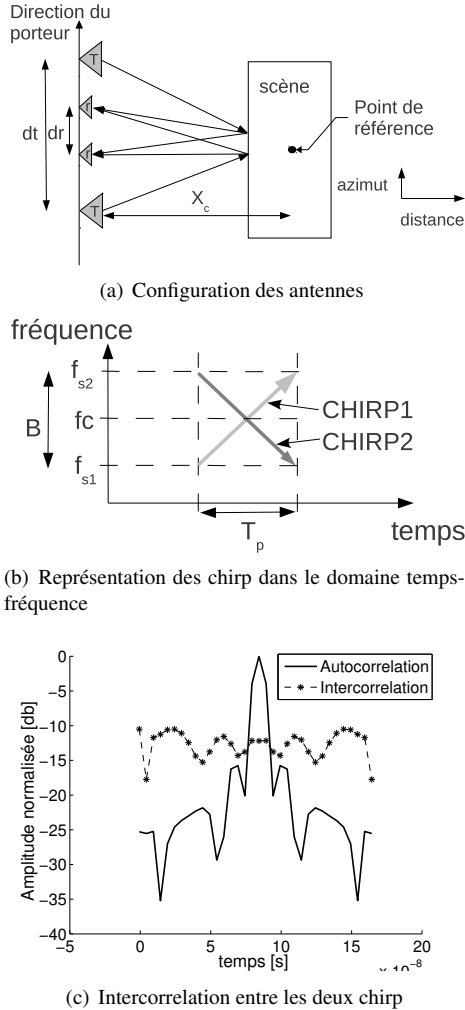


FIGURE 1 – Configuration choisie pour le radar MIMO SAR

3 Le récepteur

Au niveau de la réception, chaque antenne reçoit l'ensemble des signaux émis ainsi que du bruit et des interférences, comme indiqué avec l'équation (1). La procédure classique en imagerie MIMO SAR [3] [4] est décrite sur la figure 2(a). Elle est basée sur une banque de filtres adaptés en distance ($MF_{distance}$)

afin d'effectuer une compression d'impulsion, dans le cas de signaux munis d'une bande passante, mais aussi afin de dissocier les différents signaux émis. Après ce filtrage adapté, les signaux dissociés sont les signaux d'entrée pour un traitement SAR afin de produire l'image radar. Nous proposons d'étudier les différentes possibilités au niveau de ce processus SAR afin d'optimiser l'imagerie MIMO SAR dans une configuration de type colocalisé. Trois méthodes différentes vont être abordées, toutes étant basées sur l'interpolation de Stolt. Cette méthode dite de l'interpolation de Stolt est considérée comme une méthode exacte permettant de compenser la migration en distance [5]. La méthode 1 est indiquée sur le schéma 2(b). Elle est

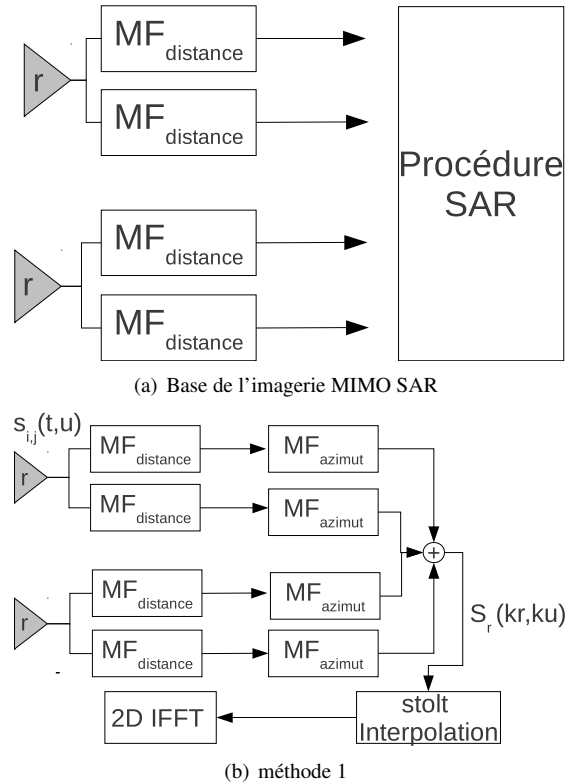


FIGURE 2 – Diagramme en bloc de procédure basique et de la méthode 1

basée sur la sommation des différents signaux après les filtres adaptés en azimuth. À la suite de cette sommation, on applique l'interpolation de Stolt afin de compenser la migration en distance.

La méthode 2, présentée sur la figure 3(a), est basée sur le regroupement dans une seule matrice des différents signaux en sortie des filtres adaptés en azimuth. On effectue alors l'interpolation de Stolt qui a été préalablement modifiée pour s'adapter à la taille de cette nouvelle matrice.

La méthode 3, décrite sur le schéma 3(b), considère le radar MIMO après filtrage adapté en distance comme un radar composé de M antennes en émission et de N antennes de réception. Cette configuration présente donc $M \times N$ couples émetteur/récepteur indépendants. On traite alors ces couples de

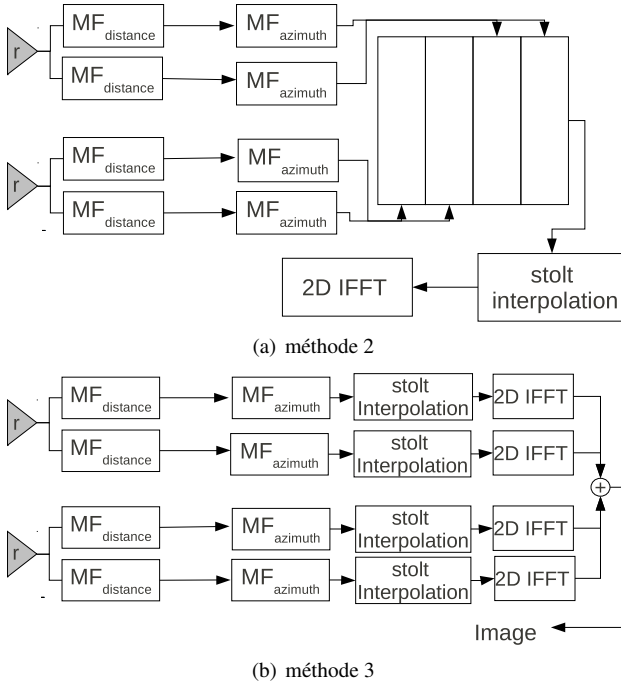


FIGURE 3 – Diagramme en bloc de la méthode 2 et de la méthode 3

façon indépendante et on somme les images obtenues par ces couples émetteur/récepteur.

4 Résultats

La configuration choisie est composée de deux antennes en émission séparées de $42 \times (\lambda/2)$ et de deux antennes en réception séparées de $\lambda/2$. La fréquence centrale pour les *chirp* est de 5 GHz et la bande passante est de 100 MHz. La distance entre les antennes et la scène à imager est égale à $X_c = 5$ mètres. Les premiers résultats montrent que la résolution en distance est inchangée avec l'utilisation d'un traitement MIMO SAR comparée au traitement SISO SAR. En revanche, la résolution en azimuth est modifiée selon la méthode utilisée. Dans le cas du SISO, nous obtenons une résolution en azimuth de 0.0606 m, ce qui correspond à la valeur théorique [5]. Dans le cas de la méthode 1, cette résolution en azimuth est inchangée (figure 4(a)). Toutefois, dans le cas de la méthode 2 et de la méthode 3, nous avons une résolution en azimuth égale à respectivement 0.05 mètre et 0.048 mètre (figures 4(b) et 5(a)), ce qui indique une amélioration de la résolution en azimuth dans le cas MIMO. Toutefois, le niveau des lobes secondaires dans le cas MIMO est plus élevé que dans le cas SISO. Ceci est dû à la grande distance entre les deux antennes d'émission. Ainsi si nous diminuons cette distance ($dt = 4 \times \frac{\lambda}{2}$) nous dégradons la résolution en azimuth dans le cas MIMO pour tendre vers celle du cas SISO. En contre-partie, nous constatons une forte diminution du niveau des lobes secondaires pour le cas MIMO (figure 5(b)).

Afin d'étudier la résistance aux bruits du traitement MIMO

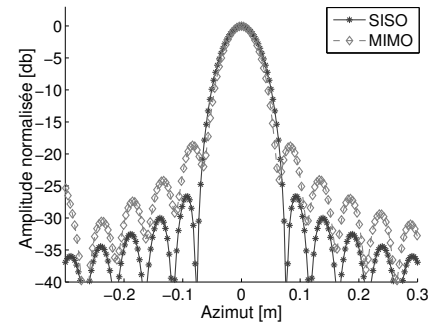
SAR comparé à celui du SISO SAR, on ajoute au niveau du canal de transmission un bruit blanc gaussien de moyenne nulle et dont la variance σ^2 vaut 60. Nous déterminons les performances des différents systèmes en calculant l'ISLR (Integrated SideLobe Ratio) et le PSLR (Peak SideLobe Ratio) [6], tel que :

$$ISLR = \frac{\sum(|y_n|^2)}{|y_0|^2}$$

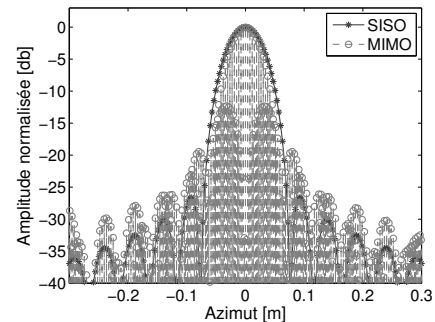
$$PSLR = \frac{|(y_n)_{pk}|^2}{|y_0|^2} = [(y_n)_{pk}]_{db} - [y_0]_{db}$$

où $|y_n|^2$ est l'énergie totale des lobes secondaires, $|(y_n)_{pk}|^2$ est l'énergie du lobe secondaire le plus puissant et $|y_0|^2$ est l'énergie du lobe principale.

Dans le cas du SISO SAR (figure 6(a)), on obtient des valeurs pour le PSLR de -4.04 dB et pour l'ISLR de 84.58 dB. Dans le cas du traitement MIMO SAR (figure 6(b)), on utilise la méthode 3 basée sur la sommation des images obtenues par les différents couples d'antenne. On obtient alors un PSLR de -7.95 dB et un ISLR de 72.52 dB. On constate que le lobe secondaire le plus puissant dans la configuration MIMO SAR est inférieur à celui obtenu par la méthode SISO SAR. De plus, l'énergie totale des lobes secondaires, en MIMO SAR, sont plus faible que ceux présenté par le traitement SISO SAR.

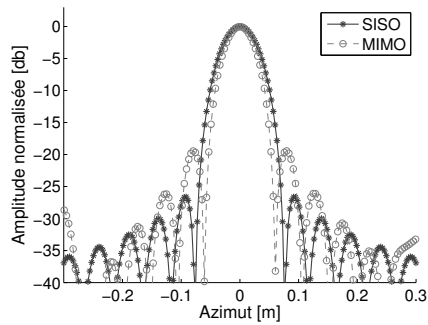


(a) Résultat de la 1^{ère} méthode

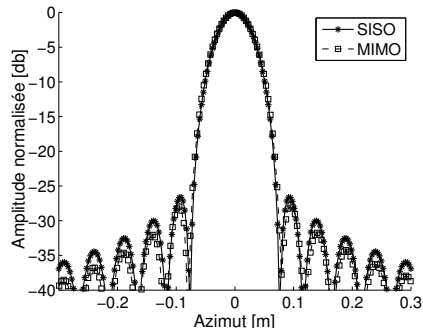


(b) Résultat de la 2^{ème} méthode

FIGURE 4 – Résolution en azimuth de la méthode 1 et 2



(a) Résultat de la 3^{eme} méthode



(b) Résultat pour $dt = 4 \times (\lambda/2)$

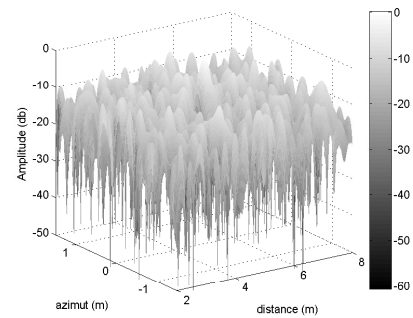
FIGURE 5 – Résolution en azimuth de la méthode 3

5 conclusion

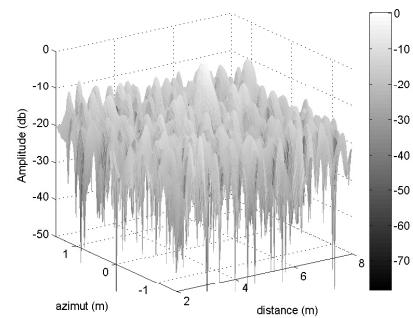
Dans cet article, nous proposons trois méthodes pour traiter le signal radar afin d'effectuer une image SAR dans un contexte MIMO. Nous obtenons alors des résolutions en azimuth et des niveaux de lobes secondaires qui diffèrent en fonction de la méthode de traitement choisie. Une étude au niveau de la résistance face aux bruits basée sur le PSLR et l'ISLR a montré que le MIMO SAR est plus robuste que le SAR classique. Dans la suite des travaux nous allons nous intéresser à réduire le niveau des lobes secondaires décrit avec la seconde méthode. De plus ces résultats issus de la simulation seront validés par la mesure à l'aide d'un système opérationnel.

Références

- [1] E. Fishler, A. Haimovich, R. Blum, D. Chizhik, L. Cimini et R. Valenzuela. *MIMO radar : an idea whose time has come*. Proceedings of IEEE Radar Conference, 2004
- [2] J. Li et P. Stoica. *Mimo Sar - diversity means superiority*. Wiley Online Library, 2007
- [3] J. J. Zhang et A. Papandreou-Suppapola. *Novel mimo with frequency diversity*. Proc. Int. Waveform Diversity Des(WDD) Conf, vol. 1, pp. 208-212, 2009.
- [4] D. Wei Wang, X. yan Ma et Y. Su. *Two-dimensional imaging via a narrowband mimo radar system with two per-*



(a) Image SAR pour un σ de 60



(b) Image MIMO SAR pour un σ de 60

FIGURE 6 – Image SAR et MIMO SAR pour un bruit dont la variance est $\sigma = 60$

pendicular linear array. IEEE. transaction on image processing, vol. 19, no. 5, pp. 1269-1279, 2010.

- [5] M. Soumekh. *Synthetic Aperture Radar Signal Processing*. Wiley-Interscience, 1999.
- [6] R.M. Davis, R.L. Fante et R.P. Perry. *Phase-coded waveforms for radar*. IEEE. Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol43, no. 1, pp. 401-408, 2007.