

Imagerie radar FMCW à démodulation optique

D. Boudesocque, F. Berland, P. Di Bin, T. Fromenteze, C. Decroze, H. Hallak Elwan, C. Aupetit-Berthelemot
XLIM, UMR CNRS 7252, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges

Nous présentons la mise en œuvre d'une technique de démodulation optique intégrée dans d'un système d'imagerie radar optomicroonde MIMO (Multiple Input Multiple Output) [1] 16x16 à modulation de fréquence FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave). Les signaux issus des antennes réceptrices sont ici démodulés optiquement puis sommés optiquement par un sommateur optoélectronique basse fréquence (BF), délivrant ainsi un unique signal électrique (BF) comprenant l'ensemble des informations des 16 voies réceptrices. La démodulation optique permet un allègement et une simplification conséquente de la chaîne de réception et des traitements des signaux. L'image est ensuite obtenue par des algorithmes de reconstruction.

1. Démodulation FMCW par l'optique

La mise en série de deux modulateurs électro-optiques (MEO) permet le mélange de deux signaux électriques FMCW par l'optique en remplacement d'un mélangeur RF. Un MEO primaire connecté à une diode laser, est commandé par un signal FMCW. Ce signal optique modulé est transmis à un MEO secondaire, modulé par un second signal FMCW. Le signal de battement BF obtenu après photodétection est le résultat du mélange des deux signaux FMCW émis et reçu. La mise en parallèle de plusieurs modulateurs secondaires permet le mélange de plusieurs signaux avec le signal du modulateur primaire [2].

2. Architecture radar FMCW avec démodulation optique

La démodulation FMCW optique est appliquée aux 16 voies de réception du système d'imagerie. La chaîne d'émission se compose d'une carte FMCW générant une rampe fréquentielle linéaire de durée $T=1\text{ms}$ et de largeur spectrale $BW=500\text{MHz}$ @6GHz. Ce signal est injecté, via un coupleur RF 1x2, sur le modulateur primaire, et sur un commutateur RF à 16 voies alimentant chacune des 16 antennes d'émission. Les signaux d'émission de chaque antenne sont émis séquentiellement. Pour chaque émission, la réception est simultanée sur les 16 voies du radar. Chacune des 16 antennes de réception module un MEO secondaire de la chaîne de démodulation de la voie associée, distant du modulateur primaire d'une longueur de fibre multiple de 6 mètres propre à chaque voie (Fig. 1).

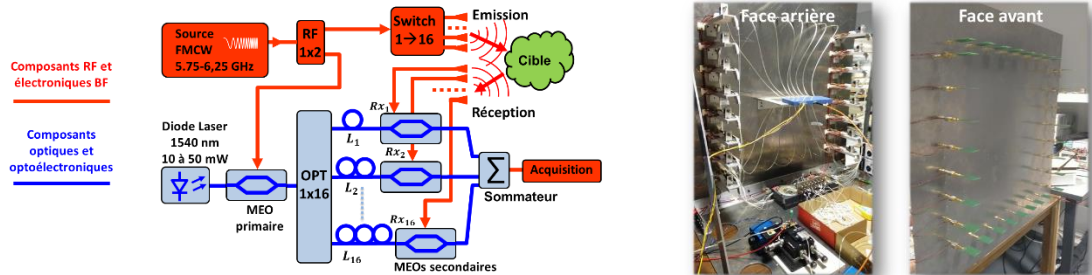


Figure 1 : Architecture et photographies du radar MIMO 16x16 à démodulation FMCW optique.

La fréquence de battement $f_b^{i,j}$ générée sur chaque voie dépend du temps de propagation du signal en espace libre $\tau_{RF}^{i,j}$ entre l'antenne d'émission n^i et de réception n^j , et de la longueur de fibre L_j entre le modulateur primaire et secondaire de la voie de réception n^j considérée (Eq. 1),

$$f_b^{i,j} = \frac{BW}{T} \left(L_j \frac{n}{c} - \tau_{RF}^{i,j} \right) \quad (1)$$

avec n l'indice de groupe de la fibre et c la célérité de la lumière dans le vide.

Les distances aller/retour entre chaque couple d'antennes d'émission / réception et la cible de la scène à imager sont codées en fréquence au sein de canaux fréquentiels, séparés de 15 kHz, définis par les longueurs L_j des fibres optiques (Figure 2). Ce multiplex fréquentiel porté par les 16 fibres optiques est ensuite sommé et détecté par un sommateur optoélectronique BF puis numérisé par un oscilloscope BF. La reconstruction de l'image radar est ensuite obtenue par un algorithme classique de « *backpropagation* » des signaux démultiplexés numériquement.

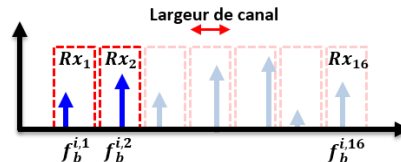


Figure 2 : Multiplex fréquentiel BF des voies de réceptions

3. Résultat de mesures

Le système d'imagerie radar développé a montré sa capacité à fournir des images 3D. La Figure 3 montre que la démodulation optique permet d'obtenir des images de scènes complexes (huit cubes métalliques de 4 cm de côté et une boule de pétanque au centre, situés à 1,5m du système). La résolution spatiale transverse est limitée dans ce démonstrateur par la dimension de l'antenne réseau, et la résolution longitudinale est limitée par la bande spectrale du chirp FMCW. Les résolutions spatiales et les dynamiques obtenues sont conformes à celles attendues et proches de celles obtenues pour le même système en démodulation RF [3].

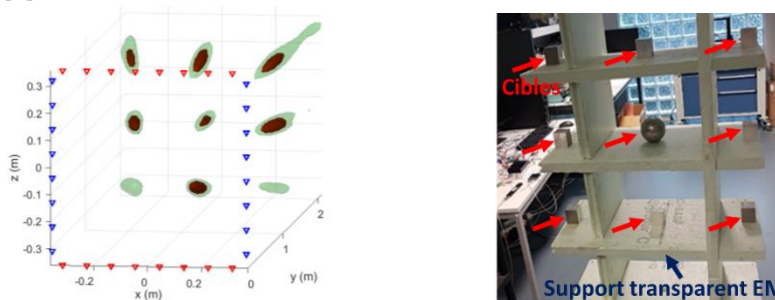


Figure 3 : A gauche, image 3D reconstruite des 9 cibles situées dans un plan à $y=1,5$ m du plan de l'antenne radar ($y=0$) et la scène réelle imagée (à droite).

4. Conclusion

L'introduction de la démodulation FMCW par l'optique dans l'architecture d'un radar MIMO FMCW a été démontrée expérimentalement. Elle permet de simplifier fortement l'architecture en ne nécessitant que des composants optoélectroniques et électroniques BF en aval des fibres optiques.

Références

- [1] J. Li, P. Stoica, « MIMO radar signal Processing », John Wiley & Sons, ISBN 978-0-470-17898-0, 2009.
- [2] D. Boudesocque, H. Hallak Elwan, F. Berland, P. Di Bin, C. Aupetit-Berthelemot, T. Fromenteze, « Démodulation de signaux FMCW par mélange optique pour application à l'imagerie radar courte distance », JCOM 2021, Paris, 04 juin 2021.
- [3] F. Berland, H. Hallak Elwan, D. Boudesocque, C. Decroze, P. Di Bin, C. Aupetit-Berthelemot, T. Fromenteze, "Solving the Phase Dispersion Issue in FMCW Photonic Time Multiplexed Radar Imaging," 2021 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2021, pp. 1-5, doi: 10.23919/EuCAP51087.2021.9411472.