



HAL
open science

Techniques à haute résolution pour l'imagerie par géoradar

P Manase, Raffaele d'Errico, Laurent Ferro-Famil

► **To cite this version:**

P Manase, Raffaele d'Errico, Laurent Ferro-Famil. Techniques à haute résolution pour l'imagerie par géoradar. XXIIèmes Journées Nationales Microondes - JNM 2022, Jun 2022, Limoges, France. 2022. cea-04176998

HAL Id: cea-04176998

<https://cea.hal.science/cea-04176998>

Submitted on 3 Aug 2023

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.

Techniques à haute résolution pour l'imagerie par géoradar

P.Manase¹, R.D'Errico¹, L.Ferro-Famil²

¹CEA Leti, 17 avenue des Martyrs, 38054 Grenoble

²ISAE - SUPAERO, 10 avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse
pamela.manase@cea.fr

Résumé — Dans cet article nous présentons une analyse des algorithmes à haute résolution combinés à des techniques de migration dans les systèmes géoradar afin d'améliorer la détection de cibles proches qui est limitée par la largeur de bande du signal et la longueur de l'ouverture synthétique pour des techniques imagerie classique. En particulier, nous nous concentrons sur l'amélioration de la résolution azimutale dans les configurations en champ proche.

1. Introduction

La réponse 2D d'un diffuseur mesurée par géoradar pendant l'acquisition Bscan est bien représentée par une forme d'hyperbole en raison des différents chemins des ondes en fonction du déplacement. Des techniques de focalisation telles que la rétroprojection [1] ou la migration ω -k [2] sont nécessaires pour localiser la position et la forme réelle de la cible. Toutefois leurs performances en matière de résolution spatiale sont limitées par largeur de bande spectrale et les dimensions de l'ouverture de synthèse du géoradar. Pour surmonter ce problème, des techniques d'imagerie basées sur la diffusion inverse [3] ou des méthodes de haute résolution (HR) peuvent être utilisées pour améliorer la résolution spatiale. Les méthodes HR considérées ici sont des algorithmes qui ont été utilisés à l'origine pour le traitement de réseaux d'antennes, selon un modèle de données basé sur des hypothèses correspondant à une onde plane (région de champ lointain) et des configurations à bande passante étroite [4]. Lorsque les données géoradar sont acquises dans une configuration de champ proche à large bande, la courbure sphérique du front d'onde génère des migrations non linéaires des cellules de la subdivision spatiale. Leur compensation imparfaite, à l'aide de l'hypothèse d'une onde plane, génère alors des décalages de distance résiduels dont l'ampleur peut être comparable à la résolution de la distance. Comme les méthodes HR considérées utilisent la matrice de covariance d'une plage restreinte des données géoradar, le vecteur sélectionné ne fournit qu'une partie de l'historique des phases de la réponse de la cible. Par conséquent, la capacité des techniques HR à distinguer des cibles très proches les unes des autres est réduite. Ici, nous nous concentrons sur l'amélioration de la résolution azimutale des données géoradar en compensant d'abord les effets de champ proche et de large bande à l'aide d'algorithmes de focalisation. Par la suite, les techniques HR s'appuyant sur

les données géoradar focalisées seront mises en œuvre sur une plage de cellules donnée dans le but de distinguer des cibles rapprochées situées à la même profondeur.

2. Cas d'étude

Deux cibles peuvent être distinguées si elles sont séparées par une distance supérieure à la résolution azimutale, δ_x comme c'est le cas dans Fig. 1(b). Lorsque la distance est inférieure à δ_x , les cibles seront interprétées comme une cible unique, ce résultat est présenté dans Fig1(c). Dans cet étude nous utilisons dans un simulateur FDTD [5] et vingt antennes disposées le long de l'axe x chacune espacée de $\lambda_{eff}/4$ qui est la longueur électrique effective dans un milieu diélectrique de permittivité (ϵ_r) ici considérée égale à 5. Le milieu d'étude est supposé homogène, non magnétique et sans pertes. Une forme d'onde de Ricker présentant une fréquence centrale de 0,5 GHz et une largeur de bande de 2 GHz est utilisée. La résolution théorique de notre configuration est égale à 18 cm selon x et 3,35 cm selon z.

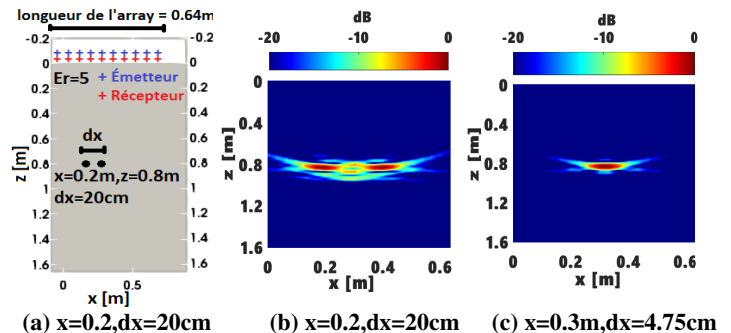


Figure 1. (a) Scénario de test, (b) et (c) résultats de la rétroprojection

Le premier cas présenté dans Fig. 1(a) simule deux cibles sphériques constituées par un conducteur électrique parfait avec un rayon de 2mm chacune et un décalage de 20cm (donc supérieur à la résolution azimutale). En utilisant la rétroprojection il est possible de bien distinguer les deux cibles comme montré dans Fig. 1(b). Le second cas modifie le décalage entre les deux cibles à 4.75cm, soit environ un quart de la résolution azimutale. Les cibles ne sont alors plus distinguées comme montré dans Fig. 1(c). Pour améliorer la résolution maximale, des techniques HR sont mises en œuvre sur les données focalisées dont les effets de large bande en champ proche ont été compensés.

3. Adaptation des techniques de haute résolution et focalisation

Les techniques HR sont ici mises en œuvre le long de l'azimut ce qui implique que la diversité spectrale est obtenue à partir d'une ouverture échantillonnée dans le domaine spatial. En se basant sur le modèle de signal défini dans [4], les méthodes HR considérées ici sont des algorithmes basés sur la matrice de covariance listés dans le Tab. 1. Chacune des méthodes se base sur les hypothèses que la matrice de covariance est peu corrélée voire non corrélée du tout. Néanmoins les données géoradar reçues sont généralement corrélées. Par conséquent, pour garantir la non-singularité de la matrice de covariance, un lissage spatial donné est effectué [4]. La matrice de covariance du réseau est alors extraite en tant que moyenne d'un sous-réseau de matrices de covariance entrelacées. On considère un nombre K de sous-réseaux d'antennes de dimension N_{sub} obtenu à partir du réseau initial de N_a éléments. Le rapport de lissage spatial correspondant est alors $\eta = N_{sub}/N_a$. On estime la matrice de covariance à partir de données (dimensions finies) issues de cellules d'une longueur sélectionné à partir des résultats $\mathbf{y} \in \mathbb{C}^{N_a}$ de la "rétroprojection". On obtient alors son expression après le lissage spatial des matrices de covariance $\hat{\mathbf{R}} \in \mathbb{C}^{N_a \times N_a}$ définies comme $\hat{\mathbf{R}} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{y}_k \mathbf{y}_k^H$ avec $\mathbf{y}_k = [y_k, \dots, y_{k+N_a-1}]$. y_k étant le signal reçu du k ème élément de \mathbf{y} .

BF	Beamforming [4][6]
CP	Capon's method [4][6]
MUSIC	MUltiple Signal Classification [4][6]
OPM	Orthogonal Projector Method [7]
MUroot	Root-MUSIC[4][6]
OPMroot	Root-OPM
ESPRIT	Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariant Techniques [4]
DML	Deterministic Maximum Likelihood[4] [6]
SSF	Weighted Signal Subspace Fitting[4][6]

Tableau 1. Liste des acronymes des méthodes HR

L'algorithme ayant été développé dans ce travail repose sur les étapes suivantes : (i) les données géoradar $H(x, f)$ sont déconvoluées par le filtre de Wiener pour compenser la forme d'onde utilisée. (ii) $H(x, f)$ est focalisé par rétroprojection pour obtenir $b(x, z)$. (iii) $N_a \times 1$ éléments de \mathbf{y} sont sélectionnés à partir des résultats de la rétroprojection $b(x, z = z_0)$ et (iv) transformés dans le domaine spectral par une transformation de Fourier discrète (TFD) $B(k_x, z = z_0)$. (v) un lissage spatial est effectué pour obtenir la matrice de covariance non singulière. Enfin, (vi) les techniques HR sont appliquées au spectre lissé spatialement pour donner les résultats finaux de l'estimation de position ($P(x_i)$).

Les résultats de la combinaison des algorithmes de focalisation et des techniques HR sont présentés dans la Fig. 2 et Fig. 3. Les résultats montrent que les méthodes non paramétriques (BF et CP) ont une résolution limitée par le nombre d'antenne et donc ne permettent pas une distinction de cibles proches, toutefois les autres méthodes arrivent à discriminer des cibles séparées par une distance

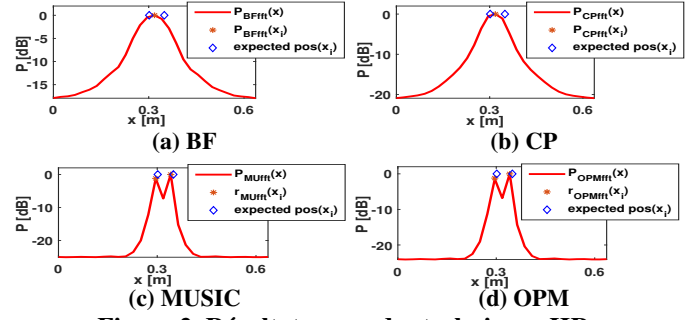


Figure 2. Résultats pour des techniques HR monodimensionnelles

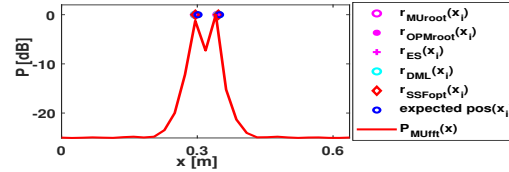


Figure 3. Résultats pour des techniques HR multidimensionnelles

inférieure à la résolution azimutale. Les méthodes paramétriques (MUSIC, OPM, Root-MUSIC, Root-OPM, et ESPRIT) ont une meilleure résolution car elles dépendent de la qualité de l'estimation de $\hat{\mathbf{R}}$. SSF et DML sont des méthodes paramétriques multidimensionnelles qui estiment la position en optimisant des critères pré-définis. Ces derniers sont plus robustes et ont une précision globale élevée en dépit d'un coût de calcul important.

4. Conclusion

Les techniques HR étant basées sur des hypothèses d'ondes à bande étroite, la compensation du champ proche à large bande a été effectuée par des algorithmes de focalisation. Deux cibles séparées par une distance inférieure à la résolution azimutale ont pu être correctement distinguées en appliquant les techniques HR aux données focalisées avec lissage spatial. Dans l'article final, une analyse détaillée en termes de résolution et de temps de calcul de ces techniques pour différents scénarios sera présenté.

Références

- [1] Soumekh, M., Synthetic Aperture Radar Signal Processing, Vol. 7, Wiley, New York, 1999.
- [2] Milman, A., "SAR imaging by $\omega - k$ migration," International Journal of Remote Sensing, Vol. 14, No. 10, 1965-1979, 1993.
- [3] A. Benedetto, L. Pajewski, Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar, Italy 2015
- [4] Krim, H., M. Viberg, "Two decades of array signal processing research," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 13, No. 4, 67-94, 1996.
- [5] Warren, C., Giannopoulos, A., Giannakis I, (2016). gprMax :Open source software to simulate EM wave propagation for Ground Penetration Radar.
- [6] Y. Huang, L. Ferro-Famil. 3-D Characterization of Urban Areas Using High Resolution Polarimetric SAR Tomographic Techniques and Minimal Number of Acquisitions. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2020, pp.1-18.
- [7] S. Marcos, A. Marsal, and M. Benidir, "The propagator method for source bearing estimation," Signal Process., vol. 42, no. 2, pp. 121-138, 1995.