

# Traitement multi-antennes et formes d'ondes optimisées pour radar compact embarqué

Hind AIT TALEB<sup>1,3</sup> Valentine WASIK<sup>1</sup> Abigael TAYLOR<sup>2</sup> Yassin EL HILLALI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ONERA/DEMR, Université de Toulouse, F-31055 Toulouse

<sup>2</sup>DEMR, ONERA, Université Paris-Saclay, F-91123 Palaiseau

<sup>3</sup>IEMN, UMR CNRS 8520, UPHF, 59300 Valenciennes

## Contexte

Dans le domaine spatial, les nano-satellites (satellites artificiels mesurant quelques dizaines de centimètres de côté) interviennent dans une multitude d'applications, parmi elles la détection de débris spatiaux. Ces nano-satellites intègrent des capteurs embarqués pour détecter des cibles et déterminer certaines de leurs caractéristiques (distance, vitesse, angle). Afin d'améliorer les performances de détection, et plus précisément la résolution angulaire, le radar MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) peut être utilisé. Ce radar doit être optimisé en termes de formes d'ondes et d'architectures. Plusieurs critères interviennent dans le choix des formes d'ondes (portée, résolution, taille des lobes secondaires). Les traitements radar doivent également être adaptés au contexte spatial (caractéristique des débris, temps d'intégration...).

## Choix de la forme d'onde

- Le signal reçu est une copie atténuée, retardée et soumise à l'effet Doppler du signal émis.

- Pour estimer les paramètres (distance, vitesse, angle) de la cible, un filtre adapté est appliqué au signal reçu.

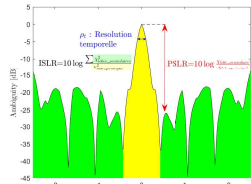


Figure 1: Coupe de la fonction d'ambiguïté (sortie du filtre adapté) dans le domaine temporel

- Pour faire le choix entre différentes formes d'ondes, il faut comparer leurs fonctions d'ambiguïté en utilisant les critères : résolution, PSRLR (peak side-lobe ratio) ou ISLR (integral side-lobe ratio).

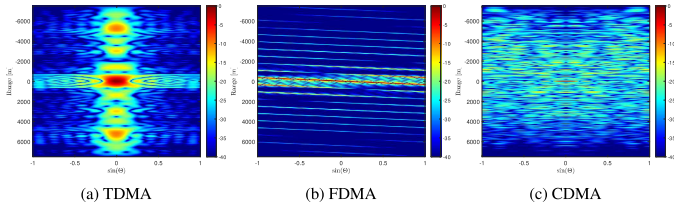


Figure 2: Coupe distance-angle de la fonction d'ambiguïté pour différentes formes d'ondes [1]

## Méthode de génération de formes d'ondes CDMA

### Principe du CDMA (Code Division Multiple Access)

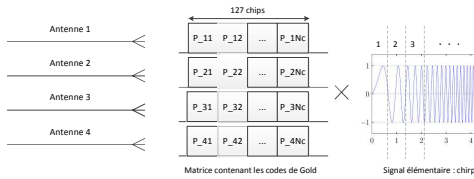


Figure 3: Principe du CDMA.

### Comparaison du CDMA avec codes de Gold ou polynômes d'Hermite

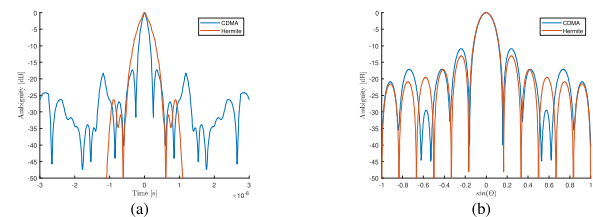


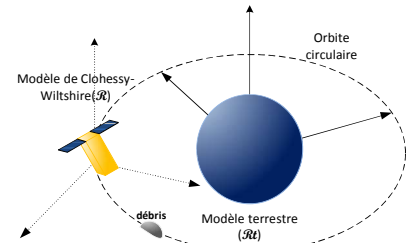
Figure 4: Coupes de la fonction d'ambiguïté dans (a) le domaine temporel et (b) le domaine angulaire.

Modulations	Avantages	Inconvénients
CDMA (codes de Gold)	Bonne résolution temporelle.	Forts lobes secondaires en distance et angle liés au choix du code.
CDMA (Polynômes [2])	Polynômes parfaitement orthogonaux selon le diagramme d'énergie. Lobes secondaires bas en distance et en angle.	Dégradation de la résolution. Bande passante différente pour chaque polynôme.

Table 1: Tableau comparatif des modulations pour le CDMA.

## Modélisation de la trajectoire du débris et du satellite

**But :** déterminer la trajectoire de la cible par rapport au nano-satellite à partir de ses coordonnées initiales dans le repère terrestre (modèle de Clohessy-Wiltshire [3]).



## Correction de la migration distance sur une longue durée d'observation

- Méthode utilisée pour compenser la migration distance de la cible durant le temps d'intégration [4].
- Transformation sur l'axe temporel pour éliminer le terme qui induit la migration distance.

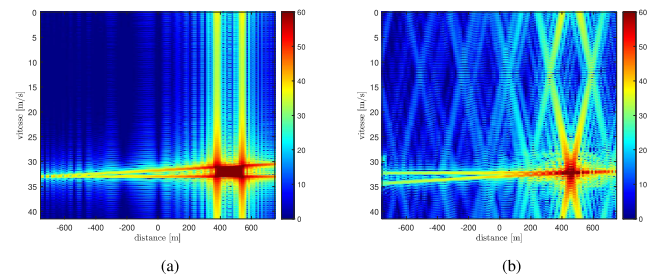


Figure 5: Coupe distance-vitesse de la fonction d'ambiguïté (a) avant application de la transformée de Keystone et (b) après application de la transformée de Keystone

Problématiques	Pistes proposées
Apparition de lobes secondaires sur la dimension vitesse durant le temps d'intégration.	Appliquer un filtre passe-bas.
Modification de la distribution du bruit.	Déterminer le modèle du bruit après chaque étape de la transformation de Keystone.
Temps de calcul important pour les paramètres utilisés.	Adapter la méthode de Keystone au calcul matriciel.

Table 2: Tableau regroupant les différentes problématiques liées au traitement Keystone et les pistes proposées pour les traiter

## Références

[1] Olivier Rabaste et al. Signal waveforms and range/angle coupling in coherent colocated mimo radar. In *2013 International Conference on Radar*, pages 157–162. IEEE, 2013.

[2] Hind Ait Taleb, Valentine Wasik, Abigael Taylor, and Yassin El Hillali. Comparaison de formes d'ondes pour radar mimo. In *GRETSI 2023*, 2023.

[3] WH Clohessy and RS Wiltshire. Terminal guidance system for satellite rendezvous. *Journal of the aerospace sciences*, 27(9):653–658, 1960.

[4] Mark A Richards. The keystone transformation for correcting range migration in range-doppler processing. *pulse*, 1000(1), 2014.