

Invitation à la soutenance de thèse

POLARIMETRIC DETECTION OF ENDO-CLUTTER UAV IN A LOW-GRAZING GEOMETRY

(DETECTION POLARIMETRIQUE DE DRONE ENDO-CLUTTER EN INCIDENCE RASANTE)

Milan Rozel

Date (26 octobre 2023)

ONERA, site de Palaiseau (6 Chem. de la Vauve aux Granges, 91120, Salle
Marcel Pierre)

Devant le jury composé de :

Marco Martorella	Microwave and Integrated Systems Laboratory, University of Birmingham,	Rapporteur
Laurent Ferro-Famil	ISAE-SUPAERO, Université de Toulouse	Rapporteur
Stéphanie Bidon	ISAE-SUPAERO, Université de Toulouse	Examinatrice
Fadela Kabeche	DGA	Examinatrice
Philippe Forster	CNRS, Université Paris-Saclay	Examineur
Encadrement :		
Hélène Oriot	DEMR, ONERA, Université Paris-Saclay	Directrice de thèse
Pierre Bruneel	DEMR, ONERA, Université Paris-Saclay	Encadrant
Membres Invités :		
Laurent Constancias	DGA	Invité
Philippe Brouard	DEMR, ONERA, Université Paris-Saclay	Invité

Résumé (en français)

La miniaturisation de l'électronique embarqué a permis le développement de drones de petites tailles et d'un large marché civil pour ces drones. La simplicité d'utilisation et le bas coût de ces drones en font des outils redoutables pour des personnes ou organisations mal intentionnées. Dans ce contexte, les systèmes radar peuvent jouer un rôle important pour contrecarrer une attaque menée avec un ou plusieurs drones. Néanmoins, les drones volent généralement à faible vitesse et proche du sol. De plus, ils ont généralement une faible surface équivalente radar. Ces cibles posent donc des problèmes aux systèmes radar qui ont du mal à les différencier du sol.

Le but de cette thèse est d'améliorer les capacités de détection endo-clutter des drones en utilisant la polarisation. Nous présentons une méthode permettant d'étudier les propriétés du clutter terrestre polarimétrique. Nous proposons des méthodes de simulation permettant d'identifier le meilleur détecteur dans une scène avec un clutter changeant sur les axes temporel et spatial. Nous étudions les avantages

des détecteurs polarimétriques par rapport aux détecteurs mono-polarimétriques à l'aide d'une méthode de comparaison des détecteurs qui permet de choisir le meilleur détecteur en fonction des propriétés du clutter.

Pour atteindre cet objectif, nous analysons les propriétés spatio-temporelles du clutter à l'aide des données d'une campagne de mesure radar en environnement semi-urbain. Cette campagne de mesure nous permet de mettre en exergue des propriétés importantes du clutter telles que : la non-réciprocité du clutter polarimétrique pour un radar dont les antennes de réception des différentes polarisations sont distinctes, l'existence d'un temps d'intégration Doppler optimisant la stabilité du clutter et une instabilité de la signature polarimétrique du clutter. Nous proposons de modéliser l'évolution temporelle du clutter en utilisant conjointement, la distribution des valeurs propres de sa matrice de covariance, et, l'angle entre les matrices de covariances d'une même case clutter à deux instants différents. Cet angle est appelé "angle de désadaptation".

Dans une deuxième phase nous comparons un ensemble de détecteurs polarimétriques et mono-polarimétriques pour des détections endo-clutter.

Pour cela :

- Nous étudions l'influence du rang efficace de la matrice de covariance du clutter - contrôlé par le temps d'intégration Doppler - sur les performances des détecteurs et montrons que la minimisation du rang effectif améliore les performances des détecteurs.
- Ensuite, nous étudions les effets de l'angle de désadaptation sur les performances des détecteurs en fonction du clutter sélectionné.
- Nous constatons que les détecteurs filtrant le clutter ont des performances qui diminuent avec l'intervalle de temps entre l'estimation des propriétés du clutter et la réalisation du test de détection, alors que les autres détecteurs ont des performances qui ne sont pas affectées par cet intervalle de temps.
- Enfin, nous montrons que les détecteurs polarimétriques sont plus adaptés aux détections de drones endo-clutter que les détecteurs mono-polarimétriques.

Les méthodes d'analyse que nous avons présentées permettent d'optimiser le temps d'intégration Doppler et peuvent être utilisées dans les systèmes radar pour déterminer, de manière adaptative, le meilleur détecteur, en fonction du clutter étudié.

Résumé (en anglais)

In the past decades, Unmanned Aerial Vehicles have benefited from the miniaturization of electronic components, allowing for cheap and small drone designs, and allowing a rapid development of the civilian market. Unfortunately, due to their low cost, high availability and ease of use, these systems have become a tool of choice for malicious actors, and have become a force multiplier for such actors. In this context, radars can play a significant role in the effort to thwart an attack with one or several UAVs. However, UAVs usually fly at slow speed and close to the ground and have a low radar cross section, which makes them difficult to detect as radar systems may have troubles to differentiate them from the ground.

This thesis aims at addressing this challenge with the use of polarization. In this thesis, we aim at improving endo-clutter detection of UAVs. We study the advantages of polarimetric detectors over

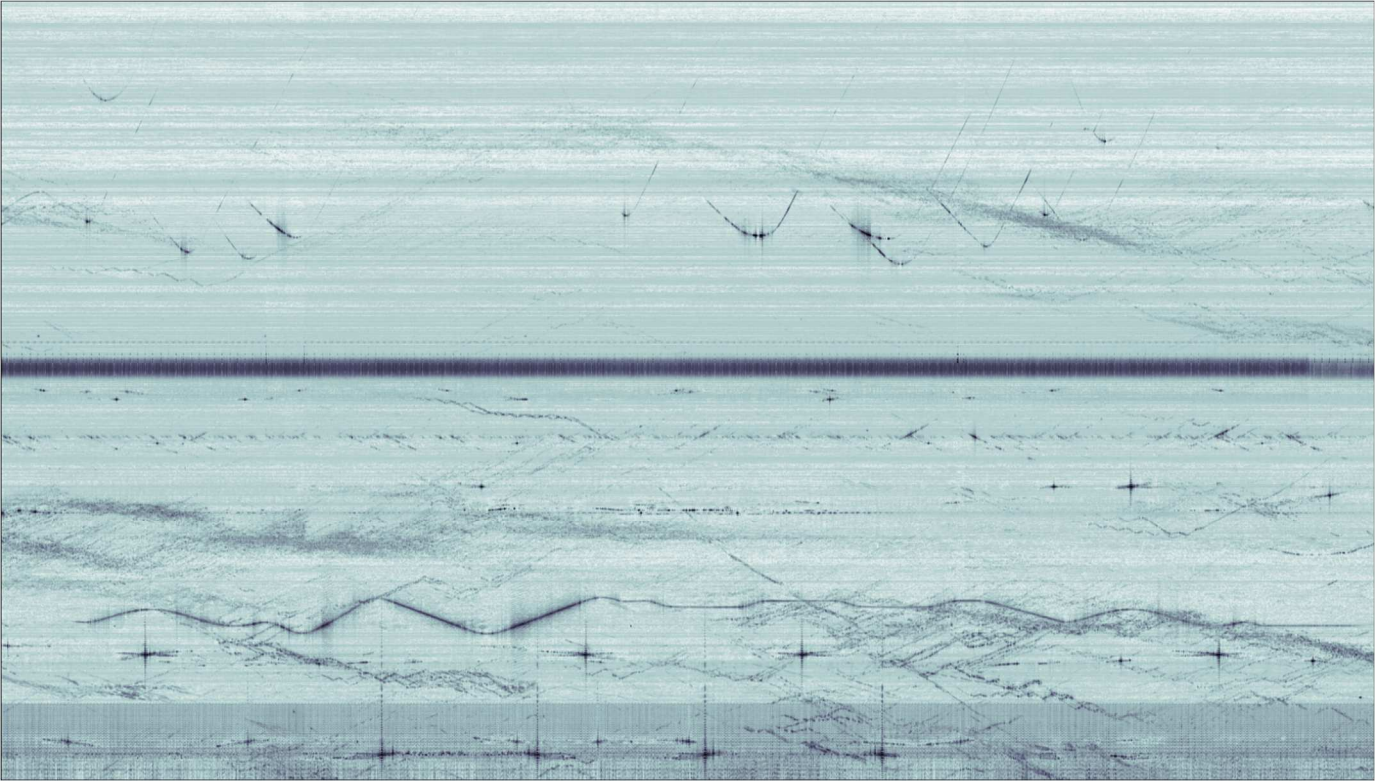
mono-polarimetric detectors, proposing a method to compare the detectors and choosing the best performing one according to clutter's properties.

In order to do so, we first analyse the spatio-temporal properties of polarimetric ground clutter thanks to a measurement campaign in semi-urban environment. This campaign outlines important properties of the clutter such as: the non-reciprocity of polarimetric clutter for quasi-monostatic radar with separated transmit and receive antennas, the existence of an optimal Doppler integration time and the instability of the clutter polarimetric signature with time. We propose to model the temporal evolution of the clutter using both the distribution of the eigenvalues of the covariance matrix and a measure of the mismatch angle between covariance matrices.

Then, we implement a benchmark of polarimetric and mono-polarimetric detectors to assess the performances of endo-clutter detection under spatio-temporal varying clutters. We compare the robustness of the polarimetric detectors to choose the best performing detector for a given clutter:

- First, we study the influence of the effective rank of the clutter - controlled by the Doppler integration time - on the performances of detectors and confirm that it is useful to minimize the effective rank of the covariance matrix to improve the detection performances.
- Then, we analyse the influence of the mismatch angle on the performances of the detectors using simulated clutter in order to select the best detector, for a given time varying clutter. It turns out that endo-clutter detectors based on clutter filtering depend on the time delay between clutter estimation and detection test, while other detectors are time independent. Furthermore, this study shows the sensitivity of the detector performances to the eigenvalue distribution of the clutter.
- Finally, we show a clear improvement with polarimetric detectors over single polarization detectors for endo-clutter detection of UAVs in a low grazing geometry.

From these results, we conclude that multi-polarimetric detectors enable better performances for endo-clutter UAV detections. In addition we present a metric to optimize the effective-rank of the clutter with by adjusting Doppler integration time to increase the detection performances. Then, we determine that the shorter the time interval is between the clutter estimation and the detection test, the higher performances are. These results give a clear plan for polarimetric detections of endo-clutter UAVs, minimizing effective rank and the time interval between estimation and detection. We conclude that simulation methods described in this thesis could be used in a radar system to adaptively estimate the best polarimetric detector for a given clutter cell and target.



Time-Distance map of a complex environment containing low speed targets, including a UAV, measured with the HYCAM S-Band radar.

Mots clés

Polarimétrie, Radar, Drone, Fouillis