

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

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

Référence : **PHY-DEMR-2022-03**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2022

Date limite de candidature : Mai 2022

Mots clés

Radar MIMO, Formes d'Ondes Orthogonales, Traitement du Signal Radar, Traitement d'Antennes, Détection Multi-Cibles, RadCom, Capteurs Compacts Embarqués

Profil et compétences recherchées

Formations : Ecole d'Ingénieur et/ou Master 2 Recherche - Spécialités souhaitées : Traitement du signal, Electronique

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Depuis quelques années, le développement de capteurs radar compacts connaît un intérêt grandissant dans les domaines de l'aéronautique et du spatial. L'objectif est de pouvoir embarquer ces charges utiles sur des porteurs de plus en plus petits et légers (de type drone ou nanosatellite) pour répondre à des applications civiles ou de défense. Que ce soit en tant que mission principale du capteur (surveillance, détection de menaces, ...) ou pour assurer l'autonomie du porteur léger (éviter de collisions), la détection de cibles multiples autour du porteur est une fonction essentielle. Cette détection doit pouvoir s'effectuer avec de bonnes performances quelles que soient les conditions météo et l'environnement de vol.

L'emploi d'architectures type MIMO permet théoriquement d'améliorer les performances de détection/estimation, notamment en termes de résolution angulaire. Le principe est d'effectuer des émissions/réceptions simultanées du signal radar par plusieurs antennes localisées sur le capteur. Pour des performances optimales, les formes d'ondes générées par chacun des émetteurs doivent être orthogonales afin de pouvoir identifier leurs contributions sur chacun des récepteurs. Si des méthodes classiques de génération de formes d'ondes indépendantes existent et sont largement utilisées dans ce contexte (FMCW + FDMA, ...), l'avènement de technologies numériques ouvre de nouvelles possibilités, comme la génération de formes d'ondes codées orthogonales large bande (codes de phase, OFDM, ...) qui présentent des performances intéressantes pour la détection de cibles. Ces formes d'ondes permettent également d'envisager des modes conjoints de surveillance et de communication (RadCom), pour lesquels une transmission d'information peut s'effectuer en même temps que le processus de détection. Ces nouvelles technologies numériques permettent également de diminuer la complexité hardware d'un système MIMO et facilitent leur intégration pour une application sur porteur léger.

Les objectifs de la thèse sont ainsi d'optimiser un radar type MIMO en termes de performance de détection multi-cibles, et de développer des modes conjoints RadCom dans le contexte des petits capteurs embarqués. On commencera par concevoir un simulateur théorique de cibles radars adapté au porteur de façon à optimiser les formes d'ondes MIMO et les techniques de traitement associées, et faire des choix de systèmes pertinents. L'étude se poursuivra avec l'étude d'une composante MIMO RadCom pour la surveillance et la transmission d'information simultanée. Enfin, on cherchera à implémenter les choix algorithmiques et architecturaux sur une maquette de capteur radar embarqué afin de les valider expérimentalement.

Ce travail de thèse s'effectuera en collaboration avec les unités CAT et MATS de l'ONERA, et le groupe COMNUM de l'IEMN. Au sein du département Electromagnétique et Radar de l'ONERA, l'unité CAT conçoit et réalise des prototypes de radar compact à base de composants électroniques numériques (FPGA, SoC, RF-SoC). L'unité MATS est spécialisée dans les méthodes avancées de traitement du signal radar, notamment en ce qui concerne les systèmes MIMO et l'optimisation des formes d'ondes pour la détection et le RadCom. Les activités du groupe COMNUM du département Département Opto-Acousto-Electronique de l'IEMN sont centrées autour des communications numériques et radiofréquences. Le doctorant sera principalement basé à Toulouse dans l'unité CAT. Des déplacements ponctuels seront à prévoir pour échanger avec l'ensemble des encadrants de thèse (Toulouse, Palaiseau, Valenciennes).

Collaborations envisagées

Laboratoire IEMN (DOAE Valenciennes)

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Département Electromagnétisme et Radar

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : Valentine Wasik

Email : valentine.wasik@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Yassin El Hillali

Laboratoire : IEMN

Email : yassin.elhillali@uphf.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>

NOTA :

La proposition de sujet de thèse est destinée à être publiée et doit être rédigée à destination des candidats. Eviter les acronymes et le jargon technique. Mettre en avant les compétences qui seront acquises au cours de la thèse.

La motivation de la proposition de sujet et les compléments à destination de la DSG sont à renseigner ci-dessous.

Le sujet doit impérativement être validé par le département du proposant et diffusé à la DSG par l'intermédiaire de l'Adjoint Scientifique.

PARTIE DESTINEE EXCLUSIVEMENT A LA DSG

Les rubriques suivantes doivent être dûment renseignées :

1. Domaine et thématique scientifique, défi et feuille de route adressés

Domaine scientifique principal (MAS / MFE / PHY / SNA / TIS) : PHY

Thématique scientifique principale (liste [ici](#)) : TSRGE

Défi du PSS (liste [ici](#)) : 10 – Electromagnétisme et Radar

Feuille(s) de route (liste [ici](#)) : Axe 4 – FdR 1 Capteurs embarqués pour l'observation de la Terre et de l'activité anthropique, Axe 1 – FdR 2 Aéronefs autonomes et connectés

2. Objet de la thèse

Développement de traitements d'antennes et optimisation de formes d'ondes pour des applications radar compact sur porteur léger (drone, nano-satellites) pour la surveillance et la transmission de données. Implémentation et tests des solutions sur cibles numériques de nouvelle génération.

3. Descriptif de la thèse

a. Quels sont les problèmes qui se posent ?

- Optimiser un système radar compact embarqué en termes de performance radar en détection/localisation : portée, précision en distance/Doppler/angles, détection multi-cibles, type et vitesse des cibles, absence de fausse alarme
- Analyse de modes conjoints RadCom dans le contexte des petits capteurs embarqués, c'est-à-dire étude de la capacité à transmettre de l'information en simultané avec la fonction de surveillance (la validation de la performance de la communication (taux d'erreur bit/binaire) n'est pas prévue dans cette thèse)

b. Quel est l'état de l'art ?

- Développements théoriques sur radar MIMO et optimisation de formes d'ondes (dont DEMR ONERA, par exemple [U. Tan, et al., « Phase Code Optimization for Coherent MIMO Radar Via a Gradient Descent », IEEE International Radar Conference, 2016, Philadelphie])
- Etudes sur les formes d'ondes pour le radar et la communication (applications aux capteurs automobiles par exemple [D. Ma, et al., "Joint Radar-Communication Strategies for Autonomous Vehicles: Combining Two Key Automotive Technologies," in IEEE Signal Processing Magazine, vol. 37, no. 4, pp. 85-97, July 2020])
- Radars compacts sur drones pour Voir & Eviter (par exemple commercialisé aux US <https://www.echodyne.com/>)

- Premiers développements au DEMR de capteurs radars FMCW et OFDM multi-antennes pour intégration sur drone, à travers les projets de recherche en cours
- c. Quels sont les objectifs généraux et les perspectives au-delà de la thèse proprement dite ?
- Renforcer le savoir-faire ONERA sur les thématiques des capteurs radar compacts embarqués et les formes d'ondes
 - Renforcer la collaboration avec le CNES, et accompagner les travaux travaux CNES Ranging RF Phase 2 à partir de 2022 (programme ARES/EGIDE)
 - Etablir une nouvelle collaboration avec le département DOAE Valenciennes du laboratoire IEMN

4. Programme de la thèse

- a. Quelles sont les questions scientifiques traitées ?
- Capteur détection/localisation range/Doppler/angles
 - MIMO : traitement de formation de voies 3D (multi-antennes) pour la détection de cibles en mouvement, multi-faisceaux avec modes différents (RadCom)
 - Formes d'ondes :
 - FO orthogonales numériques (type OFDM) et optimisation
 - Reconfiguration dynamique pour s'adapter aux modes de détection
 - Capacité RadCom
 - Cadre applicatif : capteur embarqué → contraintes sur les flux de données, taille d'antenne, prise en compte des distorsions du signal émis, ...
- b. Quelles sont les approches scientifiques proposées : point de départ des travaux, démarches envisagées, moyens mis en œuvre ou expérimentations prévues ?
- Optimisation formes d'ondes MIMO (OFDM ou autre) et des techniques de traitement associées, tests sur simulation complète du radar
 - Etude et optimisation d'une composante MIMO RadCom
 - Test des algorithmes sur capteur radar et/ou banc développé en parallèle (génération FO, test des traitements d'antennes sur données réelles de configurations radar MIMO). Selon l'avancée des travaux et les possibilités ces tests pourront être des tests unitaires de fonctions/composantes (exemple : évaluation de la qualité des signaux émis par rapport aux attentes du traitement, qualité de l'orthogonalité des codes) ou des tests plus globaux.
- c. Programme prévu
- Bibliographie
 - Etudes et optimisation de formes d'ondes et des traitements associés
 - Etudes et optimisation d'une composante RadCom
 - Conception de codes de traitements du signal sur des données simulées
 - Travaux sur maquette expérimentale
 - Validation Traitement du Signal
 - Publication dans revue à comité de lecture et communications dans colloques

d. Résultats attendus

- Algorithmes de traitements du signal validés théoriquement et expérimentalement
- Ouverture de perspectives sur la conception de radars compacts embarqués plus performants

5. Références

- Thèse ONERA Brahim Boudamouz, « Contribution à l'étude de nouvelles techniques de radar MIMO pour la détection de cibles en contexte urbain (à l'intérieur des bâtiments) », soutenue en mars 2013
- Thèse Uy-Hour Tan (Cifre DGA Thales + ONERA), « Méthodologies de conception de formes d'onde pour radars sol. Application au cas du radar MIMO » soutenue en juin 2019
- Through the Wall Radar Imaging with MIMO beamforming processing - Simulation and Experimental Results, B. Boudamouz, P. Millot, C. Pichot, American Journal of Remote Sensing Volume 1 Issue 1, February 2013
- O. Rabaste, L. Savy, M. Cattenoz, and J. P. Guyvarch, "Signal waveforms and range/angle coupling in coherent colocated mimo radar," in 2013 International Conference on Radar.
- O. Rabaste, L. Savy, M. Cattenoz, J.-P. Guyvarch, « Signal Waveforms and Range/Angle Coupling in Coherent Colocated MIMO Radar », 2013 International Conference on Radar, Septembre 2013, Adelaide, Australie.
- O. Rabaste, L. Savy, G. Desodt, « Approximate Multitarget Matched Filter for MIMO Radar Detection via Orthogonal Matching Pursuit », International Radar Conference 2014, Octobre 2014, Lille, France
- O. Rabaste, L. Savy, « Mismatched Filter Optimization for Radar Applications using Quadratically Constrained Quadratic Programs », IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 51, No 4, 2015, pp. 3107-3122.
- O. Rabaste, J. Bosse, « Robust Mismatched Filter for Off-Grid Target », IEEE Signal Processing Letters, Vol.26, N.8, 2019, pp.1147-1151.
- U. Tan, C. Adnet, O. Rabaste, F. Arlery, J.-P. Ovarlez, J.-P. Guyvarch, « Phase Code Optimization for Coherent MIMO Radar Via a Gradient Descent », IEEE International Radar Conference, 2016, Philadelphie
- U. Tan, O. Rabaste, C. Adnet, J.-P. Ovarlez, « A Joint Optimization for Coherent MIMO Radar », IET Radar Conference 2017, Belfast
- U. Tan, O. Rabaste, C. Adnet, J.-P. Ovarlez, « A Sequence-Filter Joint Optimization », EUSIPCO 2018, Rome
- O. Rabaste, « Direction Blanking with controlable width in MIMO Radar via phase code optimization », 2020 IEEE Radar Conference, Florence
- M.-E. Chatzitheodoridi, A. Taylor, H. Oriot, O. Rabaste, « A Joint SAR-Communication system using Continuous Phase Frequency Shift Keying Codes and Mismatched Filtering Compression », soumis à la conférence EUSAR 2022

6. Compléments

a. Personnes participant à l'encadrement en plus des (co)directeur(s) de thèse

Valentine Wasik (DEMR/CAT), Abigael Taylor (DEMR/MATS), Olivier Rabaste (DEMR/MATS), Dominique Poullin (DEMR/MATS)

b. Liens avec des projets de recherche et/ou avec d'autres thèses menées à l'ONERA

- PR CARACAS (+ EDIDP EUDASS, CORAC AVOCETTES-2, Etude CNES RF nanosat)
- PR New Wave
- Thèse Maria-Elisavet Chatzitheodoridi, « Utilisation de formes d'onde de communications pour l'imagerie radar à synthèse d'ouverture », débutée en octobre 2019
- Thèse Anthony Torre, sur l'étude de formes d'ondes radar et traitements bio-inspirés, débutée en décembre 2021

c. Verrous scientifiques ou techniques, risques potentiels

- Assurer de bonnes performances radar (détection multi-cibles) et communication simultanées, même si l'objectif de la thèse n'est pas de valider les performances de communication au sens strict
- Compatibilité des développements avec le hardware et les contraintes capteurs compacts embarqués
- Eloignement géographique des encadrants (Toulouse, Palaiseau, Valenciennes), des déplacements à prévoir

d. Objectif de valorisation des travaux

- Accompagnement du développement d'un capteur radar compact
- Publications dans revue à comité de lecture et communications dans colloques

7. Financement envisagé

Cocher dans la colonne de droite

Type de bourse	
ONERA	<input checked="" type="checkbox"/>
DGA	<input checked="" type="checkbox"/>
CNES	<input checked="" type="checkbox"/>
Région	<input type="checkbox"/>
CIFRE (préciser ci-dessous le financeur et éventuellement le candidat envisagé)	<input type="checkbox"/>
Contrat doctoral (préciser ci-dessous le % de financement extérieur attendu)	<input type="checkbox"/>
Autre (préciser ci-dessous le financeur et le % de financement extérieur attendu)	<input type="checkbox"/>

Précisions sur le financement : Co-financement CNES demandé (première étape de sélection validée) ; le sujet sera également présenté à l'AID fin janvier 2022.

Candidat éventuel :