

## Proposition d'un sujet de thèse

Année universitaire : 2024-2025

**Sujet de thèse :** Conception d'algorithmes d'optimisation de contrôle de faisceau RADAR

**Mots clefs :** Radar; integrated sensing; adaptative beamforming; probabilistic logic; cognitive radar

Partenaire financeur de la thèse	<b>CEA -LIST</b>
Ecole Doctorale	<b>MIIS (Mathématiques, Information, Ingénierie des Systèmes) Université de Rouen Normandie (URN)</b>
Laboratoire d'accueil au CEA-LIST	<b>LIIM (Laboratoire Intelligence Intégrée Multi-capteurs) CEA-LIST</b>
Laboratoire d'accueil de l'ED-MIIS	<b>IRSEEM (Institut de Recherche en Systèmes Electroniques Embarqués) UR4353, ESIGELEC en cotutelle avec l'Université Rouen Normandie</b>
Qualification du candidat	Master/Diplôme d'ingénieur en informatique/électronique. <i>Bonne connaissance en programmation pour l'embarqué. Des bonnes qualités d'analyse et d'expérimentation seront très appréciés.</i>
Encadrants au CEA-LIST	<b>Aurélien FRESNEAU</b> , Ingénieur R&D, e-mail : <a href="mailto:aurelien.fresneau@cea.fr">aurelien.fresneau@cea.fr</a> <b>Tiana RAKOTOVAO</b> , Ingénieur R&D, e-mail: <a href="mailto:tiana.rakotovao@cea.fr">tiana.rakotovao@cea.fr</a>
Directeur de thèse à l'URN, IRSEEM	<b>Adel GHAZEL</b> , Professeur, Directeur de la Recherche et de Développement, Directeur de l'IRSEEM, ESIGELEC, e-mail : <a href="mailto:adel.ghazel@esigelec.fr">adel.ghazel@esigelec.fr</a>
Co-encadrant à l'URN, IRSEEM	<b>Mauricio KUGLER</b> , Enseignant-chercheur, pôle IIS, IRSEEM, ESIGELEC e-mail : <a href="mailto:mauricio.kugler@esigelec.fr">mauricio.kugler@esigelec.fr</a>
Date de démarrage/durée : <b>1<sup>er</sup> octobre 2024 / 3 années</b>	
Candidature : envoi de CV + lettre de motivation à : <a href="mailto:adel.ghazel@esigelec.fr">adel.ghazel@esigelec.fr</a>	
Date limite de candidature : <b>9 septembre 2024</b>	

## Contexte technique et scientifique

L'arrivée sur le marché d'une nouvelle génération de Radars appelés « Imaging Radars 4D » apporte de nouvelles opportunités et de nouveaux challenges pour le développement d'algorithmes de traitement des données. Ces nouveaux capteurs, tournés vers le marché du véhicule autonome, permettent une meilleure résolution grâce à un grand nombre d'antennes. Cependant, cela implique une augmentation de la quantité de données à traiter qui nécessite des ressources de calcul importantes.

Ces dernières années, des recherches ont été entreprises pour explorer les idées et les applications liées au domaine du radar cognitif [1]-[2]. L'idée du radar cognitif consiste à s'inspirer de l'intelligence humaine pour permettre au radar d'interpréter son environnement et d'adapter ses propres paramètres afin d'atteindre les objectifs de performance. De cette manière, les radars cognitifs peuvent aller au-delà des systèmes radar traditionnels qui fonctionnent de manière intensive en ressources pour atteindre une performance maximale déterminée. À l'inverse, le radar cognitif s'efforce d'être suffisamment performant pour atteindre un objectif sans dépenser trop de ressources.

Les radars à réseaux phasés peuvent localiser les cibles dans l'espace grâce à la formation de faisceaux (beamforming), mais une stratégie de tirs reste nécessaire pour balayer une vaste région de l'espace. Les radars traditionnels utilisent un balayage séquentiel, dans lequel toutes les régions sont éclairées avec la même proportion d'énergie. On peut grandement améliorer les performances des fonctions de recherche et de suivi de cibles en utilisant des stratégies de tirs plus sophistiquées. Certaines études utilisent une approche deep learning pour déterminer cette stratégie [3]. Néanmoins, ces méthodes nécessitent des ressources de calcul qui sont incompatibles avec l'idée d'embarquer cette intelligence proche capteur.

## Objectifs des travaux de thèse

L'objectif de cette thèse est de développer des algorithmes permettant d'optimiser la résolution d'un imaging Radar tout en limitant les coûts calculatoires, afin d'embarquer le traitement au plus proche du Radar. Pour cela, des techniques permettant de contrôler la forme et la direction du faisceau Radar seront utilisées, de manière à concentrer l'énergie dans les régions jugées pertinentes. Un des enjeux est donc de réaliser une boucle de rétroaction performante permettant de contrôler les antennes Radar en fonction de la scène observée lors des mesures précédentes.

Au cours de cette thèse, nous proposons de nous poser les questions suivantes :

- Comment exploiter la variation de l'ouverture angulaire du faisceau radar dans le cadre d'une stratégie diviser pour régner ou réfléchir à des représentations intermédiaires des données issues du scan radar précédent qui pourraient être pertinentes pour la stratégie de ciblage.
- Quelle technique de formation de faisceau (beamforming) sera la mieux optimisée pour concentrer l'énergie dans les régions jugées pertinentes tout en réduisant le bruit d'antennes et l'ambiguïté dans la résolution des directions d'arrivées (DoA).
- Comment se fait la mesure d'occupation des cellules de la scène observée lors des mesures Radar (mesure de SNR (écho brut), paramètres de détection de cible, etc...) et comment les probabilités des événements cellule occupée ou non occupée seront représentées.

- Quel est l'impact sur les performances des algorithmes de ciblage intelligent des incertitudes des mesures du capteur Radar et notamment la variation de mesure pendant le scan ainsi que l'effet sur le contrôleur de faisceaux du délai de traitement des échos Radar.
- Quelle est la meilleure adéquation algorithme-architecture d'implémentation numérique pour réaliser un prototype de démonstrateur expérimental permettant la meilleure réduction des ressources de calcul embarqué.

## Le projet de recherche

Les recherches entreprises dans cette thèse pourront s'appuyer sur les approches basées sur des grilles d'occupation Bayésiennes développées au laboratoire LIIM du CEA-LIST [5] ainsi que sur les recherches sur le ciblage intelligent appliqué au Lidar [6].

Cette thèse privilégiera une approche expérimentale grâce à l'utilisation d'un Kit radar possédé par le laboratoire LIIM. Le doctorant devra prendre en main le capteur radar afin d'en maîtriser les réglages. Des outils de simulation seront également utilisés pour tester les hypothèses et dépasser les possibilités offertes par le matériel.

Ainsi, le projet de recherche de cette thèse consistera à lever les incertitudes et verrous suivants, tels qu'identifiés au démarrage de la thèse. Ces incertitudes et verrous seront amenés à évoluer au cours des travaux ;

Les incertitudes à lever concernent :

- D'une part l'efficacité des modèles probabilistes des mesures Radar et de l'environnement de scène à piloter le faisceau Radar pour concentrer l'énergie dans les régions jugées pertinentes,
- et d'autre part l'atteinte des performances de perception en termes de résolution, de précision et de robustesse aux différents bruits avec une complexité de calcul réduite et permettant une implantation embarquée à faible coût.

Les verrous à lever s'étendent aux problématiques suivantes :

- Prise en compte des informations bruitées du capteur Radar avec des modèles probabilistes et leur intégration de manière itérative dans le modèle d'environnement de scène.
- Estimation plus robuste et précise de l'état d'occupation des cellules spatiales de la scène dans une configuration de fusion multi-capteurs avec une représentation quantifiée des probabilités d'occupation des cellules.
- Exploitation des données disponibles de l'analyse radar en cours pour choisir un sous-réseau optimal d'éléments d'antenne pour couvrir les Régions d'Intérêt (ROI) tout en considérant le changement des emplacements des cibles au cours des analyses consécutives.
- Ajustement intelligent et à faible latence de la distribution des éléments d'antenne et les phases des déphaseurs quantifiés pour orienter le faisceau principal du Radar afin de simultanément suivre les cibles d'intérêt et atténuer les interférences avec d'autres directions sans intérêt. Cela devient plus difficile à mesure que le nombre de bits des déphaseurs et le nombre d'éléments d'antenne augmentent.
- Adéquation algorithme-architecture d'implémentation numérique permettant de respecter les exigences d'une intégration du traitement numérique au plus près des circuits Radar.

## Organisation

### 1. Etude bibliographique (6 mois : M1 à M6)

Le doctorant commencera par faire un état de l'art des diverses techniques et technologies pour les concepts de cognitive Radar et imaging Radar 4D en cherchant d'abord à comprendre les principes de fonctionnement et à analyser les architectures système Radar. Il s'attachera aussi à étudier les techniques de génération de forme d'onde pour les Radar MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) FMCW (Frequency-Modulated Continuous Wave) large bande, d'acquisition des échantillons d'écho radar ainsi que les techniques d'estimation du temps d'arrivée pour les méthodes cohérentes et incohérentes. Il s'intéressera en particulier aux techniques et algorithmes de beamforming adaptatif pour le contrôle de la forme et la direction du faisceau Radar à la fois à l'émission et à la réception. Il abordera aussi l'étude des approches récentes pour la modélisation et l'analyse en temps réel de scènes en environnement bruité.

### 2. Représentations intermédiaires des données issues du scan radar pour la stratégie de ciblage (9 mois : M4 à M12)

Cette étape fondamentale de la thèse permettra au doctorant d'identifier le bon niveau d'abstraction de son problème d'acquisition des connaissances sur l'environnement de scène observée à travers le traitement des données issues du capteur Radar. Il accordera de l'attention aux questions de temps réel, de précision et de l'impact du bruit dans la représentation et l'analyse de scène en vue de générer le contrôle de la divergence et la direction du faisceau lui permettant d'optimiser le nombre de tirs pour couvrir les ROI.

Suite à un travail de conception système, des choix seront définis pour l'architecture du Radar MIMO, la configuration de ses paramètres RF, les techniques et les paramètres de la forme d'onde à l'émission et les traitements de détection à la réception. Cette conception système sera considérée dans le modèle de simulation Matlab en utilisant la Toolbox Phased-Array ainsi que la programmation du kit radar pour les essais expérimentaux.

La contribution de recherche pour cette étape du travail de thèse vise à s'appuyer sur les travaux antérieurs du laboratoire LIIM du CEA-LIST pour établir l'espace environnant discrétisé en une grille de cellules permettant une fusion robuste des données acquises des différentes voies du capteur radar MIMO. Les résultats de cette étape seront évalués par simulation et des essais expérimentaux avec le kit radar MIMO.

### 3. Boucle de rétroaction performante pour le contrôle d'antennes (15 mois : M10 à M24)

À partir des résultats de la recherche bibliographique associée à ce problème et du modèle établi pour la représentation de données avec un espace environnant discrétisé le doctorant développera la définition d'une technique de formation de faisceau (beamforming) adaptative et optimisée pour concentrer l'énergie dans les régions jugées pertinentes tout en réduisant le bruit d'antennes et l'ambiguïté dans la résolution des directions d'arrivées (DoA). La technique beamforming à développer visera un ajustement intelligent et à faible latence de la distribution des éléments d'antenne MIMO et les phases des déphaseurs quantifiés pour orienter le faisceau principal du Radar afin de suivre simultanément les cibles d'intérêt et d'atténuer les interférences avec d'autres directions sans intérêt.

Le doctorant exploitera l'environnement de simulation pour la mise au point des algorithmes à développer. Ce travail sera complété par une confrontation des résultats de simulation aux essais expérimentaux sur le kit radar pour certains scénarios de tests en vue de caler les hypothèses et parfaire les interprétations.

#### **4. Adéquation algorithme-architecture d'implémentation numérique des algorithmes de ciblage intelligent (10 mois : M21 à M30)**

A cette étape de bonne maîtrise du sujet et des résultats concluants relatifs au modèle de représentation et de scène et d'algorithmes de contrôle adaptatif du faisceau radar, le doctorant continuera son travail de thèse en cherchant à apporter des contributions pour réduire la complexité d'implantation des algorithmes proposés. Un travail d'adéquation algorithme-architecture d'implémentation numérique sera mené et les résultats obtenus seront évalués sur l'architecture numérique cible optimisée.

#### **5. Rédaction du manuscrit de thèse (7 mois : M30 à M36)**

Le dernier semestre sera dédié à la rédaction de la thèse et les dernières publications.

### **Environnement de recherche**

Cette thèse se déroulera dans le laboratoire LIIM du CEA, au sein du département DRT/LIST/DSCIN.

Le CEA est un acteur majeur en matière de recherche, de développement et d'innovation. Cet organisme de recherche technologique intervient dans trois grands domaines : l'énergie, les technologies pour l'information et la santé, et la défense. Reconnu comme un expert dans ces domaines de compétences, le CEA est pleinement inséré dans l'espace européen de la recherche et exerce une présence croissante au niveau international.

Au sein de CEA Tech, le pôle « Recherche Technologique » du CEA, l'Institut LIST dédie ses activités aux systèmes numériques intelligents avec des programmes de R&D dans le manufacturing avancé, les systèmes embarqués, et l'intelligence ambiante. Nous accompagnons nos partenaires dans les domaines des transports, de l'industrie, de l'énergie, de la santé, de la sécurité et de la défense, pour transférer les technologies issues de l'innovation et améliorer leur compétitivité. Cf. <http://www-list.cea.fr/index.php/>

Au sein du LIST, le Département des Systèmes et Circuits Intégrés Numériques (DSCIN), a pour mission de créer des technologies sur les systèmes numériques de calcul intégrés ou embarqués. À ce titre, il propose une offre assurant le lien entre technologie et applications, basée sur les plateformes de Conception et Systèmes embarqués, en particulier sur les domaines de l'Internet des Objets, des véhicules autonomes, de l'Intelligence Artificielle (IA), de la CyberSécurité et du Calcul à Haute Performance (HPC).

Au sein de ce département, le Laboratoire Intelligence Intégrée Multi-capteurs (LIIM), basé à Grenoble, se consacre au développement d'algorithmes pour l'Intelligence Artificielle Embarquée, la fusion de données et la perception environnementale déployés dans les systèmes cyber-physiques. Le laboratoire développe des plateformes de démonstration matérielles et logicielles utilisant ces algorithmes combinés à des technologies innovantes fréquemment intégrées dans des circuits intégrés.

Pour la direction de la thèse, le doctorant sera rattaché à l'équipe du pôle de recherche IIS (Instrumentation, Informatique et Systèmes) de l'IRSEEM (<https://www.esigelec.fr/fr/irseem>), Institut de Recherche en Systèmes Électroniques Embarqués, UR4353 de l'ESIGELEC en cotutelle avec l'Université Rouen Normandie. Implanté sur plus de 4000m<sup>2</sup>, l'IRSEEM est situé au Campus Sciences et Ingénierie, Technopôle du Madrillet, Saint-Etienne du Rouvray, Métropole de Rouen. L'IRSEEM réalise des travaux de recherche scientifique et d'innovation technologique dans le domaine des systèmes cyber-physiques en environnements sévères. Doté de moyens technologiques conséquents portés notamment par 4 plateformes technologiques de haut niveau, l'activité de recherche est architecturée autour de 3 pôles thématiques (Automatique, Électronique et Instrumentation/Informatique) appuyés par un service d'innovation, recherche et développement permettant la réalisation de preuve de concept jusqu'à TRL 6. Forts de nombreuses collaborations académiques et industrielles, l'IRSEEM est parfaitement intégré et reconnu dans le tissu économique régional et national, notamment dans les filières industrielles de l'automobile, de l'aéronautique, des énergies renouvelables, des télécommunications et de la santé.

## Références

1. [1] Z. W. Johnson and R. A. Romero, "Uncertainty Function Design for Adaptive Beamsteering Cognitive Radar," 2020 IEEE International Radar Conference (RADAR), Washington, DC, USA, 2020, pp. 1058-1062, doi: 10.1109/RADAR42522.2020.9114595.
2. [2] L. Xu, S. Sun, Y. D. Zhang and A. Petropulu, "Joint Antenna Selection and Beamforming in Integrated Automotive Radar Sensing-Communications with Quantized Double Phase Shifters," ICASSP 2023 - 2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Rhodes Island, Greece, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICASSP49357.2023.10097184.
3. [3] A. M. Elbir, K. V. Mishra and Y. C. Eldar, "Cognitive radar antenna selection via deep learning", IET Radar Sonar Navigat., vol. 13, no. 6, pp. 871-880, Jun. 2019.
4. [4] A. S. Butterfield, A. E. Mitchell, G. E. Smith, K. L. Bell and M. Rangaswamy, "Metrics for quantifying cognitive radar performance," 2016 CIE International Conference on Radar (RADAR), Guangzhou, China, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/RADAR.2016.8059298.
5. [5] T. Rakotovo, J. Mottin, D. Puschini, and C. Laugier, "Multi-sensor fusion of occupancy grids based on integer arithmetic," in Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 2016-June, 2016.
6. [6] A. Fresneau, T. Rakotovo, D. Puschini, "A lightweight Steering Algorithm for Smart Scanning", CESA 2022

# Proposal of a PhD Thesis Topic

Academic Year: 2024-2025

**PhD Thesis Topic**     **Design of RADAR Beam Control Optimization Algorithms**

**Key-words**     Radar; integrated sensing; adaptative beamforming; probabilistic logic; cognitive radar

Funding Partner of the PhD Thesis	<b>CEA -LIST</b>
Doctoral School	<b>MIIS (Mathematics, Information, Systems Engineering)</b> <b>University of Rouen Normandy (URN)</b>
Host laboratory at CEA-LIST	<b>LIIM (Multi-sensor Integrated Intelligence Laboratory)</b> <b>CEA-LIST</b>
Host laboratory at ED-MIIS	<b>IRSEEM (Embedded Electronic Systems Research Institute)</b> <b>UR4353, Joint supervision between ESIGELEC and the URN</b>
Candidate Qualification	Master/Engineer Diploma in Computer Science/Electronic engineering <i>Good knowledge of embedded programming. Good analytical and experimental skills will be highly appreciated.</i>
Supervisors at CEA-LIST	<b>Aurélien FRESNEAU</b> , R&D Engineer, e-mail : <a href="mailto:aurelien.fresneau@cea.fr">aurelien.fresneau@cea.fr</a> <b>Tiana RAKOTOVAO</b> , R&D Engineer, e-mail: <a href="mailto:tiana.rakotovao@cea.fr">tiana.rakotovao@cea.fr</a>
PhD Thesis director at URN, IRSEEM	<b>Adel GHAZEL</b> , Professor, R&D Director, Director of the IRSEEM, ESIGELEC e-mail: <a href="mailto:adel.ghazel@esigelec.fr">adel.ghazel@esigelec.fr</a>
Co-supervisor at URN, IRSEEM	<b>Mauricio KUGLER</b> , Lecture-researcher, IIS Pole, IRSEEM, ESIGELEC e-mail : <a href="mailto:mauricio.kugler@esigelec.fr">mauricio.kugler@esigelec.fr</a>
Start date/duration: <b>October 1<sup>st</sup>, 2024 / 3 years</b>	
Application: send CV + cover letter to: <a href="mailto:adel.ghazel@esigelec.fr">adel.ghazel@esigelec.fr</a>	
Application deadline: <b>September 9<sup>th</sup>, 2024</b>	



## Technical and scientific context

The arrival on the market of a new generation of Radars called "4D Imaging Radars" brings new opportunities and challenges for the development of data processing algorithms. These new sensors, aimed at the autonomous vehicle market, allow better resolution thanks to a large number of antennas. However, this implies an increase in the amount of data to be processed which requires significant computing resources. In recent years, research has been undertaken to explore ideas and applications related to the field of cognitive radar [1]-[2]. The idea of cognitive radar is to draw inspiration from human intelligence to allow the radar to interpret its environment and adapt its own parameters in order to achieve performance objectives. In this way, cognitive radars can go beyond traditional radar systems that operate in a resource-intensive manner to achieve a determined maximum performance. Conversely, cognitive radar strives to be efficient enough to achieve an objective without spending too many resources. Phased array radars can locate targets in space using beamforming, but a beam shots strategy is still required to scan a large region of space. Traditional radars use sequential scanning, in which all regions are illuminated with the same proportion of energy. The performance of target search and tracking functions can be greatly improved by using more sophisticated beam shots strategies. Some studies use a deep learning approach to determine this strategy [3]. However, these methods require computational resources that are incompatible with the idea of embedding this near-sensor intelligence

## Objectives of the thesis work

The objective of this thesis is to develop algorithms to optimize the resolution of an imaging Radar while limiting the computational costs, in order to embed the processing as close as possible to the Radar transceiver. To do this, techniques to control the shape and direction of the Radar beam will be used, in order to concentrate the energy in the regions considered relevant. One of the challenges is therefore to create a high-performance feedback loop to control the Radar antennas according to the scene observed during previous measurements.

During this thesis, we propose to ask ourselves the following questions:

- How to exploit the variation of the angular aperture of the radar beam in the context of a divide and conquer strategy or to think about intermediate representations of the data from the previous radar scan that could be relevant for the targeting strategy?
- Which beamforming technique will be best optimized to concentrate energy in the regions considered relevant while reducing antenna noise and ambiguity in the resolution of directions of arrival (DoA)?
- How is the occupancy of the cells of the scene observed during Radar measurements measured (SNR measurement (raw echo), target detection parameters, etc.) and how will the probabilities of occupied or unoccupied cell events be represented?
- What is the impact on the performance of intelligent targeting algorithms of uncertainties in Radar sensor measurements and in particular measurement variation during scanning as well as the effect on the beam controller of the Radar echo processing delay?
- What is the best match algorithm/digital implementation architecture to build an experimental demonstrator prototype allowing the best reduction of embedded computing resources?



## The research project

The research undertaken in this thesis will be able to rely on approaches based on Bayesian occupation grids developed at the LIIM laboratory of CEA-LIST [5] as well as on research on intelligent targeting applied to Lidar [6].

This thesis will favor an experimental approach thanks to the use of a radar kits owned by the LIIM and IRSEEM laboratories. The PhD student will have to take charge of the radar sensor in order to master its settings. Simulation tools will also be used to test the hypotheses and exceed the possibilities offered by the equipment.

Thus, the research project of this thesis will consist of removing the following uncertainties and obstacles, as identified at the start of the thesis. These uncertainties and obstacles will evolve during the work;

The uncertainties to be resolved concern:

- On the one hand, the effectiveness of probabilistic models of Radar measurements and the scene environment to control the Radar beam to concentrate the energy in the regions deemed relevant,
- and on the other hand, achieving high performance in object perception in terms of resolution, precision and robustness to different noises with reduced computational complexity and allowing low-cost embedded implementation.

The obstacles to be resolved extend to the following issues:

- Taking into account noisy information from the Radar sensor with probabilistic models and integrating them iteratively into the scene environment model.
- More robust and precise estimation of the occupancy state of the spatial cells of the scene in a multi-sensor fusion configuration with a quantified representation of the cell occupancy probabilities.
- Exploiting available data from the ongoing radar analysis to choose an optimal subarray of antenna elements to cover the Regions of Interest (ROIs) while considering the change of target locations during consecutive analyses.
- Intelligent and low-latency adjustment of the distribution of antenna elements and the phases of the quantized phase shifters to steer the main Radar beam to simultaneously track the targets of interest and mitigate interference with other directions of no interest. This becomes more difficult as the number of bits of the phase shifters and the number of antenna elements increase.
- Algorithm-digital implementation architecture matching to meet the requirements of integrating digital processing as close as possible to the Radar transceiver.

## Organization

### 1. Bibliographic study (6 months: M1 to M6)

The PhD student will begin by reviewing the state of the art of the various techniques and technologies for the concepts of cognitive Radar and 4D Radar imaging by first seeking to understand the operating principles and analyze the Radar system architectures. He will also focus on studying waveform

generation techniques for wideband MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) FMCW (Frequency-Modulated Continuous Wave) Radars, radar echo sample acquisition as well as time of arrival estimation techniques for coherent and incoherent methods. He will be particularly interested in adaptive beamforming techniques and algorithms for controlling the shape and direction of the Radar beam both at transmission and reception. He will also address the study of recent approaches for modeling and real-time analysis of scenes in noisy environments.

## **2. Intermediate representations of data from the radar scan for the beam control optimization strategy (9 months: M4 to M12)**

This fundamental step of the thesis will allow the PhD student to identify the right level of abstraction of his problem of acquiring knowledge on the observed scene environment through the processing of data from the Radar sensor. He will pay attention to the issues of real time, precision and the impact of noise in the representation and analysis of the scene in order to generate the control of the divergence and the direction of the beam allowing him to optimize the number of shots to cover the ROIs.

Following a system design work, choices will be defined for the architecture of the MIMO Radar, the configuration of its RF parameters, the techniques and parameters of the waveform at the transmit path and the detection processing at the receive path. This system design will be considered in the Matlab simulation model using the Phased-Array Toolbox as well as the programming of the radar kit for experimental tests.

The research contribution for this step of the thesis work aims to build on previous work by the LIIM laboratory of CEA-LIST to establish the discretized surrounding space into a grid of cells allowing a robust fusion of data acquired from the different channels of the MIMO radar sensor. The results of this step will be evaluated by simulation and experimental tests with the MIMO radar kit.

## **3. High-performance feedback loop for antenna control (15 months: M10 to M24)**

Based on the results of the literature search associated with this problem and the model established for the representation of data with a discretized surrounding space, the PhD student will develop the definition of an adaptive and optimized beamforming technique to concentrate energy in the regions deemed relevant while reducing antenna noise and ambiguity in the resolution of directions of arrival (DoA). The beamforming technique to be developed will aim at an intelligent and low-latency adjustment of the distribution of MIMO antenna elements and the phases of the quantized phase shifters to orient the main beam of the Radar in order to simultaneously track the targets of interest and to attenuate interference with other directions of no interest.

The PhD student will use the simulation environment to develop the algorithms to be developed. This work will be completed by a comparison of the simulation results with experimental tests on the radar kit for certain test scenarios in order to calibrate the hypotheses and perfect the interpretations

## **4. Algorithm-architecture adequacy of digital implementation of the radar beam control optimization algorithms (10 months: M21 to M30)**

At this stage of good mastery of the thesis subject and conclusive results relating to the representation and scene model and adaptive control algorithms of the radar beam, the PhD student will continue his thesis work by seeking to make contributions to reduce the complexity of implementing the proposed

algorithms. A work of adequacy algorithm-digital implementation architecture will be carried out and the results obtained will be evaluated on the optimized target digital architecture.

## 5. Writing the PhD thesis manuscript (7 months: M30 to M36)

The last semester will be dedicated to writing the PhD thesis manuscript and the latest publications.

## Research environment

This thesis will be carried out in the LIIM laboratory of the CEA, within the DRT/LIST/DSCIN department.

The CEA is a major player in research, development and innovation. This technological research organization operates in three major fields: energy, information and health technologies, and defense. Recognized as an expert in these areas of expertise, the CEA is fully integrated into the European Research Area and has a growing presence at the international level.

Within CEA Tech, the CEA's "Technological Research" pole, the LIST Institute dedicates its activities to intelligent digital systems with R&D programs in advanced manufacturing, embedded systems, and ambient intelligence. We support our partners in the fields of transport, industry, energy, health, security and defense, to transfer technologies resulting from innovation and improve their competitiveness. Cf. <http://www-list.cea.fr/index.php/>

Within LIST, the Department of Digital Integrated Systems and Circuits (DSCIN) is tasked with creating technologies for integrated or embedded digital computing systems. As such, it offers a service that provides the link between technology and applications, based on Design and Embedded Systems platforms, particularly in the areas of the Internet of Things, autonomous vehicles, Artificial Intelligence (AI), Cybersecurity and High Performance Computing (HPC).

Within this department, the Multi-sensor Integrated Intelligence Laboratory (LIIM), based in Grenoble, is dedicated to developing algorithms for Embedded Artificial Intelligence, data fusion and environmental perception deployed in cyber-physical systems. The laboratory develops hardware and software demonstration platforms using these algorithms combined with innovative technologies frequently integrated into integrated circuits.

For the supervision of the thesis, the PhD student will be attached to the team of the IIS (Instrumentation, Computing and Systems) research center of IRSEEM (Research Institute in Embedded Electronic Systems) - <https://www.esigelec.fr/fr/irseem> - UR4353 of ESIGELEC in joint supervision with the University of Rouen Normandy. Located on more than 4000m<sup>2</sup>, IRSEEM is at the ESIGELEC located at the Sciences and Engineering Campus, Technopôle du Madrillet, Saint-Etienne du Rouvray, Rouen Metropolis.

IRSEEM carries out scientific research and technological innovation in the field of cyber-physical systems in harsh environments. Equipped with substantial technological resources supported in particular by 4 high-level technological platforms, the research activity is structured around 3 thematic poles (Automation, Electronics and Instrumentation/IT) supported by an innovation, research and development service allowing the development of proof of concept up to TRL 6. With numerous academic and industrial collaborations, IRSEEM is perfectly integrated and recognized in the regional and national economic environment, particularly in the industrial sectors of the automotive, aeronautics, renewable energies, telecommunications and health sectors.

## References

7. [1] Z. W. Johnson and R. A. Romero, "Uncertainty Function Design for Adaptive Beamsteering Cognitive Radar," 2020 IEEE International Radar Conference (RADAR), Washington, DC, USA, 2020, pp. 1058-1062, doi: 10.1109/RADAR42522.2020.9114595.
8. [2] L. Xu, S. Sun, Y. D. Zhang and A. Petropulu, "Joint Antenna Selection and Beamforming in Integrated Automotive Radar Sensing-Communications with Quantized Double Phase Shifters," ICASSP 2023 - 2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Rhodes Island, Greece, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICASSP49357.2023.10097184.
9. [3] A. M. Elbir, K. V. Mishra and Y. C. Eldar, "Cognitive radar antenna selection via deep learning", IET Radar Sonar Navigat., vol. 13, no. 6, pp. 871-880, Jun. 2019.
10. [4] A. S. Butterfield, A. E. Mitchell, G. E. Smith, K. L. Bell and M. Rangaswamy, "Metrics for quantifying cognitive radar performance," 2016 CIE International Conference on Radar (RADAR), Guangzhou, China, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/RADAR.2016.8059298.
11. [5] T. Rakotovao, J. Mottin, D. Puschini, and C. Laugier, "Multi-sensor fusion of occupancy grids based on integer arithmetic," in Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 2016-June, 2016.
12. [6] A. Fresneau, T. Rakotovao, D. Puschini, "A lightweight Steering Algorithm for Smart Scanning", CESA 2022