

Radar MIMO appliqué à la localisation des personnes en environnement complexe : identification de postures et détection de signes vitaux

Directeur : Jean-Marc Laheurte

Encadrants : Benoit Poussot / Florence Nadal

Laboratoire ESYCOM / ED MSTIC

Contexte

Un radar MIMO (Multiple Input Multiple Output) est une architecture radar qui utilise un réseau de multiples antennes émettrices et réceptrices, dans lequel les formes d'ondes émises peuvent être indépendantes (Figure 1). Par rapport à un radar à réseau phasé, le radar MIMO offre des degrés de liberté supplémentaires permettant d'améliorer la résolution angulaire et l'estimation des paramètres des cibles. En réception, une focalisation du faisceau dans une ou plusieurs directions est possible dans le but de maximiser la probabilité de détection ou le rapport signal sur bruit, l'amélioration des performances est notamment possible en utilisant le principe du réseau virtuel dont les dimensions sont supérieures à celles du réseau physique. En émission, la technique MIMO offre également la possibilité de synthétiser le diagramme de rayonnement désiré par une définition judicieuse des formes d'ondes émises [1].

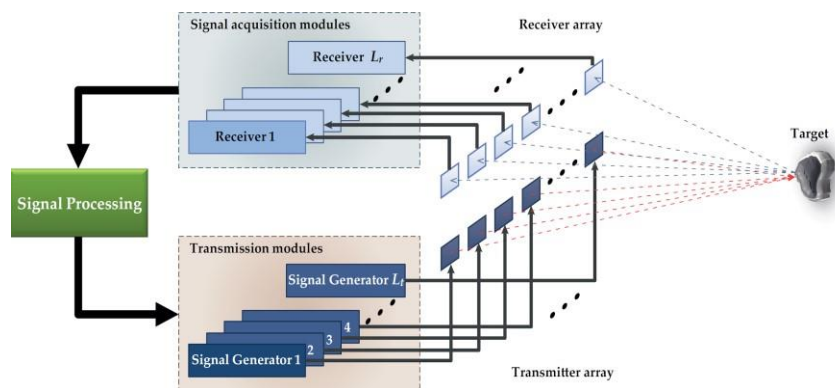


Figure 1: Principe du radar MIMO à antennes colocalisées.

Par rapport aux technologies de radar classiques, SISO (Single Input Single Output), le potentiel et les bénéfices de la technologie MIMO pour la localisation de personnes en environnement complexe se situe au niveau de la localisation spatiale, non seulement en distance mais également en angles et sur le pouvoir de détecter des non stationnarités à plusieurs échelles. Pour la détection de distance, la précision attendue en utilisant un radar MIMO est également supérieure à celle obtenue dans un cas SISO. La contre partie de ces améliorations est la complexité et le coût d'un tel radar. [2]

Cette thèse s'appuiera sur des travaux de doctorat menés sur le radar MIMO au sein de l'équipe du laboratoire ESYCOM UMR 9007. Sur le plan théorique, nous avons proposé une technique de construction des formes d'ondes applicable en large bande, permettant d'améliorer la détection des cibles (directions d'arrivée) [3]. Nous avons également développé des techniques de détection adaptées au radar MIMO large bande : d'une part en étendant les techniques radar MIMO bande étroite proposées dans [4]-[5] au large bande [6], d'autre part en adaptant des techniques de traitement d'antennes large bande au contexte du radar MIMO [3].

Sur le plan expérimental, un système radar MIMO cohérent a été développé à partir d'une architecture d'émetteur-récepteur RF unique [7]. Cette plateforme, qui repose sur le principe de superposition linéaire, a permis de tester expérimentalement différentes techniques de détection adaptées au cas de signaux bande étroite et développées d'un point de vue théorique [4]-[5].

Sujet de la thèse

Actuellement, pour le monitoring des personnes, les radars utilisent essentiellement les techniques FMCW [8] ou UWB [9]. Le premier objectif de ces travaux serait d'adapter le radar FMCW au contexte MIMO. Nous pouvons noter que quelques travaux de recherche récents existent sur ce sujet. Dans [10], l'étude porte sur la création de formes d'onde orthogonales pour un radar MIMO FMCW. [11] propose une nouvelle méthode d'estimation itérative des paramètres des cibles adaptée au radar MIMO FMCW. Les performances sont évaluées en simulation. Dans [12] l'algorithme CFAR (Constant False Alarm Rate) est modifié et utilisé dans un contexte MIMO FMCW. En se basant sur la corrélation des signaux reçus aux niveaux des pics de détection, il est possible de limiter les erreurs de détection (false alarm) en dissociant les clutters ou les multi trajets des cibles physiques. Des expérimentations menées autour de 77GHz, montrent l'efficacité de la méthode proposée.

A l'aide du radar MIMO FMVW proposé, cette étude inclut la localisation, mais également une classification de la posture associée à la détection des signes vitaux. Il s'agira notamment d'estimer conjointement la position (distance par rapport au radar /angle d'arrivée) et la mobilité / variabilité à différentes échelles d'une personne afin d'assurer son suivi.

Travail demandé

Le travail demandé s'articulera autour de deux axes :

- Sur le plan théorique, il s'agira de poursuivre la recherche sur les techniques de construction de formes d'ondes et de détection adaptée au radar MIMO FMCW.
- Sur le plan expérimental, il s'agira d'étendre le fonctionnement de la plateforme MIMO du laboratoire ESYCOM au cas du radar FMCW multi-antennes. Il sera ainsi possible d'évaluer empiriquement la pertinence et l'exactitude des modèles et techniques développées.

Profil recherché

Le candidat doit être titulaire d'un diplôme de Master dans le domaine 3EA ou équivalent.

Le profil recherché est le suivant :

- Solides connaissances en traitement du signal en électromagnétisme
- Goût pour experimentation
- Expérience avec Matlab fortement souhaitée

Contact

Directeur : Jean-Marc Laheurte, Professor, ESYCOM/UGE
Encadrants: Benoit Poussot, Associate Professor, ESYCOM/UGE
Florence Nadal, Associate Professor, ESYCOM/UGE

Le laboratoire ESYCOM s'inscrit dans les domaines de l'ingénierie des systèmes de communication, des capteurs et des microsystèmes pour la ville, l'environnement et la personne.

Les thèmes abordés sont plus spécifiquement :

- *les antennes et propagation en milieux complexes, les composants photoniques - micro-ondes ;*
- *les microsystèmes pour l'analyse de l'environnement et la dépollution, pour la santé et l'interface avec le vivant ;*
- *les micro-dispositifs de récupération d'énergie ambiante mécanique, thermique ou électromagnétique.*

References

- [1] F. Robey, S. Coutts, D. Weikle, J. McHarg, et K. Cuomo, "MIMO Radar Theory and Experimental Results," in Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, vol. 1, p. 300–304, 2004.
- [2] PATERNIANI, Giacomo, SGRECCIA, Daria, DAVOLI, Alessandro, et al. Radar-based monitoring of vital signs: A tutorial overview. Proceedings of the IEEE, 2023.
- [3] O. Gómez, P. Jardin, F. Nadal, B. Poussot et G. Baudoin, "Multiband Waveform Synthesis and Detection for a Wideband MIMO Radar", Proceedings of the 3rd International IEEE Conference on Microwaves, Communications, Antennas, and Electronic Systems (COMCAS 2011), p. 1-5, novembre 2011.
- [4] L. Xu, J. Li, et P. Stoica, "Radar Imaging via Adaptive MIMO Techniques", Proceedings of the 14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO '06), Florence, Italie, septembre 2006.
- [5] P. Stoica, J. Li, et Y. Xie, "On Probing Signal Design for MIMO Radar", IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 55, p. 4151-4161, août 2007.
- [6] O. Gómez, F. Nadal, P. Jardin, G. Baudoin et B. Poussot, "On Wideband MIMO Radar: Detection Techniques Based on a DFT Signal Model and Performance Comparison", Proceedings of the 2012 IEEE Radar Conference (RadarCon 2012), p. 608-612, mai 2012.
- [7] O. Gómez, B. Poussot, F. Nadal, P. Jardin et G. Baudoin, "An Experimental Platform for MIMO Radar with Colocated Antennas", Proceedings of the 2012 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2012), Kaohsiung, Taiwan, décembre 2012.
- [8] Will, C., Vaishnav, P., Chakraborty, A., & Santra, A. (2019). Human target detection, tracking, and classification using 24-GHz FMCW radar. *IEEE Sensors Journal*, 19(17), 7283-7299.
- [9] Chang, S., Mitsumoto, N., & Burdick, J. W. (2009, May). An algorithm for UWB radar-based human detection. In 2009 IEEE Radar Conference (pp. 1-6). IEEE.
- [10] De Wit, J. J. M., Van Rossum, W. L., & De Jong, A. J. (2011). Orthogonal waveforms for FMCW MIMO radar (pp. 686-691). IEEE.
- [11] Jiang, Y., Lan, X., Shi, J., Han, Z., & Wang, X. (2022). Multi-Target Parameter Estimation of the FMCW-MIMO Radar Based on the Pseudo-Noise Resampling Method. *Sensors*, 22(24), 9706.
- [12] Endo, K., Ishikawa, T., Yamamoto, K., & Ohtsuki, T. (2023). Multi-Person Position Estimation Based on Correlation Between Received Signals Using MIMO FMCW Radar. *IEEE Access*, 11, 2610-2620.