

Titre Thèse Title	Caractérisation multidimensionnelle du canal radio sans-fil véhiculaire par imagerie: application à la modélisation et la localisation Multi-dimensional characterization of the vehicular wireless radio channel with imaging: application to modeling and localization	
(Co)-Directeur	Davy Gaillot	E-mail : davy.gaillot@univ-lille.fr
(Co)-Directeur	Jose-Maria Garcia Molina-Pardo (Prof. Distingué Université de Lille)	E-mail : JoseMaria.Molina@upct.es
(Co)-Encadrant (s)		E-mail :
Laboratoire(s)	IEMN	Web : https://www.iemn.fr
Groupe(s)	TELICE	Web : https://www.iemn.fr/en/la-recherche/les-groupes/telice
Financement acquis ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
	Origine :	
Financement demandé	Contrat Doctoral <input type="checkbox"/>	Etablissement porteur : Univ. Lille <input type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région <input type="checkbox"/>	Co-financement acquis : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Préciser son origine (qu'il soit acquis ou non) :
	Autre : Sujets prioritaires pour le Flagship "Transport" de l'IEMN	

Résumé :

Avec les progrès récents et la maturité des technologies RF, les bandes millimétriques (mmW) et TeraHz (THz) suscitent un intérêt grandissant ces dernières années en raison de leur faible longueur d'onde et de la grande largeur de bande disponible [1]. La combinaison de ces deux facteurs a fait exploser le nombre d'applications potentielles non seulement dans les communications sans fil [2], mais aussi dans les systèmes d'imagerie industrielle, biomédicale et de sécurité [3]. En imagerie, la résolution augmente lorsque la longueur d'onde diminue et la bande passante peut être utilisée pour filtrer les phénomènes non linéaires [4]. En conséquence, il existe un fort intérêt pour la mesure des champs diffractés et plus généralement du comportement des champs électromagnétiques dans un scénario donné. Dans le domaine des télécommunications sans-fil et plus spécifiquement des communications véhiculaires telles qu'envisagées dans la 5G et au-delà, de telles mesures permettent de mieux appréhender les caractéristiques complexes des canaux de propagation variant rapidement dans le temps. À l'heure actuelle, les sondeurs de canaux radio modernes à entrées et sorties multiples (MIMO) comme celui développé par le groupe TELICE de l'IEMN sont généralement utilisés pour caractériser ces effets [5]. Les informations spatio-temporelles des trajets multiples telles que le temps d'arrivée (ToA), l'angle d'arrivée/départ (AoA/AOD), ou même le Doppler peuvent être extraites des canaux mesurés avec des techniques avancées de post-traitement du signal telles que l'estimation paramétrique multidimensionnelle [6]. Les propriétés géométriques des composantes multi-trajets permettent non seulement de mieux comprendre le canal radioélectrique sans fil sur l'ensemble du spectre de fréquences afin de modéliser et de déployer les systèmes de communication modernes mais aussi d'utiliser des applications connexes telles que la caractérisation des matériaux, l'exposition aux champs électromagnétiques ou encore la localisation [7]. Pour ce dernier cas, bien que les positions spatiales des diffuseurs dans le scénario étudié soient critiques pour développer des modèles déterministes et stochastiques plus simples, seules des techniques de traçage de rayons visuels ou inverses couplées à des mesures sont appliquées pour les retrouver [8].

Une approche originale a été proposée il y a plus de dix ans pour effectuer à la fois la localisation spatiale des diffuseurs et la caractérisation des canaux sans avoir recours à un traitement complexe du signal. Elle utilise une technique d'imagerie multifréquence bifocale (MF-BF), initialement développée pour la détection des dommages sur les structures civiles [9], puis étendue à la cartographie en ondes millimétriques de tiges métalliques [10]. Cette approche repose sur le principe de compensation électromagnétique qui stipule que l'illumination d'un objet induit une distribution de courant équivalente proportionnelle au contraste électrique. Les objets illuminés qui agissent comme des sources secondaires peuvent être imagés en utilisant un processus d'imagerie inverse à partir des champs diffusés générés. Dans cette perspective, les champs transmis et reçus peuvent être acquis avec des techniques MIMO. Dans [10], les auteurs n'ont étudié que la localisation d'objets métalliques simples entre les réseaux et ses conséquences sur les canaux de communication. Cela correspond non seulement au concept de localisation et de cartographie simultanées (SLAM) mais aussi à celui de détection et de communication intelligentes (ISAC) qui sont deux sujets majeurs dans la communauté des télécommunications. Néanmoins, ils n'ont pas montré depuis de nouveaux développements de cette approche.

Ce n'est que récemment que le potentiel de cette approche (résultats non publiés par le co-directeur principal) a été mis en évidence. Par exemple, la figure 1 révèle par imagerie l'emplacement des diffuseurs entre un réseau d'émetteurs et de récepteurs. Les canaux ont été simulés par un traçage de rayons et également mesurés en indoor à 94 GHz. Il est conclu que les principales interactions géométriques des ondes émises avec le scénario sont bien appréhendées. Dans cette thèse qui

s'inscrit dans le cadre des communications véhiculaires et du flagship "Transport" de l'IEMN, il est donc proposé de développer un cadre théorique et expérimental complet sur l'imagerie conjointe et la caractérisation du canal à partir de matrices de diffusion MIMO, dans le but de prospecter sur la modélisation du canal et les applications de localisation. Ceci fait actuellement défaut dans la littérature.

Les travaux de cette thèse seront co-encadrés par le Prof. Jose-Maria Garcia Molina-Pardo de l'Université Polytechnique de Carthagène (UPCT) en Espagne qui est également Prof. Distingué de l'Université de Lille. Prof. Garcia Molina-Pardo est un expert internationalement reconnu pour ses activités de recherche dans la caractérisation du canal de propagation radioélectrique dans les fréquences millimétriques par la modélisation déterministe et la mesure. Cette collaboration existe depuis plus de 10 ans avec de nombreuses publications, co-tutelles de doctorants et projets internationaux. La collaboration porterait sur la validation de l'algorithme d'imagerie par des mesures et des simulations indoor aux fréquences millimétriques et THz. Une autre collaboration profitable sera avec le Prof. Lluís Jofre de l'Université Polytechnique de Catalogne (UPC) dont la technique étudiée dans cette thèse est à son initiative. Prof. Lluís Jofre est reconnu internationalement pour son expertise dans la propagation électromagnétique, le développement d'antennes spécifiques et ses applications pour le contrôle non destructif telles que l'imagerie médicale et industrielle. La collaboration porterait sur l'optimisation de l'algorithme d'imagerie.

Abstract:

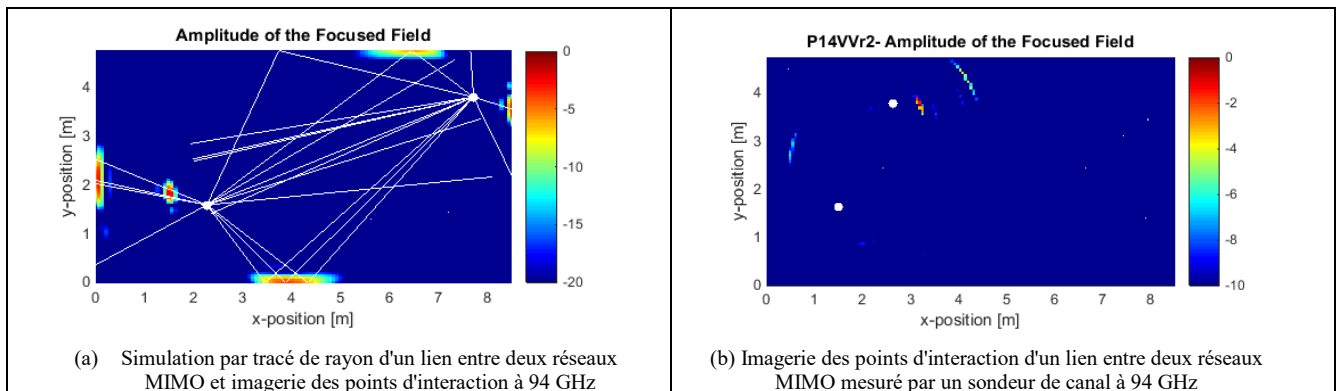
With the recent advances and maturity of RF technologies, the millimeter (mmW) and TeraHz (THz) bands have been attracting increasing interest in recent years due to their short wavelengths and high available bandwidth [1]. The combination of these two factors has exploded the number of potential applications not only in wireless communications [2], but also in industrial, biomedical and security imaging systems [3]. In imaging, resolution increases as wavelength decreases and bandwidth can be used to filter out nonlinear phenomena [4]. Consequently, there is a strong interest in measuring diffracted fields and more generally the behavior of electromagnetic fields in a given scenario. In the field of wireless telecommunications and more specifically vehicular communications as envisioned in 5G and beyond, such measurements provide a better understanding of the complex characteristics of time-varying propagation channels. Currently, modern multiple-input multiple-output (MIMO) radio channel sounders like the one developed by the IEMN-TELICE group are typically used to characterize these effects [5]. Spatio-temporal multipath information such as time of arrival (ToA), angle of arrival/departure (AoA/AOD), or even Doppler can be extracted from the measured channels with advanced signal post-processing techniques such as multidimensional parametric estimation [6]. The geometric properties of the multipath components not only allow for a better understanding of the wireless radio channel over the entire frequency spectrum in order to model and deploy modern communication systems, but also for related applications such as material characterization, electromagnetic field exposure, or localization [7]. For the latter case, although the time-varying spatial positions of the scatterers in the studied scenario are critical to develop simpler deterministic and stochastic models, only tedious visual or inverse ray tracing techniques coupled with measurements are applied to find them [8].

An original approach was proposed more than ten years ago to perform both spatial localization of scatterers and channel characterization without the need for complex signal processing. It uses a bifocal multi-frequency imaging (MF-BF) technique, initially developed for damage detection on civil structures [9]. It was later extended to millimeter-wave mapping of metallic rods [10]. This approach is based on the principle of electromagnetic compensation that states that the illumination of an object induces an equivalent current distribution proportional to the electrical contrast. Illuminated objects that act as secondary sources can be imaged using an inverse imaging process from the generated scattered fields. In this perspective, the transmitted and received fields can be acquired with MIMO techniques. In [10], the authors only studied the localization of simple metallic objects between arrays and its consequences on the communication channels. This corresponds not only to the concept of simultaneous localization and mapping (SLAM) but also to that of intelligent sensing and communication (ISAC) which are two hot topics in the telecommunication community. Nevertheless, they have not shown any new development of this approach since.

It is only recently that the potential of this approach (unpublished results by the co-principal investigator) has been highlighted. For example, Figure 1 reveals the location of scatterers between an array of transmitters and receivers obtained by the imaging process. The channels were simulated by ray tracing and measured at 94 GHz in an indoor scenario. It is concluded that the main geometric interactions of the transmitted waves with the scenario are well grasped. In this thesis, which is part of the Vehicular Communications and Transport flagship of IEMN, it is therefore proposed to develop a complete theoretical and experimental framework on joint imaging and channel characterization from time-varying MIMO scattering arrays, with the aim of prospecting on channel modeling and localization applications. This is currently lacking in the literature.

The PhD student will be co-supervised by Prof. Jose-Maria Garcia Molina-Pardo of the Polytechnic University of Cartagena (UPCT) in Spain who is also Distinguished Professor of the University of Lille. Prof. Garcia Molina-Pardo is an internationally recognized expert for his research activities in the characterization of the radio propagation channel in millimeter frequencies through deterministic modeling and measurement. This collaboration has existed for more than 10 years with numerous publications, PhD co-supervision and international projects. The collaboration would focus on the validation of the imaging algorithm by measurements and indoor simulations at millimeter and THz frequencies. Another beneficial collaboration will be with Prof. Lluís Jofre of the Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) whose technique

studied in this thesis was initiated by him. Prof. Lluís Jofre is internationally recognized for his expertise in electromagnetic propagation, the development of specific antennas and their applications for non-destructive testing such as medical and industrial imaging. The collaboration would focus on the optimization of the imaging algorithm and measurements.



- [1] D. M. Mittleman, R. H. Jacobsen and M. C. Nuss, "T-ray imaging," in *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 2, no. 3, pp. 679-692, Sept. 1996, doi: 10.1109/2944.571768.
- [2] T. S. Rappaport *et al.*, "Wireless Communications and Applications Above 100 GHz: Opportunities and Challenges for 6G and Beyond," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 78729-78757, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2921522.
- [3] M. Pastorino, "Medical and industrial applications of inverse scattering based microwave imaging techniques," in *Proc. IEEE Int. Workshop Imag. Syst. Techn.*, Sep. 2008, pp. 34-38.
- [4] S. Shahir, B. Semnani, M. Mohajer, G. Rafi, J. Orchard, and S. Safavi-Naeini, "Millimetre-wave multi-view near-field scattering tomography system," *IET Microw., Antennas Propag.*, vol. 12, no. 6, pp. 858-863, May 2018.
- [5] Laly, P.; Gaillot, D.P.; Delbarre, G.; Van den Bossche, M.; Vermeeren, G.; Challita, F.; Tanghe, E.; Simon, E.P.; Joseph, W.; Martens, L.; et al. Massive radio channel sounder architecture for 5G mobility scenarios: MaMIMOSA. In Proceedings of the 2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Copenhagen, Denmark, 15-20 March 2020; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2020; pp. 1-5.
- [6] A. Richter, "Estimation of radio channel parameters: Models and algorithms," Ph.D. dissertation, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Univ. Ilmenau, Ilmenau, Germany, 2005
- [7] T. S. Rappaport, "Wireless Communications Principles and Practice, Second Edition," 2nd Edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, 161-166. 2002
- [8] S. Salous *et al.*, "Millimeter-Wave Propagation: Characterization and modeling toward fifth-generation systems. [Wireless Corner]," in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 58, no. 6, pp. 115-127, Dec. 2016.
- [9] Yoo Jin Kim, L. Jofre, F. De Flaviis and M. Q. Feng, "Microwave reflection tomographic array for damage detection of civil structures," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 11, pp. 3022-3032, Nov. 2003
- [10] A. P. Toda, F. De Flaviis, L. Jofre and J. Romeu, "MM-wave scattering measurements for imaging and channel characterization," 2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), 2012, pp. 3694-3698