



Sujet de Thèse 2018-2019

Méthodes de décomposition et de compression d'un champ électromagnétique diffracté : application à la classification et la discrimination de cibles

(english version below)

Le contexte :

Les techniques de mesures radar ultra large bande sont généralement utilisées pour des applications dites à pénétration de surface (SPR) comme le radar à pénétration de sol (contrôle non destructif en génie civil, imagerie à but géophysique) ou bien le radar de vision à travers les murs (TTW) pour des applications de secours à la personne. Cette technologie basée sur l'émission de brèves impulsions électromagnétiques ou de rampes de fréquence n'est cependant pas cantonnée à ces problématiques puisqu'elle adresse également les applications radar classiques où la discrimination des cibles est nécessaire. En effet, des travaux de ce type ont été initiés par C.E. Baum [1] qui a proposé d'utiliser des méthodes d'expansions en singularités (SEM) au champ diffracté par un objet éclairé par une onde incidente large bande. L'extraction et l'étude des pôles de résonance de ces signaux mesurés permet de distinguer les différentes cibles par l'identification des pôles naturels qui leur sont propres. Ces techniques se sont diversifiées et améliorées au fil des décennies afin d'obtenir une meilleure robustesse au bruit de mesure notamment. Des travaux appliqués à la discrimination de cibles canoniques ont été menés ces dernières années que ce soit dans le domaine temporel [2] ou fréquentiel [3]

Le développement de systèmes radars est une des activités majeures de l'équipe « Imagerie microonde et Systèmes d'Antennes » (ISA) du LEAT pour des domaines d'application variés (radar à pénétration de surface, vision à travers les murs, détection de mines anti personnelles, imagerie du cerveau, détection de débris sur pistes d'aéroport, etc...). Afin d'estimer efficacement les performances des antennes utilisées, des techniques de caractérisation ainsi que de nouveaux critères de performances ont été développés (fonction de transfert, réponse impulsionnelle, facteur de fidélité, etc.) [4]. Cependant, bien qu'informatifs, ces critères de performance étaient soit insuffisamment précis pour être utilisables dans les algorithmes d'imagerie, soit représentaient un volume de données trop important (diagrammes 3D sur de larges bandes de fréquences). Le laboratoire a donc axé ses dernières recherches sur la compression de ces données, avec notamment les méthodes d'expansion en vecteurs sphériques de diagrammes d'antennes afin d'obtenir un modèle compact et extrêmement précis du rayonnement de ces antennes en environnement réel. Ces travaux ont été menés dans un contexte radar : ils permettent notamment la connaissance du champ rayonné dans tout l'espace (champ proche ou lointain), puis ont été appliqués à des antennes rayonnant à travers différents types d'interfaces. Les taux de compressions atteints, en les associant à des méthodes de développement en singularités, sont de l'ordre de 1 : 100 [5-7].

Les objectifs de cette thèse peuvent donc se découper selon deux axes principaux :

- Tout d'abord, l'amélioration des modèles obtenus afin de minimiser le nombre de paramètres représentatifs d'une antenne mais également l'augmentation de leur précision. Cela passe donc par l'amélioration du taux de compression des algorithmes développés, par exemple en appliquant des rotations aux diagrammes mesurés. Il existe en effet des orientations privilégiées de l'antenne permettant de tirer parti des symétries de rayonnement, et donc d'améliorer la compacité du modèle. Afin d'augmenter la précision il est également possible de simuler une translation de l'antenne dans le repère et ainsi compenser d'éventuelles erreurs de placement de l'antenne lors de mesures. Il conviendra d'étudier également le cas d'antennes en présence de différentes interfaces typiques.

- Le second axe de cette thèse est l'application de ces traitements au champ diffracté par une cible éclairée par un champ électromagnétique large bande. A la discrimination fréquentielle des cibles issue des pôles obtenus par la SEM, la décomposition en vecteurs sphériques ajoutera une information angulaire qui permettra de dégager une « signature modale » des cibles, ce qui complétera le modèle et rendra plus robustes et efficaces les algorithmes de discrimination de cible en post-traitement

Ces deux axes auront en commun une partie expérimentale qui pourra s'appuyer sur le Banc champ proche de mesure 3D du laboratoire. Les techniques de métrologies développées et les traitements de compression associés permettront de développer une banque de données d'antennes, d'interfaces et de cibles canoniques dont les indicateurs multiples (fréquentiels et angulaires) devraient offrir une bonne discrimination tout en limitant le volume de données à étudier.

Références :

- [1] C. E. Baum, "The singularity expansion method," in *Transient Electromagnetic Field*, L. B. Felsen, d. New York: Springer-Verlag, 1976, pp. 129–179.
- [2] J. Chauveau, N. de Beaucoudrey, and J. Saillard, « *Selection of Contributing Natural Poles for the Characterization of Perfectly Conducting Targets in Resonance Region* », *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 55, N° . 9, Sept 2007.
- [3] W. Lee, T. K. Sarkar, H. Moon, M. Salazar-Palma, "Computation of the Natural Poles of an Object in the Frequency Domain Using the Cauchy Method", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 11, 2012.
- [4] X. Begaud, F. Bucaille, J.-Y. Dauvignac, C. Delaveaud, N. Fortino, S. Hetuin, G. Kossiavas, C. Roblin, A. Sibille, "Ultra Wide Band Antennas", London, UK : ISTE Ltd ; Hoboken, NJ (USA) : John Wiley & Sons, 2011
- [5] A. Roussafi, N. Fortino, J.-Y. Dauvignac, "UWB Antenna 3D Characterization Using Matrix Pencil Method", *International Conference on Antenna Measurements & Applications: Focus on Antenna Systems (CAMA 2014)*, 16/11/2014, Antibes-Juan les Pins, FR, Special Session SP5
- [6] A. Roussafi, N. Fortino, J.-Y. Dauvignac, "Compact modeling of UWB antenna 3D Near Field radiation using Spherical Vector Wave Expansion and Cauchy methods", *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE (IEEE AWPL)*, accepted, May 2016
- [7] A. Roussafi, L. Brochier, N. Fortino and J.-Y. Dauvignac, "Compact Modeling of UWB Antenna Radiation Pattern in TTW Context" *2016 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), Syracuse(NY), 2016*, pp.1-4.

Contacts : Nicolas Fortino (Nicolas.Fortino@unice.fr)

Contacts : Jean-Yves Dauvignac (Jean-Yves.Dauvignac@unice.fr)

Pour candidater : <http://edstic.unice.fr/edsticTheses2018/>



PhD. Position: 2018-2019

Expansion and compression methods of an electromagnetic field for targets classification

Context:

The techniques of ultra wide-band measurement are used in the context of surface-penetrating radar applications, like the ground penetrating radar (GPR, for non-destructive testing in civil engineering or geo-physics imaging) or the through-the-wall (TTW) vision (for security applications). This technology, based on the emission of short electromagnetic pulses or frequency ramps, is not limited to these domains, as it is equally applied to classic radar approaches where the discrimination of targets is necessary. This kind of work has been initiated by C.E. Baum [1] who proposed the singularity expansion method (SEM) on the electromagnetic field diffracted by a target illuminated by a wide-band incident field. After extraction and analysis of the resonant poles from the measured signal, one can distinguish various targets based on their proper zero poles. These techniques have been subsequently ameliorated in order to get more robust with respect to the measurement noise. Recent works on the identification of canonical targets have been developed both in the time [2] and the frequency domain [3].

The development of radar systems is one of the main activities of the "Microwave Imaging and Antenna Systems" (ISA) team of the LEAT in several application areas (surface penetrating radar, through-the-wall imaging, land mine detection, brain imaging, detection of FOD on runways). In order to estimate efficiently the performance of the antennas used in these systems, we have developed several characterization techniques as well as performance criteria (transfer function, impulse response, fidelity factor) [4]. These criteria, while giving useful information, are either not sufficiently precise in order to be integrated in imaging algorithms or represent a too large amount of data (3D radiation diagrams on a large frequency band). This lead our team to work on compression techniques for these data, based on the expansion of antenna diagrams in spherical vectors in order to obtain a compact and very precise model of the antenna radiation in a real environment. These works have been developed in a radar context, giving access to the field radiating everywhere in the space (near and far field) and then extended to the case of several types of interfaces. We have attained a compression rate of 1:100 by associating this work to singularity development methods [5-7].

Objectives and work description (two principal axes)

First, the amelioration of the obtained models, in order to minimize the number of parameters representing an antenna and, at the same time, ameliorate the precision. This is related to the search of a better compression rate, for example by applying suitable rotations to the antenna diagrams. There are, in effect, privileged orientations of an antenna that permit to take account of radiation symmetries and thus lead to a more compact model. In order to obtain a better precision, it is equally possible to simulate a translation of the antenna, thus compensating eventual placement errors during the measurement phase. It will be helpful to examine the case of antenna radiation in presence of various typical interfaces.

The second axis of this PhD is the application of these processing techniques to the field diffracted by a target illuminated by a wide-band electromagnetic field. The pole analysis by the SEM gives a frequency-domain discrimination of the targets that can be associated to an angular resolution given by the decomposition in spherical vectors. This combined information can lead to a "modal signature" of the target, which will make the discrimination algorithms more efficient and robust.

These two axes have in common an experimental part that can be developed using the 3D near-field measurement facility of the laboratory. The measurement techniques and the associated compression processing will permit to develop a database of antennas, interfaces and canonical targets based on frequency and angular indicators, leading to improved target discrimination with limited data volume.

References:

- [1] C. E. Baum, “*The singularity expansion method*,” in *Transient Electromagnetic Field*, L. B. Felsen, d. New York: Springer-Verlag, 1976, pp. 129–179.
- [2] J. Chauveau, N. de Beaucoudrey, and J. Saillard, « *Selection of Contributing Natural Poles for the Characterization of Perfectly Conducting Targets in Resonance Region*”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 55, N°. 9, Sept 2007.
- [3] W. Lee, T. K. Sarkar, H. Moon, M. Salazar-Palma, “*Computation of the Natural Poles of an Object in the Frequency Domain Using the Cauchy Method*”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 11, 2012.
- [4] X. Begaud, F. Bucaille, J.-Y. Dauvignac, C. Delaveaud, N. Fortino, S. Hetuin, G. Kossiavas, C. Roblin, A. Sibille, “*Ultra Wide Band Antennas*”, London, UK: ISTE Ltd ; Hoboken, NJ (USA) : John Wiley & Sons, 2011
- [5] A. Roussafi, N. Fortino, J.-Y. Dauvignac, “*UWB Antenna 3D Characterization Using Matrix Pencil Method*”, *International Conference on Antenna Measurements & Applications: Focus on Antenna Systems (CAMA 2014)*, 16/11/2014, Antibes-Juan les Pins, FR, Special Session SP5
- [6] A. Roussafi, N. Fortino, J.-Y. Dauvignac, “*Compact modeling of UWB antenna 3D Near Field radiation using Spherical Vector Wave Expansion and Cauchy methods*”, *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE (IEEE AWPL)*, accepted, May 2016
- [7] A. Roussafi, L. Brochier, N. Fortino and J.-Y. Dauvignac, “*Compact Modeling of UWB Antenna Radiation Pattern in TTW Context*” *2016 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA)*, Syracuse(NY), 2016, pp.1-4.

Contacts: Nicolas Fortino (Nicolas.Fortino@unice.fr)

Contacts: Jean-Yves Dauvignac (Jean-Yves.Dauvignac@unice.fr)

To apply: <http://edstic.unice.fr/edsticTheses2018/>