

Sujet de thèse LABEX Celya -- LVA/Creatis

L'imagerie acoustique au service des applications industrielles et médicales

Directeur(trice) de thèse : J. Antoni (LVA) / B. Nicolas (Creatis)

Co-encadrant : Q. Leclère (LVA)

L'antennerie acoustique est une méthodologie basée sur l'utilisation d'une antenne de capteurs distribués, permettant de caractériser spatialement les ondes se propageant dans un milieu. Ce type de données, associé à un modèle de propagation, permet d'inférer des informations sur la position et l'intensité des sources sonores. La technique se décline suivant les applications visées dans une version passive, pour laquelle les sources d'intérêt sont à l'origine des ondes produites, ou dans une version active, pour laquelle les sources d'intérêt sont les diffracteurs du milieu interagissant avec les ondes produites par une source artificielle. Développée au début du 20^e siècle pour des applications sous-marines (le sonar), l'imagerie acoustique est aujourd'hui appliquée dans de nombreux domaines, pour des applications médicales, industrielles ou encore géophysiques. La variété des applications, des moyens expérimentaux, et l'évolution rapide des technologies de mesure et de calcul ont conduit au développement de très nombreuses techniques adaptées à des difficultés spécifiques à chaque domaine.

Contexte et partenaires

Le LVA (Laboratoire Vibrations Acoustique) travaille depuis une vingtaine d'années sur le développement de méthodes d'antennerie acoustique pour le domaine industriel, ayant abouti à l'exploitation d'un formalisme probabiliste permettant d'exploiter au mieux les informations a priori dans le but de régulariser le problème inverse [1-4]. Ces techniques sont encore en développement, notamment pour des applications dans le domaine de l'aéroacoustique où une difficulté réside en l'utilisation de signaux à faible rapport signal sur bruit [5-6].

L'équipe Imagerie Ultrasonore de Creatis développe des méthodes de traitement du signal et de l'image permettant l'imagerie des tissus, mais également l'extraction de paramètres pertinents dans le but de caractériser les tissus biologiques. L'équipe développe des méthodes de formation d'images notamment basées sur des approches adaptatives [7-8], codées [9], et des approches de type problèmes inverses [10-11].

Objectifs de la thèse

L'objectif de cette thèse est de faire la synthèse des savoirs faire des deux laboratoires, dans le but de proposer des évolutions méthodologiques au croisement des applications médicales et industrielles. Les techniques mises en œuvre sont généralement très différentes : les applications médicales sont le plus souvent actives, ultrasonores, avec une exploitation des temps de vol pour localiser les sources en temps réel. Les applications industrielles sont généralement passives et dans le spectre audible, avec potentiellement de lourds calculs en post-traitement. Cependant, de nombreuses difficultés sont communes, on peut citer la forte sous-détermination du problème d'identification, les problématiques d'imagerie en 3D ou encore la méconnaissance du milieu de propagation. Il est à noter que l'idée de rapprocher les domaines d'application en imagerie acoustique n'est pas complètement nouvelle, on pourra citer la récente thèse de M. Bilodeau [12] du GAUS ou encore les travaux d'E. Rustighi [13] professeur invité au LVA en 2018 sur l'imagerie des sous-sols.

Programme de travail

Le sujet de thèse nécessite un effort important de bibliographie, de manière à bien appréhender les contextes et problématiques des différents domaines d'application (industriel et médical). L'état de l'art obtenu permettra de comparer les différentes approches dans le but d'identifier les avancées les plus pertinentes d'un domaine dont l'autre pourrait bénéficier. Une piste possible serait la prise en compte des incertitudes dans la méthode d'imagerie, en pensant par exemple aux incertitudes sur la vitesse de propagation dans le milieu en imagerie médicale ultrasonore générale considérée constante spatialement.

Les propositions pourront ensuite faire l'objet de validations numériques et expérimentales. Le/la doctorant(e) disposera pour cela des moyens d'essais d'antennerie disponible au LVA et à CREATIS. Il/elle aura également accès à des bases de données de cas d'applications industrielles.

Un séjour scientifique à l'université de Sherbrooke (le laboratoire GAUS au Québec) dans le cadre de l'IRP CAC (Centre Acoustique Jacques Cartier) est possible et sera fortement encouragé.

Profil du candidat :

Niveau master en acoustique ou traitement du signal. Intérêt pour la recherche médicale et/ou le CND

Contacts :

jerome.antoni@insa-lyon.fr, barbara.nicolas@creatis.insa-lyon.fr et quentin.leclere@insa-lyon.fr

Candidature : Envoyer CV, relevé de notes et lettre de motivation à J. Antoni, B. Nicolas et Q. Leclere
Début prévu en octobre 2021.

Bibliographie

- [1] Leclère, Q. (2009). Acoustic imaging using under-determined inverse approaches: frequency limitations and optimal regularization. *Journal of Sound and Vibration*, 321, 605-619.
- [2] Antoni, J. (2012). A Bayesian approach to sound source reconstruction: Optimal basis, regularization, and focusing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(4), 2873-2890.
- [3] Pereira, A., Antoni, J., & Leclere, Q. (2015). Empirical Bayesian regularization of the inverse acoustic problem. *Applied Acoustics*, 97, 11-29
- [4] Antoni, J., Le Magueresse, T., Leclere, Q., et al. Sparse acoustical holography from iterated Bayesian focusing. *Journal of Sound and Vibration*, 2019, vol. 446, p. 289-325.
- [5] Dinselmeyer, A., Antoni, J., Leclere, Q., & Pereira, A. (2020). A probabilistic approach for cross-spectral matrix denoising: Benchmarking with some recent methods. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(5), 3108-3123.
- [6] Leclere, Q., Aujogue, N., Dinselmeyer, A., Antoni, J., & Julliard, E. (2020, March). Characterization of engine jet noise in flight conditions using advanced acoustic imaging methods. In *BeBeC2020*.
- [7] M. Polichetti, F. Varray, B. Gilles, J-C. B'era, and B. Nicolas. Use of the cross-spectral density matrix for enhanced passive ultrasound imaging of cavitation. *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, pages 1–1, 2020.
- [8] V. Voulgaridou, B. Nicolas, S. McDougall, L. Arthur, E. Kanoulas, W. Lu, K. Diamantis, J. A. Jensen, and V. Sboros. Improved microbubble localisation using particle detecting algorithm : Evaluation of algorithm performance for different beamforming methods. In *2020 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, pages 1–4, 2020.
- [9] Y.M. Benane, D. Bujoreanu, C. Cachard, B. Nicolas, and O. Basset. An enhanced chirp modulated golay code for ultrasound diverging wave compounding. In *26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, pages 81–85, Rome, Italie, Septembre 2018.
- [10] D. Bujoreanu, D. Friboulet, H. Liebgott, and B. Nicolas. Simultaneous coded plane wave imaging in ultrasound : Problem formulation and constraints. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, New Orleans, Etats Unis, March 2017.
- [11] D. Bujoreanu, Y.M. Benane, H. Liebgott, B. Nicolas, O. Basset, and D. Friboulet. A resolution enhancement technique for ultrafast coded medical ultrasound. In *26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, pages 76–80, Rome, Italie, Septembre 2018.
- [12] Bilodeau, M. Exploitation de la phase en imagerie acoustique. Thèse de doctorat, univ. de Sherbrooke, 2020.
- [13] Rustighi, E., Leclere, Q., & Muggleton, J. (2018). Apodization and phase methods applied to the seismic detection of underground objects. *Proceedings of ISMA 2018*, Leuven, Belgium.