

OFFRE DE THESE EN
TRAITEMENT DU SIGNAL POUR L'ACOUSTIQUE SOUS-MARINE
Super-résolution modale et discrimination à partir d'une antenne linéaire tractée

Objet de la thèse

Dans cette thèse, nous nous intéressons aux sources acoustiques à Ultra Basse Fréquence (UBF : de 0 à 300 Hz) et à leur écoute par des antennes linéaires tractées. Nous nous attacherons en particulier à **développer de nouvelles méthodes permettant de discriminer une source immergée (sous-marin...) d'une source de surface (trafic maritime...)**. Cette problématique est d'intérêt notamment en lutte anti-sous-marine.

Descriptif de la thèse

En UBF, la propagation du champ acoustique est régie par la théorie des modes [7]: l'environnement se comporte comme un guide d'onde dispersif, différentes fréquences se propagent à différentes vitesses. Après propagation, un signal UBF reçu sur une antenne peut donc être formalisé comme une somme de plusieurs composantes appelées « modes ». Ces modes sont porteurs d'information sur l'environnement et sur la configuration source/récepteur, dont la profondeur de la source [7] qui nous intéresse ici.

Pour effectuer la discrimination en immersion, on peut donc procéder en deux étapes : *i*) estimation des modes propagés [1, 3, 6], *ii*) extraction de l'information utile et décision [5, 8]. L'étape *i*) constituera le cœur des travaux de cette thèse.

En particulier, parmi les différentes méthodes s'attachant à estimer les composantes modales, les représentations « fréquence-nombre d'onde » (*f-k*) permettent une observation directe de la dépendance fréquentielle des nombres d'onde (cf. figure 1.a). Le calcul de ces représentations (basé sur une simple transformée de Fourier) requiert néanmoins une grande antenne horizontale (plusieurs centaines de capteurs) alignée avec la source. Dans le cas contraire, des artefacts apparaissent qui ne permettent pas de discriminer les modes avec certitude (cf. figure 2.b).

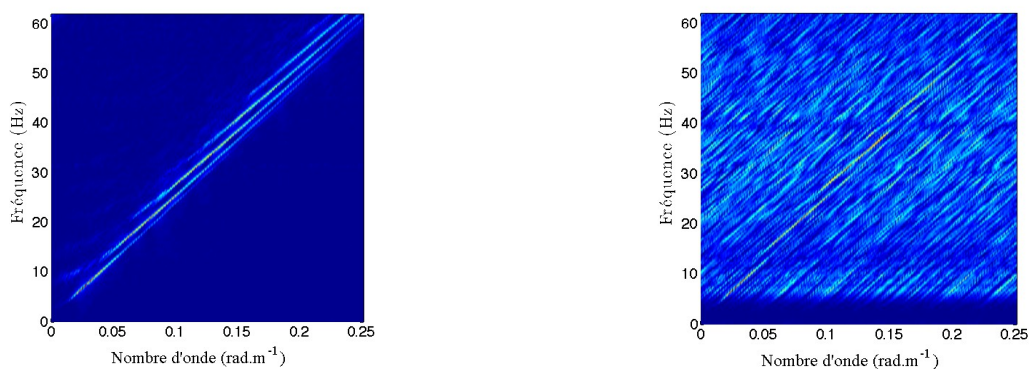


Fig. 1 : Diagramme *f-k* obtenu à partir de données acquises par : a) 240 capteurs, b) 20 capteurs

De récents travaux de l'équipe encadrante [3, 6] ont permis d'améliorer les performances des réseaux de faible nombre de capteurs. Pour ce faire, les méthodes ont recours au formalisme de « l'acquisition compressée » (« compressed sensing » ou encore « compressive sampling ») [9]. Ce dernier se prête parfaitement à notre problématique [6] : les modes propagés en UBF sont peu nombreux et l'acquisition, dans notre cas réalisée dans le domaine spatial par des hydrophones, satisfait la condition « d'incohérence » exigée par ce cadre mathématique.

Programme de la thèse

La thèse s'appuiera sur les récents travaux [3, 6] pour **proposer de nouvelles méthodes de super-résolution modale capables d'estimer les modes propagés à partir d'un faible nombre d'hydrophones**. Nous nous attacherons notamment à explorer trois grands axes de recherche :

1. Dans les guides d'onde, les modes propagés présentent une dépendance fréquentielle particulière, régie par la « relation de dispersion » [3, 6]. Cette dépendance fréquentielle peut être exploitée à profit via des « représentations parcimonieuses structurées » [2]. Il s'agira dans cet axe d'étudier et de mettre en œuvre l'intégration de l'a priori physique dans ce cadre mathématique. Dans [6], nous avons proposé une première solution à cette intégration, estimant itérativement les lignes du diagramme f-k. Ici, nous travaillerons au développement d'une solution plus robuste, estimant le diagramme f-k dans sa globalité bi-dimensionnelle. Nous aurons recours notamment à des modèles probabilistes de type « machine de Boltzmann restreinte » [4] pour lesquels des algorithmes d'apprentissage efficaces existent [10].
2. Dans un second temps, on s'intéressera à l'optimisation de l'acquisition des données acoustiques. Formellement, le problème s'exprime de la façon suivante : étant donnés N mesures, comment doit-on prendre la suivante pour obtenir le maximum d'information sur la source émettrice ? Dans la littérature, l'idée a donné lieu à plusieurs contributions théoriques [11, 12], mais n'a à notre connaissance jamais été considérée dans des applications pratiques. Dans notre problématique, elle pourra être envisagée dans le cadre des antennes à ouverture synthétique où elle permettra de réduire le nombre de snapshots (acquisitions temporelles). Plus spécifiquement, l'approche répond à une limite posée par le cadre de l'acquisition compressée exploitée dans le point précédent : l'acquisition compressée, si elle permet effectivement de réduire le nombre d'acquisitions nécessaires à la reconstruction des modes propagés, n'améliore pas l'ouverture de l'antenne. Ainsi, une extension réaliste pratique serait de considérer le déplacement d'un petit nombre de capteurs fixés le long d'une petite antenne. Ce déplacement sera celui du porteur ou lié au mouvement de la cible émettrice. De même que dans le point précédent, nous aurons ici recours à des approches Bayésiennes, permettant d'intégrer de façon explicite et souple des a priori physiques sur la propagation.
3. Enfin, on pourra s'intéresser aux sources monochromatiques ou à spectres de raies. Pour ces sources qui paraissent plus simples, l'approche développée dans le point 1 ne pourra être exploitée directement puisque seules quelques lignes du diagramme f-k seront porteuses de l'information modale. Plusieurs pistes seront à explorer ici. On pourra ainsi considérer le problème de reconstruction modale comme entaché d'observations manquantes et se ramener à un problème de super-résolution fréquentielle, ou chercher à particulariser l'approche développée dans le point 1 en prenant en compte la structure liant les différentes harmoniques du spectre fréquentiel.

Ces points seront validés au regard des performances en discrimination. A cet égard, nous envisagerons un formalisme simple basé sur un test d'hypothèse. Enfin, les méthodes proposées seront confrontés à la fois à des données synthétiques et dans la mesure du possible à des données réelles.

Collaboration avec la Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI)

La thèse bénéficiera d'une collaboration internationale avec Dr. Julien Bonnel (jbonnel@whoi.edu), chercheur au département Applied Ocean Physics & Engineering de la Woods Hole Oceanographic Institution (USA). Dans ce cadre, un séjour de 6 mois au moins sera prévu durant la thèse.

Profil

Le candidat (titulaire d'un master de recherche et/ou d'un diplôme d'ingénieur) doit posséder des compétences en traitement du signal (traitement d'antenne, estimation, modélisation et inférence Bayésiennes) et un goût prononcé pour la physique (propagation acoustique). Le candidat devra par ailleurs être à l'aise avec la programmation sous Matlab. **La nationalité française est exigée.**

Informations pratiques

Financement : DGA

Labo d'accueil : Lab-STICC (UMR 6285), ENSTA Bretagne, 2 rue François Verny, Brest, France

Co-encadrement : Dr. Angélique Drémeau, Dr. Barbara Nicolas et Prof. Thierry Chonavel

Date de début de thèse : à partir de septembre 2017

Procédure de candidature

Toute candidature doit être soumise accompagnée d'un CV, d'une lettre de motivation et des coordonnées d'au moins une personne référente (encadrant de stage, professeur...). Tout autre élément susceptible de renforcer la candidature est bienvenu (lettre de recommandation, distinction...). Le dossier sera envoyé par courrier électronique (cf. contacts ci-dessous).

Contacts

Dr. Angélique Drémeau
<http://angelique.dremeau.free.fr>
Tel. : +33 2 98 34 89 71
@ : angelique.dremeau@ensta-bretagne.fr

Dr. Barbara Nicolas
<https://www.creatis.insa-lyon.fr/~nicolas/>
Tel. : +33 4 72 43 83 32
@ : barbara.nicolas@creatis.insa-lyon.fr

Prof. Thierry Chonavel
<https://perso.telecom-bretagne.eu/thierychonavel/>
Tel. : +33 2 29 00 13 74
@ : thierry.chonavel@imt-atlantique.fr

Références

Equipe encadrante

- [1] **J. Bonnel**, C. Gervaise, P. Roux, **B. Nicolas**, J. Mars – Modal depth function estimation using time-frequency analysis – The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 130, no. 1, pp. 61- 71, 2011.
- [2] **A. Drémeau**, C. Herzet, L. Daudet – Boltzmann machine and mean-field approximation for structured sparse decompositions – IEEE Trans. On Signal Processing, Vol. 60, No. 7, pp. 3425-3438, 2012.
- [3] F. Le Courtois, **J. Bonnel** – Compressed sensing for wideband wavenumber tracking in dispersive shallow water – The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 138, no. 2, pp. 575-583, 2015.
- [4] E. W. Tramel, **A. Drémeau**, F. Krzakala – Approximate Message Passing with Restricted Boltzmann Machine Priors – Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, Vol. 2016, No. 7, 2016.
- [5] E. Conan, **J. Bonnel**, **T. Chonavel**, **B. Nicolas** – Source depth discrimination with a vertical line array – The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 140, no. 5, pp.434 – 440, 2016.
- [6] **A. Drémeau**, F. Le Courtois, **J. Bonnel** – Reconstruction of dispersion curves in the frequency-wavenumber domain using compressed sensing on a random array – IEEE Journal of Oceanic Engineering, à paraître, preprint disponible sur : <http://angelique.dremeau.free.fr>

Autres

- [7] F. Jensen, W. Kuperman, M. Porter, H. Schmidt – Computational Ocean Acoustics (chap. 5) – Springer, Second Edition, 2011.
- [8] V. Premus, M. Helfrick – Use of mode subspace projections for depth discrimination with a horizontal linear array – The Journal of Acoustic Society of America, Vol. 133, no. 6, pp. 4019-4031, 2013.
- [9] E. J. Candès, M. B. Wakin – An introduction to compressive sampling – IEEE Sig. Proc. Mag., 2008.
- [10] G. E. Hinton – A practical guide to training restricted boltzmann machines – Lecture Notes in Computer Science, vol. 7700, pp. 599 – 619, 2012.
- [11] M. W. Seeger and H. Nickisch – Large scale bayesian inference and experimental design for sparse linear models – SIAM J. Imaging Sciences, vol. 4, no. 1, pp. 166–199, 2011.
- [12] S. Ji and L. Carin – Bayesian compressive sensing and projection optimization – in Proc. ICML, 2007.