

Offre de thèse au Laboratoire Vibrations Acoustique, INSA Lyon

Analyse non-paramétrique du fond de spectre des signaux tip-timing

Contexte général : Le blade-tip-timing (BTT) est une technique de caractérisation du comportement dynamique des pâles de turbomachines, fréquemment utilisée en maintenance prédictive dans l'industrie aéronautique. Le principe consiste à mesurer les instants de passage des pales sur un rotor tournant à l'aide de capteurs fixés dans un référentiel fixe et à les comparer aux instants théoriques qui seraient obtenus en l'absence de vibrations. A partir des différences temporelles observées, le BTT est capable de remonter aux caractéristiques vibratoires de chacune des pâles (amplitude et fréquences de vibrations). La technique a l'avantage d'être sans contact, de s'appliquer sur des rotors tournants, et de pouvoir suivre l'intégralité des pales d'un rotor avec les mêmes capteurs.

Contexte chez l'industriel : SAFRAN Helicopter Engines possède une longue expérience dans le domaine du BTT. Plusieurs méthodes innovantes ont été développées en interne, fondées soit sur des représentations paramétriques des modes vibratoires, soit sur des approches fréquentielles à haute résolution, dédiées à l'analyse de vibrations synchrones et non-synchrones. Les méthodes actuelles de l'état de l'art montrent d'excellentes performances pour l'analyse du contenu synchrone. Elles restent cependant insuffisantes pour réaliser une analyse fine du fond de spectre qui contient également des informations utiles pour comprendre le comportement dynamique des pales, tel que leurs réponses à des fluctuations turbulentes.

Sujet de thèse : Le sujet de thèse concerne l'analyse spectrale non-paramétrique (c'est-à-dire sans modèle) des signaux de tip-timing. La difficulté majeure inhérente à ces signaux vient du fait qu'ils sont fortement sous-échantillonnés : si l'on suit une pale en particulier, les valeurs mesurées sont ses instants de passage successifs devant le capteur, alors que les phénomènes d'intérêt peuvent varier très rapidement entre deux passages (il y a par exemple plusieurs oscillations vibratoires de la pale entre deux passages consécutifs devant le capteur). Dans le cas de phénomènes caractérisés par des spectres fréquentiels à bande étroite, ce sous-échantillonnage est théoriquement encore suffisant pour reconstruire le spectre du signal. Cette propriété est par exemple largement exploitée par les méthodes paramétriques (fondées sur des modèles vibratoires sous-jacents) pour l'analyse des vibrations synchrones [1]. A contrario, l'objectif de la thèse est de se démarquer de ces cas particuliers. Pour cela, on se placera dans le cadre de travaux récents qui ont montré que, dans certains cas, il est toujours possible de réaliser une analyse spectrale de signaux sous-échantillonnés, à condition que ceux-ci se décrivent de manière parcimonieuse dans une certaine base de représentation [2][3]. SAFRAN possède l'expertise sur des méthodes de ce type, cependant mises en défaut pour l'analyse des composantes de faible niveau [4][5]. Le travail de thèse partira de cette base, pour construire une méthode d'analyse spectrale non-paramétrique, apte à restituer un fond de spectre de faible niveau. On se placera dans le cadre théorique des signaux parcimonieux, décrits par un faible nombre de composantes significatives dans une base de représentation judicieusement choisie, et de la captation de leurs propriétés statistiques à l'ordre deux par des stratégies d'échantillonnage irrégulières [6]. Les

attendus de la thèse sont la proposition d'un ou de plusieurs algorithmes d'analyse spectrale capables d'atteindre ces objectifs, ainsi que de préconisations pour les mettre en œuvre, qui pourront inclure des recommandations sur le positionnement des capteurs.

Mots-clés : Maintenance prédictive, Blade-tip-timing, traitement du signal, analyse spectrale, représentations parcimonieuses.

Financement : thèse CIFRE

Lieu : Le sujet de thèse sera encadré par le Laboratoire Vibrations Acoustique, INSA Lyon (<https://lva.insa-lyon.fr/>), dont l'équipe est experte dans le domaine du diagnostic des machines tournantes, en particulier par l'analyse des signaux vibratoires. Des déplacements réguliers sont prévus chez l'industriel SAFRAN Helicopter Engines.

Compétences du candidat : Le candidat aura une solide formation théorique lui permettant de comprendre et de développer des méthodes de traitement du signal sur la base de modèles mécaniques. Une première expérience en recherche sous la forme d'un stage M2 ou d'un projet de fin d'étude en école d'ingénieur est requise. Le candidat devra également démontrer sa capacité à être créatif et à proposer des solutions originales. La maîtrise d'un langage de programmation de haut niveau (Matlab, Python, ...) est exigée.

Contact : jerome.antoni@insa-lyon.fr, françois.girardin@insa-lyon.fr

Bibliographie

- [1] Carrington, I. B., Wright, J. R., Cooper, J. E., and Dimitriadis, G., A comparison of blade tip timing data analysis methods. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G : Journal of Aerospace Engineering, 215(5), 301–312, 2001.
- [2] Tropp J. A., Greed is good: algorithmic results for sparse approximation IEEE Transactions on Information Theory, 50(10), 2231-2242, 2004, doi: 10.1109/TIT.2004.834793.
- [3] Candès, E. J. and Fernandez-Granda, C., Towards a Mathematical Theory of Super-resolution. Communications on Pure and Applied Mathematics, 67(6), 906–956, 2014, doi: 10.1109/TIT.2004.834793.
- [4] Vercoutter, A., Contribution au développement d'une stratégie d'estimation spectrale des signaux tip-timing pour l'analyse des vibrations de pales de compresseurs. PhD thesis 2013, Université de Franche-Comté.
- [5] Bouchain A., Picheral J., Lahalle E., Chardon G., Vercoutter A., Talon A., Blade vibration study by spectral analysis of tip-timing signals with OMP algorithm, Mechanical Systems and Signal Processing, 130, 108-121, 2019, doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.04.063.
- [6] Nonuniform Sampling: Theory and Practice, Ed. Farokh Marvasti, Springer New York, NY, 2001, ISBN 978-0-306-46445-4.
- [7] D. D. Ariananda, G. Leus, Compressive wideband power spectrum estimation, IEEE Transactions on signal processing 60, 2012, 4775–4789.
- [8] D. Romero, D. D. Ariananda, Z. Tian, G. Leus, Compressive covariance sensing: Structure-based compressive sensing beyond sparsity, IEEE signal processing magazine 33, 2015, 78–93.

- [9] D. Romero, R. Lopez-Valcarce, G. Leus, Compression limits for random vectors with linearly parameterized second-order statistics, *IEEE Transactions on Information Theory* 61, 2015, 1410–1425.