

Thèse Ecole doctorale MEGA - CETIM (Senlis)

Application des techniques de capteurs d'erreur distants pour le contrôle actif du bruit en cabine, aux oreilles d'un conducteur d'engin

1. Contexte

Le contrôle actif du bruit (ANC, active noise control) repose sur la génération d'ondes en opposition de phase au bruit indésirable dans le but de l'atténuer. Cette technique est couramment utilisée dans les systèmes fermés (volumes clos et très petits devant les longueurs d'ondes à traiter) tels que les casques anti-bruit. Cela implique le port d'un appareil par la personne que l'on cherche à protéger du bruit. Le récent essor des actionneurs de surface a rendu cette technologie prometteuse pour améliorer le confort acoustique d'autres espaces, notamment les cabines de véhicules et d'engins. Cependant, son application dans ce type d'environnements (effets modaux) présente des défis techniques conséquents. Les sources de bruit peuvent être multiples, et l'interaction entre les ondes peut être complexe à appréhender, même en se limitant à un certain volume autour de la tête du conducteur d'engin.

Une approche innovante dans ce domaine est l'utilisation du microphone virtuel, qui permet de prédire le champ sonore à des emplacements spécifiques à partir de mesures distantes. Elle vise à générer des zones d'atténuation du bruit sans avoir à y installer de multiples capteurs. Par exemple, des réseaux de neurones convolutifs (CNN) [1,2] peuvent être utilisés pour analyser les données acoustiques et prédire le champ sonore à des positions ciblées. D'autres méthodes[3], comme la méthode du filtre additionnel et celle du microphone distant, consistent à utiliser des algorithmes d'optimisation inverse. Ces algorithmes ajustent les modèles acoustiques en fonction des données mesurées pour estimer le champ sonore à l'emplacement du microphone virtuel, permettant ainsi une atténuation ciblée du bruit.

La mise en place de techniques de microphones virtuels associée à l'utilisation d'antennes acoustiques, offre une opportunité intéressante pour atténuer le bruit autour de la tête des conducteurs d'engins. Cela permettrait non seulement d'améliorer le confort de conduite, mais aussi de garantir une meilleure intelligibilité des signaux acoustiques utiles, tels que les alertes de sécurité, les communications radios ou les sons associés aux performances de l'engin.

2. Objectifs de la thèse

L'objectif principal de cette thèse est de concevoir et de mettre en œuvre un système de contrôle actif du bruit, en utilisant la technique du microphone virtuel et/ou des antennes acoustiques, afin d'atténuer le bruit autour de la tête et des oreilles du conducteur d'engin et plus précisément à l'entrée du conduit auditif. Ce système vise à créer une zone de silence localisée, améliorant ainsi le confort acoustique du conducteur tout en évitant l'encombrement lié à l'installation de capteurs physiques trop proches de sa tête.

Traditionnellement, les capteurs virtuels sont positionnés à une distance relativement courte de la zone cible (de l'ordre de quelques centimètres). L'enjeu de cette thèse est de tester des solutions permettant d'augmenter cette distance, en l'étendant à plusieurs dizaines de centimètres, afin de réduire l'encombrement autour de la tête du conducteur et ainsi lui offrir une plus grande liberté de mouvement tout en maintenant l'efficacité du système.

3. Approche proposée et description des travaux envisagés

Après une phase de bibliographie complétant celle proposée en annexe, la thèse se déroulera en deux phases principales : une phase numérique et une phase expérimentale.

Phase Numérique :

- **Modélisation et Simulation** : Développement de modèles numériques pour simuler le champ sonore dans la cabine d'un engin. Utilisation de techniques de simulation acoustique pour évaluer l'efficacité des microphones virtuels et des antennes acoustiques.
- **Algorithmes de Contrôle** : Conception et implémentation d'algorithmes de contrôle actif adaptatif du bruit basé sur les techniques de microphone virtuel. Exploration de l'utilisation de réseaux neuronaux pour améliorer la précision des prédictions sonores.

Phase Expérimentale :

- **Prototypage** : Construction de prototypes d'antennes acoustiques et de systèmes de microphone virtuel. Intégration de ces prototypes dans une cabine d'engin pour des tests en conditions de laboratoire puis, si possible, réelles.
- **Tests et Validation** : Réalisation de tests expérimentaux pour évaluer les performances du système de contrôle actif du bruit. Analyse des résultats pour valider les modèles numériques et les algorithmes de contrôle.

4. Cadre organisationnel de la thèse

Encadrement : ces travaux de thèse seront réalisés dans le cadre de l'école doctorale MEGA et du Cetim, centre technique des industries mécaniques.

Durée du financement : 3 ans.

Localisation : Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique LMFA UMR 5509. Des déplacements ponctuels (à minima 1 à 2 semaines tous les 6 mois) sont à prévoir au CETIM à Senlis ou à Beauvais.

5. Profil recherché

Les candidats devront avoir si possible les compétences suivantes :

- Titulaire d'un diplôme d'Ingénieur ou de Master en mécanique, physique, électronique ou traitement du signal
- Connaissances en Vibroacoustique, acoustique et traitement du signal
- Expérience en simulation numérique et programmation Matlab/Simulink/Python (C/C++ serait un plus)
- Autonomie, curiosité, force de proposition et capable d'analogies
- Anglais (être capable de rédiger et présenter en anglais moyennant préparation préalable)

5. Contact

Les candidats intéressés sont invités à envoyer aux contacts suivants :

- Pierre Lecomte pierre.lecomte@ec-lyon.fr, et
- Michel Besombes michel.besombes@cetim.fr.

Leur dossier de candidature comprenant :

- Un CV détaillé avec lettre de motivation
- Une lettre de recommandation ou les coordonnées d'une personne à contacter
- Leurs résultats scolaires d'ingénieur ou de master
- Un exemple de rédaction (rapport de stage, articles scientifiques)

6. Bibliographie sommaire : « virtual microphone » & « remote sensing » for ANC in cabin

1. **2024**, Juhung Kim : [Remote Microphone Sound-Field Virtual Sensing Method Using Neural Network for Active Noise Control System](#), Master thesis, Purdue Univ.
2. **2023**, Christian Antoñanzas, Miguel Ferrer, Maria Diego, Alberto P. Gonzalez [Remote Microphone Technique for Active Noise Control over Distributed Networks](#) (DOI: [10.1109/taslp.2023.3264600](#))
3. **2021**, Jin Zhang, S. Elliott, J. Cheer : [Robust performance of virtual sensing methods for active noise control](#), May 2021 [Mechanical Systems and Signal Processing](#) 152(9):107453 DOI:[10.1016/j.ymssp.2020.107453](#)
4. **2017**, W. Jung, S.J. Elliott, J. Cheer : [Local Active Sound Control Using the Remote Microphone Technique and Head-Tracking for Tonal and Broadband Noise Sources](#), ICSV24, London, 23-27 July 2017.
5. **2016**, Prasanga N. Samarasinghe, Wen Zhang, Thushara D. Abhayapala, [Recent Advances in Active Noise Control Inside Automobile Cabins: Toward quieter cars](#), IEEE Signal Processing Magazine (Volume: 33, Issue: 6, November 2016), DOI: [10.1109/MSP.2016.2601942](#).
6. **2012**, Yoshinobu Kajikawa, Woon-Seng Gan and Sen M. Kuo, [Recent advances on active noise control: open issues and innovative applications](#), APSIPA Transactions on Signal and Information Processing / Volume 1 / December 2012 / e3, DOI: 10.1017/ATSIP.
7. **2010**, J-H Thomas¹, V Grulier, S Paillasseur, J-C Pascal, J-C Le Roux, [Real-time near-field acoustic holography for continuously visualizing nonstationary acoustic fields](#), December 2010, The Journal of the Acoustical Society of America 128(6):3554-67, DOI: 10.1121/1.3504656
8. **2009**, Moreau, D.J.; Ghan, J.; Cazzolato, B.S.; Zander, A.C.: [Active noise control in a pure tone diffuse sound field using virtual sensing](#). J. Acoust. Soc. Am., 125 (6), 3742–3755. DOI: [10.1121/1.3123404](#)
9. **2007**, Jacek Dmochowski, Rafik A. Goubran, [Decoupled Beamforming and Noise Cancellation](#), March 2007 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 56(1):80 - 88, DOI: 10.1109/TIM.2006.887196
10. **2003**, Munn, J.M.; Cazzolato, B.S.; Kestell, C.D.; Hansen, C.H.: [Virtual error sensing for active noise control in a one-dimensional waveguide: performance prediction versus measurement](#). J. Acoust. Soc. Am., 113 (1), 35–38. DOI: [10.1121/1.1523386](#)
11. **2003**, Kuo, S.M.; Gan, W.S.; Kalluri, S.: [Virtual sensor algorithms for active noise control systems](#), in Proc. 2003 IEEE Int. Symp. on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, December 2003, 714–719.
12. **2002**, Cazzolato, B.: [An adaptive LMS virtual microphone](#), in Proc. Active 2002, July 2002, 105–116.
13. **2002**, Haneda, Y.: [Active noise control with a virtual microphone based on common acoustical pole and residue model](#), in Proc. ICASSP, vol. 2, 2002, 1877–1880, DOI: [10.1109/ICASSP.2002.5744993](#)
14. **2001**, Kestell, C.D.; Cazzolato, B.S.; Hansen, C.H.: [Active noise control in a free field with virtual sensors](#). J. Acoust. Soc. Am., 109(1), 232–243, DOI: [10.1121/1.1326950](#).
15. **1997**, Bonito, G.; Elliott, S.J.; Boucher, C.C.: [Generation of zones of quiet using a virtual microphone arrangement](#). J. Acoust. Soc. Am., 101 (6), 3498–3516, DOI:[10.1121/1.418357](#).