

CFA/VISHNO 2016

Synthèse temps-réel d'impédance acoustique distribuée

G. Matten^a, M. Ouisse^a, M. Collet^b, H. Lissek^c, S. Karkar^c et M.
Versaevel^d

^aDépartement mécanique appliquée, Institut FEMTO-ST, 24 rue de l'Épitaphe, 25000
Besançon, France

^bLTDS, Ecole centrale de Lyon, 36 Av. Guy de Collongue, 69134 Ecully, France

^cEPFL - LTS2, Station 11, 1015 Lausanne, Suisse

^dSafran Aircelle, Route du pont 8 BP 91 LH089 - A22, 76700 Gonfreville L'Orcher,
France

gael.matten@femto-st.fr



LE MANS

Dans le contexte de la réduction des nuisances sonores générées par l'aviation civile due au bruit généré par les réacteurs, une des solutions envisagées réside dans l'utilisation d'un revêtement actif permettant de diminuer la propagation des ondes sonores dans la nacelle du réacteur. Le contrôle de l'impédance acoustique, c'est à dire de la dynamique pression/vitesse au niveau de la surface contrôlée, a pour conséquence une réduction significative de l'énergie transmise le long de la surface traitée. Ce contrôle est réalisé par une distribution de hauts parleurs (action sur le champ de vitesse) et de microphones (mesure du champ de pression). Il est donc nécessaire de pouvoir imposer le courant électrique circulant dans la bobine des haut-parleurs, calculé par un filtre à réponse impulsionnelle infinie (IIR), en fonction de la pression mesurée. Le système présenté ici permet de contrôler simultanément douze cellules actives de hauts-parleurs. L'architecture du système permet en outre de modifier en temps réel la dynamique de chaque filtre implémenté. La programmation de l'impédance acoustique imposée localement sur la surface active permet ainsi une mise en œuvre aisée de différentes stratégies de contrôle.

1 Introduction

La réduction des nuisances sonores dues à l'aviation civile est devenue un enjeu majeur. L'utilisation de revêtements passifs à l'intérieur des nacelles de moteur a permis de limiter la signature acoustique de l'avion mais ne permet pas de s'adapter aux conditions de vol et ne présente pas d'efficacité importante en large bande. Des stratégies actives ont déjà montrées leur efficacité [1, 2]. La solution proposée ici réside dans l'utilisation d'un revêtement actif de contrôle d'impédance acoustique. Un prototype de paroi active insérée dans un conduit de propagation a été développé et est présenté dans ce papier.

2 Principe

Imposer une impédance acoustique sur une paroi revient à imposer la dynamique entre la pression et la vitesse de l'air au niveau de cette paroi. La pression peut être mesurée par des microphones et la vitesse peut être imposée par un haut-parleur. Le développement d'un système de contrôle permet alors de réaliser une boucle de régulation ayant pour entrée les signaux des microphones et pour sortie la consigne du courant devant être imposé dans la bobine du haut-parleur.

La bande passante d'intérêt s'étend de 500 à 1500 Hertz. Afin de garantir un encombrement réduit et de permettre un contrôle efficace dans la bande de fréquence visée, la paroi a été subdivisée en zones de contrôle locales de cinq centimètres de coté.

Le système est constitué de douze cellules identiques et autonomes composées d'un haut parleur, de quatre microphones, d'une carte électronique de conditionnement des signaux et d'une carte de calcul numérique. La vue d'ensemble de la paroi de hauts parleurs est présentée sur la figure 2. L'électronique de contrôle est présentée sur la figure 6. La paroi active est intégrée dans un conduit acoustique (voir figure 1) permettant de caractériser son impact sur la propagation des ondes en propagation monodimensionnelle.



FIGURE 1 – Conduit acoustique équipé d'une paroi active.



FIGURE 2 – Paroi de Haut-Parleurs.

3 Réalisation expérimentale

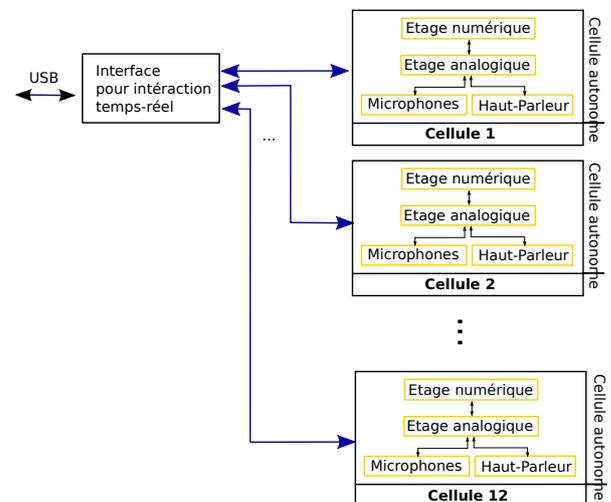


FIGURE 3 – Architecture du système de contrôle d'impédance.

La figure 3 illustre l'architecture du système. Chaque haut-parleur est commandé par une source de courant pilotée par une carte de calcul numérique développée spécifiquement. Les quatre microphones de chaque cellule permettent d'estimer la pression moyenne au centre de la membrane de chaque haut-parleur. La différence de pression entre la frontière droite et gauche de la cellule permet d'évaluer le gradient de pression spatial suivant l'axe de propagation des ondes dans le conduit.

Le calcul des lois de commande est effectué localement à une fréquence de 50 kHz par un microcontrôleur de

type ARM. Une carte d'interface permet de communiquer

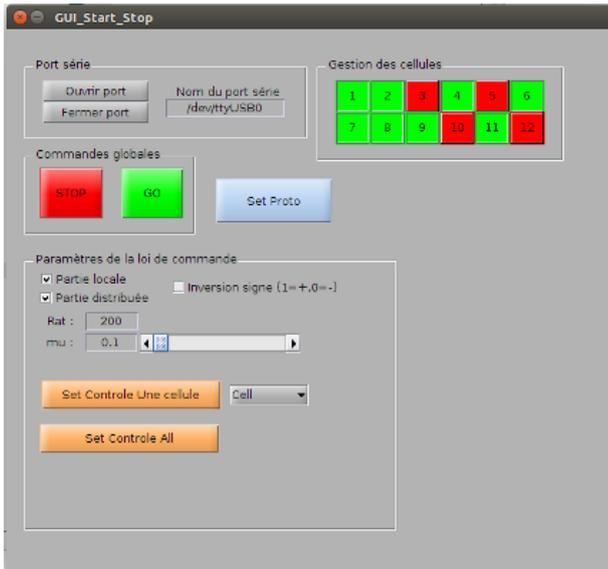


FIGURE 4 – Interface graphique utilisateur.

avec les cellules unitaires depuis une interface graphique utilisateur (voir figure 4). Les coefficients des équations peuvent alors être mis à jour en temps réel et les cellules peuvent être activées ou désactivées séparément. Ce type d'architecture permet d'implémenter localement des lois de commande requérant des dynamiques différentes d'une cellule à l'autre.

Les lois de commandes implémentées sont des filtres à réponse impulsionnelle infinie (IIR). La sortie du filtre dépend à la fois de l'état des entrées et sorties à l'instant t et aux instant précédents en fonction de l'ordre du filtre. Le calcul de la dynamique du système est effectué par un microcontrôleur. Ce calcul a lieu en temps discret, toutes les périodes d'échantillonnage, sous la forme d'une équation récurrente. Il est donc nécessaire d'établir cette équation récurrente à partir de l'expression de la fonction de transfert représentant la dynamique ciblée. Or il existe la relation d'équivalence suivante : $\frac{d}{dt} \equiv j\omega \equiv p$ qui permet de passer de la représentation temporelle à la représentation fréquentielle harmonique et de Laplace. La figure 5 illustre la démarche

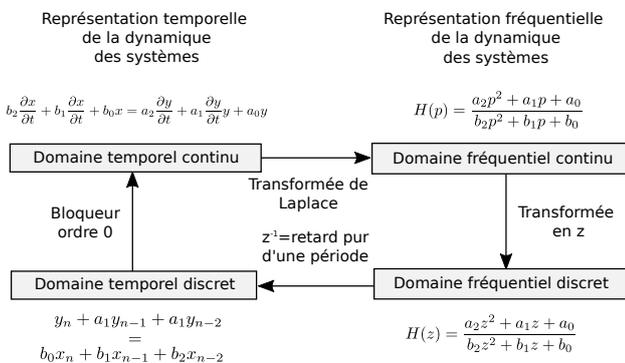


FIGURE 5 – Espaces et domaines utilisés pour le développement de l'impédance acoustique.

de conception de l'équation implémentée. Premièrement, on exprime la dynamique courant/pression souhaitée sous forme d'une fonction de transfert dans le domaine fréquentiel continu par l'utilisation de la transformée de Laplace. Ensuite, la fonction de transfert est discrétisée

par la transformée en z — rmée de Tustin dans ce cas. On se situe alors dans le domaine fréquentiel discret. La fonction de transfert discrète s'exprime alors en fonction de puissances de z . Le courant et la pression s'expriment en fonction de ces puissances de z . Cette équation a l'avantage de représenter le domaine temporel discrétisé, z^{-1} étant le retard pur d'une période échantillonnage. Soit y_k un signal de sortie et x_k un signal d'entrée, y_k et x_k représentent la valeur du signal y ou x à l'instant k . y_{k-1} représente alors la valeur du signal à l'instant $k-1$, y_{k-2} à l'instant $k-2$ et ainsi de suite.

L'impédance acoustique est exprimée par l'équation 1, avec $(a_i, b_i) \in \mathbb{R}^2$ et $(p, q) \in \mathbb{N}^2$.

$$y_k = \frac{1}{a_0} \left[\sum_{i=0}^p b_i \cdot x_{k-i} - \sum_{j=1}^q a_j \cdot y_{k-j} \right] \quad (1)$$

Les hauts parleurs sont contrôlés par une source de courant à base d'amplificateurs opérationnels de $\pm 150mA$. La forme retenue est une source de Howland améliorée, stable dans le cas des charges inductives tels que les hauts-parleurs[3].



FIGURE 6 – Vue d'ensemble de l'électronique de contrôle.

4 Conclusion

Le système de contrôle d'impédance présenté ici permet de réaliser une impédance acoustique programmable en temps réel de façon active. Chaque cellule de contrôle est autonome mais est connectée à un superviseur par le biais d'une liaison série. Une interface permet d'implémenter aisément tout type de loi de commande dépendant du champ de pression ou de son gradient spatial. Toute dynamique stable peut être imposée dans la limite de non saturation des signaux de mesure et de commande.

5 Perspectives

La paroi active présentée ici a été testée sans écoulement d'air dans le conduit de propagation. Une version améliorée de trente cellules permettant de fonctionner en présence d'un flux d'air est en cours de réalisation.

Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien du projet ENOVAL, et été réalisé en partenariat avec le Labex ACTION (ANR-11-LABX-0001-01).

Références

- [1] M Collet, P David, and M Berthillier. Active acoustical impedance using distributed electrodynamical transducers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(2) :882–94, feb 2009.
- [2] Hervé Lissek, Romain Boulandet, and Romain Fleury. Electroacoustic absorbers : bridging the gap between shunt loudspeakers and active sound absorption. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(5) :2968–78, may 2011.
- [3] Alexander S Ross, G J Saulnier, J C Newell, and D Isaacson. Current source design for electrical impedance tomography. *Physiological measurement*, 24(2) :509–516, may 2003.