

ED SMAER

Sujet de thèses 2013

Laboratoires :

1. Institut Jean Le Rond d'Alembert UMR7190 CNRS
2. STMS Sciences et Technologies de la Musique et du Son UMR9912 CNRS / IRCAM / UPMC / Ministère de la culture

Établissement de rattachement : Université Pierre et Marie Curie

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS :

François Coulouvrat (10%) Directeur de Recherche CNRS

Codirection et section CNU et CNRS :

Baptiste CHOMETTE (35%) Maître de Conférences CNU60

Amancio FERNANDES (20%) Maître de Conférences CNU60

Adrien MAMOU-MANI (35%) Chercheur IRCAM

Titre de la thèse : Modification des paramètres modaux d'un instrument de musique réel en cours de jeu.

Collaborations dans le cadre de la thèse : OUI (d'Alembert / STMS)

Rattachement à un programme : NON

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : **OUI** ~~NON~~

Résumé du sujet :

Le timbre d'un instrument de musique dépend fortement des paramètres modaux de l'instrument. Dans le cas d'instruments de musique à cordes, les propriétés modales de la table d'harmonie influencent fortement le son produit. Ce projet de thèse vise à modifier les propriétés vibratoires des instruments de musique en cours de jeu en s'appuyant sur une stratégie de contrôle actif modal afin de modifier le timbre des instruments. Depuis quelques années, le contrôle actif, initialement utilisé pour augmenter l'amortissement vibratoire, a été appliqué pour moduler les paramètres modaux d'instruments de musique, fréquences propres et facteurs d'amortissement modaux (par exemple sur la guitare, le violon, le xylophone ou encore la grosse caisse). Le projet proposé s'appuie sur une première phase de modélisation par éléments finis de l'instrument actif afin de déterminer les dimensions, la géométrie et le positionnement optimal des composants de contrôle. La simulation de l'algorithme de contrôle à partir des paramètres modaux identifiés par des techniques d'analyse modale permet finalement le réglage et l'implémentation finale du contrôleur sur la structure. Cette dernière phase technologique doit permettre l'intégration complète du système de contrôle sur un instrument à partir de micro-contrôleurs dédiés à l'application.

Modification des paramètres modaux d'un instrument de musique réel en cours de jeu.

1. Introduction

Le contrôle actif, initialement utilisé pour augmenter l'amortissement vibratoire de systèmes embarqués [1] ou pour la détection de défauts [2] est depuis quelques années utilisé pour modifier le comportement vibratoire d'instruments de musique [3] à corde [4] ou à vent [5]. Parmi les différentes techniques de contrôle, l'approche modale consiste à cibler le contrôle uniquement sur certains modes de la structure et permet ainsi de minimiser l'énergie opérationnelle ainsi que le nombre d'actionneurs et de capteurs nécessaires. Cette méthode se révèle donc particulièrement adaptée aux exigences imposées par un travail sur des instruments de musique. L'utilisation d'un algorithme de contrôle de type placement de pôle classique, basé sur les fréquences et l'amortissement modal, couplé au contrôle de l'amplitude modale [6] permet d'accroître les possibilités du contrôle traditionnel et par conséquent l'enrichissement de la palette sonore et expressive des instruments. Une première étude visant à tester les possibilités de la stratégie proposée est en cours de finalisation dans le cadre de la thèse de Simon Benacchio, sur le démonstrateur expérimental simplifié présenté sur la Fig. 1. Le projet proposé vise à intégrer et à optimiser le système de contrôle en cours de finalisation sur des instruments réels avec dans un premier temps l'application sur une guitare réelle. La Fig. 2 présente à titre d'exemple le maillage d'une table d'harmonie de guitare incluant les raidisseurs et pouvant servir de support à l'étude.

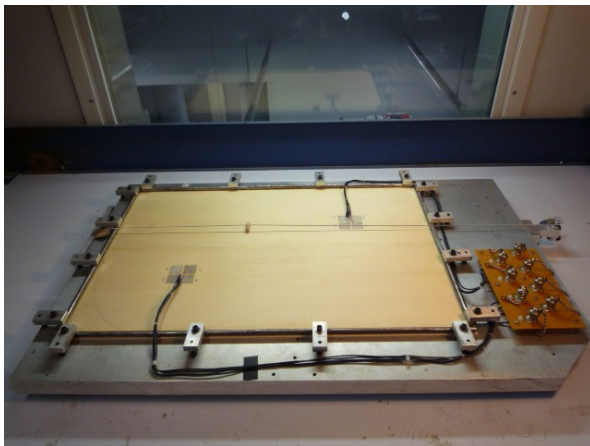


Figure 1: Démonstrateur expérimental simplifié d'un instrument de musique actif

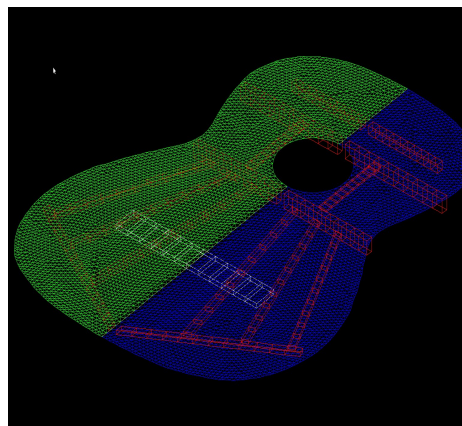


Figure 2: Maillage de la table d'harmonie d'une guitare réelle

Le projet proposé s'appuie sur une première phase de modélisation par éléments finis de l'instrument actif afin de déterminer les dimensions, la géométrie et le positionnement optimal des composants de contrôle. La simulation de l'algorithme de contrôle et son optimisation à partir des paramètres modaux identifiés par des techniques d'analyse modale permet finalement le réglage et l'implémentation finale du contrôleur sur la structure à l'aide de micro-contrôleurs conçus pour le système.

2. Modélisation et dimensionnement de l'instrument de musique actif

L'efficacité du contrôle actif dépend du choix, du positionnement ainsi que du dimensionnement des composants de contrôle en fonction des modes visés par le contrôle. La détermination des modes à contrôler s'appuie sur des critères acoustiques et de perception sonore. Le contrôle sera construit de façon à amplifier ou atténuer globalement le son acoustique mais permettra aussi d'agir sur des zones ciblées correspondant aux premiers partiels des sons (fondamentale, octave, deuxième (quinte) ou encore dix-septième (tierce)). Une première phase de modélisation de l'instrument incluant les composants de contrôle et le couplage électromécanique entre les transducteurs et l'instrument de musique est donc nécessaire. Le choix des composants de contrôle pourra s'orienter sur de nouveaux matériaux intelligents tels que des patches piézoélectriques fibrés. La détermination des paramètres de dimensionnement optimaux pourra s'appuyer sur l'utilisation d'algorithmes génétiques. Cette première phase doit permettre de quantifier l'efficacité des composants de contrôle collés sur l'instrument en termes de contrôlabilité et d'observabilité [7,8] en utilisant un code de calcul par éléments finis. La méthode adoptée consiste à intégrer les propriétés de couplage électromécaniques des actionneurs et des capteurs dans les constantes élastiques du matériau afin de simuler leur intégration sur la structure. Cette première phase numérique se déroulera principalement à l'Institut Jean le Rond d'Alembert et s'appuiera également sur des mesures expérimentales des paramètres modaux et des déformées modales de la structure réalisées sur le site de Saint-Cyr afin de recalibrer le modèle réalisé.

3. Simulation et optimisation du contrôleur

La conception du contrôleur nécessite une phase de simulation afin de déterminer les gains de contrôle optimaux aussi bien au niveau du placement de pôle classique sur les pulsations propres et le facteur d'amortissement modal que sur la détermination des gains sur la masse modale permettant le contrôle de l'amplitude de la réponse fréquentielle du système. Les Fig. 3. (a) et (b) présentent à titre d'exemple les Fonctions de Réponse Fréquentielle d'une table d'harmonie de guitare non contrôlée et contrôlée par placement de pôle classique et par masse modale. L'application de la stratégie de contrôle proposée devra permettre l'obtention de résultats similaires sur un instrument réel.

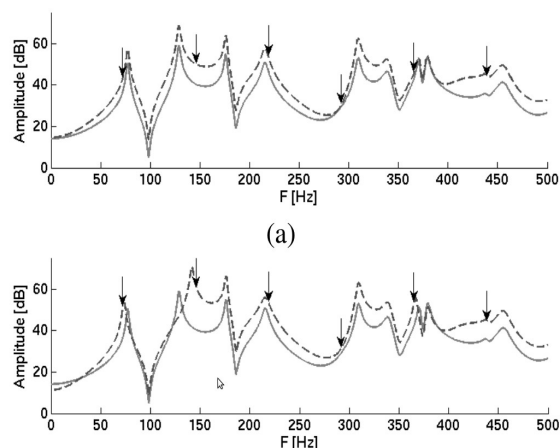


Figure 3: Fonctions de réponse fréquentielle non contrôlée (—) et contrôlée (- - -) du démonstrateur expérimental simplifié

Cette seconde phase se déroulera sur les deux laboratoires, Institut Jean le Rond d'Alembert et IRCAM.

4. Implémentation technologique: intégration du contrôleur sur l'instrument de musique

L'étape finale du projet consiste à intégrer complètement le système de contrôle sur un instrument de musique et doit permettre l'évaluation des possibilités de l'instrument actif en conditions réelles de jeu. Cette dernière phase se déroulera à l'IRCAM où le banc d'essai incluant les outils d'identification et de contrôle ont été installés.

Bibliographie:

1. B. Chomette, D. Rémond, S. Chesné, L. Gaudiller, Semi-adaptive modal control of on-board electronic boards using identification method, *Smart Material and Structures*, 2008, vol 17, 8p.
2. B. Chomette, A. Fernandes and J-J. Sinou, Cracks detection using active modal damping and piezoelectric components, *Shock and Vibration*, in press, 2013, 1-13.
3. H. Boutin, "Méthodes de contrôle actif d'instruments de musiques acoustiques", Phd thesis, Université Pierre et Marie Curie (2011).
4. S. Benacchio, A. Mamou-Mani, B. Chomette and F. Ollivier, Modal active control applied to simplified string musical instruments, International Congress on Acoustics, June 2013, Montreal (Canada).
5. T. Meurisse, A. Mamou-Mani, R. Caussé and D. Sharp, Active control applied to wind instruments, Acoustics 2012, April 2012, Nantes (France).
6. S. Benacchio, B. Chomette, A. Mamou-Mani and F. Ollivier, Simulated effects of combined control applied on an experimentaly identified soudboard, SMAC 2013, SMC Sound and Music Computing Conference 2013, August 2013, Stockholm (Sweden).
7. N. Hagood and A. von Flotow, "Damping of structural vibrations with piezoelectric materials and passive electrical networks", *Journal of Sound and Vibration*, 1991, 146, 243-268 .
8. A. Hac, L. Liu, "Sensor and actuator location in motion control of flexible structures", *Journal of Sound and Vibration*, 1993, 167(2).