

Titre de la thèse :

Contrôle actif d'un champ acoustique synthétisé dans une salle d'écoute

Résumé

La synthèse de champ sonore est un sujet largement étudié pour des applications audio mais également industrielles. Des techniques comme l'Ambisonie d'ordre élevé permettent une restitution du champ acoustique grâce à un réseau de haut-parleurs. Dans un environnement réverbérant, la compensation des réflexions acoustiques est nécessaire afin de garantir la bonne reconstruction du champ acoustique physique. Une compensation par étalonnage est cependant sensible aux variations des caractéristiques de l'environnement. Une approche adaptative de la synthèse sonore permet de faire face à ses changements. Malgré les avancées dans le domaine, peu d'applications pratiques en temps réel sont réalisées en raison des exigences en matière de nombre de transducteurs et de ressources de calculs.

Cette thèse s'intéresse à une approche de synthèse adaptative de champ par Ambisonie d'ordre élevé. Elle intègre des méthodes de contrôle actif du bruit et propose différentes versions d'algorithmes adaptatifs basés sur un contrôle dans le domaine des harmoniques sphériques. Les premières études portent sur des problématiques de réduction active du bruit, analogues à la restitution d'un champ acoustique cible nul. Deux configurations de filtrage adaptatif, utilisant un vecteur de filtres dans un cas et une matrice de filtres dans l'autre, mettent en évidence les difficultés de réalisation en temps réel. Une comparaison, théorique et pratique, entre l'approche proposée et une approche classique de contrôle adaptatif multipoint est d'abord réalisée pour une configuration de 4 sources et 4 microphones de contrôle, afin de conserver le même nombre de degrés de liberté pour les deux approches. La réalisation pratique sur une carte FPGA programmée dans le langage Faust montre une réduction effective pour les deux approches et précise les limites d'un tel système de contrôle. Une comparaison pour des configurations avec un nombre de sources et de microphones plus important montre un problème inverse mieux posé pour l'approche adaptative par ambisonie. Une deuxième réalisation pratique de réduction du bruit est mise en place sur un système de contrôle commercial et permet d'utiliser des configurations allant jusqu'à 14 haut-parleurs et 14 microphones. Finalement, un algorithme de contrôle de champ sonore visant à reproduire un champ acoustique cible non nul, donné dans le domaine des harmoniques sphériques, est étudié. Il montre les bénéfices d'un système de synthèse sonore adaptatif entièrement basé sur l'approche ambisonique. À travers ces applications, l'importance des filtres d'encodage, pour la décomposition sur les harmoniques sphériques, dans le cadre de contrôle adaptatif est souligné. L'utilisation de filtres en adéquation avec le réseau microphonique employé est cruciale pour obtenir le champ sonore souhaité.

Mots-clés : acoustique, Ambisonie d'ordre élevé, contrôle actif du bruit, traitement du signal en temps réel, FPGA

Title of the PhD thesis:

Active control of a synthesized acoustic field in a listening room

Abstract

Sound field synthesis is a widely studied domain for both audio and industrial applications. Techniques such as high-order Ambisonics enable the reproduction of acoustic fields using an array of loudspeakers. In a reverberant environment, compensation of acoustic reflections is necessary to guarantee correct reconstruction of the physical acoustic field. Compensation through calibration, however, is sensitive to variations in the environmental characteristics. An adaptive approach to sound field synthesis can cope with these changes. Despite advances in the field, few practical real-time applications have been realized due to high demand on transducer numbers and computational resources.

This thesis focuses on an approach for adaptive sound field synthesis using Higher Order Ambisonics. It integrates active noise control methods and proposes different versions of adaptive algorithms based on control in the spherical harmonics domain. Initial studies focus on active noise reduction problems, analogous to the restitution of a zero pressure acoustic field. Two configurations of adaptive filtering, using a vector of filters in one case and a matrix of filters in the other, highlight the difficulties of real time implementation. A theoretical and practical comparison between the proposed approach and a classical multipoint adaptive control approach is first carried out for a configuration of 4 sources and 4 control microphones, in order to preserve the same number of degrees of freedom for both approaches. Practical implementation on a FPGA board programmed in the Faust language shows an effective reduction for both approaches, and clarifies the limits of such a control system. A comparison for configurations with a larger number of sources and microphones shows a better-posed problem for the proposed ambisonic approach. A second practical realization of noise reduction is implemented on a commercial control system, allowing configurations of up to 14 loudspeakers and 14 microphones to be used. Finally, a sound field control algorithm aimed at reproducing a non-zero target acoustic field, given in the spherical harmonics domain, is studied. It demonstrates the benefits of an adaptive sound synthesis system based entirely on the ambisonic approach. Through these applications, the importance of encoding filters, for decomposition over spherical harmonics, in the adaptive control framework is highlighted. The use of filters matching perfectly the microphone array employed is crucial to achieve the desired sound field.

Keywords: acoustic, higher order ambisonic, active noise control, real-time signal processing, FPGA