

Commande Optimale de systèmes acoustiques :Design d'ondes ultrasonores pour la magnification de défauts en Contrôle non Destructif

HOUHAT Nesrine

Soutenue en: 2021

Abstract: La recherche de la commande, c'est-à-dire l'excitation optimale des systèmes acoustiques est un domaine relativement nouveau en acoustique puisque cette quête a commencé avec les travaux précurseurs de M. Fink sur le retournement temporel vers le début des années 90 et les travaux de V. Gubati sur l'énergie topologique vers le milieu des années 2000. Finalement, dix ans après, les travaux de J.M. Girault et S. Ménigot sur la commande optimale en imagerie ultrasonore médicale ont donné un nouvel élan à cette thématique, en montrant que l'émission d'ondes acoustiques "intelligentes" pouvait apporter beaucoup dans l'analyse et la compréhension des systèmes dynamiques linéaires mais aussi non linéaires. L'objectif principal de cette thèse est d'étendre le champ d'application de la commande optimale (CO) au domaine du contrôle non destructif non linéaire (CND- NL) par ultrasons et de proposer de nouveaux concepts et approches de la commande optimale. La mise en œuvre de cette méthode nécessite le choix de trois éléments qui sont : la fonction de coût à optimiser, le paramètre d'optimisation et l'algorithme d'optimisation. Ce choix doit être appuyé par des études préliminaires qui permettent l'obtention de résultats significatifs. Pour ce faire, une investigation dans le domaine du CND-NL a été effectuée afin de trouver une application pertinente de la CO. La commande optimale d'un système acoustique revient à trouver automatiquement le/les réglage(s) optimal(aux) du système qui maximise/minimise un critère donné à sa sortie, sans aucune connaissance a priori du système, la seule donnée nécessaire étant le signal de sortie. Deux approches de la commande optimale ont été abordées dans cette thèse. Nous avons considéré la fréquence de l'excitation puis la forme d'onde de l'excitation comme paramètre d'optimisation. Des méthodes d'optimisation heuristiques et méta-heuristiques ont été utilisées. Une étude numérique a permis d'étudier la faisabilité de la combinaison de la CO à la méthode de CND-NL sélectionnée. Parmi ces méthodes, notre choix a porté sur la Spectroscopie non linéaire par modulation d'ondes (Nonlinear Wave Modulation Spectroscopy ou NWMS et Vibro- Acoustic Modulation ou VAM). Ces méthodes ont l'avantage d'être relativement rapide à mettre en œuvre et de fournir un diagnostic du matériau en un temps assez court. Une simulation de la propagation unidimensionnelle d'ondes élastiques dans un milieu solide a été effectuée. La propagation dans le milieu est simulée par un système composé de chaînes masse-ressort avec amortissement. Cette simulation a permis une étude paramétrique de l'influence de certains paramètres, tels que l'amplitude de la non linéarité quadratique, l'étendue de l'endommagement et sa localisation dans le matériau sur les lobes d'intermodulation. Il a été démontré que l'amplitude des lobes d'intermodulation est sensible à de tels paramètres et que l'augmentation et la génération de ces derniers peuvent être utilisées comme un bon indicateur de la présence et de l'accroissement de l'endommagement dans le matériau. Nous avons également mis en évidence le fait que le bon choix des fréquences de travail (sonde et pompe) dépend du matériau examiné et permet de maximiser les effets de modulation non linéaires. Une étude expérimentale portant sur la combinaison de la commande optimale à la méthode VAM dans un milieu multi-diffuseur est présentée. Le but est, donc, de trouver automatiquement la meilleure fréquence pompe permettant de maximiser la modulation non linéaire se produisant entre les signaux pompe et sonde. La méthode proposée ne nécessite aucune analyse modale préalable et permet d'éviter les zones aveugles de détection pour lesquelles le défaut est localisé à un nœud de vibration de l'onde. Ce nouveau paradigme de la commande optimale dans le domaine du CND-NL nous paraît très prometteur.

Keywords : commande optimale, Acoustique non linéaire, Méthodes NEWS, Optimisation, Algorithme génétique, Algorithme Descente de gradient, VAM