

Apport des réseaux de capteurs bas coûts à ultrasons sans-fil dans la surveillance de l'état de santé des structures composites

RESUME : Ce travail de thèse, financé par le programme Perform 2020, est le fruit d'une collaboration entre le Laboratoire d'Acoustique de Le Mans Université (LAUM), l'IRT Jules Verne et l'Université Gustave Eiffel. Il porte sur la mise en œuvre d'un système de Contrôle de Santé Intégré (Structural Health Monitoring - SHM) destiné à localiser des défauts dans les structures en matériaux composites à l'aide d'ondes guidées ultrasonores. Pour cela, des ondes de Lamb sont générées à l'aide d'un réseau de transducteurs piézoélectriques à bas coût. Dans un premier temps, nous avons développé une approche de localisation basée sur l'analyse des différences entre les signaux acquis à l'état sain de la structure (référence) et ceux mesurés ultérieurement à l'état endommagé. Cependant, il est important de souligner que cette approche est sensible aux variations des conditions environnementales et opérationnelles, et devient surtout inapplicable lorsque les mesures relatives à l'état de référence ne sont pas disponibles. En réponse à ces limitations, nous avons appliqué des méthodes dites " sans état de référence", proposée dans la littérature, avant de proposer de nouvelles méthodes où l'état de référence est reconstruit à partir de l'état actuel de la structure étudiée. Nous avons ainsi caractérisé l'endommagement siégeant au sein de matériaux composites, issus de l'aéronautique ou du secteur de l'énergie (pales d'éolienne), dont les symétries ainsi que les propriétés ne sont pas a priori connues. Les résultats relatifs à la propagation ont permis d'identifier des symétries isotrope-transverse et/ou quasi-isotrope transverse. Enfin, ce travail a également permis de travailler sur des poutres IPN en composite de 4 mètres de long utilisées dans le Génie Civil et ce pour détecter et imager les zones endommagées suite à l'application d'un essai de flexion 3 points. Pour les différentes structures, les résultats obtenus montrent que la localisation dépend du mode de Lamb choisi d'où l'intérêt des résultats issues de la caractérisation multimodale. Les erreurs de localisation sont comparables à celles rapportées dans la littérature, validant ainsi l'efficacité des méthodes proposées.

Mots clés : Ondes de Lamb, Contrôle de Santé Intégré (SHM), Matériaux composites, Anisotropie, Réseau de transducteurs piézoélectriques, Localisation des défauts, Imagerie par ondes des Lamb, Reconstruction de l'état de référence.

Contribution of Low-Cost Wireless Ultrasonic Sensor Networks to the Structural Health Monitoring of Composite Structures

ABSTRACT:

This thesis, funded by the Perform 2020 program, is a collaboration between the Laboratoire d'Acoustique de Le Mans Université (LAUM), the IRT Jules Verne and the Université Gustave Eiffel. It involves the implementation of a Structural Health Monitoring (SHM) system designed to locate defects in composite structures using ultrasonic guided waves. Lamb waves are generated using a low-cost piezoelectric transducer network. Initially, we developed a localization approach based on the analysis of differences between signals acquired in the healthy state of the structure (baseline) and those subsequently measured in the damaged state. However, it is important to stress that this approach is sensitive to variations in environmental and operational conditions, and becomes especially inapplicable when measurements relating to the reference state are not available. In response to these limitations, we have applied baseline free methods proposed in the literature, before proposing new ones in which the reference state is reconstructed from the current state of the structure under study. In this way, we have characterized the damage occurring in composite materials taken from the aeronautics and energy sectors (wind turbine blades), whose symmetries and properties are not a priori known. The propagation results of guided waves identified isotropic-transverse and quasi-isotropic-transverse symmetries. Besides, this work also enabled us to work on 4-meter-long composite IPN beams used in civil engineering, to detect and image damaged zones following the application of a 3-point bending test. For the different structures, the results obtained show that localization depends on the Lamb mode chosen which highlights the results related to the multi-modal approach. Localization errors are comparable to those reported in the literature, thus validating the effectiveness of the proposed methods.

Keywords: Lamb waves, Structural Health Monitoring (SHM), Composite materials, Piezoelectric transducers, Defect localization, Reference state reconstruction.