

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes

Spécialité : Mécanique des Solides, des Matériaux, des Structures et des Surfaces

Par

Lucie Calmettes

Mesure de forme de matériaux architecturés 3D à partir de radiographies par une méthode de corrélation d'images virtuelles

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 09/04/2024

Unité de recherche : Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM) – UMR CNRS 6183

Rapporteurs avant soutenance :

Eric Maire Directeur de Recherche, INSA Lyon
Robin Bouclier Maître de conférence, INSA Toulouse

Composition du Jury :

Examineurs : Michel Grédiac Professeur des universités, Université de Clermont
 Martin Poncelet Maître de conférence, ENS Paris-Saclay
 Pauline Lecomte-Grosbras Maître de conférence, Centrale Lille

Directeur de thèse : Marc François Professeur des universités, Nantes Université
Encadrant de thèse : Julien Réthoré Directeur de recherche CNRS, Ecole centrale de Nantes

Titre : Mesure de forme de matériaux architecturés 3D à partir de radiographies par une méthode de corrélation d'images virtuelles

Mots clés : VIC, 3D-VIC, CT-scan, matériaux architecturés, mesure de forme

Résumé: L'évolution de la fabrication additive a facilité la production de matériaux architecturés complexes. Toutefois, les méthodes traditionnelles d'inspection s'avèrent inadaptées pour ces matériaux, nécessitant une méthode d'inspection basée sur la tomographie pour explorer leur structure interne. Ce travail présente un algorithme rapide et précis de Corrélation d'Images Virtuelles 3D (3D-VIC), basé sur l'existence d'un modèle CAO essentiel pour l'impression du matériau. Le modèle CAO est déformé pour recalibrer les radiographies avec des radiographies virtuelles simulant l'absorption des rayons X à travers le solide. Le recalage est réalisé en minimisant une fonction coût par rapport à la position des points de contrôle en utilisant une méthode d'interpolation de Radial Basis Function (RBF).

Tout d'abord, les performances de la méthode sont évaluées avec des données synthétiques, en examinant sa capacité à mesurer des défauts de fabrication sur les poutres du matériau architecturé imprimées. Ensuite, la robustesse de la méthode est testée par rapport à la résolution de l'image, le nombre de radiographies et le niveau de bruit. Enfin, des mesures réelles ont été effectuées en utilisant 5 radiographies d'une structure de Penrose et d'un réseau tétraédrique. La méthode permet de détecter des variations globales de forme et des défauts locaux. Il est possible avec la 3D-VIC de vérifier la forme des matériaux architecturaux, avec très peu de radiographies, sans utiliser les méthodes usuelles

Title : Shape measurement of 3D architectural materials from X-rays radiographs using a virtual image correlation method.

Keywords : VIC, 3D-VIC, CT-scan, architectural materials, shape measurement

Abstract: The evolution of additive manufacturing has facilitated the production of complex architectural materials. However, traditional inspection methods are proving inadequate for these materials, requiring a tomography-based inspection method to explore their internal structure. This work presents a fast and accurate 3D Virtual Image Correlation (3D-VIC) algorithm, based on the existence of a CAD model essential for printing the material. The CAD model is deformed to register the radiographs with virtual radiographs simulating the absorption of X-rays through the solid. Registration is achieved by minimising a cost function with respect to the position of control points using radial basis function interpolation (RBF).

First, the method's performance is evaluated with synthetic data, by examining its ability to measure manufacturing defects on beams of printed architectural material. Next, the robustness of the method is tested in relation to image resolution, number of radiographs and noise level. Finally, actual measurements were carried out using 5 X-ray images of a Penrose structure and a tetrahedral lattice. The method enables global variations in shape and local defects to be detected. With 3D-VIC, it is possible to verify the shape of architectural materials, with very few X-rays images, without using conventional volume reconstruction methods.

