

Stéréo Corrélation d'Images Numériques et Régularisation Mécanique

J.-E. PIERRÉ^{a,1}, J.-C. PASSIEUX^{a,2}, J.-N. PÉRIÉ^a, F. BUGARIN^a,
L. ROBERT^a

a. Université de Toulouse – Institut Clément Ader – CNRS – INSA/UPS/Mines Albi/ISAE

1. jepierre@insa-toulouse.fr

2. passieux@insa-toulouse.fr

Résumé :

Cette étude a pour but de mesurer des conditions aux limites en rotation et en déplacement pour un modèle plaque à l'aide de la Stéréo Corrélation d'Images Numérique. Une approche de type Éléments-Finis est alors utilisée ainsi qu'une approche intégrée de corrélation. La détermination de la courbure de la plaque s'effectue ainsi à l'aide d'une Régularisation cinématique de type plaque afin de prendre en compte les rotations dans la mesure et non par dérivation d'une mesure.

Abstract :

The aim of this study is to measure plate boundary conditions (displacement and curvature) with a Stereo Digital Image Correlation Method. A Finite-Element Method and an Integrated approach are used. The computation of the plate's curvature is done with a kinematic plate Regularisation. This means that it is part of the measure and not a derivation of a measure.

Mots clefs : Corrélation d'Images Numériques, Stéréovision, Éléments-Finis, Régularisation Mécanique

1 Introduction

Cette étude prend par dans le projet ANR-VERTEX dont le but est d'effectuer des essais sur des plaques composites de dimensions $500 \times 500 \text{ mm}^2$ pour valider des modèles d'endommagement. Cette taille d'éprouvette permet un positionnement original à l'échelle des détails structuraux et de traiter de nombreux problèmes fondamentaux. L'inconvénient réside dans le fait qu'il nécessite des moyens d'essai non conventionnels, auxquels des moyens d'instrumentation *ad hoc* doivent être associés. Afin de fournir les conditions aux limites nécessaires à l'ensemble des partenaires voulant tester un modèle, une méthode de mesure optique dédiée est proposée. L'enjeu pour une modélisation plaque, est que les conditions aux limites sont des déplacements ainsi que des rotations, alors que les méthodes de vision fournissent uniquement le déplacement de la peau supérieure. Or ces derniers étant issus d'une mesure, les rotations calculées par dérivation ne sont pas satisfaisantes et les techniques de lissage ne prennent pas en compte la nature mécanique du champ mesuré. Un modèle éléments finis plaque pour régulariser la mesure par stéréo corrélation d'images s'impose alors.

2 Stéréo Corrélation d'Images Numériques

La Corrélation d'Images Numériques (CIN) [9] est une technique largement répandue et des versions Éléments Finis (EF) ont été développées avec succès [8]. L'objectif est de mesurer un champ de déplacement \mathbf{u} entre deux images f et g via une écriture de la conservation des niveaux de gris sur une Région d'Intérêt de l'image (ROI) sous forme faible (eq. 1) :

$$\mathbf{u}^* = \operatorname{argmin}_{\mathbf{u} \in \mathcal{L}^2(ROI)} \int_{ROI} [f(\mathbf{x}) - g(\mathbf{x} + \mathbf{u}(\mathbf{x}))]^2 d\mathbf{x} \quad (1)$$

Pour une approche classique de Stéréo Corrélation d'Images [2, 3, 4], le déplacement est obtenu par différence de formes. L'inconnue n'est donc plus un déplacement mais une disparité \mathbf{u}_c par caméra c et les études EF [1, 7] rencontrent ainsi des difficultés pour faire de la corrélation intégrée par un modèle mécanique dont l'inconnue est le déplacement 3D.

Ici, le problème est alors formulé de manière usuelle, en sommant sur les caméras c , mais en considérant le déplacement physique \mathbf{U} comme inconnue et en projetant les points physique \mathbf{X} dans les images à l'aide de projecteurs P_c (eq. 2) :

$$\mathbf{U}^* = \operatorname{argmin}_{\mathbf{U} \in \mathcal{L}^2(\Omega)} \sum_c \int_{\Omega} [f_c(P_c(\mathbf{X})) - g_c(P_c(\mathbf{X} + \mathbf{U}(\mathbf{X})))]^2 d\mathbf{X} \quad (2)$$

Il est à noter que les techniques usuelles pour une étude EF en CIN impliquent un biais dû au fait que l'intégration est effectuée dans les images après projection des nœuds du maillage (fig. 1). Ici, avec les projecteurs P_c allant du modèle aux images, l'intégration s'effectue directement dans l'espace physique Ω défini par le maillage et non dans une ROI incluse dans une image (fig. 2). De plus, l'écriture avec les projecteurs permet de prendre en compte la calibration des caméras et donc des distorsions.

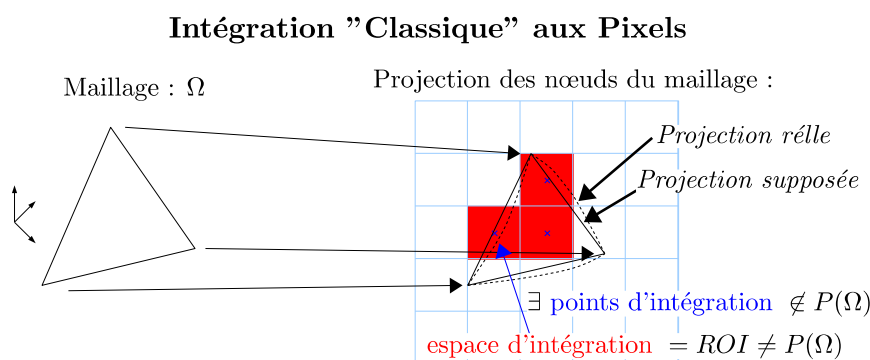


FIGURE 1 – L'intégration classique aux pixels consiste à projeter les nœuds du maillage, les éléments sont ensuite reconstruits puis approchés par des pixels ce qui implique un biais.

3 Régularisation Mécanique

Le champ de déplacement physique \mathbf{U} étant mesuré, il est plus aisé d'ajouter des termes de régularisation. Dans cette étude, un modèle plaque est considéré, ce qui implique la prise en compte de 5 paramètres : 3 déplacements et 2 rotations au niveau du plan moyen (\mathbf{U}^0, θ^0).

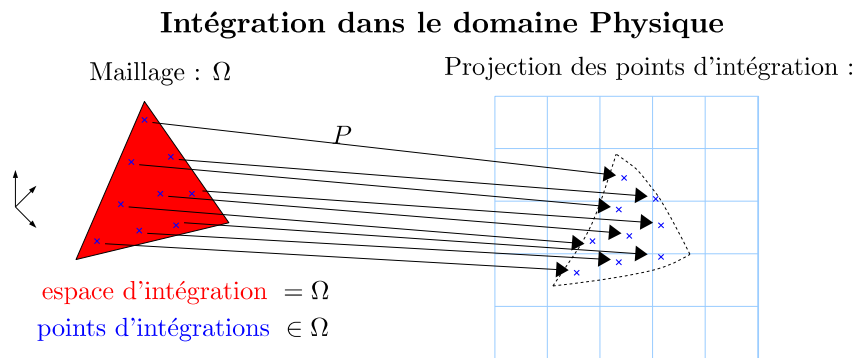


FIGURE 2 – La méthode d'intégration basée dans le domaine physique permet d'intégrer dans ce domaine en allant chercher les informations dans les images ce qui évite toute approximation des éléments.

Les rotations peuvent être obtenues indirectement en mesurant le déplacement sur une bande d'éléments [10]. Ici, l'idée est de considérer un simple projecteur donnant le déplacement de la peau supérieure à partir d'un champ $\mathcal{U} = (\mathbf{U}^0, \theta^0)$ à 5 dimensions décrivant le comportement du plan moyen. L'ajout des deux rotations implique la nécessité de mettre en place une régularisation mécanique basée sur la formulation dite "Intégrée" [5, 6, 7] : contraindre le problème en considérant une contribution optique et une contribution mécanique (eq. 3) :

$$\mathcal{U}^* = \underset{\mathcal{U}}{\operatorname{argmin}} \frac{1}{m_0} \sum_c \int_{\Omega} [f(P_c(\mathbf{X})) - g(P_c(\mathbf{X}, \mathcal{U}(\mathbf{X})))]^2 d\mathbf{X} + \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) \frac{1}{k_0} \overline{\mathbf{F}}_{int}^\top \overline{\mathbf{F}}_{int} \quad (3)$$

Avec m_0 et k_0 des constantes de normalisation, α un paramètre de pénalisation et $\overline{\mathbf{F}}_{int}$ les efforts internes de chaque degré de liberté sauf ceux ayant une condition de Dirichlet (il n'est en effet pas possible de mesurer les flux d'efforts dans cette étude). La matrice de rigidité correspondante est notée $\overline{\mathbf{K}}$ telle que $\overline{\mathbf{K}}\mathcal{U} = \overline{\mathbf{F}}_{int}$. Cette technique de mesure avec régularisation plaque permet ainsi l'obtention de conditions aux limites plus fiables afin de permettre aux partenaires de valider leurs modèles.

Remerciements

Les auteurs remercient le soutien de l'ANR (VERTEX : ANR-12-RMNP-0001).

Références

- [1] G. Besnard, F. Hild, J.-M. Lagrange, P. Martinuzzi, and S. Roux. Analysis of necking in high speed experiments by stereocorrelation. *International Journal of Impact Engineering*, 49 :179–191, Nov. 2012.
- [2] Z. L. Kahn-Jetter and T. C. Chu. Three-dimensional displacement measurements using digital image correlation and photogrammic analysis. *Experimental Mechanics*, 30(1) :10–16, Mar. 1990.
- [3] P. F. Luo, Y. J. Chao, M. A. Sutton, and W. H. P. Iii. Accurate measurement of three-dimensional deformations in deformable and rigid bodies using computer vision. *Experimental Mechanics*, 33(2) :123–132, June 1993.

- [4] J.-J. Orteu, F. Bugarin, J. Harvent, L. Robert, and V. Velay. Multiple-Camera Instrumentation of a Single Point Incremental Forming Process Pilot for Shape and 3d Displacement Measurements : Methodology and Results. *Experimental Mechanics*, 51(4) :625–639, Nov. 2010.
- [5] S. Roux and F. Hild. Stress intensity factor measurements from digital image correlation : post-processing and integrated approaches. *International Journal of Fracture*, 140(1-4) :141–157, July 2006.
- [6] J. Réthoré. A fully integrated noise robust strategy for the identification of constitutive laws from digital images. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 84(6) :631–660, Nov. 2010.
- [7] J. Réthoré, Muhibullah, T. Elguedj, M. Coret, P. Chaudet, and A. Combescure. Robust identification of elasto-plastic constitutive law parameters from digital images using 3d kinematics. *International Journal of Solids and Structures*, 50(1) :73–85, Jan. 2013.
- [8] Y. Sun, J. H. L. Pang, C. K. Wong, and F. Su. Finite element formulation for a digital image correlation method. *Applied Optics*, 44(34) :7357–7363, Dec. 2005.
- [9] M. A. Sutton, W. J. Wolters, W. H. Peters, W. F. Ranson, and S. R. McNeill. Determination of displacements using an improved digital correlation method. *Image and Vision Computing*, 1(3) :133–139, Aug. 1983.
- [10] P. Sztefek and R. Olsson. Tensile stiffness distribution in impacted composite laminates determined by an inverse method. *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, 39(8) :1282–1293, Aug. 2008.