

Ferramenta computacional para deformar imagens a partir dos resultados de uma análise em elementos finitos

Felipe Lorenzo, Ricardo Afonso Angélico

Escola de engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

felorenzo@usp.br

Objetivos

Ensaio mecânicos são utilizados para avaliar propriedades mecânicas dos materiais e requer, ao menos, um instrumento de medida de força e outro de deformação. Para o segundo caso, é usual empregar técnicas não invasivas baseadas em princípios ópticos. Desta forma, a técnica de correlação de imagens digitais (CID) permite a medição do campo de deslocamentos entre duas imagens tiradas em diferentes condições de carregamento [1, 2]. A montagem de ensaios assistidos por correlação de imagens digitais é complexa, especialmente quando envolve pequenos níveis de deslocamentos ou variação de temperatura.

Esses experimentos podem ser melhor planejados se a aplicabilidade da técnica de correlação for verificada previamente à condução do ensaio. Sendo assim, a presente pesquisa objetiva desenvolver uma ferramenta computacional para deformar imagens a partir dos resultados de uma análise de elementos finitos. Este tipo de ferramenta auxilia na preparação de ensaios experimentais e na avaliação da influência das variáveis envolvidas na medição dos deslocamentos.

Metodologia

O objetivo da ferramenta é gerar conjuntos de imagens deformadas, que corresponde ao domínio g , a partir de uma imagem de referência, domínio f , dadas informações sobre a malha computacional e o campo de deslocamentos obtidos da simulação em elementos finitos; isto é, $g(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x} + \mathbf{u})$. Com isso, a ferramenta computacional reconstrói o

imagens que emulam ensaios reais, inclusive impondo uma textura artificial randômica.

A deformação de imagens segue as etapas: (i) iterar ao longo de cada pixel, construindo uma matriz de mapeamento de elementos; (ii) Implementar uma interpolação linear entre elementos triangulares, empregando funções de forma; (iii) obter uma lei de interpolação para a escala de cinza da imagem baseada na fração de área de cada pixel; (iv) aplicação destas funções sobre a matriz de mapeamento, compatibilizando a interpolação dos elementos. Este procedimento é ilustrado na figura 1 para um elemento triangular.

Na presente pesquisa, o campo de deslocamentos prescritos são obtidos a partir de simulações em *Abaqus*, um *software* de elementos finitos. Os resultados para cada *frame* são lidos, resultando em uma imagem para cada. Desenvolveram-se rotinas em *Python* para extração dos dados do *Abaqus* e para deformação das imagens. Para validação, empregou-se o *framework Correli* [3] para medição do campo de deslocamentos. O erro foi medido por meio da norma de *Frobenius*.

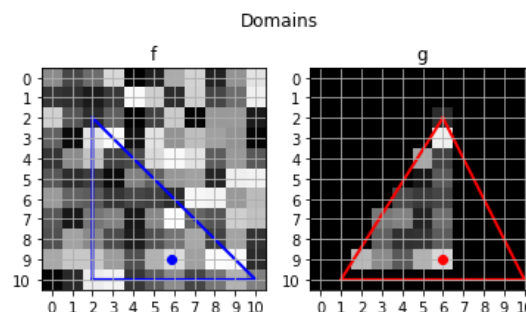


Figure 1: Interpolação para um elemento triangular. Pixels de g são coloridos a partir de f .

Resultados

A aplicação desta ferramenta para um ensaio de flexão três pontos de uma imagem de 1000 x 300 píxeis é ilustrada na Figura 2. As simulações foram conduzidas usando uma malha de elementos triangulares lineares. O máximo deslocamento imposto foi de 10 píxeis no centro da barra. A textura artificial foi criada de forma randômica.

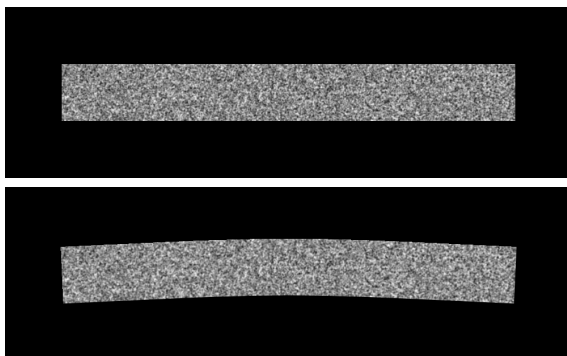


Figura 2: Imagens de referência (acima) e deformada (abaixo) com um máximo deslocamento vertical de 10 píxeis.

Após a geração do conjunto de imagens, o campo de deslocamentos foi avaliado empregando o *framework Correli*. A diferença entre o campo aplicado na simulação em elementos finitos e o medido via CID resultou na ordem de grandeza de 0.1. O campo de deslocamentos vertical é ilustrado na Figura 3.

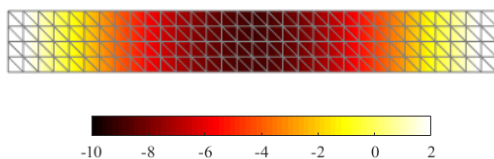


Figure 3: Campo de deslocamentos obtido do *Correli*. Unidades em píxeis.

Com esta metodologia, investigaram-se como os parâmetros da geração de imagens influenciam a norma de Frobenius, tal como limite de convergência, nível de *blur* e máximos deslocamentos. O erro máximo permanece

inferior a 0.1, excetuando o valor de *blur* de 2.5.

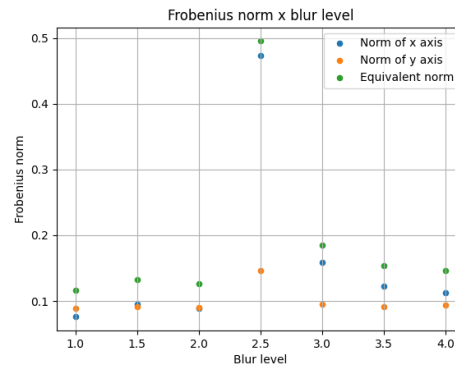


Figure 4: Análise da influência do nível de *blur*

Conclusões

A ferramenta computacional desenvolvida permite um melhor planejamento de experimentos assistidos por correlação de imagens digitais, assim como possibilita avaliar a influência de parâmetros como a razão pixel / mm, textura e o alcance dinâmico. É útil também para planejar ensaios mecânicos para determinação de parâmetros de interesse via algoritmos de minimização entre resultados experimentais e computacionais.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa Unificado de Bolsas da USP (Proc. 2021/3272).

Referências

- [1] M. A. Sutton, W. J. Wolters, W. H. Peters, W. F. Ranson, S. R. McNeill, Determination of displacements using an improved digital correlation method, *Image and Vision Computing* 1 (3) (1983) 133 – 139.
- [2] F. Hild, S. Roux, *Digital Image Correlation*, Wiley-VCH, Weinheim (Germany), 2012, pp. 183–228.
- [3] H. Leclerc, J. Neggers, F. Mathieu, S. Roux, F. Hild, *Correli 3.0*, IDDN.FR.001.520008.000.S.P.2015.000.31500 (2015).