

A. Fernandez-Lopez^a, A. Souto, M. Chimeno^a,
P. Garcia-Fogeda, A. Güemes, P. Perez-Merino^b

^a ETSI Aeronáutica y del Espacio, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 28040, España^b

^b Fundación Jiménez Díaz, Madrid, 28040 Madrid

Ensayo de aeroestructuras de material compuesto a altas frecuencias mediante la técnica de la correlación digital de imágenes proyectada

RESUMEN

Historia del artículo:

Recibido 20 de Junio de 2019

En la versión revisada 25 de Junio de 2019

Aceptado 5 de Julio de 2019

Accesible online 15 de Abril de 2021

Palabras clave:

Correlación Digital de Imágenes

Fibra óptica

Medida distribuida

Ensayos estructurales

Aeroestructuras

Las estructuras de material compuesto tienen un comportamiento complejo, especialmente bajo el efecto de cargas dinámicas o bajo cargas de compresión. Para la determinación de los efectos locales es común el uso de técnicas de medida basadas en sensores no convencionales que permitan no solo la medida puntual, sino el comportamiento en toda una superficie. Las técnicas de medida distribuida con sensores de fibra óptica o técnicas de correlación de imágenes se han convertido en imprescindibles para realizar una completa caracterización y validación de las mismas.

En este artículo se presenta la metodología basada en la correlación digital de imágenes mediante un patrón proyectado sobre la estructura. Esta técnica permite la medida de los desplazamientos fuera del plano sin necesidad de pintar el patrón sobre la propia estructura, lo que permite un ahorro de tiempo y elimina cualquier interferencia con la estructura.

La metodología propuesta se aplica sobre una estructura alar de un UAV fabricada completamente en material compuesto. Se trata del estabilizador del UAV DIANA del INTA, fabricado con cinta unidireccional preimpregnada AS4/8552 y formado por dos revestimientos (extradós e intradós), un larguero, y dos costillas. La medida a altas frecuencias permite identificar los diferentes modos de vibración y realizar un análisis completo y validarlo con la información obtenida con otras técnicas.

Dynamic structural testing of a composite structure by 3D projected digital image correlation

ABSTRACT

Keywords:

Digital Image Correlation

Fiber optic

Distributed sensing

Structural testing

Aerostructures

Complex composite structures have unexpected mechanical behaviour, specially under high dynamic loads or in bucking conditions. The complexity and the number of sensors of these types of structural testing require non-standard instrumentation in order to detect local phenomena before critical failure appears. The main problem introduced by accelerometers or strain sensors is the cabling, due to the weight and complexity introduced.

Digital Image Correlation (DIC) is a strain and deformation measurement technique well know and extendedly applied in composite structural testing. In this paper it is proposed a new DIC methodology based on project the aleatory patter over the structure instead of paint it. Furthermore, an UAV wing full made of composite will be tested at high frequency and vibrations modes will be observed with a stroboscope and, simultaneously, the aleatory patter will be projected in order to measure the shape of the vibration mode applying the DIC technique. Additionally, strain and shape sensing at high frequencies will be validated with Distributed Fiber Optic at high frequency rates.

In this paper, the different technologies will be tested and compared in order to validate their capabilities and limitations.

1 Introducción

Las estructuras de material compuesto tienen un comportamiento complejo, especialmente bajo el efecto de cargas dinámicas o bajo cargas de compresión. Para la determinación de los efectos locales es común el uso de técnicas de medida basadas en sensores no convencionales que permitan no solo la medida puntual, sino el comportamiento en toda una superficie. Las técnicas de medida distribuida con sensores de fibra óptica o técnicas de correlación de imágenes se han convertido en imprescindibles para realizar una completa caracterización y validación de las mismas. Por este motivo se han generalizado técnicas de medida globales, que proporcionan información no solo de un punto de medida, sino de toda una superficie.

1.1 Correlación Digital de Imágenes

La Correlación Digital de Imágenes (DIC) es una técnica óptica de campo completo que permite la medición de desplazamientos y deformaciones [1-2]. La técnica consiste en la comparación de imágenes digitales durante el ensayo de una estructura desde su estado inicial (considerado como el de referencia) hasta su estado final (deformado). Previamente a la realización del ensayo, en general, las probetas son tratadas para poder aplicar la técnica DIC. Sobre el material compuesto de fibra de carbono típicamente se genera un moteado aleatorio de color blanco para generar el máximo contraste posible. Las probetas se dividen en subconjuntos virtuales, denominados facetas, y mediante la aplicación de algoritmos de correlación, se busca una región o faceta de la imagen de referencia en la imagen deformada, determinando el vector de desplazamientos en cada conjunto de facetas procesadas. La comparación mediante convoluciones entre facetas son las que proporcionan el campo de desplazamientos a lo largo de la superficie de estudio.

Actualmente existen diferentes sistemas comerciales y softwares que permiten la realización de esta técnica, incluso con dos cámaras, lo que proporciona la medida de desplazamientos fuera del plano, pero siempre empleando un patrón adherido o pintado en la superficie. Sin embargo, sobre ciertas superficies o bien no se puede pintar el patrón (paneles solares, lentes, espejos) o bien requiere un procedimiento costoso en tiempo y recursos, si se quiere reutilizar la superficie para otro propósito.

En este artículo se plantea emplear un patrón proyectado con el fin de superar las limitaciones impuestas por un patrón pintado sobre la superficie.

2 Proyección del patrón proyectado

Se va a emplear la técnica de proyectar un patrón de puntos sobre una estructura sometida a cargas dinámicas, donde aparecen diferentes modos de vibración y desplazamientos pequeños. La configuración empleada para desarrollar pruebas se presenta en la Figura 1 donde hay dos cámaras colocadas apuntando a la estructura probada, un proyector colocado entre las dos cámaras con el que se proyectó el punto de puntos y la estructura probada atornillada a un vibrador, teniendo en cuenta que las imágenes de ambas

cámaras deb de ser nítidas respecto a la superficie a medir. Además, la distancia entre la estructura ensayada y las cámaras debe ser lo suficientemente pequeña para que los desplazamientos obtenidos con la correlación cruzada sean al menos mayores que un píxel.

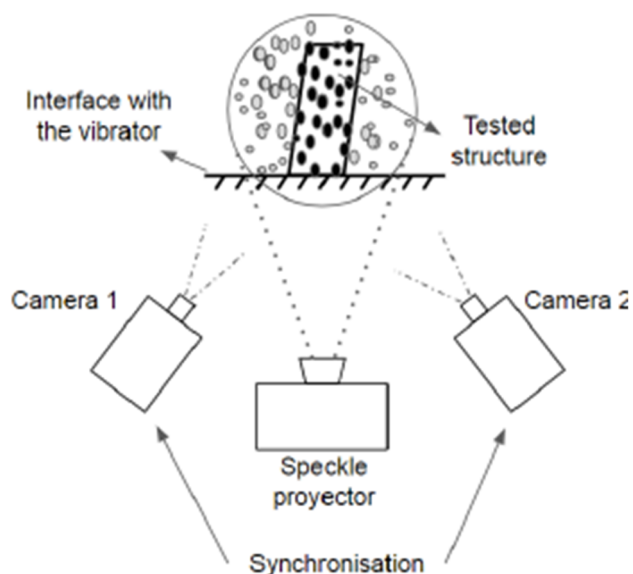


Figura 1. Configuración del ensayo.

La metodología propuesta se fundamenta en dos cámaras con alta adquisición de datos. La frecuencia de muestreo debe ser considerablemente más alta que la frecuencia a la que se excita la estructura para poder caracterizar los modos de vibración de la misma. El criterio de Nyquist establece que con una frecuencia de muestreo de al menos el doble de la frecuencia a la que se excita la estructura es suficiente. Sin embargo, para facilitar el procesamiento posterior de la información, se ha elegido una frecuencia de muestreo de aproximadamente 10 veces la frecuencia de excitación, en particular se ha empleado una frecuencia de muestreo de 1000 Hz.

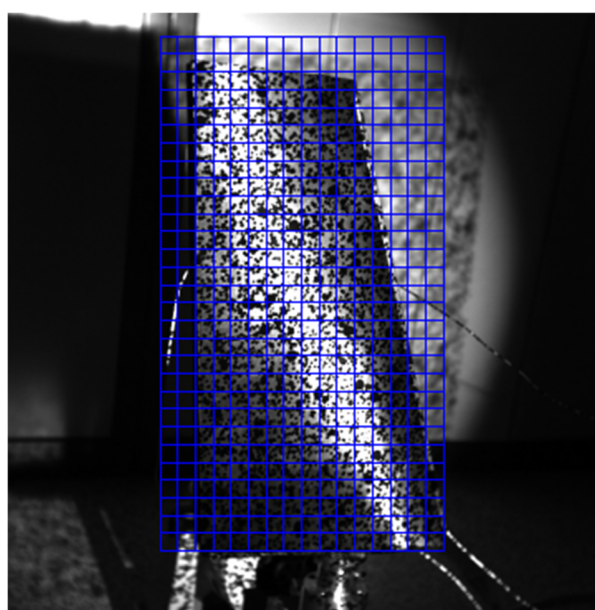


Figura 2. Imagen de referencia dividida en subconjuntos cuadrados de 30 píxeles de lado

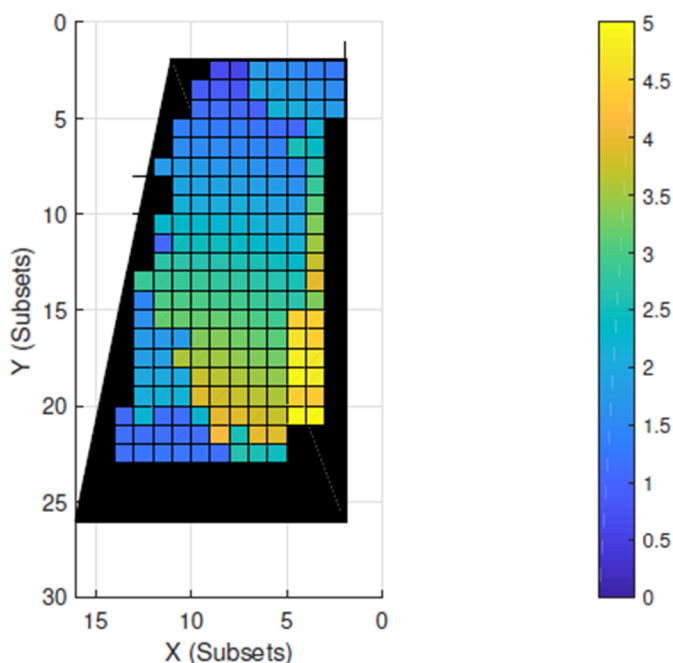


3 Resultados sobre una estructura de material compuesto

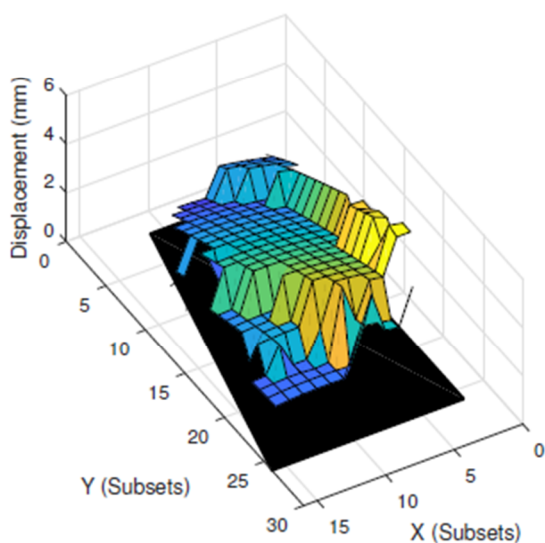
La estructura de ensayo es un estabilizador horizontal de la cola (HTP) del Avión No Tripulado (UAV) DIANA del INTA, que ha sido desarrollado con el fin de ser un blanco aereo. El estabilizador es una estructura de 445mm de longitud y una anchura de 265mm. Está fabricado completamente con prepreg unidireccional AS4/8552 prepreg, y está compuesto de dos superficies aerodinámicas, un larguero y dos costillas en los bordes. Todas las uniones mecánicas son adhesivas.

Se ha ensayado haciendo un barrido de frecuencias de 0 a 100Hz, y se han medido los siguientes modos propios:

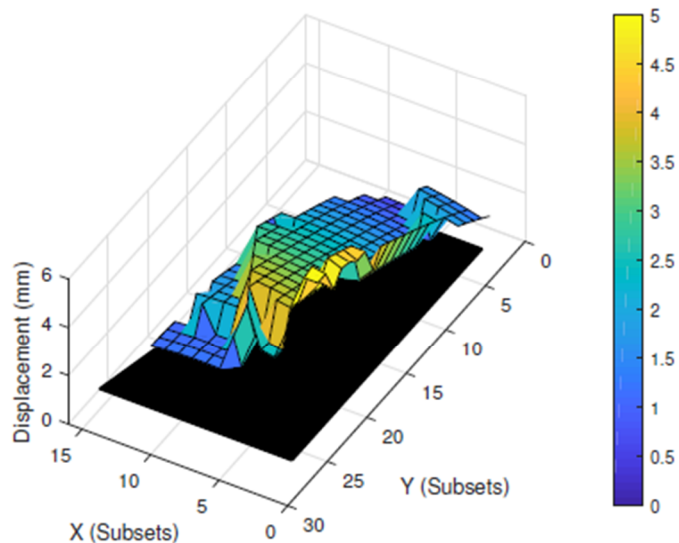
Frecuencia	Modo
17,5 Hz	Torsión
41,8 Hz	Flexión
57,5 Hz	Torsión



(a) Vista en planta



(b) Vista lateral derecha

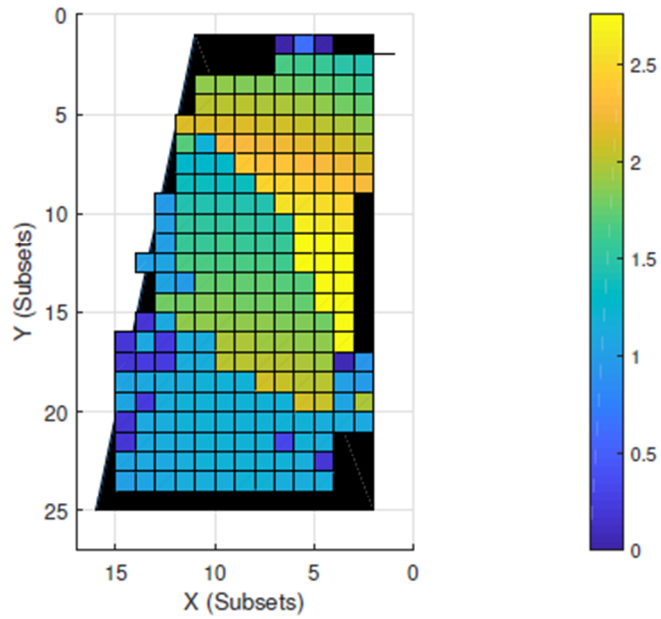


(c) Vista lateral izquierda

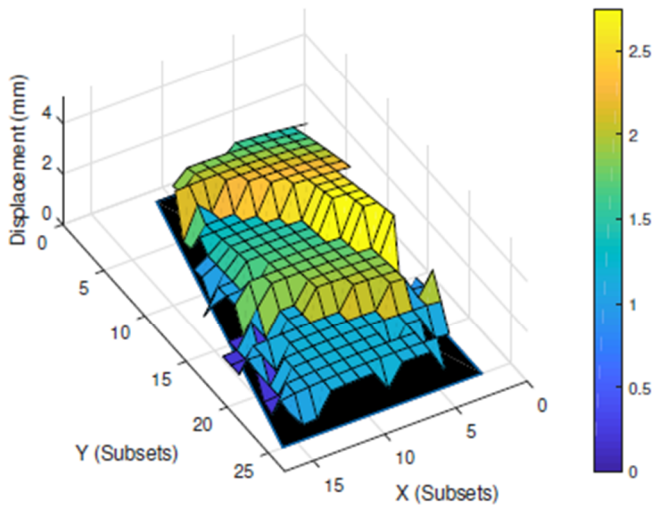
Figura 3. Representación estática del modo de vibración correspondiente a una frecuencia de



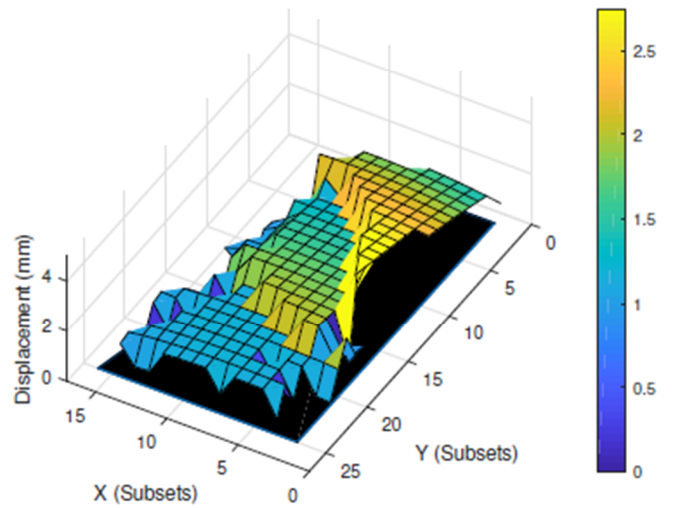
excitación de 17.5 Hz



(a) Vista en planta



(b) Vista lateral derecha



(c) Vista lateral izquierda

Figura 4. Representación estática del modo de vibración correspondiente a una frecuencia de excitación de 41;8 Hz



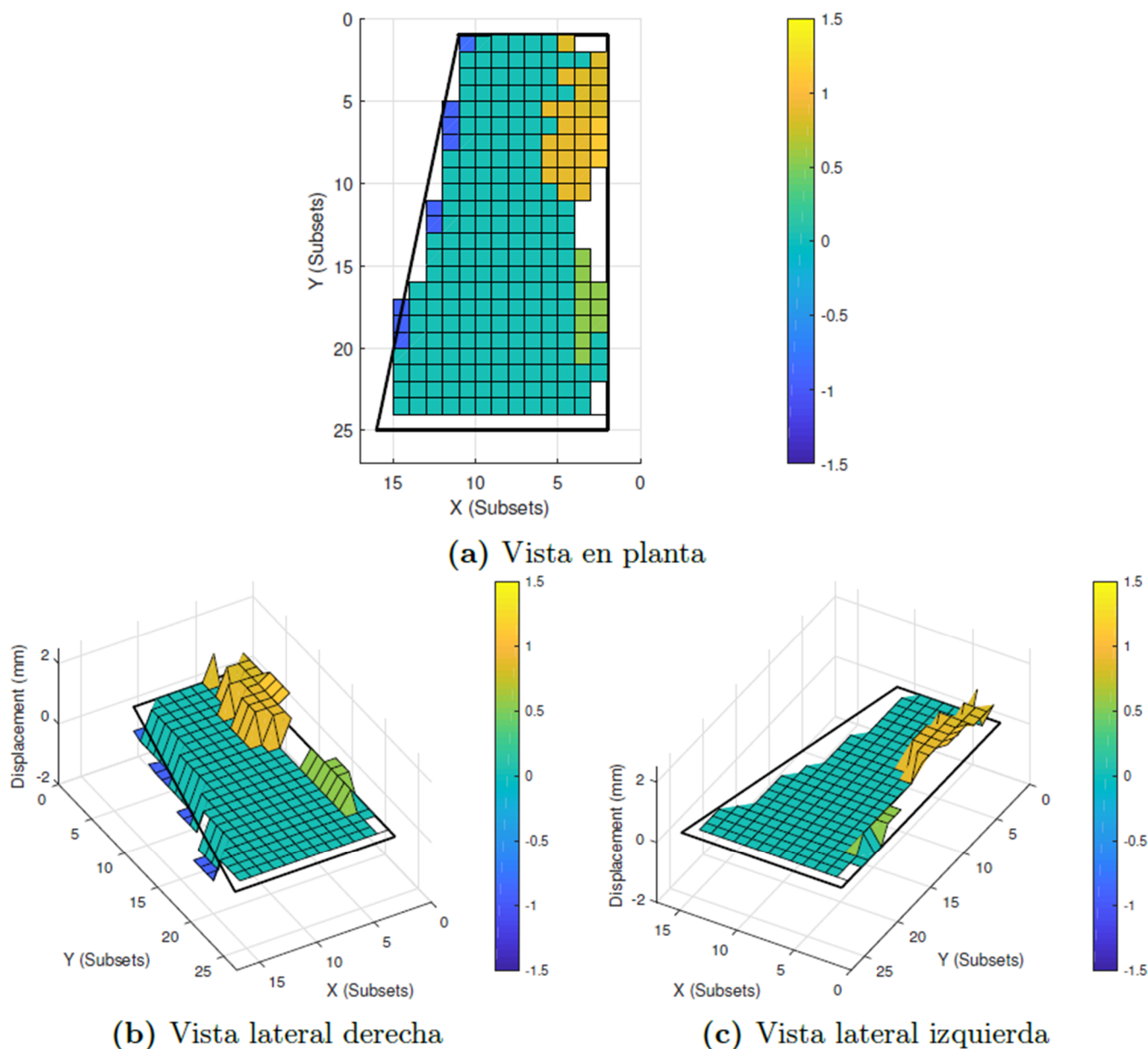


Figura 5. Representación estática del modo de vibración correspondiente a una frecuencia de excitación de 57.5 Hz.

4 Conclusiones

En este artículo, se propone una metodología basada en la correlación de imágenes para medir la respuesta dinámica de estructuras. Las principales ventajas de esta técnica es que es una metodología no invasiva y proporciona medidas en toda la superficie. Esto lo convierte en una técnica ideal para medir la respuesta de los satélites, cuya superficie es completamente cubierta por células solares u otros dispositivos que hacen que sea difícil medir la respuesta dinámica con acelerómetros. La diferencia principal de la metodología DIC propuesta, con respecto a las técnicas DIC existentes empleadas para

estudiar el comportamiento estructural, es que en lugar de pintar el patrón en la superficie de la estructura en este caso el moteado se proyecta sobre la superficie. Este aspecto hace que la forma de los puntos del moteado se vuelva crucial, lo que no permite utilizar las convoluciones típicas del DIC. Por lo tanto, los coeficientes de correlación cruzada de residuos adquieren un papel crucial. Para validar la metodología propuesta se aplicó la técnica en un ensayo de vibraciones realizado en una estructura de material compuesto. El alto nivel de precisión de la técnica de medición y la capacidad de identificar el modo dinámico (forma e intensidad) prueba el alto potencial y las capacidades de DIC 3D con un patrón proyectado.



Referencias

- [1] M.A. Sutton, J.H. Yan, V. Tiwari, H.W. Schreier, J.J. Orteu. "The effect of out-of-plane motion on 2D and 3D digital image correlation measurements." *Optics and Lasers in Engineering*, 46 (2008), 746-757
- [2] M.A. Sutton, J.J. Orteu, H.W. Schreire "Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements" (2009)
- [3] A. Souto-Janeiro, A. Fernandez-Lopez, M. Chimeno Manguan, P. Garcia Fogeda Nuñez P. Perez-Merino, Analysis of satellite vibration response using techniques of digital image correlation, 8TH European Conference for Aeronautics and Aerospace Sciences (2019)

