

CORRECCIÓN DE OCLUSIONES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN 3D EN OBJETOS COMPLEJOS

Luévano Portillo Daniel Eduardo, Anguiano Morales Marcelino, Trujillo Schiaffino Gerardo y Salas Peimbert
Didia Patricia, Corral Martínez Luis Francisco
Instituto Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chihuahua,
División de Estudios de Posgrado e Investigación,
Av. Tecnológico No 2909, Chihuahua, Chih., México 31310

ing.dluevano@gmail.com

RESUMEN

Existen muchos métodos ópticos para extraer la información geométrica de un objeto a partir de una imagen. Usando una imagen proyectada de luz estructurada con una frecuencia espacial conocida, es posible obtener datos 3D a través de triangulación. A menudo, los patrones de franjas tienen algunas áreas no deseadas debido a la alta luminancia, cambios drásticos en el perfil de la superficie del objeto bajo prueba o discontinuidades geométricas. También un gran ángulo de proyección afecta la calidad de los datos adquiridos. Estas áreas inválidas pueden introducir dificultades en procesamientos posteriores. Por lo tanto, a menudo se requiere "reparar" los patrones de franjas discontinuos.

En este trabajo, se propone un algoritmo de "inpaiting" para restaurar las áreas ocluidas y así aumentar la precisión de la profundidad de recuperación. El propósito de "inpaiting" es reconstruir la intensidad en las áreas inválidas, tan fielmente como sea posible. Luego, esta información se usa para facilitar la obtención del mapa de fase de forma adecuada en un paso posterior.

Palabras Clave: perfilometría, inpaiting, franjas discontinuas, error de fase, patrón senoidal.

ABSTRACT

There are many optical methods for extracting the geometric information of an object from an image. Using a projected image of structured light with a known spatial frequency, it is possible to obtain 3D data via triangulation. Sometimes the fringe patterns have some undesired invalid areas due to high luminance, drastic surface profile changes of the tested object, or geometric discontinuities. Also a large projection angle affects the quality of the acquired data. These invalid areas may introduce difficulties for further processing. It is hence often required to "repair" the discontinuous fringe patterns.

In this work, an inpaiting algorithm is proposed to restore the areas of shadows and thus increase the accuracy of the recovery depth. The goal of inpaiting is to reconstruct the intensity at the invalid areas, as faithfully as possible. Then this information is used to facilitate the obtaining of the phase map adequately at a later step.

Keywords: profilometry, inpaiting, discontinues fringes, phase error, sinusoidal pattern.

1. INTRODUCCIÓN

La perfilometría óptica de no-contacto se está convirtiendo en una importante herramienta de medición tanto en investigación científica como en aplicaciones industriales, como lo son modelados, manufactura, arqueología, sistemas de visión, etc. Diferentes métodos se han investigado y desarrollado, entre ellos los que son basados en proyección de franjas se han implementado ampliamente en aplicaciones prácticas debido a su bajo costo y simple configuración [1]. En la perfilometría por proyección de franjas, un conjunto de franjas con patrón sinusoidal es proyectado en la superficie a ser medida y una cámara CCD es posicionada con un ángulo de visión específico para capturar la distorsión de éstas mismas sobre la superficie [2]. Objetos o superficies complejas pueden crear zonas de oclusión debido a su topografía y, con esto, causando discontinuidad en algunas franjas lo que dificulta la obtención de la información. Entonces, al aumentar este ángulo de proyección se aumenta el vector de sensibilidad capturando una deformación de franjas más pronunciada y por ende una mejor reconstrucción de la superficie u objeto, desafortunadamente también aumenta la posibilidad de crear zonas de oclusión de las franjas proyectadas [3]. De estas imágenes capturadas podemos calcular el mapa de fase de las franjas distorsionadas usando el método de transformada de Fourier, para posteriormente obtener el perfil 3D de la superficie en unidades métricas que puede ser obtenido del mapa de fase desvenuelto usando una transformación por la geometría y triangulación del sistema óptico, el mapa de fase desvenuelta es un arreglo matricial que resulta de un algoritmo de desvenolvimiento el cual concatena las fases cada 2π a lo largo del arreglo y obtiene una distribución de fase continua para finalmente restar el arreglo matricial del patrón proyectado[4-5]. Si en la imagen original existen oclusiones estas discontinuidades pueden crear errores de fase y ocasionar un mapa de fase desvenuelta con brincos de fase que resultan en una reconstrucción final errónea en esta zona.

En esta investigación proponemos un algoritmo de restauración basado en la información del patrón sinusoidal. Demostramos que usando *inpaiting*, una herramienta de restauración de imágenes ampliamente usada en la industria de fotografía y

cine, las zonas de oclusión pueden ser llenadas con la información correspondiente o más probable. Además no nos limitamos a solo zonas de oclusión si no también se puede aplicar a zonas de alta reflectancia por parte de la superficie que está siendo analizada y que pueden generar también discontinuidades en las franjas proyectadas. Al pre-procesar estas zonas con un algoritmo de restauración podemos mantener un vector de sensibilidad mayor sin comprometer el proceso de reconstrucción con zonas de discontinuidad dentro de la imagen capturada [6].

En la siguiente sección, se describe brevemente los algoritmos de inpainting más populares, después el algoritmo de restauración desarrollado y su principio de operación, seguido de una descripción del arreglo experimental, sus pruebas y resultados. Las conclusiones son dadas en la sección 6.

2. INPAINTING

Inpainting es una técnica de procesamiento digital de imágenes que permite recuperar una parte dañada de la imagen o que tiene algún objeto que la oculta, esto es con el objetivo de mejorar su calidad, estas regiones son construidas en base a la información disponible dentro de la misma imagen. Dentro de los algoritmos más comunes de inpainting encontramos el algoritmo de "Texture synthesis" y el de "Total variation".

El primero es un proceso de construir algorítmicamente una imagen digital grande a partir de una imagen digital pequeña tomando como ventaja su contenido estructural, es decir en nuestro caso, muestrea la textura que bordea la región a ser restaurada, repitiendo en patrones de dos dimensiones con algo de aleatoriedad en tamaño, esta técnica es objeto de investigación en varios campos como edición digital de imágenes, gráficos computacionales, post-producción de video, etc [7]. Mientras que el segundo recrea las estructuras como líneas y contornos de objetos para posteriormente propagar la información del borde hacia adentro de la región de oclusión. La mayor desventaja de este método es el hecho que no puede reconstruir texturas, el algoritmo es eficiente cuando es aplicado a imágenes con pequeños daños, principalmente en la eliminación de ruido dentro de la imagen [8].

La mayoría del software comercial de procesamiento de imágenes utiliza algún tipo de algoritmo de restauración de imagen, el cual puede ser uno, varios o una combinación de algoritmos ya desarrollados.

Por la misma naturaleza de las imágenes con la cual se trabaja en perfilometría por luz estructurada, el algoritmo que mejor se adapta a este tipo de imágenes es el algoritmo de *Texture synthesis* ya que las imágenes a restaurar contienen patrones de repetitividad muy marcados lo que ayuda a reconstruir la textura con mayor facilidad, quedando el algoritmo de *Total variation* descartado para este tipo de aplicación.

3. ALGORITMO DE RESTAURACIÓN DESARROLLADO

Adicionalmente, nosotros desarrollamos un nuevo algoritmo de *inpainting* utilizando el software Matlab pensando en las características propias de la aplicación, la cual es reconstrucción de una superficie por medio de perfilometría de luz estructurada, teniendo esto como base y la utilización de un patrón sinusoidal que es modulado sobre esta superficie, se puede conocer la información faltante utilizando la información de este mismo patrón antes y después del área de oclusión. Para lograr esto se trabajó sobre la función sinusoidal la cual es descrita por la expresión matemática:

$$f(x) = a \sin(bx + c) + d$$

Los valores de amplitud, número de onda y fase, deben ser calculados tanto anterior como posterior al área a restaurar. Estos son calculados por cada línea de pixel en la imagen en donde se detectan los cambios de pendiente dentro de los valores lineales, al detectar tres cambios se obtiene la información de la onda sinusoidal así como su fase. Al realizar este procedimiento antes y después del área a restaurar tenemos como resultado dos ondas sinusoidales la cuales serán la base para completar la información faltante en donde cada pixel a restaurar se considera como un "step" al aproximarse desde la función sinusoidal anterior a la función sinusoidal posterior. Por lo que la función de restauración se puede definir por la expresión:

$$f_r(x) = f_1(x) + \left(\frac{f_2(x) - f_1(x)}{k} \right)$$

Dónde:

$f_r(x)$ es la función sinusoidal de restauración.

$f_1(x)$ es la función sinusoidal anterior al área de restauración.

$f_2(x)$ es la función sinusoidal posterior al área de restauración.

k es la longitud del área de restauración.

Al igual que muchos algoritmos de *inpainting*, puede desempeñarse de mejor o peor manera dependiendo de varios factores, por ejemplo, la naturaleza de las imágenes a analizar, tamaño de la imagen, tamaño de la zona a restaurar, cambios de alta frecuencia en la imagen, respetabilidad en valores de intensidad de la imagen, contraste de la imagen, etc. Por lo que es de gran importancia encontrar el algoritmo de *inpainting* que mejor se adapte a la aplicación de interés.

4. ARREGLO EXPERIMENTAL

Un arreglo experimental fue implementado para hacer pruebas en laboratorio, el cual consta de un proyector comercial Toshiba de resolución 800x600 y una cámara CCD Thorlabs de resolución 1280x1024 en un arreglo triangular como se muestra en la Figura 1 [9].

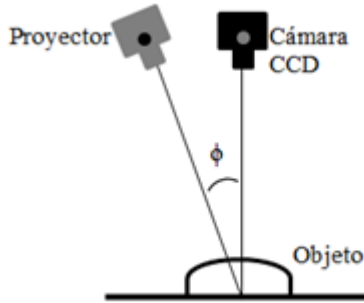


Figura 1. Arreglo experimental.

5. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Primeramente, para demostrar el efecto de la utilización de *inpainting* en imágenes con zona de oclusión se decidió hacer dos pruebas de laboratorio, la primera consiste en la reconstrucción del objeto de prueba sin utilización de algoritmo de restauración y posteriormente utilizando el algoritmo de restauración desarrollado en este trabajo de investigación. La segunda prueba consiste en el mismo procedimiento pero utilizando el algoritmo de restauración *Texture synthesis* mostrando los resultados de ambas pruebas.

5.1. Resultados algoritmo de restauración desarrollado

5.1.1 Reconstrucción de superficie compleja sin *Inpainting*

Para esta prueba un patrón sinusoidal es proyectado sobre una superficie circular la cual se le realizó una concavidad en el centro para generar una discontinuidad en el patrón proyectado como se aprecia en la Figura 2.

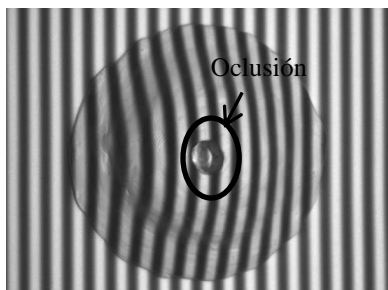


Figura 2. Superficie a reconstruir y su zona de oclusión.

Al realizar el proceso de reconstrucción 3D en Matlab por método de Fourier tenemos que al calcular la fase envuelta se tiene un defecto en esta zona lo cual podemos observar en la Figura 3(a). Lo mismo para la fase desenvuelta en la cual podemos observar el salto de fase en la Figura 3(b). Esta

singularidad defecto afecta a la reconstrucción final una solución recurrente a este problema es enmascarar esta zona y dejarla sin información, lo que nos da como resultado una reconstrucción incompleta y poco estética, pero como se verá en la siguiente sección, si se hace un procesado de restauración en esta zona se puede obtener un mapa de fase continuo para la misma imagen.

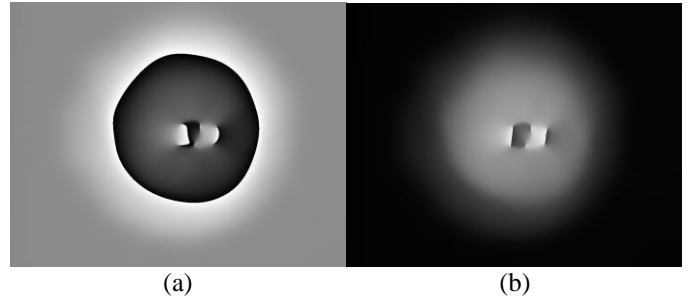


Figura 3. (a) Mapa de fase envuelta del patrón con defecto, (b) Mapa de fase desenvuelta con defecto.

5.1.2 Reconstrucción de superficie compleja con *Inpainting*

En esta etapa implementaremos nuestro algoritmo propuesto a la imagen mostrada en la Figura 2. Después de aplicar el algoritmo de *inpainting* la región con defecto ha sido restaurada satisfactoriamente. En la Figura 4, se puede apreciar que se tienen franjas continuas donde no lo eran.

Una vez restaurada la imagen con el patrón de franjas, se procede a obtener el mapa de fase. En la Figura 5(a) se aprecia la fase envuelta sin defecto, por consiguiente la fase desenvuelta se obtiene sin defecto, a diferencia de la fase desenvuelta mostrada en la Figura 3 (b) que posee una singularidad. Finalmente al hacer la reconstrucción final se tiene un resultado satisfactorio sin ningún defecto como se puede apreciar en la Figura 6.

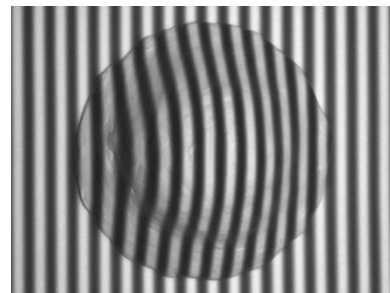


Figura 4. Objeto a reconstruir y su zona de oclusión.

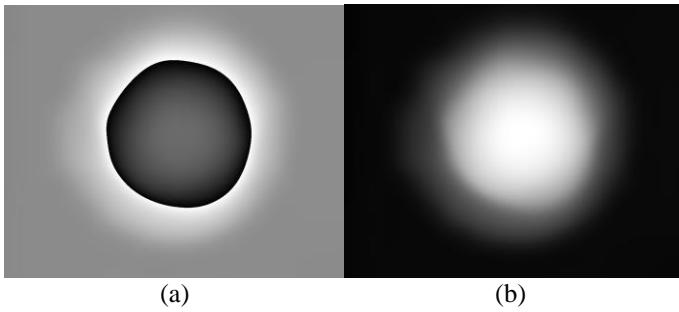


Figura 5. (a) Mapa de fase envuelta del patron sin defecto, (b) Mapa de fase desenvuelta sin defecto.

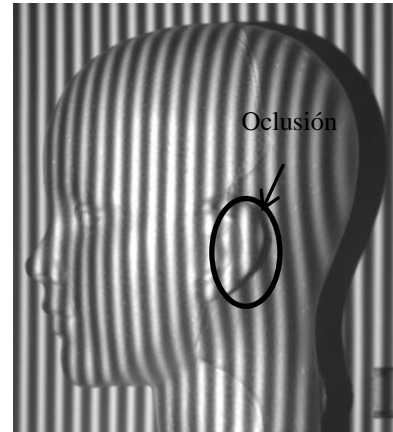


Figura 7. Objeto a reconstruir y su zona de oclusionion

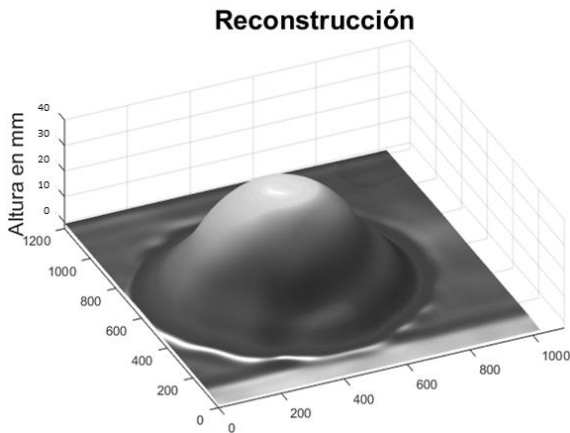


Figura 6. Reconstrucción final 3D algoritmo desarrollado.

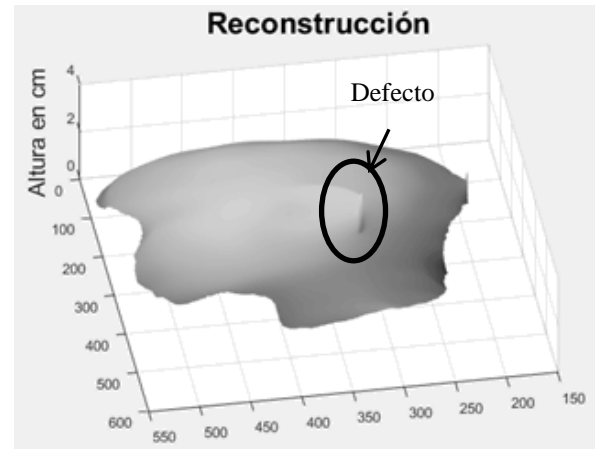


Figura 8. Defecto en la reconstrucción 3D sin inpainting.

5.2. Resultados algoritmo de restauración *Texture synthesis*

5.2.1 Reconstrucción de objeto complejo sin *Inpainting*

En esta prueba un patrón sinusoidal es proyectado sobre un maniquí simulando un perfil humano, éste crea una zona de oclusión justo en la zona de la oreja como se puede apreciar en la Figura 7. Nuevamente sin restaurar el área de oclusión y al realizar el proceso de reconstrucción 3D, esta zona de discontinuidad puede ocasionar salto de fase y por lo tanto un error en la reconstrucción final como se muestra en la Figura 8, si hacemos un perfil de línea de izquierda a derecha sobre esta área tenemos un defecto debido al salto de fase como lo muestra la Figura 9.

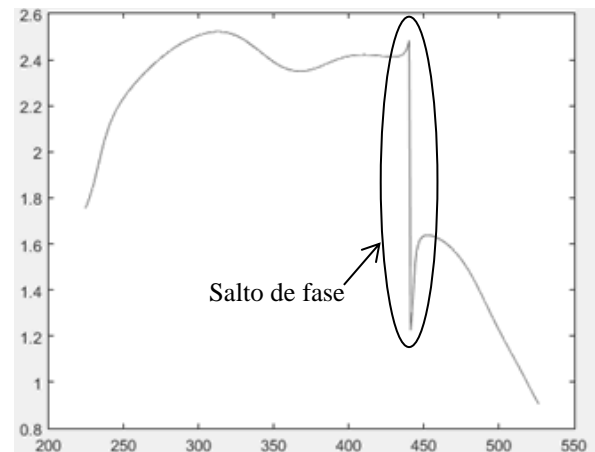


Figura 9. Perfil de línea del área de oclusión mostrando el error.

5.2.2 Reconstrucción de objeto complejo con *Inpainting*

Posteriormente, la misma imagen se sometió a un proceso de *inpainting* previo a la reconstrucción 3D, el algoritmo utilizado fue el *Texture synthesis* para lo cual nos apoyamos en el software Mathematica 10.0 de Wolfram el cual incorpora este algoritmo dentro de su función de *inpainting*[10]. Al restaurar esta imagen la zona de oclusión disminuyó en gran medida como se puede observar en la Figura 10, el proceso de reconstrucción de esta zona tiene una notable mejora y su reconstrucción final es de mejor calidad como lo muestra la Figura 11. Finalmente, se realiza un perfil de línea de izquierda a derecha sobre la misma zona tenemos que el defecto debido al salto de fase ha sido corregido satisfactoriamente como se puede observar en la Figura 12.

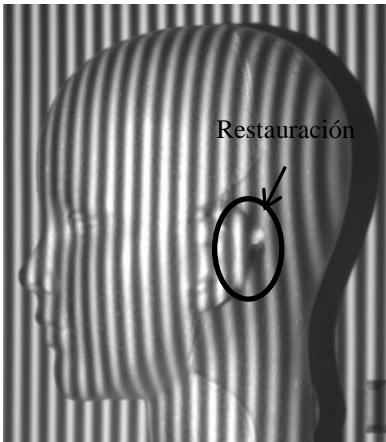


Figura 10. Restauración en la zona de oclusión.

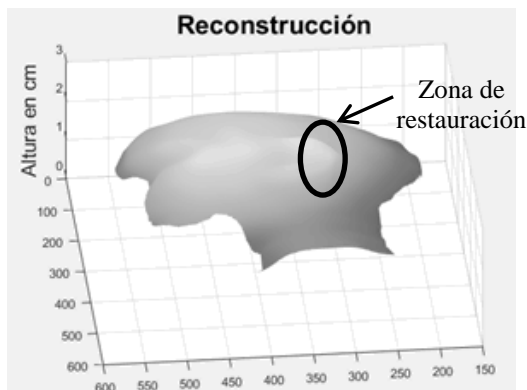


Figura 11. Reconstrucción 3D con *inpainting*

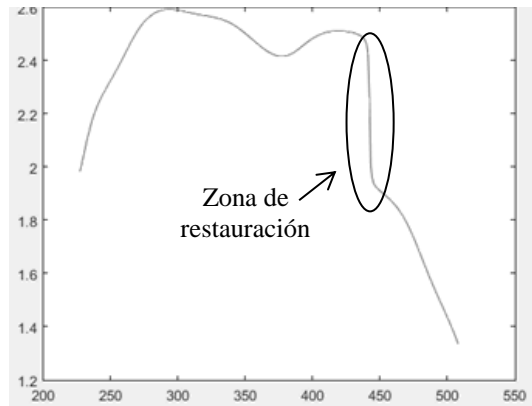


Figura 12. Perfil de línea del área de oclusión mostrando la disminución del error.

6. CONCLUSIONES

Un algoritmo de *inpainting* puede ser utilizado para la corrección de discontinuidades debido a oclusiones en una imagen que ha de ser reconstruida por método de proyección de luz estructurada. Algunas de las ventajas de hacer este pre-procesado es que es rápido y puede ser fácilmente introducido en el proceso de reconstrucción 3D, al poder procesar las oclusiones se puede incrementar el ángulo de sensibilidad entre proyector y cámara creando así una reconstrucción continua y de mejor calidad. Además, evita la tarea de corregir o enmascarar estas zonas posteriormente en la reconstrucción final. Se desarrolló un algoritmo de *inpainting* especial para su aplicación en perfilometría, adicionalmente se experimentó con un algoritmo de *inpainting* general usado principalmente en software comercial, ambos experimentos demostraron que un algoritmo de *inpainting* puede funcionar para la restauración de oclusiones.

7. REFERENCIAS

- [1] E. B. Li, X. Peng, J. Xi, J. F. Chicharo, J. Q. Yao and D. W. Zhang, "Multi-frequency and multiple phase-shift sinusoidal fringe projection for 3D profilometry," *Optical Society of America*, Vol. 13, No. 5, 2005, pp. 1561-1569
- [2] J. Salvi, S. Fernandez, T. Pribanic, and X. Llado, "A State of the Art in Structured Light Patterns for Surface Profilometry," *Pattern Recognition*, Vol. 43, No. 8, 2010, pp. 2666-2680.
- [3] S. Im, Y. Lee, J. Kim, and M. Chang, "A Solution for Camera Occlusion Using a Repaired Pattern from a Projector," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 17, No. 11, 2016, pp. 1443-1450.
- [4] M. Takeda, H. Ina, and S. Koboyashi, "Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computer-based topography and interferometry," *J. Opt. Soc. Am.* 72, 1982, pp. 156-160
- [5] M. Takeda and H. Motoh, "Fourier transform profilometry for the automatic measurement of 3-D object shapes," *Appl. Opt.* 22, 1983, pp. 3977-3982.
- [6] Sicardi-Segade, A., Estrada, J. C., Martínez-García, A., & Garnica, G. (2015). On axis fringe projection: A new method for shape measurement. *Optics and Lasers in Engineering*, 69, 29-34.

- [7] A. Efros and W. T. Freeman, "Image quilting for texture synthesis and transfer," in Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, ASSOC Computing Machinery, 2001, pp. 341-346.
- [8] T. F. Chan, and J. H. Shen, "Non-texture inpainting by curvature driven diffusions," J. Visual Commun. Image Rep. 4, 2001, pp. 436-449.
- [9] S. S. Gorthi and P. Rastogi, "Fringe Projection Techniques: Whither We Are?" Optics and Lasers in Engineering, Vol. 48, No. IMAC-REVIEW-2009-001, 2010, pp. 133-140.
- [10] Wolfram Mathematica 10.0 manual and guide documentation center, Image Processing & Analysis, Inpainting [en línea], disponible: <http://reference.wolfram.com/language/guide/ImageProcessing.html> visitado: 26/Jun/2018.