

PROYECTO FINAL DE INSTRUMENTACIÓN ÓPTICA

Título del proyecto:

**IMPLEMENTACIÓN DE CVT PARA EL FILTRADO DE SPECKLE EN
MAPAS DE FASE EN DHI**

Presentado por:

**CRISTIAN LOPERA TRUJILLO
MARIA PAULA REY BARRERA**

Presentado a:

CARLOS ALEJANDRO TRUJILLO ANAYA

Coordinador de la materia

**INGENIERÍA FÍSICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FÍSICAS
ESCUELA DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD EAFIT
MEDELLÍN
2021**

RESUMEN

La interferometría holográfica digital es una técnica interferométrica que, como cualquier otra, es de gran utilidad para la obtención de información de diversas características de una muestra bajo estudio, y por su propia naturaleza con la que es llevada a cabo, las imágenes obtenidas presentan un ruido conocido como *Speckle*, el cual limita y entorpece la información cualitativa y cuantitativa a obtener. En este proyecto, se propone la implementación de un algoritmo basado en la *Curvelet Transfer* para la reducción de ruido en mapas de fase obtenidos por DHI. Los resultados dan a entender que la implementación puede ser mejorada con una versión más optimizada.

ABSTRACT

Digital holographic interferometry is an interferometric technique that, like any other, is very useful for obtaining information on various characteristics of a sample under study, and by its very nature with which it is carried out, the images obtained present a noise known as *Speckle*, which limits and hinders the qualitative and quantitative information to be obtained. It is proposed to implement an algorithm based on *Curvelet Transfer* for denoising in phase maps obtained by DHI. The results give a sense that the implementation can be improved with a more optimized version.

PALABRAS CLAVE

- **Curvelet Transfer (CVT):** Función que permite discretizar espacialmente la información frecuencial de una imagen a partir de unos coeficientes, los cuales son utilizados para reducir el ruido existente en la imagen.
- **Envolvimiento de fase:** Fenómeno producto de la discontinuidad de la función \tan^{-1} con la cual es reconstruida la fase de un holograma.
- **Interferometría Holográfica Digital (DHI):** Técnica interferométrica descendiente del DH, utilizada con bastante frecuencia para la obtención de información de superficies sometidas a esfuerzos o desplazamientos.
- **Mapa de fase:** Reconstrucción en fase desenvuelta de un holograma con el que se pretende sacar información cuantitativa en fase de una muestra en cuestión.
- **Reconstrucción numérica:** Proceso computacional llevado a cabo por algoritmos discretos que aproximan la integral de difracción para adquirir información volumétrica a lo largo del eje de propagación de la luz registrada.
- **Speckle:** Patrón de ruido propio de las técnicas interferométricas que usan coherencia temporal, debido a la interferencia aleatoria de fuentes de ondas esféricas producidas por la rugosidad de una superficie.

INTRODUCCIÓN

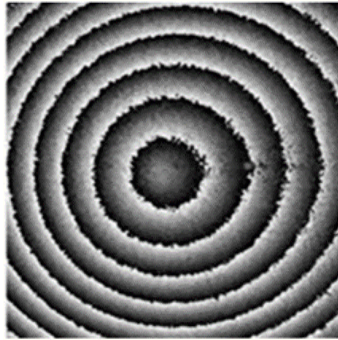
La interferometría holográfica es una técnica que permite medir los desplazamientos estáticos y dinámicos de objetos con superficies ópticamente rugosas con precisión interferométrica [1]. La interferometría holográfica ha proporcionado una nueva herramienta en metrología que se puede emplear para llevar a cabo mediciones precisas de superficies en circunstancias en las que la interferometría clásica es de difícil implementación. Estas mediciones se pueden aplicar al análisis de tensión, deformación y vibración, así como a pruebas no destructivas (*Holographic nondestructive testing*) y dosimetría de radiación [2]. También se puede utilizar para detectar variaciones en la longitud de la trayectoria óptica en medios transparentes, lo que permite, por ejemplo, visualizar y analizar el flujo de fluido [3].

En la interferometría holográfica, dos o más haces se superponen coherentemente en un montaje óptico. Esta superposición se registra y se reconstruye numéricamente con el fin de recuperar la información de los objetos bajo estudio. No obstante, debido a la coherencia tanto temporal como espacial de las fuentes de iluminación en interferometría holográfica, ocurre un efecto propio de la técnica el cual es llamado *Speckle* (traducción del inglés de la palabra "moteado"). En la interferometría holográfica, el *Speckle* normalmente es indeseado, ya que influye en la resolución alcanzable y la precisión de la medición [4].

En el mundo digital, se han utilizado diferentes tipos de filtros con algoritmos propios que ofrecen soluciones a la reducción de ruido de *Speckle*. Algunos de los más utilizados son el filtro Gaussiano, filtro de mediana, filtro Wiener, filtro bilateral y, también se tienen varios métodos de filtrado basados en la transformada de Fourier [5] [6]. Mas allá de las anteriores propuestas, el ruido de *Speckle* sigue siendo una limitante común en la interferometría holográfica digital, por lo que nuevas propuestas para su reducción, en particular en las reconstrucciones en fase, son siempre bienvenidas.

En la Figura 1 se presenta una reconstrucción en fase que se encuentra aún envuelta, y en la que es posible notar a simple vista la presencia del ruido *Speckle*, el cual limita el contraste característico de una imagen envuelta, y el cual afectará en el posterior proceso de desenvolvimiento, pudiendo llegar a introducir valores de fase que no son propios del objeto, siendo por esta razón indeseado.

Figura 1. Reconstrucción en fase envuelta con notable ruido *Speckle* [4].



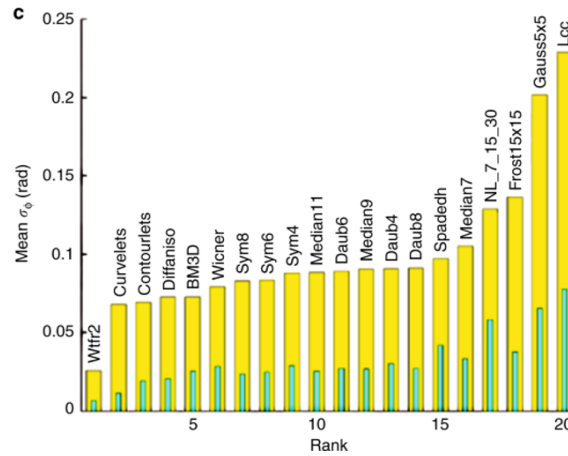
Se hace entonces necesario plantear estrategias alternativas para la reducción del ruido de *Speckle* de forma efectiva y eficaz, a través de modificaciones físicas al montaje óptico tradicional y/o procesamiento numérico de las reconstrucciones digitales obtenidas.

1. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada para la realización del proyecto consiste en varios puntos base que se desarrollan a continuación:

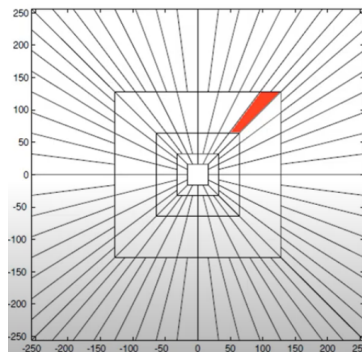
- **Revisión bibliográfica y elección de método digital de filtrado.** En un principio, el proyecto estaba enmarcado en el marco del hardware, en donde se había propuesto como método de para reducción de *Speckle* la técnica conocida como *Multi-look Digital Holography* (MLDH). Esta técnica está basada en la recopilación de una cantidad de imágenes pertenecientes a una misma escena, en donde cada una de ellas tiene una distribución de *Speckle* diferente y decorrelacionado, es decir, la diferencia de fase entre cada uno de los patrones se mantiene constante. Sin embargo y por una limitante de tiempo dada a en la ejecución del proyecto, se propone una revisión bibliográfica en torno a técnicas digitales que sirvan de alternativa para resolver este mismo problema. En la Figura 2 se observa un ranqueo de diferentes técnicas comunes para la reducción de ruido. En particular, vemos que como alternativa numero 2, aparece el Curvelet Transform, con una desviación estándar considerablemente baja. Teniendo en cuenta que el objetivo es comparar los resultados con un código ya existente que realiza un filtrado con wft2f (que aparece de primera opción), se elige al CVT como algoritmo final a implementar.

Figura 2. Clasificación de 20 algoritmos de eliminación de ruido seleccionados en términos de desviación estándar media del error de fase [5].



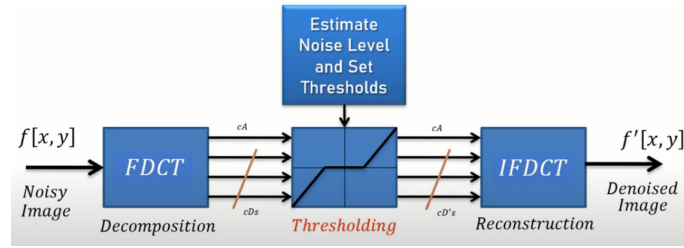
La discretización de la información de una imagen que realiza el CVT está esquematizada en la Figura 3, en donde cada cuadro representa la escala del curvelet, y cada división dada por las líneas y los cuadros representa una orientación. Por ejemplo, en la figura se resalta con rojo un curvelet dado por la cuarta escala y la quinta orientación. Vemos que a mayor escala, mayores frecuencias espaciales es posible registrar. Una vez implementado el CVT, la primera escala representa el coeficiente de aproximación (cA), mientras que el resto representan los coeficientes de detalle (cD).

Figura 3. Discretización espacial en una imagen en escalas y orientaciones dada por el CVT.



- **Implementación de algoritmo.** El esquema en el cual se basa la implementación del algoritmo del CVT para reducción de ruido es mostrado en la Figura 4, en donde se observa una imagen ruidosa como entrada, la cual pasa por 3 procesos principales: la descomposición o discretización (como se vio en la Figura 3), la estimación del ruido que tiene la misma y el establecimiento de un umbral o nivel mínimo de ruido al partir del cual se realiza el filtro, luego se vuelve saca la función inversa para convertir los coeficientes en la nueva imagen con ruido reducido.

Figura 4. Esquema de la implementación realizada con CVT para el filtrado de ruido.

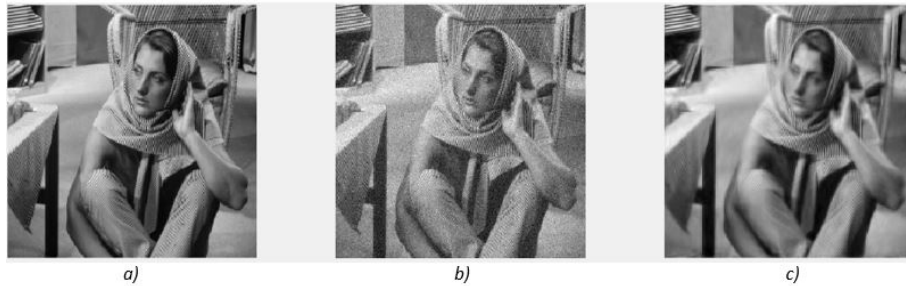


Es importante destacar que se hace uso del software MATLAB para esta implementación, utilizando particularmente un Toolbox del CVT en su primera generación [7], la cual tiene ciertas limitaciones y problemas de optimización, los cuales determinarán contundentemente la calidad de las imágenes obtenidas.

2. RESULTADOS

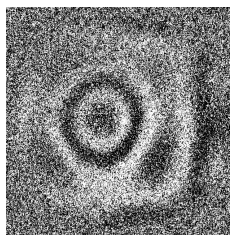
Previo a la implementación en mapas de fase, el filtro se pone a prueba con una imagen a la cual se le añade de manera intencional un ruido gaussiano, como se observa en la Figura 5. La imagen resultante se caracteriza por un suavizado en zonas de poca frecuencia espacial, y un buen contraste en zonas de alta frecuencia espacial.

Figura 5. Implementación previa en imagen con ruido gaussiano. a) Imagen original, b) Imagen ruidosa, c) Imagen filtrada con CVT.



Luego, se muestra a continuación en la Figura 6 el mapa de fase original sin ningún filtro, en el cual se aprecia una notable presencia de ruido *Speckle* distribuido de manera homogénea en toda la imagen.

Figura 6. Mapa de fase sin filtrar, con notable presencia de *Speckle*.



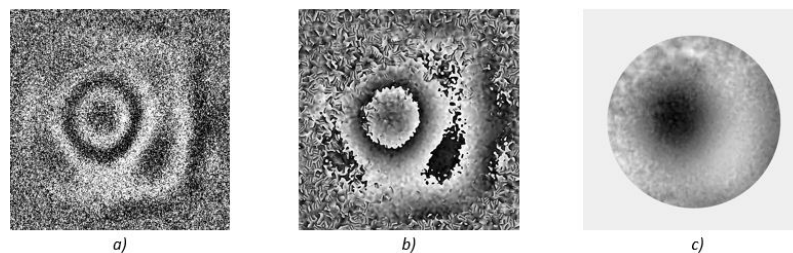
Una vez enseñada la imagen de referencia, en la Figura 7 se observan los resultados obtenidos al aplicar el CVT en la imagen original, donde podemos notar una clara presencia de ruido que no ha logrado ser filtrado, y un incremento en este mismo ruido a medida que el *threshold* aplicado es aumentado. Es también necesario destacar que la implementación del filtro toma en promedio uno 9 minutos, lo cual es una cantidad de tiempo considerable.

Figura 7. Resultados de filtro por CVT, de izquierda a derecha la ubicación de filtros de menor a mayor nivel de *threshold*.



Si comparamos los resultados del filtro por CVT con los obtenidos por wft2f, los cuales son mostrados en la Figura 8, se aprecia una mejora notable en el filtrado de la imagen original, la cual incluso puede ser mejorada (ya que se aplicó una ventana de 5 para el método en cuestión). En comparación con el filtro CVT, el filtrado de ruido por wft2f toma alrededor de solo 13 segundos por imagen.

Figura 8. Filtrado realizado con wft2f. a) Imagen original, b) Imagen filtrada, c) Imagen desenvuelto con máscara circular.



3. CONCLUSIONES

- El CVT implementado en código tuvo resultados satisfactorios con fotografías con ruidos gaussianos. Sin embargo, a la hora de implementarlo en los mapas de fase, el resultado no es el esperado.
- En comparación con el wft2f, el CVT es computacionalmente menos eficiente y el resultado obtenido no es preciso.
- Se requiere implementar nuevas versiones del CVT, en donde la función presenta una mayor optimización.

REFERENCIAS

- [1] N. Múnera Ortiz, C. A. Trujillo y J. García-Sucerquia, «Digital holographic interferometry accelerated with GPU: application in mechanical micro-deformation measurement operating at video rate,» en *8th Iberoamerican Optics Meeting and 11th Latin American Meeting on Optics, Lasers, and Applications*, vol. 8785, 2013. DOI: 10.1117/12.2021693.
- [2] A. M. Beigzadeh, M. R. Vaziri y F. Ziaie, «Modelling of a holographic interferometry based calorimeter for radiation dosimetry,» *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 864, 2017, ISSN: 01689002. DOI: 10.1016/j.nima.2017.05.019.
- [3] J.-M. Desse, P. Picart y P. Tankam, «Digital three-color holographic interferometry for flow analysis,» *Optics Express*, vol. 16, n.º 8, 2008, ISSN: 1094-4087. DOI: 10.1364/oe.16.005471.
- [4] U. Schnars y W. Jüptner, «Direct recording of holograms by a CCD target and numerical reconstruction,» *Applied Optics*, vol. 33, n.º 2, 1994, ISSN: 0003-6935. DOI: 10.1364/ao.33.000179.
- [5] V. Bianco, P. Memmolo, M. Leo, S. Montresor, C. Distante, M. Paturzo, P. Picart, B. Javidi y P. Ferraro, *Strategies for reducing speckle noise in digital holography*, 2018. DOI: 10.1038/s41377-018-0050-9.
- [6] Z. Zhong, W. Xiao, F. Pan y L. Che, «Coherent noise reduction in digital holographic interferometry by slightly rotating object,» en *Selected Papers of the Chinese Society for Optical Engineering Conferences held October and November 2016*, vol. 10255, 2017. DOI: 10.1117/12.2268135.
- [7] S. Palakkal, *Ridgelet and Curvelet first generation Toolbox*, <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31559-ridgelet-and-curvelet-first-generation-toolbox>, [MATLAB Central File Exchange. Retrieved June 8, 2021.], 2012.