

DETERMINACIÓN DE FORMAS TRIDIMENSIONALES POR TOPOGRAFÍA MOIRÈ

Jorge Alexis Herrera R^{*}. y Jorge García-Sucerquia
Escuela de Física - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

RESUMEN

Determinar deformaciones, relieves o desplazamientos por técnicas de no contacto ha sido uno de los frentes de trabajo adoptados por numerosos grupos de investigación. Las técnicas desarrolladas para este fin con base en el efecto moirè, han recibido bastante atención por su alta potencialidad para ser implementadas como una herramienta de campo, por ejemplo en líneas de producción. Se presenta en este trabajo una herramienta automática para determinar formas tridimensionales de objetos opacos, empleando de manera combinada el sombreado moirè y la técnica de corrimiento de fase. La selección adecuada del periodo de la red tipo Ronchi a proyectar, de los ángulos de proyección y observación, así como también los valores de corrimiento de fase, nos permiten discriminar detalles submilimétricos del objeto estudiado. Presentamos resultados experimentales de la implementación de la técnica, con la optimización de los parámetros que hacen posible los resultados mencionados.

Palabras claves: sombreado moirè, contorneado

INTRODUCCIÓN

El termino moirè se refiere a la superposición en intensidad de dos o más patrones con geometrías regulares. La franjas moirè que se forman por la superposición de dos rejillas, pueden ser utilizadas para determinar deformaciones y topografía de superficies incluyendo aplicaciones tales como contorneado de grandes objetos, obtención de diferencias entre formas, desplazamientos musculares en bioingeniería, mediciones en cuerpos con fines médicos, desgaste de materiales, cambios en desplazamiento, etc. [1-4]. Para tales aplicaciones se usan dos técnicas que son: la técnica de proyección moirè y la técnica de sombreado moirè. En la técnica de proyección moirè se utiliza la proyección de una rejilla sobre el objeto y se observa a través de otra llamada de referencia, originando por esta superposición las franjas moirè. La técnica de sombreado moirè utiliza una sola rejilla, su sombra es proyectada sobre el objeto y al observar éste a través de la rejilla se forman las franjas moirè por la superposición del patrón de ésta y su sombra. Este patrón de franjas representa la elevación fuera del plano de la superficie y es esencialmente un mapa de contornos del objeto estudiado. Este mapa de contornos puede ser reconstruido por medio de diferentes métodos, aquí utilizaremos la técnica de corrimientos de fase [5,6], en particular aplicaremos el algoritmo de Hariharan-Schwider [7].

* email: jaherrer@unalmed.edu.co

DISCUSIÓN TEÓRICA

Considerando rejillas lineales unidimensionales que pueden ser descritas por una función de transmitancia senosoidal como la siguiente:

$$T(x, y) = a + a \cdot \cos(\mathbf{f}) \tag{1}$$

Donde \mathbf{f} , el argumento de la función coseno, es igual a $\left(\frac{2\mathbf{p}}{p}\right)x$ y p es el período espacial de la rejilla. Si bien en las aplicaciones prácticas se utilizan regularmente rejillas de función cuadrada, éstas también son descritas por la ec. 1 ya que se pueden expresar como suma de rejillas senosoidales.

El patrón moiré está descrito por el producto de las transmitancias que corresponden a las rejillas que fueron superpuestas.

$$T_1 = a_1 + a_1 \cdot \cos(\mathbf{f}_1) \tag{2}$$

$$T_2 = a_2 + a_2 \cdot \cos(\mathbf{f}_2) \tag{3}$$

$$T_1 * T_2 = a_1 a_2 + a_1 a_2 \cdot \cos(\mathbf{f}_1) + a_1 a_2 \cdot \cos(\mathbf{f}_2) + a_1 a_2 \cdot \cos(\mathbf{f}_1) \cos(\mathbf{f}_2) \tag{4}$$

Los tres primeros términos de la ec. (4) proveen características que pueden ser observadas en cada rejilla separadamente. El cuarto término es el que porta la información de interés y puede ser reescrito de la siguiente manera:

$$\left(\frac{a_1 a_2}{2}\right) \cos(\mathbf{f}_1 - \mathbf{f}_2) + \left(\frac{a_1 a_2}{2}\right) \cos(\mathbf{f}_1 + \mathbf{f}_2) \tag{5}$$

Este término muestra que en la superposición de dos rejillas se obtiene la diferencia y la suma de la fase de éstas. El primer término de la ec. 5. representa la diferencia que da información de la no igualdad de los períodos o de desplazamientos relativos entre las rejillas, este término corresponde a una modulación de todo el patrón, es decir, el patrón moiré.

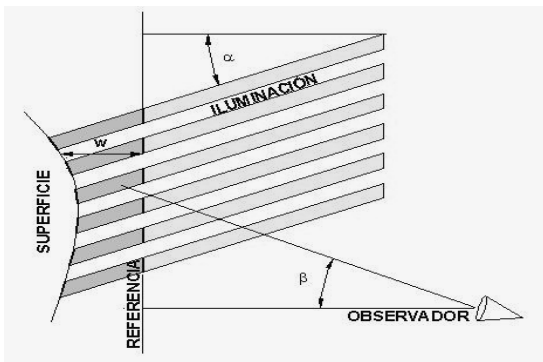


Fig. 1. Formación de franjas en sombreado moiré

Si la rejilla se ubica sobre la superficie y es iluminada con un ángulo de incidencia \mathbf{a} (medido desde la normal de la rejilla) y es vista con un ángulo \mathbf{b} (Fig. 1), se produce el fenómeno conocido como sombreado moiré. Este método es el que se ha utilizado en este trabajo para obtener el contorno de la superficie en estudio. Ha sido un tema ampliamente estudiado que la en la técnica de sombreado moiré, la altura

w de un punto de coordenadas (x,y) puede ser expresada como:

$$w(x, y) = \frac{Np}{\tan \mathbf{a} + \tan \mathbf{b}}, \quad (6)$$

donde N franjas entre dos puntos específicos, p es el periodo de la rejilla, y \mathbf{a} y \mathbf{b} son los ángulos de iluminación y observación, respectivamente.

Una vez generados los patrones de moiré por el método del sombreado, se introducen los corrimientos de fase propios del algoritmo de Hariharan-Schwider [7], es decir, un desfase de $\pi/2$ entre las imágenes sucesivas. Se obtiene seguidamente el mapa de fase módulo 2π , que después de ser desenvuelto permite obtener la superficie del objeto en estudio.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En Fig. 2 se tienen los mapas de fase obtenidos con dos rejillas diferentes, tal que en la Fig.

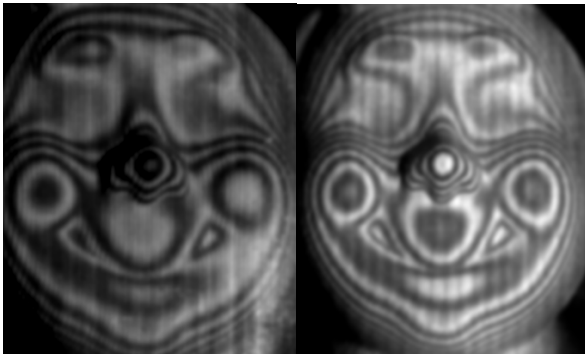


Fig. 2 a b

2a se utilizó una rejilla de 2 líneas por mm. y en la Fig. 2b una rejilla de 3 líneas por mm. Como se puede observar en la Fig. 2b se tiene un mayor número de franjas de contorno, es decir, una mayor resolución para los mismos valores de los ángulos de iluminación y observación, resultado consistente con los expresado por la ec. (6). A continuación se mostrará la reconstrucción de una

superficie problema aprovechando la mayor resolución obtenida con el uso de una rejilla de 3 líneas por mm.

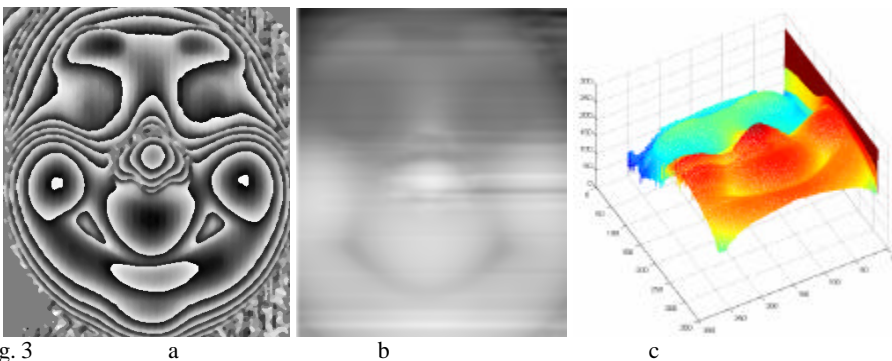


Fig. 3 a b c

En La Fig. 3 se muestra los pasos normales para obtener reconstruir una superficie por técnicas de corrimiento de fase. La Fig. 3a muestra el mapa de fase modulo 2π , la Fig. 3b se tiene la imagen en niveles de grises que corresponde al desenvolvimiento de fase a partir de la Fig.

3a y finalmente la Fig. 3c es la superficie reconstruida. Para la obtención de estos resultados se utilizaron en el montaje los siguientes valores de los parámetros: $p = 0.667\text{mm}$ (3 ln/mm.), $\mathbf{a} = 0^\circ$ y $\mathbf{b} = 40^\circ$ lo que da un intervalo de contorno 0.795mm , redundando en el detalle que se puede ver en Fig 3c.

CONCLUSIONES

La buena utilización de esta técnica esta asociada, además de la optimización del montaje óptico, al análisis de las imágenes por medio de un software lo suficientemente robusto para el desenvolvimiento de fase y así su implementación en el laboratorio puede ser llevada a cabo de una manera relativamente sencilla.

Los intervalos de contorno están determinados por el ángulo de incidencia, de observación y por el periodo espacial de la red utilizada. Según lo mostrado con una red de tres líneas por milímetro, un ángulo de observación de 40° y 0° en el de la iluminación, esto para evitar la aparición de zonas con sombras, se alcanza un buen contraste en las franjas y un intervalo de contorno adecuado para el montaje.

REFERENCIAS

- [1]. Takasaki, H. *Moiré topography*, Appl. Opt., 12, 845 (1973).
- [2]. Sciammarella, C.A., *Use of gratings in strain análisis*, j. Phys. E., 5, 833 (1972).
- [3]. L. Pirodda, *Shadow and projection moiré techniques for absolute or relative mapping of surface shapes*, Opt. Eng. 21, 640-649 (1982).
- [4]. G. T. Reid, R. C. Rixon, and H I. Messer, *Absolute and comparative measurements of three-dimensional shape by phase measuring moiré topography*, Opt. Laser Technol. 16, 315-319 (1984).
- [5]. T. Yoshizawa and T. Tomisawa, *Shadow moiré topography by means of phase shift method*, Opt. Eng. 32, 1668-1674 (1993).
- [6]. J. Dirckx, W. F. Decraemer, and G. Dielis, *Phase shift method based on object translation for full field automatic 3-D surfacereconstruction from moiré topograms*, Appl. Opt. 27, 1164-1169 (1988).
- [7]. Malacara, D., Servin, M. & Malacara Z. *Interferogram analysis for optical testing*. Marcel Dekker, New York, 196-199. (1998).
- [8]. Gasvid, Kjell, J. *Optical Metrology*. John Wiley & sons 117-127 (1987).