



IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS FOTOELÁSTICOS A TRAVÉS DEL PROCESAMIENTO DE IMAGEN DIGITAL Y DEL MÉTODO DE CAMBIO DE FASE

PERRIN SMITH NETO

Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais
Avenida Dom José Gaspar, Barrio Coração Eucarístico, 30535-610
Belo Horizonte-Brasil
e-mail: psmith@pucminas.br

Resumen: Los enfoques del cambio de fase representan importantes herramientas en todo el campo del análisis fotoelástico. Hay muchas maneras de cambiar la fase del patrón fotoelástico. En este trabajo se usa un método de cuatro imágenes que sólo requiere un polariscopio plano y mecanismos de frame-grabber. Los algoritmos de desvoltura de fase, junto con rutinas de procesamiento de imagen, tales como filtraje, desenfoque y procesamiento de la región de interés se usan para procesar datos fotoelásticos. Se realizó una aplicación al disco bajo compresión.

1. INTRODUCCIÓN

La fotoelasticidad es una técnica de un campo completo que permite obtener las direcciones de la tensión principal y las diferencias de la tensión principal en el patrón. En el enfoque clásico, la interpretación de la franja fotoelástica se hace manualmente de una manera puntual. Las técnicas modernas que usan procesamiento de imagen digital para el recuento automático de la franja se basan en algunos métodos de cambio de fase[1,3].

Muchos autores han propuesto el uso de más de una longitud de onda para producir un cambio de fase en patrones fotoelásticos. La fotoelasticidad RGB usa este principio, adquiriendo la imagen usando una videocámara RGB y después separando las imágenes roja, verde y azul[2].

Otros han sugerido la fotoelasticidad de media franja, donde sólo se permite una franja en el patrón isocromático. Usando este enfoque se pueden obtener parámetros isocromáticos fácilmente aunque con menos resolución[5].

Los enfoques recientes se basan en escalonamiento de carga, donde se aumenta (o disminuye) el sistema de cargas que actúa en el modelo, haciendo el cambio de fase. Este enfoque no es tan genérico porque en la fotoelasticidad tridimensional no se puede cambiar las cargas que actúan en las porciones[2].

Por último, se puede cambiar la fase fotoelástica modificando algunos arreglos en el polariscopio, tales como las posiciones de la placa de un cuarto de onda o las posiciones del analizador. Este enfoque parece ser el más simple porque no tiene restricciones para las aplicaciones estáticas y porque no requiere cámaras RGB o filtros de luz diferentes, aunque el procesamiento de fase puede que no sea el más simple.

En este trabajo se usa el método de cambio de fase de cuatro imágenes propuesto por N. Plouzenec y otros, puesto que el arreglo experimental es simple, usando apenas un polariscopio plano y equipos de grabación de imágenes.

2. CAMBIO DE FASE

La luz que emerge del polariscopio plano tiene la intensidad dada por

$$I = \frac{I_0}{2} \left[1 + \cos(2\beta - 2\alpha) \cos(2\alpha) - \sin(2\alpha) \sin(2\beta - 2\alpha) \cos(2\pi N) \right] \quad (1)$$

donde α es la dirección de las tensiones principales, β es el ángulo entre el analizador y el polarizador, N es el orden de franja y I_0 es el contraste de imagen.

Para obtener los parámetros fotoelásticos α y N de un polariscopio plano, se debe introducir un cambio de fase. Usando cuatro cambios de fase, se obtienen cuatro expresiones diferentes de la ecuación 1. Por lo tanto, este sistema puede resolverse para los parámetros envueltos (discontinuos).

La primera imagen se recoge cuando β es igual a cero y el eje del polarizador se sitúa a $+45^\circ$ del eje de referencia. La ecuación 1 queda de la siguiente manera:

$$I_1 = \frac{I_0}{2} \left[1 - \cos^2(2\alpha) \sin^2(\pi N) \right] \quad (2)$$

Sin embargo, al colocar el eje del polarizador paralelo al eje de referencia y haciendo que el ángulo β sea igual a $+45^\circ$, 0° y 90° , la ecuación 1 queda así respectivamente:

$$I_2 = I_0 \left[0.5 + \sin(2\alpha) \cos(2\alpha) \sin^2(\pi N) \right] \quad (3)$$

$$I_3 = I_0 \left[1 - \sin^2(2\alpha) \sin^2(\pi N) \right] \quad (4)$$

$$I_4 = I_0 \sin^2(2\alpha) \sin^2(\pi N) \quad (5)$$

3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS

La solución del sistema de las ecuaciones 2 a la 5 es la siguiente:

$$\tan(2\alpha) = \frac{2I_4}{2I_2 - I_3 - I_4} \quad (6)$$

$$\cos(2\pi N) = \frac{2I_1 + 2I_3 - 3I_0}{I_3 + I_4} \quad (7)$$

Si se usa el arco de la tangente de la expresión 6 se obtendrá una fase discontinua (envuelta). Esto ocurre porque la función del arco de la tangente tiene imagen entre $-\pi/2$ y $+\pi/2$. Por lo tanto, se debe hacer la desenvoltura de la fase. Muchos investigadores han trabajado en algoritmos de desenvoltura de la fase, principalmente en el procesamiento del radar SAR. El método más simple se basa en la detección de discontinuidades y el añadido de $+\pi/2$ ó $\pi/2$ en estos puntos.

Otro método ampliamente utilizado con datos ruidosos es el de los mínimos cuadrados sin pesar, basado en la minimización de las discontinuidades de la fase total. Tratando este problema a través del análisis variacional, se llega a un problema de ecuación diferencial parcial, la solución de la ecuación Poisson. En las regiones rectangulares, el problema Poisson homogéneo tiene una solución explícita rápida basada en discretas transformaciones del coseno.

Otro método más simple que el enfoque de los mínimos cuadrados se basa en la detección de discontinuidades de los derivados de la fase. Cuando se detectan estos puntos discontinuos, se hace una

interpolación en estos puntos desde sus vecinos. Entonces, estos derivados de fase se integran otra vez. Este algoritmo se usó para este trabajo.

Es importante notar que la ecuación 6 no se define cuando $2I_2 - I_3 - I_4$ es igual a cero. En algunos casos hay regiones en que ocurre, por ejemplo, cuando las franjas isocromáticas son demasiado gruesas, y el término $\sin^2(\pi N)$ es igual a cero, no sólo en el centro de la franja sino en una región alrededor de su centro. Por lo tanto, es importante utilizar rutinas de procesamiento de imagen para hacer la interpolación o para borrar estas regiones.

Para obtener el número de franja correcto, se debe desenvolver del arco del coseno de la ecuación 7. Esta tarea es más complicada puesto que los puntos discontinuos en este caso no son tan aparentes. El tipo de discontinuidad es diferente del de la función del arco de la tangente. Para ilustrar este problema, en la figura 1 se puede ver un ejemplo de una fase continua φ , y la fase envuelta desde el arco de la tangente ($\tan(\varphi)$) y desde el arco del coseno ($\cos(\varphi)$). El algoritmo para tratar la fase discontinua del arco del coseno se basa en la detección de lugares donde los derivados cambian la señal de repente.

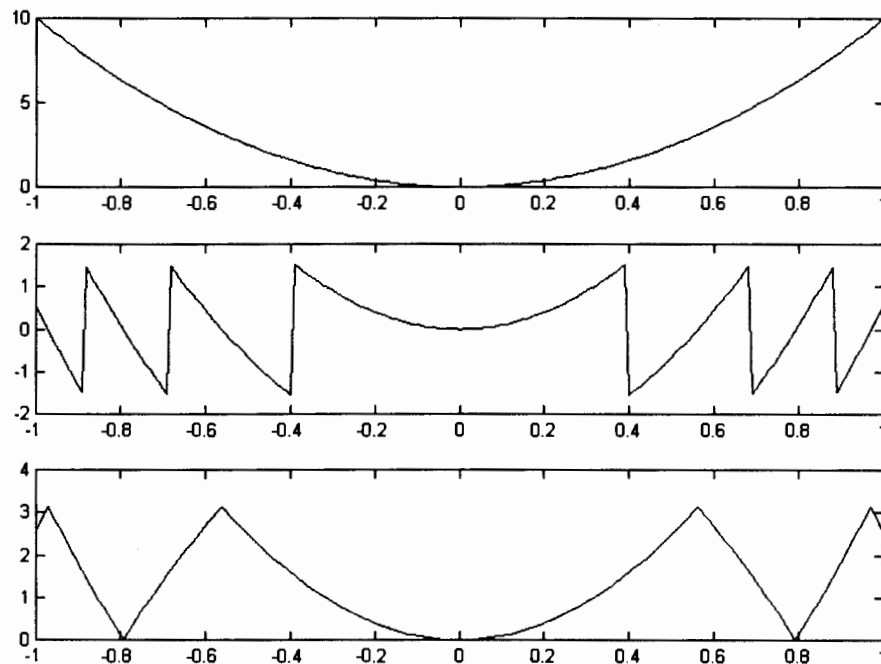


Fig. 1. Diferentes tipos de discontinuidad. a) Un ejemplo de fase continua φ . b) La fase envuelta desde el arco de la tangente ($\tan(\varphi)$). c) La fase envuelta desde el arco del coseno ($\cos(\varphi)$).

4. APLICACIÓN

Se desarrolló un software para el análisis fotoelástico usando los métodos descritos en este trabajo. Se implementaron algunas rutinas de procesamiento de imagen, tales como filtros y región del procesamiento de interés. También se implementaron filtros de fase, especialmente diseñados para datos discontinuos y una rutina de creación de máscaras, basada en métodos armónicos, para eliminar regiones de donde la fase no esté definida.

El modelo es un disco bajo compresión. El espesor del disco es 5mm, el radio es 60mm, la carga aplicada es 355 N, y la constante fotoelástica es 13KN/m. Las imágenes usadas en esta aplicación se muestran en la figura 2. El área rectangular marcada en las imágenes define la región usada para el procesamiento. El ángulo isocliño filtrado y envuelto se muestra en la figura 3, y el desenvuelto puede verse en la figura 4. En la figura 5 se puede ver el orden de franja envuelto y en la figura 6 el orden de franja desenvuelto.

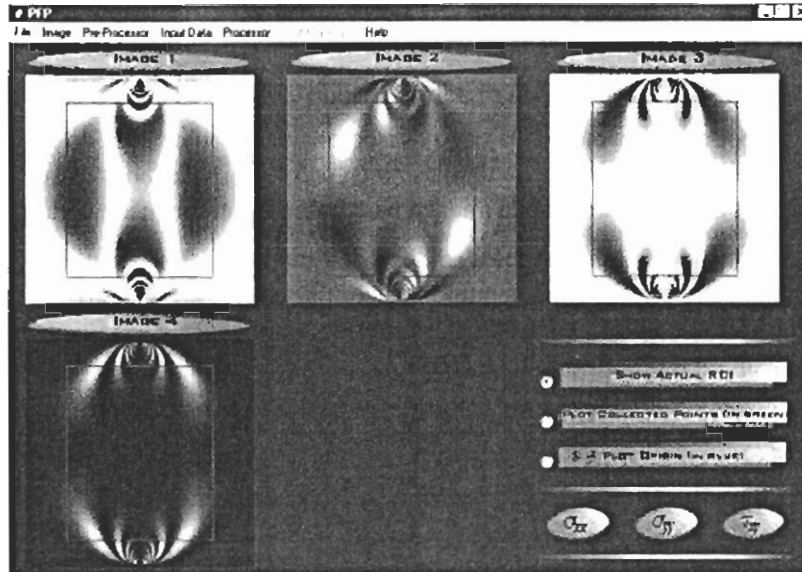
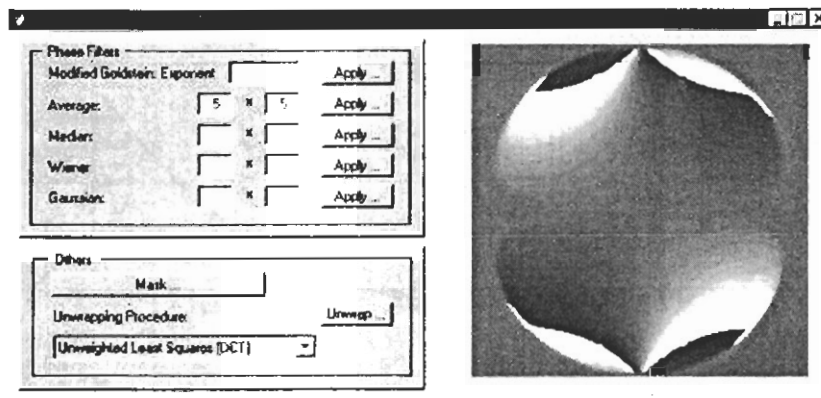
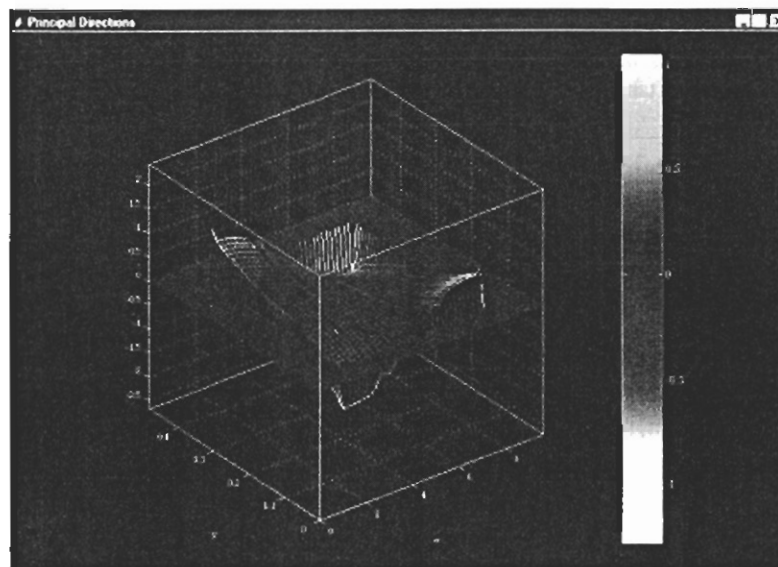


Fig. 2. Cuatro imágenes usadas.

Fig. 3. α filtrada envuelta.Fig. 4. α desenvuelta.

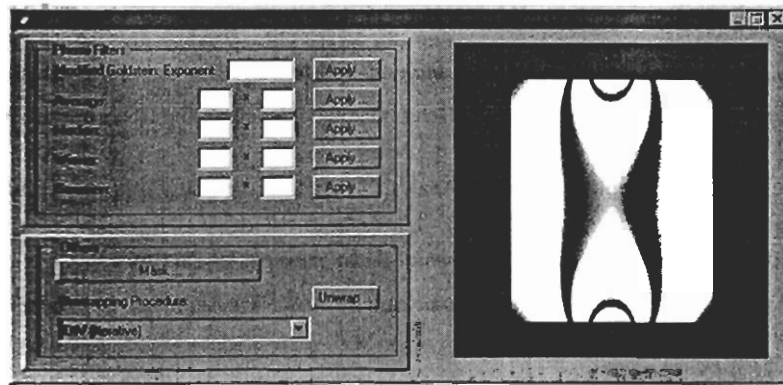


Fig. 5. Fase envuelta del orden de franja.

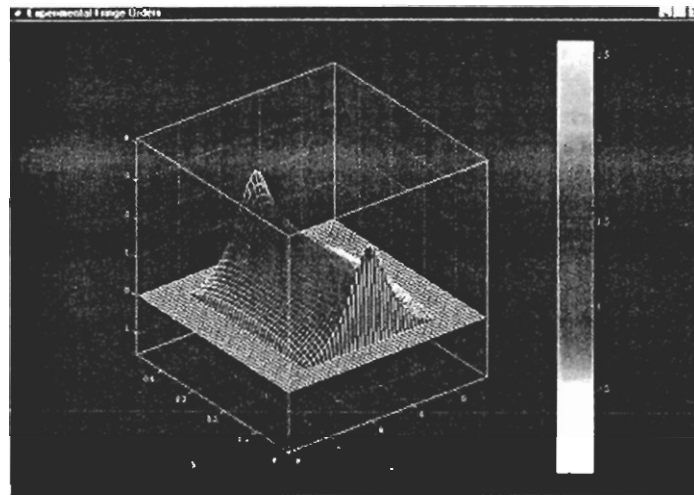


Fig. 6. Orden de franja desenvuelta

5. CONCLUSIÓN

El cambio de fase en la fotoelasticidad es una importante herramienta en el análisis del campo completo. Muchos autores han propuesto diferentes maneras de cambiar una fase fotoelástica. Se ha demostrado que el cambio en los parámetros del polariscopio es la manera más simple de hacerlo. En este trabajo se usó el método de las cuatro imágenes aplicado con rutinas de procesamiento de imagen, como funciones de desenfoco, procesamiento de la región de interés y rutinas de filtraje. Se usaron diferentes algoritmos de desenvoltura de fase para obtener los parámetros fotoelásticos continuos, la dirección de las tensiones principales y el orden de franja para el campo entero. Se realizó una aplicación a un disco bajo compresión.

REFERENCIAS

- [1] Dally, James W., Riley, William F., *Experimental Stress Analysis*, Ed. McGraw-Hill, New York, USA, pp. 429-432 (1996)
- [2] Plouzenec, N., Dupré, J.-C., Lagarde, A., «Whole Field Determination of Isoclinic and Isochromatic Parameters Parameters», *Experimental Techniques*, pp. 30-32, (1999)
- [3] Müller, R. K. and Saackel, L. R. «Complete Automatic Analysis of Photoelastic Fringes», *Experimental Mechanics*, pp. 245-251, (1979)
- [4] Asundi, A., «Phase Shifting in Photoelasticity», *Experimental Techniques*, pp. 19-23 (1993)
- [5] Voloshin, A. S. and Burger, C. P. «Half Fringe Photoelasticity – A New Approach to Whole Field Stress Analysis», *Experimental Mechanics*, pp. 304-414, (1983)

IDENTIFICATION OF PHOTOELASTIC PARAMETERS THROUGH DIGITAL IMAGE PROCESSING AND PHASE SHIFTING METHOD

Abstract: Phase shifting approaches represents important tools in whole field photoelastic analysis. There are many ways to change the phase of a photoelastic pattern. In this work one uses a four images method that requires only a plane polariscope and frame-grabber devices. Phase unwrapping algorithms, together with image processing routines, such as filtering, blurring and region of interest processing, are used to process photoelastic data. An application to a disc under compression was made.