

# Análisis comparativo de técnicas para el cálculo de la orientación de patrones de franjas

Nivia Escalante<sup>1\*</sup>, Jesús Villa<sup>1</sup> e Ismael De la Rosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Procesamiento Digital de Señales, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, Avenida Ramón López Velarde 801, 98000 Zacatecas, México

\*Corresponding author: [aivineg\\_2682@yahoo.com](mailto:aivineg_2682@yahoo.com)

## I. Resumen

El presente documento muestra 3 de las técnicas utilizadas para el cálculo de la orientación de patrones de franjas, una buena estrategia del filtrado, es el cálculo de la estimación de orientación de franjas, para direccionar este filtrado. Las imágenes de franjas, que comúnmente se presentan en diversos problemas relacionados con la metrología óptica y la interferometría, han sido tema de mucho estudio e importancia ya que contienen la información de los parámetros físicos que se pretenden medir [7]. Dentro de las técnicas que aquí se analizan encuentran: Método del Gradiente utilizando operadores de Prewitt, Método Ajuste al Plano y Método Basado en Diferencias.

## II. Introducción

La orientación de franjas, es una de las características más importantes de patrones de franjas, ya que contiene información fundamental para el procesamiento automático de éstos en varias aplicaciones de interferometría [1]. La idea principal es detectar la orientación tangencial de las franjas para después aplicar un filtro en los patrones de franjas. La importancia radica en que esta información nos sirve para la demodulación de franjas y/o eliminar el ruido de ellas, el problema de la restauración de una imagen puede ser formulado matemáticamente de la siguiente manera. Dada una imagen observada (con ruido u degradada) es modelada por:

$$f = g \cdot x + n \quad (1)$$

Obtener una imagen  $\hat{x}$  que representa la mejor aproximación de  $x$ . En el modelo,  $n$  es un campo de ruido aleatorio,  $H$  un operador de degradación que puede representar desenfoque o algún tipo de distorsión, y  $x$  la imagen ideal. Por supuesto, tanto  $n$  como  $H$  dependen de las condiciones experimentales en las que se lleve a cabo la obtención de la imagen. Como puede observarse, para que un algoritmo intente obtener  $\hat{x}$  y funcione adecuadamente, es crucial considerar información acerca de las características de degradación  $H$  y  $n$ .

Las imágenes de franjas, que comúnmente se presentan en diversos problemas relacionados con la metrología óptica y la interferometría, han sido tema de mucho estudio e importancia ya que contienen la información de los parámetros físicos que se pretenden medir [7]. Es común representar matemáticamente una imagen de franjas en la forma:

$$f(x, y) = g(x, y) + b(x, y) \cos(\theta(x, y)) \quad (2)$$

Una buena estrategia del filtrado es a través del cálculo de orientación de las franjas para el direccionamiento de este filtrado, ya que la ventaja de eso es que el ruido y la misma señal están separados desde el punto de vista frecuencial, ya que en dicha dirección la señal se considera casi constante (Ver *Figura 1*), para implementar este tipo de filtrado es necesario llevar a cabo una estimación de dicha orientación, una forma básica de determinar el campo de orientación de las franjas es mediante el gradiente de la propia imagen normalizada esto es [8,9]:

$$\theta(x, y) = \arctan \left[ \frac{D_y(\tilde{x})}{D_x(\tilde{x})} \right] \quad (3)$$

Donde  $D_y(\tilde{x})$  y  $D_x(\tilde{x})$  representan las versiones discretas de las derivadas parciales de  $\tilde{x}$  con respecto a  $x$  e  $y$  respectivamente.

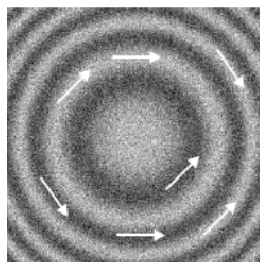


Figura 1: Las flechas indican la dirección del filtrado en diferentes posiciones de una imagen de franjas.

Ya calculado el mapa de orientación de las franjas se procede a aplicar algún tipo de filtrado, el uso de filtros lineales no es siempre un adecuado procedimiento, especialmente cuando hay una alta densidad en las franjas, debido a que la señal y el ruido están mezclados, en el espacio de Fourier. Además, los patrones de franjas son funciones bidimensionales, las frecuencias tienen dos componentes de vectores, a los cuales se debe de considerar el direccionamiento del filtro. El filtrado direccional es de gran importancia en la restauración de imágenes de franjas e imágenes de fase, esto con el fin de preservar la información de interés y poder determinar adecuadamente los parámetros físicos que se miden a través de dichas imágenes.

### III. Fundamentos teóricos

Para esto, mencionaremos de manera breve las 3 técnicas empleadas para el cálculo de la orientación:

#### 2.1 Método del Gradiente

El método del gradiente es muy simple y directo, por el cual la orientación de franjas es calculada aplicando teóricamente la ecuación (3), pero es muy fácilmente afectado por la influencia del ruido. Mediante el siguiente algoritmo podemos obtener la orientación de las franjas, con el método del gradiente:

1° Aplicar un filtro para suavizar el patrón de franjas para eliminar el ruido. El filtrado puede ser llevado a cabo mediante la adopción de ventanas pequeñas repetitivamente a consideración [1]. Se sugiere utilizar un filtro gaussiano en el alisado.

2° Calcular el vector gradiente del patrón de franjas alisado por los operadores de gradiente de Prewitt. Así la orientación de franjas del pixel central de la ventana  $S$  puede ser obtenido por:

$$[G_x(x, y), G_y(x, y)]^T \quad (4)$$

3° Calcular la orientación de franjas de cada punto del vector gradiente (5). Nótese, que el tamaño de la ventana  $S$ , para el cálculo es determinado por la densidad de franjas. La orientación de franjas obtenida por los pasos anteriores toma el valor desde 0 a  $\pi$ .

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \arctan \left[ \frac{\sum_{(m,n) \in S} 2G_x(m,n)G_y(m,n)}{\sum_{(m,n) \in S} (G_x^2(m,n) - G_y^2(m,n))} \right] \pm \frac{\pi}{2} \quad (5)$$

#### 2.2 Método Ajuste al Plano

El método ajuste al plano, es más robusto para calcular la orientación de franjas en presencia del ruido, pero es determinante en el ajuste del tamaño de la ventana. En orden para eliminar la influencia de ruido, Yu et al.[2,3], sugiere un plano de ajuste de mínimos cuadrados parciales que será llevado a cabo en el pixel actual del patrón de franjas, primero para determinar una orientación con su derivada direccional de valor 0 ajustado al plano, el cual es definido como la orientación de franjas. La determinación de la orientación con la derivada direccional es cero al ajuste del plano y la valoración de su orientación de franjas, la siguiente ecuación nos ayuda a estimar la orientación de franjas y está dada por:

$$\theta = \arctan \frac{\sum_{xy} f_{xy} y}{\sum_{xy} f_{xy} x} \quad (6)$$

La ecuación anterior provee un simple operador en el cálculo de la orientación de franjas, y recurriendo al ajuste del plano se resuelve el inevitable problema de la sensibilidad al ruido cuando directamente la diferencial es calculada. Entonces ya no es necesario alisar los patrones de franjas cuando este enfoque es aplicado.

#### 2.3 Método Basado en Diferencias

Usualmente para las franjas, las diferencias direccionales siempre tienen un mínimo valor a lo largo de la dirección de la tangente de las franjas, con esto se puede obtener la orientación de las franjas solo con encontrar las diferencias direccionales mínimas. Se puede definir la diferencia como la derivada estándar en una dirección y seleccionar el más pequeño de los valores de 8 o 16 direcciones predefinidas. Las diferencias a lo largo de cierta orientación son definidas en una forma diferente y para este método se usan diferencias a lo largo de cuatro orientaciones, las cuales son 0°, 45°, 90° y 135°. Para un punto local (x,y), las cuatro diferencias pueden ser calculadas de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
d_0(x, y) &= |f(x-1, y) - f(x+1, y)| \times \sqrt{2} \\
d_{45}(x, y) &= |f(x-1, y+1) - f(x+1, y-1)| \\
d_{90}(x, y) &= |f(x, y-1) - f(x, y+1)| \times \sqrt{2} \\
d_{135}(x, y) &= |f(x-1, y-1) - f(x+1, y+1)|
\end{aligned} \tag{7}$$

$I(x, y)$  es la intensidad o el valor de gris del punto  $(x, y)$ . Porque las distancias entre las cuatro esquinas y el centro es  $\sqrt{2}$  veces la distancia entre los cuatro puntos vecinos y el centro. Así que a lo largo de la distancia  $0^\circ$  y  $90^\circ$  debe ser multiplicado por  $\sqrt{2}$  por consistencia.

Las cuatro sumas de las diferencias a lo largo de las cuatro orientaciones en una ventana cuadrada  $S(m \times m)$  se calculan como sigue, donde  $m$  es el tamaño de la ventana.

$$D_{angle}(x, y) = \sum_{(i,j) \in S} d_{angle}(x, y) \quad \text{angle} = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ \tag{8}$$

Así que después de haber ajustado al plano los cuatro valores de las diferencias, el vector normal del plano se apunta a una dirección con el valor más pequeño que es correspondiente a la orientación de la franja.

Entonces la orientación de franjas (que es la mitad del ángulo que apunta el vector normal) puede ser calculada. Suponga que el ajuste al plano es:

$$g(x, y) = a + bx + cy \tag{9}$$

Por ajuste de mínimos cuadrados y proyectando el vector normal en el plano X-Y, se puede obtener el cálculo de la orientación de las franjas, como:

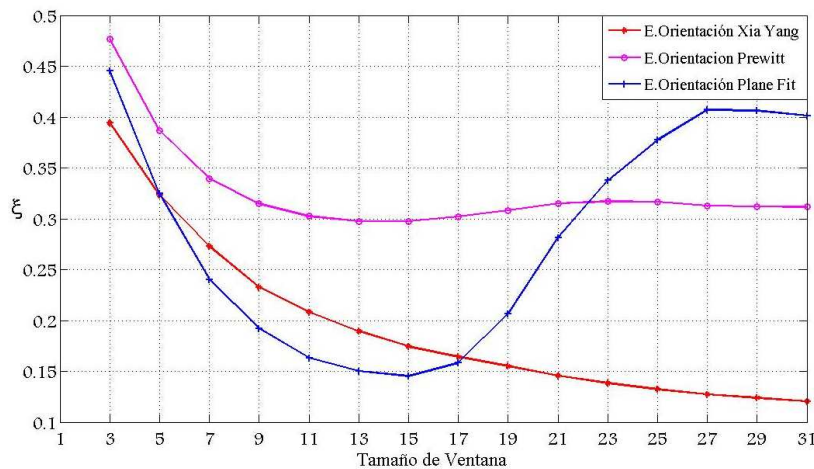
$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \arctan(D_{45} - D_{135}, D_0 - D_{90}) \tag{11}$$

## IV. Resultados

La imagen con la que se realizaron los experimentos, es un patrón de franjas circular como la que se ilustra en la figura 1. Además, la norma que se emplea para el cálculo del error es el *error medio cuadrático normalizado*:

$$NMSE = \frac{\sum(\hat{\theta}_{xy} - \theta_{xy})^2}{\sum \theta_{xy}^2} \tag{12}$$

Para obtener los resultados del cálculo de orientación y así determinar cuál de ellos es el que mejor estima la orientación, para esto se hizo variar el tamaño de la ventana de 1 a 31, para así observar el comportamiento de cada uno de los métodos. De igual forma se puede apreciar que la mejor técnica para el cálculo de orientación, es la estimación mediante diferencias de Xia Yang[9]. De acuerdo a esto, podemos determinar cuál de estos métodos es el óptimo para implementarlo en el filtrado direccional.



**Figura 2:** En la gráfica, se muestra la comparación de los métodos para el cálculo de orientación, cambiando el tamaño de la ventana.

Haciendo otro experimento, pero en esta ocasión variando el nivel de ruido de la imagen de franjas, podemos observar lo que se observa a continuación:

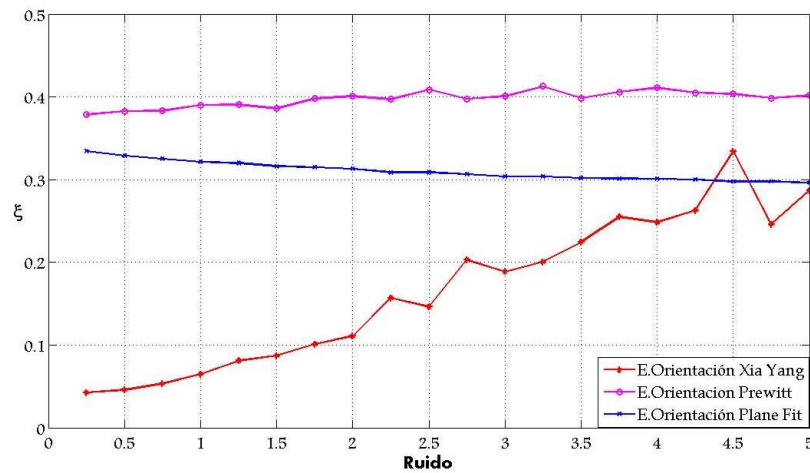


Figura 3: La gráfica, muestra la comparación de los métodos para el cálculo de orientación, variando el nivel de ruido.

Aquí también se comprueba que el cálculo de orientación de franjas mediante la estimación de Yang, es la mejor, así que se corrobora que la estimación de la orientación es fundamental para el filtrado direccional.

## V. Conclusiones

Los resultados que muestra la grafica de la figura 2, nos indica que la estimación del cálculo de la orientación de franjas, es más robusta y eficiente al instante de variar el tamaño de la ventana, así mismo en el tamaño de ventana de 5 tiene el mismo desempeño que el Método de Ajuste al Plano, por otra parte se observa que el método del gradiente con operadores de Prewitt es el que tiene el menor rendimiento, en toda la variación del tamaño de ventana. Para la segunda gráfica (figura 3), analizamos el desempeño de los tres métodos con una variación de ruido, de igual forma observamos que el Método de Ajuste al Plano y Método del Gradiente son ineficaces, ya que tienen el mismo comportamiento, conforme aumenta el nivel de ruido, en cambio para el caso de la Estimación en base a diferencias, aunque va disminuyendo su rendimiento conforme aumenta el ruido, sigue siendo más robusto que en comparación con los otros dos (Método del Gradiente y Método de Ajuste al Plano), para esto se determina que el Método Basado en Diferencias es más eficiente para el cálculo de la orientación de franjas y así ayudarnos junto con la implementación de filtros direccionales, a tratar de recuperar la mayor cantidad de información posible y así ayudar en las diferentes áreas de la investigación.

## VI. Referencias

- [1] Xiang Zhou, John P.Baird, John F., Arnold, "Fringe-Orientation Estimation by use of a Gaussian Gradient Filter and Neighboring-Direction Averaging" Applied Optics 38 (5), (1999) 795.
- [2] Q. Yu, "Influence of window size on the fringe orientation estimation", Applied Optics 27 (18) (1988) 3782.
- [3] Q. Yu, X. Liu., K Andresen, "New spin filters for interferometric fringe patterns and grating patterns". Applied Optics 33 (17)(1994) 3705.
- [4] Qifeng Yu, X. Sun, X.Liu, "Spin Filtering with Curve Windows for Interferometric Fringe Patterns" App. Opt. 41(2002) 2650 .
- [5] Qifeng Yu, X. Sun, X.Liu, "Removing speckle noise and extracting the skeletons from a single speckle fringe pattern by spin filtering with curved-surface windows" opt. Eng. 42(2003) 68.
- [6] Qifeng Yu, Shiu Fu, Xia Yang Xiangyi Sun, Xiaolin Liu, Opt. Exp. 12 (2004) 75, <http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=OPEX-12-1-75>.
- [7] Jesús Villa, Juan Antonio Quiroga and Ismael De la Rosa, "Regularized quadratic cost function for oriented fringe-pattern filtering", Optical Society of America, OCIS code: 100.2650,100.3020,.
- [8] Sihua Fu, Hui Lin, Jinsong Chen, Qifeng Yu, "Influence of window size on the fringe orientation estimation", Optics Communications 272 (2007) 73–80.
- [9] Xia Yang, Qifeng Yu, Sihua Fu, An algorithm for estimating both fringe orientation and fringe density, Received 4 November 2006; received in revised form 13 February 2007; accepted 18 February 2007, Optics Communications 274 (2007) 286–292.