

# ALGORITMO SUB-PIXEL PARA ANÁLISIS DE FRANJAS

S. Bosco\*, M. Trivi\*

Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), Casilla de Correo 124 (1900) La Plata

Se estudió experimentalmente la ubicación de una franja de luz coherente proyectada sobre un objeto plano, mediante la aplicación de un algoritmo con precisión sub-píxel. Se analizaron las fuentes de ruido presentes y se compararon tres métodos diferentes de promediado de la información.

We present an experimental study for coherent light fringe projection using a sub-pixel accuracy algorithm. We analyze the noise sources and compare three different methods for information reduction.

## I. INTRODUCCIÓN

El estudio de la topografía de objetos puede realizarse con la proyección de una Red de Ronchi sobre la superficie del mismo y analizando las deformaciones sufridas por las franjas. Estas deformaciones se relacionan con las profundidades relativas entre los distintos puntos de la superficie<sup>1-2</sup>. La proyección de redes brinda información simultánea de toda la superficie, pero se produce ambigüedad en la identificación de la continuidad de las franjas en regiones del objeto con bordes abruptos. Para resolver este problema, se propone<sup>3-5</sup> la proyección sucesiva de una única franja a lo largo de la superficie.

En este trabajo se presenta un estudio experimental del montaje que proyecta un haz de perfil gaussiano producido por un láser, y un algoritmo que realiza el cálculo del centro de masas (CM) de los píxeles iluminados en el detector. De esta manera es posible obtener una precisión sub-píxel<sup>6-10</sup>, aumentando la resolución del método.

## II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE FRANJAS

El montaje experimental se muestra en la Fig. 1. El haz expandido de un láser incide sobre una lente cilíndrica produciendo sobre el objeto una franja luminosa de perfil gaussiano (Fig. 1a). La imagen es adquirida por una cámara CCD modelo Pulnix TM 560 que opera conectada a una computadora PC AT 286, a través de una plaqueta digitalizadora

Framme Grabber FG-100-AT de Image Technology (Fig. 1b). El muestreo se realiza en un arreglo de 512 x 512 píxeles, digitalizando la intensidad en 8 bits. La interacción con la plaqueta se realiza a través de programas en lenguaje C.

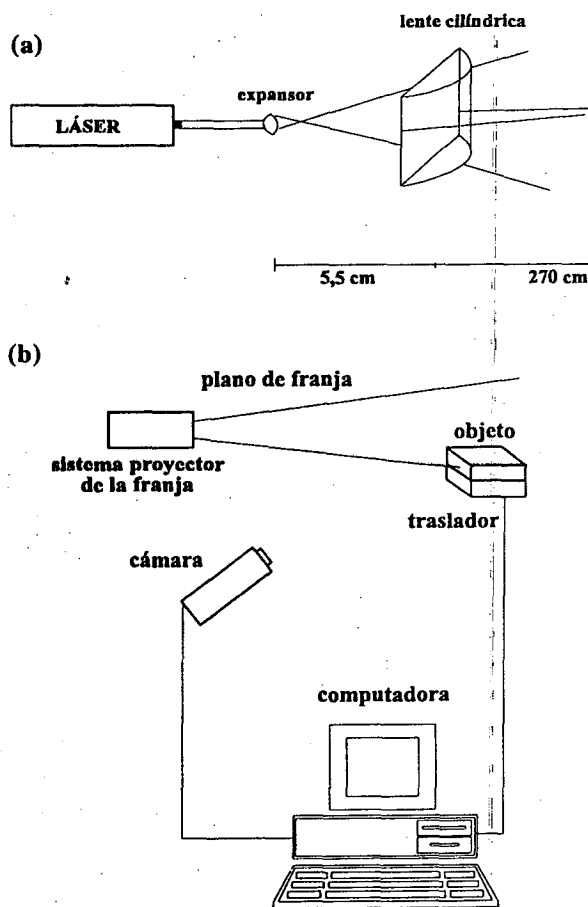


Fig. 1: a) Sistema de proyección de la franja. b) Montaje experimental.

\* Miembros de la CICPBA

El algoritmo utilizado para el cálculo de la posición de la franja es el CM del perfil de intensidades de cada línea de la imagen, definido por:

$$x_{CMj} = \frac{\sum_i i g_{ij}}{\sum_i g_{ij}} \quad (1)$$

donde  $g_{ij}$  es el nivel de gris de la posición  $i$  de la línea  $j$ .

Un perfil de intensidades se muestra en la Fig. 2.

### III. RUIDO Y ERRORES SISTEMÁTICOS

Los detectores de las cámaras CCD envían una señal de fondo, llamada ruido de corriente oscura (Dark Current Noise), que proviene de los electrones emitidos térmicamente por el cuerpo del semiconductor del detector, y que son interpretados por la cámara como parte integrante de la imagen. Esta señal depende de la temperatura a la que se encuentra el detector y es aditiva respecto de la imagen<sup>10-11</sup>.

La forma del histograma no varía fundamentalmente al incidir luz sobre el detector, por lo tanto, la relación señal-ruido aumenta con la iluminación, teniendo como límite superior el rango de linealidad del mismo.

La precisión en la ubicación de la franja está limitada por una serie de errores sistemáticos que dependen de factores que pueden controlarse experimentalmente o con los programas de cálculo<sup>12-13</sup>.

El CM de un perfil de intensidades coincide

con su máximo sólo en el caso que el perfil sea simétrico respecto de éste. Además, depende del número de pixels utilizado en el cálculo, así como de la relación entre el ancho del perfil en el plano imagen y el ancho de los pixels.

La utilización de luz coherente para conseguir una franja con perfil de intensidades gaussiano implica la aparición de granos de speckle cuyos tamaños están determinados por las características del sistema óptico.

La posición del CM puede ser expresada en función de la transformada de Fourier  $\mathcal{F}(W)$  del perfil de intensidades unidimensional:

$$\chi_{CM} = -\frac{\mathcal{F}'}{2\pi i \mathcal{F}(0)} \quad (2)$$

por lo tanto, la componente de ruido que más afecta el cálculo es la de frecuencia cero.

### IV. RESULTADOS

Para optimizar experimentalmente los factores nombrados, se proyectó una franja sobre un objeto plano.

El algoritmo consiste en calcular el CM de una imagen línea por línea. Luego se comparan los conjuntos de CM de todas las líneas para ajustar a una recta, que corresponde a la franja sin deformaciones. Este se realiza por cuadrados mínimos. Una vez concluido, el programa retorna el valor de un parámetro llamado norma, definido por:

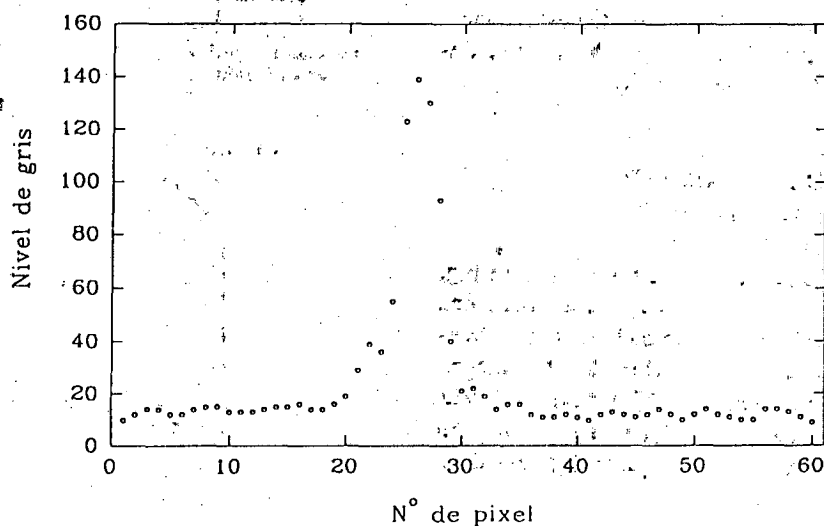


Fig. 2: Perfil de intensidades de una línea de la imagen de la franja.

$$\text{norma} = \sum_{i=1}^N (X_i - x_i)^2 \quad (3)$$

donde:

$X_i$ : ordenada de la recta ajustada en la línea  $i$

$x_i$ : ordenada del CM de la línea  $i$

$N$ : número total de líneas

Para conjuntos con el mismo número de puntos, la norma sirve como medida comparativa del ajuste para decidir el método de promediado y la configuración.

Se compararon tres métodos distintos de promediado de la información para disminuir la componente aleatoria:

(a) - Se adquieren varias imágenes y se promedian los niveles de gris pixel por pixel. De la imagen resultante se calculan los CM. El problema de este método es el tiempo que emplea el algoritmo en procesar varias imágenes completas.

(b) - Se promedian los 6 bits más significativos de los niveles de gris de las imágenes. En este caso se trabaja con menos niveles de gris para operar con mayor velocidad.

(c) - Se calculan los CM de varias imágenes y luego se promedian.

Los tres métodos se aplicaron a ocho imágenes de la misma franja de 145 líneas por 75 columnas. Las normas obtenidas son:

a- norma = 3.476

b- norma = 3.567

c- norma = 3.394

Por lo tanto, la opción c resulta preferible no sólo por ser un algoritmo más rápido, sino que la norma es aún mejor que en los otros dos casos.

En cuanto a los parámetros de los que dependen los errores sistemáticos, el diafragma utilizado es el que produce el grano de speckle de menor tamaño (diafragma abierto), mientras que el ruido de frecuencia cero se puede calcular haciendo el promedio de los niveles de gris de una imagen con ruido de corriente oscura. En las condiciones en que se adquirieron las imágenes éste corresponde al nivel de gris 11.

Los parámetros que fueron optimizados de forma experimental son la frecuencia de muestreo, el número de pixels a los lados de los máximos utilizados para calcular el CM y la intensidad del

haz incidente.

Para variar la frecuencia de muestreo, se monta la cámara sobre un trasladador mecánico que permite modificar la distancia entre la cámara y el objeto. Esta distancia se varió en la experiencia entre 20 y 35 cm.

En la experiencia, se procesaron las imágenes con 3, 4, 5, 6 y 7 pixels a cada lado de los máximos.

Para variar la intensidad de iluminación se utilizó un polarizador. El control de la intensidad se realizó con un programa que calcula el nivel de gris promedio de la imagen a tiempo real. El tamaño en pixels de las imágenes es de 509 x 60, y la intensidad se modificó entre el nivel de gris promedio 15 y 40.

Se promediaron 5 conjuntos de centros de masas para cada configuración, y la menor norma se obtuvo con la cámara a 30 cm del objeto, con una intensidad de iluminación promedio de nivel de gris 30, y calculando el CM con 4 ó 5 pixels a cada lado de los máximos.

En la Fig. 3 se ve los centros de masas calculados y la recta que los ajusta para la menor norma. El valor medio de los módulos de las distancias de los centros de masas a la recta es 0.17 pixel, su desviación estándar es 0.13 pixel, siendo la máxima desviación 0.65 pixel.

Sin embargo, calculando la desviación estándar del conjunto de 5 centros de masas con los que se realiza el promedio, obtenemos un conjunto con valor medio 0.1 pixel, desviación estándar 0.06 pixel, y cuya máxima desviación es 0.31. En la Fig.

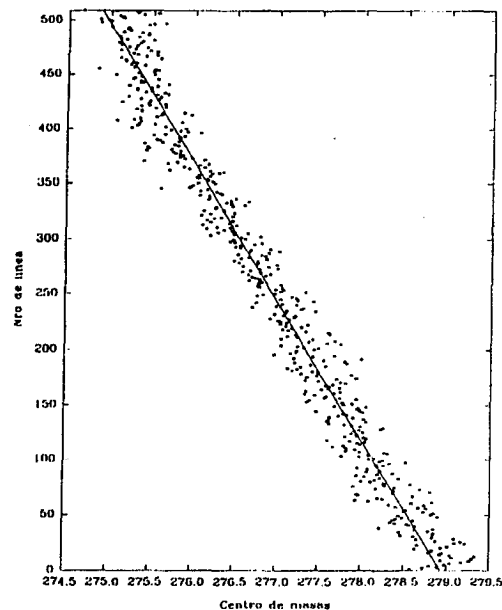


Fig. 3: Centros de masa y recta ajustada correspondiente al conjunto de menor norma.

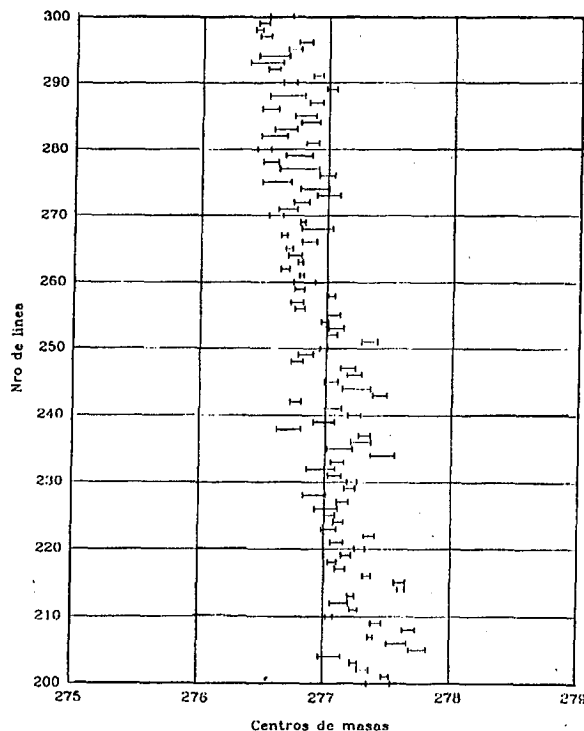


Fig. 4. Centro de masa y desviaciones estandar del conjunto de menor norma.

4 se grafica los centros de masas y las desviaciones estándar.

A la distancia de 30 cm, la imagen que se procesó tiene 3.1 cm de altura, por lo tanto, cada pixel representa en el plano objeto  $61 \mu\text{m}$ . Es decir que procesando una región de entre 550 y 670  $\mu\text{m}$  del objeto (4 o 5 pixels) obtenemos la posición de la franja con una precisión de  $12 \mu\text{m}$  (0.2 pixel).

## V. CONCLUSIONES

Se estudió la implementación de un algoritmo con precisión sub-pixel para análisis de una franja proyectada. Mediante la optimización de parámetros experimentales y de procesamiento, se demuestra la viabilidad del método utilizando luz coherente para la proyección de la franja y el CM como método de cálculo con precisión sub-pixel.

Se desarrolló el software con el que se procesan las imágenes obteniendo una resolución de  $12 \mu\text{m}$ .

Se encontró que para este tipo de cálculo el mejor método de promediado para el ruido es el que resulta de calcular el CM de varias imágenes y luego promediarlos. De esta forma se logró una desviación media en el cálculo del CM de 0.1 pixel. La diferencia entre esta desviación y la que se encontró entre los CM y la recta ajustada se debe principalmente a la presencia de speckle.

Los resultados de este estudio pueden potencialmente ser utilizados para el desarrollo de un método automático de procesamiento digital de imágenes para el estudio de topografías de superficies ya que mejora la precisión de los métodos de proyección de franjas conocidos en la literatura.

## REFERENCIAS

1. M. Michalski, H. Rabal, M. Garavaglia, "Operations using fringe projection". Applied Optics, 25, 4338 (1986).
2. M. Michalski, H. Rabal, M. Garavaglia, "3-D object repositioning", Proc. SPIE 555, 59 (1985).
3. H. Royer, "Mesure automatique du volume d'un cratere par projection de franges", J. Optics, Paris, 16, 233, (1985).
4. K. Francois, P. Cornez, "Automated inspection and reparation of tram rails", Proc. SPIE, 730, 242 (1986).
5. L. P. Thomas, R. Gratton, B. M. Marino y J. Simon, "Measurements of free surface profile in transient flow by a simple light slicing method" Applied Optics. En prensa.
6. G. Molesini, F. Quercioli, B. Tiribilli, M. Trivi, "Testing reflective surfaces with non contacting probe", Proc. SPIE 954, 399 (1988).
7. G. Small, Z. Hegedus, "Measurement of rail cross section with solid state sensor arrays", Optics and Laser Technology, Febrero 1986, pp 43-47.
8. Z. Hegedus, G. Small, "Shape measurement in industry with sub-pixel definition", Acta Polytechnica Scandinavica, Applied Physics Series, N° 150, 2, 101 (1985).
9. Z. Hegedus, G. Small, "Shape recovery from images with multiple gray level generated by light sectioning", Proc. SPIE, 1010, 31 (1988).
10. P. Salomon, "Charged Coupled Devices (CDD) tracks for high accuracy guidance applications" Optical Engineering, 20, 135 (1981).
11. K. Winick, "Cramer-Rao lower bounds on the performance of Charge-Coupled Devices optical estimators", Journal of the Optical Society of America A3, 1809 (1986).
12. B. F. Alexander, K. C. Ng, "Elimination of systematic error in sub-pixel accuracy centroid estimation", Optical Engineering, 30, 1320 (1991).
13. J. P. Fillard, "Subpixel accuracy location estimation from digital signals", Optical Engineering, 31, 2465 (1992).