

## Determinación de centros de masa en franjas de luz estructurada

MC Juan Pablo Guerra Ibarra<sup>1</sup>, Lic. Oziel Arellano Arzola<sup>2</sup>, MC Ana Celia Segundo Sevilla<sup>3</sup>,  
MC Aaron Rocha Rocha<sup>4</sup>, MsC Bruno Barboza Orozco<sup>5</sup>

**Resumen:** En el presente trabajo se aplican algoritmos de Visión por computadora (VC) en imágenes que tienen proyección de franjas de luz estructurada de tipo rejilla de Ronchi, con la finalidad de procesarlas para la posterior recuperación de la forma del objeto que se encuentre bajo la proyección de patrones luz[11]. Para poder realizar la correcta determinación de los centros de masa de las franjas del patrón Ronchi, es necesario determinar dónde inicia y termina una franja dentro de la imagen para su posterior segmentación; finalmente, es necesario determinar si esa franja no aporta información referente a la forma del objeto, y en caso contrario proceder a la determinación de los centros de masa. Aplicando las técnicas adecuadas de VC, es factible el mejoramiento de la calidad de las imágenes, lo que con lleva al logro de la detección, segmentación y selección de las diferentes franjas de un patrón Ronchi dentro de la imagen [10-13]. Con franjas perfectamente detectadas segmentadas y seleccionadas aplicando algoritmos de erosión de VC, se pueden determinar los centros de masa de la franja en estudio.

**Palabras clave:** Visión por computadora, Luz estructurada, Franjas de luz, Centros de masa.

### 1 Introducción

El desarrollo de algoritmos en el área de visión artificial requiere el estudio, conocimiento y entendimiento de la física de formación de imágenes. Por ejemplo, en la técnica de recuperación de formas de objetos a partir de imágenes con sombras [10-13], es necesario entender cómo intervienen los factores de iluminación y de rugosidad del objeto (relacionado con su reflectancia) para formar la imagen que va a ser procesada por la computadora. Por ejemplo, para resolver el problema de recuperación de forma a partir del sombreado, si se captura el patrón de sombras de una esfera cóncava, será el mismo que produzca una convexa lo cual generará una ambigüedad si no se cuenta con información a priori o bien una mayor cantidad de imágenes.

Para contar con imágenes con las características adecuadas para la recuperación de la forma de los objetos en ella, es necesario mejorar dichas características, para mejorar la eficiencia de aplicación de una técnica en específico. En el área de estudio y aplicación de la visión por computadora hay diferentes algoritmos que permiten modificar las características de la misma, para buscar resaltar una o varias de ellas.

La recuperación de la forma de los objetos se puede llevar a cabo por medio diferentes técnicas con propiedades particulares. Una de los métodos para recuperar la forma a partir de una sola imagen es la de proyección de luz estructurada con una rejilla de Ronchi en la proyección, pero esto tiene un considerable costo en el procesamiento computacional y más considerando el desarrollo del hardware de adquisición de imágenes que hoy en día llega a los megapíxeles[1-9].

Partiendo del hecho de que hoy en día las cámaras digitales tienen la capacidad de adquirir imágenes más grandes, esto introduce la necesidad de poder determinar en qué franjas inicia y termina el objeto que se desea reconstruir, lo anterior con la finalidad de disminuir la carga de procesamiento computacional.

### 2 Marco Teórico

#### 2.1 Luz estructurada.

A la proyección de patrones de luz sobre una escena, se le conoce como luz estructurada. Se proyectan patrones de luz sobre objetos que se encuentran en el campo visual de la cámara. Los patrones proyectados pueden ser de una o más franjas. En la Figura 1 se observa el armado básico de la proyección de luz estructurada[10-13].

<sup>1</sup> Juan Pablo Guerra Ibarra es Profesor de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora, Michoacán, México. [jp@teczamora.mx](mailto:jp@teczamora.mx)

<sup>2</sup> Lic. Oziel Arellano Arzola es Profesor de Ciencias Básicas en el en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora, Michoacán, México. [oarellano@accitesz.com](mailto:oarellano@accitesz.com)

<sup>3</sup> Ana Celia Segundo Sevilla es Profesora de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora, Michoacán, México. [asegundo@accitesz.com](mailto:asegundo@accitesz.com)

<sup>4</sup> Aaron Rocha Rocha es Profesor de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora, Michoacán, México. [arocha@accitesz.com](mailto:arocha@accitesz.com)

<sup>5</sup> Bruno Barbosa Orozco es Profesor de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora, Michoacán, México. [bbarbosa@accitesz.com](mailto:bbarbosa@accitesz.com)

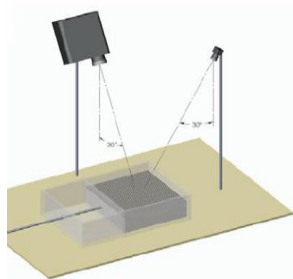


Figura 1. Experimento de luz estructurada

El método de proyección de varias franjas de la Figura 2 tiene la ventaja de que requiere, en algunas técnicas, de una sola imagen para llevar a cabo una reconstrucción adecuada del objeto bajo observación. Cuenta además con la ventaja de que pueden medirse objetos de distintas dimensiones a través de la modificación de la frecuencia de las franjas, con limitantes de la resolución del proyector y la cámara[10-13].

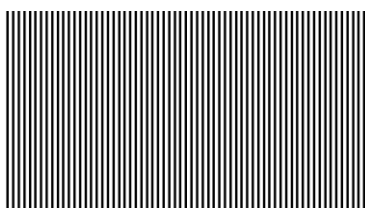


Figura 2. Patrón de Ronchi

## 2.2 Visión por computadora.

La visión por computadora tiene como objetivo la manipulación de los valores de intensidad de la función  $f(x, y)$ , para la eliminación de ruido producido por la forma de adquisición de la imagen o por ruido ambiental, etc., o del mismo modo resaltar áreas de interés que pertenezcan a la imagen, la unidad mínima de información dentro de una imagen se le denomina pixel [1].

En el área de estudio de la visión por computadora, hay una diversidad amplia de ecuaciones o algoritmos que permiten preparar la imagen para un determinado fin [1,9]. Estos son algunos de las técnicas más utilizadas:

- Suavizado, realzado.
- Extracción de regiones.
- Operaciones morfológicas.

### *Suavizado y realzado*

Estos tipos de algoritmos o técnicas trabajan de forma directa en el dominio espacial. Dada una imagen  $f(x, y)$ , se tiene como resultado una imagen  $g(x, y)$  suavizada cuya intensidad de cada punto  $(x, y)$  se calcula a partir de la vecindad del pixel  $(x, y)$  incluyendolo [1,9].

### *Filtro de la media.*

El filtro de la media se puede definir de acuerdo a la Formula 1.

$$g(x, y) = \frac{1}{P} \sum_{(m,n) \in S} f(x, y)$$

Formula 1. Filtro de la media.

De acuerdo con la Formula 1,  $S$  es el conjunto de coordenadas de los puntos situados en el entorno de vecindad de  $(x, y)$  incluido el propio  $(x, y)$  y  $P$  es el número total de puntos del entorno de vecindad [1,9].

### *Filtros de la mediana.*

Sean  $x_1, x_2, \dots, x_n$  los valores de intensidad de un conjunto de pixeles ordenado de forma creciente y designando  $M$  como la mediana. Se pueden distinguir dos casos en base a la cantidad de valores en la vecindad [1,9].

Si  $n$  es impar, la mediana es el valor que ocupa la posición  $\frac{(n+1)}{2}$  una vez que han sido ordenados por la mediana. Para este caso, se determina por la Formula 2.

$$M = \frac{x_{(n+1)}}{2}$$

Formula 2. Filtro de la media aritmetica impar.

Si  $n$  es par, la mediana es la media aritmética de los valores centrales de acuerdo a la Formula 3.

$$M = \frac{x_{(n+1)} + x_{(n+1)+1}}{2}$$

Formula 3. Filtro de la mediana par.

#### *Filtro de la moda.*

En estadística, la moda es el valor con mayor de ocurrencia o repeticiones en una colección de datos. La frecuencia de ocurrencia se calcula de acuerdo a la ecuación 4, donde con la ocurrencia calculada para cada uno de los valores de intensidad  $f(x, y)$  dentro de la ventana, se toma el mayor de ellos [1,9].

$$frec = \sum f(x, y)$$

Formula 4. Frecuencia acumulada.

#### *Extracción de regiones*

Dentro de las imágenes, la unidad mínima es el pixel el cual lo es representado por  $f(x, y)$ . Esta unidad puede constituir regiones conectados entre sí o por alguna características que compartan. Dichas regiones pueden marcarse o extraerse con un fin en particular. La binarización es un proceso por el cual se transforma una imagen con diferentes niveles de intensidad en dos o más niveles, dependiendo de cuantas regiones se vaya a resaltar. La Formula 5 genera una imagen con dos niveles de distintos de intensidad [1,9].

$$g(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{si } f(x, y) > T \\ 1 & \text{si } f(x, y) \leq T \end{cases}$$

Formula 5. Binarizado de imagen.

Como se muestra en la Formula 5,  $T$  es el umbral que separa las regiones dentro de la imagen. Cuando  $T$  depende solo de  $f(x, y)$ , el umbral se llama global. Si  $T$  depende de tanto de  $f(x, y)$  y alguna propiedad de este, el umbral se denomina local. Si  $T$  depende de las coordenadas espaciales  $x$  e  $y$ , se llama umbral dinámico.

#### *Operaciones morfológicas.*

La morfología matemática comenzó en la década de los 60. Está basada en la geometría y la forma. El resultado de su aplicación es la simplificación y la conservación de las formas principales de los objetos en la imagen [1,9].

#### *Erosión binaria.*

Dados dos conjuntos  $A$  y  $B$  de  $z^2$  la erosión, se define la erosión de imágenes en la Formula 6.

$$A \oplus B = \{x \in E^N \mid x = x + b \in A \text{ para todo } b \in B\}$$

Formula 6. Erosión de imágenes.

### 2.3 La línea recta

Una primera idea de manera intuitiva es que la línea recta está formada por una sucesión de puntos que son colineales. Otra idea es que la línea recta es aquella que se forma cuando a partir de dos puntos, la distancia más corta entre estos es precisamente la recta.

Ahora bien, desde la definición formal en matemáticas, podemos afirmar que es un lugar geométrico, pero este lugar geométrico significa que todos los puntos que forman la recta cumplen con las mismas condiciones. En este caso la condición es que entre cualesquiera dos puntos que se tomen de ésta recta, la pendiente que se obtiene es la misma.

La pendiente de una recta es la tangente del ángulo que forma la recta con la dirección positiva del eje de abscisas. Sean  $P1(x1; y1)$  y  $P2(x2; y2)$  dos puntos de una recta, como se muestra en la Formula 7[14].

$$m = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}$$

Formula 7. Pendiente de la recta

Los tipos de rectas se pueden clasificar de acuerdo a su orientación, como se muestra en la Tabla 1.

Tipo	Descripción
Horizontales	Es aquella que forma ángulo de 0 grados, es decir si realizamos un trazo de una recta en un plano cartesiano, entonces cualquier recta que sea paralela al eje "x" es horizontal, y por tanto su pendiente es cero.
Verticales	Es aquella cuya que al trazarla se obtiene una recta paralela al eje "y", y desde la definición formal diremos que su pendiente es infinita o indeterminada.
Con pendiente positiva	Se caracteriza porque tiene un ángulo de inclinación menor a 90 grados con respecto a la horizontal. Es decir con el eje "x".
Con pendiente negativa	Se caracteriza por tener un ángulo de inclinación mayor a 90 grados con respecto al eje "x".

Tabla 1. Clasificación de líneas rectas.

### 3. Desarrollo

#### 3.1 Armado de experimento y adquisición de imágenes.

La primera etapa del proyecto consistió en el armado de una estructura similar a la de la sección 2.1 en la Figura 2, esto con la finalidad de poder realizar la toma de imágenes digitales para su posterior procesamiento. Se muestra el experimento de luz estructurada en la Figura 3, y la imagen con un objeto bajo un patrón de Ronchi en la Figura 4. La estructura que se construyó se observa en la Figura 6, y las imágenes que se tomaron son las mostradas en la Figura 7.



Figura 3. Experimento de luz estructurada.



Figura 4. Imagen con un objeto bajo un patrón de Ronchi.

#### 3.2 Procesamiento de imágenes digitales.

En imágenes como la Figura 5, de ser necesario, se pueden aplicar uno o más filtros descritos en la sección 2.2, con la finalidad de lograr una imagen con características en los niveles de intensidad que permitan la visualización clara de las franjas negras de las blancas.

Una de las técnicas básicas de marcar o extraer regiones es la binarización de acuerdo a la ecuación 5 y también lograr una imagen en la cual solo existan los dos niveles de intensidad. Esto se observa en la Figura 6.

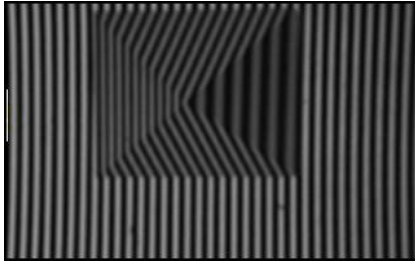


Figura 5. Imagen con la aplicación de uno o más filtros.

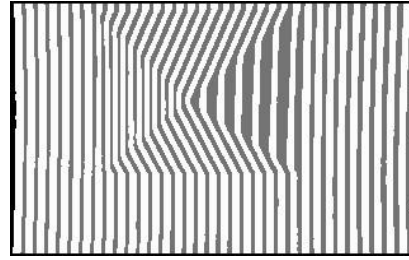


Figura 6. Imagen binarizada.

Con unas imágenes en las cuales solo existan dos niveles de intensidad o color, se vuelve un factible la detección del inicio, final y centro de donde principian cada una de las franjas del patrón de Ronchi. El proceso es básicamente un barrido sobre el eje  $x$  de la imagen buscando el primer pixel de color negro y posteriormente buscar el ultimo, con estos dos pixeles detectados por franja se calcula el centro de ella como se aprecia en la Figura 7.

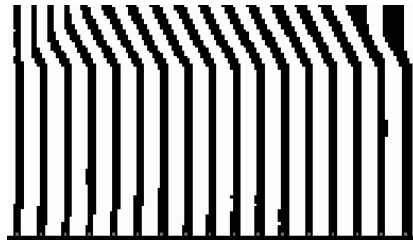


Figura 7. Imagen con centros de franjas detectados.

Contando con los centros de las franjas del patrón de Ronchi, se aplica la Ecuación 6, para con ello poder separar las franjas en una imágenes individuales, así como erosionarla a un pixel de ancho. Esto se observe en las Figuras 8 y 9.



Figura 8. Imagen erosionada y separada.



Figura 9. Imagen erosionada y separada.

Se muestra en las Figuras 10 y 11 dos franjas que están separadas del resto del patrón y de un pixel de ancho exactamente. Esto permite realizar un barrido sobre el eje y espaciada  $n$  espacios, marcando el pixel de color diferente al del fondo y marcándolo como centro de masa; esto nos lleva a tener  $n$  centros de masa en una misma franja.



Figura 10. Imagen erosionada y separada (aumentada).



Figura 11. Imagen erosionada y separada (aumentada).

Con los puntos marcados sobre las líneas, se procede a calcular la pendiente de la línea recta formada entre el punto  $n$  y el punto  $n + 1$ , usando la formula 7. Al final debemos de contar con  $n - 1$  pendientes a lo largo de la franja de un pixel de ancho.

#### 4. Resultados y conclusiones

En el desarrollo de esta investigación se encontraron los siguientes resultados. Siguiendo los pasos descritos en este escrito, es factible la detección, segmentación, discriminación de las franjas en una proyección de un patrón de Ronchi. Se aprendió y fue implementado con éxito la calibración de la proyección del patrón de franjas con respecto al ángulo de la cámara para que las franjas sean paralelas; esto fue descrito en las figuras 1 y 3. Con la selección de las franjas, se determinó que sí se puede disminuir el tiempo de procesamiento en la reconstrucción de los objetos bajo la proyección. Es importante mencionar que cada una de las imágenes contuvo una fracción de la forma del objeto. Finalmente, se hizo exitosamente la determinación de puntos sobre la franja de luz que fueron los que se usaron para determinar la forma del objeto.

#### *Recomendaciones para trabajos futuros*

Con los elementos aportados en este artículo, se presentan algunas líneas de trabajo para fortalecer el método presentado. Las posibles líneas de trabajo son:

1. Enriquecer el modelo matemático con información a priori sobre la pendiente del patrón de Ronchi, para no depender de la indeterminación de la pendiente para la selección de franjas.
2. Aumentar las opciones de filtros de imágenes para poder trabajar con imágenes más ruidosas.
3. Implementación de algoritmos y técnicas de métodos numéricos que nos permitan la creación de polinomios que describan la forma del objeto.
4. Medición del error en los polinomios con respecto al objeto real.

#### Referencias bibliográficas

1. G. Pajares and J M de la Cruz García, *Visión por computador*, Alfaomega Ra-Ma. 1-3. 2002.
2. C. Lin, H. He, H. Guo, M. Chen, X. Shi, T. Yu, Fringe projection measurement system in reverse engineering, *Journal of Shanghai University* 9 (2) (2005) 153–158
3. Horn, B.K.P., ‘Shape from shading: a method for obtaining the shape of a smooth opaque object from one view’, Ph. D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., 1970.
4. J.A. Muñoz-Rodríguez, A. Asundi and R. Rodríguez-Vera, Recognition of a light pattern by Hu moments for 3-D reconstruction of a rotated object, *Science direct, Optics & Laser Technology*, Vol 37., 131-138, 2005.
5. Joenathan, C., Khorana, B.M., Phase measurement by differencing Interferometric Fringes, *Journal of Modern Optics* 39: 2075 – 2087 (1992).
6. L. Chen, C. Huang, Miniaturized 3D surface profilometer using digital fringe projection, *Meas. Sci. Techn.* 16 (5) (2005) 1061–1068.
7. M. F. M. Costa, Surface inspección by optical triangulation method, *Opt Eng*, Vol. 35 2743-2747 (1996).
8. M. Kouchi and M. Mochimaru, Development of a low cost foot-scanner for a custom shoe making system, 5th ISB Footwear Biomechanics, 58-59., Zurich, Switzerland, 2001.
9. M. Martín Ortiz, *Procesamiento Digital de Imágenes*. FCC-BUAP-Rev., 2013
10. Quiroga, J. A. Gómez-Pedrero, and A. García-Botella, “Algorithm for fringe pattern normalization,” *Opt. Commun.* 197: 43–51 (2001).
11. Siva Gorthi, S., Rastogi, P.: Fringe Projection Techniques: Whither we are? *Optics and Lasers in Engineering* 48(2), 133–140 (2009)
12. Vazquez, M., Cuevas, F.J. ‘A 3D Facial Recognition System using Structured Light Projection ‘ HAIS 2014, Springer International Publishing Switzerland, LNAI 8480, pp. 241–253, (2014)
13. Xiao, G., Ong, S.H., Foong, K.W.C., Efficient partial surface registration for 3D objects, *Computer Vision and Image Understanding*, Volume 98: 271 – 274 (2005).
14. [https://www.ecured.cu/Pendiente\\_de\\_una\\_recta](https://www.ecured.cu/Pendiente_de_una_recta)