



# MEDIDA DE SUPERFICIES 3D MEDIANTE IMAGEN POLARIMÉTRICA

AUTORES:

Sara PEÑA-GUTIÉRREZ <sup>(1)</sup>, Paula MAYNOU <sup>(2)</sup>, Maria BALLESTA-GARCIA <sup>(1)</sup>, Santiago ROYO <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Centre de Desenvolupament de Sensors, Instrumentació i Sistemes, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC-CD6), Rambla Sant Nebridi 10, 08222, Terrassa, España

<sup>(2)</sup> Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), 08193, Cerdanyola del Vallès, España

## INTRODUCCIÓN

La reconstrucción 3D de objetos es un procedimiento relevante en aplicaciones de visión artificial, inspección, o control de calidad. Existen varios métodos de recuperación de las formas de las superficies, que se obtienen partiendo de aproximaciones tanto fotométricas, como geométricas que incluye la estereovisión [1], la iluminación estructurada [2], o los cálculos de profundidad basados en el desenfoque [3].

Un método novedoso para recuperar la rugosidad y la forma de la superficie de un objeto consiste en aprovechar la información contenida en la polarización de la luz reflejada en el objeto [4]. Este enfoque permite utilizar una fuente de luz controlada pero no polarizada y de un sistema capaz de medir la señal de polarización reflejada por el objeto, empleando únicamente un sensor.

## CONTEXTO TEÓRICO

Cuando un objeto es iluminado con luz no polarizada, una parte de esta luz es refractada y la otra reflejada, siguiendo la ley de la reflexión y la ley de Snell. En la componente reflejada, existe una parte polarizada en función del índice de refracción del material y del ángulo de iluminación, entre otros factores. En el caso de los dieléctricos, esta porción de la luz reflejada queda linealmente polarizada respecto a la normal local de la superficie.

La teoría de Fresnel se utiliza para la estimación de la forma a partir de la polarización. Para ello, es necesario realizar al menos tres medidas de intensidad a distintas polarizaciones lineales, por ejemplo, en los ángulos 0°, 45° y 90°. A partir de estas intensidades, se pueden calcular el azimut ( $\phi$ ) y el grado de polarización ( $\rho$ ) utilizando las ecuaciones (1) y (2). Una vez obtenidos ambos parámetros, se introducen en la ecuación (3) del grado de polarización en luz difusa [5]:

$$\phi = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{I_0 + I_{90} - 2I_{45}}{I_{90} - I_0}\right) + 90^\circ \quad (1)$$

$$\text{if } I_{90} < I_0 \begin{cases} \text{if } I_{45} < I_0 & \phi = \phi + 90^\circ \\ \text{else} & \phi = \phi - 90^\circ \end{cases} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{I_{90} - I_0}{(I_{90} + I_0) \cos 2\phi} \quad (2)$$

$$\rho_d(n, \theta) = \frac{(n - \frac{1}{n})^2 \sin^2 \theta}{2 + 2n^2 - (n + \frac{1}{n})^2 \sin^2 \theta + 4 \cos \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \quad (3)$$

Los rangos de los ángulos de las coordenadas son:  $\phi \in [-90^\circ, 90^\circ]$  y  $\theta \in [0^\circ, 90^\circ]$ .

## MONTAJE EXPERIMENTAL

El montaje consiste en una fuente de luz blanca colocada en geometría coplanar y al lado del detector para tener el mismo campo de visión y de iluminación. El detector es una cámara polarimétrica de división de plano focal (PHX050S-PC, Lucid Vision Labs) con un objetivo de focal fija de 25mm (EO #56-789).

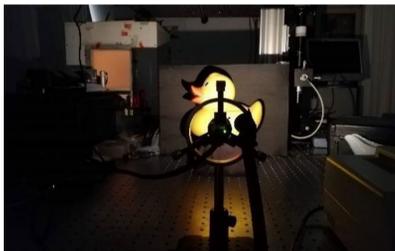


Fig. 1: Foto del montaje del sistema.

Para obtener las normales locales en cada píxel hay tres pasos a seguir:

1. **Calibración de la cámara polarimétrica.** A cada imagen de intensidad ( $I_x$ ), se le sustrae el ruido de fondo ( $I_{dark}$ ) y se aplica una corrección de campo plano ( $I_{GNU}$ ) y una compensación del micro polarizador ( $R$ ):

$$I_{cal} = \frac{I - I_{dark}}{I_{GNU}} R$$

2. **Cálculo de los parámetros  $\phi$ ,  $\rho$**  resolviendo las ecuaciones (2) y (3) píxel a píxel. Estudio de la desambiguación de  $\phi$ .

3. **Cálculo del ángulo  $\theta$**  asumiendo que  $\rho$  proviene de la componente difusa. La raíz de la ecuación (3) debe de estar comprendida en el intervalo  $[0^\circ, 90^\circ]$ .

4. **Cálculo de las normales de la superficie** utilizando la definición de coordenadas esféricas.

## RESULTADOS

En la Fig.2 (a) podemos ver el mapa de intensidad que se podría medir con una cámara convencional, y en la Fig. 2(b) el mapa del grado de polarización obtenido utilizando la ecuación (2). En ellos podemos ver las diferencias relacionadas con la capacidad de los dieléctricos de producir luz parcialmente polarizada. En el centro de la esfera tenemos valores mínimos de  $\rho$ , que aumentan a medida que se acercan a los polos de la esfera.

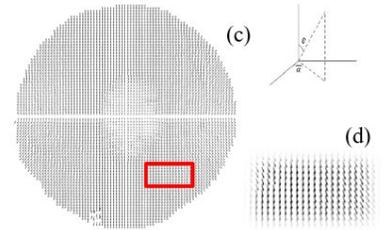
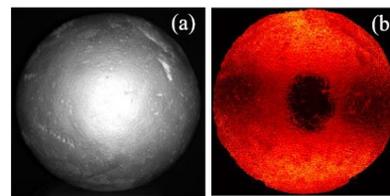


Fig. 2: Mapa de intensidad (a), mapa de grado de polarización (b). Mapa vectorial de las normales de la esfera (c). Ampliación del mapa vectorial en la zona señalada (d).

Como segundo objeto de prueba, escogemos un cubo de metal para estudiar los resultados al introducir un material diferente. En la Fig. 3 puede apreciarse cómo el método propuesto también permite calcular la intensidad y el grado de polarización en este objeto metálico. En la Fig. 3(d) se muestra un zoom de la zona señalada por el recuadro rojo en la Fig. 3(c). Se puede comprobar la validez y continuidad de los ángulos calculados.

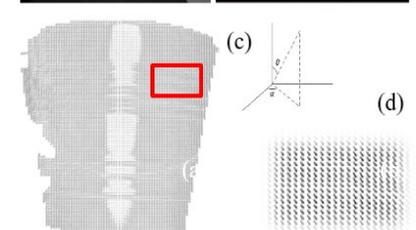
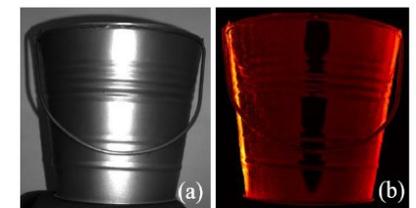


Fig. 3: Mapa de intensidad (a), mapa de grado de polarización (b). Mapa vectorial de las normales del cubo metálico (c). Ampliación del mapa vectorial en la zona señalada (d).

## CONCLUSIONES

Se ha propuesto un método basado en imagen polarimétrica para estimar la forma de los objetos y se han obtenido buenos resultados. Se ha conseguido recuperar la forma de objetos de diferentes rugosidades, materiales y simetrías, todo ello utilizando una cámara polarimétrica comercial como sensor.

Una de las dificultades más importantes es la restricción de estas técnicas a las condiciones de iluminación. Esto indica la dirección de los trabajos futuros a desarrollar: por un lado, la optimización y pruebas relativas a diferentes condiciones de iluminación, y por otro la mejora de los algoritmos de cálculo para determinar la normal local en superficies más complejas y utilizando luz natural como iluminación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. KIEU, T. PAN, Z. WANG et al., "Accurate 3D shape measurement of multiple separate objects with stereo vision", Measurement Science and Technology, 25, (2014).
- [2] S. NAYAR, A. SANDERSON, L. WEISS, D. SIMON, "Specular surface inspection using structured highlight and Gaussian images," IEEE Trans. Rob. Autom. 6, 208-218, (1990).
- [3] A. S. MALIK, T. CHOI, "A novel algorithm for estimation of depth map using image focus for 3D shape recovery in the presence of noise", Pattern Recognition, 41, 2200-2225, (2008).
- [4] G. ATKINSON, E. HANCOCK, "Shape from diffuse polarization", Proceeding of the British Machine Vision Conference, (2004).
- [5] G. A. ATKINSON and E. R. HANCOCK. "Recovery of surface orientation from diffuse polarization". IEEE Trans. Image Process., 15, 1653-1664, (2006).

