

Evaluación de modos de imagen polarimétrica en una cámara de niebla mediante el uso del contraste de imagen

Evaluation of polarimetric imaging modes in a fog chamber using image contrast

Maria BALLESTA-GARCIA ⁽¹⁾, Sara PEÑA-GUTIÉRREZ⁽¹⁾, Aina VAL⁽¹⁾, Santiago ROYO ⁽¹⁾.

1. Centre de Desenvolupament de Sensors, Instrumentació i Sistemes, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC-CD6), Rambla Sant Nebridi 10, E08222, Terrassa, Spain.

Persona de contacto: Maria Ballesta Garcia (maria.ballesta.garcia@upc.edu).

RESUMEN:

Mediante el uso de una cámara polarimétrica y una fuente de luz linealmente polarizada, se ha realizado una comparativa entre distintos modos de imagen polarimétrica e imagen de intensidad en un entorno de niebla controlado. Dicho entorno se ha conseguido mediante el diseño y la construcción de una cámara de niebla a pequeña escala. Para evaluar los distintos modos de imágenes se ha calculado el contraste de Michelson de distintas muestras respecto a su fondo. En una imagen enturbiada, a mayor contraste, más fácil es la detección y segmentación de un objeto de interés. Se ha demostrado que en las situaciones estudiadas se consiguen mayores contrastes con imágenes polarimétricas que con la imagen de intensidad.

Palabras clave: imagen polarimétrica, procesado de imagen, imagen a través de medio turbio, polarimetría, niebla, contraste de Michelson.

ABSTRACT:

A comparison between different modes of polarimetric imaging and intensity imaging in a controlled foggy environment has been made by using a polarimetric camera and a linearly polarized light source. A small-scale fog chamber has been designed and constructed to create the necessary controlled foggy environment. In order to evaluate the different modes of image, the Michelson's contrast of different samples with respect to their background has been calculated. When imaging through a turbid media, the higher the image contrast, the easier is to detect and segment the embedded targets of interest. It has been proved quantitatively that in the studied situations polarimetric images may present greater contrast than intensity images.

Key words: polarimetric imaging, imaging processing, imaging through turbid media, polarimetry, fog, Michelson's contrast.

1.- Introducción

Cuando la luz se propaga a través de un medio turbio, la dirección de propagación de los fotones se aleatoriza más rápidamente que su estado de polarización. Como consecuencia, la luz se atenúa antes de lo que se pierden las propiedades polarimétricas iniciales de la iluminación. Este efecto se conoce como efecto de memoria de la polarización [1][2]. Por esta

razón, las imágenes obtenidas mediante la detección de características polarimétricas se presentan como una alternativa en aplicaciones de imagen a través de medio turbio. En general, en estas condiciones, las imágenes polarimétricas muestran mejores contrastes que las imágenes de intensidad por lo que se facilita la distinción y detección de elementos sumergidos en este tipo de medios [3].

En esta comunicación presentamos el estudio de contraste de distintos modos de imagen, comparando las imágenes obtenidas mediante el uso de la propiedad de intensidad de la luz y de las propiedades polarimétricas. Este tipo de estudios se ha vuelto relativamente popular, pero usualmente los elementos fotografiados son materiales poco convencionales o muy perfectos, y los medios estudiados intentan simular tejidos biológicos o muy densos [4][5]. En este estudio se han tomado imágenes de distintitos tipos de materiales comunes con diferentes características y colores (papel, madera, metal y plástico) y se ha usado un medio simulador de niebla. Estas condiciones pretenden aproximarse a situaciones reales.

Para la realización de estos experimentos ha sido necesario el desarrollo de un montaje experimental capaz de producir y contener un medio turbio con las características deseadas, y de controlar sus propiedades ópticas, cuya construcción se describe en la siguiente sección.

2.- Método

2.1.- Montaje experimental

El experimento se realizó construyendo físicamente una cámara de niebla a pequeña escala. La cámara de niebla consiste en una caja de 300x300x900 mm con una estructura de aluminio recubierta por plafones de metacrilato negro. La niebla se genera en un recipiente externo y se inyecta en la cámara a través de un agujero de 10 cm de diámetro mediante un ventilador. A causa de sus características, la niebla que entra en la cámara tiende a acumularse de forma estratificada en su parte inferior. Un ventilador adicional dentro de la caja se utiliza para distribuir de forma uniforme en todo el espacio la niebla acumulada. Uno de los extremos cuadrado de la caja tiene un agujero en el cual se colocan en el mismo plano geométrico la iluminación y el detector. En la parte superior de la cámara se ha habilitado un camino óptico longitudinal adicional con un fotodiodo alineado con una luz láser colimada de 635 nm. Estos dos elementos se usan para calibrar en cada momento el nivel de niebla de la cámara a través de la transmitancia medida:

$$T = I/I_0, \quad (1)$$

siendo I , la potencia óptica medida en cada momento e I_0 la potencia óptica inicial, cuando no hay niebla en la caja. Para más información acerca de la configuración experimental ver el esquema de la Fig. 1 y la fotografía de la Fig. 2.

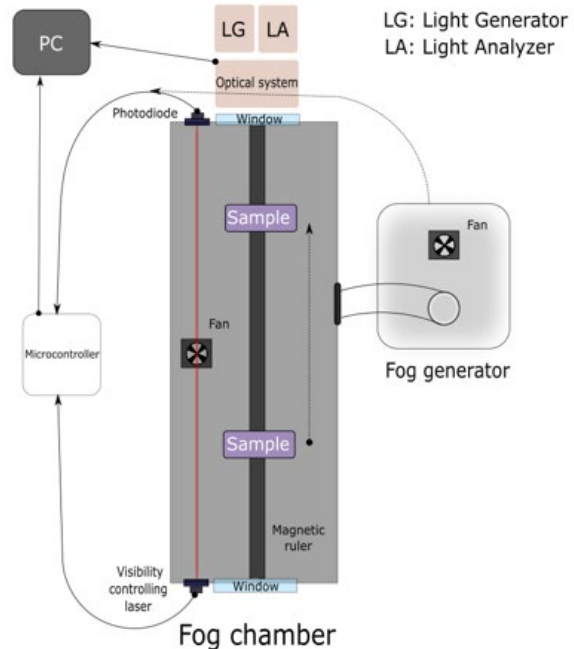


Fig. 1: Esquema del montaje experimental.

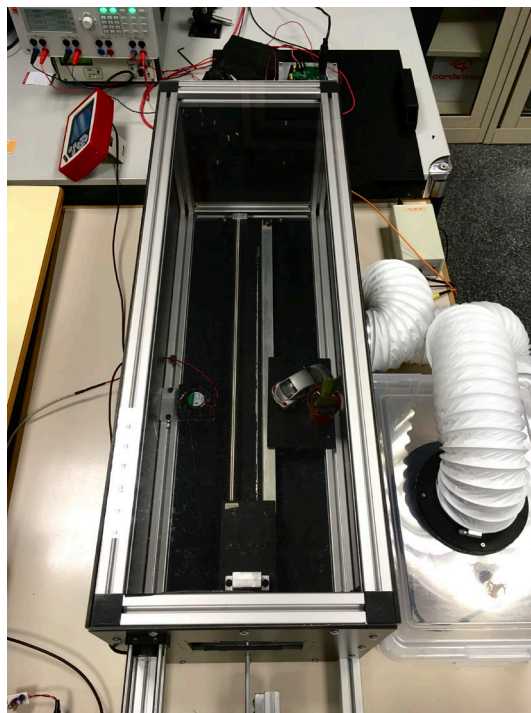


Fig. 2: Montaje experimental: cámara de niebla.

Respecto a la fuente de iluminación, se ha utilizado una fuente de luz blanca modelo SCHOTT KL 1500 ELECTRONIC con un polarizador lineal debidamente alineado en el ángulo azimutal a 0.63° respecto a la horizontal. Como detector, se usó una cámara polarimétrica del modelo PHX050S-PC Lucid Vision Labs Phoenix con un objetivo Edmund Optics 25 mm con la apertura a $f = 1:4$. El sensor de esta cámara polarimétrica tiene cuatro filtros de polarización direccional (0° , 90° , 45° y 135°) agrupados en macropíxeles de cuatro píxeles, con lo que es capaz de recuperar los tres primeros parámetros de Stokes: S_0 , S_1 y S_2 para cada macropíxel de la imagen.

Para sostener las muestras de los diferentes materiales, se usó un soporte organizado en forma de una matriz 2x2 (Fig. 3). De arriba a la izquierda a abajo a la derecha, en la posición 1:1 hay una muestra de hoja de papel blanco; en 1:2 hay una muestra de poliestireno expandido (EPS) gris; en 2:1 un objeto metálico y en 2:2 un trozo de madera. El borde de la placa fue recubierto con una cinta adhesiva óptica absorbente que se considera como el fondo de la imagen.

Previo a los experimentos, se realizó una caracterización polarimétrica del comportamiento de cada uno de los elementos de la paleta. Cada una de las muestras fue iluminada con un estado de polarización lineal perfecto controlado por un polarímetro Thorlabs modelo PAX1000VIS/M, y se calculó el grado de polarización lineal (DOLP) que presentaba la iluminación reflejada. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1. Se aprecia como el papel, el EPS y la madera son materiales despolarizantes con características similares, y que se comportan de manera diferente al metal y al fondo. Así pues, como era de esperar, los materiales dieléctricos no mantienen la polarización, mientras que el metal y, en este caso, el fondo sí lo hacen.

La paleta de prueba se colocó en el interior de la cámara de niebla de tal manera que el objetivo de la cámara polarimétrica enfocase la imagen correctamente sobre el sensor (Fig. 3). Para ello, la paleta se conectó a una regla magnética integrada en la caja, que nos permite mover las muestras sobre un carro y conocer con precisión su posición dentro del espacio.

La intensidad luminosa en los bordes y el centro de la paleta de prueba se verificó inspeccionando imágenes de intensidad previas para asegurar que la iluminación estaba uniformemente distribuida. Se comprobó que la desviación en intensidad entre los bordes y el centro de la paleta estaba por debajo del 2%.

MATERIAL	DOLP
PAPEL	0.11
EPS	0.27
METAL	0.89
MADERA	0.30
FONDO	0.75

Tabla 1: Grado de polarización lineal de la iluminación reflejada por los materiales de la muestra de prueba.

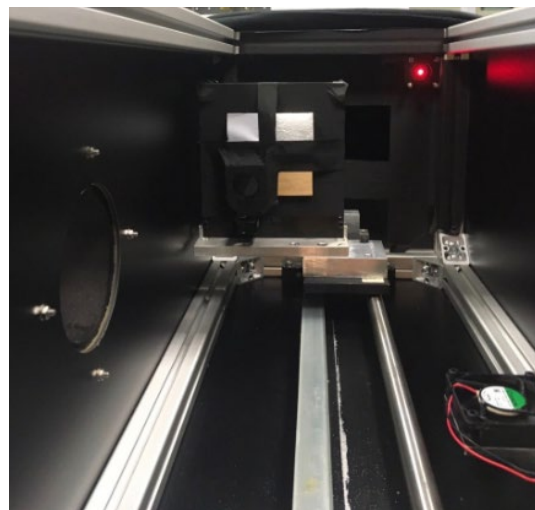


Fig. 3 Soporte con muestras dentro del montaje experimental.

2.2.- Procesado de imagen

Las cámaras polarimétricas por división del plano focal basadas en matrices de micro-polarizadores permiten recuperar fácilmente imágenes basadas en los parámetros de Stokes [6]. En el caso de las cámaras polarimétricas lineales (como el nuestro), se usan cuatro filtros polarizadores lineales (0° , 90° , 45° y 135°) delante de cada grupo de 2x2 píxeles, por lo que se obtienen cuatro imágenes que corresponden a cada una de esas polarizaciones. Con estos datos se puede calcular la imagen de intensidad convencional, simplemente sumando las correspondientes a dos imágenes ortogo-

nales. A partir de ellas también se pueden calcular las imágenes correspondientes a los parámetros de Stokes lineales, y a otros parámetros usuales en polarimetría, tal y como se muestra en la Tabla 2 [5]. La Tabla 2 muestra asimismo el acrónimo con el que nos referiremos a cada modo de imagen en el resto de esta contribución. En este estudio hemos querido comparar el contraste obtenido para cada uno de estos modos de imagen.

Modo de imagen (inglés)	Abv.	Cálculo
Intensity/Stokes 0	INT	$0^\circ + 90^\circ = 45^\circ + 135^\circ$
Stokes 1	S1	$0^\circ - 90^\circ$
Stokes 2	S2	$45^\circ - 135^\circ$
Co-polarized	CO	0°
Cross-polarized	CROSS	90°
Degree of linear polarization	DOLP	$(S1^2 + S2^2)/INT$
Differential polarization	DIFF	$CO - CROSS$
Degree of co-polarization	POL	$DIFF/INT$

Tabla 2: Modos de imagen polarimétricos usados en este estudio: nombre, abreviatura y cómo se calculan.

Remarcar, finalmente, que el concepto de co-polarización se corresponde a la detección de luz polarizada en el mismo estado que la polarización en la emisión y que la polarización cruzada (cross-polarización) hace referencia a la detección ortogonal respecto la polarización en la emisión. En nuestro caso, la emisión

era en 0° , por lo que CO es la imagen a 0° y CROSS a 90° .

La Fig. 4 muestra un ejemplo de las imágenes de la paleta de muestras recuperadas para distintas transmitancias ($T = 1$ y $T < 0.1$) causadas por la niebla en los distintos modos de imagen.

El contraste es la diferencia de luminancia que hace que un objeto (o su representación en una imagen) sea distinguible. En general, se define como la diferencia relativa en la intensidad entre dos puntos de una imagen, y en este caso se ha usado para cuantificar la capacidad de diferenciar una muestra respecto al fondo en el que se encuentra. Existen en la literatura diferentes maneras de calcular el contraste en una imagen [7]. En este estudio se ha usado el contraste de Michelson, definido como:

$$C = |(I_{obj} - I_{bg}) / (I_{obj} + I_{bg})| \quad (2)$$

En donde I_{obj} es la intensidad media de la muestra de interés y I_{bg} es la intensidad media de una zona de interés correspondiente a la paleta recubierta con la cinta óptica absorbente.

3.- Resultados

Para definir un valor de visibilidad estándar se establece que un umbral de contraste de 0,05 (5%) establece el límite distinguible para el ojo [8]. Para el análisis de los resultados obtenidos, usaremos esta convención. Entendemos por ello que todas las imágenes con contrastes por debajo del 5% no nos permiten la diferenciación de la muestra que está siendo analizada en medio de la niebla.

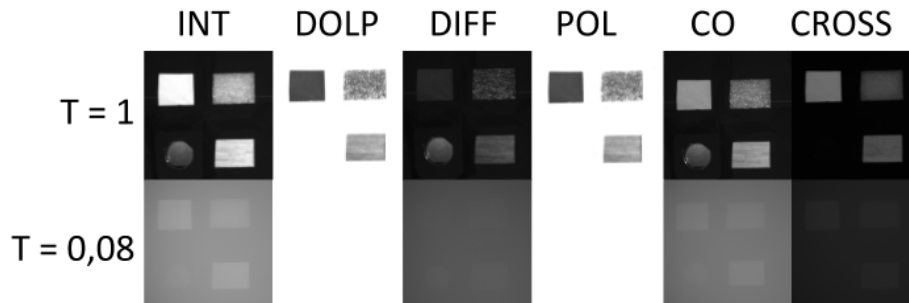


Fig. 4: Imágenes de las muestras para los diferentes modos de imagen estudiados a dos transmitancias distintas, dispuestas en fila diferentes. $T = 1$ (arriba) corresponde a la no presencia de niebla, mientras que $T = 0.08$ (abajo) corresponde a la presencia de niebla densa.

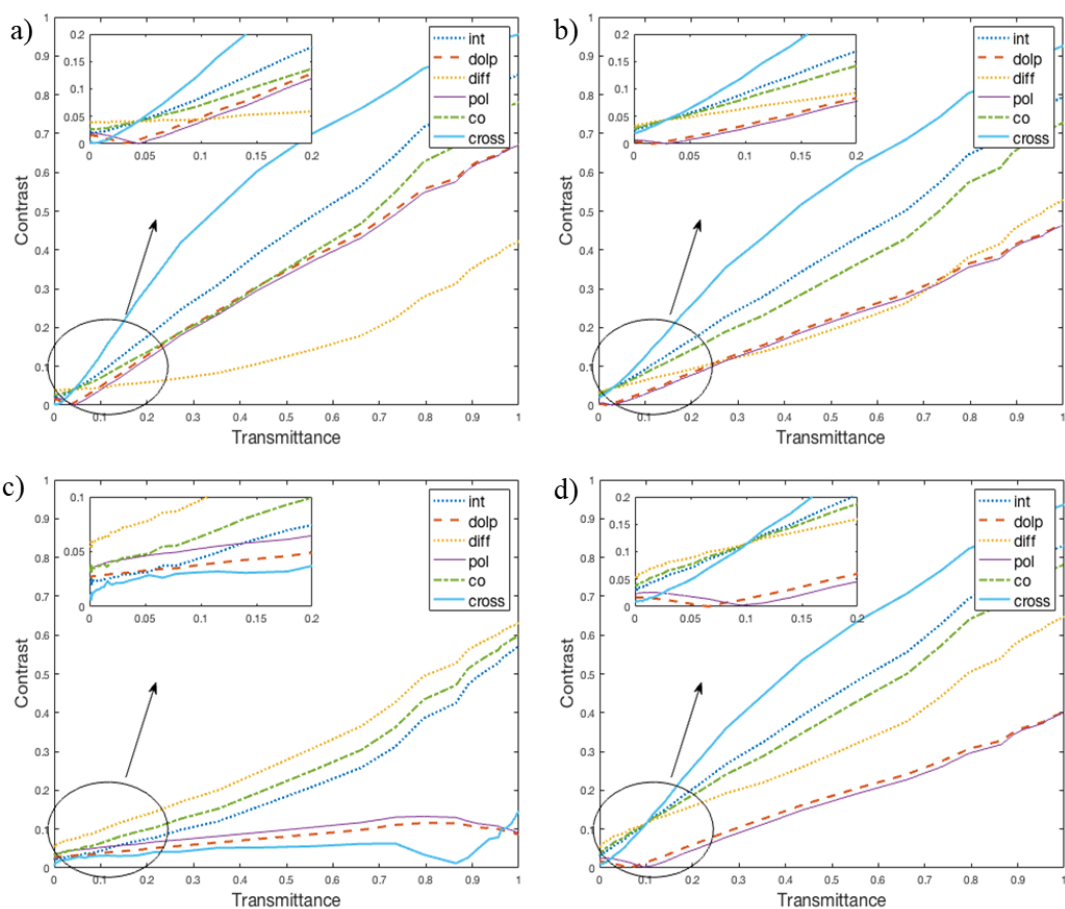


Fig. 5 Contraste de Michelson calculado para distintas transmitancias entre la muestra y el fondo para: a) papel, b) EPS, c) metal y d) madera.

La Fig. 5 muestra la evolución del contraste entre la muestra seleccionada y el fondo de los diferentes modos de imagen descritos en la tabla 2, para los cuatro materiales considerados: a) papel, b) EPS, c) metal y d) madera, medidas en 45 niveles de transmitancia de la niebla diferentes. En cada sub-figura se ha ampliado el rango de transmitancia menor para poder observar mejor el comportamiento del umbral de contraste. Los resultados obtenidos para los materiales dieléctricos (papel, madera y EPS) resultan comparables, mientras que el material metálico se comporta de manera diferente.

Como se puede observar, para transmitancias pequeñas (que se corresponden con una alta densidad de la niebla) el contraste de la imagen en intensidad está en general por debajo del 5%, y por tanto, mediante el uso de este modo de imagen no sería posible distinguir ninguna de las muestras a través de la niebla al encontrarse por debajo del umbral de visi-

bilidad. Sin embargo, los modos polarimétricos de imagen DIFF y CO, presentan contrastes mayores. En el caso del metal y la madera, el modo DIFF supera el umbral de visibilidad incluso para transmitancias por debajo del 0.05, lo que demuestra que los modos de imagen polarimétrica pueden presentar ventajas en la detección de materiales a través de medios turbios, permitiendo detectar objetos que no serían distinguibles como imágenes de intensidad. En la Fig. 5 vemos además que, como tendencia general, hay siempre un modo de imagen polarimétrica que presenta mayor contraste que la imagen de intensidad. En el caso de los dieléctricos el modo con mejor visibilidad se corresponde al modo CROSS, mientras que en el caso del metal el modo con mejor visibilidad corresponde al modo DIFF. Estos resultados ponen de manifiesto las ventajas que puede aportar el uso de la imagen polarimétrica en la detección y segmentación de objetos a través de medios turbios. En este

caso, además, remarca la capacidad para la distinción de objetos hechos con materiales de uso común en imagen realizada a través de medios turbios, y en particular a través de niebla. Este efecto tiene aplicaciones directas en campos relacionados con el transporte en diferentes medios o la vigilancia en condiciones meteorológicas adversas.

4.- Conclusión

Se ha utilizado el contraste de Michelson para estudiar la visibilidad de distintos modos de imagen (calculados a partir de modos de intensidad y de imágenes polarimétricas) de muestras experimentales formadas por materiales cotidianos, asumiendo que contrastes por debajo del 5% no permiten al ojo esta diferenciación. Este estudio demuestra la utilidad de las imágenes polarimétricas en medios turbios, ya que proporcionan una alternativa interesante a la imagen de intensidad que, para transmitancias pequeñas, puede permitir superar el umbral de visibilidad en situaciones en que el parámetro de intensidad se encuentra siempre por debajo del 5%. Este mayor contraste tiene el potencial de facilitar la detección y segmentación de objetos en medios turbios con visibilidades muy reducidas.

Se ha evaluado también la diferencia de comportamiento entre los diferentes materiales estudiados. En todos los casos e independientemente del tipo de material, para transmitancias muy pequeñas la imagen con mayor contraste es la imagen de polarización diferencial (DIFF). En el momento en que la transmitancia crece, para los materiales de características dieléctricas (la madera, papel y poliestireno expandido), la imagen que presenta mejor contraste es la de polarización cruzada (CROSS); mientras que el metal mantiene el comportamiento inicial, siendo DIFF siempre la imagen con mayor contraste.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado con el soporte de la Secretaria d'Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya y del Fondo Social Europeo, en el margen de la beca FI con núm. de expediente 2020FI_B1 00185. Los autores agradecemos también el soporte del Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto FIS2017-89850-R.

Referencias

- [1] Min XU, Robert R. ALFANO, "Random walk of polarized light in turbid media", Physical review letters, 95.21: 213901, 2005.
- [2] Fred C. MACKINTOSH, et al., "Polarization memory of multiply scattered light", Physical Review, 40.13: 9342, 1989.
- [3] François GOUDAIL, J. Scott TYO, "When is polarimetric imaging preferable to intensity imaging for target detection?" JOSA A, 28.1: 46-53, 2011.
- [4] Tatiana NOVIKOVA, et al., "Contrast evaluation of the polarimetric images of different targets in turbid medium: possible sources of systematic errors", en Actas / Proceedings de Polarization: Measurement, Analysis, and Remote Sensing IX (SPIE), Vol. 7672, 2010.
- [5] Ralph E. NOTHDURFT, Yao GANG, "Effects of turbid media optical properties on object visibility in subsurface polarization imaging", Applied Optics, 45.22: 5532-5541, 2006.
- [6] Duncan L. HICKMAN, et al. "Polarimetric imaging: system architectures and trade-offs." en Actas / Proceedings de Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications XV (SPIE), Vol. 10795, 2018.
- [7] Eli PELI, "Contrast in complex images", JOSA A, 7.10: 2032-2040, 1990.
- [8] Eric Dumont, "Extended Photometric Model of Fog Effects on Road Vision", Transportation Research Record, 1862.1: 77-81, 2004.

Otros:

(Marque la casilla haciendo doble click y seleccionando activar)

Deseo presentar esta comunicación como candidata a alguno de los premios (sólo si el primer autor es un estudiante; debe acreditar dicha condición con un documento oficial que debe ser enviado a optoel2021@unizar.es).

En este caso recuerde marcar la casilla **SI** en la pregunta correspondiente del formulario.