

TECNICAS DE SPECKLE DINAMICO: DESARROLLOS Y PERSPECTIVAS

Marcelo. Trivi¹⁻², Héctor J. Rabal², Eduardo E. Grumel¹⁻², Nelly Cap², Leandro Buffarini²

¹UID Óptimo, Dpto. Cs. Básicas, Fac. Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.

²Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET La Plata – CIC – UNLP)

Casilla Correo 3, 1897 Gonnet – La Plata

E-mail: marcelot@ciop.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Speckle láser dinámico (DLS) es una técnica óptica que se usa en varias aplicaciones en biología, medicina e industria [1-2].

En nuestro grupo se trabaja desde hace muchos años en esta técnica y recientemente se han desarrollado nuevas aplicaciones y algoritmos de cálculo. En particular, se han presentado nuevos descriptores para análisis de patrones de speckle de baja actividad [3], estudios de patrones espacio-temporales mediante el análisis de componentes principales [4], y segmentación de imágenes utilizando mapas auto-organizados [5]. La técnica de speckle dinámico se ha aplicado a estudios de quimiotaxis de bacterias en hidrocarburos [6], determinación de la dureza en semillas de maíz [7], caracterización de porcelanas de interés en electrotecnia [8], procesos de hidro-adsorción en superficies de arcilla para aplicaciones de catálisis [9] y mediciones de contracción durante la fotopolimerización de resinas utilizadas en odontología [10].

En este trabajo, se discute una breve reseña de los conceptos básicos de la técnica (DLS) y el dispositivo experimental utilizado. Luego se muestran algunos ejemplos de aplicaciones y un dispositivo compacto portátil de bajo costo que ha sido desarrollado para uso fuera de laboratorio. Finalmente, se presentarán las perspectivas de investigaciones futuras en este campo.

1. Speckle Dinámico

El speckle dinámico es un fenómeno óptico producido cuando un láser ilumina un objeto que presenta algún tipo de movimiento microscópico. Puede observarse por reflexión en superficies opacas y también por transmisión en objetos transparentes. Se basa en un fenómeno de dispersión que se produce cuando luz láser ilumina objetos activos (tejidos biológicos, procesos industriales, etc). En los casos típicos, la superficie de la muestra parece estar cubierta por pequeños puntos brillantes y oscuros que varían de manera aleatoria de acuerdo con las fluctuaciones de la superficie. Por lo tanto, el estudio de la evolución temporal de los patrones de speckle proporciona una herramienta interesante para caracterizar los parámetros que intervienen en los procesos dinámicos de la muestra.

El esquema experimental utilizado se muestra en la Figura 1. Un láser de He-Ne de baja potencia (10mW, $\lambda = 632.9$ nm) ilumina el objeto. El detector es una cámara CCD conectada a un "framegrabber" para digitalizar las imágenes de los patrones de speckle que luego son almacenados y procesados con diferentes algoritmos en un computador personal.

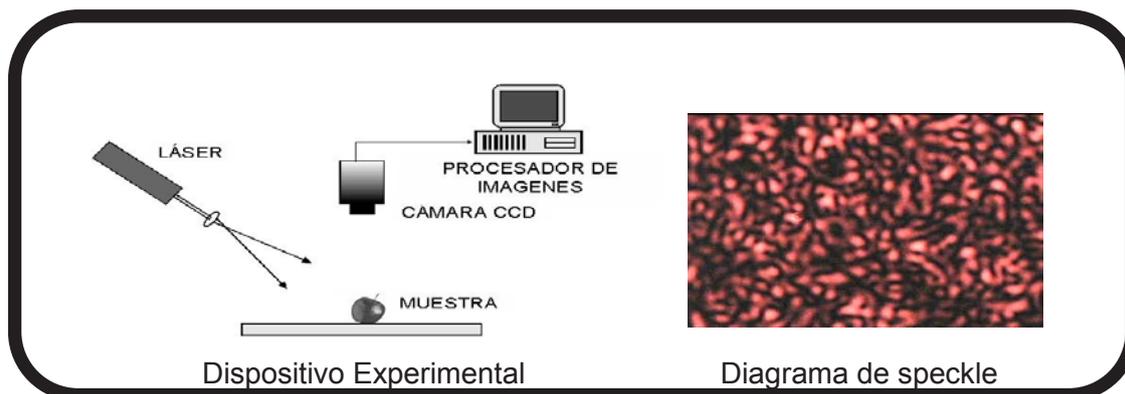


Figura 1. Dispositivo experimental

Para el caso en que la actividad presente un comportamiento homogéneo en todos los puntos de la superficie, el análisis de los datos de los diagramas de speckle dinámicos se basa en la construcción de las imágenes llamadas “historias temporales de los patrones de speckle” (THSP acrónimo en inglés) y en el desarrollo de algoritmos para su análisis [11-12]. En la Figura 2 se muestran THSP correspondientes a tres estados diferentes de una superficie. a) alta actividad, b) actividad media, c) sin actividad (superficie rígida).

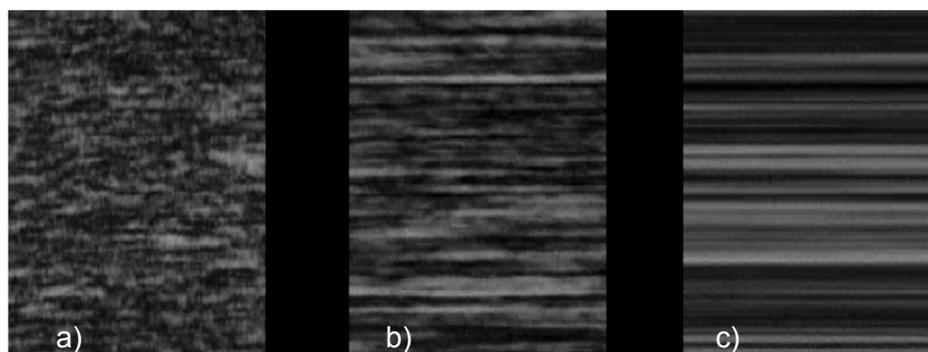


Figura 2. Historias Temporales de patrones de speckle (THSP)

En el caso en que la superficie presente zonas con distinta actividad de speckle, es necesario segmentar las imágenes, estudiando series temporales para caracterizar la evolución de cada pixel individual como se muestra en la Figura 3.

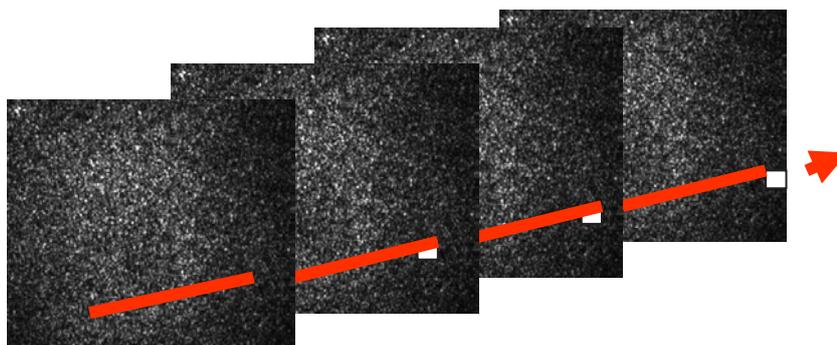


Figura 3. Evolución temporal de un pixel. Segmentación de imágenes en superficies con diferente actividad de speckle.

Luego de adecuados algoritmos de procesamiento de datos, es posible construir imágenes en tonos de gris caracterizando áreas del objeto que indican distinta actividad. Finalmente es posible pseudocolorear estas imágenes para una mejor discriminación de dichas áreas.

RESULTADOS

Se presentan ejemplos de utilización de la técnica DLS en el estudio de procesos de secado de pinturas, capilares sanguíneos y viabilidad de semillas.

Proceso de secado de pinturas

En esta sección se presentan resultados de la aplicación de la técnica DLS al estudio del proceso de secado de pinturas.

En este caso, se extendió una muestra de pinturas (“liquid paper”) de espesor controlado y se estudió el proceso desde el estado inicial correspondiente a pintura “fresca” hasta el estado final cuando la pintura puede considerarse “seca”.

En la Figura 4 se observa una alta actividad de speckle inicial y luego un comportamiento monótono decreciente hasta alcanzar un estado estacionario al final del proceso.

Un estudio detallado de esta aplicación se encuentra en la Ref[13].

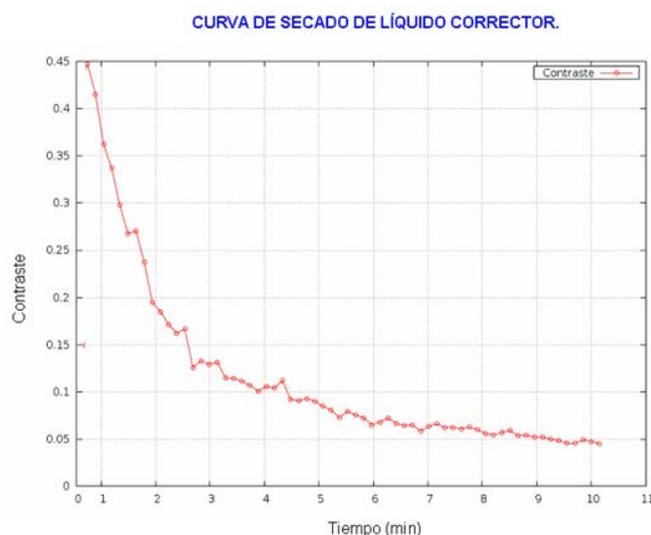


Figura 4. Proceso de secado de pinturas

Circulación sanguínea

La técnica DLS ha sido empleada para estudios de capilares sanguíneos. Este es un ejemplo donde es necesaria la segmentación de las imágenes para mostrar zonas con distinta actividad de speckle.

En este caso, utilizando el dispositivo experimental descrito en la Secc. 2 se iluminó el extremo de un dedo índice de uno de los autores de este trabajo.

Luego del procesamiento de los datos, la Figura 5 muestra la imagen en pseudocolor de los resultados experimentales provistos por DLS. Se observa claramente la distribución de los capilares bajo la uña del dedo en estudio

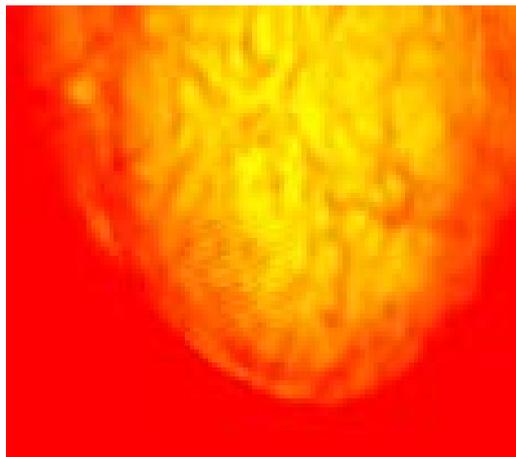


Figura 5. Capilares sanguíneos bajo la uña de un dedo de la mano

Semillas de maíz

Semillas de maíz han sido estudiadas mediante la técnica DLS.

La Figura 6 muestra la imagen en pseudocolor de los resultados experimentales obtenidos. Se observan las zonas de mayor actividad (en rojo) correspondientes al embrión y las de menor actividad (en verde y azul) correspondientes al endosperma. Esta aplicación es relevante en estudios de viabilidad [14] y de dureza [7] de semillas de maíz.

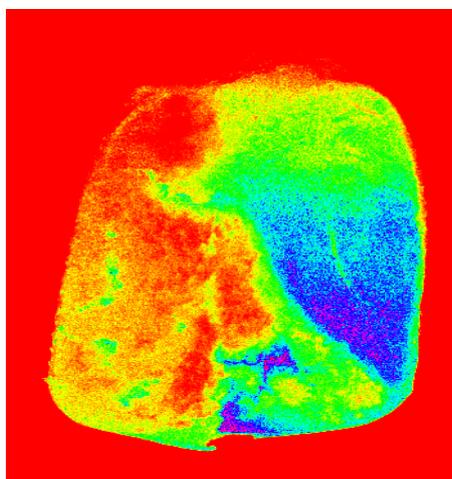


Figura 6. Semilla de maíz. Discriminación de zonas de embrión y endosperma.

Dispositivo Experimental Compacto de Bajo Costo

Recientemente, en nuestro grupo se ha desarrollado un dispositivo experimental DLS transportable para utilización fuera de laboratorio [15], que se muestra en la Figura 7. Se han reemplazado algunas componentes del dispositivo standard descrito en la Secc. 2 para que el mismo sea de bajo costo.

Luego de un análisis exhaustivo de los diferentes dispositivos asequibles en el mercado, se seleccionaron los siguientes elementos:

- Laser Diode DPSS (10mW, $\lambda = 671\text{nm}$)
- Plataforma Raspberry Pi (modelo B+) como subsistema de control y procesamiento. El sistema operativo utilizado es el Raspbian (basado en Linux)

Debian y optimizado para el hardware de $R\pi$). El programa principal fue desarrollado utilizando Python.

- Cámara web (con conexión USB) de bajo costo como dispositivo para adquisición de imágenes.
- Mini monitor LCD con entrada para señal de video compuesto, como elemento de visualización (también es posible la utilización de un monitor VGA, con cable conversor HDMI a VGA).
- Mini teclado inalámbrico, con touchpad incorporado.



Figura 7. Dispositivo DLS compacto de bajo costo.

CONCLUSIONES

El estudio de la evolución temporal de patrones de speckle mediante la técnica DLS, ha demostrado ser una herramienta eficaz para la caracterización de procesos dinámicos. Se han podido desarrollar métodos que proveen resultados cuantitativos y cualitativos para la discriminación de regiones con distinta actividad de speckle que han permitido múltiples aplicaciones. La técnica es relativamente fácil de implementar a un costo reducido.

Entre las perspectivas futuras se puede mencionar la aplicación a imágenes de ultrasonido y de microscopía, implementación de algoritmos que emplean dimensión fractal e imágenes de vórtices ópticos, desarrollo de modelos de scattering múltiple y nuevas aplicaciones de interés biomédico, biotecnológico e industrial.

Agradecimientos

Las investigaciones son financiadas mediante Proyecto I192 Fac. Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata y Proyectos PIP CONICET y CICPBA.

REFERENCIAS

- [1] Y. Aizu, T. Asakura, *Trends in Optics*, A. Consortini, ed. (Academic Press), Chap. 2. (1996).
- [2] H. Rabal, R. Braga Eds. *Dynamic Laser Speckle and Applications*. CRS Press, Taylor and Francis Publisher. (USA) (2009).
- [3] M. N. Guzmán, G. H. Sendra, H. J. Rabal, M. Trivi. *Applied Optics*, **53**, 14-21, (2014).
- [4] J. López-Alonso, J. Alda, H. Rabal, E. Grumel, M. Trivi, *Journal of Optics*, **17**, 035609, (2015).
- [5] L. Passoni, A. DaiPra, G. Meschino, M. Trivi, H. Rabal, M. Guzmán, A. Scandurra, M. Gonzalez, C. Weber. *Journal of Optics*, **18**, 085606, (2016).

- [6] M. Nisenbaum, M. Guzman, J. F. Gonzalez, G. H. Sendra, A. Bouchet, J. Pastore, M. Trivi, S. E. Murialdo. *International Journal of Environment and Health*, 7, 58-69 (2014).
- [7] C. Weber, A. L. Dai Pra, L. I. Passoni, H. J. Rabal, M. Trivi, G. J. PoggioAguerre, *Food Science and Nutrition* 2, 557-564, (2014).
- [8] F. Salguero, G. Bertolini, C. Cabello, E. Grumel, M. Trivi, G. Barbera. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 1666 - 1669, (2015).
- [9] R. D. Mojica-Sepulveda, L. J. Mendoza-Herrera, M. F. Agosto, E. E. Grumel, D. B. Soria, C. I. Cabello, M. Trivi. *Advances in Chemical Engineering and Science (ACES)*. Enpresa.
- [10] G. Arenas, M. Guzmán, C. Vallo, R. Duchowicz, M. Trivi. *Polymer Testing*, 50, 262-269, (2016).
- [11] A. Oulamara, G. Tribillon, J. Duvernoy, *Journal of Modern Optics*; 36, 165-179, (1989).
- [12] R. Arizaga, M. Trivi, H. J. Rabal. *Optics and Laser Technology*. 31, 163-169, (1999).
- [13] J. Amalvy, C. Lasquibar, R. Arizaga, H. Rabal, M. Trivi. *Progress in Organic Coating*, 42, 89-99, (2001).
- [14] R. A. Braga, I. M. dal Fabbro, F. V. Borem, G. Rabelo, R. Arizaga, H. J. Rabal, M. Trivi. *Biosystems Engineering*, 86, .287-294, (2003).
- [15] E. Hanisch, G. Riera, E. E. Grumel, M. Trivi. "IX Reunión Iberoamericana de Óptica y XII Reunión Iberoamericana de Óptica, Láseres y Aplicaciones (RIAO/OPTILAS), Pucón, Chile. Noviembre 2016.