

# UNIDAD DE INVESTIGACION Y DESARROLLO ÓPTIMO ULTIMOS DESARROLLOS EN EL CAMPO DEL SPECKLE

Coordinador Dr. Héctor Rabal

UID OPTIMO, Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP y Centro de Investigaciones Ópticas, CIOp, CONICET CIC Casilla de Correo 3, CC 1897 Gonnet, La Plata, Argentina.

Palabras clave: Speckle, biospeckle, scattering, encriptación óptica.

## INTRODUCCIÓN

La UID Optimo (Óptica y Metrología Óptica), perteneciente al Dpto. Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, desarrolla sus tareas de investigación en el campo de la óptica y la metrología en el marco de los Proyectos: I150 "Interacción de la luz con materiales orgánicos mediante técnicas de speckle láser y reflectancia espectral: aplicaciones en biotecnología, agronomía e ingeniería" e I125 "Procesamiento opto-digital de la información empleando portadores aleatorios".

En ambos casos, el concepto subyacente es el de la granularidad láser o "speckle" que se observa cuando una superficie ópticamente rugosa (es decir, no espejada) es iluminada por una fuente de luz coherente, como la que proviene de un láser.

En el primero de ellos, (Proyecto I150) se estudian diferentes maneras de caracterizar un fenómeno que se produce cuando una muestra activa, por ejemplo con actividad biológica, es iluminada por un láser provocando que la granularidad sea un fenómeno que cambia con el tiempo.

Por medio de esa caracterización se puede evaluar una serie de fenómenos de interés industrial, biológico, médico, etc. Por ejemplo, el secado de pinturas entre los primeros y la proporción de fases vítrea y harinosa en endosperma de maíces o la actividad de bacterias y hongos entre los segundos.

Las muestras cuya actividad es muy baja presentan un interés particular y se las puede estudiar utilizando la ubicación de los lugares donde el campo eléctrico presenta singularidades, conocida como vórtices ópticos.

Por medio de estas singularidades se logra medir la actividad y también construir imágenes de los lugares de igual valor de la misma, llamadas imágenes de actividad.

Una alternativa a los vórtices es provista por el concepto de islas de speckle que consiste en considerar a la imagen granular como compuesta por regiones disjuntas con formas irregulares pero características de cada una.

En las experiencias se registra un conjunto de imágenes sucesivas del fenómeno activo, se ubica a los vórtices o a las islas, se mide la actividad y se construye una imagen con el resultado, el cuál es interpretado en el marco de la aplicación correspondiente.

En el Proyecto I125 se aborda el tema de las aplicaciones del fenómeno speckle al procesamiento opto-digital de la información. Cabe destacar que con el advenimiento de internet, ha aparecido un impresionante incremento en la velocidad a la cual la información es diseminada. Los datos convencionales de uso masivo transmitidos a través de los sistemas informáticos son factibles de ser falsificados. Las técnicas de codificación permiten dar seguridad a la información transmitida. Los métodos tradicionales de codificación se basan en los principios de la criptografía para construir sistemas que proveen seguridad.

Las técnicas ópticas evidencian un gran potencial para el desarrollo de sistemas de seguridad basados en la encriptación, mediante la correlación óptica. Los sistemas de procesamiento óptico con su inherente paralelismo y alta conectividad presenta la ventaja de permitir encriptar grandes bloques de datos en paralelo usando claves muy complejas. Además, la mencionada capacidad de almacenar y recuperar los datos en paralelo y a una gran velocidad favorece el diseño de dispositivos que trabajen en tiempo real. En este marco, en el segundo de estos proyectos de UID se han empleado las técnicas que caracterizan al procesamiento óptico de la información, para la transmisión segura de datos e imágenes mediante la encriptación óptica.

Un método de encriptación busca codificar la información de manera que sea difícil decodificarla si no se conoce la clave pero fácil si se la conoce. Uno de los métodos más conocidos de codificación óptica está basado en el uso de una doble máscara aleatoria de fase, una en el plano de entrada y la segunda en el plano de Fourier. Debemos destacar que un patrón encriptado es esencialmente un patrón de speckle. Posteriormente, se realizaron modificaciones a este esquema original con el fin de aumentar el grado de seguridad. No sólo la máscara de fase empleada para la encriptación debe ser considerada como llave del proceso. Asimismo, los parámetros ópticos tales como la polarización, la longitud de onda, etc pueden ser considerados como parámetros adicionales. Estos parámetros adicionales pueden ser aprovechados para el almacenamiento múltiple de datos encriptados. En particular, en la UID se ha estudiado la capacidad de almacenamiento múltiple aprovechando los mencionados parámetros ópticos, en las distintas dispositivos de encriptación basados en las arquitectura de correladores de transformada conjunta y 4f.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Speckle dinámico

El dispositivo experimental que se utiliza para el registro de este fenómeno es relativamente simple como muestra la figura 1. Consta de una fuente de iluminación, que es un láser, una cámara CCD para la adquisición de los datos y una unidad de procesamiento consistente en una computadora personal con digitalizador de imágenes.

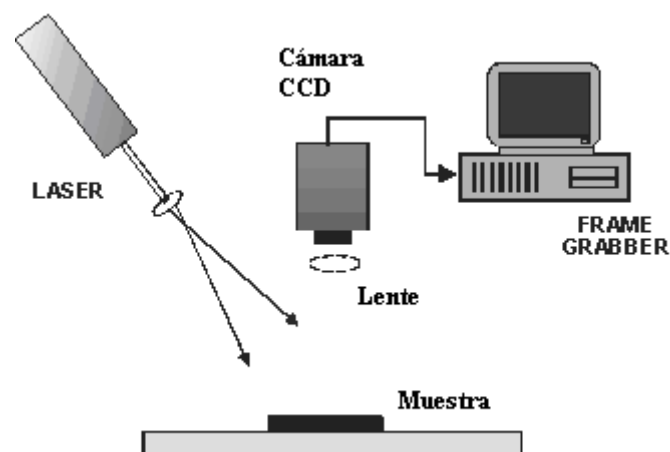


Figura 1. Dispositivo experimental

Las imágenes de la muestra cuya dinámica se desea estudiar son almacenadas en series de 8 bytes de niveles de gris en dos modalidades: *propagación libre e imagen*.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras que se estudian consisten en procesos de secado de polímeros o pinturas o procesos biológicos lentos: actividad en semillas en proceso de germinación, proporción de

fases vítrea y harinosa en semillas de maíz, actividad en frutas, detección de células cancerosas, variación del diámetro arterial, coagulación de la sangre, movimiento de bacterias, parásitos, alimentos, etc.

Se estudian los algoritmos de procesamiento que permitan la caracterización de cada fenómeno de interés.

Entre los numerosos algoritmos desarrollados por nuestro grupo, los más recientes son el uso de vórtices ópticos y el de islas de speckle. Los vórtices son lugares donde el campo de la onda electromagnética es cero y por lo tanto, la fase no está definida. Éstos permiten realizar medidas de muy alta precisión que caractericen fenómenos cuya evolución en el tiempo sea lenta con respecto al tiempo de adquisición de las imágenes. Las islas de speckle son imágenes de cada grano obtenidas al umbralizar las imágenes y permiten un uso similar al de los vórtices.

Los fenómenos cuya complejidad lo permita son modelizados numéricamente y los resultados experimentales se comparan con los que se obtienen mediante técnicas alternativas.

En la Figura 2 se muestra la actividad de speckle en una manzana golpeada. En el semicírculo en azul, abajo en el centro se observa el efecto del golpe (invisible a simple vista). Arriba a la derecha se observa un objeto inerte (rojo) colocado como control. En verde se puede ver la zona sana de la fruta.

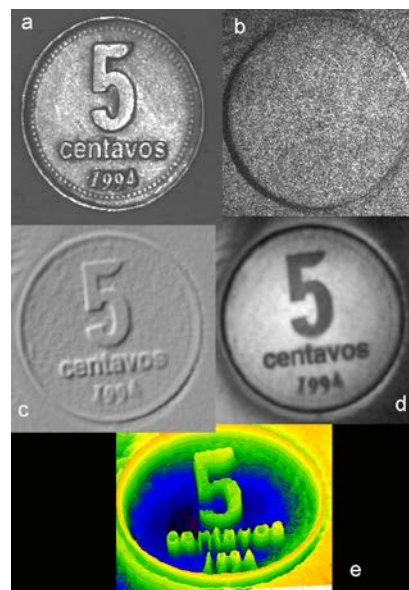
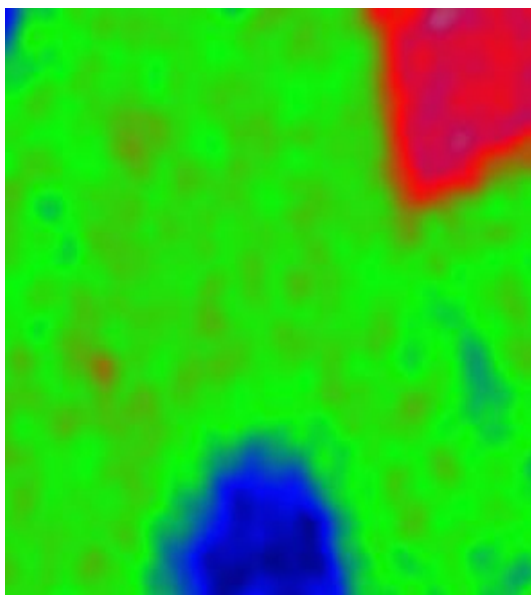


Figura 2. Actividad speckle manzana dañada por golpe (en azul)      Figura 3. Proceso de secado de pinturas.

En la Figura 3 se ilustra el proceso de secado de pinturas mediante el estudio de la actividad de speckle dinámico. a) objeto original (moneda) a la cual se la recubre con una capa de pintura. b) imagen de speckle de la moneda ya pintada. c) y d) distintas etapas del proceso: a medida que se seca, comienzan a resaltarse las zonas en altorrelieve (números y letras oscuras) frente a las zonas en bajo relieve (zona clara) que se secan con posterioridad. d) imagen pseudocoloreada del proceso de secado.

### **ARREGLO EXPERIMENTAL DE ENCRIPCIÓN ÓPTICA Y RESULTADOS**

Como ya fue mencionado en la introducción, la técnica de encriptación óptica con doble máscara de fase, es una de las más ampliamente utilizadas. El método se basa en localizar en el plano de entrada el objeto a ser encriptado con la primera máscara de fase. Una onda plana ilumina el conjunto máscara-objeto y una lente realiza la transformada de Fourier, en cuyo plano se ubica una segunda máscara o llave de encriptación. Se forma entonces una

imagen mediante una segunda lente del conjunto de la transformada de Fourier y la segunda máscara. Así la imagen a ser codificada se transforma en una distribución estacionaria de ruido blanco mediante el empleo de las dos máscaras de fase aleatorias (ver Figura 4 (a)). Esta distribución de ruido es esencialmente un patrón de speckle, como se puede observar en la Figura 5.

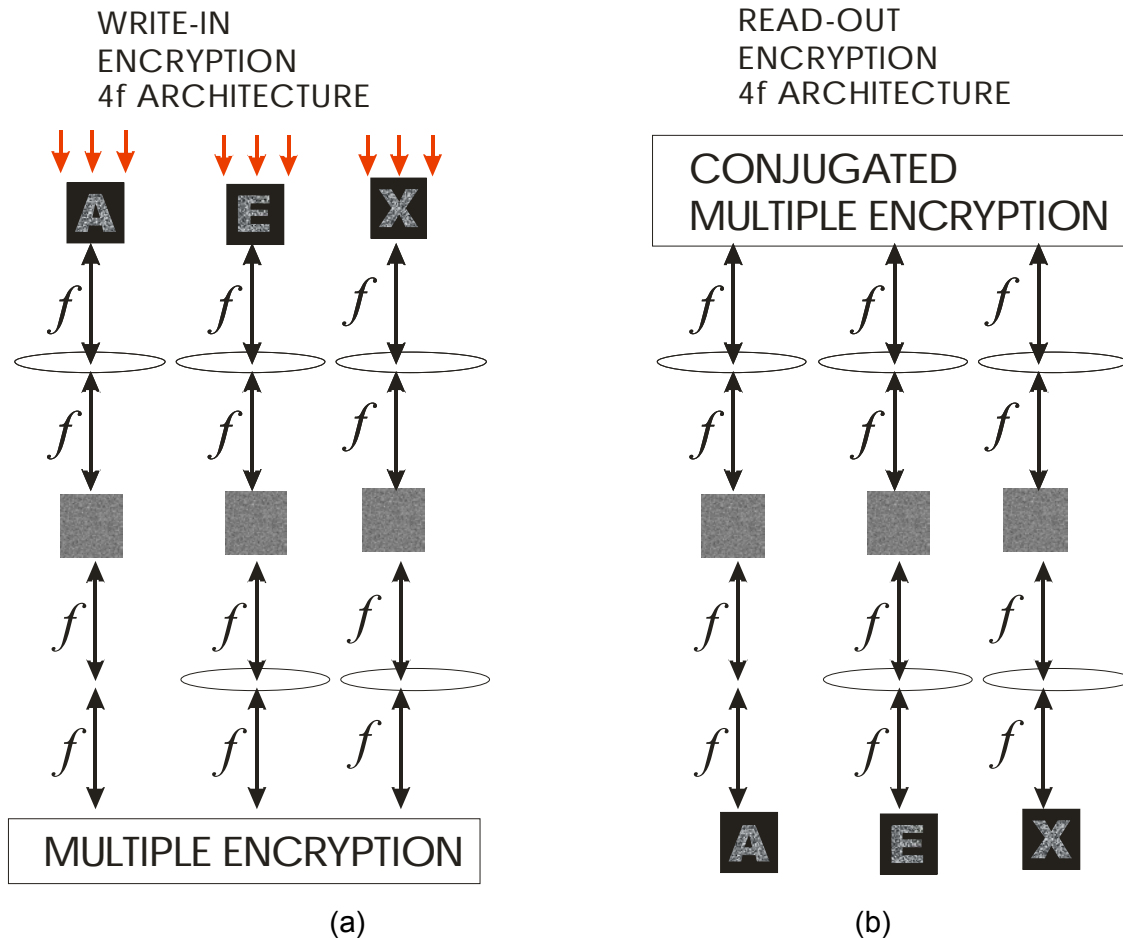


Figura 4. Esquema experimental encriptación en arquitectura 4f

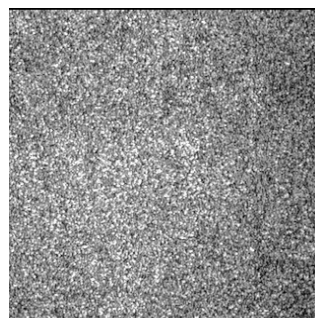


Figura 5 Patrón encriptado

En la etapa de desencriptación, la lectura de los datos encriptados almacenados es realizada usando un haz de fase conjugado, tal como se puede observar en la figura 4 (b). Si la llave o clave o alguno de los parámetros ópticos no son los correctos en la etapa de desencriptación, la imagen original no será reconstruida. En los arreglos experimentales, para la etapa de desencriptación es conveniente emplear cristales fotorrefractivos. Una

ventaja que proveen estos materiales radica en materializar la conjugación de fase. El mezclado de cuatro ondas en medios fotorrefractivos es un método conveniente para la generación de un haz de fase conjugado. Justamente, la conjugación de fase permite compensar en forma fidedigna los cambios de fase introducidos en la etapa de encriptación. Debemos enfatizar que en el proceso de desencriptación de múltiples datos, el frente de onda conjugado contiene simultáneamente la información de todos los datos sin distinción.

Se debe destacar que en la arquitectura 4f no es necesario cambiar la máscara de fase para no desencriptar la imagen original, simplemente si se la desplaza de su posición original la imagen no será recuperada. En la Figura 6 se observa la imagen desencriptada con la máscara en la posición correcta y aquella que corresponde a la desencriptación con la máscara en la posición incorrecta (desplazada 20 micrones). Es evidente que solo si la máscara se localiza en la posición correcta el objeto será recuperado. Esta idea se puede aprovechar para el almacenamiento múltiple de datos encriptados. En nuestra propuesta, es justamente la máscara de fase la que sintoniza el canal de información deseado y filtra los restantes. Las imágenes se multiplexan en posiciones de las máscaras tales que aseguren que no haya solapamiento entre las imágenes reconstruidas (ver Figura 5).

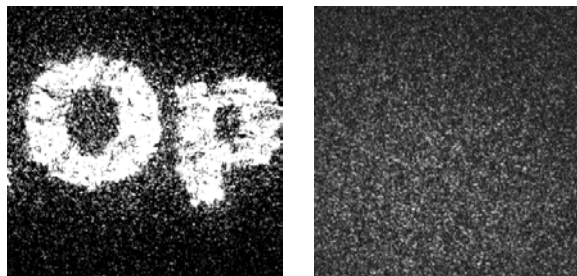


Figura 5. Objeto encriptado



Figura 6. Múltiples objetos desencriptados empleando la arquitectura 4f

## CONCLUSIONES

La aplicación de la medida de la actividad de procesos dinámicos por medio del speckle ofrece alternativas no invasivas para la caracterización de distintos fenómenos de interés biológico, en medicina, en agricultura y en ingeniería.

El multiplexado de datos encriptados no sólo aumenta el número de datos encriptados sino que permite aumentar la seguridad de la información encriptada almacenada. Por otra parte, estos sistemas de encriptación permiten manipular conjuntamente e independientemente los diferentes datos e imágenes codificados. Los arreglos de encriptación fueron implementados experimentalmente empleando materiales fotorrefractivos. Estos materiales son atractivos en aplicaciones de codificación de información debido a su alta capacidad de almacenamiento, su alta velocidad de acceso a la información y la posibilidad de borrar y re-escribir la información.

Las investigaciones realizadas en la UID Optimo han permitido la publicación de numerosos artículos en revistas internacionales y la presentación de trabajos en Congresos, algunos de los cuales se listan al final del presente trabajo.

## Bibliografía

1. *Dynamic Laser Speckle and Applications*, Ed. H. Rabal y R. Braga, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2009, ISBN 978-1-4200-6015-7
2. Optical mouse acting as biospeckle sensor, Michel Melo da Silva, Jose Roberto de Almeida Nozela, Marcio Jose Chaves, Roberto Alves Braga Junior, Hector Jorge Rabal, Optics Communications, in press.
3. "Método de detección de respuestas quimiotácticas por speckle dinámico", S. Murialdo, G. Sendra, H. Rabal, R. Arizaga, M. Trivi. Registro Nacional de Propiedad Intelectual (Argentina) Solicitud registrada bajo el nº de acta: P060104012. 2006
4. "Análisis de distintos tipos de maíz (*Zea mays* L.) mediante un método óptico (biospeckle láser) para diferenciar su calidad industrial", G.H. Sendra, J. C. Salerno, M. Kandus, C. Weber, R. Arizaga, H.J. Rabal, M. Trivi. VIII Congreso Nacional de Maíz, Rosario, noviembre 2005.
5. "Simulation of dynamic speckle sequences and its application to the analysis of transient processes". A. Federico, G. H. Kaufmann, G. E. Galizzi, H. Rabal, M. Trivi, R. Arizaga. Optics Communications. 260, 493-499 (2006).
6. "Speckle interferometry applied to pharmacodynamics studies: evaluation of parasite motility". J. A. Pomarico, H. O. Di Rocco, L. Alvarez, C. Lanusse, L. Mottier, C. Saumell, R. Arizaga, H. J. Rabal, M. Trivi. European Biophysics Journal, 33, 694-699 (2004).
7. Laser technique to screen embryo activity in barley seeds, C. Weber, G. H. Sendra, M. Trivi, H. Rabal, R. Arizaga, J. C. Salerno, Barley Newsletter, 2007.
8. Vortex analysis in dynamic speckle images, Gonzalo H. Sendra, Héctor J. Rabal, Ricardo Arizaga, and Marcelo Trivi, J. Opt. Soc. Am. A 26, 2634-2639 (2009)
9. Analysis of low activity in dynamic speckle patterns, N. Guzmán, G. H. Sendra\*, H. J. Rabal, R. Arizaga, M. Trivi, Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VI, edited by Peter H. Lehmann, Proc. of SPIE Vol. 7389, 73892P 2009 SPIE.
10. Multiplexing encryption-decryption via lateral shifting of a random phase mask. J. F. Barrera, R. Henao, M. Tebaldi, N. Bolognini, R. Torroba. Opt. Commun. 259, 532-536 (2006).
11. Multiplexing encrypted data by using polarized light. J. F. Barrera, R. Henao, M. Tebaldi, N. Bolognini, R. Torroba. Opt. Commun. 260, 109-112 (2006).
12. Multiple image encryption using an aperture-modulated optical system. J. F. Barrera, R. Henao, M. Tebaldi, N. Bolognini, R. Torroba. Opt. Commun. 261, 29-33 (2006).
13. Multiple-encoding retrieval for optical security.. J. F. Barrera, R. Henao, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Opt. Commun. 276, 231-236 (2007).
14. Code retrieval via undercover multiplexing. J. F. Barrera, R. Henao, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Optik, 119, 139-142 (2008).
15. Digital encryption with undercover multiplexing by scaling the encoding mask. J. F. Barrera, R. Henao, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Optik, 120, 342-346 (2009).
16. Multiplexing encryption technique by combining random amplitude and phase masks. J. F. Barrera, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Optik, 120, 351-355 (2009).
17. Multichanneled puzzle-like encryption. D. Amaya, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Optics Communications, 281, 3434-3439 (2008).
18. Digital color encryption using a multi-wavelength approach and a joint transform correlator. D. Amaya, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 10, 104031 (5pp) (2008).
19. Optical data storage-readout technique based on fractal encrypting masks. M. Tebaldi, W.D. Furlan, R. Torroba, N. Bolognini. Opt. Lett. 34, 316-318 (2009)
20. Multichanneled encryption via a modified Joint Transform Correlator architecture. D. Amaya, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Appl. Opt. 47, 5903-5907 (2008).
21. Wavelength multiplexing encryption using JTC architecture. D. Amaya, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Appl. Opt. 48, 2099-2104 (2009)