

Qualitative Characterization of Skin Tissue with Dynamic Laser Speckle

Mariela Azul Gonzalez¹, Marcelo Nicolás Guzmán¹,
Rui Fonseca-Pinto^{2,3}, Marcelo Trivi^{4,5}, Héctor Rabal⁴, Lucía Isabel Passoni¹

¹ICYTE (CONICET-Universidad Nacional de Mar del Plata).

²Instituto de Telecomunicações – Multimedia Signal Processing – Leiria, Portugal.

³Polytechnic Institute of Leiria, Leiria, Portugal; ⁴Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET La Plata-CIC-UNLP).

⁵UID OPTIMO, Dpto. Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.

Abstract— This work presents a preliminary study for the effective characterization of the skin tissue surface by means of Dynamic Laser Speckle. Although dermoscopy is widely used to perform this analysis, Dynamic Laser Speckle was applied as a complementary technique for skin assessment, aimed to help medical diagnosis by giving additional information regarding texture patterns and microcirculation profiles. Due to the nature of the underlying phenomena, the study of the temporal evolution of speckle diagrams provides an interesting non-destructive and non-invasive tool to characterize microtexture changes in the skin, reflecting physiological variations contained in sample activity over time. This analysis will assist the characterization of normal skin tissue, enabling the establishment of qualitative comparisons with ongoing skin diseases and to treatments monitoring. The skin microcirculation profile after a pressure protocol was assessed in healthy skin, to achieve a qualitative measure of the reperfusion based on dynamic speckle activity. The applied methodology is based on a multi-descriptor approach after a Self-Organizing Map segmentation process.

Keywords— Dynamic Laser Speckle, Skin tissue, Artificial Neural Networks, Self-organized networks

Resumen— En este trabajo se presenta un estudio preliminar para la caracterización eficaz de la superficie del tejido cutáneo por medio de Speckle Láser Dinámico. Aunque la demoscopia es ampliamente utilizada para realizar este análisis, se aplicó Speckle Láser Dinámico como una técnica complementaria para la evaluación de la piel, con el objetivo de ayudar al diagnóstico médico, proporcionando información adicional sobre patrones de textura y perfiles de microcirculación. Debido a la naturaleza de los fenómenos subyacentes, el estudio de la evolución temporal de los diagramas de speckle proporciona una interesante herramienta no destructiva y no invasiva para caracterizar los cambios de microtextura en la piel, reflejando las variaciones fisiológicas en la actividad de la muestra a lo largo del tiempo. Este análisis ayudará a la caracterización del tejido normal de la piel, permitiendo establecer comparaciones cualitativas con las enfermedades cutáneas y el seguimiento de los tratamientos. Se evaluó el perfil de microcirculación de la piel sana después de un protocolo de presión, para lograr una medida cualitativa de la reperfusion basada en la actividad de speckle dinámico. La metodología aplicada se basa en un enfoque multi-descriptor después de un proceso de segmentación utilizando redes neuronales artificiales basadas en mapas auto-organizados.

Palabras clave— Speckle Láser Dinámico, Tejido cutáneo, redes neuronales artificiales, mapas auto-organizados.

I. INTRODUCCIÓN

LA caracterización de los tejidos de la piel se realiza convencionalmente a través de marcadores cuantitativos y cualitativos, por ejemplo, análisis de textura, forma de la lesión y simetría, cambios de flujo y temperatura entre otros. Éstos traducen patrones de estado de la fisiología celular cuya evaluación se realiza mediante dermoscopia. Esta técnica diagnóstica no es invasiva y permite la visualización de las lesiones cutáneas a través de una lente de mano o dermoscopio. La dermoscopia contribuye a la precisión del diagnóstico de las lesiones pigmentadas, así también como al diagnóstico precoz de lesiones melanocíticas potencialmente malignas, en particular en el caso de los melanomas. Por lo general, el dermoscopio amplifica de 2 a 10 veces la imagen y utiliza

un sistema con luz polarizada, que elimina el reflejo de la luz cuando golpea la capa córnea. Este procedimiento permite a los médicos visualizar las estructuras in vivo que no son visibles por simple inspección ocular (los colores de la epidermis, la unión dermo-epidérmica, la dermis superficial, entre otros). Aunque es una técnica frecuentemente utilizada en dermatología, su uso correcto requiere un largo proceso de aprendizaje. Además, la caracterización de lesiones cutáneas de esta manera es esencialmente estática (o al menos depende del tiempo transcurrido entre exámenes) [1,2].

El objetivo principal de este trabajo es proponer una forma de caracterizar la piel normal a través de marcadores dinámicos, para integrarla con la información morfológica de la dermoscopia. Por lo tanto, se introdujo el Speckle Láser Dinámico (SLD) como una técnica complementaria para el diagnóstico médico en dermatología [3-5].

Este trabajo presenta resultados preliminares en cuanto a la caracterización de marcadores funcionales en piel sana

en respuesta a cambios externos (por ejemplo, presión controlada), para ser utilizados además como patrones de comparación para evaluar enfermedades de la piel. El trabajo se organiza de la siguiente manera: En la sección II se presentan los materiales y métodos y en la sección III se muestran los resultados. Por último, en la sección IV y V se presentarán elementos de discusión y conclusión que destacarán las perspectivas a futuro.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Speckle Láser Dinámico

Cuando una superficie, iluminada por una fuente de luz coherente, presenta algún tipo de actividad local, la intensidad y la forma del patrón de interferencia evoluciona con el tiempo, y por lo tanto, el patrón de speckle también dependerá del tiempo. Este fenómeno también es característico de las muestras biológicas y es conocido como SLD o Biospeckle. La actividad de SLD es la consecuencia de movimientos microscópicos o cambios locales en el índice de refracción de la muestra. Los patrones resultantes se pueden clasificar también como patrones en ebullición o *boiling patterns*, en los cuales los granos de speckle, se mueven, deforman, desaparecen y reaparecen sin ningún desplazamiento significativo de su posición media [6-8]. Este comportamiento también puede observarse en algunos procesos no biológicos, como el secado de pinturas, la corrosión, etc. Tanto la evolución temporal de la intensidad de los píxeles como su distribución espacial en un video de SLD muestran variaciones aparentemente aleatorias, similares a las encontradas en las distribuciones obtenidas a partir de una superficie rugosa. Sin embargo, la dinámica interna del proceso que los produce la mayoría de las veces son poco conocidas. Debido a la naturaleza de los fenómenos, el estudio de la evolución temporal de los diagramas de speckle proporciona una interesante herramienta no destructiva y no invasiva para caracterizar los tejidos de la piel y proporcionar una visión de sus principales cambios relacionados con el proceso de enfermedades de la piel. Esta característica permite una evaluación de la actividad subcutánea y ha sido utilizada con anterioridad en otras áreas de estudio [5 - 8].

La identificación de marcadores dinámicos que permitan la caracterización de la superficie cutánea a través del procesamiento de videos de SLD es por lo tanto una herramienta con alto potencial para la extracción de características funcionales, mediante la cual, uniéndose a otras características obtenidas por dermoscopia, permitirá una caracterización morfológica y funcional más completa de la piel.

Este trabajo presenta resultados preliminares en cuanto a la caracterización de marcadores funcionales en piel sana en respuesta a cambios externos (es decir, presión controlada), para ser utilizado además como herramienta de comparación para evaluar enfermedades de la piel.

B. Protocolo de adquisición de video SLD

Las técnicas de adquisición y procesamiento de videos de SLD se utilizan ampliamente en muchas aplicaciones en biología, biomedicina, industria, etc. Las señales generadas

por los cambios de intensidad en cada píxel a través de la secuencia de speckle se procesan para identificar la actividad subyacente en cada punto. La Figura 1 muestra la disposición experimental genérica para la adquisición y almacenamiento de las llamadas imágenes subjetivas de una muestra que presenta speckle dinámico. Las muestras se iluminaron con un láser He-Ne de 10 mW expandido y atenuado. Las imágenes subjetivas de speckle fueron adquiridas con una cámara CCD (*Imaging Source DMK23G618*) y almacenadas en la memoria de una PC. Para que el patrón de speckle esté bien resuelto, se ajustó la apertura del diafragma ($F / 16$) para obtener un grano de speckle de aproximadamente cuatro a cinco píxeles.

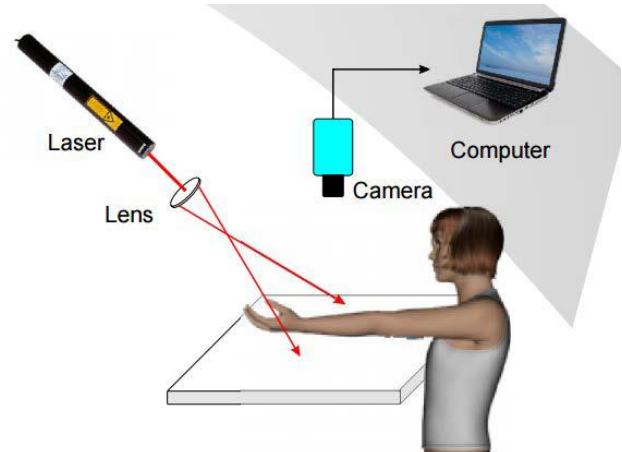


Fig. 1: Set Up Experimental.

En una primera aproximación se probaron y ajustaron varias configuraciones experimentales debido a la naturaleza de la muestra (piel humana en el antebrazo) y a la necesidad de establecer una posición en reposo. A continuación, se propusieron diferentes ensayos donde se evaluaron los patrones de speckle resultantes de la circulación subcutánea bajo diferentes condiciones de reposo y compresión.

La figura 2 muestra la zona de prueba elegida, o región de interés, ROI según sus siglas en inglés, en el antebrazo de una persona leucodérmica en la que es posible identificar la piel normal alrededor de una lesión melanocítica benigna común. La lesión es de forma redondeada / ovalada, presentando $3,3 \times 4,4$ mm de longitud en sus ejes y su color se compone principalmente de dos tonos de marrón, sobre una superficie lisa con bordes bien definidos compatible con un nevus típico.

Para el ensayo propuesto se iluminó la ROI con el haz láser mencionado. Debido a la gran importancia de la micro-vascularización en las enfermedades de la piel en general (y en la evaluación y pronóstico del melanoma en particular), se realizó un protocolo práctico para probar la capacidad de identificar cambios en el patrón de circulación usando SLD como respuesta a un estímulo externo.

A continuación, se realizó un primer experimento para evaluar la microcirculación en el estado de reposo. Posteriormente, en una segunda experiencia, se aplicó una presión controlada de 20 mmHg (en el mismo brazo) durante un período de 20 segundos mediante el uso de un esfigmomanómetro, cuyo manguito se abrió después de este período para detener rápidamente la presión impuesta. En ambos casos, la duración del video fue de 90 segundos a 30 cuadros por segundo.

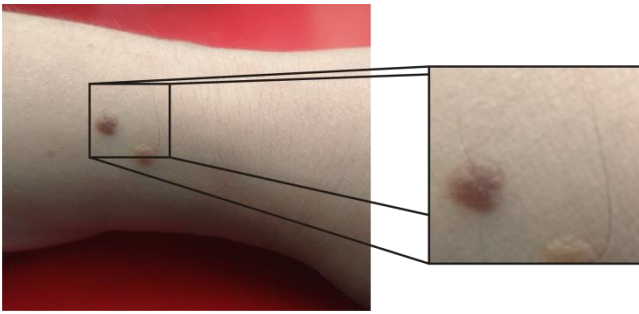


Fig. 2: Lesión melanocítica benigna.

C. Metodología de Procesamiento del video SLD

La evolución de la microcirculación es una forma de evaluar el estado de perfusión de los tejidos. Se realizó dentro del alcance de éste estudio un protocolo experimental aplicando una presión controlada en una región proximal a la ROI, con el objetivo de reducir el flujo sanguíneo a través de los grandes vasos y, por lo tanto, limitar la perfusión a la periferia en el área de la piel evaluada.

La velocidad de flujo es una variable que depende de la composición y zona corporal, tipo de vaso y resistencia al flujo entre otras. Su valor depende del tiempo de reperusión después de la aplicación de la presión. Es por ello que se propusieron dos condiciones experimentales, el estado normal o de reposo y el período post compresión.

Una vez adquirido el video, se procesan las series de intensidad que pertenecen a cada pixel y posteriormente se calcula un conjunto de descriptores. De ellos se seleccionaron tres, (*Fuzzy*, *Generalized Differences* (GD) y *Temporal Space Contrast* (TSC) según sus siglas en inglés). Los descriptores elegidos se muestran en la Figura 3, el primero se basa en la lógica difusa, el segundo calcula las diferencias de intensidad de imagen y el último explora el tiempo y las variaciones espaciales simultáneamente [9]. A continuación, se propone un enfoque multi-descriptor utilizando técnicas de aprendizaje automático no supervisado para mejorar los resultados obtenidos con un sólo descriptor. La red neuronal artificial auto-organizada, *Self Organized Maps* (SOM), propuesta por Kohonen en 1995, es actualmente un popular modelo de red artificial no supervisada [10].

El SOM cuantifica el espacio de datos formado por los datos de entrenamiento y simultáneamente realiza una proyección que preserva la topología de los datos en una red de neuronas (o celdas) regulares.

La estructura del SOM suele ser una malla regular de dos dimensiones, aunque se pueden organizar en una dimensión (línea) o tridimensional (espacio). Cada neurona está conectada a las entradas por pesos teniendo en cuenta los datos de entrada D-dimensionales. Desde otro punto de vista, estos pesos pueden ser vistos como neuronas construidas con vectores de D dimensiones.

Este conjunto de vectores de referencia se denomina libro de códigos, o *codebook*, en inglés. Las neuronas del mapa están relacionadas entre sí por una función de vecindad, sin embargo, no hay pesos que explícitamente interconecten las neuronas.

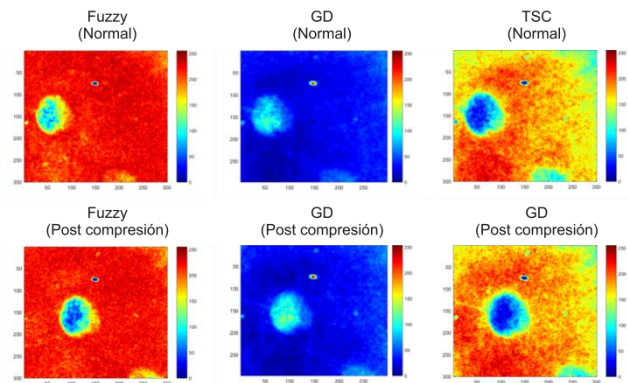


Fig. 3. Descriptores elegidos.

En cada paso, durante el entrenamiento, se toma del conjunto de datos de entrada un vector muestra y se calcula una medida de similitud entre éste y todos los vectores del libro de códigos. La neurona cuyo vector de pesos tiene la mayor similitud con la muestra de entrada se selecciona como la unidad de mejor adaptación o *Best Matching Unit* (BMU) según sus siglas en inglés. La similaridad se define por medio de una medida de distancia, típicamente la distancia euclidiana. El libro de códigos se actualiza después de encontrar la BMU. Los vectores de referencia de la BMU y sus vecinos topológicos (de acuerdo con la función de vecindad) se actualizan para estar "más cerca" del vector de entrada. Este procedimiento de adaptación asemeja la BMU y sus vecinos topológicos al vector de muestra. Una técnica previamente presentada con el fin de ayudar a un sistema automatizado a identificar una región particular de interés es la coloración de imágenes obtenidas a partir de videos de SLD [11,12]. Ésta técnica de visualización del SOM entrenado elige un código de color apropiado para el libro de códigos y a continuación crea una imagen pseudo-coloreada.

Un enfoque multi-descriptor impulsado por la dinámica del fenómeno en sí, no requiere la asistencia de un experto en la etapa de aprendizaje, y muestra un mejor rendimiento que los proporcionados por el análisis de un único descriptor. Utilizando esta información, se realizará un análisis cualitativo de la actividad de la piel, integrando la información de la actividad y la fisiología subyacente de la piel.

III. RESULTADOS

El mapa de colores resultante del SOM entrenado obtenido con los descriptores mencionados, se muestra en la figura 4. En ésta figura se presentan las imágenes en orden cronológico, las mismas corresponden a dos ensayos con 4 etapas de 22,5 segundos cada una. La Fig. 4 a) muestra el resultado del estado normal o reposo (A1, A2, A3 y A4) y la Fig. 4 b) muestra las 4 imágenes para el estado post-presión (B1, B2, B3 y B4). La aplicación del SOM a los videos de SLD presentó un error de cuantificación de $0,4 \pm 0,023$ y un error topográfico de cero en todos los casos. Además mostró un buen rendimiento, no sólo para mejorar la información obtenida utilizando diferentes descriptores, sino también para caracterizar con precisión la actividad de la piel.

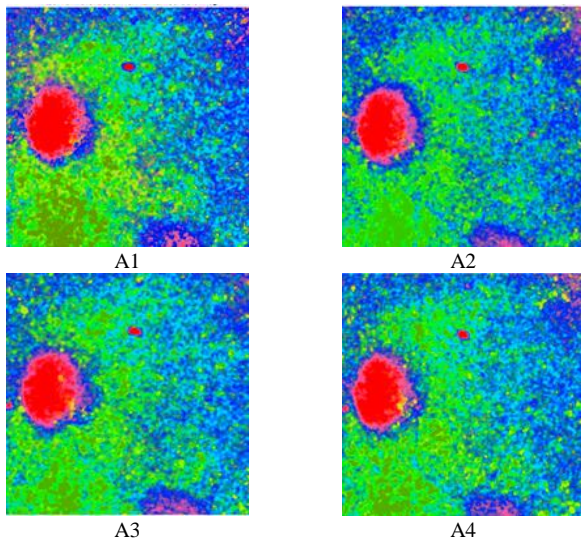


Fig. 4a. Visualización del resultado del SOM: estado normal o de reposo.

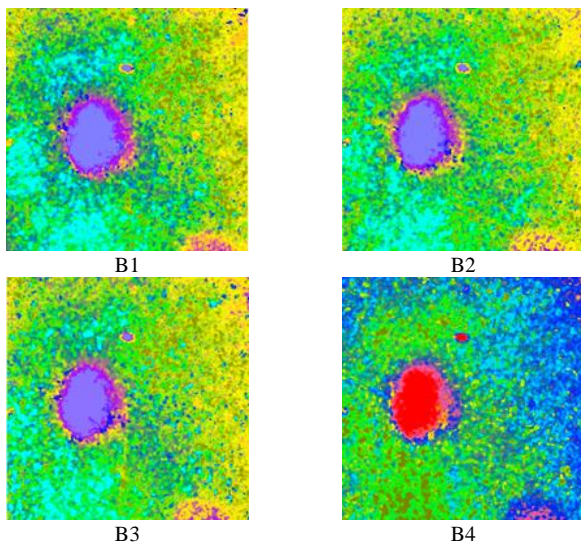


Fig. 4b. Visualización del resultado del SOM: Estado de post-presión

IV. DISCUSIÓN

En este trabajo se presentó una técnica de evaluación cuantitativa de la superficie cutánea mediante el uso del speckle dinámico. La metodología propuesta se basa en una configuración de adquisición óptica junto con un enfoque multi-descriptor para caracterizar imágenes de *speckle* dinámico de piel normal en presencia de una lesión melanocítica común (*nevus* típico).

Un análisis cualitativo de la figura 4 permite, a primera vista, identificar claramente dos zonas distintas: una relacionada con la lesión melanocítica y la otra con la zona circundante de la lesión, ambas presentando patrones de actividad distintos. Otro punto a destacar es que, como se esperaba, no hay cambios significativos en la actividad en las 4 imágenes del estado A o de reposo. De esta manera, y en términos de referencia para la comparación con las imágenes del estado B, podemos utilizar cualquiera de las cuatro imágenes (A1, A2, A3, A4). Cuando realizamos un análisis de las imágenes relacionadas con el estado B (post compresión), es posible verificar que con respecto a las imágenes B1, B2 y B3 es posible identificar un área con actividad cambiante alrededor de la lesión, pero, en cuanto a la alteración de la actividad en la propia lesión, sólo en el estado B4 es posible detectar cambios de color. Los cambios reportados anteriormente asumen un patrón

creciente de magnitud, que es consistente con el aumento de flujo sanguíneo en la ROI, después de liberar la presión que se ha impuesto. También debe observarse que después de 90 segundos de grabación, la imagen B4 muestra un patrón de actividad similar al estado inicial, lo que tiene sentido, ya que el efecto de la presión en el suministro de flujo sanguíneo ya habrá pasado.

Por último, cabe señalar que el tiempo de los tejidos con disminución de la perfusión puede alterar la arquitectura tisular y, por lo tanto, en términos de cambios globales de textura, es un resultado el cual no es completamente concordante con las imágenes del estado A, esta recuperación depende del tiempo de espera. Los resultados preliminares presentados en respuesta al protocolo de evaluación de perfusión propuesto muestran que la metodología evaluada tiene potencial en términos de caracterización del flujo a través de SLD en piel normal. Éste resultado puede ser explorado para evaluar la velocidad de reperfusión en las enfermedades isquémicas, para lo cual es esencial conocer el patrón de perfusión de la piel sana y sus principales constituyentes (como es el caso de la lesión aquí presentada).

V. CONCLUSIONES

La caracterización cutánea a través de marcadores de evolución tiene un interés potencial en la identificación de patrones temporales a los que puede asociarse la información morfológica de la piel obtenida por dermoscopia.

El uso conjunto de estas dos técnicas tendrá potencial en cuanto a la obtención de marcadores (evolutivos y morfológicos) que se utilizarán en el contexto de los sistemas de diagnóstico automático para ayudar en el diagnóstico médico.

Como trabajo futuro, se pretende aplicar esta técnica a un mayor número y variedad de lesiones cutáneas, con el fin de obtener una caracterización global de la piel sana a través de SLD.

REFERENCIAS

- [1] M. Machado, J. Pereira, R. Fonseca-Pinto, Classification of reticular pattern and streaks in dermoscopic images based on texture analysis, *J. Med. Imaging*, 2 (4) pp. 044503. 2015.
- [2] D. Palacios-Martínez, R.A. Díaz-Alonsoc, Dermatoscopia para principiantes. Semergen; 43 pp.216-21. 2017.
- [3] T. Okamoto, T. Asakura, 1995, The statistics of dynamic speckles. *Prog. Optics*, 34, pp.183-248.
- [4] R. Braga Jr., B. Silva, G. Rabelo, R. Marques, A. Enes, N. Cap, H. Rabal, R. Arizaga, M. Trivi, G. Horgan, Reliability of biospeckle image analysis. *Opt Laser Eng.* 45(3) pp. 390-95. 2007.
- [5] H. J. Rabal, and R. A. Braga, 2008. "Dynamic Laser Speckle and applications" (eds.) Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- [6] J. D. Briers, Laser speckle contrast imaging for measuring blood flow *Optica Applicata*, (2) No. 1-2.2007.
- [7] R.A. Braga, W.S. Silva, T. Safadi, Time history speckle pattern under statistical view, *C.M.B. Nobre. Opt Commun*, 281, 2443-2448. 2008.
- [8] A. Zdunek, A. Damiak, M. Pieczywek, A. Kurenda, The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: A review *Opt Laser Eng* (52) pp-276-285. 2014. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2461466.2461522>.
- [9] Ana L. Dai Pra, Lucía I. Passoni, G. Hernan Sendra, Marcelo Trivi, Hector J. Rabal. Signal Feature Extraction Using Granular Computing. Comparative Analysis with Frequency and Time Descriptors Applied to Dynamic Laser Speckle Patterns. *International Journal of Computational Intelligence Systems* 8 (Sup 2) 2015.
- [10] T. Kohonen, 1995, "Self-Organizing Map", Springer-Verlag.

- [11] L. I. Passoni, A. L. Dai Pra, A. Scandura, G. Meschino, C. Weber, M. Guzman, H. J. Rabal, M. Trivi, Improvement in the visualization of segmented areas of patterns of dynamic speckle classification in *Advances in Self-Organizing Maps*, Springer Berlin Heidelberg pp: 163–171. 2013.
- [12] A. L. Dai Pra, G. J. Meschino, M. N. Guzmán, A. G. Scandurra, M. A. González, C. Weber, M. Trivi, H. Rabal, L. I. Passoni, Dynamic Speckle Image Segmentation. *J Opt* (18) No. 8 p 085606.2016.