

ASSESSMENT OF PLEURA SLIDING IN LUNG ECHOGRAPHY BY SPECKLE TRACKING

Mario Muñoz Prieto^{1,2*}

Guillermo Cosarinsky^{1,2}

Jorge Fernández Cruza¹

Jorge Camacho¹

¹Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, Madrid, España

²Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, Madrid, España

RESUMEN

El speckle tracking es una técnica que típicamente se utiliza para estimar el movimiento de los tejidos en ecografía cardiovascular y evaluar de forma objetiva y cuantitativa la función del miocardio. En cambio, la aplicación de esta técnica en ecografía pulmonar ha sido limitada.

En este estudio, se explora el potencial uso de speckle tracking para ecografía pulmonar y sus posibles implicaciones diagnósticas.

ABSTRACT

Speckle tracking is a technique typically used to estimate tissue motion in cardiovascular ultrasound and objectively and quantitatively to evaluate myocardial function. In contrast, the application of this technique in lung ultrasound has been limited.

In this study, we explore the potential use of speckle tracking for lung ultrasound and its possible diagnostic implications.

Palabras Clave— Speckle tracking, flujo óptico, ecografía pulmonar, pleura.

1. INTRODUCCIÓN

La ecografía pulmonar es una técnica de diagnóstico que ha ganado un protagonismo creciente en la medicina en los últimos años. Si bien la ecografía se ha utilizado históricamente para evaluar otras regiones del organismo, su aplicación en la evaluación pulmonar ha abierto nuevas puertas en la detección y el monitoreo de afecciones respiratorias. Esta técnica no invasiva permite obtener imágenes en tiempo real de los pulmones, lo que la diferencia

de otras técnicas de diagnóstico más tradicionales, como la radiografía y la tomografía computarizada [1, 2].

En este contexto, el deslizamiento pleural, que se refiere al movimiento relativo entre las capas de la pleura durante la respiración, emerge como un fenómeno de gran importancia clínica. Su estudio ofrece una ventana única para comprender la función pulmonar y puede aportar una riqueza de información para médicos y especialistas [3]. A pesar de su relevancia clínica, su cuantificación precisa supone un desafío.

Una de las técnicas clave para poder abordar este problema en la imagen de ultrasonidos es el seguimiento de speckle o “speckle tracking”. Esta técnica se basa en el análisis de patrones granulares en las imágenes de ultrasonido, conocidos como “speckle”, que resultan de los ecos interferidos de las ondas ultrasónicas con los distintos tejidos del organismo [4]. Esta técnica se viene usando en los últimos años con éxito en la ecografía cardíaca para rastrear la deformación miocárdica y evaluar la función cardíaca [5], pero su aplicación en la cuantificación del deslizamiento pleural representa una nueva oportunidad para mejorar el diagnóstico.

En este trabajo se explora el potencial del uso de algoritmos de speckle tracking, en particular con el cálculo del flujo óptico de Lucas-Kanade [6], para la cuantificación del deslizamiento pleural y la validación de la técnica en pacientes sanos y con patologías pulmonares.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Deslizamiento pleural

El deslizamiento pleural es fundamental para la mecánica respiratoria normal. Este fenómeno refleja la capacidad de los

* **Autor de contacto:** mario.munoz.prieto@csic.es

Copyright: ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

pulmones para expandirse y contraerse durante la inhalación y la exhalación [3]. La medición precisa del deslizamiento pleural puede ayudar a los médicos a evaluar la salud pulmonar de un paciente, identificar obstrucciones o irregularidades y monitorizar la progresión de enfermedades respiratorias. Además, puede ser una herramienta útil en la detección temprana de afecciones pulmonares, incluyendo enfermedades como el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA), neumotórax o la fibrosis pulmonar [7, 8, 9].

2.2. Algoritmo de flujo óptico de Lucas-Kanade

El flujo óptico se basa en el concepto de que los píxeles en una imagen se desplazan en el tiempo y, por lo tanto, cambian de posición entre dos imágenes consecutivas. El objetivo final de esta técnica se centra en estimar cuánto se han desplazado cada pixel [10].

El algoritmo de Lucas-Kanade [6] es una implementación específica del flujo óptico en el cual se asumen dos principios:

- La intensidad de los píxeles de un objeto no varía en frames consecutivos
- Los píxeles vecinos presentarán un movimiento similar

Teniendo en cuenta tales asunciones, se seleccionan los puntos a seguir y se buscan dentro de una ventana alrededor del punto en la imagen siguiente la mejor coincidencia usando el método de mínimos cuadrados para minimizar el error y resolver las ecuaciones obteniendo los distintos vectores de movimiento [11].

3. MÉTODO

En este estudio, se desarrolló una interfaz gráfica de usuario (GUI) utilizando el lenguaje de programación Python y bibliotecas especializadas como PyQt5 [12]. Esta interfaz gráfica permite a los usuarios cargar secuencias de imágenes de ultrasonido pulmonar y aplicar el algoritmo de flujo óptico para el seguimiento de puntos característicos. La GUI proporciona una forma interactiva y amigable para analizar el movimiento y evaluar el deslizamiento pleural en las imágenes.

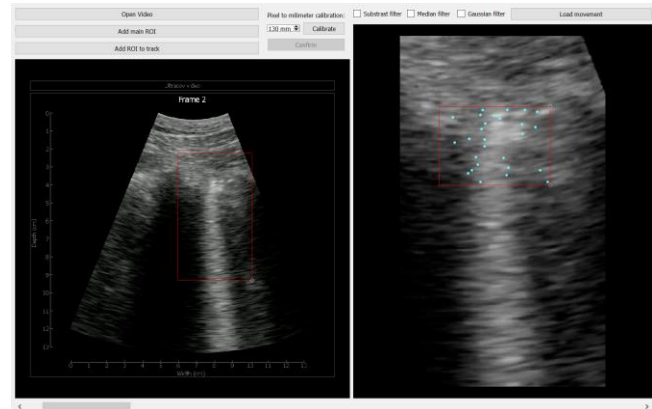


Figura 1. Interfaz gráfica desarrollada para realizar el estudio

3.1. Función de Calibración para conversión de píxeles a milímetros

Para cuantificar el movimiento y proporcionar resultados en unidades físicas significativas, se implementó una función de calibración en la interfaz. Esta función permite la conversión de unidades de píxeles en las imágenes a unidades de milímetros en el mundo real. La calibración se realiza mediante la selección de los puntos extremos de los ejes que aparecen típicamente en las imágenes de los equipos de ultrasonido y de esta forma relacionar los valores de desplazamiento en píxeles con distancias en milímetros conocidas facilitando la interpretación clínica de los resultados.

3.2. Selección de la Región de interés (ROI)

La interfaz permite seleccionar una Región de Interés (ROI) de manera interactiva. Los usuarios pueden delinear dos distintas regiones específicas en la imagen donde desean realizar un seguimiento de movimiento:

Por un lado, se seleccionará una ROI principal, la cual englobará la sección de imagen específica en la que se quiere realizar el estudio. En esta primera ROI se implementa un algoritmo basado en flujo óptico para contrarrestar el movimiento de la sonda y de la pared torácica para garantizar que la cuantificación del desplazamiento pleural sea lo más exacta posible. Este paso es necesario porque, de no hacerlo el movimiento relativo de la pleura estaría acoplado al movimiento de la sonda y/o de la pared torácica, falseando la medida.

Por otro lado, tal y como se puede ver en la figura1 se seleccionará la región donde se quiera cuantificar el movimiento. Esta funcionalidad permite una mayor flexibilidad al centrarse en áreas de interés específicas en las imágenes de ultrasonido pulmonar.

3.3. Análisis y cuantificación del movimiento

Una vez que se ha seleccionado la ROI y se ha aplicado la calibración, se puede iniciar el proceso de análisis de movimiento. El algoritmo de Lucas-Kanade se ejecuta en la ROI para rastrear el movimiento de los puntos característicos. Los resultados se presentan gráficamente, mostrando cómo cambian las posiciones de los puntos en el tiempo, tal y como se puede observar en la figura 2 y figura 3.

4. RESULTADOS

Se utilizaron 5 videos de pacientes sanos y 10 videos de pacientes con patología pulmonar para evaluar el funcionamiento del software y su capacidad para cuantificar el desplazamiento de la pleura.

4.1. Cuantificación del desplazamiento pleural en pacientes no sanos

En pacientes con condiciones pulmonares no sanas cuyas imágenes de ultrasonido presentan diferentes artefactos por debajo de la pleura, el algoritmo de flujo óptico demostró ser efectivo. Estos artefactos proporcionaron puntos característicos claramente identificables que pudieron ser rastreados con facilidad a lo largo de la secuencia de imágenes. Como resultado, fue posible cuantificar con precisión el desplazamiento de la pleura en pulmones no sanos. Esta capacidad de seguimiento permite un análisis cuantitativo del movimiento pleural, lo que podría tener aplicaciones significativas en el diagnóstico y seguimiento de enfermedades pulmonares.

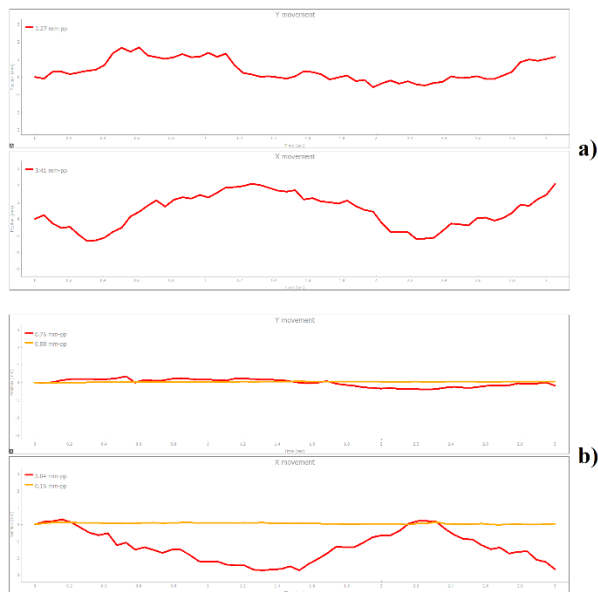


Figura 2. Grafica de movimiento en ejes X e Y dentro de la ROI a lo largo del video en dos pacientes ejemplo no sanos.

En la figura 2 a) la medición corresponde a la región inferior a la pleura. En la figura 2 b) se observa la comparación de los resultados de la medición de movimiento por encima de la pleura (naranja) con respecto al movimiento detectado por debajo de la pleura (rojo).

4.2. Cuantificación del desplazamiento pleural en pacientes sanos

Sin embargo, se observaron desafíos en la cuantificación del desplazamiento pleural en pacientes sanos. En ausencia de artefactos o condiciones patológicas que generaran puntos característicos en las imágenes, el speckle que aparece bajo tejido pleural sano presentaba un movimiento aleatorio y sin un patrón discernible. Esto dificultó la aplicación efectiva del algoritmo de flujo óptico en este grupo de pacientes como se puede apreciar en la figura 3: en a) únicamente se detecta movimiento al final del video impidiendo una métrica exacta. En b), el movimiento detectado presenta un patrón aleatorio debido a la variación aleatoria del speckle.

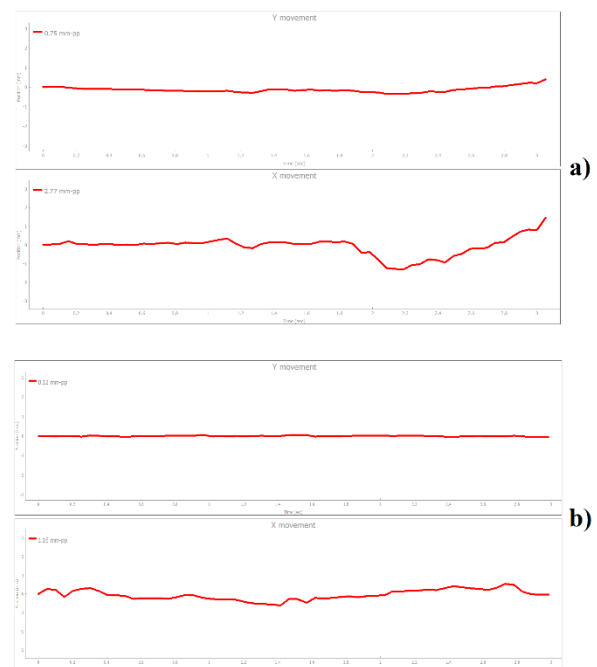


Figura 3. Grafica de movimiento en ejes X e Y dentro de la ROI a lo largo del video en dos pacientes ejemplo sanos.

5. DISCUSIÓN

En todos los pacientes con patología pulmonar fue posible seguir y cuantificar el deslizamiento pleural. Sin embargo, en ausencia de artefactos causados por síndromes intersticiales, el seguimiento no fue correcto.

Una opción a explorar es la aplicación de técnicas de mejora de imágenes y de procesamiento previo, para mejorar

el rendimiento del algoritmo en pacientes sin patologías intersticiales.

Si bien en este estudio se utilizó una única sonda, sería interesante analizar la influencia de diferentes condiciones de adquisición, como la resolución y la calidad de las imágenes, en la capacidad de los algoritmos de speckle tracking para rastrear el movimiento pleural. En particular, utilizar una frecuencia mayor, podría ser de utilidad para intentar detectar el movimiento en pacientes sanos, justo debajo de la línea pleural.

Otro aspecto importante se refiere a la interpretación clínica de las mediciones de desplazamiento pleural y cómo estas métricas pueden correlacionarse con la gravedad de las enfermedades pulmonares. Además, es fundamental explorar la viabilidad de su implementación clínica, incluida la capacitación de profesionales de la salud en su uso.

6. CONCLUSIONES

La interfaz gráfica desarrollada proporciona una herramienta interactiva y flexible para analizar el flujo óptico en las imágenes de ultrasonido pulmonar. La capacidad de seleccionar una ROI específica y la función de calibración garantizan mediciones precisas y facilitan la evaluación del deslizamiento pleural en términos clínicos significativos, lo que puede ser de gran utilidad en el diagnóstico y seguimiento de condiciones pulmonares.

Este estudio destaca la utilidad de algoritmos de speckle tracking como una herramienta valiosa para la cuantificación del desplazamiento pleural en pacientes con indicaciones ecográficas compatibles con síndrome intersticial. Al mismo tiempo, subraya la necesidad de abordar los desafíos asociados con la aplicación de esta técnica en pacientes que no presentan este tipo de hallazgos ecográficos, y en los que no hay regiones de speckle fácilmente identificables con el movimiento pleural.

7. REFERENCIAS

[1] Vieillard-Baron A, Goffi A, Mayo P. Lung ultrasonography as an alternative to chest computed tomography in COVID-19 pneumonia? *Intensive Care Med.* 2020 Oct;46(10):1908-1910. doi: 10.1007/s00134-020-06221-0. Epub 2020 Aug 25. PMID: 32840635; PMCID: PMC7445802.

[2] Elabbas A, Choudhary R, Gullapalli D, Mistry S, M H F, Mallick AH, Kevu EP, Asif J, Mostafa JA. Lung Ultrasonography Beyond the Diagnosis of Pediatrics Pneumonia. *Cureus.* 2022 Feb 21;14(2):e22460. doi: 10.7759/cureus.22460. PMID: 35371734; PMCID: PMC8942135.

[3] Bhoil R, Ahluwalia A, Chopra R, Surya M, Bhoil S. Signs and lines in lung ultrasound. *J Ultrason.* 2021 Aug 16;21(86):e225-e233. doi: 10.15557/JoU.2021.0036. Epub 2021 Sep 9. PMID: 34540277; PMCID: PMC8439137.

[4] Ricardo G. Dantas, Eduardo T. Costa, Sidney Leeman, Ultrasound speckle and equivalent scatterers, *Ultrasonics*, Volume 43, Issue 6, 2005, Pages 405-420, ISSN 0041-624X, doi: 10.1016/j.ultras.2004.11.003.

[5] Mondillo S, Galderisi M, Mele D, Cameli M, Lomoriello VS, Zacà V, Ballo P, D'Andrea A, Muraru D, Losi M, Agricola E, D'Errico A, Buralli S, Sciomer S, Nistri S, Badano L; Echocardiography Study Group Of The Italian Society Of Cardiology (Rome, Italy). Speckle-tracking echocardiography: a new technique for assessing myocardial function. *J Ultrasound Med.* 2011 Jan;30(1):71-83. doi: 10.7863/jum.2011.30.1.71. PMID: 21193707.

[6] B.D. Lucas, T. Kanade, "An Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision", in *Proceedings of Image Understanding Workshop*, 1981, pp. 121-130.

[7] A. Lasarte Izcue, J.M. Navasa Melado, G. Blanco Rodríguez, I. Fidalgo González, J.A. Parra Blanco, Diagnóstico ecográfico del neumotórax, *Radiología*, Volume 56, Issue 3, 2014, Pages 229-234, ISSN 0033-8338, doi: 10.1016/j.rx.2012.09.003.

[8] Manolescu D, Davidescu L, Traila D, Oancea C, Tudorache V. The reliability of lung ultrasound in assessment of idiopathic pulmonary fibrosis. *Clin Interv Aging.* 2018 Mar 22;13:437-449. doi: 10.2147/CIA.S156615. PMID: 29606857; PMCID: PMC5868611.

[9] Slöcker Barrio M, Sánchez Porras M, Coca Pérez A, Muñozerro M, Rodríguez P. Diagnóstico por ecografía de la insuficiencia respiratoria aguda en Pediatría. *Protoc diagn ter pediatr.* 2021;1:417-36.

[10] Optical flow measurement using Lucas-Kanade method, Dhara Patel, Saurabh Upadhyay, *International Journal of Computer Applications* (0975-887), vol. 61, January 2013.

[11] Bruce D. Lucas "Image Matching by the Method of Differences", *Carnegie Mellon University*, year 1984.

[12] <https://doc.qt.io/qtforpython-5/>