

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE RADIOGRAFÍA DE PULMÓN EMPLEANDO FILTRADO DE TIPO HOMOMÓRFICO

Profesor de la UPIITA: Álvaro Anzueto Ríos
(aanzueto@ipn.mx)
Profesora de la UPIITA: Yesenia E. González
Navarro (ygonzalez@ipn.mx)
Profesora de la UPIITA: Paola Nayeli Cortez Herrera
(pcortez@ipn.mx)

Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería
y Tecnologías Avanzadas-IPN

Boletín No. 87
1o. de noviembre de 2021

Resumen

En los últimos dos años las imágenes radiológicas de pulmón han cobrado mucho interés debido a que pueden diagnosticarse de ellas la presencia de covid-19 en los pulmones de los pacientes. Sin embargo, estas imágenes son de bajo contraste y es necesario mejorar su aspecto. El filtrado homomórfico, es una técnica comúnmente empleada para la mejora de contraste en imágenes que presentan baja definición y problemas de baja iluminación; es por eso que en este trabajo se presenta la mejora de imágenes radiológicas de pulmón al aplicarle el filtrado homomórfico.

Introducción

En el último par de años, las imágenes de radiografía han ayudado a los médicos a determinar la presencia de covid-19 en el pulmón de pacientes, convirtiéndola en una técnica muy socorrida. La principal ventaja es que los aparatos para obtener estas imágenes pueden ser portátiles y las imágenes son obtenidas en pocos minutos. Sin embargo, el principal problema se presenta en su bajo contraste entre los niveles de grises y problemas asociados a cambios de iluminación en las zonas de interés [1]. Es por esta razón que se vuelve importante aplicarle algún proceso matemático, a las imágenes ya digitalizadas, para mejorar el contraste y realzar características que lleguen a ser importantes en el diagnóstico proporcionado por el personal médico.

No olvidemos que el objetivo principal de las técnicas de mejora de imágenes es procesar las imágenes para mejorar sus características en comparación a la imagen original.

Una imagen $f(x,y)$ puede ser analizada como el producto de su iluminación $i(x,y)$ y su reflectancia $r(x,y)$. Es decir, que una imagen puede ser expresada como el producto de la iluminación y la reflectancia [2]; esto es expresado por la ecuación (1).

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y) \text{ --- (1)}$$

Si analizamos la ecuación (1) en el plano de las frecuencias para nuestra imagen, esta no puede ser empleada directamente para su tratamiento ya que la transformada de Fourier de un producto no es el producto de las transformadas independientes, por lo tanto:

$$\mathfrak{F}\{f(x, y)\} \neq \mathfrak{F}\{i(x, y)\} \cdot \mathfrak{F}\{r(x, y)\} \text{ --- (2)}$$

Para evitar este inconveniente, aplicamos el logaritmo natural a la ecuación (1), que representa obtener:

$$g(x, y) = \ln[f(x, y)] = \ln[i(x, y)] + \ln[r(x, y)] \text{ --- (3)}$$

Por lo tanto:

$$\mathfrak{F}\{g(x, y)\} = \mathfrak{F}\{\ln[f(x, y)]\} = \mathfrak{F}\{\ln[i(x, y)]\} + \mathfrak{F}\{\ln[r(x, y)]\} \text{ --- (4)}$$

De la ecuación (4), podemos notar que $\mathfrak{F}\{\ln[i(x, y)]\}$ representa la transformada de Fourier del logaritmo natural de la iluminación, de una forma similar se tiene el concepto para la reflectancia. Ahora es posible filtrar cada componente por separado en el espacio de Fourier. El filtro es expresado por $H(u, v)$ lo cual permite reformular a la ecuación (4) en ecuación (5).

$$G[u, v] = H[u, v]Fi[u, v] + H[u, v]Fr[u, v] \text{ --- (5)}$$

Para obtener el filtrado de la imagen, es decir, tener la imagen nuevamente en el dominio espacial, será necesario obtener la inversa de la transformada de Fourier de la ecuación (5), obteniendo de esta forma la imagen procesada $g(x, y)$. La expresión de la ecuación (6), es la representación numérica de la imagen mejorada.

$$g(x, y) = \mathfrak{F}^{-1}\{H[u, v]Fi[u, v]\} + \mathfrak{F}^{-1}\{H[u, v]Fr[u, v]\} \text{ --- (6)}$$

Como paso final, debemos recordar la presencia del logaritmo natural del resultado obtenido, por lo tanto, se toma el exponencial de la imagen procesada $g(x,y)$. Obteniendo así, la imagen final expresada por la ecuación (7):

$$If(x,y) = e^{g(x,y)} = io(x,y) \cdot ro(x,y) \text{ --- (7)}$$

De donde i_o y r_o representas los valores iniciales de la imagen. De forma gráfica, el proceso es expresado en la Figura 1 El bloque etiquetado como transformada rápida de Fourier (TRF) es donde se obtiene el procesado de la imagen en el plano de frecuencias [3].

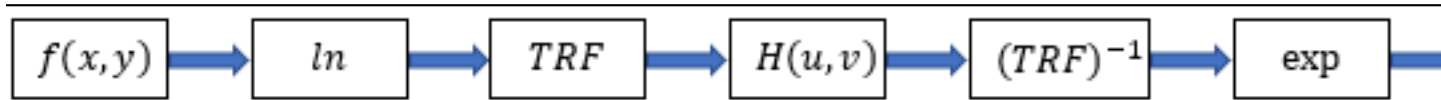


Figura 1. Proceso gráfico del filtrado homomórfico.

Debido a que la iluminación se presume constante o de baja variación en los aparatos radiológicos, es práctico asociarla a la presencia de frecuencias bajas en el espacio de Fourier. Por el contrario, la reflectancia es asociada a cambios bruscos y las diferencias entre zonas de los objetos presentes en las imágenes por lo que es común considerarlas como frecuencias altas en el espacio de Fourier. Esto determina el tipo de filtrado $H(u,v)$, aplicado a las componentes de iluminación y reflectancia en el espacio de Fourier [1, 4].

Resultados

Para presentar los resultados se ha hecho la siguiente consideración, se han tomado tres imágenes de radiografía de pulmón; la primera es una imagen de pulmón sano, la segunda se refiere a presencia de covid-19 y la última es relacionada a un caso de neumonía. Las imágenes pueden ser apreciadas en la Figura 2. Para el filtro $H(u,v)$, se han considerado dos posibilidades, primero, un filtro de tipo gaussiano y el segundo, uno de tipo Butterworth (por razones de espacio los resultados presentados son referidos a un filtro de tipo gaussiano pasa alta únicamente).



Figura 2. Imágenes radiográficas de pulmón. (a) Normal, (b) Covid-19, (c) Neumonía.

La respuesta en 3D, la imagen y un corte transversal al filtro Gaussiano [5], empleado en el proceso descrito, es presentado en la Figura (3). Durante el proceso se ha aplicado un filtro pasa alta a la imagen para minimizar las variaciones en la componente de iluminación. Es importante notar que las

frecuencias bajas se asocian a estar ubicadas en el centro de la representación de la transformada de Fourier bidimensional. Por lo tanto, al aplicar el filtro planteado se elimina una cantidad específica de frecuencias bajas modificando la frecuencia de corte (ver parámetro D_0 en la ecuación (8)), logrando con esto atenuar las posibles variaciones en la iluminación; por lo que, la imagen resultante se considera de iluminación uniforme.

$$H(u, v) = 1 - e^{-D^2(u,v)/2D_0^2} \quad \text{--- (8)}$$

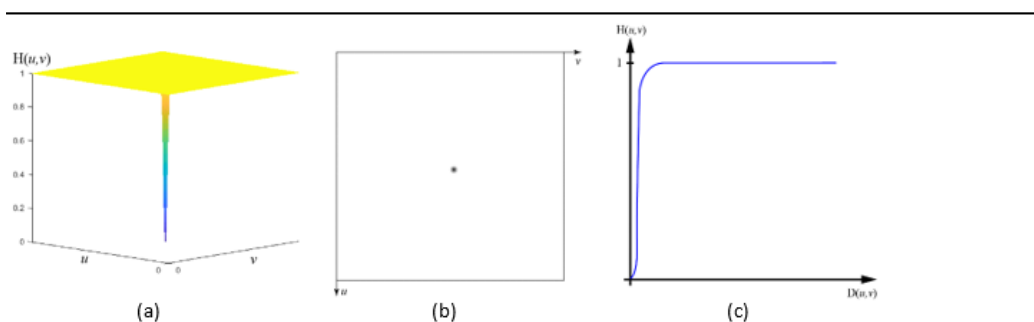


Figura 3. . Filtro pasa alta Gauss. (a) Vista 3D, (b) Vista imagen, (3) Corte transversal.

Las imágenes fueron procesadas con el filtro de tipo homomórfico descrito y el resultado obtenido es presentado en la Figura (4). Es importante notar los elementos que se logran resaltar dentro del área referida a los pulmones. En la Figura 4(a), la cavidad pulmonar se logra percibir con tonos de grises oscuros contrastando fuertemente con los huesos de las costillas. Para el caso COVID-19, dentro de la zona de los pulmones, es posible apreciar que se resaltan secciones con niveles de grises claros; estas secciones son referidas al incremento de mucosidades generadas por la enfermedad, además, de poder notarse que se generan hilos específicos de tonos claros. Finalmente, para la imagen referida a neumonía es de notar que el área de los pulmones predomina las zonas con componentes de niveles claros. La zona de los pulmones presenta una marcada tonalidad de gris para cada tipo de imagen, esta peculiaridad hace pensar que con el procesado y análisis de imágenes es posible lograr clasificar a las imágenes para cada estado de los pulmones.

Conclusiones

Al aplicar el filtro homomórfico a las imágenes radiológicas de pulmón, se ha logrado mejorar el contraste en ellas; resaltando la zona asociada a los pulmones. Los resultados obtenidos han ayudado a reconocer características esenciales para cada una de las imágenes analizadas. La zona de los pulmones presenta tonos de grises diferentes que pueden ser interesante de analizar a profundidad con la idea de encontrar características esenciales de cada condición en los pulmones y poder generar un clasificador.

Referencias

Gonzalez, Rafael C., and Richard E. Woods (2018). "Digital image processing 4th edition, global edition." pages 133-153.

Pratt, William K. (2013). *Introduction to digital image processing* CRC press, 2013.

Fan, Chun-Nian, and Fu-Yan Zhang (2011). "Homomorphic filtering-based illumination normalization method for face recognition." *Pattern Recognition Letters* 32, no. 10 (2011): 1468-1479.

Gan, Woon Siong. (2020). *Signal Processing and Image Processing for Acoustical Imaging*. Springer Singapore.

Burger, Wilhelm, and Mark J. Burge. (2016). *Digital image processing: an algorithmic introduction using Java*. Springer, 2016, Chapter 5.