

REFORZAMIENTO DE CONTORNOS EN IMAGENES MEDICAS UTILIZANDO UN
FILTRO ADAPTATIVO

SERVIN G.M. Y RODRIGUEZ V. R.

Centro de Investigaciones en Optica,
Loma del Posito S/N,
León, Guanajuato, CP 37000.

RESUMEN

Es un hecho bien conocido [1,2], que una matriz laplaciana puede ser útil para reforzar las altas frecuencias en una imagen. Sin embargo, como se muestra en este trabajo, el ruido de cuantificación en la imagen digitalizada se hace muy grande. En este artículo se analiza un filtro del tipo laplaciano que se adapta a la variancia local de la imagen medida en una ventana de 3X3 pixeles. Este filtro puede cambiar en función de esta variancia local, desde un filtro pasa bajos, el cual disminuye el ruido inherente de cuantificación en regiones de nivel de gris casi constante, hasta un filtro pasa altos, en regiones de la imagen altamente contrastadas. Los resultados obtenidos demuestran las ventajas significativas de este filtro adaptativo.

Una imagen radiográfica puede ser mejorada aumentando la amplitud de sus altas frecuencias, lo cual se traduce en un reforzamiento de contornos, esto da la impresión subjetiva de que la imagen ha sido "enfocada", esto es, que los detalles de alta frecuencia de la imagen se han hecho mas notables. Esta transformación se puede lograr por medio de un procesador óptico analógico, pero las complicaciones experimentales son críticas. Otra forma de lograr esto, es por medios digitales, en cuyo caso, la imagen en cuestión es discretizada en un número fijo de niveles de gris, además de la inevitable discretización espacial. Cuando esta transformación se lleva a cabo en forma digital, el primer proceso a realizar es discretizar tal imagen.

Este proceso trae consigo una adición de

ruido blanco de ley de distribución uniforme a los niveles de gris de la imagen, sumado al ruido blanco de distribución gaussiana inherente al sistema fotosensor. Al total de éstos dos ruidos le llamaremos simplemente ruido de cuantificación.

Al hacer un reforzamiento de contornos en una imagen digitalizada, el ruido de cuantificación crece de manera considerable, lo cual es bastante notorio en regiones de la imagen poco contrastadas. Esta desventaja puede aminorarse después, utilizando un filtro pasa-bajos, que nos dará por resultado el efecto opuesto en los contornos (esto es los desvanecera) con lo cual nuestra imagen quedará prácticamente sin cambios. Entonces parece ser, que la mejor solución al problema sea un filtro variante en el espacio, de tal forma que cuando el filtro esté "sobre" regiones poco contrastadas, éste se comporte como un filtro pasa-bajos, disminuyendo así el ruido de cuantificación. Ahora, cuando el filtro se encuentre en regiones con bordes, en donde el contraste es alto, éste se comporte como un filtro pasa-altos (ya que el aumento de ruido de cuantificación en estas regiones es prácticamente imperceptible).

MATRICES DE CONVOLUCION LAPLACIANAS.

La matriz de convolución Laplaciana ha probado ser muy útil en restauraciones de imágenes degradadas por ruido o desenfoque moderados, además por su simplicidad ésta puede implementarse en procesadores de "pipeline" para funcionar a velocidades de video, esto es, procesamiento de imágenes digitales en tiempo real.

La forma más general de ésta matriz Laplaciana es la siguiente:

$$H(I, J) = k \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix} \quad (1)$$

cuando ésta matriz se hace convolver con el arreglo bidimensional de la imagen a procesar $A(I, J)$, el resultado es una imagen transformada esto es:

$$G(I, J) = H(I, J) ** A(I, J) \quad (2)$$

en donde los asteriscos representan una convolución doble. Dependiendo del valor de los coeficientes de $H(I, J)$ uno puede obtener desde un filtro pasa-bajos a un filtro pasa-altos. De éstas posibilidades dos son de interés para el presente trabajo:

$$H_1(I, J) = (1/9) \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$H_2(I, J) = (1/5) \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 13 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

en la primera de éstas observamos que el pixel procesado es el promedio de los pixeles circunvecinos, con lo cual obtenemos un filtro pasa-bajos cuya respuesta en frecuencia se muestra en la figura 1. Se puede demostrar fácilmente [2], que $H_2(I, J)$ representa un filtro con acentuación en las altas frecuencias espaciales al cual también está graficada su respuesta en frecuencia en la figura 1. Otra característica de éstos filtros es que cuando van el valor k de la imagen

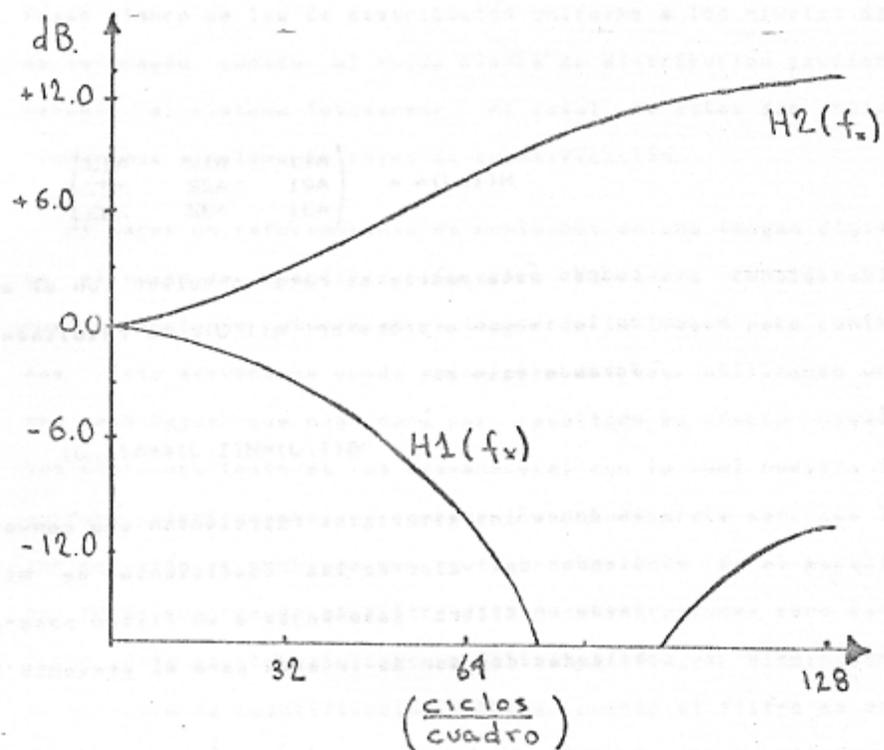


Fig. 1. Respuesta en frecuencia de los filtros $H1$ y $H2$.

El filtro de acentuación de altas frecuencias no se hizo más pronunciado con el fin de evitar excesiva saturación del nivel de gris en los bordes [2]. Las imágenes transformadas por éste par de filtros son las mostradas en la figura 3 (a) y (b) respectivamente, aplicados a la imagen original de la figura 2.

FILTRO LAPLACIANO ADAPTATIVO

Como lo hicimos notar anteriormente, es conveniente que la función de transferencia del filtro varíe espacialmente de acuerdo a un criterio predefinido. El criterio que se utilizó en éste trabajo, se basa en estimar la variancia local en una ventana de 3×3 pixeles centrada en el pixel a transformar. Dependiendo de éste valor estimado, los coeficientes del filtro adaptado se calculan de acuerdo al siguiente algoritmo:

$$H(I, J) = (1/K) \begin{pmatrix} A2 & A2 & A2 \\ A2 & A1 & A2 \\ A2 & A2 & A2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

en donde $A2 = (1 - (\text{VAR}(3 \times 3)) / A1)$

y para $A2 < -2$, $A2 = -2$, $A1 = 2.6$, $K = 1$
 $-2 < A2 < 0$, $A1 = -8 A2 + 1$, $K = 1$
 $A2 > 0$, $A1 = 1$, $K = A1 + 8 A2$

VAR es la variancia local de la imagen a procesar.

Algoritmos similares pero menos generales se han publicado recientemente [3,4]. Como se puede ver, dependiendo de la variancia local de la imagen éste filtro puede variar desde un filtro pasabajos de la forma $H1(I, J)$, hasta un filtro pasa-altos de la forma $H2(I, J)$ pasando por una transformación unitaria.

VARIANCIA DEL RUIDO EN LA SALIDA DE UN FILTRO LAPLACIANO

Con el fin de obtener una descripción matemática sencilla y útil del comportamiento de la potencia del ruido en la imagen

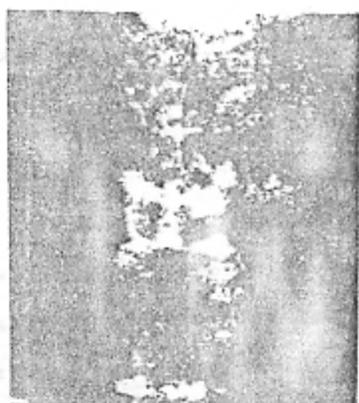


Fig. 2. Imagen original a procesar. —



Fig. 3. (a) Imagen obtenida al aplicar H1, notese el desvanecimiento de bordes y bajo ruido. (b) Al aplicar H2, existe un realce en los bordes pero aumenta el ruido.

(a)

(b)

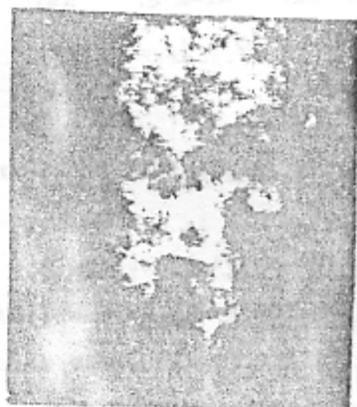


Fig. 4. Imagen obtenida al aplicar el filtro adaptativo propuesto. Existe un realzamiento de bordes y disminucion de ruido, el cual hace que mejore la imagen original.