

Filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet utilizando el método de redundancia en las aproximaciones

Martínez Valdes Jesús, Gallegos Funes Francisco Javier,
Acevedo Mosqueda Marco Antonio

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, U.P.A.L.M. Zacatenco,
Av. IPN s/n, Col. Lindavista, C.P. 07738, México, D.F.
jesusipnmex@yahoo.com.mx, fgallegosf@ipn.mx, macevedo@ipn.mx

Resumen. En este trabajo se comparan dos métodos de supresión de ruido impulsivo en imágenes digitales a color (resolución de 24 bits) utilizando el análisis Wavelet. El primer método [1], hace uso únicamente de los coeficientes Wavelet de los filtros paso-bajo de descomposición y de reconstrucción para filtrar las muestras de la imagen ruidosa mediante una doble operación de convolución, consiguiéndose así redundar el valor de las muestras y suavizar la imagen. El segundo método a diferencia del primero consigue eliminar el ruido tanto en las bajas como en las altas frecuencias (aproximaciones y detalles de la imagen respectivamente) aplicando el primer método de filtrado antes mencionado solamente a las aproximaciones de la imagen ruidosa y un filtro basado en el análisis de los histogramas de los coeficientes Wavelet de una imagen [2], el cual se aplica tanto a las aproximaciones como a los detalles, en éstos últimos utilizando la propiedad de escalamiento propia del análisis Wavelet.

1 Introducción

El ruido es una señal constituida de componentes aleatorios tanto en amplitud como en fase, es por ello que su amplitud exacta en un instante de tiempo no puede ser predicha [4], además, debido a que el ruido se presenta en todo el espectro de frecuencias, es prácticamente imposible removerlo utilizando un solo método de filtrado.

En particular, la dificultad para suprimir el ruido impulsivo en imágenes digitales radica en la detección del pixel corrompido, el cual puede tomar valores arbitrarios dentro del rango dinámico disponible.

El primer método de filtrado que se analiza en éste trabajo da una solución práctica al problema de la supresión ruido impulsivo presente en las imágenes digitales a color sin la necesidad de encontrar un valor de umbral [1,5], además, presenta mejores resultados en comparación con el comúnmente utilizado método de umbralización [1] que también se utiliza para la eliminar este tipo de ruido. Este método de filtrado utiliza los coeficientes Wavelet de los filtros paso-bajo de descomposición y de reconstrucción para llevar a cabo una doble operación de convolución con las muestras

de la imagen ruidosa para así suavizarla y eliminar parte del ruido presente en la misma. Se hace notar que al utilizar solamente los coeficientes Wavelet de los filtros paso-bajo se pierde gran cantidad de información que concierne a los detalles finos de la imagen (información correspondiente a las altas frecuencias), pero como es bien sabido, el análisis Wavelet en el Dominio Discreto concentra la mayor parte de la energía de una señal en las bajas frecuencias y es por ello que este método de filtrado es una buena alternativa que se puede utilizar en la tarea de la supresión del ruido impulsivo.

El segundo método que se presenta utiliza la redundancia de muestras (primer método) para suprimir el ruido impulsivo presente en las bajas frecuencias y para las altas frecuencias hace uso del *filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet* [2] que ha demostrado ser bastante efectivo en la detección del píxel ruidoso. El *filtro mediano con peso central iterativo* es una propuesta diseñada en base al análisis de los histogramas de los coeficientes Wavelet pertenecientes a los detalles de una imagen (altas frecuencias), por eso al conjuntar este resultado de supresión de ruido impulsivo en altas frecuencias con el primer método que se utilizó para el mismo fin pero para bajas frecuencias, se obtiene una supresión de ruido más completa la cual se refleja en los resultados obtenidos de las simulaciones hechas y que presentan una mejora de varios dB en los valores de relación pico señal a ruido. Se hace notar que el *filtro mediano con peso central iterativo* también se aplica a las aproximaciones de la imagen previamente filtradas utilizando el método de redundancia de muestras [1], siendo posible aplicar solamente un nivel de escalamiento a diferencia de los detalles donde se puede utilizar hasta un nivel 5 en el escalamiento, reduciéndose así la cantidad de muestras tomadas en el procesamiento de la imagen y por lo tanto el tiempo necesario para llevarse a cabo.

2 Filtro de redundancia de muestras basado en los coeficientes Wavelet de los filtros paso-bajo

Como se mencionó anteriormente este filtro toma directamente los valores de las muestras de una imagen ruidosa y los convoluciona dos veces con los coeficientes Wavelet de los filtros paso-bajo de descomposición y de reconstrucción, obteniéndose así una redundancia en el valor de las muestras y reduciendo la variabilidad de las mismas para suavizar el aspecto de la imagen y reducir el ruido. A continuación se explica paso a paso como se lleva a cabo este proceso de filtrado.

Primero se separan las muestras de la imagen ruidosa en sus distintos componentes en color como se observa en la figura 1. Donde $I_s(i, j, k)$ representa la imagen en color degradada con ruido impulsivo e $I_{SR}(i, j)$, $I_{SV}(i, j)$ e $I_{SA}(i, j)$ representan las componentes en color rojo, verde y azul respectivamente de dicha imagen.

Después, se lleva a cabo la doble operación de convolución entre las muestras de la imagen y los coeficientes Wavelet de los filtros paso-bajo de descomposición y de reconstrucción, con lo que se obtiene la imagen filtrada, estas operaciones se ilustran en las figuras 2 y 3.

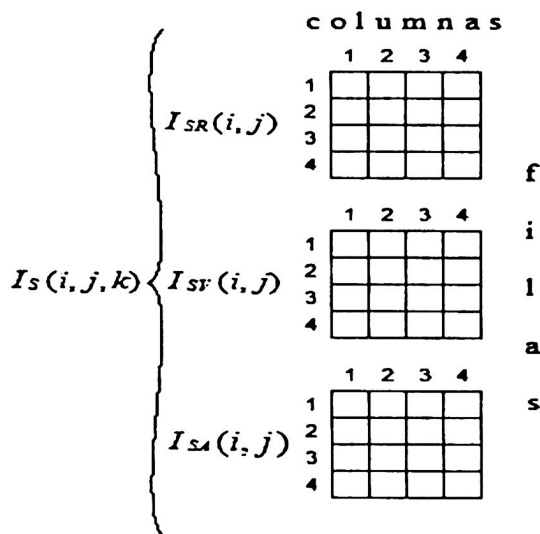


Fig. 1. Separación de una imagen ruidosa en sus distintos componentes de color.

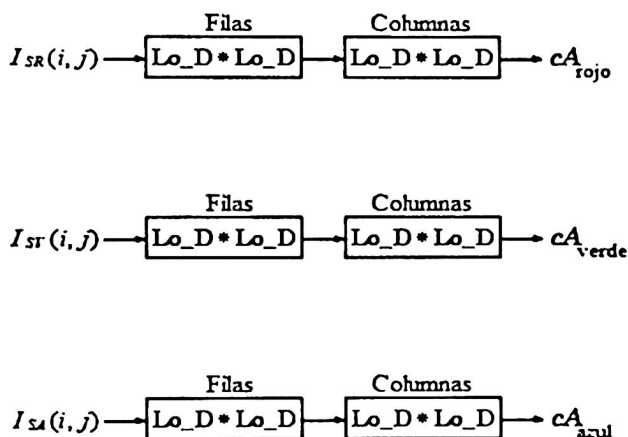


Fig. 2. Doble operación de convolución entre las muestras de la imagen ruidosa y los coeficientes Wavelet del filtro paso-bajo de descomposición.

Donde Lo_D representa los coeficientes Wavelet del filtro paso-bajo de descomposición, "*" representa la operación de convolución y cA_{rojo} , cA_{verde} y cA_{azul} representan a las aproximaciones de las matrices bidimensionales de la imagen corrompida en distintos componentes en color.

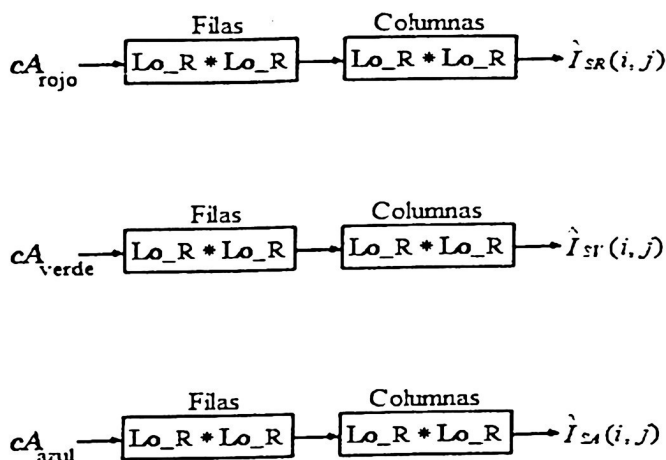


Fig. 3. Doble operación de convolución entre las aproximaciones de las matrices bidimensionales de la imagen ruidosa en distintos componentes en color y los coeficientes Wavelet del filtro paso-bajo de reconstrucción.

Donde Lo_R representa los coeficientes Wavelet del filtro paso-bajo de reconstrucción e $\hat{I}_{SR}(i, j)$, $\hat{I}_{SV}(i, j)$ e $\hat{I}_{SA}(i, j)$ representan las componentes en color rojo, verde y azul de la imagen filtrada respectivamente. En la tabla 1 se muestran los resultados de las simulaciones realizadas para este método de filtrado.

3 Filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet utilizando el método de redundancia en las aproximaciones

En la búsqueda de la supresión del ruido impulsivo en imágenes digitales se han utilizado métodos lineales y no lineales, éstos últimos preservando mucho mejor la información de bordes y detalles [3]. El filtro mediano es un claro ejemplo de métodos no lineales que por sus características ofrece grandes ventajas en la estimación del valor del píxel ruidoso.

En particular, este filtro mediano que se presenta en este trabajo está constituido a su vez por otro dos: el primero de ellos es el *filtro de redundancia de muestras basado en los coeficientes wavelet de los filtros paso-bajo* [1] que se trató en el punto anterior, el cual sólo repercute en la supresión de ruido en las bajas frecuencias (aproximaciones de la imagen ruidosa) y que como se muestra en el diagrama de la figura 4 es el primero en orden de aplicación, el segundo es el *filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet* que se caracteriza por tener una gran exactitud para poder determinar si el coeficiente Wavelet de una imagen ruidosa contiene ruido o no y trabaja con las varianzas y desviaciones estándar de los mismos y no directamente con sus magnitudes (entiéndase por coeficientes Wavelet de una imagen ruidosa o coeficientes Wavelet ruidosos al resultado de convolucionar los coeficientes de

cualquier familia Wavelet en el dominio discreto con las muestras de una imagen degradada con ruido impulsivo).

Tabla 1. Resultados obtenidos de la relación pico señal a ruido entre los componentes en color de la imagen original y la imagen filtrada utilizando el filtro de redundancia de muestras basado en los coeficientes Wavelet de los filtros paso-bajo, algunos parámetros como el error de cromaticidad media y la diferencia de color normalizada son agregados para evaluar la retención de cromaticidad y cuantificar el error perceptual.

Imagen utilizada en el análisis: Lena.bmp degradada con ruido salt & pepper de 0.2%								
Wavelet	Índice de Correlación Cruzada	PSNR (dB)			Error de Cromaticidad Media			Diferencia de Color Normalizada
		Rojo	Verde	Azul	Rojo	Verde	Azul	
Harr	0.988070	46.8055	49.2783	51.6962	0.0092	0.0072	0.0056	0.203580
db2	0.984664	44.7841	46.8784	48.8817	0.0113	0.0092	0.0075	0.237174
db4	0.981436	43.1308	44.9867	46.7873	0.0133	0.0011	0.0092	0.264643
db8	0.978844	41.9641	43.6770	45.3588	0.0150	0.0126	0.0107	0.284853
coif1	0.984494	44.6912	46.7691	48.7614	0.0114	0.0093	0.0076	0.238696
coif2	0.981198	43.0181	44.8582	46.6483	0.0135	0.0112	0.0094	0.266568
coif3	0.979590	42.2863	44.0379	45.7511	0.0145	0.0122	0.0103	0.279181
coif4	0.978599	41.8594	43.5613	45.2332	0.0152	0.0128	0.0108	0.286686
coif5	0.977910	41.5727	43.2432	44.8855	0.0156	0.0132	0.0112	0.291810

El *filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet* (ICWMF) se divide en dos etapas principalmente: en la primera etapa se lleva a cabo la detección del coeficiente Wavelet ruidoso, si el caso fue afirmativo se pasa a la segunda etapa y si el caso fue negativo se mantiene el valor de dicho coeficiente, si se pasó a la segunda etapa se lleva a cabo una nueva detección del coeficiente para diferenciar si el mismo contiene ruido o en realidad contiene información de un detalle fino de la imagen, si se determinó que el coeficiente contiene ruido se hace una estimación de su valor utilizando el valor de mediana y si se determina que el coeficiente es un detalle fino de la imagen se le da un pequeño realce para que sea más notorio. Por otro lado el escalamiento aplicado a los coeficientes Wavelet ruidosos de una imagen durante la aplicación de este filtro es determinado mediante la utilización de los histogramas de las desviaciones estándar de los coeficientes Wavelet de detalles pertenecientes a distintas imágenes sin y con ruido. Al comparar dichos histogramas se pudo apreciar que una profundidad de hasta 5 escalas puede ser utilizada para determinar un umbral o valor de discernimiento entre las desviaciones estándar mencionadas anteriormente.

El *filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet* fue diseñado originalmente para suprimir el ruido presente en las altas frecuencias de una imagen corrompida, pero en la implementación del *filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet utilizando el método de redundancia en las aproximaciones* se utiliza también para suprimir el ruido presente en las bajas frecuencias de la imagen (aproximaciones) con la diferencia de que el nivel de escalamiento aplicado en tales aproximaciones sólo es de la diferencia de los detalles, en donde se puede aplicar hasta un nivel de 5 escalas.

El proceso llevado a cabo durante la aplicación del *filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet utilizando el método de redundancia en las aproximaciones* se muestra en el diagrama de la figura 4 y los resultados de las distintas simulaciones realizadas que muestran una mejora notoria de este filtro con respecto al método de filtrado presentado con anterioridad se muestran en la tabla 2.

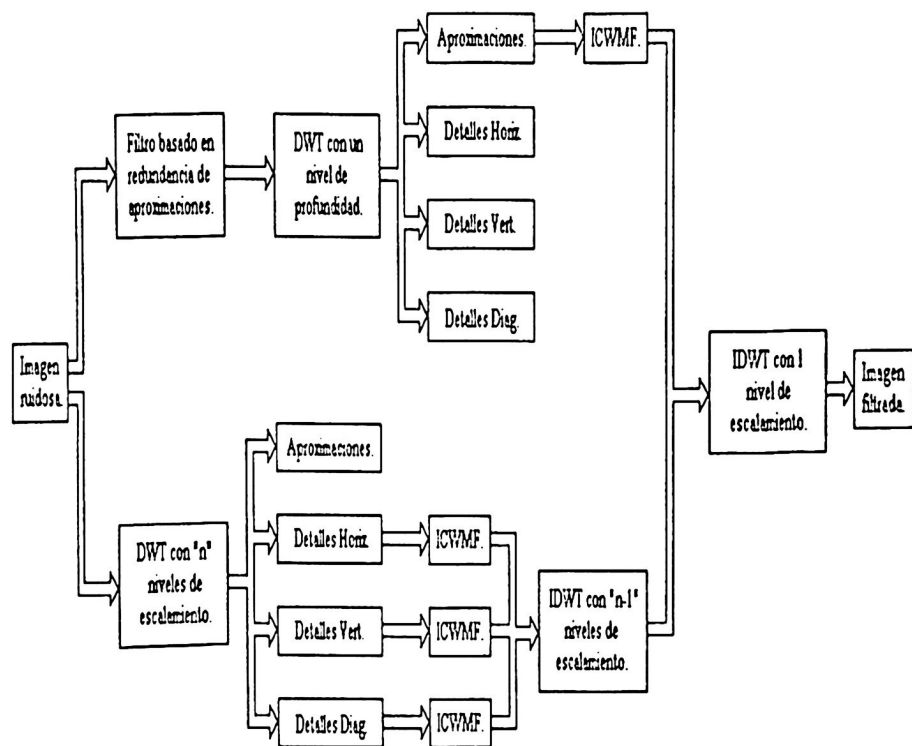


Fig. 4. Diagrama del proceso llevado a cabo durante la aplicación del *filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet utilizando el método de redundancia en las aproximaciones*.

Tabla 2. Resultados obtenidos de la relación pico señal a ruido entre los componentes en color de la imagen original y la imagen filtrada utilizando el *filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet* utilizando el *método de redundancia en las aproximaciones*, algunos parámetros como el error de cromaticidad media y la diferencia de color normalizada son agregados para evaluar la retención de cromaticidad y cuantificar el error perceptual.

Imagen utilizada en el análisis: Lena.bmp degradada con ruido salt & pepper de 0.2%								
Wavelet	Índice de Correlación Cruzada	PSNR (dB)			Error de Cromaticidad Media			Diferencia de Color Normalizada
		Rojo	Verde	Azul	Rojo	Verde	Azul	
Harr	0.987400	47.4537	50.5754	52.4409	0.0086	0.0063	0.0052	0.192596
db2	0.988141	48.1568	51.6351	53.0080	0.0081	0.0057	0.0049	0.182432
db4	0.987449	47.5725	50.9002	52.3651	0.0085	0.0061	0.0053	0.189214
db8	0.987260	47.3575	50.5627	51.8933	0.0087	0.0063	0.0055	0.193255
coif1	0.988326	47.8071	51.3238	52.8501	0.0083	0.0059	0.0050	0.186242
coif2	0.987425	47.5160	50.7691	52.2809	0.0086	0.0062	0.0053	0.189691
coif3	0.988710	47.9851	51.4267	52.7911	0.0082	0.0058	0.0050	0.189670
coif4	0.987306	47.2868	50.4232	51.8765	0.0088	0.0064	0.0055	0.192900
coif5	0.988769	47.8892	51.3023	52.6289	0.0083	0.0059	0.0051	0.190785

En la figuras 6 y 7 se muestran los resultados visuales obtenidos al aplicar los dos métodos de filtrado vistos en este trabajo a la imagen degradada con ruido impulsivo de la figura 5.



Fig. 5. Imagen degradada con una densidad de 0.2 de ruido impulsivo.



Fig. 6. Imagen filtrada utilizando el *método de redundancia de muestras basado en los coeficientes Wavelet de los filtros paso-bajo*.



Fig. 7. Imagen filtrada utilizando el *filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet utilizando el método de redundancia en las aproximaciones*.

4 Conclusiones

El *filtro mediano con peso central iterativo en el dominio Wavelet utilizando el método de redundancia en las aproximaciones* tiene un mejor desempeño en la supresión de ruido impulsivo en imágenes digitales a color que el *filtro de redundancia de muestras basado en los coeficientes wavelet de los filtros paso-bajo*, esto se debe a que el primero presenta una mejora en la supresión de ruido impulsivo de varios deci-

beles, valores de índice de correlación cruzada más altos lo cual indica que el parecido entre la imagen original sin ruido y la imagen filtrada es mayor, el error de cromaticidad media en los tres componentes en color es menor lo cual indica que hay una mejor retención de cromaticidad y la diferencia de color normalizada también es menor lo cual indica que un observador percibe menos errores de color en la imagen filtrada.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional el apoyo brindado para llevar a cabo este trabajo.

Referencias

1. Jesús Martínez Valdes, Francisco J. Gallegos Funes, Marco Antonio Acevedo Mosqueda, *Reduccion de Ruido Impulsivo en Imágenes Digitales a Color Utilizando Wavelets*, Memorias de IEEE 15 Reunión de Otoño de Comunicación y Exposición Industrial ROC&C 2004, Acapulco, México, Noviembre 2004.
2. S. M. Mahbubur Rahman, Md. Kamrul Hasan, *Wavelet-domain iterative center weighted median filter for image denoising*, Signal Processing, 83, 1001-1012, 2003.
3. S. K. Mitra and G. L. Sicuranza, *Nonlinear Image Processing*, Academic Press, San Diego, CA, 2001.
4. C. D. Motchenbacher, *Low-Noise Electronic System Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1993.
5. D. L. Donoho, *Denoising by wavelet thresholding*, IEEE Trans. Inform. Theory, 41(3) pp. 613-627, 1995.