

# MEJORAMIENTO DE IMÁGENES USANDO FUNCIONES DE BASE RADIAL

Jaime Alberto Echeverri Arias<sup>\*</sup>  
Bell Manrique Losada<sup>\*\*</sup>  
Francisco Javier Moreno<sup>\*\*\*</sup>  
Alejandro Bravo<sup>\*\*\*\*</sup>

Recibido: 31/08/2009

Aceptado: 05/10/2009

## RESUMEN

La eliminación del ruido impulsivo es un problema clásico del procesado no lineal para el mejoramiento de imágenes y las funciones de base radial de soporte global son útiles para enfrentarlo. Este trabajo presenta una técnica de interpolación que disminuye eficientemente el ruido impulsivo en imágenes, mediante el uso de interpolante obtenido por funciones de base radial en el marco de la investigación enfocada en el desarrollo de un Sistema de recuperación de imágenes de recursos acuáticos amazónicos. Esta técnica primero etiqueta los píxeles de la imagen que son ruidosos y, mediante la interpolación, genera un valor de reconstrucción de dicho píxel usando sus vecinos. Los resultados obtenidos son comparables y muchas veces mejores que otras técnicas ya publicadas y reconocidas. Según el análisis de resultados, se puede aplicar a imágenes con altas tasas de ruido, manteniendo un bajo error de reconstrucción de los píxeles “ruidosos”, así como la calidad visual.

Palabras clave: funciones de base radial, visión por computador, ruido.

<sup>\*</sup> M.Sc Ingeniería de Sistemas, Líder Grupo de Investigación ARKADIUS, Cra 87 No 30-65 Universidad de Medellín, Tel: 3405484, [jaecheverri@udem.edu.co](mailto:jaecheverri@udem.edu.co), Fax: 3405216

<sup>\*\*</sup> Ingeniera de Sistemas, M.sc en Ingeniería de sistemas, Cra 87 No 30-65 Universidad de Medellín, Tel: 3405528, [bmanrique@udem.edu.co](mailto:bmanrique@udem.edu.co), Fax: 3405216

<sup>\*\*\*</sup> PhD(c) , M.SC Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Sistemas Cra 80 No 65 223 Medellín, Antioquia, Tel: (034) 4255376, [fjmoreno@unal.edu.co](mailto:fjmoreno@unal.edu.co)

<sup>\*\*\*\*</sup> Estudiante Ingeniería de Sistemas, Universidad San Buenaventura Medellín, Colombia

# IMAGES IMPROVEMENT USING RADIAL BASIS FUNCTIONS

## ABSTRACT

Global support radial base functions are effective in eliminating impulsive noise in non-linear processing. This paper introduces an interpolation technique which efficiently reduces image impulsive noise by means of an interpolant obtained through radial base functions. These functions have been used in a research project designed to develop a system for the recovery of images of Amazonian aquatic resources. This technique starts with the tagging by interpolation of noisy image pixels. Thus, a value of reconstruction for the noisy pixels is generated using neighboring pixels. The results obtained with this technique have proved comparable and often better than those obtained with previously known techniques. According to results analysis, this technique can be successfully applied on images with high noise levels. The results are low error in noisy pixel reconstruction and better visual quality.

**Key words:** radial basis functions, computer vision, noisy.

## INTRODUCCIÓN

En muchas ocasiones las imágenes obtenidas por diferentes medios presentan un ruido, que se puede definir como cualquier valor de un píxel que no se corresponde exactamente con la realidad. El ruido impulsivo es aquel ruido cuya intensidad cambia bruscamente, y se caracteriza por presentar un cambio brusco en los valores de las tonalidades en píxeles aislados. Como se observa en la figura 1, este ruido se puede presentar por diversos factores, entre los que se puede nombrar el canal de transmisión ruidoso o imperfecciones del sensor con el que se obtienen las imágenes, de manera que en algunos puntos se presenta una saturación tal como comenta Abreu y otros [1].

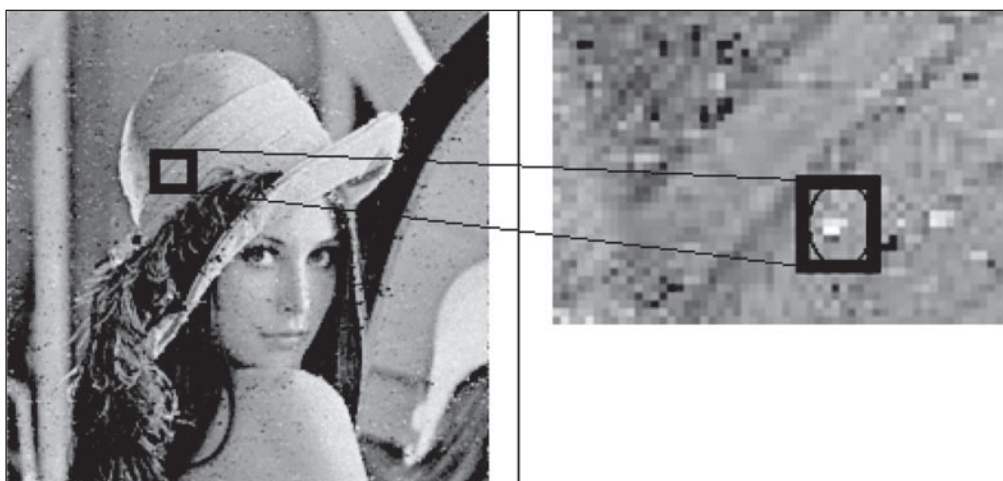
Para eliminar este tipo de ruido, han sido estudiadas de forma amplia varias técnicas, en su mayoría *lineales*, las cuales son poco eficaces en la reducción de ruido; es por esta razón que aparecen como alternativa las técnicas *no lineales*. Una de las técnicas no lineales más conocidas es el del *filtrado de mediana*, cuya principal desventaja es que se aplica sobre todos los puntos de la imagen, haciéndolo un método costoso computacionalmente. El costo es debido a que su aplicación se efectúa sobre cada

píxel de la imagen, independientemente de si es ruidoso o no, que consume tiempo de cómputo innecesario y presenta como desventaja adicional la obtención de imágenes borrosas (figura 1).

## 1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Para la eliminación de ruido también ha sido ampliamente utilizada la aplicación de filtros. Los filtros se utilizan para la modificación de imágenes ya sea para detectar los bordes de una escena o para modificar el aspecto; otra función de los filtros es la eliminación de ruido de la imagen. Algunos autores presentan técnicas en las que sólo se realiza sustitución en los píxeles considerados ruidosos y la detección de dichos píxeles es implementada mediante la comparación con ciertos umbrales.

Los píxeles ruidosos son reemplazados mediante un filtro como el de la mediana, modificado, que no utiliza valor del píxel *ruidoso* para calcular la mediana. Otros estudios presentan técnicas alternativas, como en el caso de Pérez et al. [3], el cual utiliza teoría *wavelet* para la eliminación de ruido. En el presente trabajo, se realiza un esquema similar a éste, pero tanto la detección como la sustitución de píxeles ruidosos se efectúan con



**Figura 1.** Ruido impulsivo en imágenes

Fuente: Tomado de [2]

funciones de base radial (RBF), generando bajos costos computacionales y una buena calidad en la imagen final obtenida.

La interpolación se calcula en muchos de los casos como el valor de intensidad de un píxel en una posición dada; como una función de los píxeles que lo rodean y que para este caso ocuparán las posiciones enteras de la matriz que hace la representación computacional de la imagen. En Pajares y De la Cruz [4] se exploran otras formas de interpolación ampliamente usadas, como la interpolación bilineal, la cual puede presentar mejores resultados, pero el castigo computacional es alto. En este tipo de situaciones al píxel en cuestión se le asigna un valor medio ponderado de las intensidades de los cuatro píxeles que le rodean (vecindad 4), donde los factores de ponderación vienen dados por la distancia entre el píxel y los de su entorno.

## 2. FUNCIONES DE BASE RADIAL

El problema de la interpolación requiere encontrar una función  $s(x)$ , que aproxime a una función dada ciertos valores conocidos de un conjunto de puntos  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Una función de base radial es una función de la forma:

$$s(x) = P(x) + \sum_{i=1}^N \lambda_i \phi(\|x_i - x\|), \quad x, x_i \in \mathbb{R}^d \quad (1)$$

Donde  $P$  es un polinomio de grado  $a$  lo sumados y  $\lambda_i$  son factores de ponderación o pesos;  $\|\cdot\|$  es la norma euclídea y  $\phi$  se llama función básica. En resumen, una función de base radial es una combinación lineal de traslaciones de una función radialmente simétrica. Un tipo particular de función de base radial puede ser *de soporte global*, funciones infinitamente diferenciables y con valor real no nulo en todos los puntos de su dominio, y de las cuales algunas contienen además un parámetro libre, llamado “parámetro de forma”. El uso de este tipo de funciones básicas produce una

matriz de interpolación densa que se utiliza para interpolar suavemente y generar zonas continuas sobre superficies discontinuas.

Ejemplos típicos de funciones básicas de soporte global se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Funciones de base radial típicas

Función	Nombre
$\phi(r) = r^2 \log(r)$	Thin Plate Spline
$\phi(r) = e^{-\alpha^2}$	Gaussiana
$\phi(r) = (r^2 + c^2)^\beta$	Multicuádrica
$\phi(r) = r$	Biarmónica
$\phi(r) = r^3$	Triarmónica

Fuente: Elaboración propia

Las funciones de base radial se utilizan para interpolar datos dispersos. Han tenido buena aceptación debido a que el sistema asociado de ecuaciones lineales resulta ser invertible, incluso si la distribución de los puntos no presenta regularidad. Por ejemplo, con la función Thin Plate Spline (TPS), sólo se requiere que los puntos no sean colineales, mientras que con la Gaussiana y la Multicuádrica no se necesita ninguna clase de regularidad. En particular, las funciones de base radial no necesitan que los puntos estén distribuidos en una grilla regular.

Suponiendo que se tiene una función  $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ , y se conocen los valores de  $f$  en un conjunto  $n$  de puntos, se desea encontrar una función  $s(x)$ , que aproxime a  $f$  usando funciones de base radial. Para el caso de imágenes bidimensionales, se asume a  $f$  como una función de dos variables de tipo discreto con dominio en el conjunto de valores determinado por:  $A = \{(i, j) / 1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M\}$ , donde  $N$ : Número de filas de la matriz que representa la imagen;  $M$  el número de columnas, y además

$0 \leq f(i, j) \leq 255$  representa el nivel de gris del píxel en la posición  $(i, j)$ .

En la ecuación (1), y teniendo en cuenta que:

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_N \end{bmatrix}, f = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ y_N \end{bmatrix}, y_1 = f(x) \quad (2)$$

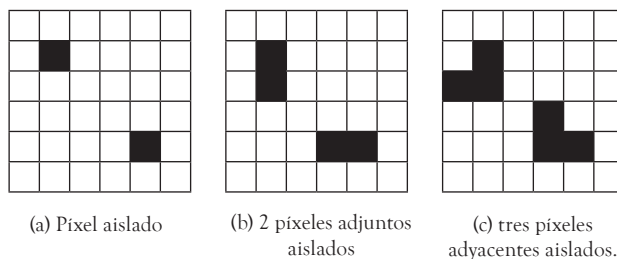
los pesos  $\lambda_i$  se determinan por medio de la solución de la ecuación matricial:  $A\lambda = f$ , más precisamente:

$$\phi = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \dots & \phi_{1n} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \dots & \phi_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \phi_{m1} & \phi_{m2} & \dots & \phi_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$f$  en el presente caso está dado por los valores de intensidad de cada uno de los píxeles que rodean el ruidoso. Las condiciones para que este sistema tenga solución única se establecen en Carr et al. [5] y en Echeverri et al. [6] y se refieren a características analíticas de la función básica  $\phi$ .

### 3. ALGORITMO PARA LA ELIMINACIÓN DE RUIDO IMPULSIVO

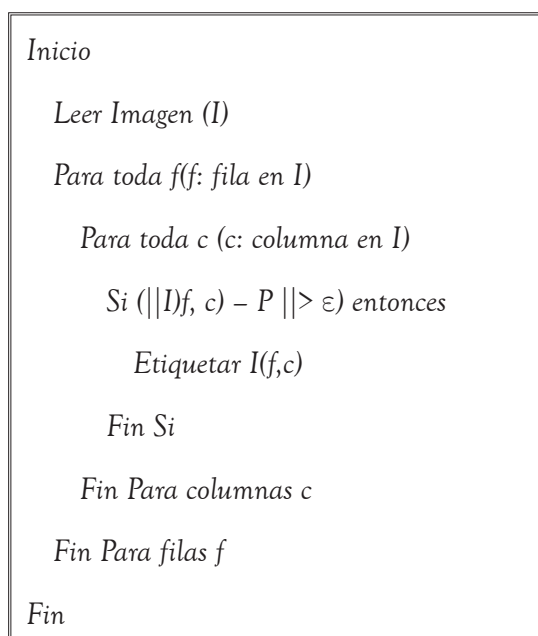
El método implementado consta de una secuencia de pasos, como se describe a continuación. El primer paso es la *identificación de los píxeles ruidosos*. Es necesario tener en cuenta que este algoritmo solo clasifica como *ruidosos* los píxeles o conjunto de píxeles con las características que se muestran en la figura 2, especificando: píxel aislado, píxeles adjuntos aislados, y tres píxeles adyacentes aislados. En ésta se ve la diferencia entre un píxel y sus vecinos.



**Figura 2.** Casos tratados de diferentes tipos de ruido

Fuente: Elaboración propia

El segundo paso se enfoca en el recorrido de la matriz de la imagen por filas o columnas y en la evaluación de la diferencia de valores del píxel en posición  $(i, j)$ , con cada uno de sus nueve vecinos caso (a), como se expresa en la figura 1; si la diferencia entre el valor de intensidad del píxel evaluado con sus todos sus vecinos es superior en todos los casos a  $\epsilon$  ( $\epsilon$  es un umbral preestablecido), este píxel es etiquetado como ruidoso, de lo contrario se evalúa el píxel inmediatamente siguiente. En la figura 3 se detalla el método que sigue el algoritmo.



**Figura 3.** Algoritmo para la clasificación de píxeles ruidosos.

Fuente: Elaboración propia



4. RESULTADOS OBTENIDOS (figuras 4 a 9)



Figura 4. Imágenes. (a) Original (b) Imagen con ruido.

Fuente: Adaptado de [2]



Figura 5. (a) Eliminación usando RBF Multicuádrica (b) Eliminación usando RBF Multicuádrica Inversa (c) Imagen obtenida el método de la mediana.

Fuente: Adaptado de [2]

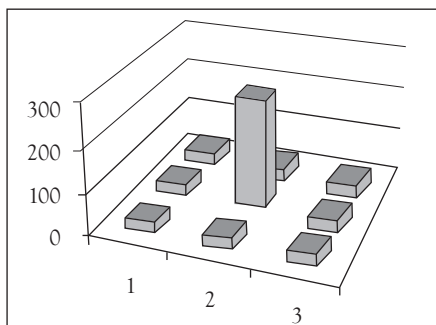


Figura 6. Valores píxeles alrededor del ruido antes de aplicar el método.

Fuente: Elaboración propia

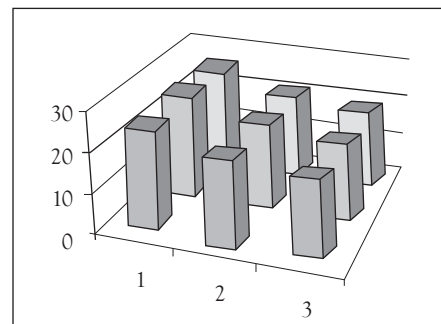


Figura 7. Valores de píxeles alrededor del ruido después de aplicar el método.

Fuente: Elaboración propia.

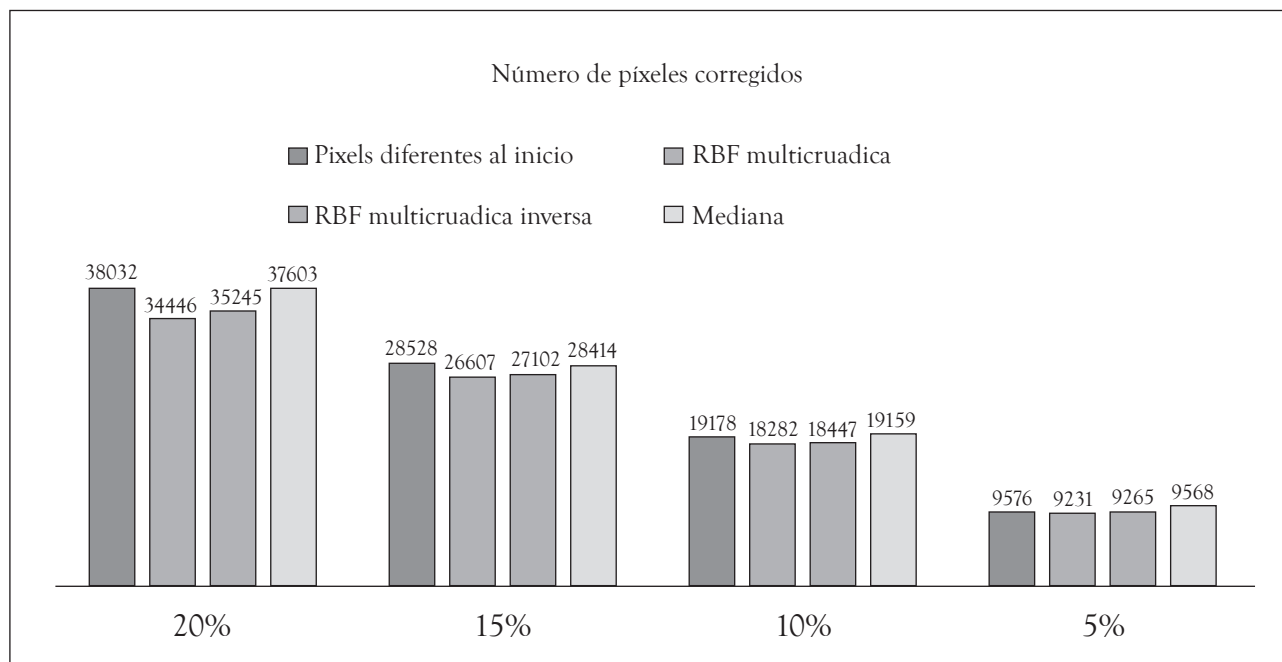


Figura 8. Cantidad de ruido eliminado.

Fuente: Elaboración propia

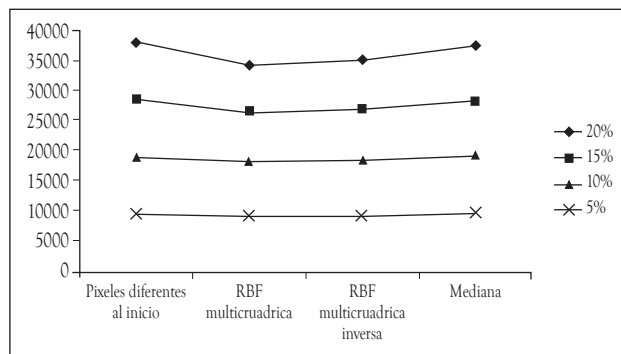


Figura 9. Comparación de las diferentes técnicas empleadas.

Fuente: Elaboración propia

### 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta la calidad de las imágenes obtenidas, se aplicaron cada uno de los métodos descritos en la figura 5, así:

- (a) RBF Multicuádrada,
- (b) RBF Multicuádrada Inversa y
- (c) Filtro de la mediana.

En los resultados se evidencia el alto índice de reducción de ruido. Aunque es notoria la mejora “visual” de la imagen, se decidió hacer un análisis cuantitativo de la cantidad de ruido realmente eliminado, para lo cual se realizó una comparación de la matriz “imagen” original con la matriz obtenida píxel a píxel. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Comparación de la Técnicas.

Procedimiento	Píxeles diferentes	% Píxeles
Ruido	45518	19.75%
(A)	45601	19.79%
(B)	45676	19.82%
Mediana	143553	62.30%

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 2, el número de píxeles cambiados en cada uno de los procedimientos aplicados es muy alto en el caso del filtro de la mediana (62.30%). La siguiente ecuación se utilizó para determinar el porcentaje de variación en cada imagen.

$$D = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \|I(i, j) - I'(i, j)\| \quad (4)$$

Donde  $D$  mide la diferencia entre dos imágenes.

En la figura 7 se muestra la cantidad de ruido eliminado por medio de cada una de las técnicas. Como se puede apreciar, la eliminación por medio de funciones de base radial (multicuádrica y multicuádrica inversa) presenta en todos los casos resultados más favorables que el método de la mediana. La figura 9 muestra la cantidad de píxeles eliminados según la técnica, lo que corrobora la utilidad de las funciones de base radial para la eliminación de ruido en imágenes.

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El trabajo propone una técnica diferente para eliminar el ruido impulsivo en imágenes bidimensionales, cuyo método es eficiente comparado con otros utilizados tradicionalmente para la eliminación de este tipo de ruido. Además, en muchas situaciones, presenta mejores resultados en términos de la calidad de la imagen obtenida, así como la cantidad de ruido eliminado.

A pesar los buenos resultados logrados en cuanto a la calidad visual final de la imagen, y a que el método hace una correcta detección de ruido, el filtro de la mediana es cuantitativamente inferior en cuanto al aspecto borroso o difuso que se presenta alrededor de los píxeles etiquetados como ruido.

La utilidad de las funciones de base radial en la eliminación de ruido impulsivo queda manifiesta en este trabajo, y queda en evidencia la necesidad de una comparación con otras técnicas aplicadas a imágenes en las situaciones planteadas, lo cual podría dar un panorama más amplio en este tipo de aplicaciones.

Se considera de gran utilidad comparar con otras técnicas el método aquí expuesto. Como se muestra en este trabajo la determinación de los píxeles *ruidosos* reduce el tiempo de cómputo y, por ende, la eficiencia del método. Se plantea también la necesidad de usar funciones básicas de base radial de soporte global y soporte compacto, que permitirán concluir o determinar una mejor selección de familias de funciones de base radial en el proceso de interpolación.

## REFERENCIAS

- [1] E. Abreu, M. Lightstone, S. K. Mitra *et al.*, "A new Efficient Approach for the Removal of Impulse Noise from Highly Corrupted Images," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 5, no. 6, pp. 1012-1025, 1996.
- [2] Jaberme. "Lena / Lenna. La imagen mas famosa en procesamiento de imagenes," agosto, 2009; <http://jaberme.wordpress.com/2007/11/26/lena-lenna-la-imagen-mas-famosa-en-procesamiento-de-imagenes/>.
- [3] A. Pérez, G. La Mura, R. Piotrkowski *et al.*, "Procesamiento no lineal con wavelet para eliminación del ruido en imágenes planares de medicina nuclear," in II Congreso latinoamericano de ingeniería biomédica, Habana, mayo 23-25, 2001.
- [4] G. Pajares, and J. De La Cruz, *Visión por computador, Imágenes y aplicaciones*, Mexico: Alfaomega (RA-MA), 2002.
- [5] J. C. Carr, W. R. Fright, and R. K. Beatson, "Surface interpolation with Radial Basis Functions for medical Imaging," *IEEE Transaction on medical imaging*, vol. 16, no. 11, pp. 96-107, 1997.
- [6] J. Echeverri, R. Cañaveral, and A. Vélez, "Reconstrucción tridimensional de rostros a partir de imágenes de rango por medio de funciones de base radial de soporte compacto," *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 6, no. 11, pp. 199-207, 2007.