

## **Mejoramiento de contraste local de imágenes con vecindarios espacialmente adaptivos**

**Luis Herrada-Mateo ,\* Vitaly Kober**

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)

Departamento de Ciencias de la Computación, División de Física Aplicada

[herrada@cicese.mx](mailto:herrada@cicese.mx), [vkober@cicese.mx](mailto:vkober@cicese.mx)

### **Resumen**

*Se presenta una nueva técnica para llevar a cabo el mejoramiento de contraste de una imagen monocromática mediante la aplicación de filtros adaptivos no lineales sobre vecindades de píxeles que se encuentren espacialmente conectados.*

*Esta técnica hace uso de la operación de ecualización y los filtros no lineales usados son los filtros de rango. Este método explota explícitamente las relaciones espaciales de los píxeles de la imagen a través de un concepto conocido como conectividad de 8 vecinos cercanos. Se demuestra que la aplicación de los filtros de rango sobre vecindarios que se encuentren espacialmente conectados produce un mejor resaltado de objetos pequeños y detalles en comparación a técnicas que no hacen uso de la información espacial de la imagen.*

## **1. Introducción**

Existen diversas técnicas para llevar a cabo el mejoramiento de contraste en una imagen. Estas técnicas pueden ser divididas en 2 grandes clases. La primera clase implica la descomposición de la imagen en altas y bajas frecuencias y en la combinación de éstas dos señales independientes [1]. El filtrado homomórfico y el “unsharp masking” son ejemplos de esta clase.

La segunda clase consiste en la modificación del histograma de la imagen. La técnica propuesta en este trabajo pertenece a la segunda clase.

Podemos considerar el histograma local de una imagen como una función de probabilidad. Es importante tener en cuenta que de acuerdo a la teoría de la información, una distribución uniforme es más informativa. Por tanto, si redistribuimos el histograma de la imagen de modo que se obtenga una distribución uniforme, la cantidad de información (o entropía) será máxima.

El proceso de transformar un histograma de cualquier distribución a una distribución constante se llama ecualización [2]. Esta operación puede ser realizada a través de filtros no lineales.

Estos filtros no lineales han recibido considerable atención debido a su efectividad en la eliminación de ruido aditivo e impulsivo y en la restauración y mejoramiento de contraste en imágenes. Entre las clases de filtros no lineales más conocidas tenemos los filtros de mediana, los filtros de mediana multinivel y multietapa, los filtros de pila, los filtros morfológicos, los filtros de rango entre muchos otros.

Estos filtros demuestran ser muy robustos y proveen de soluciones en donde los filtros lineales ofrecen pobres resultados. Por este motivo se escogieron los filtros de rango para llevar a cabo la ecualización. El presente trabajo se organiza como sigue. En la sección 2 se da una breve explicación sobre los filtros de rango y su relación con la ecualización. En la sección 3 se define el concepto de conectividad. En la sección 4 se describen los algoritmos propuestos para lograr vecindarios conectados y finalmente en la sección 5 se muestran los resultados experimentales acompañados por los comentarios y conclusiones.

## 2. Filtros de Rango

Existe una categoría de filtros no lineales conocidos como filtros de rango [3] los cuales incorporan operaciones de rango, es decir su salida es función de los elementos contenidos dentro del renglón variacional sobre lo cuál se hablará a continuación.

### 2.1 Renglón Variacional

En el diseño de filtros de rango, los elementos de la imagen contenidos dentro de la ventana deslizante son ordenados en orden ascendente y colocados en un arreglo. Este arreglo así formado se le conoce como **renglón variacional** y se puede expresar como  $\{V(r) : V(r) \leq V(r+1), r = 1, 2, \dots, H\}$ .

A los valores  $V(r)$  y  $r(V)$  se les conoce como r-ésima estadística de orden y rango del valor  $V$  respectivamente [4]. Ambos son computados del histograma local de los valores contenidos en la ventana deslizante. Calculando el respectivo histograma acumulado podemos conocer el renglón variacional. La salida de un filtro de rango es función de los elementos contenidos dentro del renglón variacional.

Esta salida ocupará el píxel cuya posición corresponde a la posición central de la ventana deslizante. Una desventaja de los filtros de rango convencionales es que éstos no explotan las relaciones espaciales entre los elementos de la imagen debido a que llevan a cabo el ordenamiento de los píxeles contenidos en una ventana bidimensional y lo colocan en una fila unidimensional. Para una descripción estructural de los detalles de una imagen, se presentan un tipo de vecindario EV el cual se explica a continuación.

### 2.2 Vecindades

Antes de presentar a las vecindades conectadas, es necesario conocer un tipo de vecindad la cual es calculada a partir del renglón variacional  $V(r)$ .

Sea  $v_{k,l}$  el píxel que ocupa la posición central de la ventana deslizante y sean  $v_{m,n}$  los píxeles vecinos. **El vecindario EV** es un subconjunto de los píxeles  $\{v_{m,n}\}$  cuyos valores se desvían del píxel central a lo más por una cantidad predeterminada  $\epsilon_v$  [4-5]. Se expresa matemáticamente como:

$$EV(v_{k,l}) = \{v_{m,n} : v_{k,l} - \epsilon_v \leq v_{m,n} \leq v_{k,l} + \epsilon_v\}$$

#### Vecindario S

|    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|
| 43 | 43 | 42 | 13 | 13 |
| 12 | 40 | 41 | 12 | 15 |
| 15 | 13 | 41 | 40 | 10 |
| 43 | 12 | 13 | 10 | 41 |
| 40 | 10 | 40 | 10 | 41 |

(a)

### Renglón Variacional

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 15 | 15 | 40 | 40 | 40 | 40 | 41 | 41 | 41 | 41 | 42 | 43 | 43 | 43 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

(Elemento central)

(b)

### Vecindario EV ( $\epsilon_v = 3$ )

|    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|
| 43 | 43 | 42 | 13 | 13 |
| 12 | 40 | 41 | 12 | 15 |
| 15 | 13 | 41 | 40 | 10 |
| 43 | 12 | 13 | 10 | 41 |
| 40 | 10 | 40 | 10 | 41 |

(c)

Figura 1. (a) Vecindad S correspondiente a una posición de la ventana deslizante. (b) Renglón Variacional perteneciente a la vecindad S.

(c) Vecindario EV con  $\epsilon_v = 3$ .

### 2.3 Filtros de rango y ecualización

En una imagen de bajo contraste, el histograma local en cada posición de la ventana deslizante presenta típicamente picos o modas que se concentran alrededor de dos o más valores. Estos valores tienen niveles de grises muy cercanos por lo que el objetivo es incrementar esta diferencia para aumentar el contraste. Una forma de hacer esto es haciendo uso del histograma acumulado en el cual se aprovecha el cambio súbito en los valores correspondientes a los picos para incrementar la diferencia entre píxeles pertenecientes a ambos lados de los bordes.

Como ya se mencionó, el histograma acumulado representa los rangos de los píxeles en el renglón variacional. Matemáticamente, se expresa el filtro de la siguiente manera:

$$\hat{v}_{k,l} = A * r(v_{k,l}) + B$$

donde  $r(v_{k,l})$  es el rango del píxel central y  $A$  y  $B$  son parámetros de normalización para asegurar que  $\hat{v}_{k,l}$  esté en el rango de 0 a 255.

Es conveniente escoger  $A = \frac{255}{N^2}$  y  $B = 0$ .  $N \times N$  son las dimensiones de la ventana deslizante.

La idea central de este trabajo es realizar el filtrado usando el histograma acumulado de sólo los píxeles que se encuentren espacialmente conectados para cada posición de la ventana deslizante.

### 3. Vecindarios Espacialmente Conectados

El lector puede preguntarse cómo los vecindarios conectados van a ayudar a obtener una mejor ecualización. El hecho de usar conectividad significa escoger solamente píxeles pertenecientes a un objeto o detalle. Es decir, se está siendo más selectivo con los datos de entrada al momento de procesarlos. Para la formación de vecindarios con conectividad de 8 vecinos cercanos es necesario conocer las siguientes definiciones:

#### Definición 1.

Se dice que el píxel  $v_{k,l}$  y el píxel  $v_{m,n}$  (ambos diferentes) son vecinos espaciales si sus coordenadas cumplen la siguiente restricción:  $(|k-m|^p + |l-n|^p)^{\frac{1}{p}} \leq \Delta$ , donde  $\Delta$  es una constante positiva conocida como orden de conectividad y  $p = 1$  ó  $2$  dependiendo de la métrica usada [4].

#### Definición 2.

Se define una trayectoria entre el píxel  $v_{k,l}$  al píxel  $v_{m,n}$  con  $k \leq m$  y  $l \leq n$  como una secuencia de píxeles  $A_1, A_2, \dots, A_h$  pertenecientes al vecindario donde  $A_1 = v_{k,l}$ ,  $A_h = v_{m,n}$  y  $A_{i+1}$  es un vecino espacial de  $A_i$  con  $i = 1, \dots, h-1$ .

#### Definición 3.

Se dice que dos píxeles están espacialmente conectados uno al otro si existe una trayectoria entre estos píxeles en el vecindario.

#### Definición 4.

Una región espacialmente conectada es un conjunto de píxeles de un vecindario X en el cual existe una trayectoria entre cualquier par de píxeles pertenecientes a este conjunto.

Para el caso particular en el que  $p = 2$  y  $\Delta = \sqrt{2}$ , tenemos una región conectada de 8 vecinos cercanos.

Ejemplo.

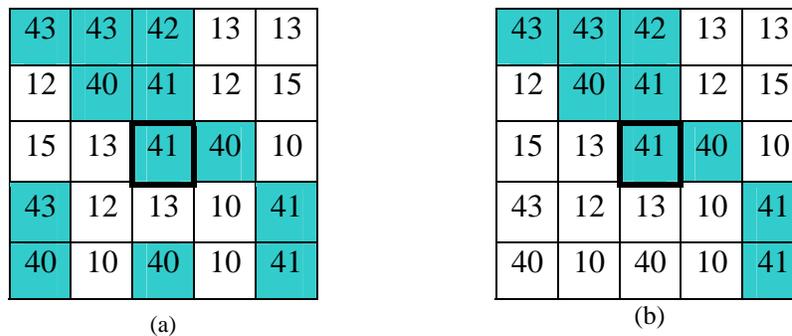


Figura 2. (a) Vecindad no conectada EV.

(b) Vecindad conectada CEV con  $p=2$  y  $\Delta = \sqrt{2}$

La figura 2(a) muestra la región EV sombreada la cual no se encuentra conectada.

La ventana 2(b) muestra la región conectada CEV la cual tiene conectividad de 8 vecinos cercanos ya que los píxeles de la región sombreada se encuentran conectados todos entre sí de acuerdo a las definiciones explicadas líneas arriba. En este caso  $p=2$  y  $\Delta = \sqrt{2}$ .

#### 4. Algoritmo para la construcción de vecindarios espacialmente conectado

Para este objetivo se utilizaron operaciones binarias morfológicas [4-5]. Los vecindarios conectados están basados en el vecindario EV explicado líneas arriba.

Primero, se necesita calcular una región de soporte para el vecindario EV. Esta región de soporte se define como un conjunto de valores iguales a uno o cero. Si un píxel del vecindario S (píxeles contenidos en la ventana deslizante) pertenece al vecindario EV, el elemento correspondiente en su región de soporte es igual a uno, de otro modo es igual a cero.

$$RS_{EV} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si } v_{k,l} - \varepsilon_v \leq v_{n,m} \leq v_{k,l} + \varepsilon_v \\ 0 \text{ en otro caso} \end{array} \right\}$$

donde  $v_{k,l}$  y  $v_{n,m}$  corresponden al píxel central y a cualquier píxel del vecindario S respectivamente. Basados en esta región de soporte, se pasa a calcular los vecindarios conectados.

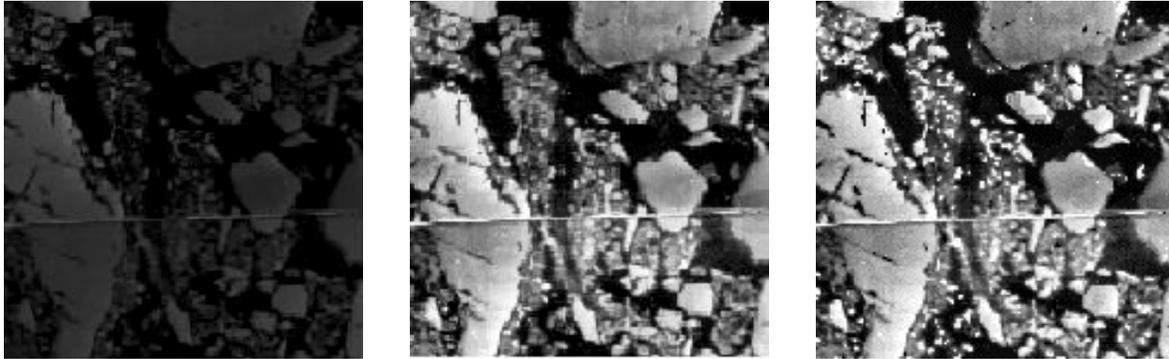
##### Algoritmo:

Notación:  $RS_{EV}$  es la región de soporte para el vecindario EV; B es un elemento estructural cuadrado de 3x3;  $RS_{CEV}$  es la región de soporte del vecindario conectado; X AND Y representa la operación lógica “and” que es igual a la intersección de conjuntos;  $X \oplus B$  es la operación de dilación definida como la suma de todos los posibles pares de elementos, cada par tomado de cada uno de los conjuntos X y B,  $X \oplus B = \{p = x + b, x \in X, b \in B\}$

- 1.- Formar el conjunto  $X_0$  cuyos valores son iguales a 1 en la posición del píxel central y cero en todas las demás posiciones.
- 2.- Computar  $X_1 = (X_0 \oplus B) \text{ AND } RS_{EV}$
- 3.- Si  $X_1 \neq X_0$  entonces  $X_0 = X_1$  y volver al paso 2.
4.  $RS_{CEV} = X_0$

#### 5. Resultados Experimentales. Comentarios y Conclusiones

La figura 3(a) muestra una imagen de unas rocas de 151x151 píxeles y 256 niveles de cuantización con muy bajo contraste. A continuación se explican los resultados.



(a) (b) (c)

**Fig 3** Proceso de Ecuación con ventana deslizante 65x65. (a) Imagen no Ecuación. (b) Imagen Ecuación sin Conectividad con parámetros  $A=0.0635$  y  $B=0$ . (c) Imagen Ecuación con conectividad y parámetro  $\epsilon_v = 3$ .

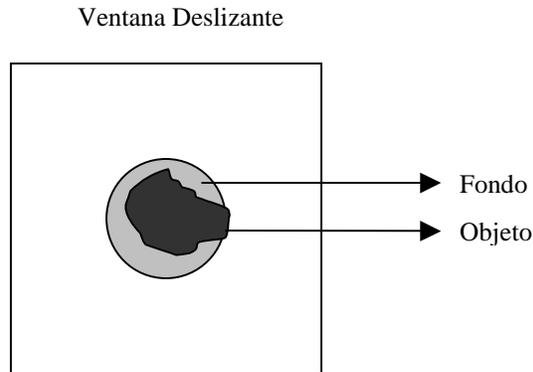
### 5.1 Filtrado sin conectividad. Ventajas y Desventajas

En la Figura 3(b), tenemos la imagen ecualizada obtenida haciendo sólo uso de los filtros de rango convencionales. Para este experimento se usó una ventana de 65x65. Este filtrado tiene la ventaja de que la salida en cada posición de la ventana deslizante es función de los histogramas de los píxeles contenidos en la ventana. Cada histograma es calculado en forma recursiva, es decir el histograma en una posición es función del histograma en la posición anterior. Esto hace que el costo computacional de implementar este algoritmo sea muy bajo. El tiempo que tomó obtener este resultado fue de menos de 1 segundo.

La desventaja que existe con este algoritmo es que no explota las relaciones espaciales entre píxeles. En consecuencia, no realiza un buen contraste con los objetos pequeños. Esto se debe a que la ventana deslizante la cual es de tamaño grande contiene información de distintas estructuras, tanto de objetos pequeños como grandes. Como resultado se obtiene un pobre contraste de objetos pequeños.

### 5.2 Filtrado con conectividad. Ventajas y Desventajas

En la figura 3(c), tenemos la imagen ecualizada obtenida mediante el uso de los filtros de rango y adicionalmente de la conectividad. De igual manera se usó una ventana de 65x65 y parámetro  $\epsilon_v = 15$ . La conectividad nos permite seleccionar de todo el conjunto de píxeles contenidos en la ventana deslizante, sólo aquellos que pertenecen a un objeto específico, sea éste pequeño o grande. Como resultado hemos conseguido una ventana deslizante que se va adaptando al tamaño del objeto. Finalmente se realiza el filtrado usando solo los píxeles pertenecientes al objeto y al fondo que lo rodea. Ver Figura 4.



**Fig 4** Ventana deslizante de 65x65 que contiene un objeto pequeño con su respectivo fondo.

La gran desventaja que tiene esta técnica es que la complejidad de los algoritmos involucrados es inmensa. En este caso, los histogramas para cada posición de la ventana deslizante no pueden ser calculados recursivamente. El tiempo que tomó obtener esta imagen fue de 5 minutos. Todos los experimentos fueron realizados en una Pentium III de 800 Mhz y los algoritmos fueron implementados en Power Builder. Nótese que el procesamiento en cada posición de la ventana deslizante puede hacerse en forma independiente. Por tanto la computación paralela puede ayudarnos a reducir significativamente el costo computacional de la técnica propuesta.

### Conclusiones

El proceso de ecualización utilizando filtrado no lineal sobre una vecindad conectada demuestra ser superior al filtrado no lineal sin conectividad. Esto se puede notar claramente al comparar las figuras 3(b) y 3(c). Cabe resaltar que estamos pagando complejidad computacional por calidad visual. Es posible recurrir a la ayuda del procesamiento en paralelo para acelerar la respuesta de nuestro filtro propuesto.

### 6. Bibliografía

- [1] V. Kober, M. Moserov, J. Alvarez-Borrego y A. Ovseyevich.: julio 2001 “*Unsharp masking by the rank-order filters with spatially adaptive neighborhoods*” Pattern Recognition and Image Analysis. Vol 12 No 1.
- [2] William K. Pratt: 2001. *Digital Image Processing*. 3era edición.
- [3] Edward R. Dougherty. Jaakko T. Astola: 1999. *Nonlinear filters for image processing*.
- [4] V. Kober, M. Moserov, J. Alvarez-Borrego: julio 2001. “*Nonlinear filters with spatially connected neighborhoods*” Optical Engineering Vol 40 No.6.
- [5] V. Kober, M. Moserov, J. Alvarez-Borrego y A. Ovseyevich: 2001 “*Fast Algorithms of Rank-Order Filters with Spatially Adaptive Neighborhoods*” Pattern Recognition and Image Analysis Vol 11 No 4. pp 690-698.