

Optimización de la ecualización del histograma en el procesamiento de imágenes digitales

Roberto Depaoli **Luis A. Fernández** **Daniel Diaz**
rd-ing@unlm.edu.ar lfernand@unlm.edu.ar ddiaz@unlm.edu.ar
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas
Universidad Nacional de La Matanza
Florencio Varela 1903 – San Justo – Pcia. de Bs. As. – Argentina.

Resumen — La ecualización del histograma es un proceso para aumentar el rango dinámico de una imagen digital. El análisis de la técnica estándar propuesta en la literatura, permite poner en evidencia ciertas dificultades del algoritmo para distinguir objetos pequeños en algunos casos. En este trabajo, se exhibe una modificación de dicho algoritmo, que corrige el problema mencionado, y se aplica a una imagen digital sintética para mostrar su eficiencia.

1 Introducción

El departamento de ingeniería de la Universidad Nacional de la Matanza está embarcado en un proyecto de procesamiento de imágenes y visión por computadora. En lo inmediato, una de las aplicaciones a que se encuentra abocado es la inspección de materiales por métodos ópticos. Ante la eventualidad de obtener imágenes de bajo rango dinámico, que desde el punto de vista visual significa bajo contraste de la imagen, es necesario disponer de técnicas computacionales que resuelvan el problema. El procedimiento más sencillo descrito en la literatura técnica consiste en la ecualización del histograma de la imagen. Esta técnica es aplicable en forma directa a imágenes en tonos de grises. También se puede utilizar en imágenes en color, si se aplica en el plano de luminancia o intensidad, según el modelo de color elegido.

El método estándar descrito en la literatura puede producir la pérdida de detalles en ciertas situaciones que explicamos más adelante. Proponemos aquí, una variante del método que subsana este inconveniente, y exhibimos una secuencia de imágenes sintéticas para mostrar su eficiencia.

La inserción de este trabajo en el proyecto mencionado, se origina en la necesidad de disponer de técnicas eficientes de realce de imágenes para facilitar su inspección visual y forma parte de una fase preliminar de estudio del procesamiento imágenes, efectuado en el departamento de ingeniería. La consecución del proyecto, orientada al área de la inspección de materiales, incluye scanning superficial, medición, reconstrucción total o parcial de objetos, perfilometría y análisis de superficies.

2 Histograma

El histograma es un diagrama de barras cuyas abscisas representan los niveles de gris de una imagen, y las ordenadas, las frecuencias relativas de los distintos niveles de gris, es decir, la cantidad de puntos asociados a cada nivel de gris, dividido por la cantidad total de puntos de la imagen.

$$P_k = \frac{n_k}{n}$$

n_k = cantidad de pixels de nivel gris k

n = cantidad total de pixels

En la figura 1 se observa un histograma estrecho, de bajo rango dinámico, en concordancia con el poco contraste visual de la imagen correspondiente. El objetivo de la ecualización

del histograma es ampliar el rango dinámico de los niveles de gris, para acentuar el contraste visual de la imagen.

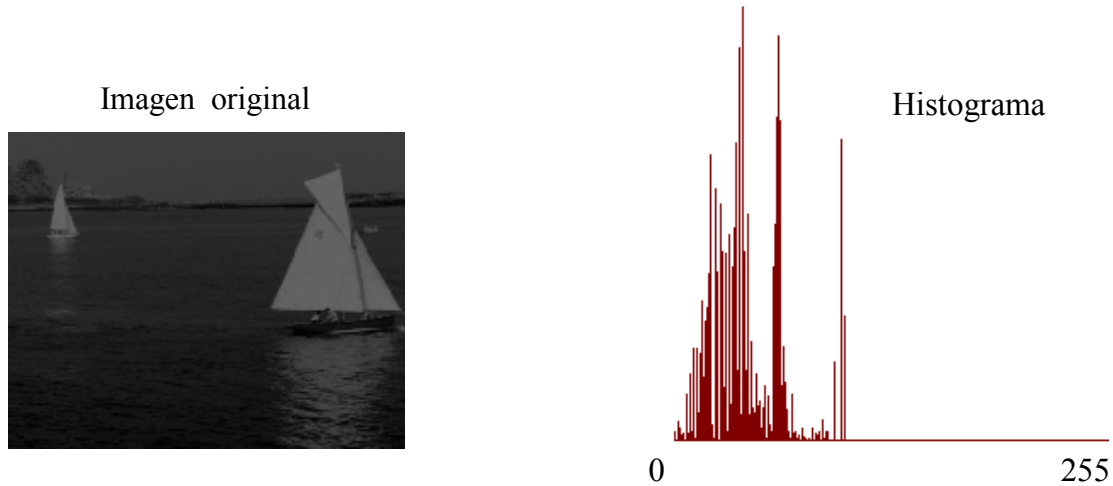


Fig 1

3 Ecuación del histograma

El histograma es un función de dominio discreto, pero su ecualización está inspirada en una operación sobre funciones de dominio continuo, cuyo significado explicamos brevemente. Supongamos que s es una variable aleatoria con valores en el intervalo continuo $[0, 1]$, con función de densidad $f(s)$ y función de distribución $F(s)$. Si queremos definir una nueva variable aleatoria r que sea función de s y que tenga distribución uniforme en $[0, 1]$, se debe cumplir que:

$$r = F(s) = \int_0^s f(t) dt$$

Si el rango de variable s es estrecho, la transformación expande el rango uniformemente sobre el intervalo $[0, 1]$. Si $f(s)$ es la densidad asociada al histograma, supuesto continuo, hemos obtenido una solución para el caso continuo. Para el caso discreto, discretizamos la integral, dividiendo $[0, 1]$ en 256 partes iguales, para obtener una solución correspondiente a una escala de 256 niveles de gris.

Queda entonces:

$$F(k) = \sum_{i=0}^k f\left(\frac{i}{256}\right) \cdot \frac{1}{256}$$

Como

$$P_i = f\left(\frac{i}{256}\right) \cdot \frac{1}{256} \quad \text{con } 0 \leq i \leq 255$$

$$F(k) = \sum_{i=0}^k P_i \quad \text{para } 0 \leq k \leq 255$$

Como en la práctica trabajamos con valores entre 0 y 255 tomaremos

$$F(k) = 255 \sum_{i=0}^k P_i \quad \text{para } 0 \leq k \leq 255$$

La transformación F define una operación puntual que a cada pixel de nivel de gris k , lo transforma en un pixel de nivel de gris $F(k)$, logrando una ampliación del rango dinámico de la imagen dada. Si $F(0)$ es distinto de cero, mediante la utilización de la siguiente aplicación podemos distribuir los niveles de gris en todo el rango dinámico.

$$G(k) = 255 \frac{F(k) - F(0)}{255 - F(0)}$$

La imagen que mostramos a continuación, resulta de aplicar el proceso de ecualización a la imagen de la figura 1. Puede observarse la ampliación del rango dinámico en el histograma, así como el aumento del contraste visual en la imagen.

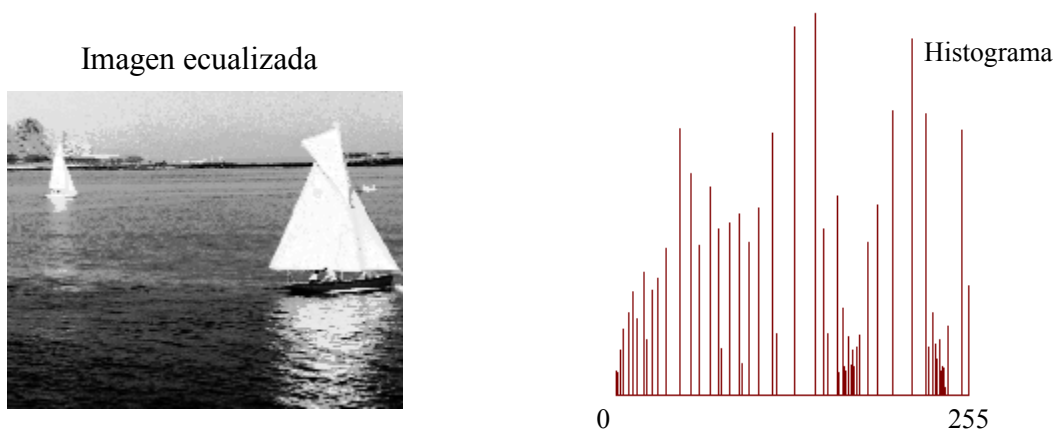


Fig 2

4 Optimización del procedimiento de ecualización

En el proceso descrito anteriormente, que es la técnica estándar mencionada en la bibliografía, podemos perder información de pequeños detalles, si se da la situación de la figura 3:

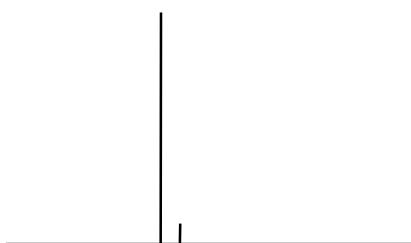


Fig 3

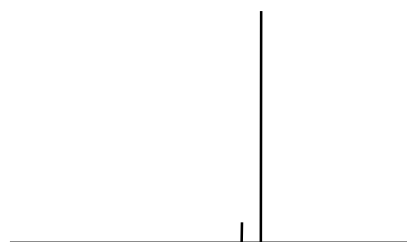
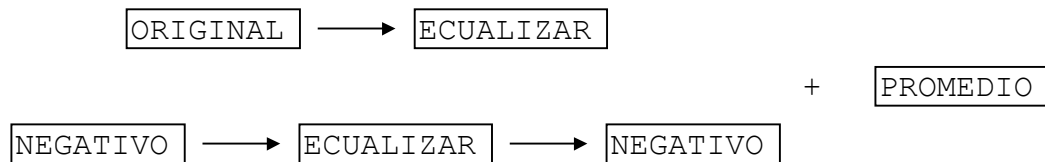


Fig 4

En ella las barras del diagrama representan una porción del histograma de una imagen, en la que un objeto, cuyo nivel de gris corresponde a la barra más pequeña, se halla inmerso en una zona, en la que el nivel de gris, más oscuro, es el de la barra de mayor longitud. La separación de dos niveles de gris consecutivos, luego de la ecualización, depende de la cantidad de pixels asociada al nivel más brillante, según se desprende de las fórmulas dadas antes. En el caso presente, ello provocaría que el objeto fuera prácticamente indistinguible de su fondo en la imagen ecualizada.

Este problema puede evitarse si se ecualiza el negativo de la imagen. El negativo se obtiene reemplazando el nivel gris k por $255-k$ en cada píxel de la imagen. En particular, la porción del histograma de la imagen original mostrada en la figura 3, se convierte en la porción del histograma del negativo mostrado en la figura 4.

En síntesis, tomando el negativo de la imagen, ecualizando y volviendo a aplicar el negativo, el objeto contrastaría claramente con su fondo. Sin embargo, es fácil imaginar una situación en la que resulte más eficiente la ecualización directa de la imagen. Además, ambas situaciones pueden presentarse en la misma imagen, con lo cual los dos métodos fallarían. Una solución, tal como se especifica en el siguiente diagrama, es ecualizar de las dos formas y promediar las imágenes obtenidas.



El promedio de las imágenes se calcula promediando, para cada píxel, los niveles de gris de ambas imágenes.

5 Resultados obtenidos sobre una imagen sintética.

Para ilustrar este proceso hemos generado una imagen sintética, de bajo rango dinámico, que está compuesta por dos zonas de gran cantidad de píxels y 3 pequeños círculos que involucran pocos píxels.

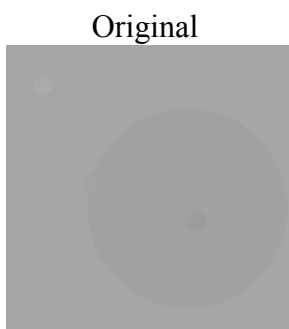


Fig 5

Original ecualizado

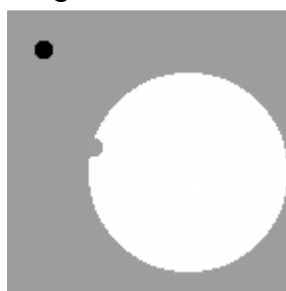


Fig 6

Negativo



Negativo Ecualizado



Negativo (negativo ecualizado)



Fig 7

Promedio

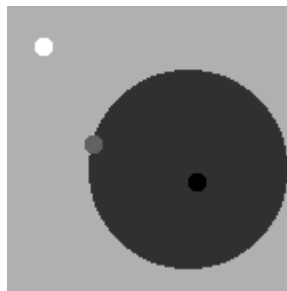


Fig 8

Obsérvese como se distinguen los tres pequeños círculos en la figura 8. Esto no ocurre ni con la ecualización directa (figura 6), ni con la ecualización del negativo (figura 7).

6 Conclusiones

Desde el punto de vista de la complejidad computacional, esta modificación significa un tiempo adicional de procesamiento marginal, ya que las operaciones agregadas al algoritmo estándar se realizan sobre el histograma, que es un vector de 256 componentes.

7 Referencias

- 1- Color Science: concepts and methods, quantitative data and formulas.- Wyszecki y Stiles - Editorial John Wiley.
- 2- Television Engineering Handbook.- Editor: Donald Fink-Editorial Mc-Graw-Hill.
- 3- Digital Image Processing.- González y Woods - Editorial Addison Wesley.
- 4- Fundamentals of Digital Image Processing . - Anil Jain-Editorial Prentice Hall.
- 5- Modern Optics.- Robert Guenther - Editorial John Wiley.
- 6- Practical Image Processing In C.-Craig Lindley- Editorial John Wiley.