

Implementación de algoritmos de ecualización para imágenes industriales

Jonathan Villanueva Tavira¹, Damian Macedo García¹,
Antonio Martínez Santos², Manuela Calixto Rodríguez²,
Marilú Chávez Castillo², Claudia Ayala Vázquez³

¹ Tecnológico Nacional de México,
Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico,
México

² Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos,
México

³ Centro Morelense de Innovación y Transferencia Tecnológica (CemiTT),
México

jonathan.vt@cenidet.tecnm.mx

Resumen. En este artículo se presentan los resultados obtenidos de las imágenes resultantes obtenidas después de la aplicación de diferentes algoritmos de ecualización para imágenes de escala de grises e imágenes a color. La finalidad de estos algoritmos es obtener mejores imágenes para su procesamiento en etapas posteriores en un sistema de visión por computadora. Para la obtención de las imágenes, se implementa cada uno de los algoritmos en el lenguaje de programación MATLAB empleando interfaces GUIDE con la finalidad de proporcionar una vista al usuario para elegir la ecualización que más le convenga al usuario.

Palabras clave: Procesamiento digital de imágenes, visión por computadora.

Implementation of Equalization Algorithms for Industrial Images

Abstract. This article presents the results obtained from the resulting images obtained after applying different equalization algorithms to grayscale and color images. The purpose of these algorithms is to obtain better images for subsequent processing in a computer vision system. To obtain the images, each algorithm is implemented in the MATLAB programming language using GUIDE interfaces to provide a user-friendly interface for choosing the most suitable equalization.

Keywords: Digital image processing, computer vision.

1. Introducción

Las imágenes digitales han sido por años, uno de los elementos más importantes para ser utilizadas en conjunto con alguna técnica de visión por computadora o actualmente

con el aprendizaje profundo. El contar con imágenes de excelentes características, contribuye de manera importante en los procesos donde se utilizan, facilitando así, la etapa de reconocimiento o clasificación en un sistema de visión por computadora. En este artículo, se abordan los diferentes métodos de ecualización del histograma, su implementación, y al final se muestran cada uno de los resultados obtenidos.

El histograma, es una herramienta que permite visualizar la distribución de cada uno de los niveles de gris o color en una imagen y en consecuencia su contenido. Algunas de las técnicas de realzado, se orientan hacia la mejora de la calidad de la imagen. Para ello, estas técnicas procuran eliminar efectos no deseados tales como: sombras y reflejos, a la vez que aumentan el contraste. El histograma de una imagen es la función discreta que representa el número de píxeles en la imagen en función de los niveles de intensidad, g se define como [1, 2]:

$$P(g) = \frac{N(g)}{M}, \quad (1)$$

donde M es el número de píxeles en la imagen y $N(g)$ es el número de píxeles en el nivel de intensidad g . Como con cualquier distribución de probabilidad todos los valores de $P(g)$ son menores o iguales que 1 y la suma de todos los valores de $P(g)$ es 1 [1, 2].

2. Marco teórico

Las siguientes propiedades estadísticas informan sobre la distribución de los niveles de gris en la imagen basándonos en el histograma [1].

Media. En una imagen de escala de grises, es el valor promedio de los niveles de gris de intensidad de la imagen. Finalmente, este dato nos proporciona información sobre el brillo general, está definida por [1]:

$$\bar{g} = \sum_{g=0}^{L-1} gP(g) = \sum_i \sum_j \frac{I(i,j)}{M}. \quad (2)$$

L es el número total de niveles de gris, así para una imagen con valores de gris entre 0 y 255; L sería 256. Una imagen brillante tendrá una media alta y viceversa [1].

Varianza. Mide que tanto varían los valores de los píxeles, respecto a la media de la imagen. Esta característica mide la dispersión de los alrededores de la media. Una varianza alta corresponde a una imagen con contraste alto y al contrario. Está definida por la siguiente expresión [1]:

$$\sigma^2 = \sum_{g=0}^{L-1} (g - \bar{g})^2 P(g). \quad (3)$$

Asimetría. También llamada sesgo de una imagen, es la media en la distribución de los niveles de gris. Un valor absoluto alto indica una gran asimetría [1]:

$$a = \sum_{g=0}^{L-1} (g - \bar{g})^3 P(g). \quad (4)$$

Energía. Es una medida que refleja qué tan uniforme o estructurada es la imagen. Esta nos informa sobre la distribución de los niveles de gris. La energía tiene un valor máximo 1 para una imagen con un único nivel de gris y disminuye a medida que aumenta el número de niveles de grises [1]:

$$E = \sum_{g=0}^{L-1} (P(g))^2. \quad (5)$$

Entropía. Informa sobre la distribución de los niveles de gris, cuanto mayor es el número de niveles de gris en la imagen mayor es la entropía. Esta medida tiende a variar inversamente con la energía [1]:

$$e = \sum_{g=0}^{L-1} P(g) \log_2[P(g)]. \quad (6)$$

Una de las técnicas más utilizadas para la mejora del contraste de la imagen original es la de igualación de histogramas [2]. Se trata de una técnica que realza la imagen original mediante una determinada transformación o modificación del histograma denominada igualación o ecualización. Este procedimiento busca encontrar una función $F(g)$ que realce el contraste general en la imagen original expandiendo la distribución de los niveles de gris. La expansión debe de ser lo más suave posible en el sentido que idealmente debería haber el mismo número de pixeles por niveles de gris. En consecuencia, el objetivo es distribuir los niveles de gris de una manera uniforme a lo largo de todo el rango de valores de niveles de gris. Se puede deducir la función de $F(g)$ mediante la simple inspección del histograma original, pero es deseable una función analítica [1]. Por otra parte, a partir del histograma podemos definir la función de densidad de probabilidad de la siguiente forma [3]:

En el supuesto que la imagen de 256 niveles de gris en el rango 0 a 255, se cumple:

$$\sum_{g=0}^{g=255} N(g) = NxM. \quad (7)$$

La probabilidad por cada nivel de gris g viene dada por:

$$p(g) = \frac{N(g)}{NxM}; g = 0,1, \dots, 255. \quad (8)$$

La función de densidad de probabilidad resulta ser:

Tabla 1. Formas de ecualización del Histograma

Distribuciones	Expresiones
Uniforme	$F(g)=[gmax-gmin]P(g)+gmin$
Exponencial	$F(g) = gmin - \frac{1}{\alpha} \ln[1 - P_g(g)]$
Rayleigh	$F(g) = gmin + \left[2 \alpha^2 \ln \left\{ \frac{1}{1 - P_g(g)} \right\} \right]^{1/2}$
Hipercúbica	$F(g) = ([\sqrt[3]{gmax} - \sqrt[3]{gmin}]P_g(g) + \sqrt[3]{gmin})^3$
Logaritmo Hiperbólica	$(g) = gmin - \frac{1}{\alpha} \ln[1 - P_g(g)]$

$$P_x(x) \cong \sum_{g=0}^x p(g). \quad (9)$$

Se trata de realizar una transformación entre funciones de densidad de probabilidad $Px(x)$ y $Py(x)$, si se impone la condición de que la función de transformación sea monótona creciente, para cada valor de x e y se cumple. A modo de ejemplo, se analiza los tipos de ecualización derivados de [3, 4, 5, 6].

- a) Ecualización uniforme. Se realiza mediante la modificación de los pixeles de la imagen resultante de forma que estos se repartan de forma equitativa en todo el rango de valores establecidos, es decir 0 a 255:

$$F(g)=[gmax-gmin]P(g)+gmin. \quad (10)$$

- b) Ecualización exponencial. Esta se trata de distribuir los pixeles según una función de tipo exponencial, por lo que el valor de α se ajusta con el fin de acumular los niveles de gris con más o menos densidad cerca del origen:

$$F(g) = gmin - \frac{1}{\alpha} \ln[1 - P_g(g)]. \quad (11)$$

- c) Ecualización Rayleigh. Para este tipo de ecualización cuanto mayor sea el valor de α , mayor es el valor de los pixeles más frecuentes en la imagen resultante:

$$F(g) = gmin + \left[2 \alpha^2 \ln \left\{ \frac{1}{1 - P_g(g)} \right\} \right]^{1/2}. \quad (12)$$

- d) Ecualización Hipercúbica. Utiliza un enfoque basado en diferentes factores y características de la imagen en más dimensiones, tratando diferentes regiones de la imagen como entidades independientes en un espacio de muchas dimensiones:

$$F(g) = ([\sqrt[3]{gmax} - \sqrt[3]{gmin}]P_g(g) + \sqrt[3]{gmin})^3. \quad (13)$$

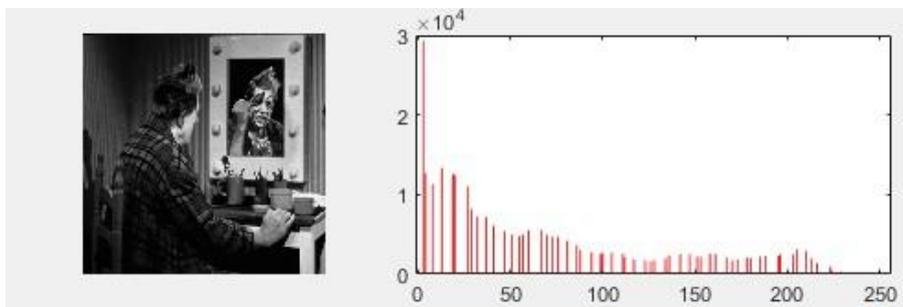


Fig. 1. Interfaz gráfica realizada en MATLAB para imágenes a escala de grises.

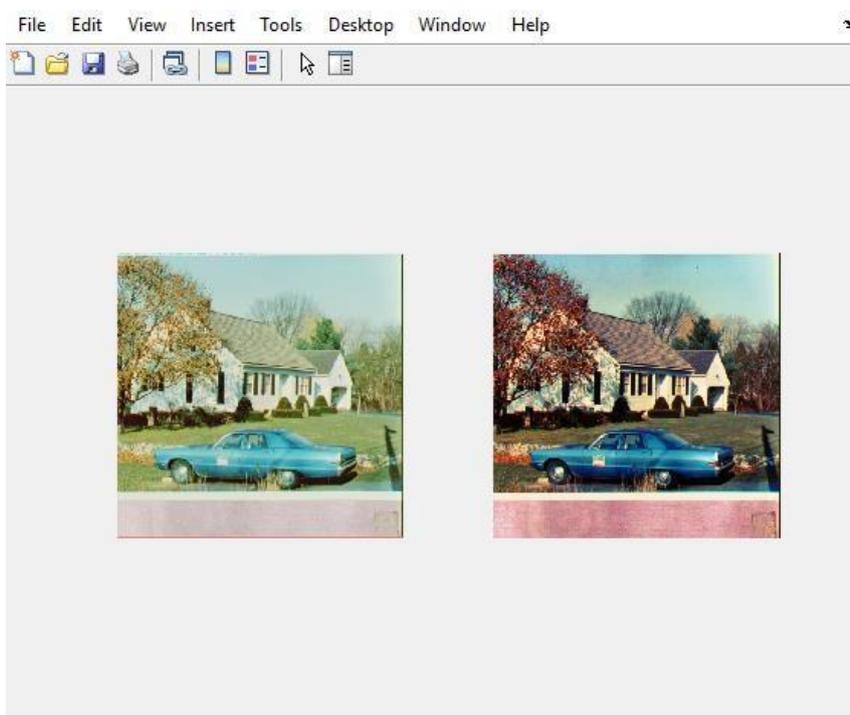


Fig. 2. Interfaz realizada en MATLAB para la ecualización de imágenes a color.

- e) Ecualización Logaritmo Hiperbólica. Es una técnica utilizada para aumentar el contraste de imágenes, especialmente en aquellas que tienen detalles oscuros. El término "hiperbólica" se refiere a una forma específica de la función matemática utilizada en el proceso:

$$F(g) = g \min - \frac{1}{\alpha} \ln[1 - P_g(g)]. \quad (13)$$



Fig. 3. Imágenes resultantes de aplicar cada ecualización. a) Uniforme, b) Exponencial, c) Rayleigh, d) Hipercúbica, e) Logaritmo Hiperbólica.

Finalmente, en la Tabla 1 se enlistan todos los tipos de ecualización anteriormente mencionados.

3. Desarrollo

Para la implementación y ejecución de los experimentos, se utiliza el software MATLAB, aprovechando su capacidad para el procesamiento de imágenes y la

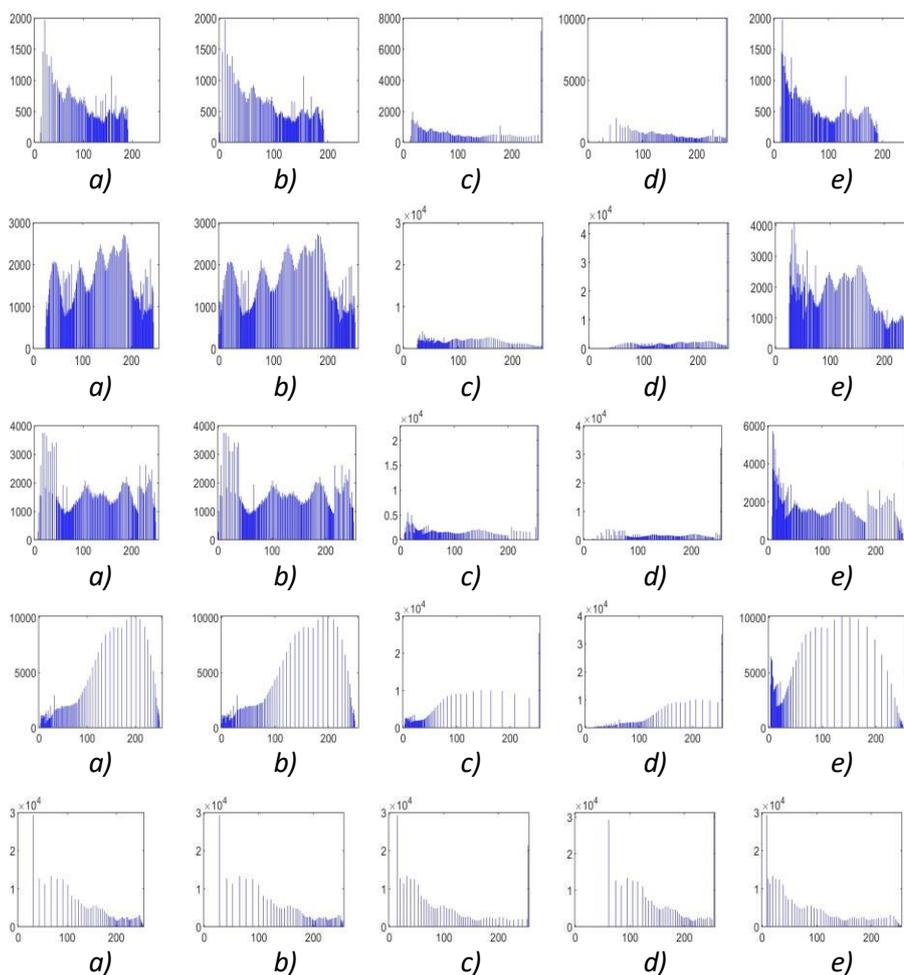


Fig. 4. Histogramas de imágenes resultantes al aplicar cada ecualización. a) Uniforme, b) Exponencial, c) Rayleigh, d) Hiperbólica, e) Logaritmo Hiperbólica.

implementación de los algoritmos de ecualización. Además, se diseña una interfaz gráfica de usuario (GUI) mediante GUIDE (Graphical User Interface Development Environment), lo que permite una interacción más intuitiva con los parámetros de los algoritmos y además facilita la visualización de los resultados obtenidos (ver Figura 1 y 2).

4. Experimentación y resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de los algoritmos de ecualización. Estos permiten visualizar el impacto de las técnicas

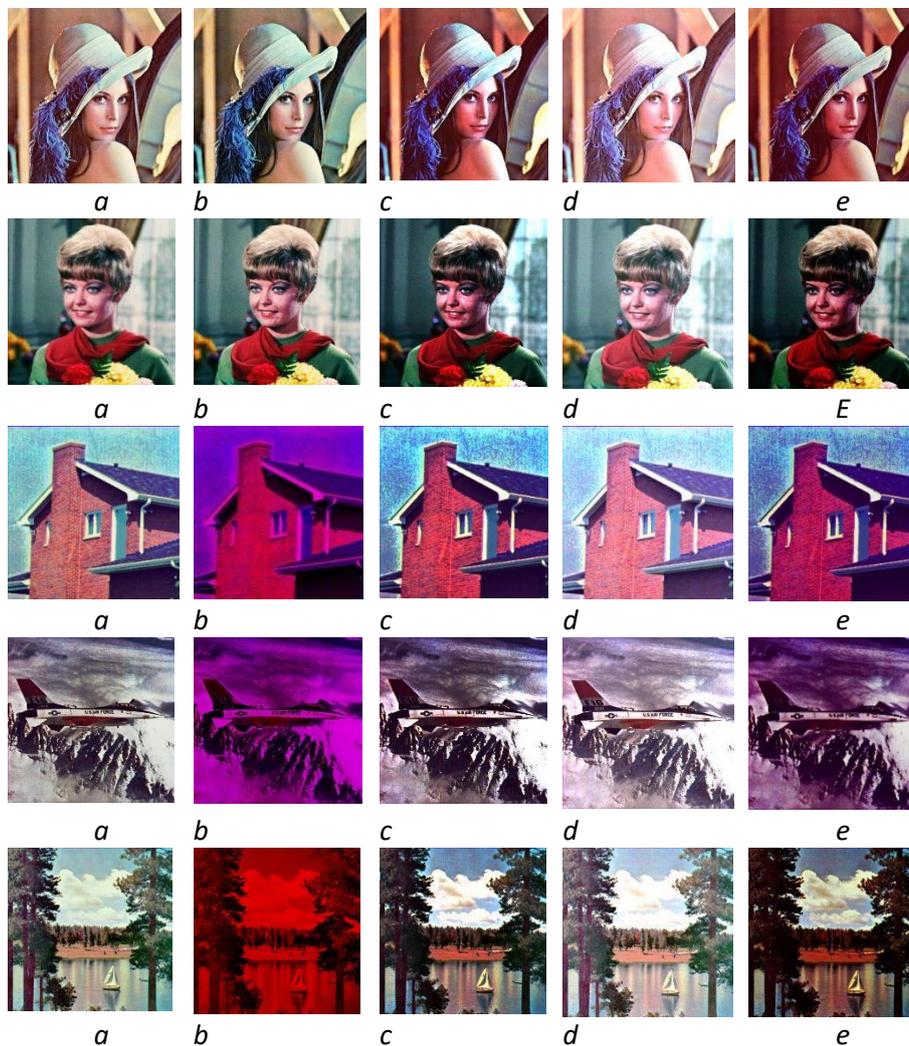


Fig. 5. Imágenes resultantes al aplicar cada tipo de ecualización a imágenes de color. a) Uniforme, b) Exponencial, c) Rayleigh, d) Hiperbólica, e) Logaritmo Hiperbólica.

empleadas en la mejora de la distribución de los valores de intensidad, evidenciando los cambios en la calidad y contraste de las imágenes procesadas (ver Figura 3).

Adicionalmente, en la figura 4 se muestran cada uno de los histogramas obtenidos al aplicar el proceso de ecualización para cada una de las imágenes anteriormente mostradas. La finalidad de desplegar los histogramas radica en analizar de forma gráfica la distribución de los píxeles para cada una de las imágenes resultantes.

A continuación, se presentan las imágenes resultantes tras aplicar los algoritmos de ecualización a las imágenes de color. Se puede observar a simple vista el impacto de las técnicas en cada uno de los canales de color, observando cómo se se modifica la

distribución de los niveles de intensidad y cómo esto influye en la mejora del contraste y la percepción visual de las imágenes procesada (ver Figura 5).

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos tras la aplicación de los algoritmos de ecualización en imágenes de escala de grises y a color demuestran su efectividad en la mejora del contraste y la distribución de los niveles de intensidad. En imágenes en escala de grises, se observa una mejora significativa. En el caso de las imágenes a color, la ecualización aplicada de manera independiente a cada canal de color genera cambios perceptibles en la tonalidad y saturación, lo que puede ser beneficioso en algunas aplicaciones, pero también puede introducir distorsiones no deseadas. Esto resalta la importancia de seleccionar el método de ecualización más adecuado según el tipo de imagen y la aplicación específica.

Finalmente, los resultados obtenidos confirman que la ecualización es una herramienta útil para mejorar la calidad visual de las imágenes, aunque su impacto puede variar dependiendo de las características de la imagen original y del algoritmo utilizado. Como trabajo futuro, se podría explorar el uso de técnicas avanzadas como la ecualización adaptativa.

Referencias

1. Pajares Martinsanz, G., de la Cruz García, J. M.: *Visión por Computador: Imágenes Digitales y Aplicaciones*. Alfaomega-Ra-Ma, México D.F (2002)
2. *Visión Artificial*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, Madrid (1996)
3. Image Contrast Enhancement by Constrained Local Histogram Equalization. *Computer Vision Image Understanding*, 73(2), 281-290 (1999)
4. Pajares Martinsanz, G., de la Cruz García, J. M.: *Ejercicios resueltos de visión por computador*. RA-MA (2007)
5. Gonzalez, R. C., Woods, R. E.: *Tratamiento digital de imágenes*. (1996)
6. Pratt, W.K.: *Digital Image Processing*. John Wiley and Sons, New York (1991)