

Procesamiento de Imágenes en Escala de Grises mediante Evaluación Local por Bloques

Álvaro Anzueto Ríos, Dr.; José Gonzalo Solis Villela,; M. En C.
Rafael Santiago Godoy, Dr.

Academia de Biónica - Laboratorio de
Biomecánica

UPIITA - IPN

aanzueto@ipn.mx

Referencia de este artículo [1].

RESUMEN

Este trabajo presenta un sistema integrado para el procesamiento adaptativo de imágenes en escala de grises que combina análisis local por bloques con la técnica de corrección por gamma. El sistema propuesto evalúa automáticamente el nivel de iluminación que presenta la imagen mediante dos índices: el Índice de Heterogeneidad Global (IHG) y el Porcentaje de Bloques Problemáticos (PBP), los cuales permiten clasificar las imágenes como oscuras, claras o balanceadas. Basándose en esta clasificación, se aplica el método de mejora conocido como transformación gamma adaptativa, que se caracteriza por su simplicidad matemática y eficiencia computacional. La prueba experimental demuestra mejora en contraste (hasta 17.46 %) y aprovechamiento del rango dinámico; por tanto, puede ser empleada en imagenología médica, microscopía y visión artificial.

Palabras clave: Procesamiento de imágenes, análisis por bloques, mejora adaptativa, transformación gamma, normalización de histograma, clasificación de iluminación.

ABSTRACT

This paper presents an integrated system for the adaptive processing of grayscale images that combines local block analysis with gamma correction. The proposed system automatically evaluates the image's illumination level using two indices: the Global Heterogeneity Index (GHI) and the Problematic Block Percentage (PBP), which classify images as dark, light, or balanced. Based on this classification, the enhancement method known as adaptive gamma transformation is applied, characterized by its mathematical simplicity and computational efficiency. Experimental testing demonstrates improved contrast (up to 17.46 %) and enhanced dynamic range utilization; therefore, it can be used in medical imaging, microscopy, and machine vision.

Keywords: Image processing, block-based analysis, adaptive enhancement, gamma transformation, histogram normalization, illumination classification.

MSC 2020: 35R11

Introducción

El procesamiento de imágenes en escala de grises constituye una etapa fundamental en numerosas aplicaciones de visión artificial, imagenología médica y análisis visual en imágenes digitales [1]. Una problemática recurrente es la presencia de imágenes con deficiencias en su nivel de iluminación, ya sea por subexposición, sobreexposición o distribución heterogénea de la intensidad luminosa [2]. Los métodos tradicionales de mejora de imagen, como la ecualización de histograma, analizan de manera global sin considerar las variaciones locales de iluminación [3]. Por otro lado, técnicas avanzadas como CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [4] o Multi-Scale Retinex [5] requieren una mayor complejidad computacional y un ajuste manual de parámetros. Bajo este contexto, se plantea en el trabajo el desarrollo de un sistema capaz de: (1) evaluar el estado de iluminación de una imagen, (2) determinar una estrategia de mejora y (3) aplicar transformaciones basadas en matemáticas simples, lo que permite un bajo costo computacional.

Para las referencias citadas, por favor, utilice [?].

Marco Teórico

En esta sección se presentan los conceptos que sustentan el sistema propuesto. En particular, se revisa la representación de imágenes digitales en escala de grises y su interpretación en términos de intensidad luminosa, ya que estos elementos constituyen la base matemática para evaluar el estado inicial de iluminación y definir transformaciones de mejora de imagen.

Representación de Imágenes en Escala de Grises

Una imagen digital en escala de grises se define como una función bidimensional $I(x, y)$, donde (x, y) representan coordenadas espaciales y el valor de la función en cada punto corresponde a la intensidad luminosa. En representación de 8 bits, $I(x, y) \in [0, 255]$, donde 0 representa negro absoluto y 255 blanco absoluto [1].

Estadísticas Descriptivas de Intensidad

Para una imagen I de tamaño $M \times N$, las estadísticas globales son:

Media global:

$$\mu_g = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x, y) \quad (1)$$

Desviación estándar global:

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [I(x, y) - \mu_g]^2} \quad (2)$$

Entropía de Shannon:

$$H = - \sum_{i=0}^{255} p(i) \log_2 p(i) \quad (3)$$

donde $p(i)$ es la probabilidad normalizada del nivel de intensidad i .

Transformación Gamma

La transformación gamma es una operación no lineal ampliamente utilizada en el procesamiento de imágenes y en la corrección de intensidades de iluminación de los píxeles en una imagen [6]:

$$I_{out}(x, y) = 255 \left(\frac{I_{in}(x, y)}{255} \right)^\gamma \quad (4)$$

El parámetro γ controla el comportamiento de la transformación:

- $\gamma < 1$: Expansión de tonos oscuros (aclara la imagen)
- $\gamma = 1$: Transformación identidad
- $\gamma > 1$: Compresión de tonos oscuros (oscurece la imagen)

Metodología Propuesta

Arquitectura del Sistema

El sistema propuesto consta de dos módulos principales que se conectan de manera secuencial:

1. **Módulo de Análisis:** Evalúa el nivel de iluminación y heterogeneidad mediante análisis por bloques.
2. **Módulo de Mejora:** Selecciona y aplica el método de mejora más apropiado basándose en la clasificación previa.

Análisis Local por Bloques

Partición Espacial

La imagen I de dimensiones $M \times N$ se divide en bloques no solapados B_k de tamaño $b \times b$. Para compatibilidad, las dimensiones se ajustan a:

$$M' = \lfloor M/b \rfloor \cdot b, \quad N' = \lfloor N/b \rfloor \cdot b \quad (5)$$

El número total de bloques es:

$$K = \frac{M'}{b} \times \frac{N'}{b} \quad (6)$$

En la implementación se utiliza $b = 64$ píxeles.

Estadísticas Locales

Para cada bloque B_k con $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, se calculan:

Media local:

$$\mu_k = \frac{1}{b^2} \sum_{(x,y) \in B_k} I(x,y) \quad (7)$$

Desviación estándar local:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{b^2} \sum_{(x,y) \in B_k} [I(x,y) - \mu_k]^2} \quad (8)$$

Entropía local:

$$H_k = - \sum_{i=0}^{255} p_k(i) \log_2 p_k(i) \quad (9)$$

donde $p_k(i)$ es el histograma normalizado del bloque B_k .

Índice de Heterogeneidad Global (IHG)

El IHG cuantifica la variabilidad de la iluminación entre bloques:

$$\text{IHG} = \frac{\sigma(\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_K\})}{127,5} \quad (10)$$

donde $\sigma(\cdot)$ denota la desviación estándar del conjunto de medias locales y 127.5 es el valor medio del rango $[0, 255]$.

Interpretación:

- $\text{IHG} < 0,15$: Iluminación homogénea
- $0,15 \leq \text{IHG} < 0,35$: Heterogeneidad moderada
- $\text{IHG} \geq 0,35$: Alta heterogeneidad

Clasificación de Bloques

Cada bloque se clasifica según su media local μ_k :

$$\text{Clase}(B_k) = \begin{cases} \text{Subexpuesto} & \text{si } \mu_k < T_{dark} \\ \text{Balanceado} & \text{si } T_{dark} \leq \mu_k \leq T_{bright} \\ \text{Sobrexpuesto} & \text{si } \mu_k > T_{bright} \end{cases} \quad (11)$$

Los umbrales empleados son $T_{dark} = 60$ y $T_{bright} = 195$.

Porcentaje de Bloques Problemáticos (PBP)

El PBP mide la proporción de bloques con iluminación inadecuada:

$$\text{PBP} = \frac{N_{dark} + N_{bright}}{K} \times 100 \% \quad (12)$$

donde N_{dark} y N_{bright} son el número de bloques subexpuestos y sobreexpuestos, respectivamente.

Interpretación:

- $\text{PBP} < 20 \%$: Pocos bloques problemáticos
- $20 \% \leq \text{PBP} < 50 \%$: Cantidad moderada
- $\text{PBP} \geq 50 \%$: Muchos bloques problemáticos

Clasificación Global de Iluminación

La imagen completa se clasifica según su media global μ_g :

$$\text{Clase}(I) = \begin{cases} \text{OSCURA} & \text{si } \mu_g < 85 \\ \text{BALANCEADA} & \text{si } 85 \leq \mu_g \leq 170 \\ \text{CLARA} & \text{si } \mu_g > 170 \end{cases} \quad (13)$$

Métodos de Mejora Gamma Adaptativa

El parámetro γ se selecciona automáticamente según la clasificación de iluminación:

Para imágenes OSCURAS:

$$\gamma = \begin{cases} 0,4 & \text{si } \mu_g < 60 \text{ (muy oscura)} \\ 0,5 & \text{si } 60 \leq \mu_g < 85 \text{ (oscura mod.)} \end{cases} \quad (14)$$

Para imágenes CLARAS:

$$\gamma = \begin{cases} 1,6 & \text{si } \mu_g > 195 \text{ (muy clara)} \\ 1,4 & \text{si } 170 < \mu_g \leq 195 \text{ (clara mod.)} \end{cases} \quad (15)$$

Para imágenes BALANCEADAS:

$$\gamma = 1,0 \quad (\text{sin corrección}) \quad (16)$$

Una vez que se ha determinado γ , se aplica la Ec. (4).

Métricas de Evaluación

Se emplean las siguientes métricas para evaluar la calidad de la mejora:

Mejora del contraste:

$$\Delta C = \frac{\sigma_{out} - \sigma_{in}}{\sigma_{in}} \times 100 \% \quad (17)$$

Mejora de la entropía:

$$\Delta H = \frac{H_{out} - H_{in}}{H_{in}} \times 100 \% \quad (18)$$

Expansión del rango dinámico:

$$R = \text{máx}(I_{out}) - \text{mín}(I_{out}) \quad (19)$$

Validación Experimental

Configuración Experimental

La validación se realizó con la imagen estándar camera de scikit-image (512×512 píxeles, 8 bits). Los parámetros fueron:

- Tamaño de bloque: $b = 64$ píxeles
- Umbrales: $T_{dark} = 60$, $T_{bright} = 195$
- Percentil base: 0.02 %

Análisis de la Imagen de Prueba

La Tabla 1 muestra que la imagen se clasifica como BALANCEADA ($\mu_g = 129,06$), pero presenta alta heterogeneidad espacial (IHG = 0.5017) con 46.88 % de bloques problemáticos. Esto indica iluminación no uniforme, con zonas oscuras (21.9 %) y claras (25.0 %) significativas. La Tabla 2 muestra las métricas y los valores obtenidos del método de Gamma Adaptativa considerando que la imagen procesada es BALANCEADA, se asigna $\gamma = 1,0$ (sin cambio).

Análisis Visual

Las Figuras 1 muestran los resultados del sistema completo. Iniciando de izquierda a derecha, se presenta primero la imagen original, luego el mapa de medias locales, continuando con el mapa de desviaciones y culminando con el mapa de entropías. Como se ha mencionado, cada bloque es de tamaño 64×64 .

Cuadro 1: Resultados del Análisis de Iluminación

Métrica	Valor
Media global (μ_g)	49.11
Desviación estándar (σ_g)	21.40
Clasificación	OSCURA
IHG	0.1190
Interpretación IHG	Iluminación Homogenea
PBP	77.14 %
Bloques oscuros	27 (77.1 %)
Bloques balanceados	8 (22.9 %)
Bloques claros	0 (0.0 %)
Método seleccionado	GAMMA

Cuadro 2: Métodos de Mejora γ

Métrica	Gamma
γ / Shift	1.0
Media resultante	108.66
Desviación estándar	73.64
ΔC (%)	15.64
Entropía (bits)	7.23
ΔH (%)	3.52
Rango dinámico	255

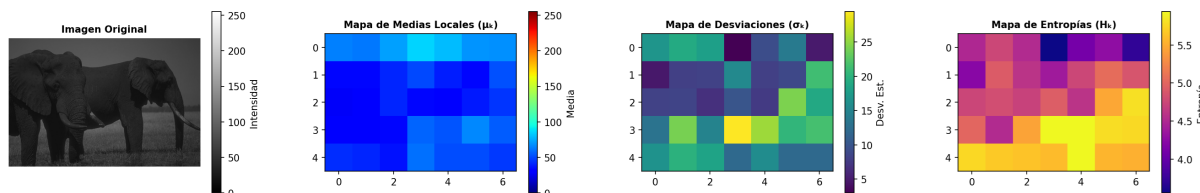


Figura 1: Mapas de análisis por bloques: (a) Imagen original, (b) Medias locales, (c) Mapa de desviaciones, (d) Mapa de entropías.

Con los datos extraídos y presentados en los mapas anteriores, es posible evaluar y visualizar los mapas finales de clasificación y ponderación (véase la Figura 2) estos indican el tipo de iluminación (clara, oscura o balanceada) y la elección del valor de γ adaptativo que le corresponde.

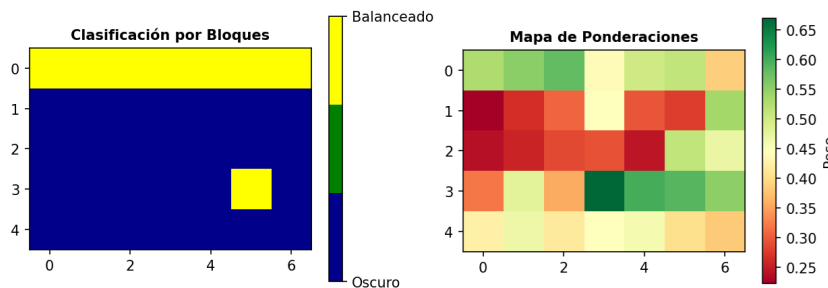


Figura 2: Mapas de análisis final: (a) mapa de clasificación por bloques, (b) mapa de ponderación final.

Finalmente, en la Fig. 3 se presenta el resultado tras aplicar el valor que corresponde a γ , junto con los dos histogramas: el inicial y el obtenido tras la mejora. Dado que el dictamen corresponde a una imagen oscura, el realce de contraste y el desplazamiento del histograma son evidentes podemos ver

la representación del valor de la media en cada gráfico representado por la línea de segmentos; sin embargo, el histograma mantiene la distribución compacta.

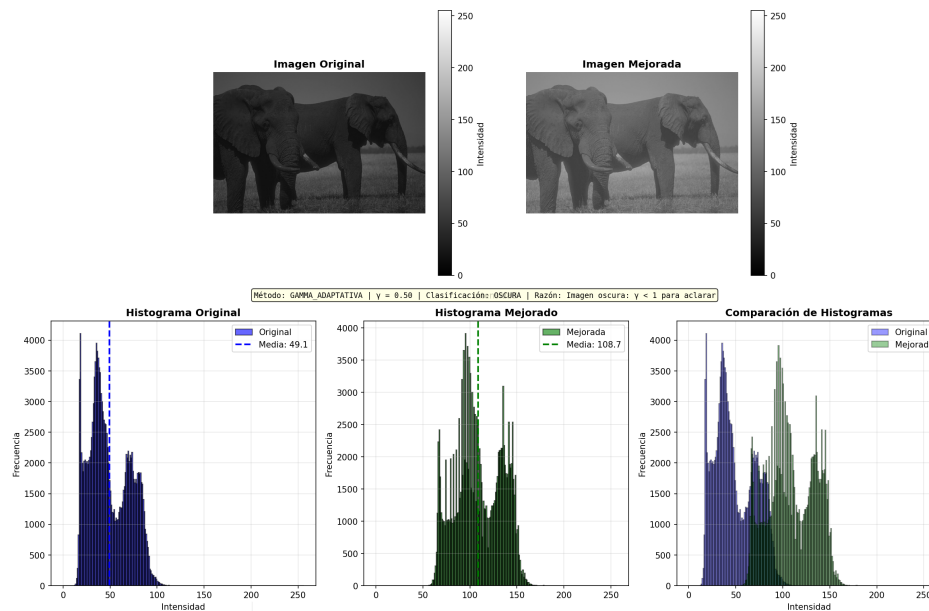


Figura 3: Resultado de la mejora por corrección γ : (Parte superior) imagen original y mejorada, (parte inferior) histograma inicial, histograma final, comparación de histogramas.

Discusión

El sistema propuesto presenta ventajas relevantes tanto en términos de análisis como de implementación. Primero, la medición de los índices IHG y PBP ayuda de forma objetiva a elegir el tipo de iluminación de la imagen que se va a procesar, disminuyendo la dependencia de opiniones personales. Con base en estos indicadores, la selección adaptativa se realiza de forma automatizada, lo que permite definir una estrategia evitando la intervención del usuario. En cuanto al realce, el método se centra en la corrección gamma adaptable, una transformación de baja complejidad que mantiene un costo computacional bajo debido a su matemática simple y favorece un bajo consumo de recursos computacionales. Finalmente, al estimar automáticamente los parámetros a partir del análisis previo, el sistema evita configuraciones complejas y reduce la necesidad de ajuste manual.

Conclusiones

Se ha presentado un sistema integrado para el análisis y mejora adaptativa de imágenes en escala de grises que combina la eficiencia computacional con la efectividad en diversos escenarios de iluminación. Como conclusiones del trabajo presentado, se tienen:

1. Los índices IHG y PBP proporcionan una caracterización cuantitativa del nivel de iluminación y la heterogeneidad espacial, permitiendo una clasificación automática compatible con el tipo de imagen inicial.
2. El método de transformación por gamma adaptable fue aplicado a una imagen con iluminación homogénea pero oscura, ofreciendo una corrección rápida con preservación de la naturalidad de los niveles de intensidad.
3. El sistema de selección automática basado en IHG y PBP garantiza la aplicación del método más apropiado sin intervención manual.
4. La simplicidad matemática de ambos métodos permite la implementación directa para construir sistemas simples y eficientes en la mejora de imágenes.

Referencias

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2018.
- [2] S. M. Pizer, E. P. Amburn, J. D. Austin, R. Cromartie, A. Geselowitz, T. Greer, B. ter Haar Romeny, J. B. Zimmerman, and K. Zuiderveld, "Adaptive histogram equalization and its variations," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 39, no. 3, pp. 355–368, 1987.
- [3] J. A. Stark, "Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9, no. 5, pp. 889–896, May 2000.
- [4] K. Zuiderveld, "Contrast limited adaptive histogram equalization," in *Graphics Gems IV*, P. S. Heckbert, Ed. San Diego, CA: Academic Press Professional, 1994, pp. 474–485.
- [5] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 7, pp. 965–976, Jul. 1997.
- [6] C. Poynton, *Digital Video and HDTV: Algorithms and Interfaces*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2003.

Referencias

- [1] Anzueto, A., Solis, J. y Santiago R. (marzo - abril, 2026). *Procesamiento de Imágenes en Escala de Grises mediante Evaluación Local por Bloques* Boletín UPIITA. año 20, (113) 2026. <https://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php/ciencia/1105-cyt-numero-113/2481-procesamiento-de-imagenes-en-escala-de-grises-mediante-evaluacion-local-por-bloques>