

OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO BASADA EN LA SINTONIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CLAHE PARA OBTENER DISTINTOS NIVELES DE CONTRASTE EN RADIOGRAFIA DEL TORAX

Luis G. Moré, Marcos A. Brizuela, José Luis Vázquez Noguera, Diego Pinto-Roa, Horacio Legal Ayala

Facultad Politécnica - Universidad Nacional de Asunción

ABSTRACT

La mejora del contraste en imágenes médicas presenta desafíos importantes, debido a que se necesita realzar los detalles y también preservarlos, de forma a que la mejora sea de ayuda para análisis posteriores. Se propone un enfoque de mejora multiobjetivo basada en CLAHE, utilizando SMP SO como metaheurística, además de la Entropía y el SSIM como objetivos, de manera a maximizar el contraste y minimizar la distorsión de los resultados. Se obtienen distintos niveles de contraste en imágenes de radiografía del tórax, y así se resaltan distintos detalles de éstas. Los resultados obtenidos se analizan con ayuda de un especialista de manera a determinar la utilidad del enfoque, además se verifica que los objetivos son contradictorios.

Index Terms— SMP SO, CLAHE, Entropía, SSIM, Mejora del Contraste, Optimización.

1. INTRODUCCIÓN

En las imágenes médicas que se utilizan con propósitos de diagnóstico, es relevante realzar los detalles que presentan bajo contraste, aunque es también necesario preservar las características de éstos, teniendo en cuenta que son necesarios para el análisis. Las radiografías presentan características particulares de contraste: en el caso de las radiografías de tórax y las mamografías, el contraste puede ser bajo en ciertas regiones debido a las características de atenuación de los Rayos X [1]. Es muy relevante mejorar las características de contraste de las imágenes médicas de manera a que puedan acentuar las características presentes que el especialista necesita analizar.

Se pueden encontrar distintas técnicas de mejora del contraste, las cuales son en su mayoría transformaciones basadas en la Ecuación del Histograma [2, 3]. En su forma clásica, la Ecuación del Histograma se puede considerar como una transformación de enfoque global, debido a que la información de todos los píxeles que conforman la imagen se tienen en cuenta en el proceso de ecualización [4]. Sin embargo, este enfoque no es aplicable para imágenes con características de contraste heterogéneas [3]. Realizar la mejora del contraste teniendo en cuenta sectores de la imagen es más importante cuando se tienen detalles muy finos, por tanto se tuvo en

cuenta un algoritmo de mejora local, el cual posee parámetros que necesitan de ajuste de manera a aumentar la utilidad de los resultados. Además es necesario considerar métricas que permitan evaluar los resultados en términos de realce y de calidad de detalles, por lo que es necesario considerar la mejora del contraste como un problema de optimización.

Se generan imágenes con distintas relaciones entre contraste y distorsión, de manera a resaltar características distintas de las imágenes de prueba, lo cual resulta de utilidad para el análisis realizado por el especialista. El frente pareto generado ayuda a ver que los objetivos son contradictorios entre sí.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera:
AGREGAR LA ORGANIZACION DEL TRABAJO

2. ESTADO DEL ARTE

3. CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION

El comportamiento natural en el ojo humano es el de evaluar la información que se muestra en una imagen, basándose en los componentes locales presentes. Por tanto es relevante realizar la mejora del contraste en base a los componentes locales de la imagen. En el Adaptive Histogram Equalization (AHE), éste método se implementa utilizando secciones rectangulares de la imagen denominadas *Regiones Contextuales*, cuyas dimensiones podemos definir como $(\mathcal{R}_x, \mathcal{R}_y)$. Luego se realiza la Ecuación del Histograma utilizando los píxeles que se encuentran dentro de la región contextual. Además se utiliza un esquema de interpolación bilineal, de manera a corregir inconsistencias en las fronteras entre regiones. Una de las características de AHE es que es capaz de aumentar la información contenida dentro de la imagen, a través de la mejora del contraste [5].

AHE es un algoritmo que presenta problemas de amplificación del ruido, el cual es más visible en regiones en donde se encuentran niveles de gris relativamente homogéneos. Ésta limitación puede solucionarse si se utiliza un esquema de limitación de contraste dentro de las regiones contextuales. Por tanto, en CLAHE se implementa una limitación en el contraste a través de la limitación de la cantidad de píxeles que pue-

den alcanzar cierto nivel de gris dentro del histograma local, por lo que se corrige el problema de los picos en el histograma asociados a las regiones con niveles de gris homogéneos. Los pixeles que superan cierto umbral se recortan para eliminar picos, y se redistribuyen de forma equitativa a través del histograma ecualizado de la región contextual. Entonces podemos definir el *Clip Limit* \mathcal{C} como un factor que está fuertemente relacionado con los contenidos del histograma. Si definimos un coeficiente \mathcal{C} relativamente bajo, entonces los histogramas de las regiones contextuales no muestran picos, por lo que se obtiene una mejora del contraste relativamente suave. Si definimos un \mathcal{C} alto, obtenemos un comportamiento de *CLAHE* que resulta ser equivalente al algoritmo *AHE*.

A continuación se muestran las métricas de evaluación utilizadas como objetivo para evaluar la calidad de las soluciones encontradas utilizando la metodología propuesta.

4. MÉTRICAS DE EVALUACIÓN

4.1. entropía

La *Entropía de la Información* es un coeficiente que arroja una medida de la aleatoriedad que se presenta en la señal que acarrea una imagen [6]. Si medimos la entropía que arrojan 2 imágenes cualitativamente similares, podemos evaluar si existe una mejora en la cantidad de información que provee la imagen con el contraste mejorado. En las imágenes en escala de gris, la *Entropía* se define como un coeficiente que mostrará cuántos niveles de gris de los que se encuentran disponibles para representar la imagen se usan de manera efectiva [7].

De manera previa a la formulación de la *Entropía de la Información* en el contexto de las imágenes en escala de gris, necesitamos definir el histograma de una imagen, como se muestra en (1):

$$\mathcal{H} = \{h_i \in [0..N] \mid i = 0, 1, \dots, L-1\} \quad (1)$$

Donde h_i es el conteo de corrences del i -ésimo nivel de gris que compone la imagen; N es el número total de pixeles de la imagen (nótese que $N = \sum_{i=0}^{L-1} h_i$); L es el nivel de gris más alto utilizado para representar los niveles de gris en la imagen. En una escala de 8 bits, el nivel máximo representable es $2^8 = 256$ niveles posibles. Así, la distribución normal de niveles de gris del histograma se define como:

$$\mathcal{P}_i = \frac{h_i}{N} \quad (2)$$

finalmente, podemos formular la entropía de la imagen dada como (3):

$$\mathcal{H} = - \sum_{i=0}^{L-1} \mathcal{P}_i \log_2(\mathcal{P}_i) [\text{bits}] \quad (3)$$

Es importante realizar la medición de la Entropía de la imagen, porque está directamente relacionada con la homogeneidad en el brillo medio [8].

Esta métrica por sí sola no es suficiente para evaluar la calidad de las soluciones encontradas, debido a que no mide la distorsión producida por la mejora en el contraste de la imagen. Por tanto, es necesario adoptar otra métrica, la cual se muestra en la sección siguiente.

4.2. índice de similitud estructural

El Índice de Similitud Estructural (SSIM) es un coeficiente con el cual se puede realizar la evaluación de cambios introducidos en la información estructural, por lo que da una medida adecuada de la distorsión producida en la imagen a consecuencia de la Mejora del Contraste. SSIM se basa en la noción de que existe una dependencia fuerte entre pixeles que conforman una vecindad [9]. Los métodos tradicionales de evaluación de la distorsión como Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), el Error Cuadrático Medio (MSE) y sus derivados, son inconsistentes con la percepción de la visión humana []

5. FORMULACIÓN

Dadas la imagen de entrada I y el algoritmo *CLAHE*, se desea calcular el conjunto de soluciones \mathcal{X} que maximice de manera simultánea los objetivos \mathcal{H} y \mathcal{C} , como se muestra abajo:

$$f(\vec{x}) = \{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x})\} \quad (4)$$

donde:

- $\vec{x} = (\mathcal{R}_x, \mathcal{R}_y, \mathcal{C})$, donde \mathcal{R}_x y \mathcal{R}_y conforman la región contextual y \mathcal{C} es el Clip Limit.
- $f_1(\vec{x}) = \frac{\mathcal{H}(T)}{\log_2 L}$ es la Entropía normalizada de la imagen T , siendo T la imagen mejorada por *CLAHE* con los parámetros dados por \vec{x} , y L la cantidad de grises disponibles.
- $f_2(\vec{x}) = SSIM(I, T)$ es el Índice de Similitud Estructural.

sujeto a:

- $\mathcal{R}_x \in [2, \dots, M]$ en los números \mathbb{N} .
- $\mathcal{R}_y \in [2, \dots, N]$ en los números \mathbb{N} .
- $\mathcal{C} \in (0, 1]$ en los números \mathbb{R} .

Esto significa que los valores de \mathcal{R} solamente pueden tomar valores enteros positivos entre $(2, 2)$ y (M, N) y que \mathcal{C} puede tomar un valor mayor a cero y menor o igual a 1.

6. OPTIMIZACIÓN DE ENJAMBRE DE PARTÍCULAS MULTIOBJETIVO

7. PROPUESTA

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Subheadings

9. CONCLUSIONES

10. COPYRIGHT FORMS

You must include your fully completed, signed IEEE copyright release form when you submit your paper. We **must** have this form before your paper can be published in the proceedings.

11. REFERENCES

List and number all bibliographical references at the end of the paper. The references can be numbered in alphabetic order or in order of appearance in the document. When referring to them in the text, type the corresponding reference number in square brackets as shown at the end of this sentence [10]. An additional final page (the fifth page, in most cases) is allowed, but must contain only references to the prior literature.

12. REFERENCES

- [1] Dah-Chung Chang and Wen-Rong Wu, "Image contrast enhancement based on a histogram transformation of local standard deviation," *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, vol. 17, no. 4, pp. 518–531, 1998.
- [2] J.C. Russ, *The Image Processing Handbook, Fifth Edition*, CRC Press, 2010.
- [3] J.A. Stark, "Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 9, no. 5, pp. 889–896, May 2000.
- [4] Zeyun Yu and C. Bajaj, "A fast and adaptive method for image contrast enhancement," in *Image Processing, 2004. ICIP '04. 2004 International Conference on*, Oct 2004, vol. 2, pp. 1001–1004 Vol.2.
- [5] John B Zimmerman, Stephen M Pizer, Edward V Staab, J Randolph Perry, William McCartney, and Bradley C Brenton, "An evaluation of the effectiveness of adaptive histogram equalization for contrast enhancement," *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, vol. 7, no. 4, pp. 304–312, 1988.
- [6] Du-Yih Tsai, Yongbum Lee, and Eri Matsuyama, "Information entropy measure for evaluation of image quality," *Journal of digital imaging*, vol. 21, no. 3, pp. 338–347, 2008.
- [7] Ngai Ming Kwok, Quang Phuc Ha, DK Liu, and Gu Fang, "Intensity-preserving contrast enhancement for gray-level images using multi-objective particle swarm optimization," in *Automation Science and Engineering, 2006. CASE'06. IEEE International Conference on*. IEEE, 2006, pp. 21–26.
- [8] A. Khellaf, A. Beghdadi, and H. Dupoisot, "Entropic contrast enhancement," *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, vol. 10, no. 4, pp. 589–592, Dec 1991.
- [9] NM Kwok, D Wang, QP Ha, G Fang, and SY Chen, "Locally-equalized image contrast enhancement using pso-tuned sectorized equalization," in *Computational Intelligence in Image Processing*, pp. 21–36. Springer, 2013.
- [10] C.D. Jones, A.B. Smith, and E.F. Roberts, "Article title," in *Proceedings Title*. IEEE, 2003, vol. II, pp. 803–806.