



Mejora de Contraste de Imágenes de Grietas de Concreto Utilizando Morfología Matemática

Julio César Mello Román^a

^aUniversidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica, Paraguay
juliomello@pol.una.py

Resumen

La mejora de contraste es una técnica de pre-procesamiento comúnmente utilizado para acondicionar las imágenes antes de aplicar otros procesos más complejos como la segmentación, fusión o análisis de imágenes. Las imágenes de grietas de concreto pueden ser de gran ayuda en la detección de deformaciones en estructuras de concreto. Pero a veces dependiendo del dispositivo de adquisición o iluminaciones del medio, puede ocasionar que las imágenes capturadas tengan problemas como bajo contraste, pobres detalles o presenten ruidos. La minimización de estos problemas puede lograrse aplicando técnicas de mejora de la imagen, que puede realzar la calidad de la imagen siempre que estos no puedan volver a capturarse. En el presente artículo se propone un enfoque de mejora de contraste de imágenes de grietas de concreto utilizando operaciones de la morfología matemática. Las operaciones morfológicas utilizadas son el Open-Close Close-Open (OCCO), que es utilizado para reducir ruidos presentes en las imágenes, y las transformaciones de Top-Hat que son utilizadas de manera estratégica para realzar el contraste en las imágenes. Para validar el esquema se utilizó 200 imágenes de grietas de concreto de una base de datos pública. La propuesta se mostró competitivo para las métricas PSNR y SSIM con respecto a los algoritmos.

Palabras Clave: Mejora de Contraste, Imágenes de Grietas de Concreto, Morfología Matemática, OCCO, Top-Hat.

1. Introducción

El concreto es un material muy utilizado en la fabricación de edificios, puentes y presas. Este material es muy valorado en el mundo de la construcción no solo por ser económico, sino también por su maleabilidad. Al ser maleable le permite adaptarse a diferentes tipos de construcciones civiles. Además, tiene otras propiedades como la resistencia a altas y bajas temperaturas. El concreto, al igual que otros materiales, se contrae y expande por los cambios de humedad y temperatura, ocasionando deformaciones en las estructuras.

Las imágenes de concreto pueden ayudar a detectar las deformaciones en las estructuras. Pero a veces dependiendo del dispositivo de adquisición o iluminaciones del medio, hace que estas imágenes capturadas tengan bajo contraste o presenten ruidos. Estos problemas pueden causar una mala detección de las grietas. Pero pueden ser minimizados si se utilizan técnicas de mejora de contraste y reducción de ruido. Al realzar la calidad visual de la imagen, este puede ser de gran utilidad a otros algoritmos de visión por computador (Liu and Yang (2017); Liu et al. (2017)).

La morfología matemática esta compuesta por diferentes técnicas para realizar análisis de imágenes (Soille (2004b)). Por ejemplo, esta compuesta por técnicas que realizan: mejora de

contraste de imágenes visibles (Mukhopadhyay and Chanda (2000); Roman, Noguera, Legal-Ayala, More and Pinto-Roa (2019)), imágenes infrarrojas (Bai et al. (2012); Román, Noguera, Legal-Ayala, Pinto-Roa, Gomez-Guerrero and Torres (2019)), imágenes médicas (Kushol et al. (2017)), imágenes a color (Mendez et al. (2019)), imágenes de minerales Bai and Zhang (2014); reducción de ruido (Aptoula and Lefèvre (2007)); segmentación y clasificación de imágenes de galaxias (Aptoula et al. (2006)); fusión de imágenes visibles e infrarrojas (Bai and Guo (2018); Saravia et al. (2019)); reconocimiento de iris (Umer et al. (2015)); etc. Sin embargo, a pesar de su diversidad de operadores y áreas de aplicación, el uso del marco morfológico en el dominio de la imagen de grieta de concreto es relativamente limitado.

En este trabajo presentamos un esquema de mejora de contraste de imágenes con grietas de concreto con reducción de ruido y como caso de estudio tomamos las imágenes de grietas de concreto. La técnica está basada en operaciones de la morfología matemática. La operación morfológica que permite reducir el ruido en imágenes se denomina Open-Close Close-Open (OCCO) (Aptoula and Lefèvre (2007)); aunque reduce el ruido en imágenes afecta los bordes de los objetos. La operación que permite realzar el contraste en imágenes es la técnica de mejora de contraste basada en la transformada de Top-Hat (Soille

(2004c)); aunque realza el contraste de las imágenes, también realza los ruidos que pueden estar presentes en ellas. Primero se utiliza la operación Open-Close Close-Open (OCCO) para eliminar el ruido en la imagen de grieta de concreto. Segundo se le aplica la mejora de contraste, basado en la transformada de Top-Hat, en múltiples escalas. Finalmente, la imagen mejorada se obtiene calculando el máximo de las múltiples imágenes con mejora de contraste extraídas en el segundo paso. Para las pruebas se utilizaron 200 imágenes de grietas de concreto. Los resultados fueron evaluados con métricas que miden los detalles, el ruido introducido y la similitud entre imágenes originales y procesadas. Combinando OCCO con Top-Hat de manera estratégica se logra mejorar el contraste de las imágenes de concreto y reducir la distorsión de la imagen que es realizada al mejorar la imagen de grietas de concreto.

El artículo está organizado como sigue: Sección 1 presenta los conceptos básicos y el algoritmo propuesto para la mejora de las imágenes de concreto con grietas. Sección 2 presenta los experimentos y las discusiones de los resultados obtenidos y la Sección 3 presenta la conclusión y trabajo futuro. sectionMateriales y Métodos

1.1. Top-Hat

Para poder definir la transformada de Top-Hat primeramente necesitamos definir las operaciones morfológicas de dilatación, erosión, apertura y cierre.

Dilatación y Erosión Soille (2004a). Estas son operaciones básicas de la morfología matemática. Se definen como:

$$\delta_B(I)(u, v) = \max_{(x,y) \in B} (I(u-x, v-y) + B(x, y)), \quad (1)$$

$$\varepsilon_B(I)(u, v) = \min_{(x,y) \in B} (I(u+x, v+y) - B(x, y)), \quad (2)$$

donde

- I : imagen original,
- (u, v) : coordenadas espaciales de I ,
- B : elemento estructurante plano,
- (x, y) : coordenadas espaciales de H .

Apertura morfológica. En Soille (2004c) la apertura morfológica se realiza primeramente erosionando la imagen y luego dilatando, siempre utilizando el mismo elemento estructurante. Esta se define como:

$$\gamma(I, B) = \delta_{\check{B}}(\varepsilon_B(I)), \quad (3)$$

donde \check{B} es el reflejo de B .

Cierre morfológico. En Soille (2004c) el cierre morfológico se realiza primeramente dilatando la imagen y luego erosionando, siempre utilizando el mismo elemento estructurante. Este se define como:

$$\phi(I, B) = \varepsilon_{\check{B}}(\delta_B(I)). \quad (4)$$

Cabe resaltar que este trabajo se utiliza un elemento estructurante simétrico de forma disco. Un elemento estructurante se considera simétrico si este es igual a su reflejo, o sea $B = \check{B}$.

Top-Hat por apertura (WTH). En Soille (2004c) con esta operación se obtiene las regiones brillantes perdidas al procesar la imagen mediante una apertura morfológica. Esta se define como:

$$WTH(I, B) = I - \gamma(I, B). \quad (5)$$

Top-Hat por cierre (BTH). En Soille (2004c) con esta operación se obtiene las regiones oscuras perdidas al procesar la imagen mediante el cierre morfológico. Esta se define como:

$$BTH(I, B) = \phi(I, B) - I. \quad (6)$$

1.2. Mejora de contraste basado en TH

La mejora de contraste basado en la transformada de Top-Hat consiste en sumar a la imagen original las regiones brillantes obtenidas por WTH y sustraer las regiones oscuras obtenidas por BTH. La mejora de imagen se define como:

$$I_E(I, B) = I + WTH(I, B) - BTH(I, B). \quad (7)$$

1.3. Open-Close Close-Open (OCCO)

En Aptoula and Lefèvre (2007) el filtro OCCO se utiliza para realizar reducción de ruido en las imágenes. Esta operación se define como:

$$OCCO(I, B) = \frac{1}{2}\gamma(\phi(I, B), B) + \frac{1}{2}\phi(\gamma(I, B), B). \quad (8)$$

1.4. Enfoque propuesto

En el Algoritmo 1 se describe el enfoque de la mejora de imágenes de grietas de concreto.

Algorithm 1 Enfoque de mejora de imágenes de grietas de concreto

Entrada: I, B, G, n

Salida: I_E (Imagen mejorada)

Inicialización : B, G

1: *Reducción de ruido con el filtro OCCO* (Ecuación 8)

$OCCO = OCCO(I, B)$

2: **for** $i = 1$ hasta n **do**

3: *Mejora de la imagen basado en TH* (Ecuación 7)

$MIE_i = I + WTH_i(OCCO, G_i) - BTH_i(OCCO, G_i)$.

4: **end for**

5: *Máximo valor de las múltiples escalas extraídas.*

$I_E = \max_{1 \leq i \leq n} \{MIE_i\}$,

6: **return** I_E

2. Resultados y discusiones

Para las pruebas se utilizaron 200 imágenes de grietas de concreto de una base de datos pública (Özgenel and Sorguç (2018)).

La propuesta fue comparado con los siguientes algoritmos:

- *Histogram Equalization* (HE),
- *Contrast-limited adaptive histogram equalization* (CLAHE),
- *Contrast Enhancement based on the Top-Hat transform* (CETH) y
- *Contrast Enhancement based on the Top-Hat transform by Reconstruction* (CETHR).

Todos los algoritmos fueron implementados utilizando el software MATLAB R2014a. Para poder procesar las imágenes con los algoritmos, primero las imágenes RGB se convierten a HSV, luego se aplican los algoritmos en el canal V y finalmente la imagen se convierte de nuevo a RGB.

En la Tabla 1 podemos visualizar los parámetros iniciales de los algoritmos. Los parámetros iniciales de OCCO-MTH son: la imagen original I , el elemento estructurante B disco de $r = 1$, el elemento estructurante inicial G disco de $r = 1$ que aumenta en un rango de $i = \{1, \dots, n\}$ y el número de iteraciones $n = 7$.

Tabla 1: Parámetros iniciales de los algoritmos CLAHE, CETH, CETHR y la propuesta.

Algoritmo	NumTiles	clipLimit	B	G	n
CLAHE	[8, 8]	0.01	-	-	-
CETH	-	-	-	7	-
CETHR	-	-	-	7	-
Propuesta	-	-	1	1	7

Las métricas de calidad de la imagen utilizadas para evaluar los resultados son:

- *Entropy* (E): En Román, Noguera, Legal-Ayala, Pinto-Roa, Gomez-Guerrero and Torres (2019) esta medida se utiliza para cuantificar la cantidad de información que contiene la imagen.
- *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR): En Hore and Ziou (2010) esta medida se utiliza para cuantificar la cantidad de distorsión introducida a la imagen en el proceso de mejora.
- *Structural Similarity Index* (SSIM): En Wang et al. (2004) esta medida se utiliza para cuantificar la similitud que existe entre la imagen procesada y la imagen original.

La Tabla 2 podemos ver que la propuesta consigue mejores resultados promedio en PSNR y SSIM. Sin embargo, CLAHE consigue mejores resultados en E. Los mejores resultados promedio están resaltados en negrita.

Tabla 2: Resultados promedios de las 200 imágenes de grietas de concreto procesadas con los algoritmos HE, CLAHE, CETH, CETHR y OCCO-MTH.

Algoritmos	E	PSNR	SSIM
HE	5,207	12,536	0,333
CLAHE	7,060	20,495	0,680
CETH	6,591	26,366	0,774
CETHR	6,262	31,404	0,927
Propuesta	5,850	31,989	0,928

En la Figura 1 podemos observar que las imágenes de grietas de concreto mejoradas con HE, CLAHE, CETH, CETHR y la propuesta. En general podemos observar que las imágenes procesadas con la propuesta están más suavizadas que los procesados con los demás algoritmos comparados.

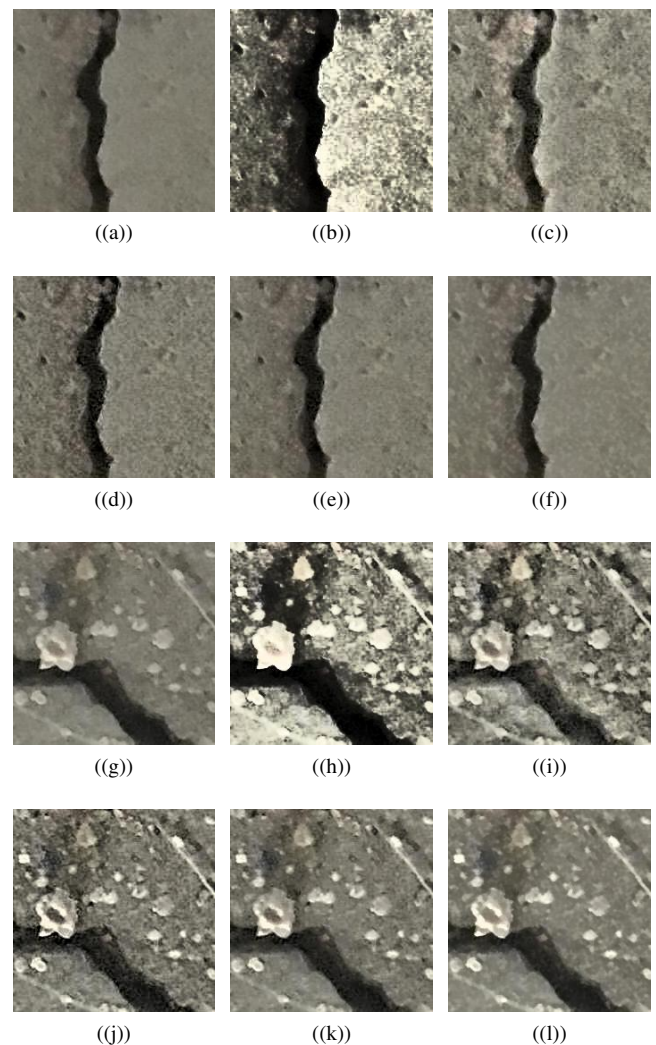


Figura 1: Resultados visuales. (a-g) Imagen original, (b-h) HE, (c-i) CLAHE, (d-j) CETH, (e-k) CETHR y (f-l) Propuesta.

En la Figura 2 podemos ver que la propuesta suaviza más las imágenes con respecto a los demás algoritmos.

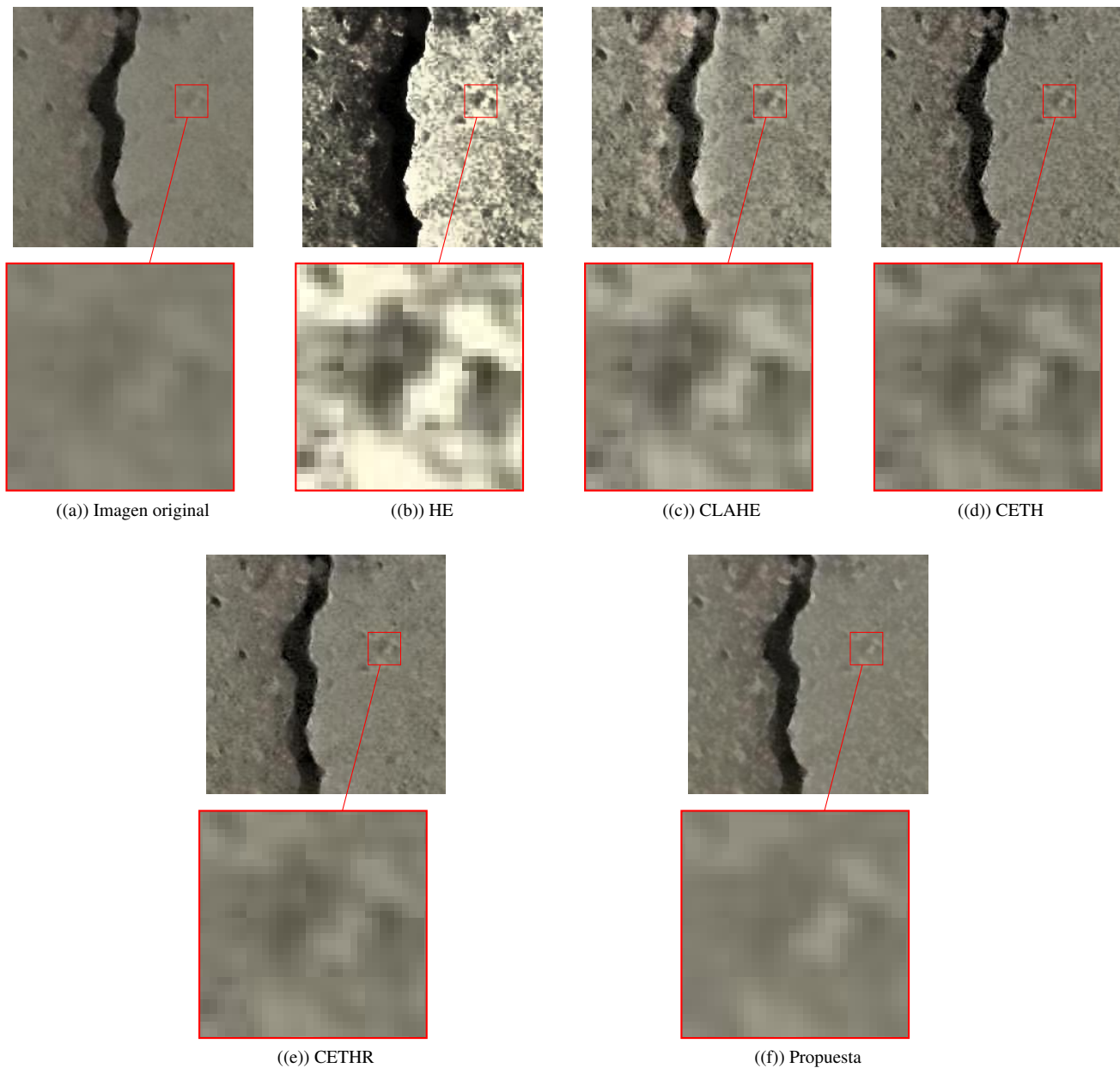


Figura 2: Imagen de grieta de concreto

3. Conclusión y trabajo futuro

En este trabajo se presentó un enfoque de mejora de imágenes de grietas de concreto utilizando operaciones de la morfología matemática. La evaluación de los resultados se realizó con las métricas E, PSNR y SSIM.

En general, la propuesta obtuvo un buen rendimiento en PSNR y SSIM, sin embargo el CLAHE tuvo mejor rendimiento en mejorar la entropía de la imagen. Esto significa que las imágenes mejoradas con la propuesta presentan mejoras de contraste con menor distorsión y similaridad con la imagen original.

Para un trabajo futuro se pretende analizar como afectan las técnicas de mejora de la imagen en la segmentación de las

imágenes de grietas de concreto.

Referencias

- Aptoula, E. and Lefèvre, S. (2007), 'A comparative study on multivariate mathematical morphology', *Pattern Recognition* **40**(11), 2914–2929.
- Aptoula, E., Lefèvre, S. and Collet, C. (2006), Mathematical morphology applied to the segmentation and classification of galaxies in multispectral images, in '2006 14th European Signal Processing Conference', IEEE, pp. 1–5.
- Bai, X. and Guo, S. (2018), 'Weight strategy aided infrared and visible image fusion utilizing the center operator from opening and closing based toggle operator', *Infrared Physics & Technology* **92**, 190–196.
- Bai, X. and Zhang, Y. (2014), 'Enhancement of microscopy mineral images through constructing alternating operators using opening and closing based toggle operator', *Journal of Optics* **16**(12), 125407.

- Bai, X., Zhou, F. and Xue, B. (2012), 'Infrared dim small target enhancement using toggle contrast operator', *Infrared Physics & Technology* **55**(2-3), 177–182.
- Hore, A. and Ziou, D. (2010), Image quality metrics: PSNR vs. SSIM, in '2010 20th International Conference on Pattern Recognition', IEEE.
- Kushol, R., Kabir, M. H., Salekin, M. S. and Rahman, A. B. M. A. (2017), Contrast enhancement by top-hat and bottom-hat transform with optimal structuring element: Application to retinal vessel segmentation, in 'Lecture Notes in Computer Science', Springer International Publishing, pp. 533–540.
- Liu, B. and Yang, T. (2017), 'Image analysis for detection of bugholes on concrete surface', *Construction and Building Materials* **137**, 432–440.
- Liu, X., Ai, Y. and Scherer, S. (2017), Robust image-based crack detection in concrete structure using multi-scale enhancement and visual features, in '2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)', IEEE.
- Mendez, R., Cardozo, R., Noguera, J. L. V., Legal-Ayala, H., Román, J. C. M., Grillo, S. and García-Torres, M. (2019), Color image enhancement using a multiscale morphological approach, in 'Communications in Computer and Information Science', Springer International Publishing, pp. 109–123.
- Mukhopadhyay, S. and Chanda, B. (2000), 'A multiscale morphological approach to local contrast enhancement', *Signal Processing* **80**(4), 685–696.
- Roman, J. C. M., Noguera, J. L. V., Legal-Ayala, H., More, L. and Pinto-Roa, D. P. (2019), Image enhancement with preservation of brightness and details using multiscale top-hat transform, in '2019 XXII Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA)', IEEE.
- Román, J. M., Noguera, J. V., Legal-Ayala, H., Pinto-Roa, D., Gomez-Guerrero, S. and Torres, M. G. (2019), 'Entropy and contrast enhancement of infrared thermal images using the multiscale top-hat transform', *Entropy* **21**(3), 244.
- Saravia, C. A., Peralta, M. E. M., Roman, J. C. M., Noguera, J. L. V. and Ayala, H. L. (2019), Fusion of infrared and visible images using multiscale morphology, in '2019 XLV Latin American Computing Conference (CLEI)', IEEE.
- Soille, P. (2004a), Erosion and dilation, in 'Morphological Image Analysis', Springer Berlin Heidelberg, pp. 63–103.
- Soille, P. (2004b), Introduction, in 'Morphological Image Analysis', Springer Berlin Heidelberg, pp. 1–14.
- Soille, P. (2004c), Opening and closing, in 'Morphological Image Analysis', Springer Berlin Heidelberg, pp. 105–137.
- Umer, S., Dhara, B. C. and Chanda, B. (2015), 'Iris recognition using multiscale morphologic features', *Pattern Recognition Letters* **65**, 67–74.
- Wang, Z., Bovik, A., Sheikh, H. and Simoncelli, E. (2004), 'Image quality assessment: From error visibility to structural similarity', *IEEE Transactions on Image Processing* **13**(4), 600–612.
- Özgenel, Ç. F. and Sorguç, A. G. (2018), Performance comparison of pretrained convolutional neural networks on crack detection in buildings, in 'Proceedings of the 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)', International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC).

Fecha de Publicación: 2020/12/16