

SEGMENTACIÓN DE VASOS SANGUÍNEOS EN IMÁGENES RETINIANAS: ENFOQUE BASADO EN FILTRADO Y TRANSFORMACIONES MORFOLÓGICAS

Álvaro Anzueto Ríos, Dr. en C.¹, Alma Aidé Sánchez Ramírez, M. en T. A.¹, Rafael Santiago Godoy, Dr. en E.¹

Instituto Politécnico Nacional

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA)

aanuetor@ipn.mx, aasanchezra@ipn.com, rsantiagog@ipn.com

Boletín No. 108, 1o. de mayo de 2025

Resumen

El presente trabajo aborda el desafío de segmentar vasos sanguíneos gruesos en imágenes retinianas mediante una secuencia de procesamiento que integra técnicas de filtrado y operaciones morfológicas. Se parte de la extracción del canal de iluminación del modelo de color HSV que presenta en escala de grises la imagen de fondo de ojo, seguida de la aplicación de un filtro gaussiano para reducir el ruido. Posteriormente, se implementan dos transformaciones top-hat, complementadas con filtrado homomórfico y un filtro mediano, con el fin de realzar la red vascular. Finalmente, se utiliza el método de Otsu para obtener una imagen binarizada que delimita las estructuras de interés.

El método propuesto es reproducible y adaptable, permitiendo ajustar parámetros clave según las características específicas de cada imagen. Esta aproximación facilita el análisis de la red vascular en estudios clínicos, ofreciendo una herramienta complementaria para el procesamiento de imágenes retinianas.

Palabras Clave: segmentación, imágenes retinianas, filtrado, top-hat, vasos sanguíneos.

Abstract

This study tackles the challenge of segmenting thick blood vessels in retinal images through a processing sequence that integrates filtering techniques and morphological operations. The approach begins with the extraction of the illumination channel from the HSV color model, which converts the fundus image into a grayscale representation, followed by the application of a Gaussian filter to reduce noise. Next, two top-hat transformations are performed, complemented by homomorphic filtering and a median filter, to enhance the vascular network. Finally, Otsu's method is employed to obtain a binarized image that delineates the structures of interest.

The proposed method is both reproducible and adaptable, allowing key parameters to be adjusted based on the specific characteristics of each image. This approach facilitates the analysis of the vascular network in clinical studies, offering a complementary tool for retinal image processing.

Keywords: segmentation, retinal images, filtering, top-hat, blood vessels.

1. Introducción

El análisis de imágenes retinianas se ha consolidado como una herramienta valiosa en la evaluación de diversas patologías oculares y sistémicas, tales como la retinopatía diabética y otros trastornos vasculares. Estudios previos han señalado la importancia de obtener representaciones claras de la red vascular para mejorar el diagnóstico y el seguimiento de estas condiciones [Gonzalez and Woods, 2008]. No obstante, la variabilidad en la calidad de las imágenes y la presencia de ruido plantean desafíos que han motivado el desarrollo de múltiples técnicas de segmentación [Szeliski, 2010, Haralick and Shapiro, 1985].

La propuesta presentada en este trabajo integra técnicas morfológicas y de filtrado en el dominio de las

frecuencias, siguiendo lo establecido en [Ramos-Soto et al., 2021] para extracción de los segmentos de la red vascular con mayor presencia. En concreto, se emplean transformaciones top-hat optimizadas y filtrado homomórfico, métodos que permiten ajustar la segmentación de los vasos—especialmente de mayor calibre—mediante la corrección de la iluminación y la reducción de ruido, como es sugerido por [Ramos-Soto et al., 2021]. Basándose en enfoques establecidos en la literatura [Pratt, 2007], se desarrolla un proceso reproducible y adaptable a diferentes conjuntos de datos, lo cual facilita la interpretación de la red vascular en contextos de análisis biomédico.

El objetivo del presente artículo es desarrollar, implementar y evaluar este conjunto de procesamientos secuenciales, contribuyendo a la mejora en las técnicas de segmentación de imágenes retinianas y ofreciendo una herramienta complementaria para el diagnóstico clínico.

2. Materiales y métodos

En esta sección se detalla el procedimiento empleado para segmentar los vasos sanguíneos gruesos en imágenes retinianas. El método consiste en aplicar una serie de operaciones de preprocesamiento, filtrado y transformaciones morfológicas de forma secuencial a imágenes de fondo de ojo.

2.1 Conjunto de datos y preprocesamiento

En la Figura 1, se presentan a manera de ejemplo, una imagen típica de fondo de ojo a color en formato RGB la cual es transformada al espacio de color HSV de donde se toma el canal que corresponde a la iluminación (canal V) dado que aporta contraste en la visualización de la red vascular; de esta manera se trabaja sobre una sola matriz de información y se cuenta con la versión normalizada de los datos en el rango [0, 1].

2.2 Filtrado gaussiano

Para reducir el ruido de alta frecuencia, se aplica un filtro gaussiano al canal de iluminación V. En este caso, se utiliza un valor de $\sigma = 1$, el cual puede ajustarse según las características específicas de la imagen. La operación se expresa en la Ecuación (1):

$$I_{\text{gauss}} = G_{\sigma} * \text{Canal}_V \quad (1)$$

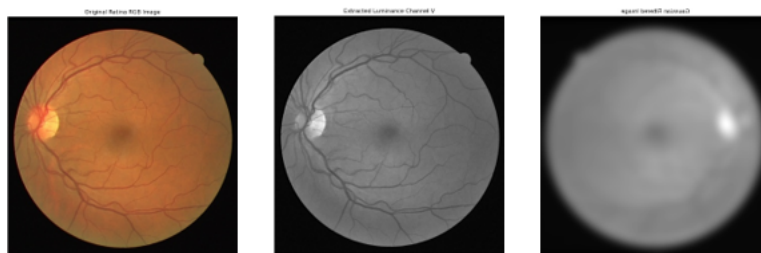


Figura 1 Imagen original en RGB (izquierda), canal verde extraído (centro), imagen con filtro gaussiano (derecha).

donde G_{σ} representa la función gaussiana y $*$ la convolución. La Figura 1, imagen de la derecha, muestra el efecto de aplicar el filtrado gaussiano en la imagen del canal de iluminación V.

2.3 Primera transformación Top-hat

Para resaltar las estructuras oscuras sobre un fondo claro, se calcula la imagen complementaria de la imagen filtrada, según la Ecuación (2):

$$I_c = 1 - I_{\text{gauss}} \quad (2)$$

A continuación, se aplica una operación morfológica de apertura seguida de un cierre. Se utiliza un elemento estructurante en forma de disco con radio 8 para la apertura y uno de radio 16 para el cierre (ver en [Ramos-Soto et al., 2021]). La transformación top-hat se define mediante la Ecuación (3):

$$\text{Top-hat} = I_c - \text{Cierre}(\text{Apertura}(I_c)) \quad (3)$$

La Figura 2 ilustra, de izquierda a derecha, la imagen complementaria, el resultado de la operación de apertura y cierre, y el resultado final de la transformación top-hat. Cada subfigura se describe en el pie de figura para facilitar la comprensión del proceso.

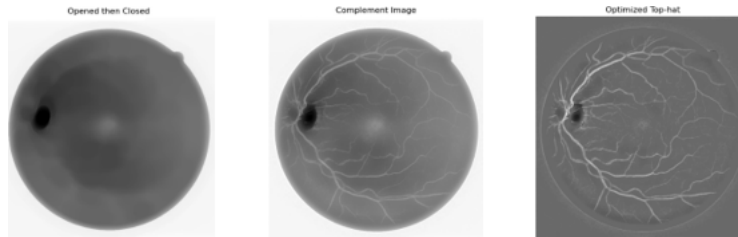


Figura 2 (Izquierda) Imagen complementaria I_c obtenida según la Ecuación (2); (Centro) Resultado tras la operación de apertura y cierre con elementos estructurantes de radio 8 y 16, respectivamente; (Derecha) Imagen final tras aplicar la transformación top-hat definida en la Ecuación (3).

2.4 Filtrado homomórfico

El filtrado homomórfico se aplica para corregir las variaciones en la iluminación y mejorar el contraste. El procedimiento se detalla a continuación:

1. Se transforma la imagen a dominio logarítmico:

$$\log[\text{Top-hat}(x, y)] = \log[\text{Top-hat-l}(x, y) \cdot \text{Top-hat-r}(x, y)] \quad (4)$$

2. Se aplica la transformada de Fourier para obtener la representación en el dominio frecuencial.
3. Se diseña un filtro pasa-altos gaussiano con parámetro $\sigma_{hp} = 2$, que atenúa las componentes de baja frecuencia.
4. Se aplica la transformada inversa y se revierte la transformación logarítmica para obtener la imagen filtrada.

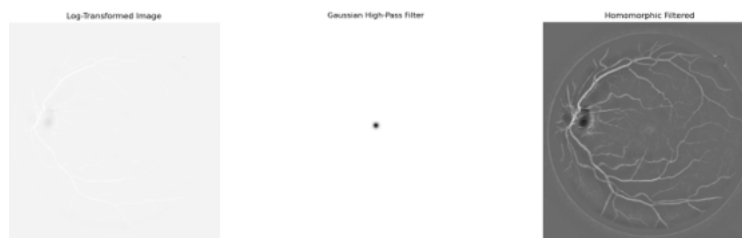


Figura 3 (Izquierda) Imagen transformada al dominio logarítmico según la Ecuación (4); (Centro) Filtro pasa-altos gaussiano con $\sigma_{hp} = 2$; (Derecha) Imagen obtenida tras el filtrado homomórfico.

La Figura 3 presenta, de forma secuencial, la imagen en el dominio logarítmico (subfigura izquierda), el filtro pasa-altos diseñado (subfigura central) y el resultado final del filtrado homomórfico (subfigura derecha).

2.5 Filtrado mediano

Para eliminar el ruido del tipo salt-and-pepper sin afectar los bordes, se utiliza un filtro mediano con una ventana de tamaño 3×3 . La Figura 4, imagen de la izquierda, ilustra el efecto del filtrado mediano sobre la imagen, mostrando la reducción de artefactos sin perder detalles estructurales.

2.6 Segunda transformación Top-hat

Para mejorar la segmentación de los vasos gruesos, se calcula nuevamente la imagen complementaria de la imagen obtenida tras el filtrado mediano, según la Ecuación (5):

$$I_{m,c} = 1 - I_{\text{mediana}} \quad (5)$$

Posteriormente, se aplican operaciones morfológicas con elementos estructurantes de mayor tamaño: apertura con un disco de radio 32 y cierre con un disco de radio 86 (datos tomados de [Ramos-Soto et al., 2021]). Esta segunda transformación top-hat resalta de manera más precisa las estructuras de interés. En la Figura 4 se muestran, de izquierda a derecha, la imagen del filtro mediana, el resultado de la apertura y cierre con elementos grandes y el resultado final del refinamiento.

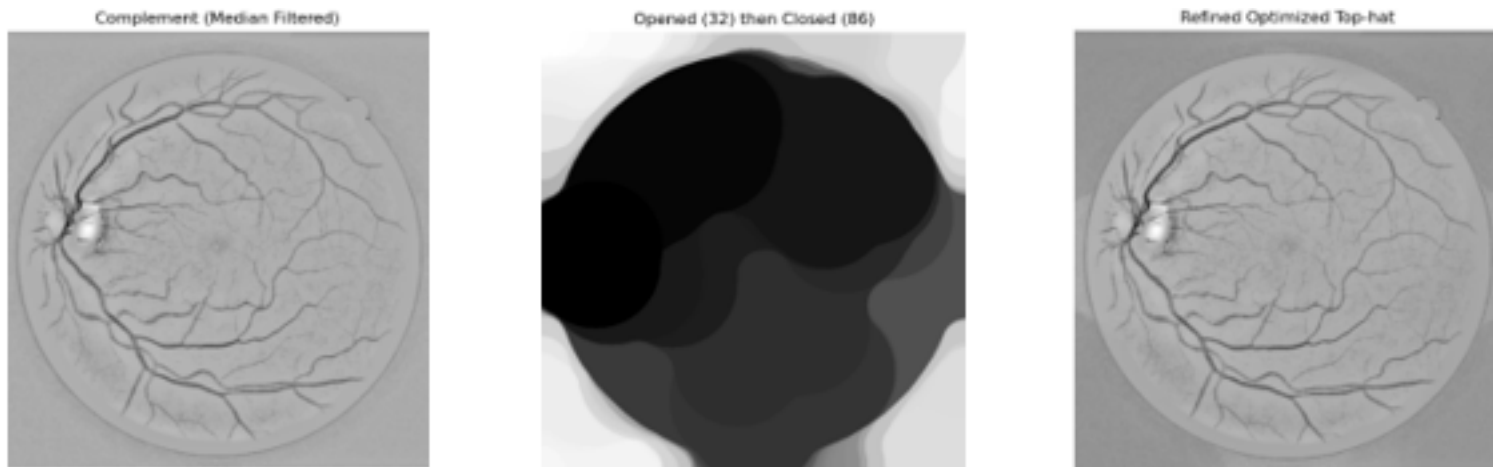


Figura 4 (Izquierda) Imagen con filtro mediana I_{mediana} según la Ecuación (5); (Centro) Resultado tras la operación de apertura y cierre con elementos estructurantes de radio 32 y 86; (Derecha) Resultado final de la transformación top-hat refinada.

2.7 Binarización

Finalmente, se utiliza el método de Otsu para determinar el umbral óptimo que genera la imagen binaria que delimita los vasos sanguíneos. Este umbral se aplica a la imagen obtenida tras la segunda transformación top-hat. La Figura 5 muestra la imagen binarizada final, facilitando la visualización de la segmentación de los vasos gruesos.

La integración de operaciones de filtrado, transformaciones morfológicas y métodos de umbralización permite mejorar la calidad de la imagen y resaltar las estructuras de interés, que para el caso específico es la red vascular.

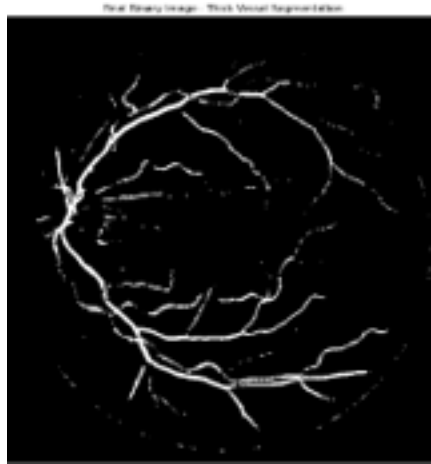


Figura 5 Imagen binarizada final obtenida tras aplicar el método de Otsu.

3. Resultados y discusión

El análisis aplicado al procesamiento de las imágenes retinianas arroja datos que permiten apreciar el comportamiento de cada etapa del método. Por ejemplo, la extracción del canal verde mejora la visibilidad de la red vascular (véase Figura 1), mientras que la aplicación del filtro gaussiano (Figura 1 imagen de la derecha) reduce el ruido sin perder la información relevante. La primera transformación top-hat, ilustrada en la Figura 2, resalta las áreas oscuras correspondientes a los vasos mediante operaciones de apertura y cierre. Posteriormente, el filtrado homomórfico (Figura 3) corrige las variaciones en la iluminación, y el filtro mediano (Figura 4 imagen de la izquierda) atenúa los artefactos presentes en la imagen. La segunda transformación top-hat, con elementos estructurantes de mayor tamaño, ajusta la segmentación (Figura 4), culminando con la aplicación del método de Otsu para obtener la imagen binarizada final (Figura 5), en la que se delimita la red vascular.

Estos resultados evidencian cómo la combinación de técnicas y la adaptación de parámetros, como los valores de σ y los radios de los elementos estructurantes, permiten ajustar el proceso en función de las características específicas de las imágenes.

4. Conclusiones

Los datos analizados indican que la integración de técnicas de procesamiento —incluyendo la extracción del canal verde, el filtrado gaussiano, las transformaciones top-hat, el filtrado homomórfico, el filtro mediano y la umbralización— establece un método adaptable para la segmentación de vasos en imágenes retinianas. Este enfoque es flexible, ya que permite ajustar los parámetros de acuerdo a las particularidades del conjunto de datos.

La metodología desarrollada facilita el análisis de la red vascular y sienta las bases para futuras mejoras, como la automatización en la selección de parámetros o la incorporación de técnicas adicionales. En conjunto, el trabajo contribuye al desarrollo de herramientas aplicables en estudios clínicos y en el campo del análisis de imágenes biomédicas.

Referencias

- [1] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing*. Pearson, 3rd edition.
- [2] Haralick, R. M. and Shapiro, L. G. (1985). *Image segmentation techniques*. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 29(1):100–132.
- [3] Pratt, W. K. (2007). *Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside*. Wiley-Interscience.
- [4] Ramos-Soto, O., Rodríguez-Esparza, E., Balderas-Mata, S. E., Oliva, D., Hassanien, A. E., Meleppat, R. K., and Za-

wadzki, R. J. (2021). *An efficient retinal blood vessel segmentation in eye fundus images by using optimized top-hat and homomorphic filtering*. Computer Methods and Programs in Biomedicine 201:105949.

[5] Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer.

Anzeto Ríos, Á., Sánchez Ramírez, A. A., Santiago Godoy, R. (2026). *SEGMENTACIÓN DE VASOS SANGUÍNEOS EN IMÁGENES RETINIANAS: ENFOQUE BASADO EN FILTRADO Y TRANSFORMACIONES MORFOLÓGICAS*. Boletín UPIITA. año XX, (NÚM) 2026.