
SEGMENTACIÓN DE DISCO ÓPTICO Y COPA PARA DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA EN RETINOGRAFÍAS

Xoel González Pereira

1. Introducción

Esta práctica consiste en la implementación de un método que permita, utilizando las técnicas de procesamiento de imágenes en visión por computador, la segmentación del disco óptico y la copa para hallar su CDR en el diagnóstico de glaucomas.

Para la implementación del método, se ha utilizado un conjunto de imágenes reescaladas del Retinal Fundus Glaucoma Challenge (REFUGE). El conjunto de prueba utilizado está formado por 13 retinografías, de las cuales, 4 de estas pertenecen a ojos glaucomatosos y el resto a ojos sanos.

2. Procedimiento

2.1. Detección de la posición aproximada del disco óptico

Para esta fase, se ha utilizado el canal verde de la retinografía debido a que es el que mejor contraste proporciona, se eligió aplicar en primer lugar un filtro gaussiano de 5x5 para reducir el ruido y las posibles irregularidades, facilitando así la identificación de la estructura relevante. Posteriormente, se aplica un filtro de medias a la imagen, utilizando un kernel de tamaño 3x3, con el objetivo de homogeneizar la imagen.

Después del preprocesado inicial, se obtiene el valor con la intensidad máxima de la imagen, así como su localización. Esta localización será la correspondiente a la zona más brillante de la imagen, que se asumirá que es la correspondiente al disco óptico. A partir de este punto, se define una región de interés (ROI) cuadrada de tamaño 200x200, que tiene como centroide al punto de máxima intensidad y que va a contener al disco óptico. La ROI será la región sobre la que se trabajará posteriormente para la segmentación del disco y la copa.

2.2. Segmentación del disco óptico

Una vez obtenida la ROI, el siguiente paso será segmentar el disco óptico, para ello, primero tendremos que detectar su contorno, lo cual requerirá un preprocesado sobre la ROI debido a que los vasos sanguíneos pasan por el disco por lo que dificulta la detección sin realizar operaciones adicionales. En este caso se escogió el canal rojo para trabajar sobre el ROI para eliminar los vasos, el canal rojo ofrece un brillo mucho mayor que los otros canales, y en este caso va a ser favorable su uso ya que hay un contraste más pronunciado entre el disco y el fondo, además de que debido al brillo del disco los vasos se aclaran y son menos pronunciados, lo que facilita la identificación. En los canales verde y azul también se probó a la eliminación de los vasos, pero en estos, al no haber tanto brillo en el disco, los vasos eran mucho más oscuros y pronunciados, lo que complicaba más su eliminación.

Después, se aplicó un filtro gaussiano con un kernel de tamaño 19x19 sobre el canal rojo. Se utilizó un kernel de considerable tamaño para así con el suavizado reducir de forma significativa la prominencia de los vasos. Tras este suavizado se aplicó una mejora de contraste en la imagen, para así conseguir que la imagen sea aún más clara y los vasos se pronuncien menos.

El siguiente paso utilizado fue una operación morfológica de cierre utilizando un elemento estructurante en forma de disco de tamaño 20. Esta operación morfológica ayudó a eliminar completamente los vasos sanguíneos que atravesaban el disco, además de homogeneizar la imagen. Esto consiguió hacer una diferenciación completa entre el contorno del disco y el fondo de la ROI, por lo que después ya se podría hacer una detección de bordes utilizando el operador Canny.

Después se utilizó el algoritmo de Canny (sigma 2.5) para la detección de bordes, identificando así los bordes del disco sobre el fondo de la región de interés. En casi todos los casos para el conjunto de imágenes, los bordes del disco son detectados completamente, aunque hay algún caso en el que no se cierra, por lo que se aplica una dilatación sobre los bordes detectados con un kernel de 1×3 , favoreciendo la extensión horizontalmente, además de aumentar su grosor y visibilidad.

La intención que se tenía era a partir de los contornos que detectase después de aplicar Canny era obtener la máscara del disco, pero al ser los bordes incompletos no se encontraban contornos, por lo que la idea fue utilizar un Snake morfológico (Morphological Chan-Vese), que se inicializase como una circunferencia en el centro de la imagen y se adaptase a los bordes del disco detectado por Canny tras un número de iteraciones (finalmente fue ajustado a 66), y que se adaptó de forma correcta a los bordes, rellenando las formas incompletas, se tuvo que ir ajustando las iteraciones ya que dependiendo del disco y del número de iteraciones se adaptaba o no, pero finalmente fue ajustado y ahora se adapta a todos los discos de forma correcta. Se utilizó el snake debido a que anteriormente con Canny también se había valorado el ajustar con la transformada de Hough un círculo a los bordes detectados, pero como no todos los discos son circulares se descartó. También se pensó en utilizar elipses de la misma forma, pero no siempre se ajustaban de forma precisa. Además, se aplicó un cierre en forma de disco de tamaño 20 para rellenar alguna zona que quedara sin cubrir por el snake. Tras esto, se detectaron los contornos de la forma del snake, y finalmente se obtuvieron los contornos del disco, aunque algunos contornos tenían algún pico y se quiso ajustar las curvas con una elipse. Finalmente se creó una máscara con el contorno marcado por la elipse ajustada.

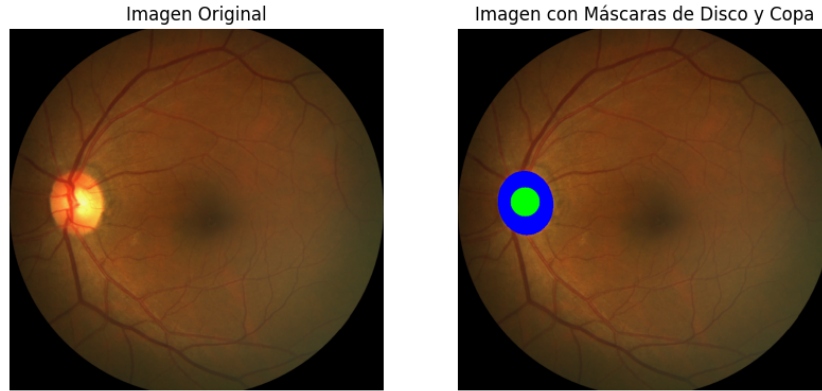
2.3. Segmentación de la copa

Para la segmentación de la copa se volvió a trabajar sobre la ROI, pero esta vez ya no se pudo seguir trabajando con el canal rojo, debido a que dentro de este el brillo no permitía distinguir con claridad la copa, por lo que se barajó fue trabajar con la imagen inversa del canal verde, ya que en esta sí se podía distinguir con gran claridad la copa (región más oscura en la imagen inversa). Luego, se aplicó un filtro gaussiano con un kernel 5×5 para suavizar la imagen, reduciendo así el ruido y las irregularidades menores. Un paso crucial en este proceso fue ajustar el contraste de la imagen suavizada. Este se ajustó estableciendo un beta de 2 a la imagen invertida, este incremento realzó las áreas claras e hizo que las áreas oscuras fueran aún más oscuras, desapareciendo así los vasos y el disco, y manteniéndose solo la copa, que es la región oscura.

Tras el paso anterior, quedaban huecos en algunas copas debidos a que los vasos sanguíneos pasaban por esta zona, por lo que se hace es un cierre con un elemento estructurante en forma de disco de tamaño 15, y posteriormente para solo conservar la zona de la copa oscura, se eliminan las zonas grisáceas que no son las más oscuras utilizando una umbralización adaptativa (blocksize de 33 y C de 50). Finalmente a la región negra segmentada se le detectan sus bordes utilizando Canny (sigma de 2.3, umbral bajo de 20 y alto de 56). En el resultado que se obtiene se realizará otra vez un cierre con forma de disco de tamaño 12, para unir las regiones, y con los contornos que se obtienen tras el segmentado, se selecciona el más grande (que se asocia a la copa) y se calcula el centroide de ese contorno y desde el centroide se busca el píxel más lejano (mayor radio) para así englobar con el radio más grande a la copa con un círculo o una elipse, dependiendo de la distancia entre píxel y centroide. Así se obtiene la máscara que representa a la copa.

Debido a que en algún caso detecta bordes que no pertenecen a la copa y los une con el cierre, detecta un contorno más grande del que realmente le pertenece a la copa, por lo que al englobarlo en una elipse o círculo, la máscara creada es más grande de lo que debería, lo que en algún caso ha llevado a la detección de un falso glaucoma.

3. Visualización final



4. Cálculo del CDR (Cup-to-Disc Ratio)

El cálculo del CDR se realiza dividiendo la altura de la copa entre la altura del disco, y así a partir de cierto umbral poder determinar si hay presencia de glaucoma o no. Los resultados en algunos casos se acercan, aunque hay bastantes casos en los que se distancian bastante del de referencia, esto puede ser debido a que la máscara de la copa obtenida en el experimento es creada en base al contorno detectado, que en algunos casos como se dijo anteriormente, abarca más o menos del contorno real de la copa por lo que se obtiene una máscara más grande o más pequeña de la real. Se ha calculado el error absoluto medio (MAE) para hacer un promedio de cuanto difiere el CDR obtenido del CDR del Ground Truth, siendo este error del 11 %.

Las estadísticas sugieren que, en promedio, el CDR real de los ojos con glaucoma es más alto que el CDR predicho. La media del CDR real es 0.6325, lo que está significativamente por encima del umbral comúnmente asociado con el glaucoma, mientras que la media del CDR predicho es 0.5175, que está justo por encima del límite que suele considerarse sospechoso de glaucoma.

Para los ojos sanos, el CDR real tiende a ser ligeramente más alto que el CDR predicho. La media del CDR real está un poco por debajo del umbral comúnmente asociado con el glaucoma, lo cual es consistente con la clasificación de estos ojos como sanos. Por otro lado, la media del CDR predicho está aún más baja, lo que indica que el método tiende a subestimar el CDR.

Retinografía	Predicción CDR	Ground Truth CDR	MAE
g0406	0.53	0.80	0.27
g0408	0.58	0.64	0.06
g0414	0.46	0.46	0.00
g0428	0.50	0.63	0.13
n0004	0.37	0.41	0.04
n0005	0.51	0.44	0.07
n0012	0.39	0.50	0.11
n0013	0.35	0.47	0.12
n0014	0.36	0.50	0.14
n0044	0.63	0.48	0.15
n0045	0.34	0.44	0.10
n0047	0.38	0.50	0.12
n0049	0.39	0.45	0.06

Tabla 1: Comparación del CDR

5. Evaluación

5.1. Evaluación de la segmentación en el disco

En la segmentación del disco se han obtenido muy buenos resultados, alcanzándose una precisión promedio del 98 %. Esto indica que casi todas las áreas identificadas por el algoritmo como parte del disco óptico eran efectivamente el disco, con un número muy bajo de falsos positivos. La precisión más alta se logró en la retinografía n0047 con un 99.8 %, y la más baja en la n0004 con un 94.8 %. Estos resultados sugieren que la segmentación del disco óptico por el algoritmo ha sido extremadamente precisa, detectando solo las zonas pertenecientes al disco y minimizando los falsos positivos.

Respecto a la sensibilidad, los resultados también muestran un rendimiento destacado, con una sensibilidad promedio del 92 %. La sensibilidad, o tasa de verdaderos positivos, refleja la habilidad del algoritmo para identificar y capturar la totalidad del área real del disco óptico. Una sensibilidad alta, como la observada en las retinografías g0414 y n0014 con un 94.5 %, indica que el algoritmo fue capaz de detectar casi todo el disco óptico real. Incluso la sensibilidad más baja, observada en la retinografía n0049 con un 90.2 %, sigue siendo indicativa de un buen desempeño en la identificación del disco óptico.

Además, el Coeficiente de Similaridad de Dice (DSC) también refleja la eficacia del algoritmo, obteniendo un promedio del 95 %. El DSC, que mide la superposición entre la segmentación del algoritmo y el Ground Truth, muestra valores altos, indicando una muy buena coincidencia. Por ejemplo, la retinografía g0408 obtuvo el DSC más alto, con un 96.8 %, y la g0406 el más bajo, con un 93.4 %. Esto demuestra una alineación casi perfecta con la segmentación de referencia.

La métrica de similitud, que combina elementos de precisión y sensibilidad, ha demostrado resultados muy buenos, obteniendo un promedio del 94 %. Los valores de similitud más altos y más bajos observados son 96.1 % en la retinografía n0014 y 93.0 % en la n0049, respectivamente. Estos porcentajes indican una alta eficacia entre las segmentaciones del algoritmo y las reales.

Retinografía	Precisión	Sensibilidad	DSC	Similitud
g0406	0.996	0.879	0.934	0.914
g0408	0.993	0.944	0.968	0.960
g0414	0.974	0.945	0.959	0.957
g0428	0.977	0.931	0.954	0.949
n0004	0.948	0.926	0.936	0.936
n0005	0.981	0.940	0.960	0.955
n0012	0.987	0.889	0.935	0.921
n0013	0.965	0.936	0.950	0.948
n0014	0.992	0.945	0.968	0.961
n0044	0.974	0.924	0.948	0.943
n0045	0.990	0.917	0.952	0.941
n0047	0.998	0.911	0.953	0.937
n0049	0.991	0.902	0.944	0.930

Tabla 2: Evaluación de la segmentación del disco

5.2. Evaluación de la segmentación en la copa

En la segmentación de la copa los resultados no han sido los esperados. La precisión promedio, que mide cuán exactamente el algoritmo identificó las áreas de la copa, fue del 92 %. Este alto promedio indica que, en la mayoría de los casos, el algoritmo fue eficaz en discernir correctamente la copa óptica, aunque con algunas variaciones notables, como en la retinografía n0044 donde la precisión fue solo del 53.1 %, en este ejemplo, se debe concretamente a que se detectó más contorno de la copa del que realmente había, bajando drásticamente la precisión.

En cuanto a la sensibilidad, con un promedio del 60 %, se observa una mayor variabilidad en la capacidad del algoritmo para detectar la totalidad del área real de la copa. Mientras que en casos como g0414 se alcanzó una sensibilidad del 88.4 %, indicando una detección casi completa, en otros como g0406 la sensibilidad fue tan baja como el 33.7 %.

El Coeficiente de Similitud de Dice (DSC) alcanzó un promedio del 70 %. Aunque el DSC más alto fue del 92.3 % en g0414, mostrando una alineación casi perfecta, el más bajo se registró en g0406 con un 50.4 %, señalando una disparidad significativa en algunos casos.

Por último, la métrica de similitud, tuvo un promedio del 69 %. Este valor promedio, que combina aspectos de las otras métricas, refleja la correspondencia general entre las segmentaciones del algoritmo y las reales. Con un valor más alto del 91.4 % en g0414 y un más bajo del 53.1 % en n0044, estos resultados indican una variabilidad en la eficacia del algoritmo.

Retinografía	Precisión	Sensibilidad	DSC	Similitud
g0406	1.000	0.337	0.504	0.531
g0408	0.946	0.745	0.833	0.816
g0414	0.965	0.884	0.923	0.914
g0428	0.998	0.587	0.740	0.708
n0004	0.945	0.578	0.717	0.699
n0005	0.663	0.823	0.734	0.731
n0012	1.000	0.524	0.688	0.663
n0013	1.000	0.496	0.663	0.644
n0014	1.000	0.505	0.672	0.650
n0044	0.531	0.848	0.653	0.651
n0045	1.000	0.515	0.680	0.657
n0047	0.934	0.450	0.607	0.608
n0049	0.923	0.523	0.668	0.658

Tabla 3: Evaluación de la segmentación de la copa

6. Problemas y posibles mejoras

Estos resultados reflejan la variabilidad según qué imagen en la segmentación de la copa, ya que en algunos casos se detecta más de lo que abarca y en otros menos de que realmente es. Esto ha condicionado el cálculo del CDR, ya que a pesar de los buenos resultados obtenidos en la segmentación del disco, el CDR ha sido condicionado por la altura de las segmentaciones de las copas detectadas, que en algunos casos supera la altura que realmente se espera y en otros la subestima, lo que se puede reflejar en la comparación de los CDR y en las métricas de la copa. Este problema ha sido derivado de la gran variedad de intensidad que hay alrededor de ella y los vasos que pasan por el disco en la retinografía, que ha complicado mucho su segmentación, y no se han obtenido los mejores resultados. Se han probado diferentes métodos para poder segmentarla correctamente, uno de ellos ha sido probar con clustering (K-Means), porque se pensó que al tener diferentes intensidades se podría segmentar el cluster que mejor reflejara la copa, pero para cada copa este cluster variaba bastante debido a las diferentes intensidades de las copas, por lo que se descartó este método. Por lo que finalmente, se utilizó el método de detección de contornos, que aunque en la segmentación del disco ha ofrecido resultados muy buenos, no ha sido el caso de la copa, por lo que la mejora necesaria sería el poder encontrar un método que ayude a segmentar con exactitud la copa en su totalidad, y no solo ciertas partes de esta.