

Cuantificación de mácula patológica en retinopatía diabética mediante estadística de color

Asmae Igalla El Youssfi^{1*}, José Manuel López Alonso¹

¹ Dpto. Óptica, Facultad de Óptica y Optometría Univ. Complutense de Madrid, C/ Arcos de Jalón 118, 28037 Madrid, España.

<https://www.ucm.es/doptica>

Resumen: La retinopatía diabética en su afección macular suele cursar con cambios, tanto en la claridad como en el croma, de la imagen de la retina. A partir del estudio de imágenes de la retina con el espacio de color YCbCr se realiza un estudio estadístico del comportamiento macular en las retinas sanas para lograr calcular un estadístico basado en la distancia de Mahalanobis que cuantifica el grado de patología de zonas de la retina (mácula) aquejadas de retinopatía diabética.

1. Introducción

La Mácula o mácula lútea, es el área central de la retina (Fig. 1). Su nombre viene debido a su color oscuro en forma de una mancha amarillenta, y es la estructura del ojo que permite tener la visión central en color en alta resolución; y este tipo de visión se deteriora cuando la macula está dañada [1]. Los fotopigmentos que contiene permiten la absorción del contenido espectral en las longitudes de onda cortas (azul y ultravioleta) que llegan a la retina, funcionando como un filtro protector respecto de la luz más dañina [2]. Por lo tanto, el daño a la mácula provoca la pérdida de la visión central, que suele ser evidente de inmediato como ocurre por ejemplo en la degeneración macular que puede dar lugar a la creación de un agujero macular, o el caso del edema macular diabético (EMD) en la retinopatía diabética (RD) que a medida que avanza la patología, la pigmentación de la retina, y en concreto la macula, adquiere un color blanco grisáceo o nuboso, que en varias ocasiones conlleva a una ceguera irreversible [3-4]. Lo anterior suele manifestarse como cambios de claridad y croma. Para apreciar mejor estas diferencias parece pues lógico utilizar un banco de imágenes retinianas sanas y patológicas en RGB que convertimos al espacio de color YCbCr para analizar las maculas de las mismas, dado que este espacio de color diferencia claramente un canal de claridad (Y) de los de croma (Cb,Cr). Estudiando las distribuciones estadísticas de estos tres canales de color (YCbCr) en los píxeles de las retinas sanas es posible caracterizar puntos anómalos en las retinas patológicas. En el presente trabajo se aplica una técnica estadística basada en la distancia de Mahalanobis [5] aplicada a la clasificación de zonas anómalas en las retinas aquejadas de Retinopatía Diabética (RD).



Figura 1: La imagen de una retina con DR con las principales características de la retina y los cambios morfológicos que sufre por la patología. A) fóvea. B) Macula. C) Disco óptico. D) Vasos sanguíneos retinianos. E) Exudados duros. F) Microaneurismas. Recuadrada aparece la zona a analizar.

* e-mail: asmaeiga@ucm.es

2. Material y método

Nuestro material de estudio consiste en una base de imágenes compuesta por 30 imágenes retinianas clasificadas en dos grupos: un grupo de 15 imágenes de retinas sanas y otro grupo de 15 imágenes de retinas con retinopatía diabética, procedentes de un banco de datos público [6]. Ambos grupos han sido capturados con el mismo retinógrafo utilizando una cámara midriática de fondo de ojo Canon CF-60 Uvi. Las imágenes tienen un tamaño de 3504 x 2336 píxeles y han sido capturadas con 24 bits por píxel (RGB). La captura es la estándar del retinógrafo sin tratamientos o calibraciones adicionales [6].

2.1 Preparación de las imágenes

Alrededor de la fovea (ver la Fig. 1)-se recorta una zona cuadrangular de 801x801 píxeles que representa la macula, y a estas imágenes recortadas de las maculas se les aplica un factor de remuestreo de 0.25 mediante la función de Matlab *imresize* quedando con un tamaño de 201 x 201 píxeles para agilizar y acelerar el cálculo de las distribuciones de color con la distancia Mahalanobis. Estas imágenes han sido capturadas en RGB, por lo tanto, nosotros convertimos las imágenes a otro espacio de color que separa la claridad de la croma para determinar cómo afecta la patología a la macula, es decir, que si la despigmentación y las anomalías que observamos en estas, están relacionadas con los canales de la croma o la claridad. Así pues, seleccionamos el espacio de color YCbCr. De este modo, tendremos imágenes con puntos codificados en el canal ‘Y’ de claridad y croma ‘Cb’, ‘Cr’.

2.2 Análisis y cálculo

Cada píxel (p) de la imagen ‘ n ’ se representa mediante un vector de punto que viene dado con la siguiente ecuación:

$$V_n(p) = [I_{c1}(p), I_{c2}(p), I_{c3}(p)], \quad (1)$$

Siendo $C=1, 2, 3$, los valores del píxel (p) en cada uno de los tres canales de la imagen YCbCr. Para un mismo píxel ‘ p ’ en varias imágenes, se calcula la matriz de covarianzas $S(p)$, del conjunto de vectores $V_n(p)$. En la diagonal de dicha matriz están las varianzas de los valores de los canales Y, Cb, Cr de los píxeles ‘ p ’ en las ‘ n ’ imágenes y fuera de la diagonal las covarianzas entre dichos valores. A partir de aquí ya podemos calcular la distancia Mahalanobis de un píxel ‘ p ’ de una imagen, $D_n^2(p)$, que se define como

$$D_n^2(p) = (V_n(p) - V(p))^T S^{-1}(p) (V_n(p) - V(p)), \quad (2)$$

En el cual se obtiene el $V(p)$ como el vector medio de todas las imágenes de retinas sanas ‘ n ’, en el píxel ‘ p ’, y S la matriz de covarianzas del píxel entre los canales ‘YCbCr’. La Ec. (2) permite calcular la función de distribución de probabilidad del $D_n^2(p)$ para cada imagen ‘ n ’ de retinas sanas. La distancia de Mahalanobis es una distancia estadística que mide la diferencia de un vector (en nuestro caso los valores YCbCr del píxel considerado), respecto del vector medio, en unidades de la varianza de los datos en la dirección considerada (en nuestro caso la del vector YCbCr respecto del valor medio). Como elemento caracterizador del conjunto de retinas sanas podemos tomar la media de las funciones de distribución de $D_n^2(p)$. Así pues, obtenemos una *pdf*(D^2) (función densidad de probabilidad para la distancia de Mahalanobis), de las retinas sanas con el cual calculamos la función de distribución acumulada *cdf*(D^2) de las mismas que permite establecer un valor límite que se necesita para caracterizar todos los anómalos de las máculas patológicas, de manera que un valor por encima 95% de probabilidad acumulada el punto se identifica como anómalo como se puede ver en la Fig. 2. Este nivel de significación es el normalmente usado en estadística general y empíricamente nos ha dado resultados adecuados.

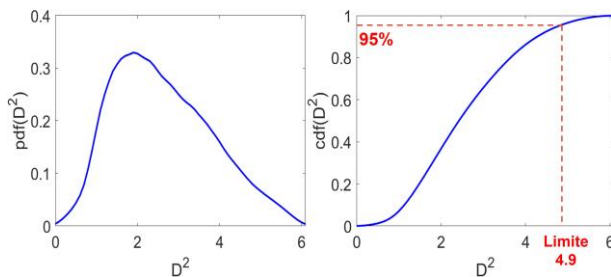


Figura 2: La $pdf(D^2)$ (izq) media de las máculas y $cdf(D^2)$ (dcha) con el valor limite de 4.9 para una probabilidad del 95%.

A partir de aquí, ya podemos calcular la distancia Mahalanobis de las maculas de las retinas patológicas basándose en la Ec. (3), que viene dada como:

$$D_{Anómalo}^2(p) = (V_{Anómalo}(p) - V(p))^T S^{-1}(p)(V_{Anómalo}(p) - V(p)), \tag{3}$$

Siendo el $V_{Anómalo}(p)$ el vector de punto de la mácula patológica y $D_{Anómalo}^2(p)$ la distancia Mahalanobis del píxel de la mácula patológica respecto al punto medio de las máculas sanas. De este modo, pues las distancias $D_{Anómalo}^2(p)$, por encima el valor limite obtenido en las máculas sanas nos marcaría puntos anómalos en la mácula patológica analizada.

3. Resultados

El procedimiento anterior se aplicó sobre nuestra base de imágenes retinianas sanas y patológicas clasificadas en RD con distintos grados de afectación. En primer lugar, se representan las distribuciones de probabilidad de la $D_{Anómalo}^2$ de 3 maculas de 3 retinas afectadas por la retinopatía diabética de distinto grado (ver la primera fila de la Fig. 3) frente a la distribución media de probabilidad D^2 de las máculas de las retinas sanas para determinar en qué zonas aproximadamente se defiere la macula patológica de las sanas como se puede ver en la segunda fila de la Fig. 3.

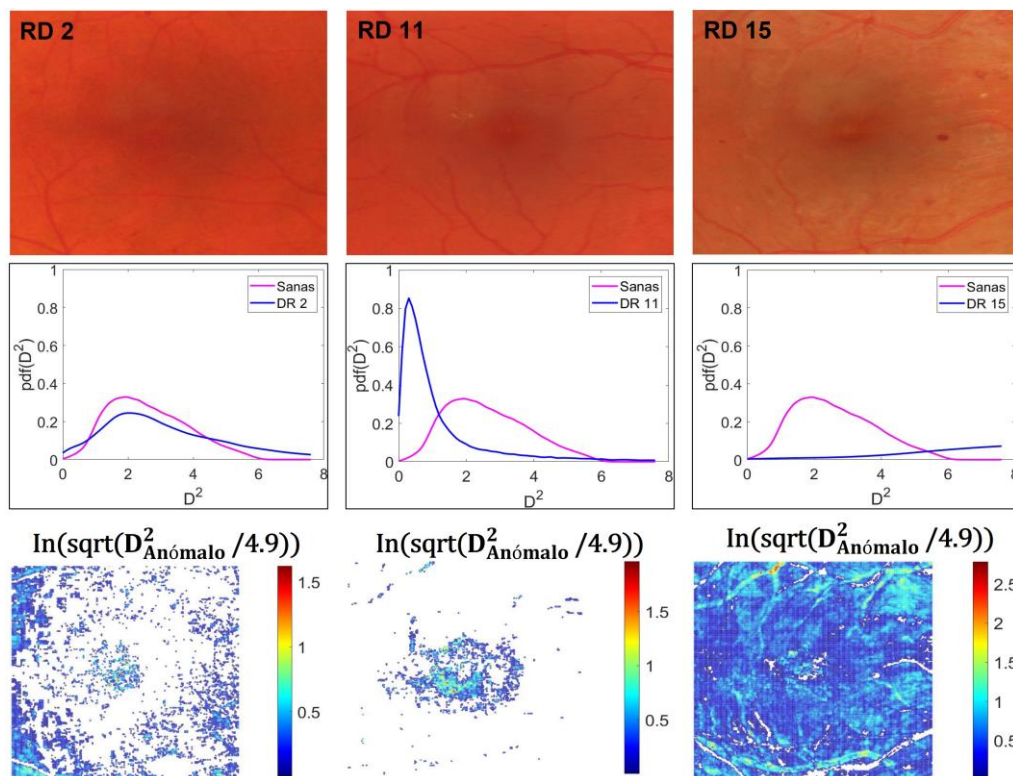


Figura 3. Resultados de la medida de la Distancia Mahalanobis para tres maculas de retinas con retinopatía diabética (DR2, DR11 leves y DR 15 avanzado). En la primera fila se muestran las imágenes de las tres maculas de las tres RD. En la segunda fila, se representan las $pdf_{Anómalo}(D^2)$ de las maculas patológicas frente al $pdf(D^2)$ de las retinas sana. En la tercera fila se señalan todos los puntos cuya $D_{Anómalo}^2(p)$ excede del valor limite considerado (4.9). Para facilitar la visualización se representa el valor $\ln(\sqrt{D_{Anómalo}^2}/4.9)$

En la Fig. 3 se puede ver que las distribuciones de probabilidad D^2 de las tres maculas patológicas (azul) se diferencian en ciertas zonas de la distribución media de probabilidad D^2 de las máculas sanas (fucsia), por lo cual necesitamos saber cuales son esos puntos o zonas anómalas en la imagen. De aquí procedemos a dibujar todos los puntos que están por encima del valor límite de la distancia Mahalanobis de las maculas sanas como se puede ver en la Fig. 3. En la tercera fila de la Fig. 3, se muestra los resultados del método descrito, aplicado a 3 retinas afectadas por la RD con distintos grados de patología que van de caso leve (RD 2) a casos más avanzado como la (RD 15). Como se puede ver en estas imágenes, además de dibujar los puntos anómalos de las mismas, este método nos proporciona una cuantificación de la patología de las imágenes, lo que permite saber el grado de la afectación de la macula analizada en comparación con las maculas sanas. En la Fig. 3 puede verse como a medida que progresa que la patología, las distribuciones de probabilidad se alejan más de la distribución de las retinas sanas, y las escalas que cuantifican el grado de patología de cada píxel aumentan (ver Fig. 3 abajo). En el caso leve aparecen afectados principalmente la zona de irrigación alrededor de la mácula, afectándose posteriormente ésta (imagen central) para, en el caso de una patología avanzada aparecer prácticamente toda la imagen como patológica.

4. Conclusiones

Se ha desarrollado un método de cuantificación de patología de mácula en retinopatía diabética para el análisis de imágenes de color YCbCr que parecen adaptadas a los cambios de claridad y croma que se producen en esta patología. El análisis estadístico de comparación con retinas sanas permite cuantificar el grado de patología de cada punto de la imagen correspondiéndose esta escala con la apreciación cualitativa de patología leve-severa que aparecen en las clasificaciones de las bases de datos de imágenes normalmente utilizadas. Estos trabajos apoyan resultados previos de los autores con otros sistemas de color y estructuras retinianas diferentes [7], lo cual abre la posibilidad de estudiar parámetros y sistemas de color generales en el estudio de características patológicas de imágenes retinianas.

Agradecimientos: Este trabajo fue desarrollado gracias a la beca predoctoral otorgada por la Universidad Complutense de Madrid y el Banco Santander (número de referencia CT82/20-CT83/20).

Bibliografía

- [1] D. Vaughan, T. Asbury, P. Riordan-Eva, J. Merigo Jane, J.A. Santos Pérez, P. Riordan-Eva, P. *Oftalmología general* (EL manual Moderno, 2000).
- [2] L.T. Sharpe, A. Stockman, H. Knaus, H. Jägle, “Macular pigment densities derived from central and peripheral spectral sensitivity differences”, *Vision Research*, 38(21), p. 3233-9 (1998).
- [3] K.S. Deepak, J. Sivaswamy, “Automatic assessment of macular edema from color retinal images”, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 31(3), p.766-76 (2012).
- [4] S. Bonafonte Royo, C. A. García. *Retinopatía diabética* (Mosby,1996).
- [5] R. Murray Spiegel, *Estadística Segunda Edición* (Schaum, McGraw-Hill, Madrid, 1991).
- [6] A. Budai, R. Bock, A. Maier, J. Hornegger, G. Michelson, “Robust Vessel Segmentation in Fundus Images”, *International journal of biomedical imaging*, 2013, p. 154860 (2013). Banco de datos imágenes: <https://www5.cs.fau.de/research/data/fundus-images/> , acceso, 4/05/2022.
- [7] A. Igalla El Youssfi, J.M. López Alonso, “Caracterización de zonas retinianas patológicas mediante distribuciones estadísticas de color y distancia de Mahalanobis”, *XIII Reunión Nacional de Óptica*, 22-24 noviembre, p. 81-82 (2021).