

Análisis de franjas de iluminación para evaluar integridad de lágrima.

Analysis of illumination fringes to evaluate tear integrity.

L. Dueñas-Corona¹, E. López-Calderón¹, L.E. Rocha-Ramírez¹, T. E. Taboada-Marmolejo¹, M. Calderón-Reyes², D. Jimenez-Pano², A. González-Vega¹, C. Villaseñor-Mora¹.

¹ Departamento de Ingenierías Química, Electrónica y Biomédica, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad 9 Guanajuato, Lomas del Bosque 103, Lomas del Campestre, 37150 León, Gto.

² Departamento de Ingeniería Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato, Lomas del Bosque 103, Lomas del Campestre, 37150 León, Gto.

 I.duenascorona@uqto.mx,
 e.lopezcalderon@uqto.mx,
 le.rocharamirez@uqto.mx,
 te.taboada.marmolejo@uqto.mx,

 m.calderon.reves@uqto.mx, d.jimenezpano@uqto.mx, gonzart@fisica.uqto.mx, vimcarlos@fisica.uqto.mx
 vimcarlos@fisica.uqto.mx
 vimcarlos@fisica.uqto.mx

Resumen

En este trabajo se propone una metodología para el análisis de imágenes de ojo iluminados por anillos de Plácido para la determinación de anomalías incluidas el análisis de integridad de lagrima. Se proponen 4 fases para el análisis de las imágenes: el primero corresponde a la segmentación de la pupila, la segundo corresponde a la caracterización de los anillos de iluminación, la tercera la segmentación detallada de cada anillo y la cuarta la detección de anomalías en los anillos.

Palabras clave: anillos de Plácido, lagrima, distorsión de anillos.

Introducción

Los ojos necesitan lágrimas para mantenerse saludables, sin molestias y para tener buena visión; cuando la lágrima se altera en algún sentido la funcionalidad del ojo disminuye notablemente, una de las alteraciones más comunes es la conocida como ojo seco, que ocurre cuando la capa acuosa de la película lagrimal disminuye su grosor causando que la capa de lípidos se engrose, provocando que la película lagrimal se vuelva más aceitosa y se altere su uniformidad esférica sobre la córnea.

La película lagrimal no solo protege e hidrata la córnea, sino que también forma la primera superficie refractiva para la luz que entra al ojo. Anteriormente se creía que la película lagrimal estaba compuesta por tres capas: una capa mucinosa, una acuosa y una capa lipídica. Sin embargo, publicaciones recientes, como el informe DEWS II Tear Film, describen la película lagrimal como una estructura de dos capas mezcladas: una capa mucoacuosa y una capa lipídica externa. Esto indica que las capas mucinosa y acuosa son más un continuum, con una mayor concentración de mucina más cerca de la superficie ocular. (Essential contact lens practice 5 – Assessment of the tear film)



Figura 1. Estructura de la película lagrimal (Essential contact lens practice 5 – Assessment of the tear film)



El ojo seco, conocido clínicamente como queratoconjuntivitis seca, se debe principalmente a la ruptura anormal de la película lagrimal en la superficie ocular, las principales razones para esta ruptura son la falta de volumen lagrimal y la calidad anormal de la capa acuosa en la lágrima. La estabilidad de la película lagrimal es esencial para la salud ocular, ésta depende de la cantidad y calidad de la lágrima, así como de una cinética lagrimal normal. Algunos factores que han contribuido al aumento gradual de la incidencia del síndrome de ojo seco son el uso común de aires acondicionados, mala ventilación y uso prolongado de computadoras, televisores y la contaminación del aire.

Existen diferentes métodos para el diagnóstico del ojo seco: examen con lámpara de hendidura, prueba de secreción lagrimal (Schirmer I y II), prueba de Tiempo de Ruptura de la Lágrima (BUT), biopsia de la superficie ocular, etc. (DONG, SHI, FU, & ZHOU, 2018)

En este trabajo se analizará el uso de un método basado en análisis de imagen adquirida de la película lagrimal donde se proyectan discos de placido para iluminarla; estos discos proyectan una serie de anillos concéntricos sobre la córnea. Para ello se utiliza la lámpara de hendidura con el sistema de proyección de los discos incorporado, y adquiriendo la imagen de la misma manera que se adquiere cuando se proyecta la hendidura, enfocando la superficie anterior de la córnea del paciente. Ejemplos de estas imágenes se pueden ver en la siguiente Figura 2, los anillos proyectados (Figura 2a) que proporcionan información sobre la curvatura y uniformidad de la superficie corneal, las distorsiones en los anillos reflejados indican irregularidades en la córnea (Figura 2b y 2c), permitiendo identificar y evaluar diversas afecciones oculares. En este caso, las imágenes se analizaron con un programa elaborado en MATLAB. (*MATLAB - El Lenguaje Del Cálculo Técnico,* 2024)



Figura 2. a) Imagen de anillos de placido. (Pinero, 2013) b) Distorsión en anillos de placido c) Imagen sin distorsión (Essential contact lens practice 6 - Contact lens selection, 2020)

A pesar de ser ampliamente utilizados, los sistemas basados en Placido presentan limitaciones como: que el círculo central es oscuro y, por lo tanto, no se obtiene información real de esa área central del ojo, están diseñados para capturar información a lo largo de los meridianos de forma radial, no proporcionando información directa de la geometría corneal de forma circunferencial, se utilizan aproximaciones basadas en algoritmos específicos que no son muy apropiados cuando se analizan córneas altamente irregulares. (Pinero, 2013)

El uso de discos de Placido permite obtener imágenes que reflejan las características de la superficie corneal y mediante el análisis de estas imágenes, es posible identificar irregularidades en la curvatura de la córnea. Este proyecto se enfoca en desarrollar un programa en MATLAB (B) (MATLAB - El Lenguaje Del Cálculo Técnico, 2024) que identifique automáticamente los círculos proyectados sobre la película lagrimal a partir de estas imágenes, que facilitará la identificación de los círculos y evaluará la regularidad para detectar anomalías como el ojo seco y anomalías en la capa de lípidos.

Materiales

Para el presente trabajo se utilizó MATLAB como principal herramienta para el procesamiento y análisis de las imágenes. Las imágenes se eligieron del siguiente grupo de artículos: (Bulpin & Hiscox, 2019), (Hiscox & Davison, 2019), (Essential contact lens practice 5 – Assessment of the tear film), (Essential contact lens practice 6 - Contact lens selection, 2020), (Fodor et al., 2010), (DONG, SHI, FU, & ZHOU, 2018), (Fu et al., 2020), (María Carmen Sánchez-González et al., 2022), (Pinero, 2013), (Guarnieri et al., 2020).

Metodología

1. Segmentación de la pupila y los anillos de iluminación

Con la finalidad de segmentar la película lagrimal sobre la córnea se realizaron diferentes abordajes, uno de los que inicialmente se planteó fue el uso del algoritmo de clustering DBSCAN, este algoritmo está basado en la densidad



de encontrar clústeres con formas variadas (a diferencia del método de k-means en donde se logran identificar esferas únicamente), esto se logra variando dos valores: épsilon y MinPts, esto debido a que al colocarnos en un punto cualquiera y si este tiene la cantidad de puntos mínimos (MinPts) en un determinado épsilon se formará un nuevo clúster, por el contrario, si no tiene suficientes puntos se marca como ruido. (MathWorks, s.f.)

Otra segmentación que se utilizó fue el Modelo de Mezcla Gaussiana (GMM), esta segmentación se basa en una combinación de probabilidades de varias distribuciones gaussianas, donde cada una de estas combinaciones representará a un clúster, en este caso se utilizó esta segmentación porque se busca lograr una segmentación en regiones de la imagen que comparten características similares, es decir, la intensidad (CAPITULO III: Mezcla de Gaussianas Para Clasificación 3.1 Modelos de Mezcla, n.d.). Para este algoritmo en particular primero se realiza la lectura de la imagen de interés, esta imagen se convierte a escala de grises, y posteriormente haciendo uso del método del codo se establece el número óptimo de clústeres que arroje el valor mínimo del criterio de información bayesiano (BIC), esto asegura que se tiene un buen balance entre el ajuste y la complejidad del modelo probabilístico. Finalmente, la segmentación se realiza considerando este número de clústeres y utilizando un GMM, donde según la distribución de intensidad será la agrupación de los pixeles en los clústeres, de esta manera se logra encontrar el clúster que corresponde a la pupila, en este caso los de menor intensidad y se aplica una máscara que enmarque esta región.

También se utilizó un tercer método para la segmentación de la pupila, este método es conocido como Método de Otsu, este método elige un umbral que minimiza la varianza interclase de los píxeles blanco y negros pasados por el umbral (España, MathWorks, s.f.). Lo que se realiza es un ajuste del Threshold y del umbral de intensidad donde las imágenes tratadas se menosprecian lo que está por debajo de este umbral, quedándose con lo requerido.

Los resultados de esta sección pueden consultarse en la Tabla 1.

2. Caracterización de los anillos de iluminación

2.1 Centro de los anillos

- <u>Método 1</u>: en este primer método se utilizó la detección de bordes de tipo Canny sobre las imágenes obtenidas en la 0 segmentación Gaussiana, posteriormente se encontraron los círculos de la imagen con los bordes detectados utilizando la función de MATLAB "imfindcircles" la cual utiliza un método basado en un algoritmo de detección de círculos que se deriva del algoritmo de Hough para círculos, utilizando dicha función se ajustaron algunos parámetros tales como el alcance del radio de los círculos a buscar (de 15 a 100) y el factor de sensibilidad a 0.9, una vez hecho lo anterior se encontró el radio de mayor valor debido a que se observó que justamente este círculo era aquel que tenía su centroide lo más cercano al centro de la pupila; sobre este círculo, específicamente sobre las coordenadas de su centro y el tamaño de su radio se hicieron dos ciclos for, sobre los cuales se fueron haciendo círculos con el mismo centro que el círculo de mayor radio, pero incrementando y luego decrementando el valor de su radio en "uno", para encontrar todos aquellos círculos cuvo perímetro coincidiera con éste en un porcentaie del 40-80% de pixeles blancos (cabe mencionarse que estos porcentajes se obtuvieron a prueba y error después de varias corridas del código) esto debido a que con ello se quería encontrar el círculo más cercano a la transición de zonas claras y oscuras de la pupila sin importar el ancho que los anillos reflejados sobre el ojo pudieran tener, sin embargo, con este procedimiento se encontraban círculos de radio muy similar (variaban en uno o dos pixeles), por tanto, se tomó el promedio de estos para tener únicamente un círculo en cada transición de blanco a negro, esto específicamente se logró colocando un umbral threshold de 5.
- Método 2: En este método, después de la segmentación threshold, se utilizó imfindcircles y la transformada de Hough. De los círculos detectados, se seleccionó solo el más centrado en la imagen. Este círculo se redujo en un 40% y luego se siguió reduciendo hasta que al menos el 80% de los píxeles en su perímetro fueran negros. A partir de este primer círculo reducido, se creó uno nuevo cuyo radio excedía en un 40% al del primero. Este nuevo círculo se expandió hasta que al menos el 55% de los píxeles en su perímetro fueran negros. Luego, se calculó la distancia entre los círculos, se le llamó "anchura zona blanca" y se crearon cinco nuevos círculos a partir del segundo círculo formado. Estas nuevas circunferencias tenían un radio 1.32 veces mayor que el del círculo anterior más la anchura de la zona blanca y se expandieron hasta que al menos el 80% de sus píxeles fueran negros.

Para los círculos siguientes, se siguió el mismo procedimiento, con la excepción de que se expandieron 1.5 veces más que el círculo anterior más la anchura de la zona blanca y luego se redujeron hasta detectar un máximo de 1-10% de píxeles blancos. Los resultados de esta sección pueden consultarse en la Tabla 2e.



2.2 Ancho de los anillos

Para el cálculo del ancho de los anillos se calculó la diferencia de radios del círculo exterior menos el interior, este cálculo se repitió tanto para la sección blanca como la negra. Los resultados de esta sección pueden consultarse en la Tabla 3.

3. Segmentación detallada de cada anillo

Para hacer un análisis más preciso sobre cada anillo fue necesario la creación y uso de máscaras, esto se realizó sobre la segmentación usando el Modelo de Mezcla Gaussiana (GMM). Se colocaron valores de "1" desde el centro hasta el primer círculo encontrado, luego se asignaron valores de "0" desde el primer anillo hasta el segundo anillo y así sucesivamente hasta llegar al último círculo, a continuación, la máscara se multiplicó por la imagen obtenida en la segmentación Gaussiana, obteniendo las anomalías que se encontraban en las zonas oscuras de la imagen adquirida. Para localizar las anomalías en la zona clara se calculó el inverso de la máscara antes descrita; la nueva máscara se multiplicó por la imagen segmentada, conformando así las anomalías sobre las regiones claras. Finalmente se conjuntaron ambos tipos de anomalías. Los resultados de esta sección pueden consultarse en la Tabla 4.

4. Determinación de anomalías en los anillos

4.1 Pestañas vs anomalías

Se trabajo sobre las imágenes obtenidas de la segmentación GMM debido a que el ruido causado por las pestañas en la córnea era mínimo, así pues la cantidad de anomalías presentes en la pupila sería más exacta, esto se obtuvo de manera cuantitativa al etiquetar el resultado final de las multiplicaciones de la imagen segmentada por las máscaras realizadas, el etiquetado se hizo con una función de MATLAB llamada "bwlabel" en donde se extrajo la cantidad de elementos conectados entre sí y la imagen de etiquetas, sin embargo, al desplegar el número de elementos conectados entre sí se obtuvieron cantidades muy grandes por pequeños puntos que realmente no consideramos que tuvieran gran importancia médica, por tanto, se colocó una especie de filtro en el que sí el área de la etiqueta era menor o igual a 50 entonces no se consideraría la etiqueta para luego hacer un etiquetado RGB y luego mostrarlo sobre la imagen original, es decir, sobre la imagen con la que se hizo la segmentación. Los resultados de esta sección pueden consultarse en la Tabla 5.

Los códigos realizados se encuentran en el siguiente repositorio de GitHub: <u>https://github.com/Leyre-Rocha/Verano-de-la-Ciencia-XXIX.git</u>.

Resultados



1. Segmentación de la pupila y los anillos de iluminación





Para los siguientes procedimientos solo se consideraron tres imágenes ya que, por cuestiones de tiempo no se lograron optimizar los códigos para que pudieran funcionar en toda la base de datos que se tenía como referencia.

2. Caracterización de los anillos de iluminación

2.1 Centro de los anillos

<u>Método 1</u>:







Tabla 2. Resultados obtenidos en la obtención del centro de la pupila, a partir del cual se construyeron los demás círculos utilizados para la detección de cambios de blanco a negro en la imagen segmentada.

2.2 Ancho de los anillos



Tabla 3. Obtención de la cantidad de anillos encontrados en la pupila a partir de la diferencia de los radios entre dos círculos consecutivos.



3. Segmentación detallada de cada anillo



Tabla 4. Máscaras obtenidas para cada imagen a partir de los círculos detectados para posteriormente multiplicar cada máscara por la imagen segmentada y así poder obtener las anomalías; es decir, zonas claras en donde debería de haber únicamente zonas oscuras y viceversa, nótese que al colocar el filtro de etiquetado a partir de cierta área la cantidad de anomalías reduce considerablemente.



4. Máscaras obtenidas para cada imagen a partir

4.1 Pestañas vs anomalías

<u>Método 1</u>:



Tabla 5. Resultados cuantitativos de detección de anomalías en la pupila para las tres imágenes utilizadas. Para mayor comodidad y un mejor entendimiento se colocaron estas anomalías directamente sobre la imagen original a estudiar.

Conclusiones

Los resultados reportados en este trabajo son satisfactorios desde el punto de vista cualitativo para los 3 casos estudiados; es necesario que un médico especialista corrobore los falsos positivos y falsos negativos de las anomalías identificadas y queda como trabajo futuro el poner aprueba la confiabilidad de los algoritmos ante imágenes nuevas. Por el momento se tiene claro que, para una buena adquisición de imagen del ojo a analizar, éste debe estar suficientemente abierto, de tal forma que las pestañas y parpados no interfieran en la imagen. La calidad de las imágenes adquiridas debe ser alta por lo que se recomienda grabarlas en un formato sin pérdida de datos como, por ejemplo, PNG. La persona debe colocarse de manera centrada procurando que la pupila se ubique lo más centrado posible en la imagen, y la pupila debe estar preferentemente dilatada.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado de la Universidad de Guanajuato por el financiamiento otorgado a los estudiantes involucrados en este proyecto.



Bibliografía

 Bulpin, C., & Hiscox, R. (2019). Essential Contact Lens Practice 3 - Initial Examination, Refraction and Corneal Assessment.

 CAPITULO
 III:
 Mezcla
 de
 Gaussianas
 para
 clasificación
 3.1
 Modelos
 de
 Mezcla.
 (n.d.).

 http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_a_e/capitulo3.pdf
 Mezcla
 Mezcla
 Mezcla
 Mezcla

DONG, Y.-f., SHI, L.-I., FU, W.-w., & ZHOU, Z. (2018). Design and Implementation of Dry Eye Detection Illumination Imaging System Based on Placido Disc. Elsevier Ltd, 1.

Essential contact lens practice 5 – Assessment of the tear film. (s.f.). Optician Online - CPD Archive., 1.

Essential contact lens practice 6 - Contact lens selection. (2020). Optician- CPD Archive., 5.

España, M. (s.f.). MathWorks . Obtenido de Umbral de imagen global usando el método de Otsu - MATLAB graythresh : https://es.mathworks.com/help/images/ref/graythresh.html

Fodor, E., Hagyó, K., Resch, M., Somodi, D., & Németh, J. (2010). Comparison of Tearscope-plus versus Slit Lamp Measurements of Inferior Tear Meniscus Height in Normal Individuals.

Fu, P.-I., Fang, P.-C., Ho, R.-W., Chao, T.-C., Cho, W.-H., Lai, H.-Y., Hsiao, Y., & Kuo, M. (2020). Determination of Tear Lipid Film

Thickness Based on a Reflected Placido Disk Tear Film Analyzer. Diagnostics, 10(6), 353–353.

https://doi.org/10.3390/diagnostics10060353

Guarnieri, A., Carnero, E., Bleau, A.-M., López de Aguileta Castaño, N., Llorente Ortega, M., & Moreno-Montañés, J. (2020). Ocular surface analysis and automatic non-invasive assessment of tear film breakup location, extension and progression in patients with glaucoma. BMC Ophthalmology, 20(1). https://doi.org/10.1186/s12886-019-1279-7

Hiscox, R., & Davison, A. (2019). Essential contact lens practice 4 – Slit lamp examination.

MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico. (2024). Mathworks.com. https://la.mathworks.com/products/matlab.html

MathWorks. (s.f.). MATLAB & Simulink . (MathWorks América Latina) Recuperado el 09 de Julio de 2024, de https://la.mathworks.com/help/stats/dbscan-clustering.html

María Carmen Sánchez-González, Raúl Capote-Puente, Marta-C García-Romera, Concepción De-Hita-Cantalejo, María-José Bautista-Llamas, María-Carmen Silva-Viguera, & José-María Sánchez-González. (2022). Dry eye disease and tear film assessment through a novel non-invasive ocular surface analyzer: The OSA protocol. Frontiers in Medicine, 9. <u>https://doi.org/10.3389/fmed.2022.938484</u>

 Pinero, D. P. (18 de octubre de 2013). Technologies for Anatomical and Geometric Characterization of the Corneal Structure and Anterior
 Segment:
 A
 Review.
 Obtenido
 de

 https://www.researchgate.net/publication/258212751_Technologies_for_Anatomical_and_Geometric_Characterization_of_the_Corneal_Structure_and_Anterior_Segment_A_Review.
 Obtenido
 de