

CAPÍTULO 6. Conclusiones y líneas futuras de investigación

En primer lugar, se va a comprobar si se han cumplido los objetivos que se marcaron para el presente proyecto en el capítulo 1.

Se deseaba tener un algoritmo automático para la detección de exudados duros, con el fin de diagnosticar la retinopatía diabética de forma precoz, debido a que no se puede evitar su evolución en las fases más avanzadas de la misma. En los capítulos anteriores se ha descrito primero y probado después un algoritmo para detectar EDs totalmente automático, donde no es necesaria la presencia o seguimiento de un especialista. El algoritmo tiene definido todos sus parámetros y en el momento en el que se ejecuta para una imagen no necesita la intervención de un humano. Esto facilita la tarea del especialista a la hora de clasificar los pacientes que realmente necesitan más atención o tratamiento adecuado para su dolencia.

Otro requisito que se pedía era que el algoritmo funcionara con el número máximo de imágenes posibles. Gracias al preprocesado se consigue una normalización en color y contraste que hace al algoritmo independiente de las características de iluminación o color de la imagen a analizar. En el capítulo 5 se ha descrito detalladamente el resultado obtenido para 27 imágenes diferentes. Como se ha podido observar, salvo algunas particularidades de algunas de ellas, el algoritmo da un buen resultado para el primero objetivo descrito anteriormente. El hecho de que no se detecten todos los exudados de la imagen no es determinante, ya que lo que se pretende es indicar si la imagen tiene o no exudados, donde el que no se indiquen algunos exudados muy pequeños es un hecho irrelevante. Además, los exudados duros aparecen en grupos, no aislados, por lo que la detección de algunos de ellos indica que el paciente padece retinopatía diabética, que es el fin principal de este proyecto.

A su vez es importante conseguir una eficiencia en el tiempo a la hora de ejecutar el algoritmo sobre un gran grupo de imágenes. La detección de exudados se puede ver como una tarea en sí sola o como parte de un gran sistema implementado en una herramienta CAD donde se busque cualquier síntoma o presencia de la retinopatía diabética, de ahí la importancia de que no tarde mucho. Al comienzo del apartado 5 se indica el tiempo medio de ejecución del algoritmo sobre una imagen. Este tiempo dependerá del tipo de imagen, ya que una imagen limpia no procesará muchos datos y, por el contrario, una imagen con muchas manchas necesitará más procesado y, por tanto, mayor coste computacional y mayor tiempo de ejecución. Éste último es totalmente asequible, permitiendo ejecutar el algoritmo para un gran número de imágenes al día. Para ello se disminuyó la resolución de las imágenes, que como se ha podido comprobar, no afecta al funcionamiento siendo más que suficiente para la tarea a realizar.

Una vez se ha comprobado que los objetivos marcados se han conseguido con éxito, se analizará algunas líneas donde sería conveniente seguir avanzando.

En el post-procesado, se detectan los bordes de la imagen en función de la fuerza del borde usando el operador de Kirsch. De todos los bordes que se obtienen, el algoritmo se queda con aquéllos que superan un cierto umbral, α_1 . La elección correcta de este umbral lleva a una relación de compromiso para no tener en el resultado final falsos positivos o para no dejar de detectar exudados presentes en la imagen. En la implementación del algoritmo se ha elegido experimentalmente un valor de dicho umbral para que diese un resultado óptimo en el mayor número de imágenes. Es cierto que cada imagen tendrá unas características de color, contraste e iluminación, que aunque se intenten normalizar en el preprocesado, siempre cada una de ellas será única. Como se ha visto en el capítulo 5, hay algunas imágenes para las que faltan algunos pequeños exudados por detectar. Esto no es un problema por lo comentado anteriormente, siempre y cuando se detecten otros exudados presentes en la imagen. En cambio, hay otras imágenes en las que tras umbralizar la imagen de bordes se mantienen algunos bordes de vasos sanguíneos que al final etapa tras etapa quedan en el resultado. Para

solucionar esto se puede plantear una detección de todos los vasos sanguíneos de la imagen, enmascarándolos del resultado.

Para algunas imágenes analizadas aparece en el resultado final alguna zona del borde de la retina. En ellas hay una zona en el borde que por iluminación desigual es más amarillenta que el resto del fondo de imagen y se clasifica como exudado. Se tendrían que eliminar durante el post-procesado, pero como también a veces aparece el borde de la retina en la imagen umbralizada tras aplicar el operador de Kirsch, no se descarta en la dilatación por reconstrucción entre I_{class} e $I_{fuerza-borde}$. Se propone, al igual que con los vasos sanguíneos, detectar enmascarar el borde de la retina para no tenerlo en cuenta cuando se busquen los bordes de la imagen. Una forma de hacer esto sería mediante una máscara obtenida inicialmente con umbralización, por ejemplo.

Una interesante propuesta es adaptar el algoritmo a espacios de color uniformes, en especial CIELAB con distancias avanzadas CIEDE2000 y CIE94. CIELAB fue propuesto por la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) como una aproximación a un espacio de color uniforme que fuera perceptivamente lineal, es decir, un cambio en un valor de color produce un cambio proporcional al efecto visual. Se obtiene como una transformación matemática del espacio XYZ en la cual se fija un blanco de referencia. Los tres ejes que lo forman son: L^* (luminosidad), a^* (tonalidad de rojo a verde) y b^* (tonalidad de amarillo a azul). Dados dos colores (L^*_1, a^*_1, b^*_1) y (L^*_2, a^*_2, b^*_2) se puede calcular la distancia o diferencia de color entre ambos con las diferentes distancias que también la CIE define. De especial interés son las distancias CIE94 y CIE2000 (obtenida como mejora de la anterior, ya que ésta no resolvía adecuadamente la uniformidad perceptual). Para el problema en cuestión, sería interesante usar estas medidas para realizar la clasificación de los píxeles de la imagen. Las dos clases existentes serían representadas por un valor medio en el espacio CIELAB, para más tarde calcular las distancias de cada píxel a ambas clases para así comprobar de cuál está más cerca y así asignar una u otra. Haciendo el mismo proceso con las dos distancias mencionadas anteriormente, se podría hacer una comparación para elegir cuál es mejor.

Por último, se dejaron para el final el análisis de las imágenes que tenían el disco óptico ausente. Los errores que se obtienen no se han podido evitar, ya que el algoritmo se hizo totalmente automático contando con la presencia del disco óptico y de los vasos que emanan de él para su correcta detección. Se puede crear una interfaz donde el usuario indique la presencia o la ausencia del disco óptico para, según en qué caso, detectar o no el disco óptico. Tampoco se ha implementado esto en el algoritmo programado para evitar hacer el algoritmo no automático totalmente.

Se puede concluir que el algoritmo descrito e implementado en este proyecto consigue todos los objetivos que se marcaron en un principio, sirviendo en la investigación actual sobre la retinopatía diabética en la ayuda en la detección temprana de la enfermedad en pacientes diabéticos.