

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

La diferencia entre el estándar de oro (primer observador humano) de la base de datos DRIVE y la segmentación realizada por el segundo observador muestra que la extracción de vasos sanguíneos en imágenes de fondo de ojo no es una tarea fácil. Hay muchos factores que complican la segmentación manual de estas imágenes. Los vasos pequeños son difíciles de ver, especialmente si la anchura no es mayor que un píxel. La compresión JPEG dificulta la segmentación de esos vasos. Otro efecto de esta compresión es que la localización del borde de los vasos más grandes llega a ser difícil de establecer, por todo esto, píxeles que son incluidos en el primer observador no pueden ser incluidos por el segundo. Un factor final es el tiempo utilizado en la segmentación manual, el cual se encuentra en torno a las 2 horas usando una simple herramienta de dibujo. Cuando los tiempos de detección de vasos son tan grandes, la fatiga del observador humano puede causar una pérdida de precisión en la segmentación.

La elección de un buen criterio para medir el resultado de algoritmos de segmentación de vasos no es trivial. Si un método obtiene mejores resultados que el otro es sumamente dependiente de la aplicación en la cual el algoritmo es usado. En este estudio se ha usado la exactitud media como criterio porque el objetivo era ver que método podría segmentar con mayor precisión las imágenes de la base de datos con respecto al estándar de oro de DRIVE. Una desventaja, en este sentido, es que los vasos más anchos tienen una mayor influencia en el resultado final que los vasos más pequeños. Las diferencias entre la segmentación automática y la manual son inmediatamente obvias. Muchos de los vasos más pequeños del estándar de oro y de la segunda segmentación manual de la base de datos DRIVE no son en parte visibles en las segmentaciones automáticas. En una aplicación donde es crítica la detección de vasos pequeños se podría marcar como un método "mejor" aquel que tuviera una exactitud media menor y pudiera segmentar muchos de los vasos más pequeños.

El método propuesto en este proyecto ha probado ser una herramienta valiosa para la segmentación de la red vascular en retinografías. Los resultados mostrados en las tablas de las figuras 5.5 y 5.6 muestran que, si la exactitud media es usada como medida del resultado, los valores obtenidos con nuestro algoritmo son comparables, e incluso en algunos casos superior, a los resultados recientemente publicados y muy aproximados a los resultados del observador humano.

El método aplicado puede ser clasificado como un estudio basado en el procesamiento de píxeles. El paso inicial de la detección de líneas centrales combina información local, usada para la selección temprana de píxeles, con características estructurales, como la longitud del vaso. Características globales de intensidad e información local de anchura de vasos son explotadas en la posterior fase de relleno de vasos. Una característica considerable del método es su adaptación a las propiedades particulares de la intensidad de la imagen, ya

que muchos ajustes del algoritmo están basados en valores de umbral calculados a partir de la información local o global de la imagen.

Cuando comparamos con otros enfoques de segmentación de vasos, el presente proyecto asigna una clasificación estricta a cada punto de la imagen. Como alternativa, la asociación de un valor representativo de la probabilidad de pertenecer a un vaso puede ser una característica interesante de la metodología de segmentación.

La detección de líneas centrales es un paso esencial que condiciona los resultados de la segmentación global. De hecho, el uso del esqueleto de la vasculatura de la retina tiene varias ventajas, principalmente la exclusión de segmentos ruidosos y la detección acertada de vasos finos. Sin embargo, como consecuencia del proceso de agregación usado en la fase de rellenado, cuando una línea central de un vaso se pierde, el correspondiente vaso segmentado normalmente no se incluye en el resultado final.

En la imagen que ilustra la detección de líneas centrales de vasos (figuras 4.19) puede observarse algunas fragmentaciones en las líneas centrales de los vasos más grandes. Esto es una consecuencia de la regla adoptada para asociar el punto de la línea central con el valor de intensidad más alto en la sección cruzada del vaso. Esta regla favorece la localización correcta de vasos finos, pero penalizada a los grandes, que frecuentemente presentan un descenso de intensidad en la parte central del vaso, conocida como reflejo central; cuando esta situación ocurre, los segmentos candidatos a líneas centrales son a veces fragmentados, y los pequeños segmentos son frecuentemente borrados en los pasos iniciales del proceso. Otras soluciones como la localización de candidatos a líneas centrales en la posición del valor positivo más alto (o negativo) de la respuesta derivada del filtro pueden incrementar la continuidad de segmentos de líneas centrales de vasos grandes pero la precisión en la segmentación de vasos finos es claramente pobre.

Si se evalúa cualitativamente los resultados de la segmentación, los principales tipos de error que se encuentran son los siguientes:

- I. Detección de otras estructuras de la retina, como el disco óptico, varias áreas patológicas y estructuras de fondo.
- II. Baja segmentación de algunos segmentos de vasos.
- III. Parcial, o completa, pérdida de ramificación de vasos finos.

El primer y tercer tipo de error están normalmente relacionados con la fase de detección de líneas centrales, y muchas de las veces están interconectados. Actualmente los operadores usados para la localización de puntos de línea central también generan respuestas significantes en regiones con varias transiciones de intensidad, como los bordes en el disco óptico o bordes de lesiones cercanas. Aunque una parte del disco óptico es algunas veces visible en algunas de las imágenes segmentadas, el proceso de relleno tiende a disminuir esta situación. La baja segmentación de regiones de vasos ocurre en unas pocas imágenes como

consecuencia de la variedad de intensidades y contrastes junto a los vasos o regiones de vasos. Aunque muchas de esas variaciones son naturalmente compensadas por el paso de mejora, la necesidad de discriminar entre segmentos válidos y ruido de fondo previene la reconstrucción de algunas áreas de vasos. Algunas de las malas detecciones arriba mencionadas pueden ser minimizadas o incluso, eliminadas, si un proceso de clasificación más flexible es considerado para cada punto de la imagen, en lugar del presente que etiqueta simplemente como vaso o no vaso. Una localización inicial del disco óptico puede atenuar también la incorrecta clasificación en esta región y podría mejorar la ejecución global del método excluyendo el área del análisis.

El tiempo de proceso del algoritmo se encuentra en torno a los 5 minutos en un intel centrino core i2 duo T5500 a 1.6Ghz con 2Gb de RAM.

Después de lo comentado se pueden analizar de forma resumida los objetivos que fueron propuestos en la sección 1.2:

- Encontrar método automático para cualquier tipo de imágenes: como ya ha sido comentado puede ser adaptado a cualquier formato de imagen siempre y cuando se haga un estudio previo de éstas para así darles valores a δ y $\min_npuntos$. También influye la calidad de la imagen viendo si esta contiene algún tipo de patología, que al igual que el disco óptico, pueden ser detectados mediante otros tipos de algoritmos ya implementados y así tener menor influencia a la hora de la detección de la red vascular
- Parámetros de precisión, especificidad y sensibilidad: el primero y el segundo de ellos han conseguido ser en media superiores a otros algoritmos mientras que el último como ya se ha nombrado está cerca de los valores existentes en otras implementaciones
- Tiempos de ejecución: Este tiempo no es muy grande y puede ser implementado perfectamente en un entorno clínico en tiempo real.

8.1 LÍNEAS FUTURAS

Como posibles líneas futuras se proponen las siguientes:

- Como ya se ha comentado, se podrían mejorar los resultados localizando inicialmente el disco óptico y las patologías existentes así como intentar mejorar las características de iluminación y contraste, intentando así eliminar las zonas oscuras que aparecen en ciertas regiones.
- Probar con otro tipo de representaciones monocromáticas como la componente a^* de la especificación $L^*a^*b^*$.
- Una posible mejora de la aplicación sería diseñar un programa que calcule la anchura y longitud de cada uno de los vasos segmentados, implementando primero un algoritmo que detecte los puntos de bifurcación de la red vascular para así poder distinguir los vasos más fácilmente.