

DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE MICROANEURISMAS EN ANGIOGRAMAS DE RETINA

José Manuel Cordero García, Carmen Serrano Gotarredona, Begoña Acha Piñero

Área de Teoría de la Señal, Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla
e-mail: josemacordero@hotmail.com

RESUMEN

En este artículo se presenta un nuevo método de detección automática de microaneurismas en angiogramas de retina, con el objetivo de servir de ayuda al diagnóstico de la retinopatía diabética en su etapa más precoz. Las características de esta enfermedad aconsejan un pronto diagnóstico, para el que resultan idóneas estas pequeñas lesiones retinianas, que se manifiestan especialmente claras en los angiogramas fluoresceínicos. El algoritmo propuesto para su detección y recuento se basa en la compensación ante variaciones locales y globales de las características de las imágenes, en la morfología matemática particularizada en el filtrado *Top-Hat* y en la validación de los microaneurismas a partir de tres novedosos criterios: intensidad, contraste y forma, que se combinan de forma que, tras haberse probado en diversos casos, se obtiene una tasa de acierto que habitualmente supera el 80%. Asimismo, se ha desarrollado un interfaz gráfico amigable que facilita su uso por parte del médico.

1. INTRODUCCIÓN

La retinopatía diabética es una temida complicación de la diabetes, puesto que constituye la mayor causa de ceguera y una de las mayores causas de pérdida de visión dentro de la población trabajadora de los países desarrollados. Este efecto puede reducirse si la enfermedad se diagnostica suficientemente pronto, lo cual resulta complicado a causa de que los defectos de visión, que conducen al paciente a un examen médico, se presentan en etapas avanzadas de la afección. Resultaría, por tanto, conveniente, llevar a cabo un examen sistemático de los pacientes diabéticos, para el que es fundamental la presencia de un método de detección automática que sirva de apoyo al diagnóstico y reduzca el tiempo que necesita el oftalmólogo para llevar a cabo estos exámenes.

Dado que se pretende llevar a cabo un diagnóstico precoz, deben buscarse los síntomas iniciales de la enfermedad. Entre éstos aparecen, de forma especialmente relevante, los microaneurismas, que son pequeñas dilataciones de los vasos sanguíneos que irrigan la retina. Estas lesiones son particularmente visibles en angiogramas fluoresceínicos, donde aparecen

como pequeños objetos redondos e hiperfluorescentes, y constituyen un síntoma inequívoco de la enfermedad.

Asimismo, su número es un importante indicador del grado de progresión de la enfermedad. Sin embargo, el recuento manual de microaneurismas es una tarea que supone un cierto tiempo y está abierta al error humano, por lo que resulta aconsejable llevar a cabo este recuento de forma automática.

Por todo esto, se ha diseñado un nuevo algoritmo de detección y recuento de microaneurismas en angiogramas de retina, que se basa en otros métodos previos [1],[2] mejorando sus resultados incluso con imágenes de menor calidad, apoyándose en nuevas formas de procesado, segmentación y validación de microaneurismas.

Igualmente, y para facilitar su uso al profesional médico, se ha desarrollado un interfaz gráfico amigable que permite llevar a cabo la detección de microaneurismas según el método diseñado, siendo además totalmente configurable por parte del usuario. Actualmente, este sistema se encuentra a totalmente operativo.

Así, los procedimientos que constituyen el algoritmo y llevan a cabo el procesamiento y análisis de la imagen se presentan en la sección que sigue, mientras que la Sección 3 se dedica a la presentación de resultados. Finalmente, en la última sección se presentan algunas conclusiones.

2. METODOLOGÍA

Dentro del método pueden distinguirse, principalmente, dos etapas o fases de procesamiento:

- Preprocesado, donde se minimizan las variaciones locales y globales de intensidad en los angiogramas de retina y, posteriormente, se resaltan las regiones buscadas utilizando, principalmente, filtrados morfológicos.

- Detección, donde se lleva a cabo una segmentación por crecimiento de regiones totalmente automática, se validan los microaneurismas que cumplen los criterios y se lleva a cabo el recuento de los mismos.

El esquema del método completo con cada uno de los pasos que se llevan a cabo se muestra en la Figura 1. La etapa de preprocesado incluye hasta el filtro gaussiano, correspondiendo el resto a la segunda fase, la de detección y recuento.

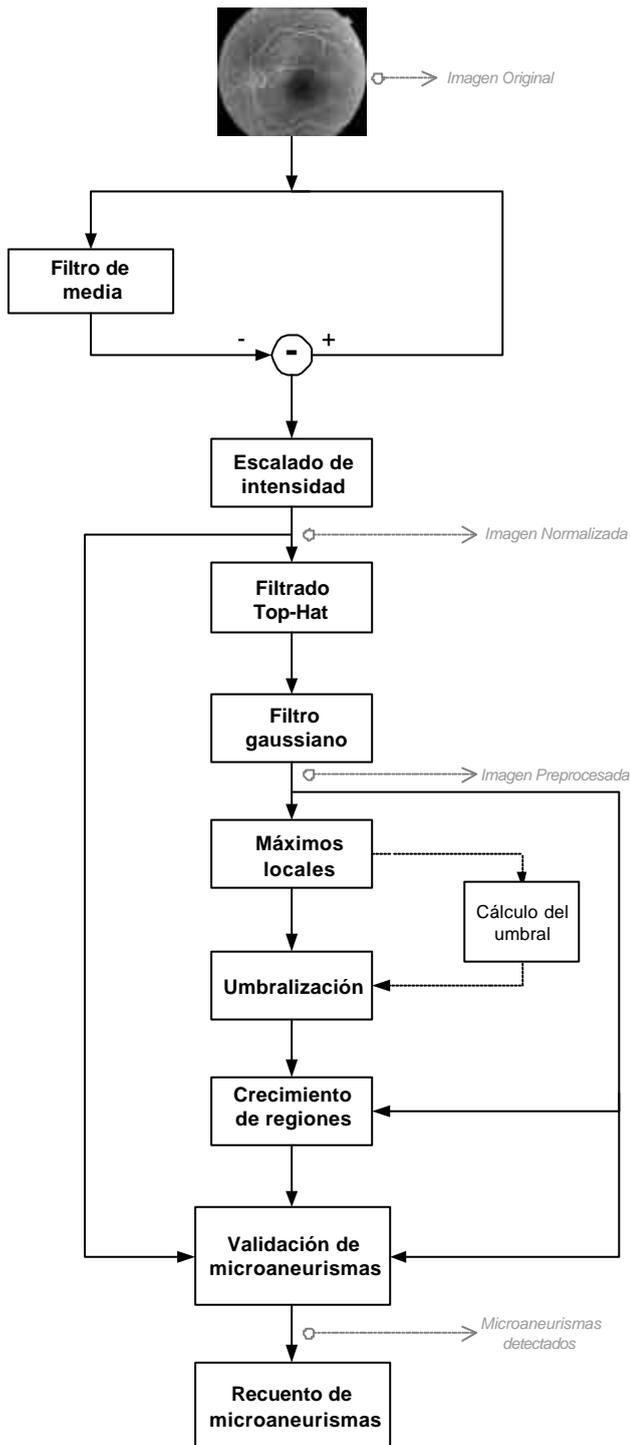


Figura 1: Diagrama de bloques del método

2.1. Preprocesado

En esta etapa inicial se recibe la imagen digitalizada, que puede presentar características de intensidad muy distintas a otras imágenes utilizadas, y se homogeneiza de forma que se compensen estas diferencias.

Para esto, se lleva a cabo, en primer lugar, una normalización de la intensidad de fondo, mediante la sustracción píxel a píxel a la imagen original de una imagen filtrada en media con una ventana de gran tamaño, típicamente 31x31 para imágenes de tamaño 1024x1024 o similares, seguida de un escalado de

intensidad donde se expande el histograma todo lo posible, puesto que el resultado de la sustracción es una imagen con un rango dinámico muy reducido. Esta expansión contempla una reducción de la cola de valores residuales del histograma de la imagen resta de forma que se pueda expandir de forma efectiva y maximizar el contraste.

Llegados a este punto, aparece la clave del método: la morfología matemática [3],[4]. Concretamente, se utilizará el filtro *Top-Hat* de apertura, que permitirá, realizando filtrados sucesivos con elementos estructurales de distintas orientaciones, eliminar el árbol vascular quedándonos solamente con los microaneurismas y estructuras semejantes. La base de esta eliminación es que cada rama del árbol vascular puede descomponerse en segmentos rectos, a lo que se añade el hecho de que filtrar *Top-Hat* una imagen con un elemento estructural en una orientación determinada resulta en la eliminación de todos los segmentos de la imagen con dicha orientación.

Por último, se lleva a cabo un filtrado gaussiano a fin de enfatizar los microaneurismas, puesto que la forma de éstos puede modelarse como una gaussiana bidimensional, con lo que tenemos un filtro adaptado que realza los microaneurismas al tiempo que reduce el ruido. De todo esto resulta una imagen preprocesada que tendrá eliminado en gran medida el árbol vascular y presentará múltiples regiones circulares.

2.2. Detección

Partiendo de la imagen anterior, el primer paso consiste en la segmentación de las regiones candidatas. Para ello, se ha optado por un método de crecimiento de regiones a partir de semillas, con la particularidad de que éstas se obtienen automáticamente.

Con este fin, y considerando la forma gaussiana de los microaneurismas, se procede en primer lugar a la localización de todos los máximos locales de intensidad que presenta la imagen. De este conjunto, tan sólo serán considerados semillas de regiones aquellos que verifiquen que su valor de intensidad es mayor que un cierto umbral dependiente de la imagen. Este umbral es la suma de la media y la desviación típica de todos los máximos locales detectados, y proporciona una buena discriminación de las estructuras de interés en todos los casos probados, razón por la cual se ha elegido.

Una vez obtenidas las semillas, se segmentan a partir de ellas las regiones candidatas. El algoritmo de segmentación elegido es una modificación del propuesto por Bankman en [5], denominado *Hill-Climbing* y concebido inicialmente para segmentación de microcalcificaciones en mamografías. Sin embargo, la condición de crecimiento monótonico hacia un máximo local que requiere este método se verifica en los microaneurismas, por lo que resulta adaptable a estas regiones proporcionando una adecuada segmentación en un tiempo computacional reducido.

Determinados los segmentos candidatos a microaneurisma, el siguiente paso consiste en la

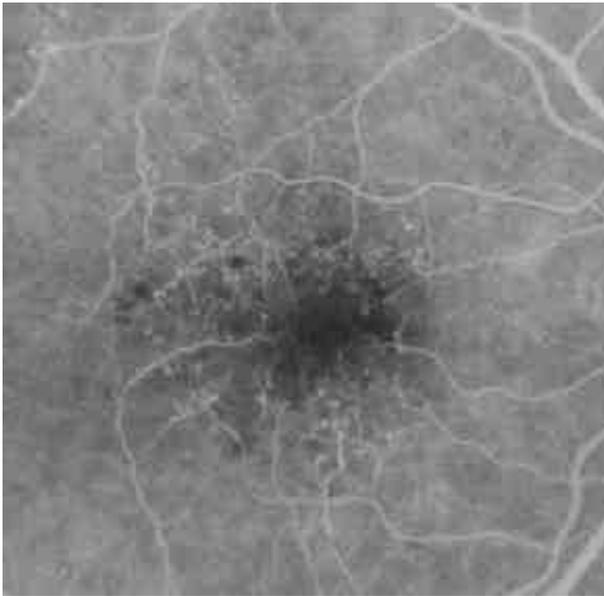


Figura 2: Angiograma original centrado en la región macular

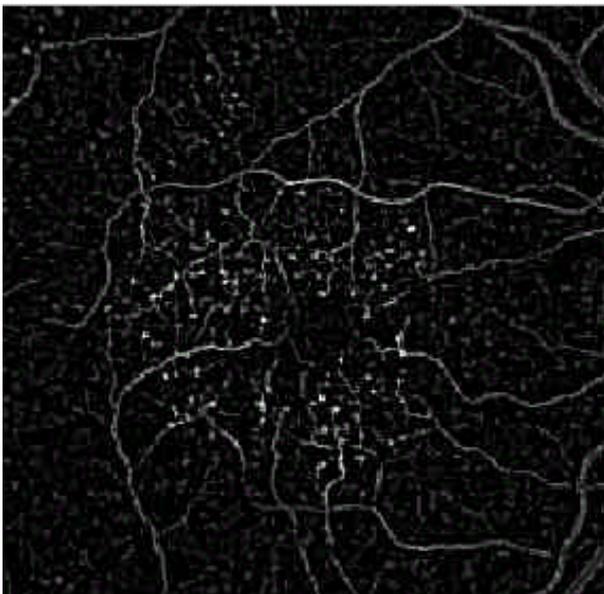


Figura 3: Imagen normalizada

determinación de si cada una de estas regiones es o no, de forma definitiva, un microaneurisma válido. Para esto se han habilitado tres criterios: intensidad, contraste y forma, cada uno de los cuales evalúa un aspecto concreto a cumplir. Así, el criterio de intensidad verifica si una región presenta hiperfluorescencia frente al fondo, mediante la comparación de un parámetro de intensidad con un umbral; el de contraste se basa igualmente en un umbral y examina la relación entre la región y su contorno; por último, el de forma es totalmente novedoso y consiste en un banco de nueve correladores bidimensionales cada uno de los cuales mide el parecido de la región candidata con un elemento concreto, considerándose que la región tiene la forma del elemento al que más se parece. Entre estos nueve elementos uno es una gaussiana bidimensional y el resto son segmentos lineales con distintas orientaciones, por

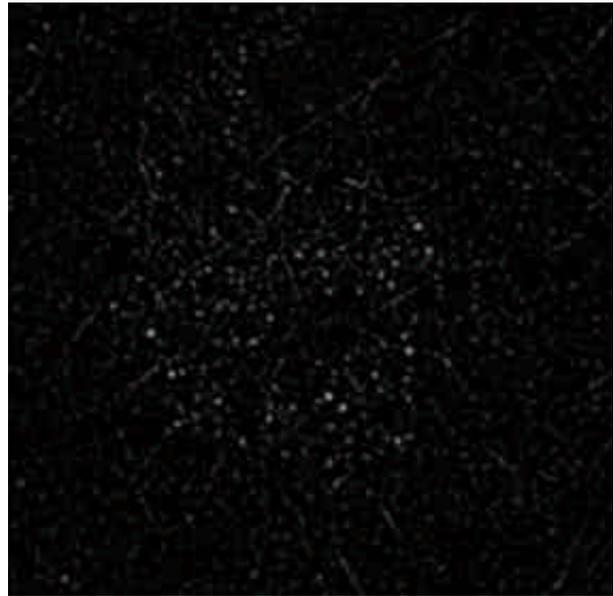


Figura 4: Imagen preprocesada

lo que para que una región cumpla el criterio de forma el resultado de la correlación con la gaussiana debe ser el mayor.

La utilización que se hace de estos criterios atiende a una ponderación. Así, si se otorga un valor simple a los criterios de intensidad y contraste y doble al de forma, se considerará que una región es un microaneurisma si la suma de los criterios es mayor o igual a tres, esto es, si cumple el criterio de forma y alguno más. Esto permite conocer la certeza con la que se detecta un microaneurisma, atendiendo a cuantos criterios verifica.

Por último, se contempla el posible solapamiento de microaneurismas validados, para lo cual, si se produce, se vigila la distancia entre las semillas para decidir, a efectos de recuento, si nos encontramos ante uno o más microaneurismas.

Asimismo, debido a la ponderación de los criterios antes expuesta, puede ofrecerse una novedosa información adicional a la detección: la certeza con la que se ha producido ésta. Su cuantificación se basa en lo siguiente: si un microaneurisma verifica todos los criterios de validación se considera que su detección es segura, mientras que si cumple el de forma y alguno de los otros se estima que su detección tiene una alta probabilidad de ser cierta. Esto proporciona al oftalmólogo la fiabilidad de cada una de las detecciones, y puede complementarse con aquellas regiones que no se han validado pero que presentan una cierta probabilidad de que ser microaneurismas, entendiéndose como tales aquellas que verifican sólo el criterio de forma o bien el de intensidad y el de contraste.

3. RESULTADOS

El método diseñado y expuesto en la sección anterior se ha probado en diversas imágenes, tanto de fondo de ojo completo como centradas en la región macular.

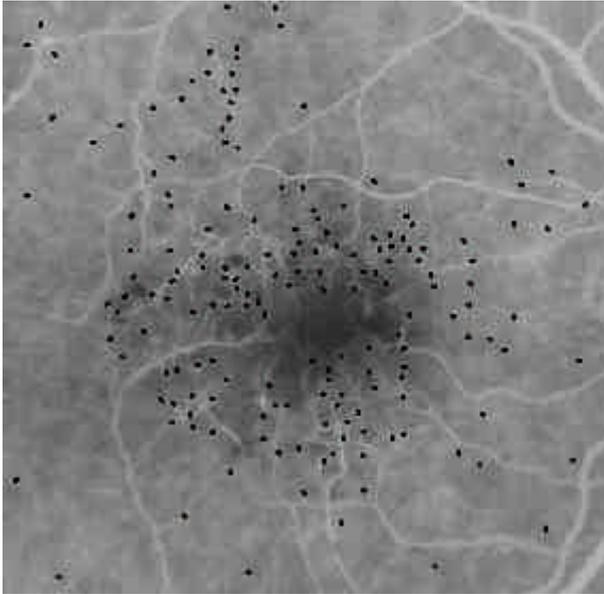


Figura 5: Microaneurismas detectados marcados en negro

En la Figura 2 se muestra una imagen utilizada, que tras la normalización de la intensidad resulta en la imagen de la Figura 3. Tras los filtrados y la consiguiente eliminación del árbol vascular se obtiene la imagen preprocesada de la Figura 4, donde puede apreciarse la ausencia de segmentos lineales. Finalmente, el resultado de la detección aparece en la Figura 5, donde se han superpuesto (en negro) los microaneurismas detectados sobre la imagen original.

El método se probó con 5 imágenes diagnosticadas por el especialista médico, con características de intensidad muy dispares, tanto frente a variaciones locales como globales, obteniéndose una tasa de detección de microaneurismas del 81.96%, alcanzando en ocasiones el 90%, y no bajando en ninguno de los casos probados del 60% de detecciones correctas. Esto para una tasa de falsos positivos del 3.28% en media.

Se ha probado el método en angiogramas de ojo sano, obteniéndose sólo 2 falsos positivos, para el caso de un angiograma de fondo de ojo completo, donde se produce distorsión debida a los límites de la imagen y a la presencia de la papila óptica.

Por último, en la Figura 6 se presenta la pantalla principal del interfaz gráfico diseñado para facilitar el uso del algoritmo por parte del médico.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado un método totalmente automático de detección y recuento de microaneurismas, que no requiere ninguna intervención por parte del usuario aunque es completamente configurable si así se desea.

Actualmente el método proporciona unos valiosos resultados con una alta tasa de detección y un reducido número de falsos positivos, aunque está en proceso de prueba con nuevas imágenes validadas.

Para facilitar el uso por parte del profesional médico se ha realizado un interfaz gráfico, que lo convierte, además de su inherente fiabilidad, en una herramienta

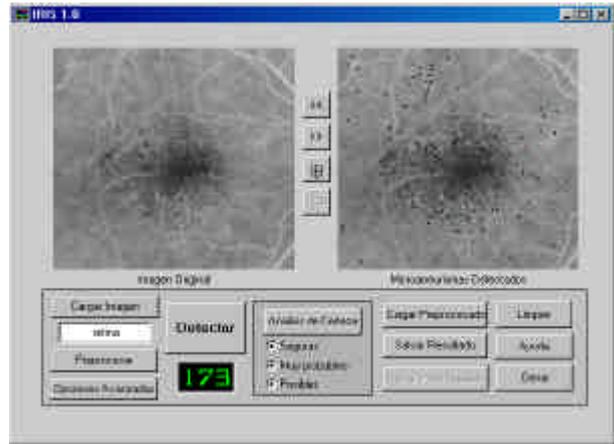


Figura 6: Ventana principal del interfaz gráfico

suficientemente valiosa para su uso clínico. Evidentemente, también puede considerarse su utilización con claros fines pedagógicos.

Consideramos que los resultados positivos que presenta el algoritmo ante imágenes muy dispares se deben, además de a la consideración de valores dependientes de la imagen en el cálculo de umbrales y parámetros, a la eficacia de los criterios de validación impuestos, especialmente al novedoso criterio de forma, que ha demostrado ser altamente selectivo y acertado ante la validación de las regiones de interés.

Asimismo, el método permite controlar la evolución de la retinopatía diabética en su fase inicial, puesto que el número de microaneurismas tiene relación con la severidad de la enfermedad.

Partiendo del método actual, se pretende asociarlo en un futuro a un método de registro sustentado sobre una base de datos, de modo que pueda llevarse a cabo la comparación automática de imágenes, así como la mejora de la detección mediante la implantación de una red neuronal en la etapa de validación.

6. REFERENCIAS

- [1] A.M. Mendonça, A.J. Campilho y J.M. Nunes, "Automatic segmentation of microaneurysms in retinal angiograms of diabetic patients", *10th International Conference on Image Analysis and Processing*, 1999.
- [2] M.J. Cree, J.A. Olson, K.C. McHardy, J.V. Forrester y P.F. Sharp, "Automated microaneurysm detection", *Proc. ICIP'96*, vol.3, pp.699-702, 1996.
- [3] R.C. Gonzalez y R.E. Woods, *Tratamiento digital de imágenes*, Addison-Wesley, 1993
- [4] T. Walter, J.C. Klein, P. Massin, y F. Zana, "Automatic segmentation and registration of retinal fluorescein angiographies"
- [5] I.N. Bankman, T. Nizialek, I. Simon, O.B. Gatewood, I.N. Weinberg, W.R. Brody, "Segmentation algorithms for detecting microcalcifications in mammograms", *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, vol. 1, nº 2, Junio 1997.