

Aplicación de filtros frecuenciales y cromáticos en tiempo real para la toma de biopsias dirigidas en endoscopias.

C. Ordoñez, A. Bouchet, J. Pastore y E. Blotta

Laboratorio de Procesos y Medición de Señales/Facultad de Ingeniería/Departamento de Electrónica, UNMDP, Mar del Plata, Argentina

Abstract— El problema más importante que plantea el Esófago de Barrett es su posible malignización. Tanto para asegurar un buen diagnóstico de dicha patología, como para la prognosis de sus posibles complicaciones, es necesaria la toma de biopsias. Éstas deben hacerse bajo control endoscópico para evitar áreas de mucosa escamosa que puedan coexistir dentro del epitelio columnar y lleven a un falso diagnóstico.

En este trabajo se presenta un software para el filtrado en tiempo real de la señal de video emitida por un endoscopio con el objetivo de delinear y realzar zonas de interés que faciliten la tarea del experto.

Palabras claves—Procesamiento Digital de Señales, Filtrado en Tiempo Real, Esófago de Barrett.

I. INTRODUCCIÓN

La esofagitis por reflujo se produce cuando fallan los mecanismos que existen en la unión gastroesofágica para impedirlo. Cuando ha actuado tiempo suficiente, puede ocasionar complicaciones o secuelas crónicas. Una de las lesiones que puede surgir es denominada Esófago de Barrett, la cual es considerada como precancerosa. Debido a esta circunstancia en los últimos años aumentó considerablemente el interés por esta especial patología.

El Esófago de Barrett se debe al reflujo hacia el esófago de jugo gástrico ácido o de contenido intestinal rico en bilis [1]-[4]. Éste produce un daño epitelial, generalmente erosiones o ulceraciones, cuya posterior curación, a partir de las células basales pluripotenciales, da lugar a los diferentes tipos de epitelio columnar que se observan en dicha alteración [5].

El primer punto controvertido es establecer los criterios que definen el Esófago de Barrett. Se ha definido clásicamente, como una condición en la cual una variable longitud de epitelio escamoso del esófago distal, es reemplazado por epitelio columnar [6]-[10]. Existen varios factores que complican esta sencilla definición. La primera dificultad está en el conocimiento de donde termina el esófago y empieza el estómago. Desde el punto de vista anatómico, la unión gastroesofágica está determinada por la reflexión peritoneal, el hiato diafragmático y el haz muscular de la pared del esófa-

go, pero estas características no son aplicables a la práctica clínica [11].

El epitelio columnar del Esófago de Barrett tiene una naturaleza heterogénea. Se trata de un mosaico de células, glándulas y cambios arquitecturales, que muestran grados variables de maduración hacia el epitelio intestinal o gástrico [12][13]. La mayoría de los estudios se han hecho sobre material de biopsia, que sólo proporciona una visión parcial de la lesión.

En varios estudios ha sido reconocida la distribución zonal de los distintos tipos tisulares, con epitelio fúndico y de tipo cardial localizados en la parte más distal y epitelio intestinal especializado en la parte más proximal del segmento metaplásico, lo cual tiene importancia para saber que sitio es el más adecuado para la toma de biopsias, si bien pueden haber excepciones a esta localización [14]-[17].

El Esófago de Barrett se define como la presencia de mucosa columnar con metaplasia intestinal en el esófago. En la práctica el mejor método para identificarlo es el diagnóstico endoscópico. La importancia de este punto es que la metaplasia de Barrett es un criterio histológico más que endoscópico, ya que sólo sería posible identificar la metaplasia intestinal mediante una biopsia dirigida; es decir, buscando áreas de displasia que son las de mayor riesgo de neoplasia.

Si la trascendencia del Esófago de Barrett está en elevado riesgo de transformación maligna los tratamientos que induzcan su regresión y la sustitución de la mucosa metaplásica por epitelio escamoso normal, pueden suprimir el riesgo de cáncer. Como el epitelio de Barrett es una complicación del reflujo gastroesofágico crónico, un tratamiento antirreflujo eficaz, puede, al menos teóricamente, inducir la regresión de la metaplasia. Tales tratamientos incluyen la cirugía y las drogas atenuantes de la acidez gástrica.

Así pues, tanto para asegurar un buen diagnóstico de un Esófago de Barrett, como para la prognosis de sus posibles complicaciones, es imprescindible la toma de biopsias, las que deben hacerse bajo control endoscópico para evitar áreas de mucosa escamosa que puedan coexistir dentro del epitelio columnar y conduzcan a un falso diagnóstico. Es en

esta etapa donde se torna fundamental que el especialista que realiza el estudio endoscópico sea capaz de identificar el área adecuada donde realizar la biopsia dirigida, dado que los bordes que delimitan dicha enfermedad no son nítidos.

El objetivo de este trabajo es implementar un software de filtrado en tiempo real que realce la imagen endoscópica, a fin de poder delimitar, con menor margen de error, el área afectada por la transformación de la mucosa propia de la enfermedad de Barrett. Esto facilitará al experto la diferenciación de las distintas superficies, reduciendo la posibilidad de falsos análisis, y consecuentemente, falsos diagnósticos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Filtros implementados

Los filtros implementados en el prototipo fueron utilizados con éxito por los autores para delinear y realzar zonas de interés que faciliten la tarea del experto en imágenes provenientes de capturas de la señal de video emitida por el endoscopio [18].

A.1. Filtro cromático

Una imagen color está formada por tres componentes: rojo, verde y azul. Cada una de dichas componentes se almacena en una matriz de $M \times N$ y toma valores enteros entre 0 y 255. Al combinarlas se genera la imagen en color RGB [19].

El filtrado cromático consiste en modificar las intensidades de cada color, es decir, modificar los valores en cada una de las matrices siguiendo un criterio con el propósito de realzar las zonas bajo estudio [18].

A.2. Filtro frecuencial

El filtrado en el dominio de la frecuencia es sencillo, poderoso y flexible. La alta frecuencia espacial está asociada a los cambios abruptos, bordes, líneas y cierto tipo de ruido. Por el contrario las bajas frecuencias en la imagen son producidas por los cambios graduales en el brillo de una imagen. A partir del dominio de la frecuencia se pueden diseñar filtros de suavizado o de realce. Para representar datos en el dominio de la frecuencia se utiliza la transformada de Fourier. [20]-[23]

En el prototipo se implementó un filtro pasa-alto o filtro de realce de bordes (Filtro Ideal [19]) que enfatiza las frecuencias altas, el cual se aplica al espectro de Fourier de cada componente de la imagen RGB. Este filtro realza los bordes en el cambio tisular que permiten al experto visualizar más fácilmente la zona en donde la mucosa esofágica ha cambiado.

B. Técnicas de detección de bordes implementadas

Las técnicas de detección de bordes utilizan como hipótesis que las regiones en una imagen son suficientemente homogéneas y, por lo tanto, la transición entre ellas puede ser determinada sólo por las discontinuidades en los niveles de gris. Entre los detectores de bordes más sencillos se pueden mencionar Sobel, Canny, Prewitt, Gradiente o Laplaciano. Todos ellos tienen como objetivo seleccionar aquellos píxeles de la imagen que delimitan la frontera del objeto de interés. El sustento matemático de la mayoría de las técnicas de detección de bordes es el cálculo de un operador local derivativo.

En el prototipo se implementaron los filtros de Sobel y Canny [19].

C. Banco Experimental

El prototipo fue montado sobre un equipo de imágenes endoscópicas constituido por un procesador Olympus CV-160 y una fuente de luz halógena Olympus CLE-145.

El sistema propuesto se compone de una placa de captura de video *Encore* modelo *ENMVG-USB*, la cual admite una señal de entrada del tipo RCA compuesto o S-Video en formato NTSC o PAL y emplea un conversor analógico-digital de 10 bits, con una resolución máxima de 720×480 píxeles para NTSC o 720×576 para PAL. El software propuesto y diseñado para dicha placa tiene la capacidad de adquirir los cuadros de video provenientes del equipo de captura y aplicarles diversos filtros en tiempo real.

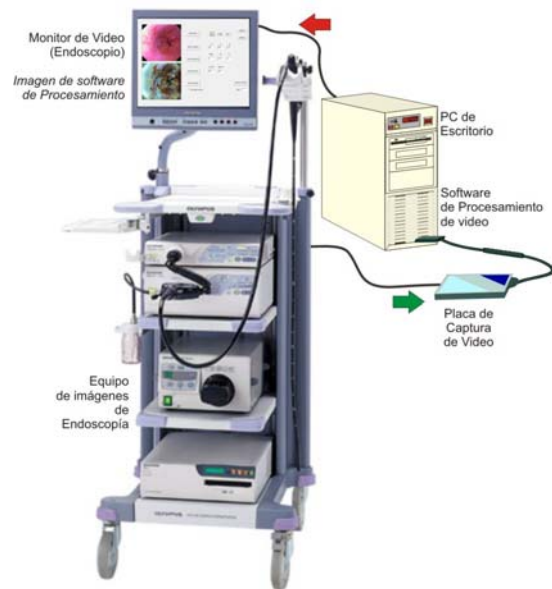


Fig. 1 Esquema del sistema propuesto.

Para el manejo y procesamiento de las imágenes en tiempo real se emplea la librería de código abierto OpenCV 2.0. Para el cálculo de la Transformada de Fourier se emplea la librería de libre descarga FFTW 3.2.2, cuya principal característica es la de adaptarse al hardware del equipo donde se está ejecutando de manera tal de disminuir el costo computacional [24][25].

En la Figura 1 se muestra el esquema del banco implementado.

D. Entorno gráfico

Se procuró que el diseño de la interfaz gráfica de usuario fuera simple e intuitiva para el usuario final.

La posibilidad de combinar los filtros mencionados anteriormente en una interfaz gráfica facilita la experimentación, optimización de parámetros y almacenamiento de las configuraciones.

En la Figura 2 se muestra la interfaz gráfica del usuario.

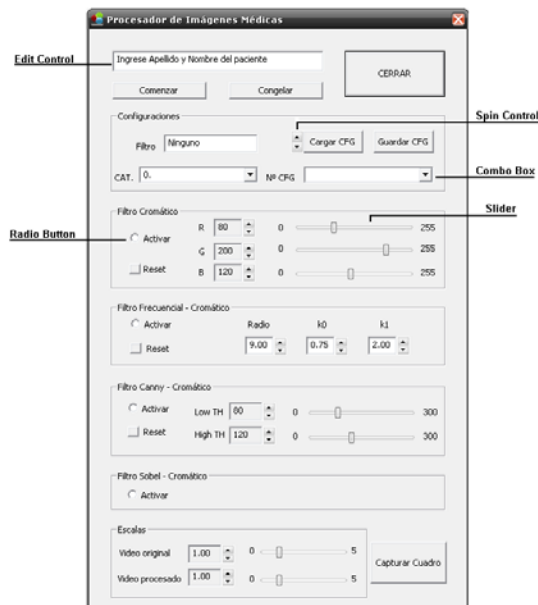


Fig. 2 Aspecto de la Interfaz Gráfica

III. RESULTADOS

El tratamiento del Esófago de Barrett pretende evitar su progresión. Sin embargo, lo deseable sería obtener su regresión total a través de métodos alternativos. En tanto esto no se logre, tendrá que someterse a estos pacientes a un control y seguimiento adecuado, intentando el reconocimiento y detección precoz de los cambios que preceden a la degeneración maligna, con el fin de realizar un tratamiento eficaz.

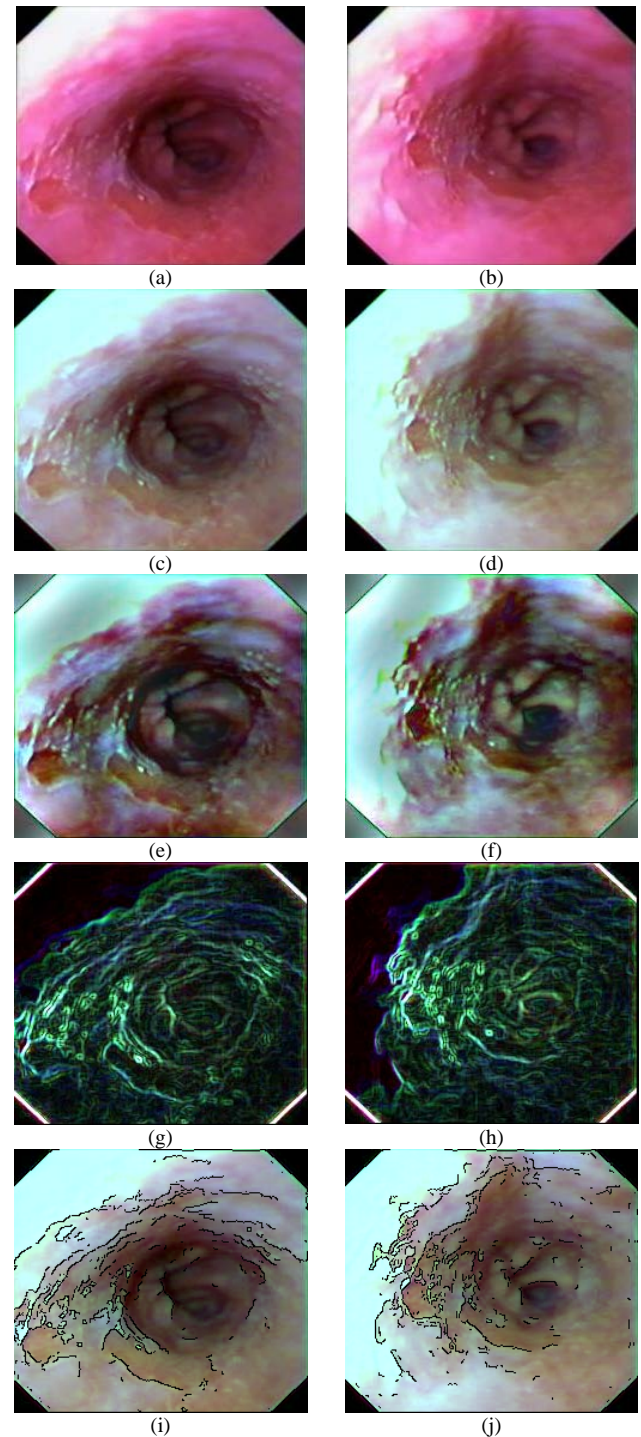


Fig. 3 (a)-(b) Imágenes originales. (c)-(d) Imágenes cromáticas. (e)-(f) Imágenes resultado del filtro de Fourier. (g)-(h) Imágenes resultado del filtro de Sobel. (i)-(j) Imágenes resultado del filtro de Canny.

Este filtrado en tiempo real facilitará la elección de la zona de la cual extraer el tejido para la biopsia minimizando los errores y asegurando un control y seguimiento más eficiente y sobre todo una detección precoz de los cambios en los tejidos.

A modo de ejemplo en la Figura 3 se muestran algunas capturas de la señal de video provenientes del endoscopio filtradas por el prototipo diseñado.

IV. CONCLUSIONES

Los filtros implementados en el análisis de imágenes endoscópicas, provenientes del estudio del Esófago de Barrett, demostraron ser una herramienta de apoyo eficaz al experto, para el delineamiento y realce de las zonas de interés.

A partir de dichos resultados se implementaron técnicas de realce en tiempo real, las cuales han facilitado la elección de las zonas adecuadas para la extracción de tejidos en biopsias, minimizando los errores y permitiendo un control y seguimiento más eficiente, por ejemplo en la detección precoz de cambios en los tejidos.

El prototipo se ha diseñado sin la necesidad de modificar al equipo original de endoscopía, utilizando equipamiento estándar, fácilmente adquirible en el mercado. La configuración del sistema comprende la conexión y desconexión de sólo dos cables, lo cual facilita la re-configuración original del equipo.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Gastón Jury y al *CED (Centro de Estudios Digestivos de Mar del Plata)* por su colaboración y apoyo brindados para el desarrollo del prototipo diseñado.

REFERENCIAS

1. C. Bremer, V. Lynch, F. Ellis, Barrett's esophagus: congenital or acquired?. An experimental study of esophageal mucosal regeneration in the dog. *Surgery*. 1970.
2. J. Burgess, W. Payne, H. Andersen et al., Barrett's esophagus. The columnar-lined lower esophagus. *Mayo Clin. Proc.* 1971.
3. D. Crabb, M. Berk, T. Hall et al., Familial gastroesophageal reflux and development of Barrett's esophagus. *Ann. Int. Med.* 1985.
4. R. Dahms, F. Rothstein, Barrett's esophagus in children: a consequence of chronic gastroesophageal reflux. *Gastroenterology*. 1984.
5. J- Boch, H. Shields, D. Antonioli et al., Distribution of cytokeratin markers in Barrett's specialized columnar epithelium. *Gastroenterology* 1997.
6. R. Philips, R. Wong, Barrett's esophagus. Natural histology, incidence, etiology and complications. *Gastroenterology clinics of North America*, 1991.
7. S. Kim, J. Warning, S. Specher et al., Accuracy of esophageal measurements in Barrett esophagus. *Gastroenterology*, 1993.
8. H. Stein, J. Siewert, Barrett's esophagus: pathogenesis, epidemiology, functional abnormalities, malignant degeneration and surgical management. *Dysphagia* 1993.
9. G. Tytgat, Does endoscopic surveillance in esophageal columnar metaplasia (Barrett's esophagus) have any real value? *Endoscopy* 1995.
10. H. Boyce, What are the defining indices of the esophagogastric junction and the defining criteria for columnar lined esophagus (LE)? In: *The esophageal mucosa*. Eds. R. Giuli, G.N.J Tytgat, T.R. De Meester, J.P. Galmiche. Elsevier, Amsterdam, 1994.
11. R. Goyal, J. Glancy, H. Spiro, Lower esophageal ring. *N. Engl. J. Med.* 1970.
12. B. Reid, Barrett esophagus and esophageal adenocarcinoma. *Gastroenterol. Clin. North Am.* 1991.
13. H. Shields, F. Zwas, D. Antonioli, et al., Detection by scanning electron microscopy of a distinctive esophageal surface cell at the junction of squamous and Barrett's epithelium. *Dig. Dis. Sci.* 1993.
14. J. Ferrando Cucarella, Complicaciones de la enfermedad por reflujo. En: *Enfermedades digestivas*. Ed. F. Vilardell. Ediciones CEA S.A. Barcelona. 1990.
15. A. Paull, J. Trier, M. Dalton et al., The histologic spectrum of Barrett's esophagus. *N. Eng. J. Med.* 1976.
16. I. Wesdorp, J. Bartelsman, M. Schipper, Malignancy and premalignancy in Barrett's esophagus: a clinical, endoscopic and histological study of 100 patients. *Acta Endosc.* 1981.
17. T. Morales, R. Sampliner, A. Bhattacharyya, Intestinal metaplasia of the gastric cardia. *Am. J. Gastroenterol.* 1997.
18. Barrett esophagus: guided biopsies through digital image processing, Bouchet, A., Pastore, J., Abras, G., Jury, G., Jury, H., Ballarin, V. Publicado en el *Journal of Physics*, 2007. ISSN 1742-6596 (Online). ISSN 1742-6588 (Print).
19. R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, Ed. Addison-Wesley, 1992.
20. J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Vol I, London Ed. Academic Press, 1982.
21. A. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Ed. Prentice-Hall International, 1989.
22. K. Castleman, *Digital Image Processing*, Ed. Prentice-Hall International, 1979.
23. C. Pinilla, A. Alcalá, F. Ariza, "Filtrado de imágenes en el dominio de la frecuencia", *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, Vol. 8, 1997.
24. opencv.willowgarage.com/wiki.
25. www.fftw.org.

Autor: Cristian Ordoñez

Instituto: Laboratorio de Procesos y Medición de Señales/Facultad de Ingeniería/Departamento de Electrónica, UNMDP, Mar del Plata, Argentina

Calle: J. B. Justo 4302

Ciudad: Mar del Plata

País: Argentina

E-mail: cristian_ordonez@yahoo.es