

# EMPLEO DE UN PREDICTOR LINEAL 2D PARA LA DETECCIÓN DE MICROCALCIFICACIONES

Carmen Serrano\*, Begoña Acha\*, Javier Díaz-Trujillo\*

\*Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla

Camino de los Descubrimientos, s/n. 41092-Sevilla, Spain

e-mail: cserrano@viento.us.es, bacha@viento.us.es

## ABSTRACT

We propose a new method to detect microcalcifications in mammograms. The method is based on region growing with pre-filtering and a seed selection procedure based on two-dimensional linear prediction error. The procedures are designed to reduce false positives, to improve detection capability, and to reduce computational time. When compared to a previous method proposed by Shen et al. [1], with the proposed method, computational time was reduced by up to 16% and detection accuracy was increased from 63% to 98%. The detection capability was 86% over all of the existing microcalcifications in three test mammograms.

## RESUMEN

En este artículo se propone un nuevo método para detectar microcalcificaciones en mamografías. El método se basa en un algoritmo de crecimiento de regiones ya existente [1], precedido de un filtrado paso de baja y un procedimiento de selección de la semilla basado en el error de predicción lineal 2D. Al compararlo con el método propuesto por Shen et al. [1], se redujo el coste computacional en un 16% y se incrementó la precisión en el diagnóstico de un 63% a un 98%. La capacidad de detección alcanzada es de un 86% sobre el total de microcalcificaciones existentes.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el 10% de las mujeres en el mundo occidental padecen esta enfermedad a lo largo de su vida [2][3]. Por ello, se está llevando a cabo un gran esfuerzo en la investigación del cáncer de mama y, en particular, en la detección de microcalcificaciones [1][5][6], que es un signo precoz de esta enfermedad [4]. En este artículo se propone una mejora al algoritmo de Shen et al. [1] con vistas a aumentar su capacidad de detección y disminuir su tiempo de computación. En concreto se lleva a cabo una selección de las semillas para el posterior crecimiento de regiones.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

El nuevo método para seleccionar puntos potenciales de microcalcificación, o píxeles semilla para el crecimiento de regiones subsiguiente consiste en un filtro de predicción lineal 2D [7], seguido de una umbralización. Un píxel se selecciona como semilla si su error de predicción es mayor que un umbral determinado experimentalmente. Esto se basa en la

observación de que una microcalcificación puede verse como un punto de no estacionariedad en una región aproximadamente homogénea de la mamografía. Este píxel no puede predecirse bien con un predictor lineal y, por lo tanto, producirá un alto error de predicción.

Los coeficientes de predicción óptimos, que minimizan el error cuadrático medio, se obtienen resolviendo las ecuaciones de Yule-Walker:

$$\sum_{(i,j) \in ROS} \sum_{(k,l) \in ROS} a(i,j) r_{xx}(k-i, l-j) = \begin{cases} 0 & (k,l) \in ROS \\ \epsilon^2 & (k,l) = (0,0) \end{cases} \quad (1)$$

donde  $r_{xx}(k,l)$  es la función de autocorrelación 2D de la imagen [8][9]. Sin embargo, los coeficientes pueden obtenerse directamente de los datos mediante el algoritmo de Burg multicanal [7][10]. Además, este algoritmo puede utilizarse para el cálculo de los errores de predicción directamente de los datos. El algoritmo de Burg calcula los coeficientes de predicción óptimos para un predictor de orden  $p_1 \times p_2$  mediante el cálculo de los errores de predicción de orden  $p_1$ . Estos errores de predicción son vectores de tamaño  $p_2 \times I$ , y se calculan recursivamente, empezando por los errores de predicción de orden 0, que se inicializan a los valores de los píxeles de la imagen original.

Los pasos que hay que repetir recursivamente, para  $i=0,1,\dots, p_1-2$  [7] son:

1. Calcular las matrices de covarianza de los errores hacia delante y hacia atrás como:

$$\begin{aligned} E_i^f &= \sum_m e_i^f[m] \left( e_i^f[m] \right)^T \\ E_i^b &= \sum_m e_i^b[m] \left( e_i^b[m] \right)^T \\ E_i^{bf} &= \sum_m e_i^f[m] \left( e_i^b[m] \right)^T \end{aligned} \quad (2)$$

donde  $e_i^f(m)$  y  $e_i^b(m)$  son, respectivamente los errores de predicción hacia delante y hacia atrás. La suma, que depende de  $m$ , se lleva a cabo para todos los vectores de predicción de tamaño  $p_2 \times 1$  en que puede particionarse la imagen.

2. Calcular la matriz de los coeficientes de predicción  $A_{i+1}[i+1]$  resolviendo la ecuación:

$$E_i^b A_{i+1}[i+1] + A_{i+1}[i+1] E_i^f = -2E_i^{bf} \quad (3)$$

3. Calcular los errores hacia adelante y hacia atrás de un orden superior como:

$$e_{i+1}^f[m] = e_i^f[m] + A_{i+1}[i+1] e_i^b[m-1]$$

$$e_{i+1}^b[m] = e_i^b[m-1] + A_{i+1}^T [i+1] e_i^f[m] \quad (4)$$

Una vez conocidos los píxeles error de predicción, los usamos como medida de la estacionariedad de los puntos correspondientes. Los píxeles donde el error de predicción es más alto que un umbral se consideran puntos de no estacionariedad y, por lo tanto, semillas para el crecimiento de regiones.

### 3. RESULTADOS

El algoritmo de detección se probó con 3 mamografías que contenían un total de 428 microcalcificaciones de diferente naturaleza y diagnóstico. Se almacenaron en un formato de 12 bits/píxel. Experimentalmente se determinó que píxeles con un error de predicción superior a 125 eran semillas potenciales para el crecimiento de regiones posterior. La Figura 1 muestra los resultados del algoritmo: en la Figura 1b se presentan las semillas detectadas para la imagen de la Figura 1a, y la Figura 1c presenta el resultado final, tras el algoritmo de crecimiento de regiones.

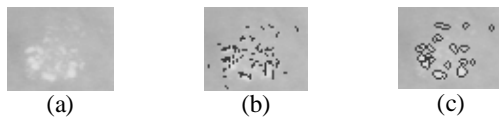


Figura 1. (a) Porción de tamaño 45x43 píxeles de una mamografía con microcalcificaciones; (b) puntos con un error de predicción superior que el umbral; (c) bordes de las microcalcificaciones obtenidos tras el paso de crecimiento de regiones.

Los resultados obtenidos fueron presentados a un radiólogo que determinó la precisión de la detección. Las Tablas I y II resumen los resultados de la comparación del algoritmo con el algoritmo de Shen. En la Tabla III se presenta una estimación del coste computacional de ambos algoritmos, cuando se ejecutaron en una estación de trabajo Sparc Compliant Axil 320 con 304 Mbytes de RAM.

Tabla I. Precisión en la detección de los dos algoritmos sobre un total de 428 microcalcificaciones diagnosticadas por el especialista.

Algoritmo	Detectadas	Correctas	Falsas
Shen et al.	646	409 63.3%	237 36.7%
Selección de Semilla	374	366 97.9%	8 2.1%

Tabla II. Capacidad de detección de los dos algoritmos.

Algoritmo	Existentes	Correctas	No Detectadas
Shen et al.	428	409	19
Sel. Semilla	428	366	62

Tabla III. Coste computacional (medido en tiempo) de los dos algoritmos.

Imagen	Shen et al.	Selección de Semilla
mamografía 1	93m 5s	78m 10s
mamografía 2	92m 50s	77m 46s
mamografía 3	92m 10s	78m 1s
<b>Tiempo medio</b>	<b>92m 42s</b>	<b>77m 59s</b>

### 4. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este trabajo se propone un nuevo método para la detección de microcalcificaciones basado en el algoritmo de crecimiento de regiones propuesto por Shen et al. [1], que emplea un pre-filtrado y un paso de selección de la semilla. El paso de selección de la semilla usa el error de predicción lineal 2D para detectar microcalcificaciones potenciales. El método propuesto presenta una reducción significativa del tiempo de cálculo y una mejora en la precisión de la detección, aunque el número de detecciones correctas disminuye. Un análisis de las microcalcificaciones no detectadas muestra que sería deseable diseñar un filtro mejor adaptado a las características de la imagen. También se está investigando en el diseño de filtros adaptativos para la selección de la semilla.

### 5. REFERENCIAS

- [1] L. Shen, R.M. Rangayyan, J.E. Leo Desautels, "Detection and Classification of Mammographic Calcifications", *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 7 (6), pp. 1403-1416, 1993.
- [2] S.Astley, *Automatic detection of microcalcifications*, Ph.D., Wolfson Image Analysis Unit, U.K.
- [3] Canadian Cancer Society, *Facts on Breast Cancer*, April 1989.
- [4] S.A. Feig, "Mammographic Evaluation of Calcifications", in *Proc. I Curso Internacional S.E.D.I.M.*, pp. 63-73, Madrid (Spain), May 1998.
- [5] B. Acha, C. Serrano, R.M. Rangayyan, "Detection of Microcalcifications in Mammograms by Seed Selection and Multitolerance Region Growing", in *Proc. of the European Medical & Biological Engineering Conference (EMBE'99)*, vol. 37, part II, pp. 984-985, Vienna (Austria), Nov. 1999.
- [6] R.N. Strickland, H.I. Hahn, "Wavelet Transforms for Detecting Microcalcifications in Mammograms", *IEEE Trans. On Medical Imaging*, vol. 15, no. 2, pp. 218-229, April 1996.
- [7] G. R. Kuduvalli, R. M. Rangayyan, "An Algorithm for Direct Computation of 2-D Linear Prediction Coefficients", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 41, n° 2, pp. 996-999, Feb. 1993.
- [8] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1996.
- [9] J.G. Proakis, D. G. Manolakis, *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1998.
- [10] G. R. Kuduvalli, R. M. Rangayyan, "Performance of Reversible Image Compression Techniques for High-Resolution Digital Teleradiology", *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol.11, n° 3, pp. 430-445, Sept. 1992.