

## Determinación de propiedades superficiales del papel utilizando el análisis de la textura del patrón de speckle

### Determination of surface properties of the paper using the analysis of the texture of speckle's pattern

Abdiel Pino, Josep Pladellorens Mallofré<sup>(\*,S)</sup>, Joan Anto Roca

CD6 Departamento de Óptica y Optometría, Universidad Politécnica de Cataluña, Rambla de Sant Nebridi 10, Terrassa, Barcelona, España.

(\*) Email: pladellorens@oo.upc.edu

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Recibido / Received: 25/11/2009. Versión revisada / revised versión: 07/02/2010. Aceptado / Accepted: 19/02/2010

#### RESUMEN:

Presentamos un método de medida de la rugosidad del papel basado en el análisis de la textura del patrón de speckle. Las imágenes son captadas por medio de una simple configuración usando un láser, un expansor de haz y una cámara CCD. Aplicamos el procesado de digital imágenes utilizando la matriz de co-ocurrencia de niveles de gris (GLCM "Gray Level Co-occurrence Matrix") una característica de la cual podemos relacionarla con la rugosidad, obtenida por otros métodos. Puede ser considerado como un método de trazado de perfil de la superficie sin contacto y puede ser utilizado, por tanto, para medir la rugosidad de la superficie del papel en el proceso de fabricación.

**Palabras clave:** Rugosidad del Papel, Speckle, Matriz de Co-ocurrencia de Niveles de Gris.

#### ABSTRACT:

We present a method of measure of the roughness of the paper based in the analysis of speckle pattern on the surface. Images are captured by means of a simple configuration using a laser, beam expander and a camera CCD. Then, we apply digital image processing using the gray level co-occurrence matrix (GLCM) that has a descriptor that may be related with the roughness of the surface that we know applying other methods. So this method can be considered as a non-contact surface profiling method that can be used online.

**Key words:** Paper Roughness, Speckle, Gray Level Co-occurrence Matrix.

#### REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] T. Cresson, P. Luner, "The characterization of paper formation. Part 2: The texture analysis of paper formation", *Tappi J.* **73**, 175-184 (1990).
- [2] J. Rakels, "Recognised surface finish parameters obtained from diffraction patterns of rough surfaces", *Proc. SPIE* **1009**, 119-125 (1988).
- [3] H. F. Rance, *Handbook of Paper Science, Vol 2: The Structure and Physical Properties of Paper*, Elsevier Scientific Publishing (1998).
- [4] ASME B46.1-2002 (Revision of ASME B46.1-1995), Surface Texture (Surface roughness waviness, and lay) an American National Standard, The American Society of Mechanical Engineers (2003).
- [5] T. Asakura, "Surface roughness measurements", in *Speckle Metrology*, R. K. Erf Edt. Academic Press, New York (1978).
- [6] P. J. Chandley, H. M. Escamilla, "Speckle from a rough surface when the illuminated region contains few correlation areas: the effect of changing the surface height variance", *Opt. Commun.* **29**, 151-154 (1979).
- [7] H. M. Pedersen, "Theory of speckle dependence on surface roughness", *J. Opt. Soc. Am.* **66**, 1204-1210, (1976).

- [8] J. W. Goodman, *Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications*, Roberts & Company Publishers, (2006).
- [9] J. C. Dainty, "Laser Speckle and Related Phenomena", Vol. 9 of *Topics in Applied Physics*, Springer-Verlag (1984).
- [10] D. D. Duncan, S. J. Kirkpatrick, R. K. Wang, "Statistics of local speckle contrast", *J. Opt. Soc. Am. A* **25**, 9-15 (2008).
- [11] D. Léger, J. C. Perrin, "Real-time measurement of surface roughness by correlation of speckle patterns", *J. Opt. Soc. Am.* **66**, 1210-1217 (1976).
- [12] B. Ruffing, "Application of speckle-correlation methods to surface-roughness measurement: a theoretical study", *J. Opt. Soc. Am. A* **3**, 1297-1304 (1986).
- [13] R.-S. Lu, G.-Y. Tian, D. Gledhill S. Ward, "Grinding surface roughness measurement based on the co-occurrence matrix of speckle pattern texture", *Appl. Opt.* **45**, 8839-8847 (2006).
- [14] K. J. Gåsvik, *Optical Metrology*, John Wiley & Sons Ltd. (2002).
- [15] R. M. Haralick, K. Shanmugam, I. Dinstein, "Textural features for image classification", *IEEE T. Syst. Man Cy.* **3**, 610-621 (1973).
- [16] M. Presutti, "La matriz de co-ocurrencia en la clasificación multiespectral: tutorial para la enseñanza de medidas texturales en cursos de grado universitario", 4ª Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no âmbito do Mercosul, São Leopoldo, Brasil (2004).
- [17] ISO (8791-1:1986). Paper and board: Determination of roughness/smoothness (air leak methods) Part 1: General method.
- [18] ISO (8791-2:1990). Paper and board: Determination of roughness/smoothness (air leak methods) Part 2: Bendtsen method.
- [19] ISO (5627:1995). Paper and board: Determination of smoothness Bekk method.
- [20] R.-S. Lu, G.-Y. Tian, "Hybrid vision system for online measurement of surface roughness", *J. Opt. Soc. Am. A* **23**, 3072-3079 (2006).
- [21] R. Arizaga, M. Trivi, H. Rabal, "Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis", *Opt. Laser Technol.* **31**, 163-169 (1999).

## 1. Introducción

La rugosidad de la superficie del papel es un parámetro sumamente importante en la fabricación del papel [1], siendo uno de los problemas centrales en la industria. La estructura de la superficie del papel es a menudo caracterizada por su rugosidad. El parámetro de rugosidad más comúnmente utilizado, es la media aritmética (Ec.1) ( $R_a$ ) de los valores absolutos de las alturas medidas a partir de la línea central (Fig. 1) [2-4].

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx, \quad (1)$$

Se han investigado y desarrollado técnicas de contacto y no contacto adecuadas para la medida de la rugosidad del papel. Entre las técnicas de medida más comunes se tienen: Flujo de aire, perfilometría (mecánica y óptica), interferometría, microscopía de fuerza atómica, microscopía de barrido confocal, técnicas de triangulación y metrología speckle. En general, muchas de estas técnicas sólo pueden

usarse en condiciones de laboratorio, es decir, fuera del proceso de fabricación industrial.

Con la aparición del láser en la década de los 60, los investigadores han discutido las relaciones entre la rugosidad de una superficie y las propiedades estadísticas del patrón de speckle. Es aleatorio y puede ser descrito en términos estadísticos. Se ha visto que la metrología speckle, tiene el potencial para obtener medidas de la rugosidad de una superficie [5-7].

Se han desarrollado y empleado diferentes métodos para estudiar la rugosidad de una superficie mediante técnicas de speckle. Éstos se basan en el estudio del contraste de speckle [8-10] y otros utilizan la correlación de speckle [8,9,11,12], los cuales han mostrado dar buenos resultados, tanto para estudiar superficies metálicas, dieléctricas, fluidos y también papel.

En este artículo, investigaremos las propiedades estadísticas de la textura del patrón de speckle formado sobre la superficie del papel, desde el punto de vista del análisis de la textura (estadística

de segundo orden) e introduciremos un método simple para caracterizar la rugosidad de la superficie mediante la captura de una sola imagen de las muestras analizadas. La razón por la que hemos optado por la matriz de co-ocurrencia de niveles gris, es que ésta es una herramienta potente que permite analizar la textura de la imagen y relacionarla, como se verá, con la rugosidad.

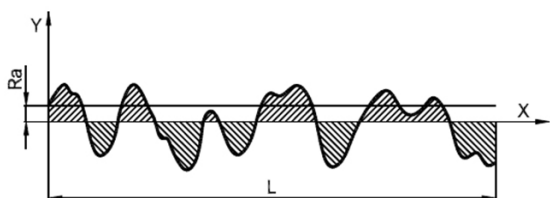


Fig. 1. Definición de  $R_a$  a partir del perfil de la superficie.

## 2. Sistema experimental

El sistema utilizado para realizar las medidas se construyó con los siguientes elementos (Fig. 2): Un láser de He-Ne de 5mW con una longitud de onda de 632.8 nm, una cámara CCD UNIQ UM-301 de 752×582 píxeles y un expansor de haz. La cámara está ubicada en dirección normal a la muestra. Para la formación del patrón de speckle se utilizará el speckle subjetivo [8,13,14].

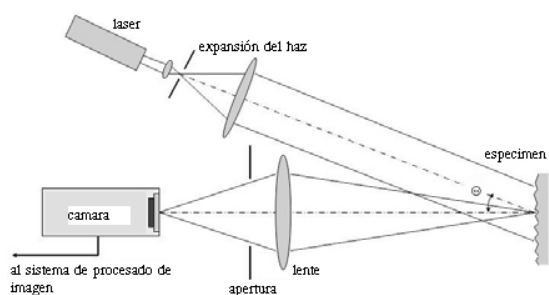


Fig. 2. Sistema experimental.

El haz láser es expandido y proyectado sobre el papel, con un ángulo  $\Theta = 30^\circ$  respecto a la normal, obteniendo un patrón de speckle de aproximadamente 1 cm de diámetro. En la Fig. 3 mostramos una de las imágenes obtenidas. Los programas de ordenador utilizados para la captura y análisis de las imágenes del patrón de speckle son: Matrox Imaging (módulo Intellicam), MATLAB (Digital Image Processing Toolbox) y Origin.

La rugosidad de la superficie es determinada, como se ha dicho, utilizando la matriz de co-ocurrencia de niveles de gris (GLCM “Gray level co-occurrence matrix”) obtenida a partir de la imagen del patrón de speckle. A partir de la matriz de co-ocurrencia hemos calculado diferentes descriptores, alguno de ellos tiene relación con  $R_a$ .

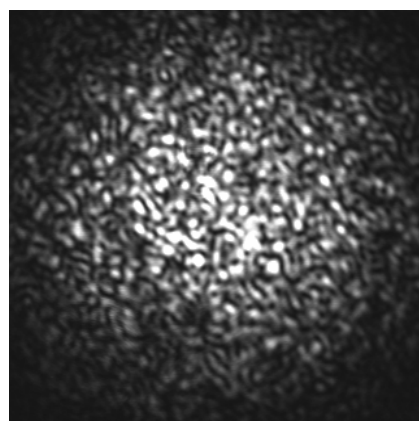


Fig. 3. Una de las imágenes obtenidas.

## 3. Cálculo de la GLCM

La co-ocurrencia de los niveles de gris de una imagen digital se pueden especificar mediante una matriz de frecuencias relativas con elementos  $P_{ij}$  en la que dos píxeles vecinos separados por una distancia  $d$  y una dirección  $\theta$  ocurren en la imagen, uno con nivel de gris  $i$  y el otro con nivel de gris  $j$ . La matriz de co-ocurrencia considera la relación espacial entre dos píxeles, llamados píxel de referencia o de interés y su píxel vecino (Fig. 4). Cada elemento de la matriz de co-ocurrencia  $C_{ij}$  es el número de veces que en toda la imagen pasamos del nivel de gris  $i$  al nivel de gris  $j$  para una distancia y ángulo determinados. Las matrices de co-ocurrencia de niveles de gris deben cumplir con la propiedad de simetría y están dadas en función de la relación angular entre los píxeles vecinos, así como de la distancia entre ellos [15,16].

Para el cálculo de la matriz, en la Fig. 5 se representa una imagen de prueba donde los valores corresponden a niveles de grises. La imagen tiene 4 píxeles de lado y 4 niveles de grises: 0, 1, 2 y 3. Todos los cálculos de las medidas texturales que se presentan a continuación están basados en esta imagen. Las posibles combinaciones de niveles de grises para la imagen de prueba se presentan como ejemplo para el cómputo.

Se hará la consideración que la distribución de la textura de la imagen de prueba (imágenes del patrón de speckle), no es homogénea en todas las direcciones. Computemos la GLCM (Fig. 6) en las cuatro direcciones como las definió Haralick [15,16]

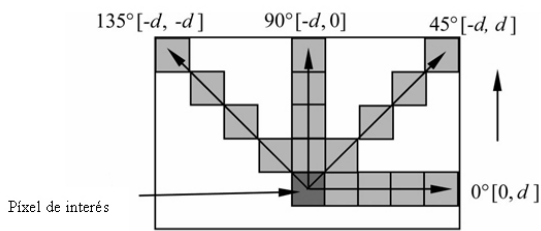


Fig. 4. Relación entre el píxel de interés y sus vecinos.

0	0	1	1
0	0	1	1
0	2	2	2
2	2	3	3

(a)

Gray tone	0	1	2	3
0	#(0,0)	#(0,1)	#(0,2)	#(0,3)
1	#(1,0)	#(1,1)	#(1,2)	#(1,3)
2	#(2,0)	#(2,1)	#(2,2)	#(2,3)
3	#(3,0)	#(3,1)	#(3,2)	#(3,3)

(b)

Fig. 5. Cómputo de las posibles combinaciones de niveles de gris de la imagen para el cálculo de la matriz de coocurrencia. (a) Imagen de prueba en su forma matricial. (b) Las posibles combinaciones de niveles de grises para la imagen de prueba.

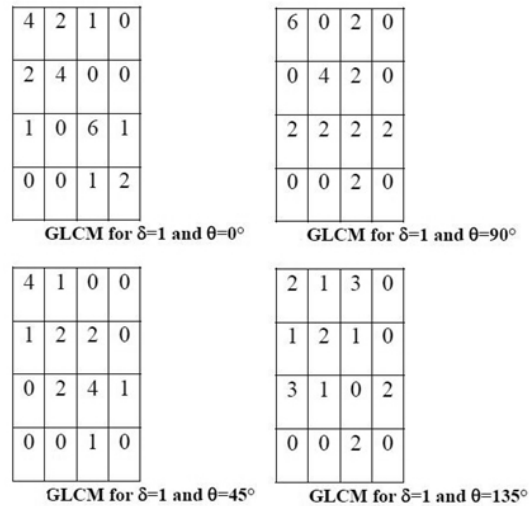


Fig. 6. Cuatro GLCM para ángulos iguales a 0°, 45°, 90° y 135° y radio igual a 1.

Cada una de las cuatro GLCM definidas para la distancia y las direcciones indicadas, son simétricas, por lo cual la matriz de co-ocurrencia  $C_{ij}$  normalizada, transforma a la GLCM en una aproximación de tabla de probabilidad, definida por la Ec. (2).

$$P_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{\sum_{i,j=0}^{N-1} C_{i,j}} \quad (2)$$

De esta manera se pueden calcular los descriptores de textura propuestos por Haralick [15,16], que utiliza 14 descriptores que permiten describir la textura de una superficie. En nuestro caso utilizaremos sólo 4 de ellos: Contraste (Ec. (3)), correlación (Ec. (4)), energía (Ec. (5)) y homogeneidad (Ec. (6)):

$$c = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (i-j)^2 \quad (3)$$

$$\gamma = \sum_{i,j=0}^{N-1} \left[ \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)}{\sigma_i^2 \sigma_j^2} \right] P_{i,j} \quad (4)$$

$$e = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j}^2 \quad (5)$$

$$h = \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1+(i-j)^2} \quad (6)$$

A continuación se da una definición resumida para cada uno de los 4 descriptores utilizados:

- El contraste ( $c$ ) proporciona información acerca de las variaciones bruscas del nivel de gris en la imagen. Su valor aumentará, si existen más elementos de la matriz alejados de la diagonal principal.
- La correlación ( $\gamma$ ) proporciona una medida de la probabilidad de la relación entre los diferentes niveles de gris de los píxeles.
- La energía ( $e$ ) proporciona una idea de la suavidad de la textura, y esto se refleja en la ubicación de sus probabilidades en la matriz de co-ocurrencia.
- La homogeneidad ( $h$ ) proporciona información sobre la regularidad local de la textura.

#### 4. Resultados

Se han analizado 5 muestras de papel con diferentes grados de rugosidad, preparadas manualmente en el laboratorio del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (Universidad Politécnica de Catalunya). Se ha medido la rugosidad utilizando los métodos de flujo de aire Bendtsen y Bekk [17-19] y la microscopía confocal viendo que había buena correlación entre todos ellos. Decidimos tomar la rugosidad obtenida por la microscopía confocal como referencia para nuestro estudio.

Las imágenes de los patrones de speckle han sido procesadas mediante algoritmos desarrollados en MATLAB y llevados a Origin donde se realizaron los ajustes de las curvas dadas por los cuatro descriptores de textura señalados anteriormente. De los cuatro descriptores estudiados, el que mejor correlaciona con la rugosidad es el descriptor energía.

En la Fig. 7 mostramos las gráficas del descriptor energía correspondientes a la imagen de speckle de la Fig. 3. Para relacionar la rugosidad de la superficie de cada muestra con el descriptor energía [13,20,21], hacemos un promedio de las curvas del descriptor energía en las cuatro direcciones. El resultado se puede aproximar a la función dada por la siguiente ecuación:

$$y = y_0 + ke^{-\frac{x}{\sigma}}, \quad (7)$$

donde  $y$  es la función que representa al descriptor energía,  $x$  representa los *offset* o distancias entre los píxeles vecinos. Los parámetros  $y_0$ ,  $k$ ,  $\sigma$  de la

función son los utilizados para establecer la correlación con los correspondientes valores  $R_a$  de las muestras obtenidos mediante la técnica de microscopía confocal, que se muestran en la Fig. 8.

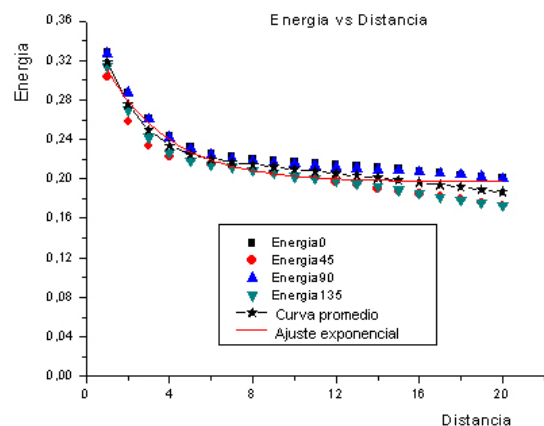


Fig. 7. Las gráficas muestran los valores del descriptor energía para cada una de las direcciones indicadas, la curva promedio de la energía total y el ajuste exponencial calculados a partir de las GLCM de la imagen de la muestra.

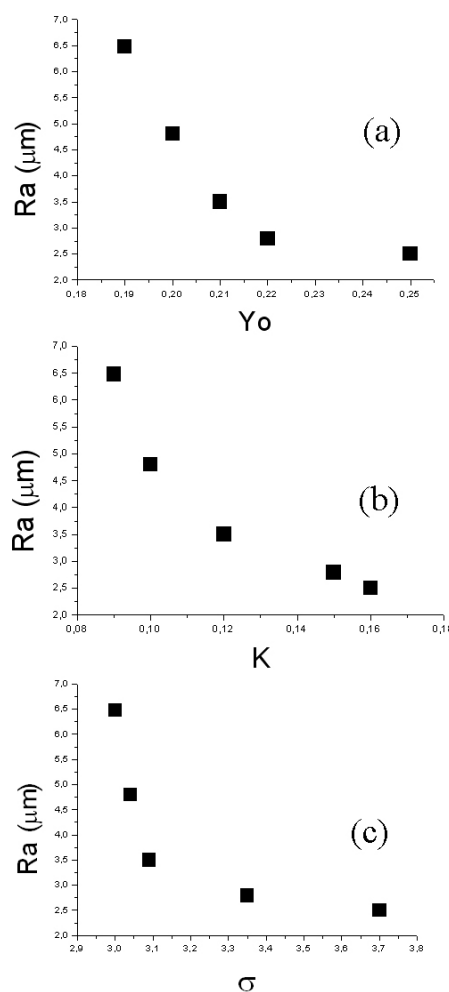


Fig. 8. Correlación de los parámetros ( $y_0$ ,  $k$ ,  $\sigma$ ) obtenidos a partir del descriptor energía con  $R_a$ .

## 5. Conclusiones

Las técnicas clásicas de medida de la rugosidad del papel entre ellas las basadas en el flujo del aire, son técnicas de laboratorio que evidentemente no pueden ser aplicadas en línea en el proceso de fabricación industrial del papel. Por otra parte, las técnicas basadas en el speckle, requieren, la mayoría, la toma de dos imágenes para efectuar la posterior correlación. Solo una de ellas, la de contraste, permite el uso de una sola imagen, pero su uso se limita a medidas de la rugosidad, en escalas inferiores a las del papel.

Hemos propuesto una técnica de medida de la rugosidad de la superficie del papel utilizando una sola imagen, estableciendo la relación entre la textura del patrón de speckle de la superficie y los descriptores que se extraen de la matriz de co-ocurrencia de niveles gris (GLCM).

Se estudiaron cuatro de los descriptores: contraste, correlación, energía, homogeneidad y su correspondiente correlación con la rugosidad de la superficie del papel. De los ajustes realizados para cada una de las curvas de los descriptores, la energía mantiene la mejor correlación a través de los parámetros base ( $\gamma_0$ ,  $k$ ,  $\sigma$ ) con la rugosidad de la superficie de las muestras de papel examinadas.

### Agradecimientos.

Queremos agradecer la ayuda prestada a los profesores J.Colom y A. Torres, del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universidad Politécnica de Catalunya y a la empresa Miquel y Costas & Miquel S.A.