

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 400 891**

21 Número de solicitud: 201130708

51 Int. Cl.:

G01B 11/30 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

04.05.2011

43 Fecha de publicación de la solicitud:

15.04.2013

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
(100.0%)**

**C/ Jordi Girona, 31
08034 Barcelona ES**

72 Inventor/es:

**OSVAN PINO, Abdiel ;
PLADELLORENS MALLOFRÉ, Josep ;
CUSOLA AUMEDES, Oriol ;
CAUM AREGAY, Jesús y
TOSAS FUENTES, Agustín**

54 Título: **SISTEMA Y PROCEDIMIENTO PARA LA MEDIDA DE LA RUGOSIDAD DE UNA MUESTRA DE PAPEL MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL PATRÓN DE TEXTURA DEL SPECKLE**

57 Resumen:

Sistema y procedimiento para la medida de la rugosidad de una muestra de papel mediante el análisis del patrón de textura del speckle.

Sistema para la medida de la rugosidad de una muestra (2) de papel, que con un láser (1) y un expansor del haz (11) en ángulo y distancia determinada respecto a la muestra (3), una cámara (3) digital en dirección normal a la muestra (2), un dispositivo de procesado (4) con un adaptador, y con al menos una fuente de alimentación.

Procedimiento para la medida de la rugosidad de una muestra (2) de papel, que comprende las siguientes etapas

(a) se proyecta y expande un haz láser sobre una muestra (3)

(b) una cámara (3) capta la imagen, obteniendo un patrón de speckle

(c) la cámara (3) envía dicho patrón de speckle al dispositivo de procesado (4)

(d) el dispositivo de procesado (4) obtiene el parámetro de rugosidad de la muestra (2) a través de un descriptor de la matriz de co-ocurrencia de niveles gris.

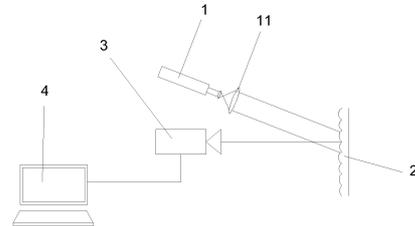


FIG. 1

DESCRIPCIÓN

SISTEMA Y PROCEDIMIENTO PARA LA MEDIDA DE LA RUGOSIDAD DE UNA MUESTRA DE PAPEL MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL PATRÓN DE TEXTURA DEL SPECKLE

5 Sistema y procedimiento para la medida de la rugosidad de una muestra de papel mediante el análisis del patrón de textura del speckle

OBJETO DE LA INVENCION

10

La presente invención trata de un sistema y procedimiento para la medida de la rugosidad de una muestra de papel, donde a través de una cámara, un láser y un expansor que actúan sobre una muestra, se envía una imagen del patrón de speckle a un sistema de procesado, que a través de la matriz de co-
15 ocurrencia calcula la rugosidad de dicha muestra mediante algún descriptor.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

La rugosidad de la superficie del papel es un parámetro muy importante en la fabricación de papel, siendo uno de los principales problemas en dicha 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 (R_a) de los valores absolutos de las alturas medidas a partir de la línea
25 central:

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

30

Se han investigado y desarrollado técnicas de contacto y no contacto adecuadas para la medida de la rugosidad del papel. Entre las técnicas más comunes se conoce el flujo de aire, la 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.

5 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 conoce que la metrología speckle tiene el potencial de obtener medidas de la rugosidad de una superficie.

10 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 y otros utilizan la correlación de speckle, ambos con buenos resultados tanto para estudiar superficies metálicas como dieléctricas, fluidos y también papel.

15

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

20 La presente invención trata de un sistema y un procedimiento para la medida de la rugosidad de una muestra de papel, utilizando matrices de co-ocurrencia. Las imágenes son captadas por medio de una simple configuración usando un láser, un expansor de haz y una cámara DDC. Se aplica el procesado digital de las imágenes utilizando la matriz de co-ocurrencia de niveles de gris (GLCM "Gray Level Co-occurrence Matrix"), relacionando esta característica con
25 la rugosidad, obtenida por otros métodos. Es un método de trazado de perfil de la superficie sin contacto y puede ser utilizado por tanto, para medir la rugosidad de la superficie en el proceso de fabricación.

30 Las técnicas clásicas de medida de la rugosidad del papel, entre ellas las basadas en el flujo de aire, son técnicas de laboratorio que 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 toma de dos imágenes para efectuar la posterior correlación.

Se propone aquí 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.

5

El sistema utilizado para realizar las medidas comprende un láser de Helio-Neón, una cámara CCD y un expansor de haz. La cámara está ubicada en la dirección normal a la muestra.

10 El haz láser es expandido y proyectado sobre el papel, con un ángulo y distancia determinados respecto a la normal, obteniendo un patrón de speckle.

Tanto la cámara digital como el ordenador necesitan fuentes de alimentación, siendo además necesaria la conexión entre ambos a través de un adaptador. Por medio de los componentes descritos, el sistema es capaz de captar imágenes del speckle. Una vez se ha realizado la captura de la imagen el sistema proporciona automáticamente la rugosidad de la muestra a través del parámetro de rugosidad R_a más comúnmente utilizado y que se define como la media aritmética de los valores absolutos de las alturas medidas a partir de una línea central.

20

La metodología utilizada para obtener la rugosidad a partir de los correspondientes niveles digitales, está basada en las técnicas de matriz de co-ocurrencia.

25

La co-ocurrencia de los niveles de gris de una imagen digital se pueden especificar mediante una matriz de frecuencias relativas con elementos C_{ij} en la que dos píxeles vecinos separados por una distancia d y una dirección θ ocurren en la imagen, uno con nivel de gris i y 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. 2). Las matrices de co-ocurrencia de niveles de gris deben cumplir con la propiedad de simetría y están dadas en

30

función de la relación angular entre los píxeles vecinos, así como la distancia entre ellos.

Cada una de las cuatro matrices de co-ocurrencia definidas para la distancia y las direcciones indicadas, son simétricas. Normalizando, transformamos a la matriz de co-ocurrencia en una aproximación de tabla de probabilidad, definida por:

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

De esta manera, se pueden calcular los descriptores de textura propuestos por Harilick que permiten describir la textura de una superficie. En este caso, se utiliza el de la energía definida por

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j}^2$$

Si se representa el parámetro energía respecto a la distancia d para las cuatro direcciones dadas en la Figura 2, y se promedia la curva obtenida, se obtiene una curva que se puede ajustar por la ecuación siguiente:

$$y = y_0 + k e^{-\frac{d}{\sigma}}$$

donde y es la función que representa al descriptor de energía, d representa las distancias entre los píxeles vecinos. Los parámetros y_0 , k y σ de la función son los utilizados para establecer la correlación con los correspondientes valores R_a de las muestras. Existe una relación unívoca entre R_a y y_0 que permite determinar la rugosidad del papel.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando del objeto de la invención y para ayudar a una mejor comprensión de las características que lo distinguen, se acompaña la presente memoria descriptiva, como parte integrante de la misma, de un juego de figuras, en las que con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado lo siguiente:

10 La Figura 1.- muestra una vista esquemática del sistema propuesto en la invención.

La Figura 2.- muestra la relación entre el píxel de interés y los píxeles vecinos de la imagen de speckle.

15 La Figura 3.- muestra el cómputo de las posibles combinaciones de niveles de gris de la imagen para el cálculo de la matriz de co-ocurrencia, en la figura 3(a) Imagen de prueba en su forma matricial, en la figura 3(b) las posibles combinaciones de niveles de grises para la imagen de prueba.

20 La Figura 4.- muestra cuatro de las matrices de co-ocurrencia de niveles de gris para ángulos iguales a 0° , 45° , 90° y 135° y radio igual a 1.

25 La Figura 5.- muestra la gráfica de 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.

30 La Figura 6.- muestra la correlación de los parámetros (y_0 , k , σ) obtenidos a partir del descriptor de energía con R_α

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN

La invención consiste en un sistema para la medida de la rugosidad de una muestra (2) de papel, así como el procedimiento para la medida de la rugosidad de dicha muestra (2) de papel.

El sistema de medida comprende un láser (1) junto con un expansor del haz (11) situado a un ángulo y distancia determinada respecto a la dirección normal de la muestra (2) que proyectan la luz sobre dicha muestra (2). Una cámara (3) digital situada en dirección normal a la muestra (2) capta la imagen, y la envía a un dispositivo de procesado (4), estando la cámara (3) y el dispositivo de procesado (4) conectados a través de un adaptador. El sistema ha de disponer de al menos una fuente de alimentación.

15

El procedimiento seguido para la medida de la rugosidad de una muestra (2) de papel comprende las siguientes etapas

- (a) se proyecta y expande un haz láser sobre una muestra (2) a través de un láser (1) y un expansor de haz (11)
- (b) una cámara (3) dispuesta en dirección normal a la muestra (2) capta la imagen, obteniendo un patrón de speckle
- (c) la cámara (3) envía dicho patrón de speckle al dispositivo de procesado (4)
- (d) a través del dispositivo de procesado (4) se obtiene el parámetro de rugosidad de la muestra (2) mediante un descriptor de la matriz de co-ocurrencia de niveles gris.

25

En una realización preferente de la invención, se utiliza una cámara (3) CCD UNIQ UM-301 de 752 x 582 píxeles, un láser de He-Ne de 5mW con una longitud de onda de 632.8 nm, y un expansor de haz (11). La cámara (3) se sitúa a unos 40 cm de la muestra (2), perpendicular a ésta. El láser (1), junto con el expansor de haz (11), se disponen en un ángulo de 30° con la perpendicular a la muestra (2), obteniendo un patrón de speckle de aproximadamente 1 cm de

30

diámetro. El dispositivo de procesado (4) será un ordenador en el que se instala un software correspondiente a la medida de la rugosidad, mediante el análisis de la imagen del speckle. Se utilizan diferentes programas de ordenador para la captura y análisis de las imágenes del patrón de speckle: Matrox, MATLAB y
5 Origin. Tanto el ordenador, como la cámara (3) y el láser (1) necesitan de fuente de alimentación, y pueden alimentarse de forma independiente.

La rugosidad de la superficie es determinada, como se comentado, a través de la matriz de co-ocurrencia de niveles gris (GLCM "Gray level co-
10 occurrence matrix") obtenida a partir de la imagen del patrón de speckle.

Y a partir de dicha matriz de co-ocurrencia se calculan los descriptores, donde alguno de ellos tiene relación directa con el valor de la rugosidad.

15 Según los resultados experimentales, el descriptor utilizado para obtener el valor de rugosidad de la muestra (2) será el parámetro de energía, representando las matrices de co-ocurrencia de niveles gris en función de la relación angular y la distancia entre píxeles, y representando dicho parámetro de energía en función de la distancia.

20

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 θ ocurren en la imagen, uno con nivel de gris i y el otro con nivel de gris j . La matriz de co-
25 ocurrencia considera la relación espacial entre dos píxeles, llamados píxel de referencia o de interés y su píxel vecino (ver Figura 2). 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
30 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.

Para el cálculo de la matriz, en la Fig. 3 se representa una imagen de prueba donde los valores corresponden a niveles de grises. La imagen tiene 4 pixeles 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. 4) en las cuatro direcciones como las definió Haralick.

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 ecuación (Ecuación 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, que utiliza 14 descriptores que permiten describir la textura de una superficie. En nuestro caso utilizaremos sólo 4 de ellos: Contraste (Ecuación (3)), correlación (Ecuación (4)), energía (Ecuación (5)) y homogeneidad (Ecuación (6)):

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

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

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

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

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.

5 La correlación (γ) 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.

10

La homogeneidad (h) proporciona información sobre la regularidad local de la textura.

15 Se analizaron 5 muestras de papel con diferentes grados de rugosidad, preparadas manualmente en laboratorio. Se ha medido la rugosidad utilizando los métodos de flujo de aire Bendtsen y Bekk y la microscopía confocal viendo que había buena correlación entre todos ellos. Se decide tomar la rugosidad obtenida por la microscopía confocal como referencia del estudio experimental.

20 Las imágenes del patrón de speckle han sido procesadas mediante algoritmos desarrollados en MATLAB y llevado a Origin donde se realizaron los ajustes de las curvas dadas por los cuatro descriptores de textura estudiados, utilizando el descriptor de energía por ser el que me jores resultados proporciona.

25

En la Figura 5 se muestran las gráficas del descriptor energía correspondientes a la imagen del speckle. Para relacionar la rugosidad de la superficie de cada muestra con el descriptor energía, se hace un promedio de las curvas del descriptor energía en las cuatro direcciones. El resultado se puede 30 aproximar a la función dada por la siguiente ecuación:

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

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 , σ de la función son los utilizados para establecer la correlación con los correspondientes valores R_a de las muestras obtenidos mediante la técnica de microscopia
5 confocal, que se muestran en la Fig. 6.

REIVINDICACIONES

1.- Sistema para la medida de la rugosidad de una muestra (2) de papel mediante el análisis del patrón de textura del speckle **caracterizado porque** comprende un láser (1) junto con un expansor del haz (11) situado a una distancia y ángulo determinados respecto a la dirección normal de la muestra (2) que proyectan la luz sobre dicha muestra (2), una cámara (3) digital situada en dirección normal a la muestra (2), y un dispositivo de procesado (4) de la imagen captada conectado a la cámara (3) a través de un adaptador, y con al menos una fuente de alimentación.

2.- Procedimiento para la medida de la rugosidad de una muestra de papel (2) mediante el análisis del patrón de textura del speckle, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas

- (a) se proyecta y expande un haz láser sobre una muestra (3) a través de un láser (1) y un expansor de haz (11)
- (b) una cámara (3) dispuesta en dirección normal a la muestra (2) capta la imagen, obteniendo un patrón de speckle
- (c) la cámara (3) envía dicho patrón de speckle al dispositivo de procesado (4)
- (d) el dispositivo de procesado (4) obtiene el parámetro de rugosidad de la muestra (2) a través de un descriptor de la matriz de co-ocurrencia de niveles gris.

3.- Procedimiento para la medida de la rugosidad de una muestra (2) de papel mediante el análisis del patrón de textura del speckle, según reivindicación 2, **caracterizado porque** el descriptor utilizado para obtener el valor de rugosidad de la muestra (2) es el parámetro de energía, representando las matrices de co-ocurrencia de niveles gris en función de la relación angular y la distancia entre píxeles, y representando dicho parámetro de energía en función de la distancia.

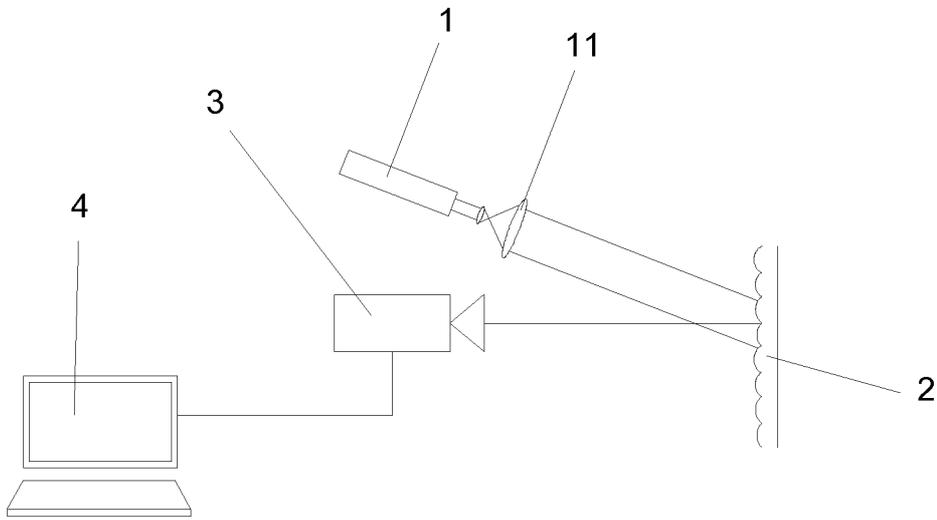


FIG. 1

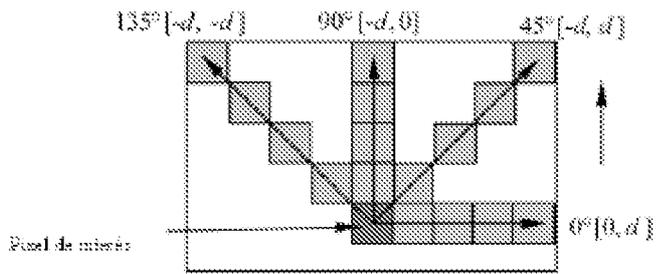


FIG. 2

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. 3

4	2	1	0
2	4	0	0
1	0	6	1
0	0	1	2

GLCM for $\delta=1$ and $\theta=0^\circ$

6	0	2	0
0	4	2	0
2	2	2	2
0	0	2	0

GLCM for $\delta=1$ and $\theta=90^\circ$

4	1	0	0
1	2	2	0
0	2	4	1
0	0	1	0

GLCM for $\delta=1$ and $\theta=45^\circ$

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

GLCM for $\delta=1$ and $\theta=135^\circ$

FIG. 4

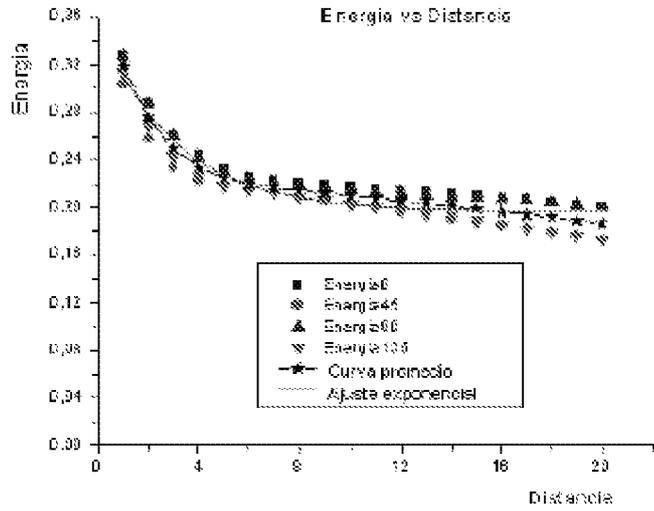


FIG. 5

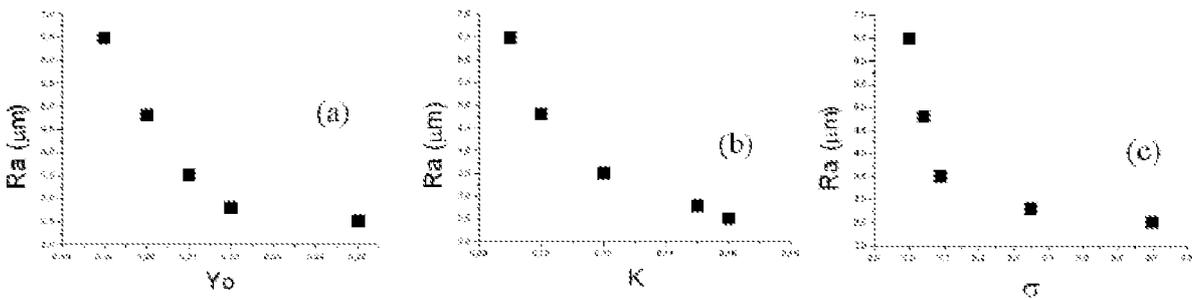


FIG. 6