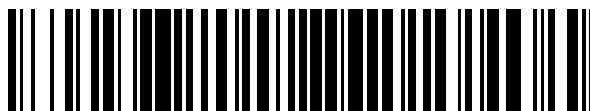


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 526 539**

51 Int. Cl.:

G07D 7/20 (2006.01)

G07D 7/00 (2006.01)

G06F 17/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.08.2010** **E 10757478 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.11.2014** **EP 2465098**

54 Título: **Autenticación de documentos de seguridad, en particular de billetes de banco**

30 Prioridad:

11.08.2009 EP 09167609

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

13.01.2015

73 Titular/es:

KBA-NOTASYS SA (100.0%)
PO Box 347 55, Avenue du Grey
1000 Lausanne 22, CH

72 Inventor/es:

GLOCK, STEFAN;
GILLICH, EUGEN;
SCHAEDE, JOHANNES GEORG y
LOHWEG, VOLKER

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 526 539 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Autenticación de documentos de seguridad, en particular de billetes de banco

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere en general a la autenticación de documentos de seguridad, en particular de billetes de banco. Con más precisión, la presente invención se refiere a mejoras adicionales de la invención descrita en la solicitud internacional nº WO 2008/146262 A2 de 2 de junio de 2008, titulada "AUTHENTICATION OF SECURITY DOCUMENTS, IN PARTICULAR OF BANKNOTES" (que reivindica prioridad de las solicitudes de patente europea nºs 07109470.0 de 1 de junio de 2007 y 07110633.0 de 20 de junio de 2007), a nombre del presente solicitante.

Antecedentes de la invención

- 10 Se hace referencia en la presente memoria a la discusión de la técnica anterior hecha en la solicitud internacional nº WO 2008/146262 A2 antes identificada y a la totalidad de la descripción de la misma. Todos los principios generales discutidos en la solicitud internacional nº WO 2008/146262 A2 se aplican igualmente a la presente invención.

- 15 La presente invención se ha realizado especialmente con miras a mejorar adicionalmente la invención descrita en la solicitud internacional nº WO 2008/146262 A2.

- 20 El documento WO2007/105892 describe un método para reconocer la denominación de un billete de banco mediante el empleo de transformada de ondícula. El método toma una imagen del billete de banco que ha de reconocerse, siendo aplicada varias veces la transformada de ondícula a la imagen con el fin de obtener los coeficientes de ondícula para cada celda, siendo comparados estos coeficientes con valores de referencia para cada coeficiente. Con los coeficientes se crea un vector de característica, y este vector se emplea después para medir la similitud con vectores esperados, detectando el valor del billete de banco en base a los resultados de la comparación.

El documento EP2000992 emplea transformadas de ondícula discretas para la autenticación de documentos de seguridad, siendo completas estas transformadas de ondícula.

- 25 El documento WO2004/056120 describe el empleo de transformadas de ondícula completas para comprimir señales n-dimensionales.

El documento XP010253805 describe la transmisión de datos de vídeo a través de un ancho de banda estrecho empleando transformadas de ondícula.

Sumario de la invención

- 30 Por consiguiente, es un objetivo general de la invención mejorar adicionalmente los métodos, usos y dispositivos descritos en la solicitud internacional nº WO 2008/146262 A2.

Con más precisión, es un objetivo de la presente invención proporcionar un método mejorado para comprobar la autenticidad de documentos de seguridad, en particular billetes de banco, que sea más robusto y pueda diferenciar eficazmente características impresas, aplicadas o dispuestas de otra forma en los documentos de seguridad.

- 35 En particular, la presente invención está dirigida a mejorar la diferenciación entre texturas impresas en huecogrado y texturas impresas en offset comercial de calidad media o alta.

Otro objetivo más de la presente invención es proporcionar un método tal que pueda ser conveniente y eficazmente implementado en un dispositivo portátil.

Estos objetivos, y otros, se consiguen gracias a las soluciones definidas en las reivindicaciones adjuntas.

- 40 Por consiguiente, se proporciona un método para comprobar la autenticidad de documentos de seguridad, en particular billetes de banco, en donde documentos de seguridad auténticos comprenden funciones de seguridad impresas, aplicadas o dispuestas de otra forma en los documentos de seguridad, las cuales características de seguridad comprenden características visuales distintivas intrínsecas a los procedimientos empleados para producir los documentos de seguridad, comprendiendo el método el paso de procesar digitalmente una imagen de muestra
- 45 de al menos una región de interés de la superficie de un documento candidato a ser autenticado, la cual región de interés abarca al menos parte de las características de seguridad, incluyendo el procesamiento digital realizar una descomposición de la imagen de muestra por medio de transformada de ondícula (WT, por sus siglas en inglés) de la imagen de muestra. De acuerdo con la invención, la descomposición de la imagen de muestra se basa en una transformada de paquete de ondículas (WPT) de la imagen de muestra.

- 50 Según una realización ventajosa de la invención, la transformada de paquete de ondículas (WPT) es una transformada de paquete de ondículas invariante a desplazamiento, bidimensional (2D-SIWPT), y está basada

preferiblemente en una transformada incompleta de paquete de ondículas.

En este último caso, la descomposición de la imagen de muestra puede incluir la descomposición de la imagen de muestra en un árbol de paquetes de ondículas que comprende al menos un nodo de aproximación y nodos de detalle, y buscar el nodo de detalle dentro del árbol de paquetes de ondículas que tenga el mayor contenido de información. Tal determinación se basa ventajosamente en un denominado "algoritmo de mejor rama" (BBA, por sus siglas en inglés).

También se proporciona un método para producir documentos de seguridad según la reivindicación 14, así como una unidad de procesamiento digital de señal según la reivindicación 16 y un dispositivo para comprobar la autenticidad de documentos de seguridad según la reivindicación 18. Dicho dispositivo puede ser ventajosamente implementado como un dispositivo electrónico portátil con capacidad integrada de adquisición de imágenes, tal como un teléfono inteligente.

También se reivindica el empleo de transformada de paquete de ondículas (WPT) para la autenticación de documentos de seguridad, en particular billetes de banco.

Se proporciona también un método para detectar características de seguridad impresas, aplicadas o dispuestas de otra forma en documentos de seguridad, en particular billetes de banco, las cuales características de seguridad comprenden características visuales distintivas intrínsecas a los procedimientos empleados para producir los documentos de seguridad, comprendiendo el método el paso de procesar digitalmente una imagen de muestra de al menos una región de interés de la superficie de un documento candidato, la cual región de interés se selecciona para que incluya al menos una parte de las características de seguridad, incluyendo el procesamiento digital la realización de una descomposición de la imagen de muestra por medio de transformada de ondícula (WT) de la imagen de muestra. La descomposición de la imagen de muestra se basa análogamente en una transformada de paquete de ondículas (WPT) de la imagen de muestra.

Realizaciones ventajosas de las soluciones anteriores forman la materia objeto de las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

Aparecerán más claramente otras características y ventajas de la presente invención al leer la siguiente descripción detallada de realizaciones de la invención, que se presentan únicamente a modo de ejemplos no restrictivos y están ilustradas por los dibujos adjuntos, en los cuales:

la Figura 1a es una exploración en escala de grises de un espécimen de billete de banco ilustrativo;

la Figura 1b es una fotografía en escala de grises de parte de la esquina superior derecha del espécimen de billete de banco de la Figura 1a;

las Figuras 2a y 2b son vistas ampliadas del espécimen de billete de banco de la Figura 1a, correspondiendo la Figura 2b a la zona indicada por un cuadrado blanco en la Figura 2a;

las Figuras 3a y 3b son vistas ampliadas de una primera copia a color del espécimen de billete de banco de la Figura 1a, correspondiendo la Figura 3b a la zona indicada por un cuadrado blanco en la Figura 3a;

las Figuras 4a y 4b son vistas ampliadas de una segunda copia en color del espécimen de billete de banco de la Figura 1a, correspondiendo la Figura 4b a la zona indicada por un cuadrado blanco en la Figura 4a;

la Figura 5 es una ilustración esquemática de una transformada de paquete de ondículas ("WPT") bidimensional con estructura de árbol, con tres niveles de árbol (dos niveles de descomposición);

la Figura 6 es una ilustración esquemática de una transformada de paquete de ondículas invariante a desplazamiento ("SIWPT") unidimensional implementada como un banco de filtros;

la Figura 7 muestra los histogramas normalizados de coeficientes de ondícula de una textura impresa en huecograbado (izquierda) y una comercial (derecha) después de una 2D-SIWPT de un nivel, de acuerdo con la invención;

la Figura 8 muestra un árbol de paquetes de ondículas incompleto descompuesto de acuerdo a un algoritmo de mejor rama (BBA) de acuerdo con una realización preferida de la invención;

la Figura 9 ilustra seis texturas impresas diferentes que son características de impresión en huecograbado y que han sido utilizadas como base para constituir un conjunto de muestras de experimentación;

la Figura 10 es un diagrama que ilustra la distancia inter-clase e intra-clase de las texturas de la Figura 9 impresas mediante impresión en huecograbado y mediante impresión offset comercial de calidad media y alta;

la Figura 11 es un espacio bidimensional de características que ilustra la clasificación de las muestras después

del procesamiento basado en la varianza σ^2 y el exceso C de la distribución estadística de los coeficientes de ondícula resultantes de la descomposición de la imagen de muestra de acuerdo con la invención; y

la Figura 12 es un diagrama esquemático de un dispositivo para comprobar la autenticidad de documentos de seguridad de acuerdo con el método de la presente invención.

5 Descripción detallada de realizaciones de la invención

Los antecedentes de la presente invención surgen de la observación de que características de seguridad impresas, aplicadas o dispuestas de otra forma en documentos de seguridad empleando los procedimientos de producción específicos que sólo están disponibles para el impresor de seguridad, en particular características impresas en huecograbado, presentan características visuales muy distintivas (denominadas en adelante "características intrínsecas") que son reconocibles por una persona cualificada que posea conocimientos acerca de los procedimientos de producción específicos involucrados.

La discusión que sigue se centrará en el análisis de características intrínsecas producidas por impresión en huecograbado. No obstante, se apreciará que el mismo enfoque es aplicable a otras características intrínsecas de billetes de banco, en particular características impresas en offset de líneas, características impresas por tipografía y/o estructuras ópticamente difractivas. Los resultados de los ensayos que ha llevado a cabo el presente solicitante han mostrado que las características impresas en huecograbado son muy adecuadas para los fines de autenticación de acuerdo con la invención y además proporcionan los mejores resultados. Esto se debe especialmente al hecho de que la impresión en huecograbado permite la impresión de patrones muy finos, de alta resolución y nítidamente definidos. Por tanto, la impresión en huecograbado es un procedimiento preferido para producir las características intrínsecas que son explotadas en el contexto de la presente invención.

La Figura 1a es una exploración en escala de grises de un espécimen 1 de billete de banco ilustrativo que muestra el retrato de Jules Verne y que fue producido durante el año 2004 por el presente solicitante. Este espécimen 1 de billete de banco se produjo empleando una combinación de técnicas de impresión y procesamiento específicas para la producción de billetes de banco, que incluyen en particular la impresión offset de líneas para imprimir el fondo multicolor 10 del billete, impresión en serigrafía para imprimir patrones de tinta ópticamente variables, que incluyen motivos de un planisferio 20 y de un sextante 21, técnicas de estampación de lámina para aplicar dispositivos ópticamente variables, que incluyen una tira de material 30 portador de estructuras ópticamente difractivas que se extiende verticalmente a lo largo de la altura del billete de banco (estando delimitada esquemáticamente dicha tira 30 por dos líneas de trazos en la Figura 1a), impresión en huecograbado para imprimir varios patrones 41 a 49 de huecograbado, entre ellos el retrato 41 de Jules Verne, impresión tipográfica para imprimir dos números 51, 52 de serie, y barnizado para barnizar el billete con una capa de barniz protector. Este espécimen 1 de billete de banco también está provisto de un marcado 60 en el lado derecho del espécimen, habiendo sido aplicada dicha marca 60 mediante ablación parcial con láser de la tira 30 y de una capa subyacente de tinta impresa en offset (no referenciada). En el ejemplo ilustrado, el retrato 41 (junto con la designación vertical del año 2004 y los motivos pictóricos que rodean el retrato), un logotipo de "KBA-GIORI" con el Pegaso 42, marcas "KBA-GIORI" 43 y "Specimen" 44, y patrones táctiles 45 a 49 en tres esquinas del billete y en el lado derecho y el lado izquierdo del billete fueron impresos mediante impresión en huecograbado encima del fondo 10 de offset de líneas, los motivos 20, 21 impresos en serigrafía, y la tira de material 30. Los números de serie 51, 52 se imprimieron, y se llevó a cabo el barnizado, después de la fase de impresión en huecograbado. Se entenderá además que el espécimen 1 de billete de banco se produjo mediante impresión con alimentación de pliego y equipo de procesamiento (suministrado por el presente solicitante), llevando cada hoja impresa una matriz de múltiples especímenes de billete de banco (como es habitual en la técnica) que finalmente fueron cortados en billetes individuales al final del proceso de producción.

La Figura 1b es una fotografía en escala de grises de la esquina superior derecha del espécimen de billete de banco de la Figura 1a que muestra con mayor detalle el logotipo de "KBA-GIORI" impreso en huecograbado con el Pegaso 42 y el patrón táctil 45 que comprende un conjunto de líneas paralelas a cuarenta y cinco grados que se solapan parcialmente con el Pegaso 42. En esta fotografía se pueden ver claramente el efecto de realce y relieve distintivo de la impresión en huecograbado y la nitidez de la impresión.

La Figura 2a es una vista más detallada de una parte del lado izquierdo del retrato 41 de la Figura 1a (en la Figura 2a también son parcialmente visibles los patrones 20, 21 y 44). La Figura 2b es una vista ampliada de una porción cuadrada (o región de interés (R.o.I., por sus siglas en inglés)) del retrato 41, estando ilustrada dicha parte cuadrada por un cuadrado blanco en la Figura 2a. La Figura 2b muestra algunas de las características intrínsecas distintivas de los patrones de huecograbado que constituyen el retrato 41. La región de interés R.o.I. empleada para el posterior procesamiento de señal no necesita cubrir una gran superficie del documento. Antes bien, los ensayos han demostrado que una superficie de menos de 5 cm² ya es suficiente para los fines de la autenticación.

Las Figuras 3a, 3b y 4a, 4b son imágenes en escala de grises similares a las Figuras 2a, 2b de dos copias en color del espécimen de billete de banco mostrado en la Figura 1a, copias que fueron producidas utilizando equipos comerciales de copia en color. En cada una de las Figuras 3a y 4a, el cuadrado blanco representado indica la correspondiente región de interés R.o.I. del retrato que se muestra en vista ampliada en las Figuras 3b y 4b,

respectivamente. La primera copia en color ilustrada en las Figuras 3a, 3b fue producida utilizando una impresora de inyección de tinta Epson y papel fotográfico Epson. La segunda copia en color ilustrada en las Figuras 4a, 4b fue producida utilizando una impresora de chorro de tinta Canon y papel normal. Para explorar la muestra original y proporcionar la necesaria información de entrada a las impresoras de inyección de tinta se utilizó un escáner de alta resolución.

Mientras que el aspecto visual general de ambas copias en color es similar al espécimen original, una observación más detenida de las estructuras del patrón de huecograbado copiado que forman el retrato, tal como se ilustra en las Figuras 3b y 4b, muestra que las estructuras no están tan nítidamente definidas como en el espécimen original (véase la Figura 2b) y que estas estructuras parecen estar algo emborronadas y alisadas como resultado del proceso de impresión por chorro de tinta y la naturaleza del papel usado. La información de imagen contenida en las Figuras 3b y 4b es claramente diferente de la del espécimen original ilustrada en la Figura 2b. La invención descrita en la solicitud internacional nº WO 2008/146262 A2 se refiere a un método que define cómo se puede poner de manifiesto y aprovechar esta diferencia para distinguir entre el espécimen original y auténtico de las Figuras 2a, 2b y las copias de las Figuras 3a, 3b y 4a, 4b. La discusión que sigue tratará de una mejora de este método anterior.

Tal como se ha sugerido más arriba, una característica intrínseca y distintiva de los patrones impresos en huecograbado es, en particular, la elevada nitidez de la impresión, mientras que las copias impresas con chorro de tinta presentan una nitidez de impresión sustancialmente menor debido, en particular, al procesamiento digital y a la impresión. Lo mismo puede decirse de las copias impresas con láser en color, así como de las copias obtenidas por procedimientos de sublimación térmica. Esta diferencia puede ser puesta de manifiesto realizando una descomposición de los datos de imagen contenidos en una vista ampliada (o región de interés) del documento candidato a ser autenticado, tal como las vistas de las Figuras 2b, 3b y 4b, realizando una descomposición de la imagen de muestra por medio de una transformada de ondícula (WT), y extrayendo de tal descomposición datos clasificadores representativos. El principio general de la transformada de ondícula (WT), tal como se aplica con el fin de comprobar la autenticidad de documentos de seguridad, está extensamente discutido en la solicitud internacional nº WO 2008/146262 A2, cuyo contenido se incorpora en su totalidad en la presente memoria por referencia.

Un ondícula es una función matemática empleada para dividir una función o señal dada en diferentes componentes de escala. Una transformada de ondícula (en adelante "WT", por sus siglas en inglés) es la representación de la función o señal mediante ondículas. Las WT ofrecen ventajas sobre las tradicionales transformadas de Fourier para representar funciones y señales que contienen discontinuidades y picos agudos.

Se apreciará que no se debe asimilar la transformada de Fourier a la WT. De hecho, la transformada de Fourier sólo implica la transformación de la imagen procesada en un espectro indicativo del contenido de frecuencia espacial relevante de la imagen, sin ninguna distinción en cuanto a escala.

En la presente descripción no se discutirá en profundidad la teoría de ondículas ya que, como tal, esta teoría es muy conocida en la técnica y está abundantemente discutida y descrita en varios libros de texto sobre el tema. El lector interesado puede consultar, por ejemplo, [Mallat1989] y [Unser1995] (véase la lista de referencias al final de la presente descripción). La WT estructurada en pirámide discutida en [Mallat1989] y la WT invariante a desplazamiento discutida en [Unser1995] descomponen sucesivamente las escalas de baja frecuencia. Sin embargo, una amplia clase de texturas tiene sus frecuencias dominantes en las escalas de frecuencia media.

Para superar este inconveniente, la presente invención hace uso de la denominada transformada de paquete de ondículas (en adelante "WPT") que es conocida como tal en la técnica (véase, por ejemplo [Chang1993]). El uso de WPT en el contexto particular de la presente invención constituye una mejora sobre la invención descrita en el documento WO 2008/146262 A2, tal como se discutirá en lo que sigue.

Como se ha discutido más arriba, las impresiones de seguridad tales como billetes de banco son producidas principalmente mediante offset de líneas, impresión tipográfica, aplicación de lámina e impresión en huecograbado. Especialmente esta última técnica desempeña un importante papel en la fiabilidad de billetes de banco (véase [Dyck2008]). El término "intaglio", utilizado en lengua inglesa para huecograbado, es de origen italiano y significa "grabar". El método de impresión con ese nombre utiliza una placa metálica con caracteres y estructuras grabadas. Durante el proceso de impresión las estructuras grabadas se rellenan con tinta y se prensan bajo una gran presión (decenas de toneladas por centímetro cuadrado) directamente sobre el papel (véase [vanRenesse2005]). Se forman un relieve táctil y finas líneas, exclusivas del procedimiento de impresión en huecograbado y casi imposibles de reproducir mediante métodos de impresión comerciales (véase [Schaeede2006]). Puesto que el procedimiento de huecograbado se utiliza para producir el papel moneda de todo el mundo, las prensas de huecograbado y las compañías que las poseen son supervisadas por organismos gubernamentales.

En términos de procesamiento de señales, se pueden considerar las estructuras finas de la técnica de huecograbado como texturas con ciertos intervalos de frecuencias espaciales. Por tanto, debería ser posible detectarlas con WPT. Para este fin se propone un nuevo algoritmo de extracción de características basado preferiblemente en WPT incompleta (véase [Jiang2003]). Pertenece a los enfoques de tipo descendente, y se puede aplicar a WPT redundante invariante a desplazamiento y a WPT invariante a desplazamiento. El algoritmo descompone el denominado árbol de paquetes de ondícula según un criterio que se basa en momentos estadísticos de primer orden

de coeficientes de ondícula.

La WPT es una generalización de la WT clásica que implica que se descomponen no sólo la aproximación (partes de baja frecuencia), sino también los detalles (partes de alta frecuencia) de una señal (véase [Zhang2002]). Esto da como resultado una WPT con estructura de árbol tal como se muestra esquemáticamente en la Figura 5, y la descomposición de la antes mencionada resolución más rica de escalas de frecuencia espacial media y alta que no son descompuestas en la WT clásica. Debido a su característica arbórea, las escalas de frecuencia son denominadas nodos o subimágenes. En cada nivel de descomposición, todos los nodos de hoja son descompuestos en un nodo de aproximación $A_{i,j}$ y tres nodos de detalle $cV_{i,j}$, $cH_{i,j}$ y $cD_{i,j}$. $cV_{i,j}$ representa los detalles verticales, $cH_{i,j}$ los detalles horizontales y $cD_{i,j}$ los detalles diagonales, donde i es el nivel de descomposición y j el número de nodo.

Tal como se representa en la Figura 5, que muestra una transformada de paquetes de ondícula bidimensional de estructura arbórea, con tres niveles de árbol, la imagen original, o "raíz", $A_{0,0}$ se descompone en ($i = 1$, primer nivel de descomposición, segundo nivel de árbol después de la raíz) un nodo de aproximación $A_{1,0}$ ($j = 0$, primer nodo) y tres nodos de detalle $cV_{1,1}$ ($j = 1$, segundo nodo), $cH_{1,2}$ ($j = 2$, tercer nodo) y $cD_{1,3}$ ($j = 3$, cuarto nodo). Después, cada nodo $A_{1,0}$, $cV_{1,1}$, $cH_{1,2}$ y $cD_{1,3}$ del segundo nivel de árbol es descompuesto ulteriormente ($i = 2$, segundo nivel de descomposición, tercer nivel de árbol) en dieciséis nodos ($j = 0$ hasta 15) $A_{2,0}$, $cV_{2,1}$, $cH_{2,2}$, $cD_{2,3}$, $A_{2,4}$, $cV_{2,5}$, $cH_{2,6}$, $cD_{2,7}$, $A_{2,8}$, $cV_{2,9}$, $cH_{2,10}$, $cD_{2,11}$, $A_{2,12}$, $cV_{2,13}$, $cH_{2,14}$ y $cD_{2,15}$.

La mayoría de los métodos de análisis de textura existentes basados en WPT bidimensionales asumen explícita o implícitamente que las imágenes con textura son adquiridas desde el mismo punto de vista (véase [Coifman1992]). En muchas aplicaciones prácticas, es casi imposible garantizar esta limitación. Por lo tanto, son muy deseables WPTs invariantes a desplazamiento. En la implementación tradicional de la WPT bidimensional primeramente se convolucionan señales mediante filtros de ondícula y, después se muestrean en disminución ("downsampled", en inglés). La longitud de la señal descompuesta es $1/4^i$ veces la señal original, en donde i es de nuevo el nivel de descomposición. El muestreo en disminución da como resultado una representación de señal variante frente a desplazamiento tal como ha sido discutido en [Mallat1989]. El enfoque alternativo descrito por [Shensa1992] proporciona una transformada invariante a desplazamiento omitiendo el muestreo en disminución en cada nivel. El gran lastre de este método es el elevado esfuerzo computacional necesario a causa de la representación de señal altamente redundante. Teniendo en cuenta estos inconvenientes, se ha propuesto una WPT invariante a desplazamiento (o "SIWPT") unidimensional. Se basa en el hecho de que una traslación arbitraria de señal de Δ muestras está acotada por $\text{mod}(\Delta, 2)$ (en donde $\text{mod}(x, y)$ designa la denominada función de módulo) debido al muestreo en disminución en cada nivel de descomposición. Por lo tanto, se puede conseguir una representación invariante a desplazamiento mediante la descomposición de una versión no desplazada de los nodos de aproximación y de detalle, definida por las ecuaciones [1] y [2] siguientes, y una versión desplazada en un píxel, definida por las ecuaciones [3] y [4] siguientes.

$$d_{i+1,2j}[k] = \sum_n h[n] d_{i,j}[n + 2k], \quad [1]$$

$$d_{i+1,2j+1}[k] = \sum_n g[n] d_{i,j}[n + 2k], \quad [2]$$

$$d_{i+1,2j+2^{2i-1}}[k] = \sum_n h[n] d_{i,j}[n + 2k + 1], \quad [3]$$

$$d_{i+1,2j+1+2^{2i-1}}[k] = \sum_n g[n] d_{i,j}[n + 2k + 1], \quad [4]$$

Ambas versiones son muestreadas en disminución y convolucionadas mediante filtros de ondícula arbitrarios $g[n]$ y $h[n]$. $h[n]$ es un paso filtro de ondícula de paso bajo y $g[n]$ es un filtro de paso alto, respectivamente (véase [Mallat1989] y [Daubechies1992]).

En base a un criterio de contenido de información (que se discutirá más adelante) se identifica la versión con el mayor contenido de información, y se continúa descomponiéndola, mientras que la otra versión es sometida a una conversión ascendente ("upcasting"). La conversión ascendente permite una representación no redundante y un tiempo rápido de ejecución. En la Figura 6 se ilustra la implementación de una SIWPT unidimensional como banco de filtros. Como ya se ha mencionado, en cada nivel de árbol se descompone y se muestrea en disminución una versión no desplazada y una versión desplazada en un píxel. En base a un criterio de contenido de información, se continúa descomponiendo una versión, mientras que se descarta la otra versión.

El método antes mencionado fue definido exclusivamente para señales unidimensionales. En el contexto de la presente invención, se ha modificado la SIWPT para señales bidimensionales, tales como imágenes. La SIWPT bidimensional resultante (o "2D-SIWPT") descompone primeramente cuatro versiones desplazadas diferentes del nodo relevante. En base al contenido de información resultante, se descartan tres de las cuatro versiones, mientras que se continúa descomponiendo la versión con el mayor contenido de información. De acuerdo con experimentos que se han llevado a cabo, no hay diferencia en estabilidad de características y calidad entre las WPT invariantes a desplazamiento.

Tal como se ha discutido más arriba, la WPT permite una caracterización completa de texturas en todas las escalas

de frecuencia. Sin embargo, al aumentar el nivel de descomposición, el número de nodos (o subimágenes) crece exponencialmente. Esto empeora considerablemente el tiempo de ejecución y, en consecuencia, se ha ideado una metodología para concentrarse sólo en el nodo más relevante.

Para el análisis de texturas, generalmente no es necesario conseguir una descomposición completa en árbol de paquetes de ondícula. En lugar de ello, es más importante centrarse en nodos que proporcionen la mejor resolución de frecuencia espacial y el mayor contenido de información, respectivamente. Por tanto, según una realización preferida de la invención, se descompone la WPT de acuerdo con un criterio de contenido de información, dando como resultado una WPT incompleta. La mayoría de los métodos conocidos, tales como [Chang1993], [Jiang2003], [Coifman1992], [Saito1994], [Wang2008] y [Wang2000] emplean para este fin la entropía o la energía promedio de una imagen. [Choi2006] aplica la WT con estadísticas de primer orden para clasificar diferentes denominaciones de billetes de banco.

Desde un punto de vista global, las texturas impresas mediante los procedimientos de impresión antes mencionados son apenas distinguibles. Los métodos basados en entropía o energía están diseñados para separar diferentes texturas y no pueden diferenciarlos con resultados satisfactorios. Se necesita, por tanto, un enfoque diferente. Las texturas impresas de diferente forma son respectivamente distintas en sus transiciones de escala de grises y discontinuidades. En particular, las discontinuidades de texturas impresas en huecogrado son más pronunciadas en comparación con las de impresiones comerciales. Se puede determinar esta diferencia por la varianza y el exceso de los coeficientes de ondícula, tal como se discute en la solicitud internacional nº WO 2008/146262 A2.

La Figura 7 muestra los histogramas normalizados de coeficientes de ondícula de una textura impresa en huecogrado (izquierda) y una comercial (derecha) después de una 2D-SIWPT de un nivel, de acuerdo con la invención (véanse también las Figuras 12 a 20 y la descripción relativa en la solicitud internacional nº WO 2008/146262 A2). La estructura sumamente discontinua de la impresión en huecogrado conduce a una ponderación sobre coeficientes de ondícula medios y altos, mientras que el histograma de la impresión comercial presenta una distribución estrecha y está ponderado sobre coeficientes pequeños. En este caso particular, la mejor separación entre las distintas técnicas de impresión se puede lograr si se descompone el árbol hacia varianza y exceso, hasta que se maximiza el contraste de subimágenes. Se puede suponer entonces que la subimagen relevante representa la textura de la mejor manera posible.

Considerando las tolerancias de producción y el proceso de digitalización, las texturas podrían estar influenciadas por ruido aditivo. Teniendo en cuenta que el ruido está representado por coeficientes de ondícula pequeños (véase [Fowler2005]), los histogramas de texturas ruidosas presentan una distribución ancha.

Las dos propiedades antes mencionadas conducen a un criterio de parada de tres fases 1. a 3.:

1. Si la varianza disminuye durante la descomposición, la subimagen tendrá menor contraste; por lo tanto se debe detener la descomposición;

2. Si la varianza crece al menos en el mismo grado en que disminuye el exceso, los coeficientes de ondícula pequeños del nivel anterior se harán mayores; las subimágenes son así menos ruidosas y se debe continuar descomponiéndolas; este criterio puede formularse como la ecuación [5] siguiente:

$$\frac{\sigma_{i-1}^2 - \sigma_i^2}{\sigma_{i-1}^2} \geq \frac{C_{i-1} - C_i}{C_{i-1}} \quad [5]$$

3. Si durante la descomposición crecen tanto la varianza como el exceso, el contraste de las subimágenes se verá intensificado; por lo tanto, se debe continuar descomponiendo el árbol.

Además, si el tamaño de una subimagen es menor que el valor determinado empíricamente de 16x16 coeficientes, la varianza y el exceso pueden variar ampliamente de una muestra a otra. En consecuencia, las características podrían volverse inestables (véase [Chang1993]). Por lo tanto, se debe utilizar preferiblemente este tamaño de subimagen como criterio general de parada.

Se presentará ahora un nuevo concepto algorítmico basado en el contenido de información y criterios de parada antes mencionados. Tal concepto se basa en el supuesto de que sólo es importante para el análisis de textura la rama de árbol que proporciona la mejor resolución de frecuencia espacial. El siguiente examen de propiedades de árbol conduce a un denominado "algoritmo de mejor rama" (BBA).

Los nodos de detalle, como su nombre sugiere, contienen las características específicas o detalladas de una textura. Por lo tanto, aunque las texturas sean similares, podrían ser diferenciadas por medio de esta información. Los nodos de aproximación de la rama de árbol más a la izquierda, la denominada rama de aproximación, sólo contienen la información de baja frecuencia. Por tanto, es casi imposible distinguir diferentes técnicas de impresión con el contenido de información de la rama de aproximación y, por tanto, para la extracción de características no debería utilizarse dicha rama de aproximación. Teóricamente, sus hijos, que representan la parte más baja de la escala de frecuencias medias, podrían proporcionar la mejor resolución de frecuencia espacial. Esta información no se podría

extraer directamente de los nodos de aproximación. Por esta razón, los nodos de aproximación tienen que ser descompuestos en tanto que sus hijos proporcionen la mejor resolución de frecuencia espacial de todo el árbol. Para acelerar el tiempo de ejecución, resulta ventajoso concentrarse en la rama de detalle con la mejor resolución de frecuencia espacial y la rama de aproximación, en tanto que sus hijos proporcionen mejor información que la mejor rama de detalle. Para evaluar la rama de detalle del siguiente nivel de descomposición, se tiene que investigar el nodo con el contenido de información más alto del nivel actual, el denominado mejor nodo. Puesto que el exceso de subimágenes en el mismo nivel de árbol es casi igual, se puede determinar el mejor nodo de detalle atendiendo a la varianza más alta.

La siguiente tabla resume una posible implementación del algoritmo de mejor rama:

Algoritmo 1 Algoritmo de mejor rama

Require: $\text{mod}(M \times M, 2) = 0$

finished $\leftarrow$ *false*

i $\leftarrow$ 1

$A_{i,0}, cV_{i,1}, cH_{i,2}, cD_{i,3} \leftarrow \text{2D-SIWPT}(A_{i-1,0})$

while ($i \leq \log_2(M \times M = 16 \times 16)$ and $\neg(\text{finished})$) **do**

cB_i ($\max(\sigma(A_{i,0}, cV_{i,1}, \dots, cD_{i,7}))$) {determinar el mejor nodo de detalle cB_i }

if $cB_i \subset A_{i-1,0}$ **then**

{el mejor nodo es parte de la rama de aproximación}

delete $A_{i,4}, cV_{i,5}, cH_{i,6}, cD_{i,7}$

j $\leftarrow$ 0

else

{el mejor nodo es parte de la rama de detalle}

delete $A_{i,0}, cV_{i,1}, cH_{i,2}, cD_{i,3}$

j $\leftarrow$ 4

end if

$\sigma^2_i \leftarrow \sigma^2_{cV_{i,j+1}} + \sigma^2_{cH_{i,j+2}} + \sigma^2_{cD_{i,j+3}}$

$C_i \leftarrow C_{cV_{i,j+1}} + C_{cH_{i,j+2}} + C_{cD_{i,j+3}}$

if $\sigma^2_{i-1} > \sigma^2_i$ **then**

finished $\leftarrow$ *true*

{se ha alcanzado la mejor resolución de frecuencia espacial}

else if $C_{i-1} > C_i$ **then**

if $\neg(\text{Eq. [5]})$ **then**

finished $\leftarrow$ *true*

{se ha alcanzado la mejor resolución de frecuencia espacial}

else

increment *i*

if $cB_{i-1} \subset A_{i-2,0}$ **then**

$A_{i,0}, cV_{i,1}, cH_{i,2}, cD_{i,3} \leftarrow \text{2D-SIWPT}(A_{i-1,0})$

$A_{i,4}, cV_{i,5}, cH_{i,6}, cD_{i,7} \leftarrow \text{2D-SIWPT}(cB_{i-1})$

else

$A_{i,4}, cV_{i,5}, cH_{i,6}, cD_{i,7} \leftarrow \text{2D-SIWPT}(cB_{i-1})$

end if

end if

end while

{ C_{i-1} y σ^2_{i-1} representan la mejor textura posible}

La Figura 8 muestra esquemáticamente una ilustración de un árbol incompleto de paquetes de ondícula que ha sido descompuesto utilizando el anterior algoritmo de mejor rama. Los nodos resaltados son identificados como los mejores nodos (cB_1 , cB_2 , cB_3) de su correspondiente nivel de descomposición, y los nodos de línea de puntos son los que han sido descartados durante la descomposición. La rama de detalle del tercer nivel de descomposición caracteriza la textura casi de manera óptima.

En la ilustración de la Figura 8, se entenderá así que el mejor nodo cB_i del primer nivel de descomposición ($i=1$) se determina en este ejemplo ilustrativo como el nodo que contiene los detalles diagonales ($cD_{1,3}$), es decir, el nodo que presenta la mayor varianza en comparación con los otros nodos de detalle ($cV_{1,1}$ y $cH_{1,2}$) del mismo nivel de descomposición.

En el siguiente nivel de descomposición ($i=2$), sólo el nodo aproximación $A_{1,0}$ y el mejor nodo cB_1 del primer nivel de

descomposición son descompuestos ulteriormente para determinar qué nodo conduce al mejor contenido de información. Tal como se ilustra en el ejemplo de la Figura 8, la ulterior descomposición del nodo de aproximación $A_{1,0}$ conduce a la identificación del mejor nodo cB_2 para el segundo nivel de descomposición. En este ejemplo, se determina que el mejor nodo cB_2 del segundo nivel de descomposición ($i=2$) en este ejemplo ilustrativo es el nodo $cD_{2,3}$ que contiene los detalles diagonales resultantes de la descomposición ulterior del nodo de aproximación $A_{1,0}$, es decir, el nodo que presenta la mayor varianza en comparación con los otros nodos de detalle $cV_{2,1}$, $cH_{2,2}$, $cV_{2,13}$, $cH_{2,14}$ y $cD_{2,15}$ del mismo nivel de descomposición. En este ejemplo, la ulterior descomposición del mejor nodo encontrado con anterioridad cB_1 (es decir, el nodo de detalle $cD_{1,3}$) conduce en consecuencia a la descomposición en nodos $A_{2,12}$, $cV_{2,13}$, $cH_{2,14}$ y $cD_{2,15}$ que son posteriormente descartados como se indica con líneas de puntos.

En el siguiente nivel de descomposición ($i=3$), sólo el nodo de aproximación $A_{2,0}$ y el mejor nodo cB_2 del segundo nivel de descomposición son descompuestos ulteriormente para determinar de manera análoga qué nodo conduce al mejor contenido de información. En este caso, el mejor nodo cB_3 del tercer nivel de descomposición ($i=3$) se identifica como el nodo de detalle $cH_{3,14}$ que contiene los detalles horizontales resultantes de la descomposición ulterior del anterior mejor nodo cB_2 , es decir, el nodo que presenta la mayor varianza en comparación con los otros nodos de detalle ($cV_{3,1}$, $cH_{3,2}$, $cD_{3,3}$, $cV_{3,13}$ y $cD_{3,15}$) del mismo nivel de descomposición. En este ejemplo, la ulterior descomposición del nodo de aproximación $A_{2,0}$ conduce en consecuencia a la descomposición en nodos $A_{3,0}$, $cV_{3,1}$, $cH_{3,2}$ y $cD_{3,3}$ que son posteriormente descartados como se indica con líneas de puntos.

La Figura 8 muestra que la ulterior descomposición del mejor nodo cB_3 del tercer nivel de descomposición no conduce a una representación más óptima de la función y , en consecuencia, se detiene la descomposición. Como resultado, se selecciona la rama de detalle del tercer nivel para la extracción de características.

Se han llevado a cabo experimentos y se ha investigado con un conjunto de 900 texturas fabricadas por el presente solicitante. Una parte del conjunto fue producida mediante impresión en huecograbado, tal como se emplea para la producción de documentos de seguridad, en especial billetes de banco. La otra parte del conjunto fue producida mediante impresión en offset comercial tal como se utiliza, entre otras aplicaciones, para la impresión de periódicos. Esta otra parte puede ser dividida adicionalmente en impresiones de alta calidad e impresiones de calidad media, estando las impresiones de calidad media aquejadas de ruido aditivo. Tanto las texturas impresas comerciales de alta calidad como las de calidad media son apenas distinguibles por un ojo humano no entrenado de las texturas impresas en huecograbado. Las texturas están trasladadas y/o rotadas en unos pocos píxeles debido a tolerancias de producción. Han sido escaneadas con una resolución de 1200 dpi y convertidas a imágenes en escala de grises. El conjunto consta de seis texturas diferentes con un tamaño de imagen de 256x256 píxeles, tal como se ilustra en la Figura 9. Como se muestra en la Figura 9, las texturas difieren en contraste, amplitud de las transiciones de escala de grises, y estructura. Son ilustrativas de las estructuras de impresión de seguridad más comunes producidas mediante impresión en huecograbado.

Cada una de las texturas 1 a 6 ilustradas en la Figura 9 ha sido descompuesta mediante la transformada de paquetes de ondícula invariante a desplazamiento bidimensional (2D-SIWPT) antes mencionada utilizando la denominada ondícula de Daubechies de dos coeficientes (en inglés, "2-tap") (o db2 - véase [Daubechies1992]) y adoptando el algoritmo de mejor rama (BBA) anteriormente discutido.

Para estimar los resultados de la separación, se han normalizado las características extraídas a un intervalo uniforme de valores entre 0 y 1. La Figura 10 muestra la distancia inter- e intra-clase entre las texturas impresas en huecograbado y las texturas impresas en offset comercial de media y alta calidad, respectivamente, para los tres primeros niveles de descomposición (indicados en los ejes horizontales de la Figura 10). La línea de trazos resalta el correspondiente nivel de descomposición en donde el algoritmo de mejor rama ha detenido la descomposición.

Se puede observar en la Figura 10 que el algoritmo de mejor rama ha detenido la descomposición en el nivel que consigue la mejor distancia inter-clase entre las texturas impresas en huecograbado y las texturas impresas en offset comercial de media o alta calidad con un índice de 100%. La correspondiente distancia intra-clase de las texturas impresas en offset comercial de media y alta calidad se ha minimizado en la mayoría de los casos con un índice de aproximadamente 60%. Aunque la distancia intra-clase no está minimizada para todas las 900 texturas investigadas, se puede observar que las clases presentan una distribución estrecha. Por tanto, por término medio el BBA provoca la detención en el nivel donde las clases están mejor separadas y mínimamente ensanchadas.

La Figura 10 demuestra que el algoritmo de mejor rama (BBA) detiene la descomposición de cada una de las 900 texturas investigadas en el nivel donde están mejor caracterizadas. De este modo, se consigue la mejor distancia inter-clase con un índice de 100%. Incluso aunque la distancia intra-clase no alcanza su mínimo en todos los casos, los grupos de clase presentan todavía una distribución estrecha, tal como se ilustra esquemáticamente en la Figura 11.

La Figura 11 muestra un espacio bidimensional de características en donde las texturas relevantes han sido caracterizadas en base a su varianza σ^2 (en el eje horizontal de la Figura 11) y el exceso C (en el eje vertical de la Figura 11) de la distribución de los coeficientes de ondícula resultantes de la descomposición mediante el BBA.

Los círculos de la esquina inferior derecha de la Figura 11 indican las texturas impresas en offset comercial de

calidad media, mientras que los rombos de la parte inferior media de la Figura 11 indican las texturas impresas en offset comercial de alta calidad. Los cuadrados de la esquina superior izquierda de la Figura 11 indican las texturas impresas en huecogrado.

5 Como ya se ha mencionado, la Figura 11 muestra que el BBA provoca la detención, en promedio, en el nivel donde las clases están mejor separadas y menos ensanchadas. Esto permite una sencilla separación de los diversos grupos de clase utilizando límites lineales.

10 El resultado de separación es independiente de las tolerancias de producción, tales como transiciones y contraste variable. De hecho, todas las características investigadas que se muestran en la Figura 9 están estrechamente agrupadas a pesar de que son claramente diferentes en contraste, amplitud de las transiciones de escala de grises y estructura. Se ha observado que la posición de la mejor rama en el árbol puede variar ampliamente de una muestra a otra. Así, la posición particular de nodo encontrada por la BBA no debe utilizarse normalmente como una característica de clasificación.

15 El tiempo de ejecución de la 2D-SIWPT incompleta basada en el BBA puede definirse como $O(\log_2(N))$, donde $N = M \times M$ es el tamaño de la imagen de textura, siendo este tiempo de ejecución perfectamente adecuado para una aplicación práctica, por ejemplo en una matriz de puertas programable en campo (FPGA, por sus siglas en inglés).

20 La transformada de paquete de ondículas invariante a desplazamiento bidimensional incompleta propuesta para la diferenciación de diferentes texturas impresas en documentos de seguridad, en especial billetes de banco, ha demostrado unas prestaciones muy buenas para lograr el objetivo de comprobar la autenticidad de documentos de seguridad, en particular billetes de banco. Este enfoque es en particular sumamente adecuado para detectar con robustez características de seguridad impresas, aplicadas o dispuestas de otra forma en documentos de seguridad tales como billetes de banco, en particular para detectar patrones impresos en huecogrado.

Junto a la varianza σ^2 (y la desviación estándar σ) y el exceso C (o exceso de curtosis), se podrían emplear otros parámetros estadísticos para caracterizar la distribución estadística de los coeficientes de ondícula, a saber (véase también la Figura 13 y la descripción pertinente de la misma en el documento WO 2008/146262 A2):

- 25 - la media aritmética de los coeficientes de ondícula - también denominada en estadística "primer momento";
- la asimetría de la distribución estadística de los coeficientes de ondícula - también denominada en estadística "tercer momento" - que es una medida de la asimetría de la distribución estadística; y/o
- la entropía estadística, que es una medida de los cambios en la distribución estadística.

30 Para los fines de extracción de características, los momentos antes mencionados (inclusive la varianza) deben ser normalizados para permitir una comparación y clasificación adecuadas de diversos documentos candidatos.

35 La Figura 12 ilustra esquemáticamente una implementación de un dispositivo para comprobar la autenticidad de documentos de seguridad, en particular billetes de banco, según el método antes descrito. Este dispositivo comprende un sistema óptico 100 para adquirir una imagen de muestra (imagen c^0) de la región de interés R.o.I. en un documento 1 candidato a ser autenticado, y una unidad 200 de procesamiento digital de señal (DSP) programada para llevar a cabo el procesamiento digital de la imagen de muestra. En particular, el DSP 200 puede estar implementado ventajosamente como una unidad de matriz de puertas programable en campo (FPGA).

El dispositivo de la Figura 12 puede ser realizado, en particular, en forma de un dispositivo electrónico portátil con capacidad integrada de adquisición de imágenes, tal como un teléfono inteligente.

40 Se apreciará que la invención descrita en lo que antecede puede aplicarse para simplemente detectar características de seguridad (en particular patrones impresos por de huecogrado) impresas, aplicadas o dispuestas de otra forma en documentos de seguridad, en especial billetes de banco.

45 Como se ha explicado antes, las características clasificadoras pueden ser convenientemente parámetros estadísticos seleccionados del grupo que comprende la media aritmética, la varianza (σ^2), la asimetría, el exceso (C) y la entropía de la distribución estadística de los coeficientes de ondícula resultantes de la descomposición de la imagen de muestra.

50 Se apreciará además que el método puede permitir la determinación de una calificación de autenticidad de un documento candidato en base a las características clasificadoras extraídas. Dicha calificación de autenticidad, calculada según el método antes descrito, puede optimizarse mediante el diseño de las características de seguridad que han de imprimirse, aplicarse o disponerse de otra forma en los documentos de seguridad de manera que se optimice la calificación de autenticidad de documentos genuinos.

Tal optimización puede conseguirse, en particular, actuando sobre características de seguridad que incluyen patrones de huecogrado, patrones de offset de líneas, patrones de tipografía, estructuras ópticamente difractivas y/o sus combinaciones. Sería especialmente deseable una alta densidad de tales patrones, preferiblemente patrones impresos en huecogrado lineales o curvilíneos, tal como se muestra por ejemplo en la Figura 2b.

Como ya se ha mencionado, aunque el principio de autenticación se basa preferiblemente en el procesamiento de una imagen que contiene (o supone que contiene) patrones impresos en huecograbado, la invención puede aplicarse por analogía al procesamiento de una imagen que contenga otras características de seguridad que comprendan características visuales distintivas intrínsecos a los procedimientos empleados para producir los documentos de seguridad, en particular patrones de offset de líneas, patrones de tipografía, estructuras ópticamente difractivas y/o sus combinaciones.

Además, aunque se ha descrito un procesamiento de la distribución estadística de los coeficientes espectrales como modo de extraer características clasificadoras para determinar la clase de texturas que están siendo investigadas, podría preverse cualquier otro procesamiento adecuado siempre que dicho procesamiento permita aislar y colegir características que sean suficientemente representativas de las características de seguridad que se están investigando y pueda diferenciar eficazmente documentos auténticos de falsificaciones.

Obviamente, se pueden procesar digitalmente de acuerdo con la invención una pluralidad de imágenes de muestra que correspondan a varias regiones de interés del mismo documento candidato. En cualquier caso, se selecciona preferiblemente cada región de interés para que incluya una alta densidad de patrones, preferiblemente patrones impresos en huecograbado lineales o curvilíneos, tal como se muestra por ejemplo en la Figura 2b (véase también la Figura 9).

Bibliografía citada

- [Mallat1989] Stéphane G. Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 11, nº 7 (7 de julio de 1989), págs. 674 a 693
- [Unser1995] Michael Unser, "Texture classification and segmentation using wavelet frames", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 4, nº 11 (noviembre de 1995), págs. 1549 a 1560
- [Chang1993] Tianhorng Chang y C.-C. Jay Kuo, "Texture Analysis and Classification with Tree-Structured Wavelet Transform", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 2, No. 4 (octubre de 1993), págs. 429 a 441
- [Dyck2008] Walter Dyck, Thomas Türke, Johannes Schaede y Volker Lohweg, "A New Concept on Quality Inspection and Machine Conditioning for Security Prints", Optical Document Security, 2008 Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence, San Francisco, CA, USA, Reconnaissance International Publishers and Consultants (23-25 de enero de 2008), IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 11, nº 7 (7 de julio de 1989), 9 páginas, publicado en CD-ROM
- [vanRenesse2005] Rudolf L. van Renesse, Optical Document Security", tercera edición (2005), Artech House Boston/London, Artech House Optoelectronics Library (ISBN 1-58053-258-6), págs. 115 a 120
- [Schaede2006] Johannes Schaede y Volker Lohweg, "The Mechanisms of Human Recognition as a Guideline for Security Feature Development", Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques VI, compilado por Rudolf L. van Renesse, Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE vol. 6075 (2006), págs. 607507-1 a 607507-10
- [Jiang2003] Xiao-Yue Jiang y Rong-Chuan Zhao, "Segmentation Based on Incomplete Wavelet Packet Frame", IEEE Proceedings of the Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Xi'an (2-5 de noviembre de 2003), págs. 3172 a 3177
- [Zhang2002] Jianguo Zhang y Tieniu Tan, "Brief Review of Invariant Texture Analysis Methods", Pattern Recognition Society, 35 (2002), págs. 735 a 747
- [Coifman1992] Ronald R. Coifman y Mladen Victor Wickerhauser, "Entropy-Based Algorithms for Best Basis Selection", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 38, nº 2 (marzo de 1992), págs. 713 a 718
- [Shensa1992] Mark J. Shensa, "The Discrete Wavelet Transform: Wedding the À Trous and Mallat Algorithms", IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 40, nº 10 (octubre de 1992), págs. 2464 a 2482
- [Daubechies1992] Ingrid Daubechies, "Ten Lectures on Wavelets", CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics 61, SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics), 2ª edición, 1992, ISBN 0-89871-274-2
- [Saito1994] Naoki Saito, "Local Feature Extraction and its Applications using a Library of Bases", PhD Thesis, Yale University (diciembre de 1994)

	[Wang2008]	Qiong Wang, Hong Li y Jian Liu, "Subset Selection Using Rough Set in Wavelet Packet Based Texture Classification", Proceedings of the 2008 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Hong Kong (30-31 de agosto de 2008), págs. 662 a 666
5	[Wang2000]	Xiaidan Wang, Hua Jin y Rongchun Zhao, "Texture Segmentation Method Based on Incomplete Tree Structured Wavelet Transform and Fuzzy Kohonen Clustering Network", Proceedings of the 3 rd World Congress on Intelligent Control and Automation (28 de junio - 2 de julio de 2000), págs. 2684 a 2687
10	[Choi2006]	Euisun Choi, Jongseok Lee y Joonhyun Yoon, "Feature Extraction for Bank Note Classification Using Wavelet Transform", IEEE Proceedings of the 18 th International Conference on Pattern Recognition, ICPR'06 (2006), págs. 934 a 937
	[Fowler2005]	James E. Fowler, "The Redundant Discrete Wavelet Transform and Additive Noise", IEEE Signal Processing Letters, vol. 12, nº 9 (septiembre de 2005), págs. 629 a 632

REIVINDICACIONES

1. Un método para comprobar la autenticidad de documentos de seguridad, en particular billetes de banco, en donde documentos de seguridad auténticos comprenden características (41-49; 30; 10; 51, 52) de seguridad impresas, aplicadas o dispuestas de otra forma en los documentos de seguridad, las cuales características de seguridad comprenden características visuales distintivas intrínsecas a los procedimientos empleados para producir los documentos de seguridad, comprendiendo dicho método los pasos de:
 - procesar digitalmente una imagen de muestra de al menos una región de interés (R.o.I.) de la superficie de un documento candidato a ser autenticado, la cual región de interés abarca al menos parte de dichas características de seguridad, incluyendo dicho procesamiento digital realizar una descomposición de la imagen de muestra por medio de transformada de ondícula (WT) de la imagen de muestra y extraer características clasificadoras (σ^2 , C, ...) de la descomposición de la imagen de muestra, y
 - coleccionar una calificación de autenticidad del documento candidato basada en las características clasificadoras (σ^2 , C, ...) extraídas,
 caracterizado porque dicha descomposición de la imagen de muestra se basa en una transformada de paquetes de ondícula (WPT) incompleta de la imagen de muestra e incluye descomponer la imagen de muestra en un árbol de paquetes de ondículas que comprende al menos un nodo de aproximación (A_{ij}) y nodos de detalle (cV_{ij} , cH_{ij} , cD_{ij}), y buscar el nodo de detalle dentro del árbol de paquetes de ondículas que tenga el mayor contenido de información.
2. El método según la reivindicación 1, en donde dicha transformada de paquetes de ondícula (WPT) es una transformada de paquetes de ondícula invariante a desplazamiento, bidimensional (2D-SIWPT).
3. El método según la reivindicación 1 o 2, en donde se determina que el nodo que tiene el mayor contenido de información es el nodo entre nodos de un nivel (i) de descomposición dado que presenta la mayor varianza (σ^2).
4. El método según la reivindicación 3, en donde el nodo que tiene el mayor contenido de información se determina en base a un algoritmo de mejor rama (BBA), el cual algoritmo de mejor rama (BBA) implica:
 - descomposición de la imagen de muestra en al menos un primer nivel de descomposición ($i = 1$),
 - determinación del nodo de detalle, o mejor nodo, (cB_1) entre los nodos de detalle ($cV_{1,1}$, $cH_{1,2}$, $cD_{1,3}$) del primer nivel de descomposición que tenga el mayor contenido de información, y
 - descomposición ulterior del nodo de aproximación ($A_{1,0}$) y del mejor nodo (cB_1) del primer nivel de descomposición en al menos un segundo nivel de descomposición ($i = 2$).
5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende procesar digitalmente una pluralidad de imágenes de muestra que corresponden a varias regiones de interés (R.o.I.) del mismo documento candidato.
6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicha al menos una región de interés (R.o.I.) se selecciona para que incluya una alta densidad de patrones, preferiblemente patrones impresos en huecograbado lineales o curvilíneos, en particular patrones de una representación pictórica, tal como un retrato, dispuestos en el documento candidato.
7. El método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dichas características clasificadoras (σ^2 , C, ...) son parámetros estadísticos seleccionados del grupo que comprende la media aritmética (primer momento en estadística), la varianza (σ^2 , segundo momento en estadística), la asimetría (tercer momento en estadística), el exceso, o curtosis (C, cuarto momento en estadística) y la entropía de la distribución estadística de los coeficientes de ondícula resultantes de la descomposición de la imagen de muestra.
8. Una unidad (200) de procesamiento digital de señal para procesar datos de imagen de una imagen de muestra de al menos una región de interés (R.o.I.) de la superficie de un documento (1) candidato a ser autenticado de acuerdo con el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, estando dicha unidad (200) de procesamiento digital de señal programada para realizar dicho procesamiento digital de la imagen de muestra.
9. La unidad (200) de procesamiento digital de señal según la reivindicación 8, implementada como una unidad FPGA (matriz de puertas programable en campo).
10. Un dispositivo para comprobar la autenticidad de documentos de seguridad, en particular billetes de banco, que comprende un sistema óptico (100) para adquirir una imagen de muestra de al menos una región de interés (R.o.I.) de la superficie de un documento (1) candidato a ser autenticado y una unidad (200) de procesamiento digital de señal según la reivindicación 8 o 9.
11. El dispositivo según la reivindicación 10, implementado como un dispositivo electrónico portátil con capacidad integrada de adquisición de imágenes tal como un teléfono inteligente.

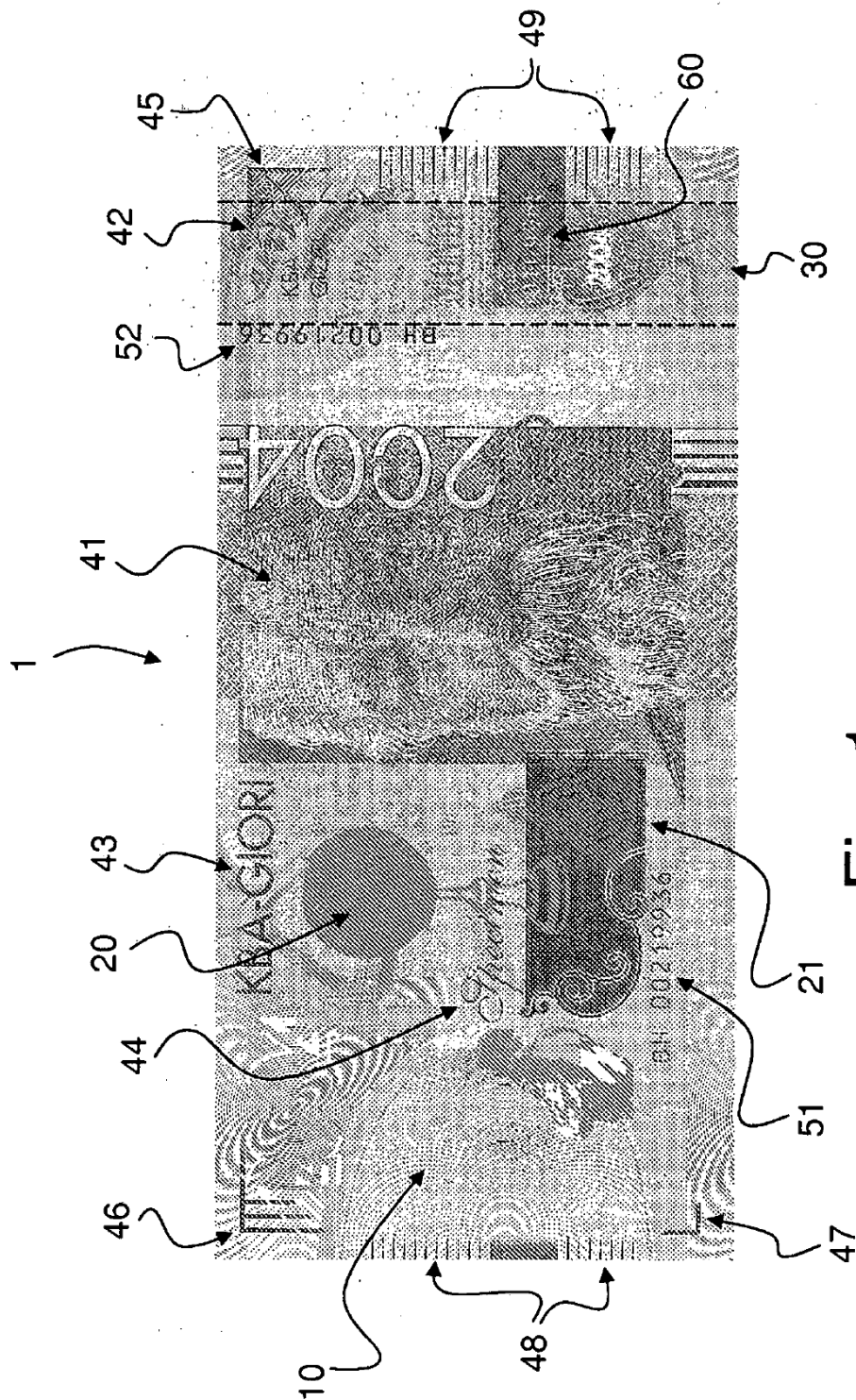


Fig. 1a

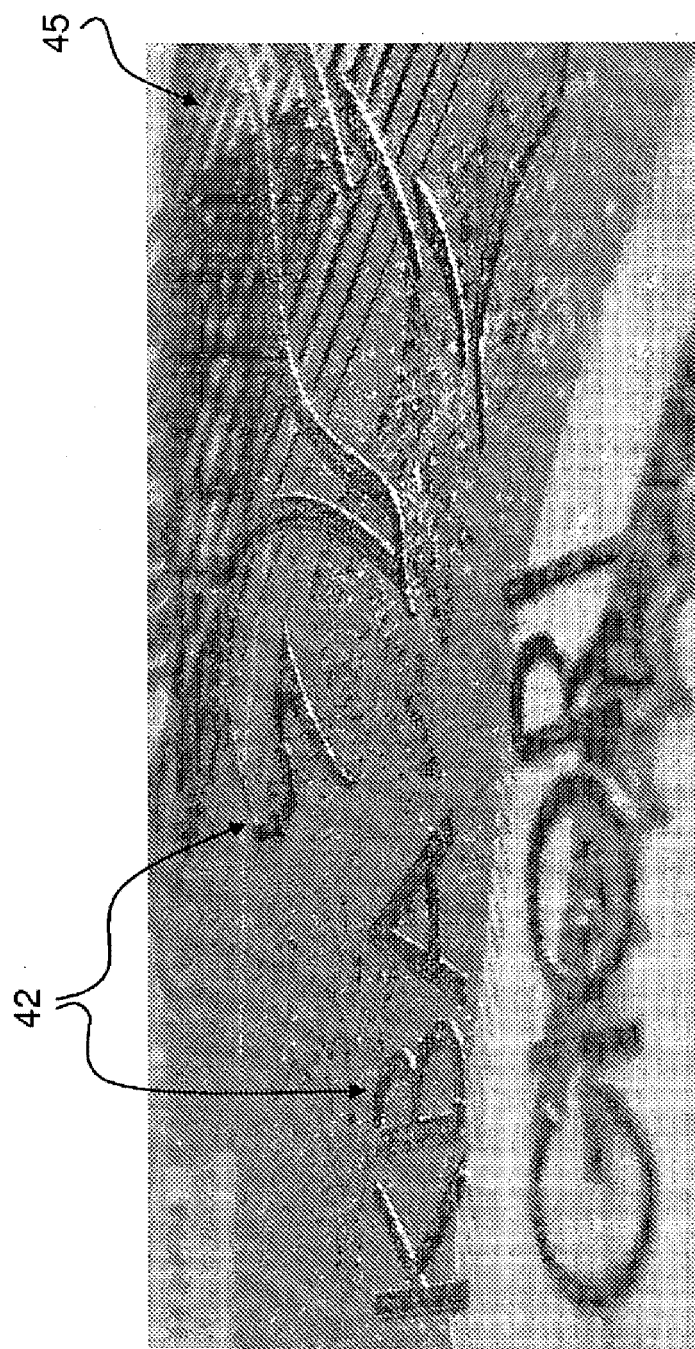


Fig. 1b

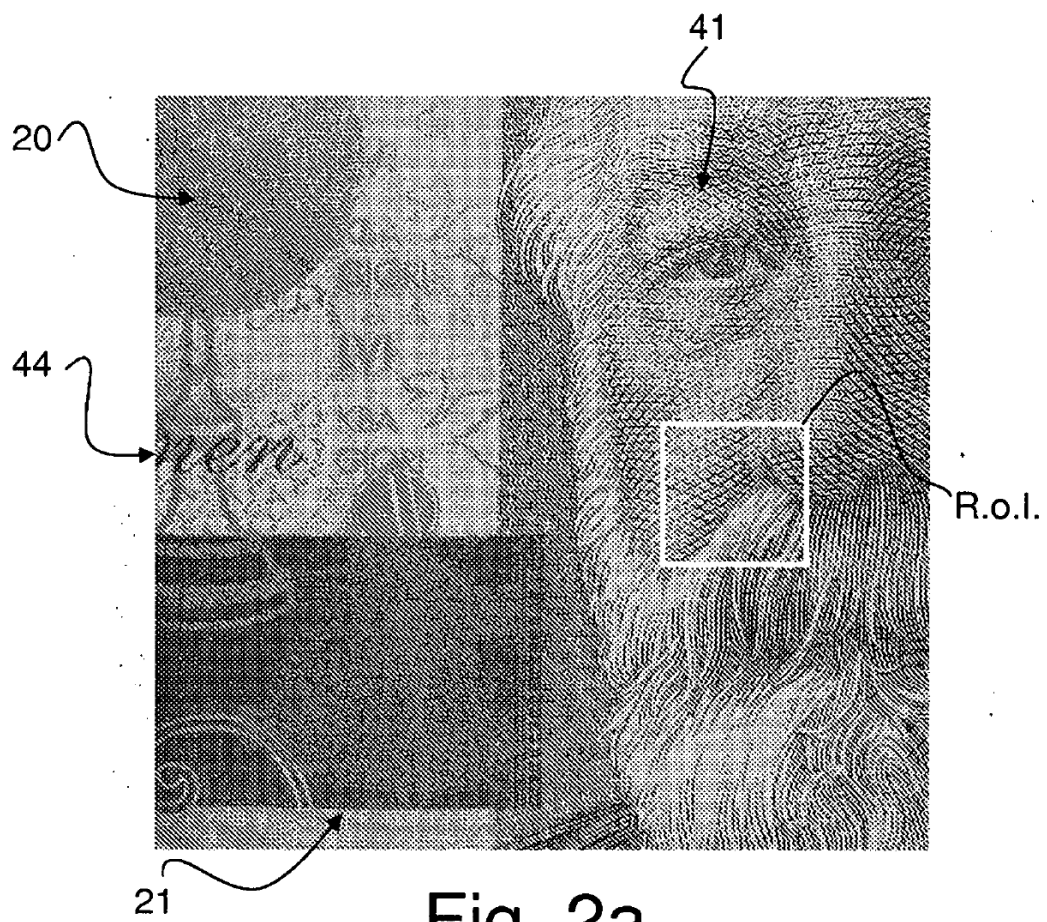


Fig. 2a

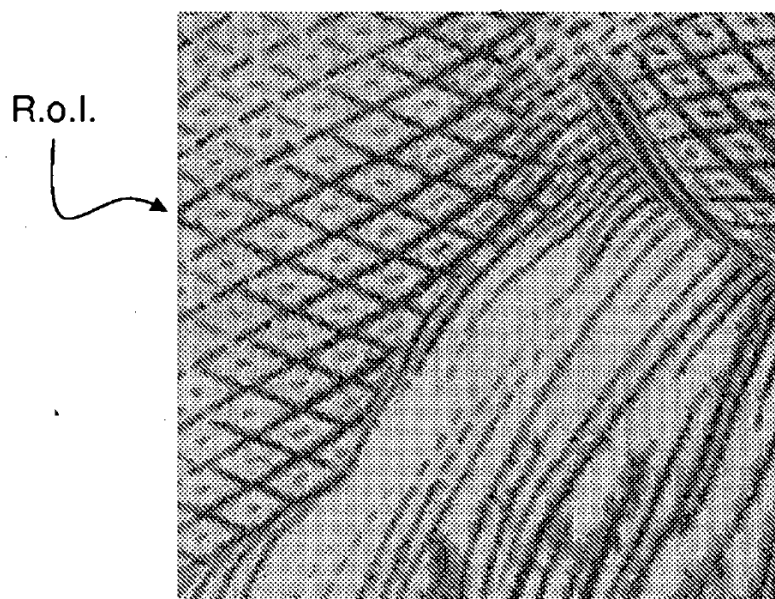


Fig. 2b

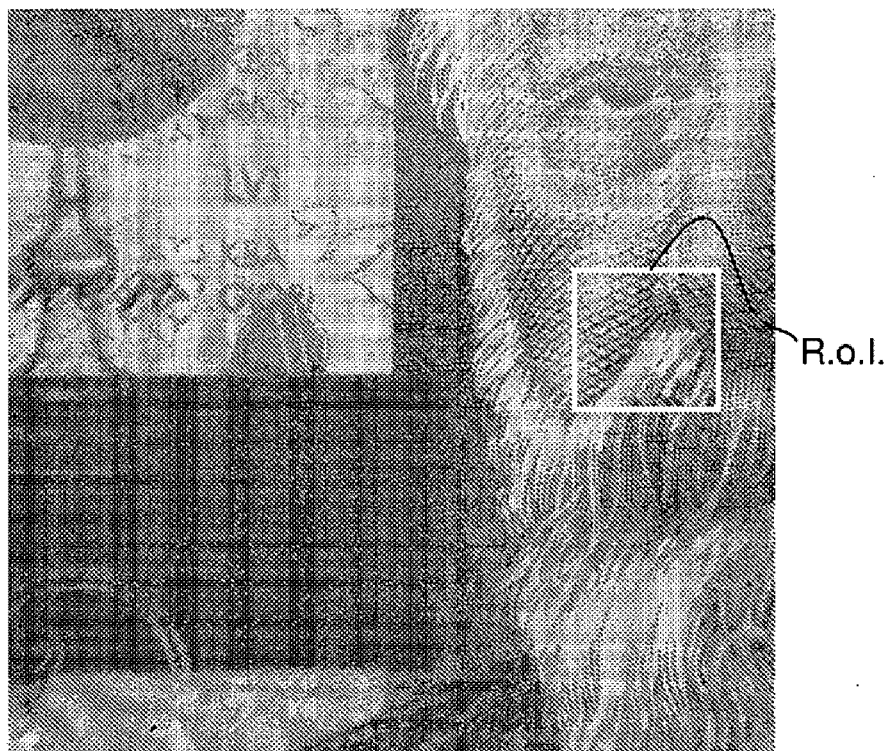


Fig. 3a

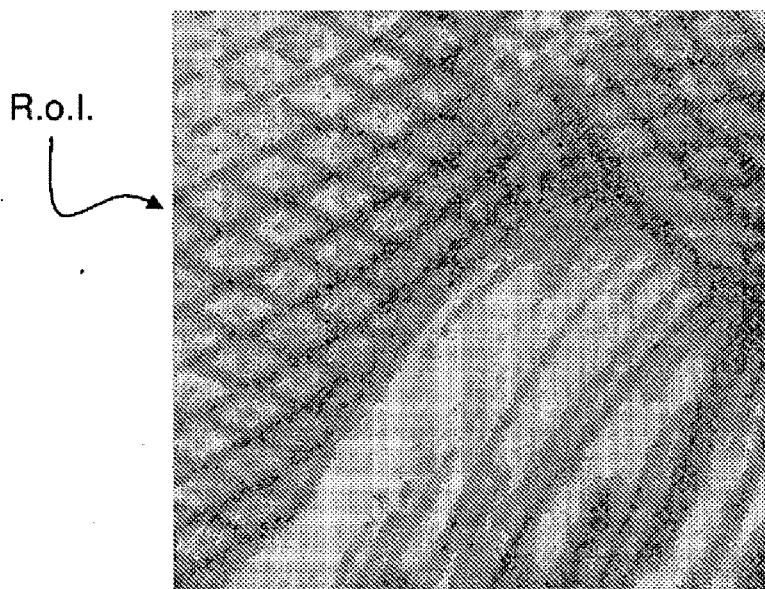


Fig. 3b

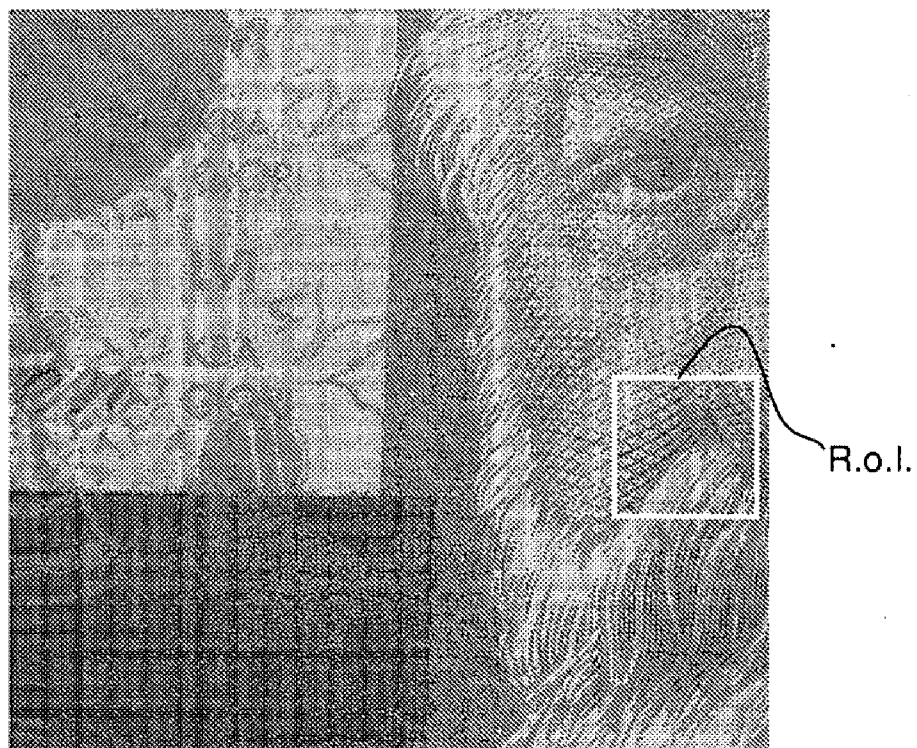


Fig. 4a

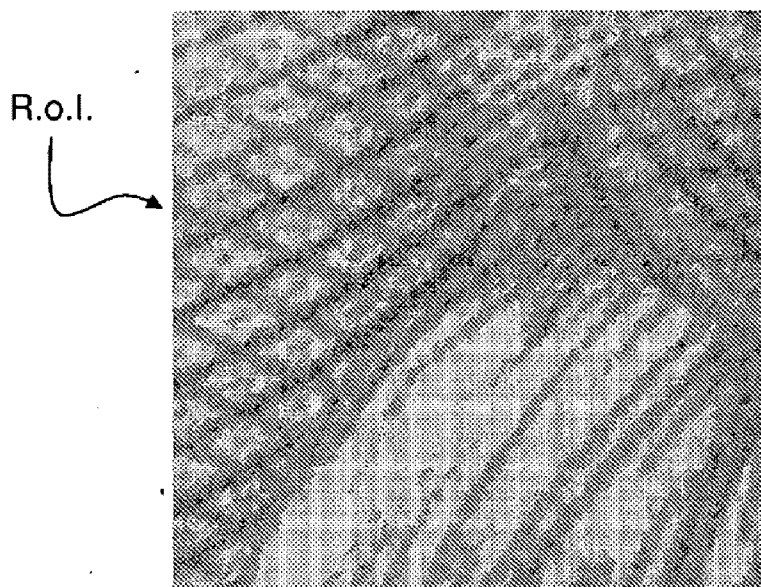


Fig. 4b

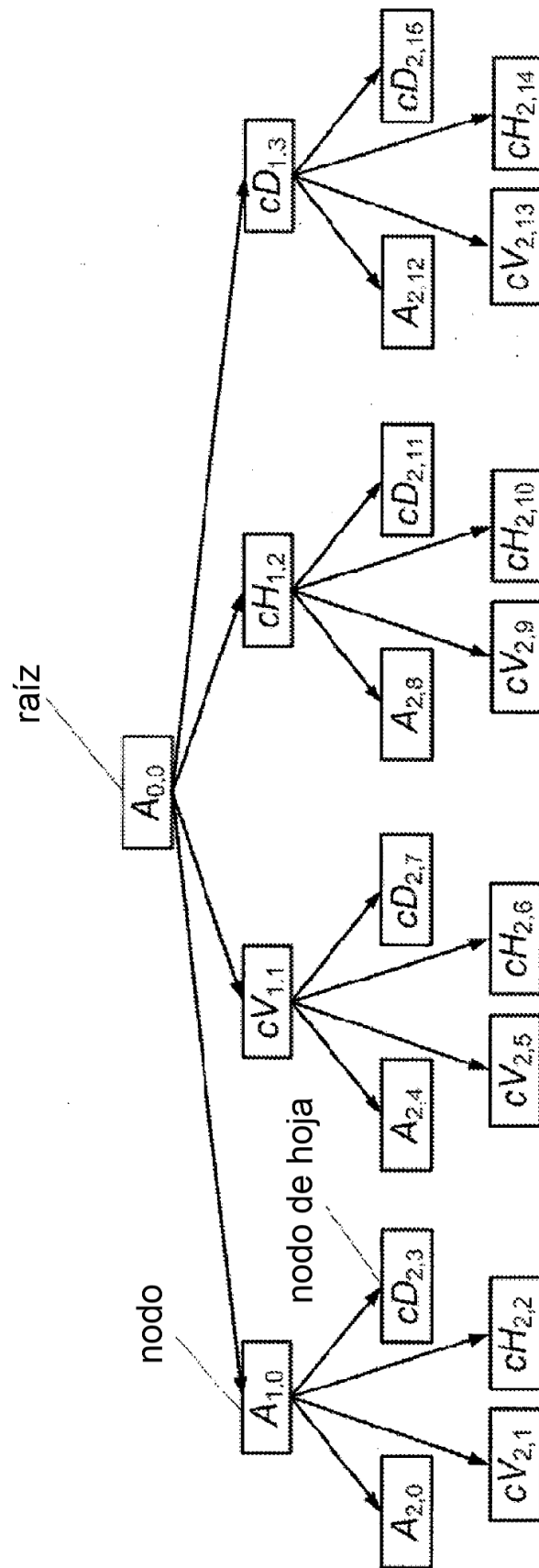


Fig. 5

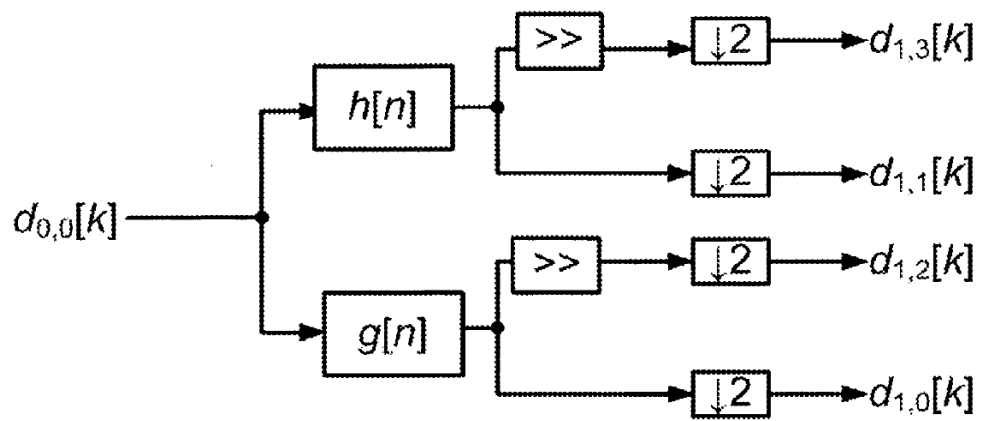


Fig. 6

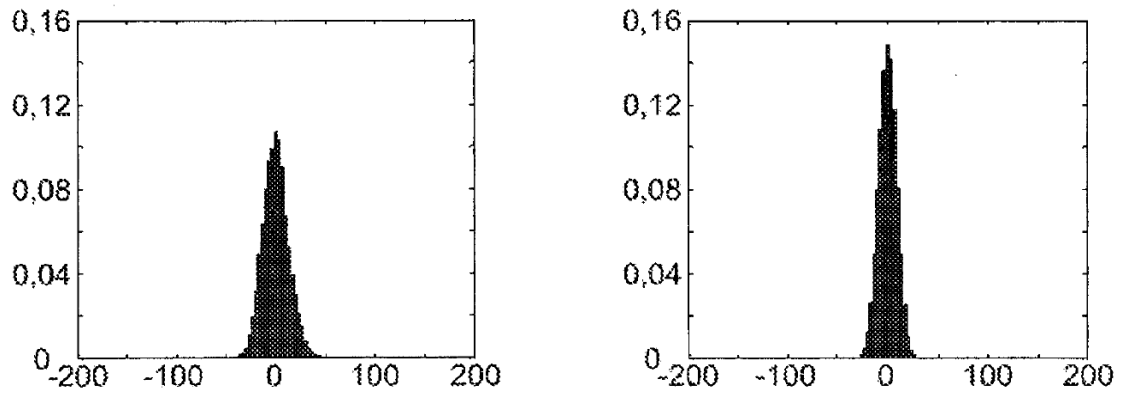


Fig. 7

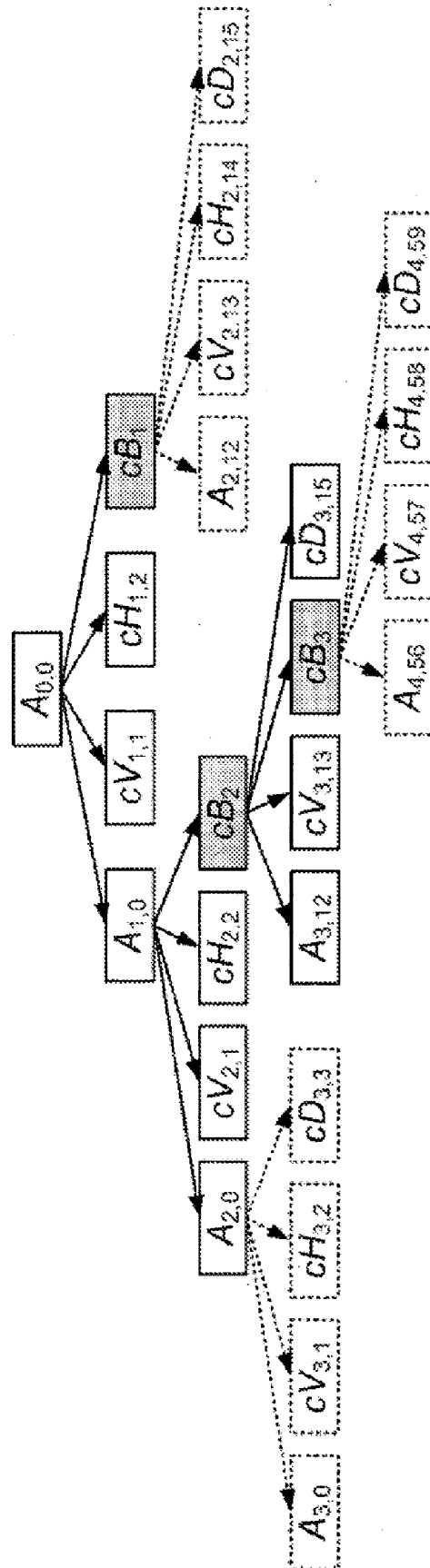
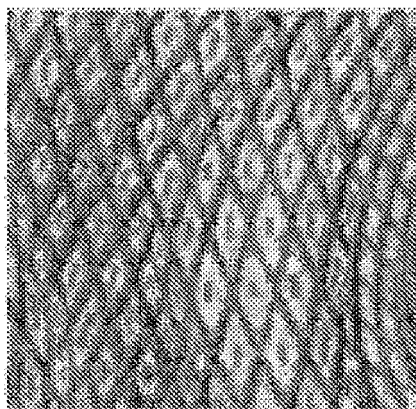
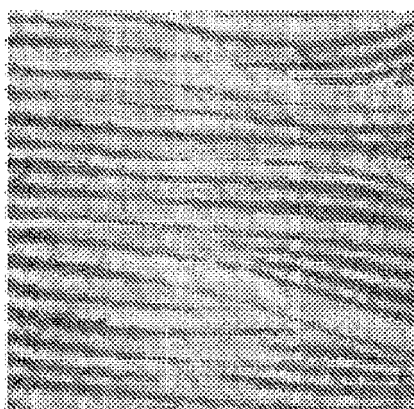


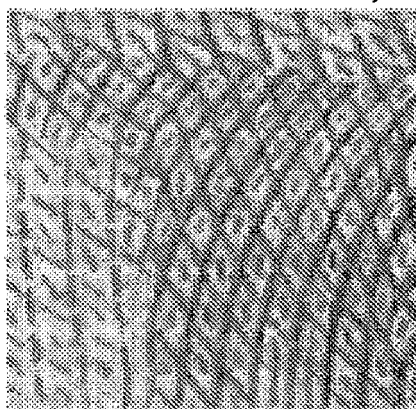
Fig. 8



3



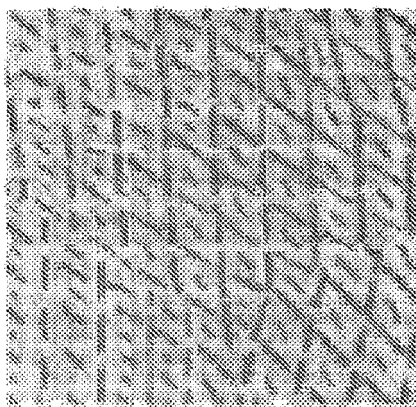
6



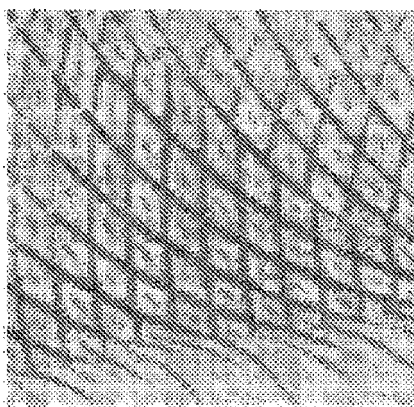
2



5



1



4

Fig. 9

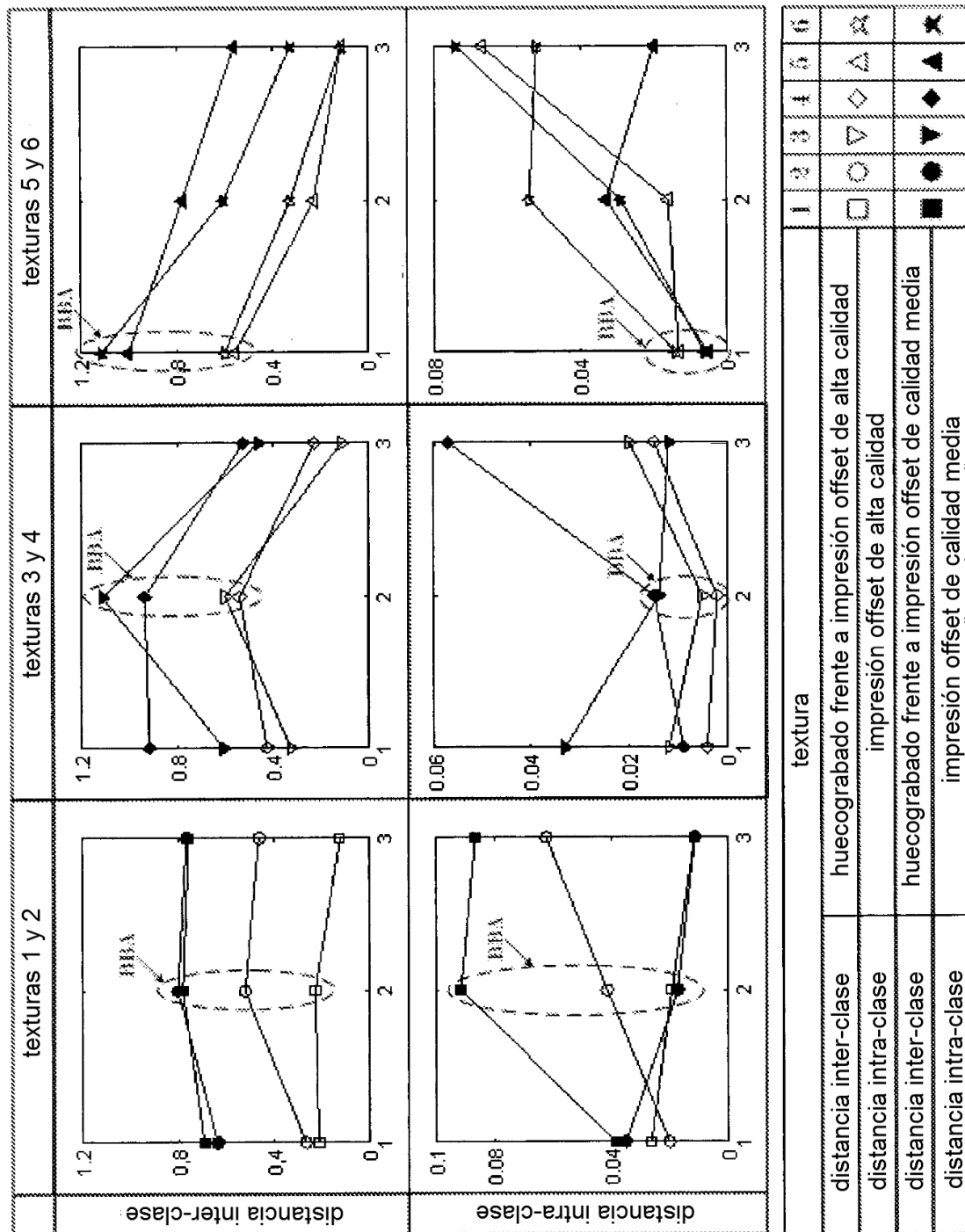


Fig. 10

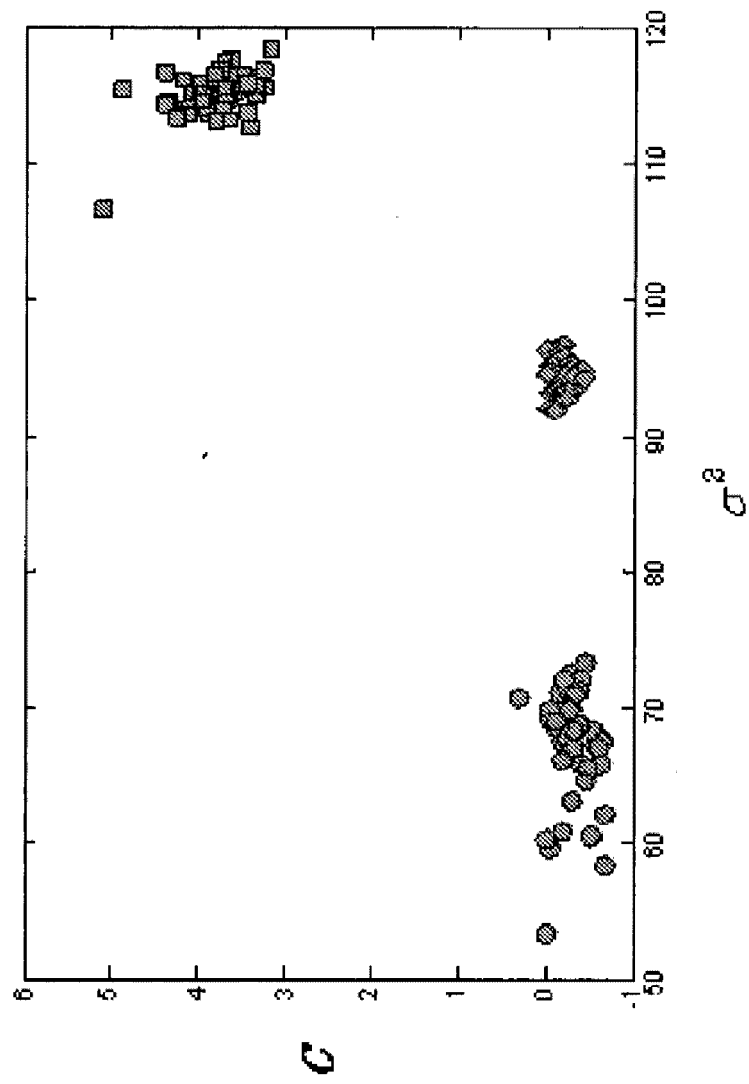


Fig. 11

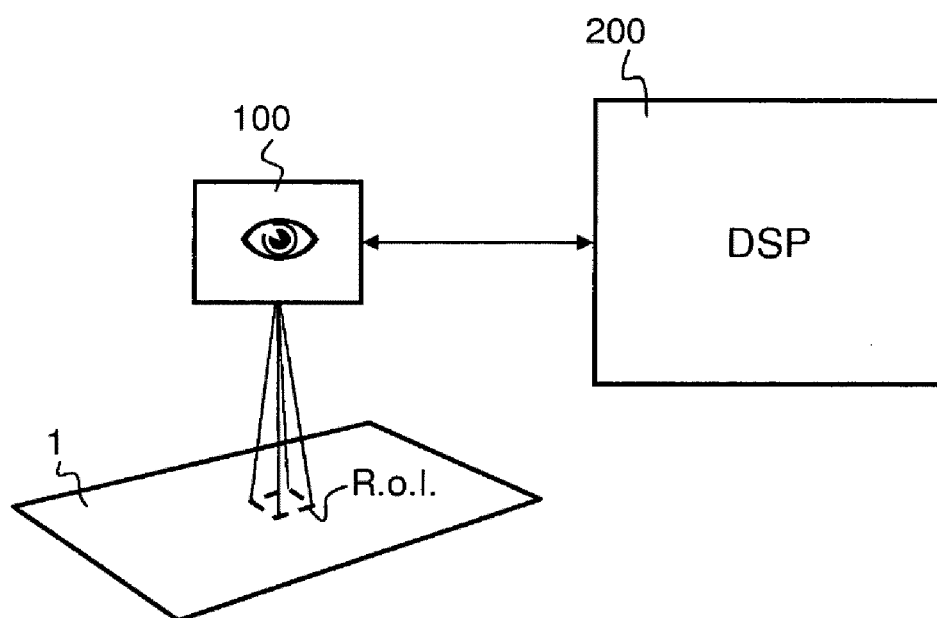


Fig. 12