

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 758 791**

51 Int. Cl.:

**G06K 9/00** (2006.01)

**G06K 19/06** (2006.01)

**G03G 21/04** (2006.01)

**G06K 19/08** (2006.01)

**G06K 19/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.06.2008 PCT/FR2008/000743**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.01.2009 WO09004172**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.06.2008 E 08805632 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 2150923**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de aseguramiento de documentos**

30 Prioridad:

**01.06.2007 FR 0703922**

**01.06.2007 WO PCT/FR2007/000918**

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

**06.05.2020**

73 Titular/es:

**ADVANCED TRACK AND TRACE (100.0%)**

**99, Avenue de la Châtaigneraie**

**92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**PICARD, JUSTIN;**

**MASSICOT, JEAN-PIERRE;**

**FOUCOU, ALAIN y**

**SAGAN, ZBIGNIEW**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 758 791 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

Procedimiento y dispositivo de aseguramiento de documentos

La presente invención concierne a un procedimiento y a un dispositivo de aseguramiento de documentos. La misma tiene por objeto, especialmente, identificar un documento de manera única, autenticarlo, es decir ser capaz de detectar su copia y/o de transmitir, en el documento, información relativa a este documento, por ejemplo información de identificación de un propietario de derechos de propiedad intelectual relacionados con el documento y/o su lugar de fabricación. El término de documento se entiende cualquier soporte de información, por ejemplo documentos en papel, documento de planos, envases, piezas fabricadas, piezas moldeadas y tarjetas, por ejemplo de identificación o bancarias.

Los diferentes tipos de impresión de documentos se reagrupan en dos tipos, uno denominado « estático » por el cual cada documento recibe sensiblemente la misma marca impresa, por ejemplo un procedimiento de impresión analógica « offset » y el otro denominado digital « serializado » por el cual cada documento recibe una información individualizada, por ejemplo un procedimiento de impresión de chorro de tinta controlado por un programa de individualización, y un procedimiento de impresión de un número de serie.

En la impresión offset, que es uno de los medios de impresión más utilizados para los estuches y los envases, se genera una placa para cada color impreso en el documento, y el contenido de esta placa es impreso centenares de miles hasta de millones de veces. En este caso, el mismo contenido, integrado en la placa de impresión, es impreso en cada documento, en cada impresión. La flexografía, la tipografía o la impresión en heliograbado son otros ejemplos de impresión denominada estática. En impresión estática no se puede, en principio, identificar individualmente los documentos, puesto que cada vez se imprime la misma marca. Además, cuando la impresión es estática y recurre a procesos analógicos, es más difícil controlar el número exacto de documentos impresos. Los riesgos de falsificaciones por impresión de una cantidad de documentos más elevada que lo que el titular de los derechos haya autorizado son por tanto importantes. ¿Cómo asegurarse de que se ha respetado el número de impresiones dictado por la orden de fabricación, con frecuencia inferior al límite de utilización de la placa? ¿Cómo asegurarse de que todas las impresiones no utilizadas (principio o final de serie, defectos, orden anulada, etc.), así como las placas, películas, y otros objetos que permiten reconstituir los documentos, no caen nunca en manos de falsificadores?

La impresión serializada, al permitir la identificación precisa y sin equívocos de cada documento, es generalmente preferible a la impresión estática. En efecto, siendo impreso cada identificador una sola vez en impresión serializada, la lectura de un duplicado permite activar una alarma: un duplicado es un identificador idéntico a un identificador precedentemente leído.

De manera general, para proteger las marcas anticopias y/o identificadoras, existen varios puntos que hay que asegurar: el archivo fuente, eventualmente el archivo PAO que la contiene, y después, en el caso de la impresión offset, las placas y eventualmente las películas.

Es posible efectuar el equivalente de una impresión serializada de una marca anticopia en un objeto ya impreso de manera estática, imprimiendo, en un segundo tiempo, un código único o número de serie, en claro o, preferiblemente, de modo cifrado. Esta impresión serializada puede tomar, por ejemplo la forma de un código de barras de dos dimensiones. Tal procedimiento es conocido por ejemplo por el documento EP1672593. Aparentemente, este procedimiento permite trazar individualmente cada documento al tiempo que mantiene un medio seguro de detectar las copias. Documentos robados que no hayan recibido la impresión serializada no llevarían identificador válido.

Este método sin embargo no resuelve todos los problemas. En efecto, aunque un delincuente no pueda identificar los documentos falsificados como lo habría hecho el impresor, el código único impreso por la impresora de serialización, que en general ofrece una calidad de impresión limitada, no queda protegido contra la copia.

El falsificador que tenga en su posesión documentos que haya que identificar como auténticos puede por tanto copiar uno o varios códigos únicos válidos y recopiarlos en documentos que haya que identificar como auténticos.

La técnica anterior contiene varios métodos que explotan características físicas medibles con el fin de caracterizar e identificar de manera única cada documento. En general, las características físicas medibles elegidas son de naturaleza aleatoria, y según el estado actual de la ciencia y de las técnicas, no son copiables, al menos de manera rentable. Estos métodos permiten controlar el conjunto de los documentos considerados como « válidos »: solo son considerados válidos los documentos cuyas características físicas, que componen un conjunto único, hayan sido memorizadas.

Por ejemplo, el documento US 4.423.415 describe un método que permite identificar una hoja de papel de acuerdo con sus características locales de transparencia. Otros varios procedimientos están basados en la captura de los atributos físicos únicos y no reproducibles del material con el fin de generar una firma única y no transferible del citado documento. Por ejemplo, los documentos WO 2006 016114 y US 2006/104103 están basados en la medición del motivo de difracción inducido por un rayo láser aplicado a una zona precisa del objeto.

- Aunque los mismos ofrecen una solución interesante a los problemas anteriormente citados, los métodos basados en la extracción de una firma del material son difíciles de utilizar por varias razones. En primer lugar, el registro de las firmas durante la fabricación de los documentos necesita un lector óptico caro, y que difícilmente se integra en las cadenas de producción. Estas últimas pueden además tener cadencias muy elevadas. De manera general, parece que estas técnicas se aplican solo a las producciones a escala pequeña. Además, el lector utilizado en verificación, en el terreno, es igualmente demasiado caro para varias aplicaciones. El mismo es igualmente voluminoso y poco manejable, mientras que con frecuencia los controles en el terreno deben hacerse de manera rápida y discreta. Finalmente, no es posible extraer una firma única de todos los materiales: el vidrio y los objetos demasiado reflectantes están especialmente excluidos, al menos para el caso de las mediciones de la difracción de un láser.
- La presente invención pretende remediar estos inconvenientes y, especialmente, las dificultades y límites de aplicación de los métodos conocidos de identificación basados en los atributos físicos únicos del material del documento.
- Los códigos digitales autenticadores, denominados en lo que sigue « CNA », son imágenes digitales que, una vez marcadas en un soporte, por ejemplo por impresión o modificación local del soporte, están diseñados de modo que algunas de sus propiedades, en general medibles automáticamente a partir de una imagen captada, se modifiquen si se copia una imagen marcada. Los códigos digitales autenticadores se basan generalmente en la degradación de una o varias señales sensibles a la copia durante la etapa de copia, siendo llevada una señal por elementos de imagen con las características medibles sensibles a la copia. Algunos tipos de códigos digitales autenticadores pueden igualmente contener información que permite identificar o trazar el documento que le contiene.
- Existen varios tipos de códigos digitales autenticadores. Los motivos de detección de copia, denominados también en lo que sigue « MDC » son imágenes densas, en general de naturaleza pseudoaleatoria. Su principio de lectura está basado en una comparación de imagen para medir un índice de similitud (o de disimilitud) entre el motivo de detección de copia de origen y el motivo de detección de copia capturado, por ejemplo por un sensor de imagen: si este motivo capturado es una copia, el índice de similitud será menos elevado que si es un original.
- Las matrices de información seguras, denominadas también en lo que sigue « MIS » son imágenes densas, en general de naturaleza pseudoaleatoria. Su principio de lectura está basado en una comparación de imagen para medir un índice de similitud (o de disimilitud) entre el motivo de detección de copia de origen y el motivo de detección de copia capturado, por ejemplo por un sensor de imagen. Si este motivo es una copia, el índice de similitud será menos elevado que si es un original.
- Las matrices de información seguras, denominadas en lo que sigue « MIS », son, igual que los códigos de barras de dos dimensiones, imágenes diseñadas para transportar una gran cantidad de información de manera resistente. Sin embargo, contrariamente a los códigos de barras de dos dimensiones, las matrices de información seguras son sensibles a la copia. En la lectura, se mide una tasa de error del mensaje codificado extraído de la matriz, tasa que es más elevada para las copias que para los originales, lo que permite distinguir estas copias de las impresiones originales.
- Al menos que estén marcados de manera particular, por ejemplo con una tinta invisible, los motivos de detección de copia y las matrices de información seguras son visibles. Además, marcar los motivos de detección de copia y las matrices de información seguras de manera invisible no es siempre posible, a causa de las dificultades de fabricación o de coste. La visibilidad de una marca anticopia puede ser una desventaja desde el punto de vista estético y, en ciertos casos, desde el punto de vista de la seguridad puesto que el falsificador queda informado de su presencia.
- Existen igualmente códigos digitales autenticadores que son invisibles naturalmente o al menos difíciles de observar.
- Por ejemplo, ciertas filigranas digitales (conocidas con el nombre de « wattermarks ») integradas en imágenes impresas están diseñadas de modo que se degraden cuando la imagen impresa es reproducida, por ejemplo por fotocopia. La medición del grado de degradación de la filigrana digital, menos elevado en la impresión original que en una copia de la misma, permite detectar estas copias.
- La combinación de varias filigranas con diferentes grados de sensibilidad a la copia permite, por una comparación de los respectivos niveles de energía, detectar las copias. La integración de las filigranas digitales en el proceso de producción de los documentos es sin embargo compleja, lo que limita su utilización: en efecto, contrariamente a los motivos de detección de copia y a las matrices de información seguras, la filigrana digital no puede ser simplemente « añadida » a la imagen; la filigrana digital es en efecto una función compleja del mensaje que haya que añadir y de la imagen de origen, estando la energía de la filigrana digital ajustada localmente en función de las propiedades de enmascaramiento de la imagen de origen. La integración de la filigrana digital en documentos o productos implica el envío de la imagen fuente hacia una unidad central de marcado/impresión que integra la filigrana digital y devuelve una imagen marcada. Este procedimiento es poco práctico, en razón del tamaño generalmente muy elevado de los archivos, y de los problemas de seguridad de imagen asociados. Por oposición, para el marcado/impresión con un motivo de detección de copia o una matriz de información segura, la imagen fuente no debe ser enviada hacia la unidad central de marcado/impresión: a la inversa, la imagen del motivo de detección de copia o de la matriz de información segura, de un tamaño muy pequeño en general, por ejemplo de algunos kilooctetos, es la que es enviada al detector de los archivos de imágenes que se colocarán en el documento o producto. Además, la lectura de las

filigranas digitales es particularmente difícil de estabilizar, lo que hace la determinación de la copia con respecto al original de un documento, más aleatoria. En efecto, los riesgos de error son en general netamente más elevados con las filigranas digitales que con los motivos de detección de copia y las matrices de información seguras.

5 Se conocen también procedimientos de marcado espacial de modulación asimétrica denominados « MSMA » en lo que sigue, tales como los descritos en los documentos WO 2006 087351 y CH 694 233. Igual que las filigranas digitales, los MSMA permiten un marcado invisible, o al menos discreto, de los documentos. Los MSMA son, en general, motivos de puntos que son añadidos al documento que haya que marcar como capa suplementaria. Por ejemplo, en el caso de un proceso de impresión offset, se sobrepone en el documento una placa suplementaria que soporta solamente el MSMA. Así, los MSMA se integran más fácilmente que las filigranas digitales en el proceso de producción de los documentos, no siendo la imagen fuente necesaria para la unidad central de marcado/impresión. Sin embargo, contrariamente a los motivos de detección de copia y a las matrices de información seguras, los MSMA necesitan, en general, una placa así como una tinta suplementaria, lo que hace su utilización más compleja y más cara. Además, igual que en las filigranas digitales, los métodos de detección de los MSMA pueden ser imprecisos. En efecto, es conocido que el marcado/impresión provoca una incertidumbre de naturaleza analógica en el posicionamiento preciso de la imagen marcada. Esta incertidumbre, del orden de dimensión del punto elemental impreso, o inferior al mismo, tiene un efecto no despreciable sobre la detección de copia, cuando la superficie marcada tiene un tamaño significativo. Ahora bien, los métodos de detección de los MSMA, basados en la auto-correlación y la correlación cruzada, no pueden tener en cuenta esta incertidumbre de posicionamiento. Esto aumenta la imprecisión en la lectura de la marca y, por consiguiente, esto disminuye la capacidad de discernimiento entre los originales y las copias.

10 Cuando la captura es hecha por escáneres planos, que permiten a la vez una amplia superficie de captura y una resolución de captura suficiente, los MSMA permiten detectar copias simples, por ejemplo fotocopias, incluso copias de alta calidad hechas por captura con un escáner de alta precisión o resolución, seguida de una impresión. Sin embargo, frente a un falsificador determinado, los MSMA ofrecen una protección reducida contra la copia. En efecto, después de la captura de alta resolución, el falsificador puede utilizar herramientas de tratamiento manual de imagen, tales como « Photoshop » (marca registrada), eventualmente en combinación con herramientas de tratamiento automático de las imágenes (tales como « Matlab », (marca registrada)), con el fin de restituir todos los puntos detectados en su forma inicial. En el caso de una copia de alta calidad, los puntos ya no estarán más debilitados en la marca copiada que en la marca original, y la copia tiene altas probabilidades de no ser detectada como tal. Así, la información contenida en un MSMA es generalmente replicable de modo idéntico por un falsificador determinado, lo que no permite considerar que este método sea seguro a largo plazo.

15 En los medios de impresiones más utilizados (especialmente el offset), los MSMA (y otros códigos digitales autenticadores) son impresos de manera estática. No siendo estáticos los tipos de impresión más utilizados para los MSMA y los códigos digitales autenticadores, no es posible hacer variar, en cada impresión, la marca y el mensaje contenido.

20 Por lo tanto, sería deseable poder caracterizar, y así identificar, de manera única cada impresión de una misma imagen fuente. Asimismo, sería deseable identificar la placa de impresión que ha sido utilizada para imprimir un documento, con el fin de efectuar una trazabilidad de estos documentos.

La presente invención pretende poner remedio a todos o parte de los inconvenientes antes citados.

25 A tal efecto, según un primer aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento de aseguramiento de un documento, descrito en la reivindicación 1.

Gracias a estas disposiciones, desde la generación de la imagen digital, las variaciones simulan defectos de impresión. El falsificador potencial no puede por tanto discernir los defectos resultantes de la impresión de las variaciones generadas. El mismo por tanto no puede corregirlos para obtener un original idéntico a la imagen digital generada.

30 Según características particulares, en el transcurso de la etapa de generación de la distribución de puntos, la amplitud geométrica de las variaciones generadas es inferior a la dimensión de los puntos.

Se aumenta así la eficacia del procedimiento objeto de la presente invención.

35 Según características particulares, en el transcurso de la etapa de generación de la distribución de puntos, se genera una distribución de puntos en función de la variación imprevisible del sistema de impresión utilizado. Se observa aquí que la variación de impresión es imprevisible punto por punto pero que un análisis estadístico permite conocer su amplitud media, la cual es relativamente estable.

Según características particulares, en la etapa de generación, puntos de la distribución de puntos tienen al menos una característica geométrica variable, no siendo la citada variación repetitiva en la citada distribución de puntos.

40 Se aumenta así la dificultad de determinar qué puntos han sido modificados por una variación de impresión imprevisible.

- Según características particulares, en el transcurso de la etapa de generación de la citada distribución de puntos, al menos la mitad de los puntos de la citada distribución no están yuxtapuestos lateralmente a otros cuatro puntos de la citada distribución de puntos.
- 5 Según características particulares, en el transcurso de la etapa de generación de la distribución de puntos, más de la mitad de los puntos no tocan a ningún otro punto de la citada distribución.
- Se evita, gracias a cada una de estas disposiciones, que influencias entre las impresiones de los puntos yuxtapuestos perjudiquen la eficacia de la presente invención.
- 10 Según características particulares, la citada variación generada corresponde a una variación de posición de puntos, en al menos una dirección, con respecto a una posición en la que los centros de los puntos están alineados en líneas paralelas perpendiculares a la citada dirección y alejadas al menos una dimensión de los citados puntos en esta dirección.
- Según características particulares, la citada variación generada corresponde a una variación de al menos una dimensión de puntos, en al menos una dirección, con respecto a una dimensión media de los citados puntos, en esta dirección.
- 15 Según características particulares, la citada variación generada corresponde a una variación de forma de los puntos, con respecto a una forma media de los citados puntos, en esta dirección.
- Según características particulares, en el transcurso de la etapa de generación, la citada distribución de puntos es representativa de una información codificada.
- Se inserta así un mensaje en la distribución de puntos generada.
- 20 Según características particulares, el procedimiento objeto de la presente invención, tal como se expuso de modo sucinto anteriormente, comprende una etapa de captura de imagen de la distribución de puntos impresa y una etapa de determinación de una firma única de la citada distribución impresa, en función de la citada variación imprevisible de impresión.
- Gracias a estas disposiciones, se puede identificar cada documento impreso.
- 25 Según características particulares, el procedimiento objeto de la presente invención, tal como se expuso de modo sucinto anteriormente, comprende una etapa de determinación de una magnitud representativa de la variación imprevisible debido a incidencias de impresión del documento impreso, con respecto a una distribución de puntos de referencia, siendo la etapa de generación de la distribución de puntos función de la citada magnitud.
- 30 Según características particulares, el procedimiento objeto de la presente invención, tal como se expuso de modo sucinto anteriormente comprende una etapa de detección de copia en función de la magnitud representativa de la variación imprevisible debido a incidencias de impresión del documento probado, con respecto a una distribución de puntos de referencia, comprendiendo la citada etapa de detección de copia una etapa de comparación de la citada magnitud representativa con un valor predeterminado, y una etapa de decisión de la autenticidad del documento en función del resultado de la comparación.
- 35 Según un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo de aseguramiento de un documento, descrito en la reivindicación 14.
- Según un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento de lectura de una distribución de puntos en un documento, descrito en el reivindicación 15.
- 40 Según un cuarto aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo de lectura de una distribución de puntos en un documento, descrito en la reivindicación 16.
- Según un quinto aspecto, la presente invención se refiere a un programa cargable en un sistema informático, conteniendo el citado programa instrucciones que permite la puesta en práctica del procedimiento objeto de la presente invención, tal como se expuso de modo sucinto anteriormente.
- 45 Según un sexto aspecto, la presente invención se refiere a un soporte de informaciones legibles por un ordenador o un microprocesador, desmontable o no, que conserve instrucciones de un programa informático, caracterizado por que permite la puesta en práctica del procedimiento objeto de la presente invención, tal como se expuso de modo sucinto anteriormente.
- 50 Las ventajas, objetivos y características particulares de este dispositivo, de este procedimiento de lectura, de este programa de ordenador y de este soporte de información que sean similares a los del procedimiento de aseguramiento objeto de la invención, tal como se expuso de modo sucinto anteriormente, no se reiteran aquí.

Otras ventajas, objetivos y características de la invención se deducirán de la descripción que sigue, hecha, con un fin explicativo y en modo alguno limitativo en relación con los dibujos anejos, en los cuales:

- la figura 1 representa una marca digital agrandada en un factor de aproximadamente 20.
- la figura 2 representa la marca ilustrada en la figura 1, después de impresión, agrandada,
- 5 - la figura 3 representa una fotocopia de la marca impresa ilustrada en la figura 2, agrandada,
- la figura 4 muestra una copia de alta calidad de la marca impresa ilustrada en la figura 2, agrandada,
- la figura 5 representa, agrandado, un MPCV, siendo aquí la característica variable una altura de punto,
- la figura 6 representa un agrandamiento, en un factor de aproximadamente 200, de una parte de un MPCV de la figura 5, una vez impreso,
- 10 - la figura 7 muestra dos impresiones agrandadas de un mismo MPCV que tienen un tamaño de puntos constante antes de impresión,
- la figura 8 representa, agrandada, una matriz de información segura que comprende, en su centro, un MPCV,
- la figura 9 representa, agrandada, una matriz de información segura que está rodeada por un MPCV,
- la figura 10 representa, agrandado, un MPCV cuyas cuatro esquinas consisten en un punto rodeado de cuatro puntos que están próximos,
- 15 - la figura 11 representa, agrandado, un MPCV con línea de puntos en los cuatro lados,
- la figura 12 representa, agrandada, una parte de un MPCV en forma de rejilla,
- la figura 13 representa el valor absoluto de la trasformada de Fourier bidimensional del MPCV representado en la figura 12,
- 20 - la figura 14 representa, agrandado, un detalle de un MPCV que representa información codificada,
- la figura 15 representa, esquemáticamente, un modo de realización particular del dispositivo objeto de la presente invención,
- las figuras 16A a 20 representan, en forma de diagramas lógicos, etapas puestas en práctica en modos de realización particulares de los diferentes aspectos del procedimiento objeto de la presente invención
- 25 - la figura 21 representa una parte agrandada de un MPCV de alta densidad,
- la figura 22 representa una parte agrandada de un MPCV con gradiente de dimensiones de puntos,
- la figura 23 representa, en forma de diagrama lógico, etapas puestas en práctica en un modo de realización particular del procedimiento objeto de la presente invención,
- la figura 24 representa, en vista agrandada, un motivo digital identificador puesto en práctica en modos de realización particulares del procedimiento objeto de la presente invención,
- 30 - la figura 25 representa, en vista agrandada, el motivo digital identificador de la figura 24, una vez impreso sobre un objeto, durante una primera impresión de una serie,
- la figura 26 representa, en vista agrandada, el motivo digital identificador de la figura 24, una vez impreso sobre un objeto, durante una segunda impresión de una serie,
- 35 - la figura 27 representa una trasformada coseno discreta de una imagen captada de uno de los motivos identificadores impresos representados en las figuras 25 y 26,
- las figuras 28A a 28C representan, en forma de diagrama lógico, etapas puestas en práctica en modos de realización particulares del procedimiento objeto de la presente invención,
- la figura 29 representa una distribución de las puntuaciones para dos grupos de motivos identificadores puestos en práctica en modos de realización particulares del procedimiento objeto de la presente invención,
- 40 - la figura 30 representa una distribución de puntos que haya que imprimir,
- la figura 31 representa un imagen agrandada de impresión de la parte superior izquierda de impresiones de la distribución de puntos ilustrada en la figura 30,

- la figura 32 representa nubes de mediciones de correlación de formas de puntos de la distribución de puntos ilustrada en la figura 30.

- la figura 33 ilustra en curva obtenida durante la determinación de una tasa óptima de errores que haya que obtener en la impresión y

5 - la figura 34 ilustra, en forma de un diagrama lógico, etapas puestas en práctica en un procedimiento de determinación de placa que haya servido para la impresión de un documento.

Antes de dar el detalle de diferentes modos de realización particulares de la presente invención, se dan, a continuación, definiciones que serán utilizadas en la descripción.

10 - « matriz de informaciones »: se trata de una representación física de un mensaje, generalmente adherida sobre una superficie sólida (a diferencia de las watermarks o filigranas digitales que modifican los valores de píxeles de una decoración que haya que imprimir), legible por una máquina (en inglés « machine-readable representation of information »). La definición de la matriz de informaciones engloba, por ejemplo, los códigos de barras 2D, los códigos de barras de una dimensión y otros medios de representación de la información que son menos invasivos, tales como los « Dataglyphs » (marcado de datos);

15 - « documento »: se trata de cualquier objeto (físico) que lleva una matriz de información;

- « marcado » o « impresión »: cualquier proceso por el cual se pasa de una imagen digital (que incluye una matriz de información, un documento...) a su representación en el mundo real, siendo hecha esta representación generalmente sobre una superficie: esto incluye, de manera no exclusiva, la impresión con chorro de tinta, láser, offset, térmica, así como estampado, el grabado láser, la generación de hologramas. Están incluidos igualmente procesos más complejos, tal como el moldeo, en el cual la imagen digital es primero grabada en el molde, y después moldeada sobre cada objeto. Obsérvese que una imagen « moldeada » puede ser vista como teniendo tres dimensiones en el mundo físico incluso si su representación digital comprende dos. Obsérvese también que varios de los procedimientos mencionados incluyen varias transformaciones, por ejemplo la impresión offset clásica (contrariamente al offset « computer-to-plate »), incluye la creación de una película, sirviendo la citada película para crear una placa, siendo utilizada la citada placa en la impresión. Otros procedimientos permiten igualmente imprimir una información en el ámbito no visible, ya sea utilizando frecuencias al exterior del espectro visible, o también inscribiendo la información en el interior de la superficie, etc.

20

25

- « Motivo identificador », o « MI »: imagen impresa a partir de una imagen fuente (digital), diseñada e impresa de tal manera que cada una de las impresiones de la citada imagen fuente puede ser identificada con una gran probabilidad.

30 - « Características únicas »: atributos físicos únicos de un motivo identificador que permite distinguirlo de cualquier otra impresión de la misma imagen fuente.

- « Huella »: conjunto de los valores de las características medidas, que permiten representar un motivo identificador y compararlo con otras representaciones de motivo identificador,

35 - « Captura »: cualquier proceso por el cual se obtiene una representación digital del mundo real, que incluye la representación digital de un documento físico que contiene una matriz de información,

- « Célula »: se trata de una zona regular de un motivo de puntos de características variables (« MPCV »), generalmente rectangular, incluso cuadrada, en la cual se encuentran, como máximo, un número predeterminado de puntos, valiendo generalmente uno el número predeterminado, sin en variantes señaladas;

- « Pixel de generación »: la zona más pequeña considerada para la generación de un MPCV,

40 - « Punto »: una zona impresa elemental de muy pequeña dimensión, eventualmente variable, que hace contraste con un fondo, siendo el punto generalmente la representación de uno o varios píxeles de generación,

- « Pixel de captura » o « pixel de imagen »: una zona cuya imagen corresponde a un punto fotosensible, o pixel, de un sensor de imagen,

45 - « Orden de magnitud »: una magnitud física A es del mismo orden de magnitud que una magnitud física B, si el valor de A está entre un décimo y diez veces el valor de B y, preferentemente, entre la mitad y dos veces.

En los modos de realización de la presente invención descritos en lo que sigue en relación con las figuras 24 a 29, se ponen en práctica:

- etapas 701 a 703 de diseño digital de los motivos identificadores,

- etapas 711 a 715 de cálculo de huella de motivo identificador (según uno de los métodos descritos en otra parte),

50 - etapas 720 a 726 de optimización de la impresión de los motivos identificadores,

- etapas 731 a 734 de almacenamiento y de representación de huellas o características únicas de documentos,
- etapas 741 a 749 de identificación de huella poniendo en práctica un base de datos,
- etapas 751 a 756 de verificación de huella sin base de datos,
- etapas 761 a 763 de utilización combinada de un motivo identificador y de un código digital autenticador y
- 5 - etapas 771 a 780 de aseguramiento de documento.

En lo que concierne al diseño digital de un motivo identificador y a la determinación de los parámetros de impresión de un motivo identificador, origen de ciertas características particulares de la presente invención, se ha descubierto que, si se imprime varias veces una misma imagen fuente de una matriz de información segura, la misma estará afectada de errores diferentes en cada impresión. El mismo efecto se ha constatado igualmente en los motivos de detección de copia. De manera más general, se ha constatado que, en cualquier imagen que tenga una densidad suficiente, 1) la impresión de la imagen dará lugar a una degradación de la misma, y 2) y la misma estará afectada de una degradación diferente en cada impresión.

Para ser más preciso, este fenómeno no está limitado a los códigos digitales autenticadores. En efecto, cualquiera que sea la densidad de una imagen digital, cada una de las impresiones de la misma diferirá de todas las otras impresiones, teniendo en cuenta los procesos aleatorios que se llevan a cabo durante la impresión. Solamente, en imágenes de bajas densidades, las diferencias serán mucho menos numerosas y significativas. Se necesita entonces una resolución de captura mucho más importante con el fin de captar las diferencias que a veces son mínimas. A la inversa, en los códigos digitales autenticadores impresos con la resolución adecuada, no es necesario utilizar una resolución de captura particularmente elevada (se considera suficiente un escáner de 1200 puntos por pulgada) Además, como las diferencias son muy significativas, la extracción de las características únicas no debe hacerse con una precisión muy elevada, lo que es ventajoso a nivel del coste y de la estabilidad de los algoritmos de lectura.

Los motivos identificadores son imágenes diseñadas e impresas de modo que se maximicen las diferencias entre cada impresión de un mismo motivo identificador fuente. Estas imágenes están diseñadas preferentemente de manera pseudoaleatoria (por ejemplo con una o varias claves criptográficas), pero las mismas pueden ser completamente aleatorias (siendo la diferencia que, en el segundo caso, no existe clave criptográfica, o la clave no se conserva). Sin embargo, se observa que, en principio, el motivo identificador digital de origen puede ser conocido sin comprometer la seguridad: en efecto, solo los motivos identificadores catalogados (que tenga su huella) en la base de datos son legítimos, y en principio no es posible controlar las incidencias de la impresión. Por lo tanto, la posición de la imagen de origen no da una ventaja real al falsificador: esto es otra ventaja, en términos de seguridad, de los motivos identificadores.

Como las degradaciones son de naturaleza aleatoria y producen un resultado diferente para cada impresión de una misma imagen fuente, cada impresión de un motivo identificador revela características únicas, no reproducibles y no transferibles. Así, cada una de las impresiones de un mismo motivo identificador difiere de todas las otras, y por tanto revela intrínsecamente los medios de identificarle sin equivoco. Se puede entonces calcular una huella de un motivo identificador, y utilizarla de diferentes modos a fin de aumentar la seguridad del documento que la contiene, especialmente en modos de identificación y verificación.

Los motivos identificadores pueden ser simples rectángulos, eventualmente enmarcados por un borde que facilite su detección, pero igualmente pueden tener una forma particular, tal como un logotipo, etc. Sin embargo, la forma rectangular se manifiesta ventajosa desde el punto de vista de la lectura (la misma es fácilmente identificable) y de su compatibilidad con las formas habituales de los códigos digitales autenticadores u otros códigos tales como el código de barras de una o dos dimensiones.

Se describe, a continuación, un algoritmo de diseño de un motivo identificador:

- en el transcurso de una etapa 701, se recibe una clave criptográfica, por ejemplo una secuencia de 32 octetos (256 bits),

- en el transcurso de otra etapa 702, utilizando una función de comprobación o de cifrado de manera recurrente, siendo inicializado el algoritmo con la clave criptográfica, se genera el número de requerido de bits aleatorios. Por ejemplo, para un motivo identificador de 10.000 píxeles en negro y blanco (1 bit por píxel), se necesitan 10 000 bits; se necesitan 8 veces más para un motivo identificador en niveles de gris (siendo cada nivel equiprobable). Suponiendo que se utilice la función de comprobación SHA-1 (entrada y salida de 256 bits), se necesita hacer 40 llamadas (1 bit por píxel) o un poco menos que 320 llamadas (ocho bits por píxel) a la función para obtener los bits necesarios (porque  $40 \times 256 \geq 10\,000$  o  $320 \times 256 \geq 80\,000$ ). El lector podrá inspirarse en las normas FIPS (acrónimo de « Federal Information Processing Standar », de estándar de tratamiento de información federal) y AES (acrónimo de « Advanced Encryption Standard », de estándar de cifrado avanzado) y

- en el transcurso de una etapa 703, se ensamblan los bits en una imagen. Por ejemplo de 100 x 100 puntos, eventualmente completada por un borde.



La Figura 24 muestra tal motivo identificador, antes de la impresión. Las Figuras 25 y 26 muestran dos impresiones diferentes del motivo identificador ilustrado en 24.

Las funcionalidades de un código digital autenticador pueden ser combinadas con las de un motivo identificador, porque las características de diseño y de impresión de los códigos digitales autenticadores son similares a las requeridas para los motivos identificadores. Por ejemplo, los algoritmos de diseño de los motivos de detección de copia, que necesitan una clave criptográfica, se parecen al algoritmo descrito anteriormente, aunque el objetivo buscado sea muy diferente. Los algoritmos de diseño de las matrices de información seguras, necesitan a la vez una o varias claves criptográficas, y uno o varios mensajes. El resultado es sin embargo similar, o sea una imagen con los valores pseudoaleatorios.

Como se verá más adelante, se considera que las condiciones ideales de impresión de los motivos identificadores son similares a las condiciones ideales de impresión de los códigos digitales autenticadores. Así, es posible, tanto desde el punto de vista del diseño como del resultado impreso, combinar las funcionalidades de los códigos digitales autenticadores con la de las matrices de información.

En lo que concierne a los métodos de extracción y, durante la verificación de un documento, de comparación, de la huella de un motivo identificador, se describe en lo que sigue, en primer lugar, un método de extracción y de comparación de huella genérica, que consiste en extraer los valores de un conjunto de puntos de un motivo identificador capturado:

- en el transcurso de una etapa 711, se determina la posición del motivo identificador en la imagen del documento impreso. En un motivo identificador de forma rectangular, se puede, por ejemplo, extraer las posiciones (altura, anchura) de los cuatro extremos del motivo identificador,

- en el transcurso de una etapa 712, para un número determinado de puntos que haya que extraer, se determina la posición en la imagen capturada y se extrae el valor de cada uno de los puntos. Por ejemplo, 256 puntos horizontalmente y 256 verticalmente, para un total de  $256^2$ , un número de puntos correspondiente a 2 elevado a una potencia entera es ventajoso si, por ejemplo, se utiliza posteriormente una FFT (transformada de Fourier rápida) o una DCT (transformada de coseno discreta). La determinación de la posición de los puntos puede hacerse utilizando técnicas geométricas estándar, conocidas de la técnica anterior: determinación de la posición de puntos de referencia (por ejemplo, los cuatro extremos del motivo identificador si el mismo es rectangular), y después determinación de la posición de los puntos haciendo la hipótesis de que la imagen capturada ha experimentado por ejemplo una transformada afín o perspectiva. Los valores están típicamente, por ejemplo, en una escala de 0 a 255, lo mismo que la imagen capturada. Como las posiciones pueden ser fraccionarias, el valor del punto tomado puede ser el « del vecino más próximo », método poco caro pero poco preciso. Pueden utilizarse igualmente algoritmos de interpolación, con un coste que aumenta con la precisión requerida: interpolación bicúbica, bilineal etc. El resultado es una matriz de 256 x 256 valores enteros (vecino más próximo) o en coma flotante (interpolación),

- en el transcurso de una etapa 713, se calcula la transformada de coseno discreta en dos dimensiones de la matriz. La transformada de coseno discreta es ventajosa porque la misma permite comprimir firmemente la energía de la señal en un número pequeño de componentes,

- en el transcurso de una etapa 714, se selecciona un número determinado de coeficientes, por ejemplo los 10 x 10 coeficientes de la frecuencia más baja, y eventualmente se elimina el coeficiente constante, conocido con el nombre de coeficiente « DC » en la posición (0, 0),

- en el transcurso de una etapa 715, se reordenan los coeficientes en un vector, que constituye la huella de la matriz de información segura.

Se observa que el método anteriormente descrito no pone en práctica ningún secreto y, por consiguiente, permite a cualquiera calcular la huella. Esto puede ser deseable en ciertos casos, en los que se considere que esto no plantea riesgo de seguridad. Por el contrario, en otros casos, es deseable que solo las personas autorizadas puedan calcular la huella. Para esto, se pone en práctica una clave criptográfica mantenida secreta que permite determinar los coeficientes que constituyen la huella. Esta clave solo es divulgada a las personas o entidades autorizadas para reconstituir la huella. Técnicas resultantes de la técnica anterior están disponibles para el especialista en la materia con el fin de seleccionar los coeficientes a partir de la clave, poniendo en práctica generalmente un algoritmo de comprobación o un algoritmo de cifrado.

Dos huellas correspondientes a capturas distintas pueden ser comparadas entonces de múltiples maneras, con el fin de obtener una medición de similitud o, inversamente, una medición de distancia. Midiendo, por ejemplo, un coeficiente de correlación entre ellas, se obtiene una medición de similitud, que se denominará « puntuación » en lo que sigue.

Para validar este método de extracción de características únicas, se ha generado un motivo identificador de 100 x 100 píxeles que se ha impreso 100 veces, en una impresora láser de 600 puntos por pulgada. Un escáner « flatbed » de 1200 puntos por pulgada ha sido utilizado para realizar tres capturas de cada motivo identificador impreso. Se ha calculado después una huella para cada una de las 300 capturas efectuadas. Se mide entonces una puntuación para

cada uno de los 44 850 pares de huellas (número calculado como sigue:  $300 \cdot (300-1)/2$ ). Se separan estos 44 850 pares de huellas en dos grupos:

- un grupo A de 600 pares de huellas correspondientes a diferentes capturas del mismo motivo identificador impreso y

5 - un grupo B de 44 250 pares de huellas correspondientes a capturas de diferentes motivos identificadores impresos.

La puntuación está comprendida entre 0,975 y 0,998 para el grupo A, y está comprendida entre 0,693 y 0,945 para el grupo B. La Figura 29 muestra la distribución de las puntuaciones para el grupo A y para el grupo B. Sobre la base de estas puntuaciones, no hay ninguna confusión posible entre los pares de los dos grupos. Así, utilizando el método de cálculo de huella descrito anteriormente, se puede determinar sin ambigüedad cuál de las 100 impresiones es origen de la imagen capturada.

Se mide un « grado de separación de las huellas », que consiste en calcular la diferencia de las medias de las puntuaciones para los grupos A y B (aquí respectivamente de 0,992 y 0,863) y en normalizarla por la desviación típica de las puntuaciones del grupo A, aquí de 0,005. Se obtiene un valor de 25,8. Como se verá más adelante, este índice es útil para determinar los parámetros de impresiones y de diseños que den los mejores resultados.

15 Se describe, ahora, un segundo método de extracción de huella concerniente a las matrices de información seguras. Este método se aplica en particular cuando el motivo identificador tiene igualmente las funcionalidades de una matriz de información segura. Se explica aquí cómo se extrae el mensaje interferido de una matriz segura capturada. Este mensaje interferido tiene una tasa de error no nula y la estructura de los errores es utilizada como huella.

20 Una ventaja de este método es que el mismo permite utilizar un software diseñado para la lectura de las marices de información seguras. Esto minimiza el coste de los cálculos necesarios.

Sin embargo, la lectura precisa de una matriz de información segura necesita la clave que sirva para generar los bloques de alineación, si es necesario. No se desea forzosamente divulgar esta clave en todos los casos. Además, las variaciones de alineación interna, específicas de cada impresión son eliminadas tanto como sea posible. Esto no es forzosamente deseable, porque estas variaciones participan en la diferenciación de las diferentes impresiones de una matriz de información segura.

25 En lo que concierne al método de determinación de los parámetros de generación y de impresión óptimos de los motivos autenticadores, existe una tasa de degradación óptima que permite separar lo más fácilmente posible las diferentes impresiones de un mismo motivo identificador fuente. De esta manera, si la tasa de degradación en la impresión es muy pequeña, por ejemplo del 1% o del 2% (el 1% o el 2% en las células o píxeles del motivo identificador son mal leídas a partir de una captura perfecta), las diferentes impresiones de un mismo motivo identificador son muy similares una a otra, y es difícil identificarlas de manera fiable, a no ser que se tenga una captura muy precisa de la imagen y/o un algoritmo de análisis muy preciso. Similarmente, cuando la tasa de degradación es muy elevada, por ejemplo del 45% al 50% (el 45% o el 50% de las células de la matriz de información segura son mal leídas a partir de una captura perfecta, significando el 50% que no hay ninguna correlación estadística entre la matriz leída y la matriz de origen), los motivos identificadores impresos son casi indistintos uno de otro. En realidad, la tasa de degradación óptima es próxima al 25%, y si las condiciones de aplicación lo permiten, es preferible aproximarse a la misma. En efecto, con un 25% de degradación, suponiendo que las variaciones de impresión y por tanto las degradaciones sean de naturaleza probabilista, se maximizan, en cada uno de los puntos del motivo identificador impreso, las probabilidades de que la misma difiera de los otros motivos identificadores impresos.

40 Se da, a continuación, un segundo análisis de las tasas de error que hay que buscar en el momento de la generación de una imagen que hay que imprimir en función de los medios de impresión que haya que poner en práctica.

45 Con el fin de determinar cómo se pueden generar MPCV que permitan optimizar la detección de copia, se presenta en lo que sigue un modelo basado en la teoría de la decisión. Las características medidas en las imágenes (o puntos) están representadas por señales. Para simplificar el análisis, se hace la hipótesis de que las señales digitales, antes de la impresión, tienen valores binarios, correspondientes a características que pueden tener valores binarios (por ejemplo dos tamaños de puntos, dos posiciones, etc.). Esta hipótesis se justifica por el hecho de que la mayoría de los procedimientos de impresión tratan imágenes binarias. Evidentemente, las conclusiones del análisis pueden ser extendidas a casos más complejos, especialmente con varios valores posibles de características de punto. La impresión del MPCV es modelizada por la adición de ruido gaussiano. Se supone igualmente que las copias son realizadas con el mismo procedimiento de impresión, de modo que la impresión de la copia se modeliza igualmente por la adición de ruido gaussiano de igual energía. Además, el falsificador, que capta la señal antes de imprimir una copia está obligado a reconstruir una señal binaria haciendo una estimación del valor inicial que minimice su probabilidad de error.

55 Este modelo corresponde directamente a MPCV que pueden tener tamaños de punto de 1x1 píxeles o de 1x2 píxeles (impreso por ejemplo a 2 400 dpi), para el cual el falsificador debe elegir necesariamente uno de los tamaños de punto en la imagen reconstruida a partir de un escaneo, en función de un nivel de gris medido o de una superficie estimada del punto. El modelo corresponde igualmente por ejemplo a MPCV con posiciones que varían en 1 pixel.

A partir de este modelo, se deriva el detector óptimo, la distribución estadística de los valores del detector, y los valores de parámetro que maximizan la detección de copia.

La tabla siguiente resume las diferentes variables.

s	Señal fuente
n, n <sub>c</sub>	Ruido, ruido copia
x	Señal recibida

5 Sin pérdida de generalidad, la señal fuente es equiprobable, es decir  $s[i] \in \{+a, -a\}$ , para  $i = 0, 1, \dots, N-1$ , y  $a > 0$ . El ruido de impresión es distribuido según la ley gaussiana  $N(0, \sigma^2)$ .

Las hipótesis del modelo se resumen así:

$$(H_0) x[i] \in \{a, -a\} \tag{1}$$

$$(H_1) n[i] \sim N(0, \sigma^2) \tag{2}$$

$$(H_2) n_c[i] \sim N(0, \sigma^2) \tag{3}$$

10 Se puede verificar fácilmente que el falsificador minimiza su probabilidad de error restaurando la señal al valor más próximo entre  $+a$ ,  $-a$ .

Por consiguiente, el problema de detección consiste en distinguir las dos hipótesis siguientes:

$$H_0 : x[i] = s[i] + n[i] \tag{4}$$

$$H_1 : x[i] = a \cdot \text{señal}(s[i] + n[i]) + n_c[i] \tag{5}$$

15 donde  $H_0$  y  $H_1$  son las hipótesis de que la señal recibida es un original, respectivamente una copia.

La probabilidad de que el falsificador haya estimado correctamente el valor es:

$$p(\text{señal}(s[i] + n[i]) = s[i]) = p(s[i] + n[i] > 0) \tag{6}$$

$$= p(N(a, \sigma^2) > 0) \tag{7}$$

$$= p(N(0, 1) > -a/\sigma) \tag{8}$$

$$20 = Q(-a/\sigma) \tag{9}$$

donde  $Q(x) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-a/\sigma}^{+\infty} \exp^{-x^2/2} dx$

Se tienen las distribuciones de probabilidad siguientes para la señal recibida, donde en la hipótesis  $H_1$  se tiene una mezcla de dos distribuciones Gaussianas.

$$p(x; H_0) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{N/2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=0}^{N-1} (x[n] - s[n])^2\right] \tag{10}$$

$$25 p(x; H_1) = (1 - Q(-a/\sigma)) \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{N/2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=0}^{N-1} (x[n] + s[n])^2\right] +$$

$$Q(-a/\sigma) \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{N/2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=0}^{N-1} (x[n] - s[n])^2\right] \tag{12}$$

Se verifica que un simple correlacionador da una función de clasificación óptima. Una prueba de detector Neyman-Pearson decide  $H_1$  si la relación de verosimilitud excede de un umbral  $t$ :

$$30 L(x) = \frac{p(x; H_1)}{p(x; H_0)} > t \tag{13}$$

La relación de verosimilitud viene dada por:

$$L(\mathbf{x}) = Q(-a/\sigma) + (1 - Q(-a/\sigma)) \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=0}^{N-1} (x[n] + s[n])^2 + \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=0}^{N-1} (x[n] - s[n])^2\right] \quad (14)$$

Tomando el logaritmo, y un nuevo umbral  $t'$ , se obtiene:

$$T'(x, s) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]s[n] < t' \quad (15)$$

La función de clasificación es por tanto un simple correlacionador  $T'$ , cuyo valor debe ser inferior a un umbral  $t'$  para clasificar la señal como copia.

Se determinan las estadísticas de  $T'$  para las dos hipótesis. Se puede suponer que  $T'$  sigue una gaussiana (verdadero para  $N$  elevado) de la que se derivan las medias y las varianzas para las dos hipótesis:

$$E[T'; H_0] = Na^2 \quad (16)$$

$$E[T'; H_1] = Q(-a/\sigma)Na^2 - (1 - Q(-a/\sigma))Na^2 = (2Q(-a/\sigma) - 1)Na^2 \quad (17)$$

$$\text{Var}[T'; H_0] = Na^2\sigma^2 \quad (18)$$

$$\text{Var}[T'; H_1] = N(a^2\sigma^2 + a^4Q(-a/\sigma)(1 - Q(-a/\sigma))) \quad (19)$$

El segundo término de la varianza para la hipótesis  $H_1$ ,  $(a^4Q(-a/\sigma)(1 - Q(-a/\sigma)))$ , puede ser eliminado si las copias vienen del mismo original. En la práctica, el falsificador minimiza su trabajo utilizando solamente un original para producir un gran número de copias, es razonable eliminar el término.

En el caso en que las varianzas sean iguales, se puede caracterizar la eficiencia de detección por el coeficiente de deflexión  $d^2$ , que corresponde a la diferencia entre la media de la función  $T'$  para las dos hipótesis, normalizada por la varianza  $T'$ :

$$d^2 = \frac{(E[T'; H_0] - E[T'; H_1])^2}{\text{Var}[T'; H_0]} \quad (22)$$

$$= \frac{2N^2 a^4 (1 - Q(-a/\sigma))^2}{Na^2 \sigma^2} \quad (23)$$

$$= \frac{2Na^2 (1 - Q(-a/\sigma))^2}{\sigma^2} \quad (24)$$

$$= 2N(\gamma(1 - Q(\gamma)))^2 \quad (25)$$

donde  $\gamma = a/\sigma$  es la raíz cuadrada de la relación entre señal y ruido.

Aumentando la eficiencia de detección con el coeficiente de deflexión, el objetivo es determinar el valor de  $\gamma$  que maximice la expresión  $(\gamma(1 - Q(\gamma)))^2$ .

La Figura 33 representa el valor de la expresión en función de  $\gamma$ . Se la puede interpretar como sigue. Los valores de  $\gamma$  próximos a cero corresponden un ruido muy elevado con respecto a la señal: cuando el ruido es muy elevado, la señal resulta demasiado degradada desde la primera impresión, el falsificador introduce un número de errores de estimación demasiado pequeño. A la inversa, para valores de  $\gamma$  demasiado elevados, la señal no resulta suficientemente degradada, y en una gran proporción de los casos el falsificador no introducirá error de estimación. Entre los dos extremos, la expresión pasa por un valor óptimo, del cual se estima numéricamente el valor de  $\gamma \approx 0,752$ .

Es interesante observar que para este valor, la probabilidad de que el falsificador no haya determinado correctamente el valor, es de aproximadamente del 22,6%.

En la práctica, se trata de obtener una relación entre señal y ruido  $\gamma^2$  tan próxima como sea posible a 0,752<sup>2</sup>, o sea 0,565.

Tómese un ejemplo para comprender mejor cómo tratar este valor de relación. Supóngase que se genera un MPCV con dos tamaños de punto (expresados en número de píxeles) posibles, siendo el tamaño de punto del orden de nueve píxeles (por ejemplo 3x3 píxeles). Se observa que el tamaño de punto puede ser medido poniendo en práctica una multitud de algoritmos, por ejemplo por umbralización adaptativa local del nivel de gris y la contabilización de los píxeles por debajo del umbral. Se imprimen un número suficiente de veces puntos de nueve píxeles. Se mide, en una

imagen capturada, la media y la desviación típica del número de píxeles de cada punto. Supóngase que se obtiene una media de doce (se observa una ganancia física media del 33%), y una desviación típica de cuatro. Esta desviación típica corresponde al valor  $\sigma$  que describe el ruido en las fórmulas de este modelo. Se buscará entonces un valor de esta señal a del orden de tres, para obtener una relación  $\gamma = 0,75$ , o sea muy próxima al óptimo. Para obtener este valor de señal, se pueden definir por ejemplo dos tamaños de puntos de quince y de seis píxeles.

Se describe, a continuación, un algoritmo posible de optimización de los parámetros de impresión:

- en el transcurso de una etapa 720, se recibe la superficie disponible para el motivo identificador, por ejemplo un cuadrado cuyo lado mide 1/6 de pulgada,

- en el transcurso de una etapa 721, se generan varias imágenes digitales de motivos identificadores de dimensiones digitales diferentes, correspondientes a las diferentes resoluciones de impresión posibles, por ejemplo un motivo identificador de 66 x 66 píxeles a 400 puntos por pulgada, uno de 100 x 100 píxeles a 600 puntos por pulgada, uno de 133 x 133 píxeles a 800 puntos por pulgada, uno de 200 x 200 píxeles a 1200 puntos por pulgada,

- en el transcurso de una etapa 722, se imprimen varias veces cada uno de los motivos identificadores de dimensiones digitales diferentes, por ejemplo 100 veces, con la resolución adecuada de modo que las dimensiones de la impresión correspondan a la superficie disponible.

- en el transcurso de una etapa 723, para cada tipo, se capturan varias veces motivos identificadores impresos, por ejemplo 3 veces,

- en el transcurso de una etapa 724, se calcula la huella de cada motivo identificador,

- en el transcurso de una etapa 725, se calculan las puntuaciones de similitud para todos los pares de motivo identificador capturados con igual resolución de impresión y

- en el transcurso de una etapa 726, se sigue el método descrito en la experimentación del método de extracción de huella genérica expuesto anteriormente para medir el « grado de separación de las huellas », para cada una de las resoluciones de impresión, y se elige la resolución de impresión que dé el valor máximo de este grado.

En variante, se imprimen varias matrices de información seguras para diferentes resoluciones de impresión, y se determina la resolución de impresión resultante en una tasa de error del 25%, tal como se calcula con uno de los algoritmos descritos en otra parte.

En variante, se elige la resolución de impresión cuya diferencia sea la más elevada entre el valor más bajo de puntuación calculado en la comparación entre huellas correspondientes a impresiones idénticas, y el valor más elevado de puntuación calculado en la comparación entre las huellas correspondiente a impresiones diferentes.

En lo que concierne al método de representación y almacenamiento de las características, es ventajoso reducir, tanto como sea posible, el volumen de datos de la huella. En el caso de la identificación, se trata de comparar una huella con un gran número de huellas almacenadas en una base de datos, lo que es muy caro. Se reduce este coste reduciendo el tamaño de las huellas que haya que comparar, especialmente evitando utilizar números en coma flotante.

Considérese el caso del método genérico de extracción de huella. El vector de datos inicial extraído de un motivo identificador captado es la matriz de valores extraídos 256 x 256, y su representación por una transformada de coseno discreta después de selección de coeficientes, tiene 10 x 10 valores. Es ventajoso representar la matriz de valores con un octeto por valor, o sea 100 octetos.

En el transcurso de una etapa 727, se imprime al menos un objeto con un motivo identificador para formar un documento seguro.

Por el contrario, los coeficientes de la transformada de coseno discreta pueden tomar valores tanto positivos como negativos, y en principio no están limitados. Con el fin de representar tales valores con una cantidad de información fijada, los valores deben ser cuantificados con el fin de ser representados en valores binarios. Un método posible es el siguiente:

- en el transcurso de una etapa 731, se determina, de antemano, un valor mínimo y un valor máximo para cada coeficiente. En general, los valores mínimos y máximos tienen el mismo valor absoluto,

- en el transcurso de una etapa 732, se determina el número de bits u octetos que permiten representar cada valor y

- en el transcurso de una etapa 733, para cada coeficiente de la transformada de coseno discreta, se sustrae el valor mínimo, y después se divide el resto por el valor máximo,

- en el transcurso de una etapa 734, se multiplica el resultado por el número de valores posible de los datos cuantificados, o sea 256 si está disponible un octeto para cada valor. El valor entero del resultado corresponde al valor de origen cuantificado.

En variante, se optimizan los pasos de cuantificaciones de modo que se minimice el error de cuantificación.

5 En lo que concierne al método de identificación con la base de datos, en caso de identificación, debe compararse un motivo identificador con cada uno de los motivos identificadores de una base de datos, con el fin de determinar si el mismo corresponde a uno de los motivos identificadores de una base de datos, en cuyo caso el motivo identificador es considerado como válido, y se pueden encontrar las informaciones de trazabilidad. Si no, el motivo identificador es considerado como no válido.

10 En modos de realización, se ponen en práctica las etapas siguientes:

- en el transcurso de una etapa 741, se determina la huella del motivo identificador contenido en la imagen captada,  
- en el transcurso de una etapa 742, se calcula la puntuación, o similitud, de la huella obtenida con cada una de las huellas almacenadas en la base de datos,

- en el transcurso de una etapa 743, se determina la similitud máxima obtenida,

15 - en el transcurso de una etapa 744, si la similitud máxima es superior a un valor umbral, el motivo identificado es considerado válido y, en el transcurso de una etapa 745, se encuentran las informaciones de trazabilidad asociadas,

- si no, en el transcurso de una etapa 746, el motivo identificador es considerado como no válido.

En variantes:

20 - en el transcurso de una etapa 747, si el motivo identificador tiene igualmente las funcionalidades de un código digital autenticador, se extraen las informaciones de trazabilidad,

- en el transcurso de una etapa 748, las informaciones de trazabilidad que permiten reducir el espacio de búsqueda pueden provenir igualmente de otra fuente, por ejemplo código de barra asociado, enseñanza por el controlador, etc y

25 - en el transcurso de una etapa 749, se explotan estas informaciones con el fin de reducir el espacio de búsqueda en la base de datos. Por ejemplo, la información de la orden de fabricación permite efectuar una preselección de las huellas que haya que comparar entre el subconjunto de huellas correspondiente a esta orden de fabricación.

30 En lo que concierne al método de verificación sin base de datos, el mismo necesita que la huella precalculada del motivo identificador esté almacenada en el documento. Por ejemplo, durante la etapa de cálculo de la huella de cada uno de los documentos legítimos, estos pueden estar destinados a la vez a ser almacenados en una base de datos, y a ser almacenados de manera segura en el documento.

El almacenamiento de la huella en el documento se realiza sobre la marcha preferentemente por impresión variable, es decir diferente para cada documento. La huella puede ser almacenada en un código de barras de una o dos dimensiones, o incluso en un código digital autenticador, según los medios de impresión cuya calidad puede ser limitada.

35 De manera general, es preferible almacenar la huella de modo seguro, por ejemplo utilizando un algoritmo criptográfico provisto de una clave de cifrado secreta, se evita así el riesgo de que un falsificador utilice documentos no legítimos, sin tener que conectarse a una base de datos de referencia. Para esto, se ponen en práctica las etapas siguientes:

- en el transcurso de una etapa 751, se determina la huella del motivo identificador contenido en la imagen captada,

- en el transcurso de una etapa 752, se recibe la huella precalculada,

40 - en el transcurso de una etapa 753, se calcula la puntuación, o la similitud, por comparación de la huella obtenida con la huella precalculada,

- en el transcurso de una etapa 754, si la similitud máxima es superior a un valor umbral, el motivo identificador es considera válido

- si no, en el transcurso de una etapa 756, el motivo identificador es considerado no válido.

45 En lo que concierne a una utilización combinada de un motivo autenticador con funcionalidades de un código digital autenticador, los métodos de caracterización única de los documentos de la técnica anterior utilizan características no interpretables sin recurrir a una base de datos. Por el contrario, si los motivos autenticadores pueden ser simples imágenes sin significaciones, como se ha visto, estos pueden ser igualmente imágenes que comprendan otras funcionalidades. Especialmente, pueden ser códigos digitales autenticadores, en cuyo caso pueden comprender

informaciones seguras (son necesarias una o varias claves para leerlos), y/o tener propiedades autenticadoras (distinguir un original de una copia).

La huella del motivo autenticador puede estar diseñada de modo que sea suficientemente precisa para identificar el documento, pero no suficientemente para no ser reproducible. En efecto, considérese el método genérico de determinación de la huella, basado en 100 coeficientes DCT de bajas frecuencias, posiblemente representados con un octeto cada uno. Cualquiera, en principio, puede extraer estos coeficientes y crear una imagen de igual dimensión que un motivo identificador invirtiendo estos coeficientes. Como se comprende, esta imagen es muy diferente de los motivos identificadores impresos. Por tanto, la puntuación obtenida comparando la huella calculada a partir de una captura de la imagen invertida, y la huella de origen, es de 0,952. Esta puntuación, aunque inferior al conjunto de las puntuaciones obtenidas en las comparaciones de huellas de iguales motivos identificadores impresos, es sensiblemente superior a las puntuaciones obtenidas en comparaciones de huellas de motivos identificadores impresos diferentes. Existe por tanto un riesgo de que un falsificador intente reproducir la huella de un motivo identificador legítimo.

Una mejor captura de imagen y/o una captura de imagen más fina permitiría reducir, incluso eliminar, el riesgo de que tal falsificación funcione. Sin embargo, esto no es siempre posible. En este caso, si el motivo identificador es igualmente un código digital autenticador, es ventajoso explotar conjuntamente sus propiedades autenticadoras, poniendo en práctica las etapas siguientes:

- en el transcurso de una etapa 761, se identifica o se verifica el motivo identificador,
- en el transcurso de una etapa 762, se reciben la o las claves necesarias para la autenticación del código digital autenticador y
- en el transcurso de una etapa 763, se determina si el código digital autenticador es un original o una copia.

Los códigos digitales autenticadores se basan generalmente en la degradación de una o varias características físicas anticopia, que son sensibles a la copia durante la etapa de copia.

Así los watermarks digitales tienen un nivel de energía más pequeño en la copia, o incluso una relación de nivel de energía diferente entre un watermark poco sensible a la copia y un watermark particularmente sensible a la copia. Asimismo, en el caso de las técnicas de marcado espacial, se observa un nivel de energía, o de correlación, más pequeño en las copias. En los motivos de detección de copia, basados en una comparación de imagen, se mide un índice de similitud (o de disimilitud) entre el motivo de detección de copia de origen y el motivo de detección de copia capturado; si este último es una copia, el índice de similitud será menos elevado. Finalmente, en las matrices de información segura, se mide una tasa de error del mensaje codificado extraído de la matriz; esta tasa de error será más elevada en las copias (obsérvese que, gracias a las redundancias del mensaje codificado, el mensaje enviado es en general descodificable sin error).

Se observa que, en cada uno de estos métodos, se miden uno o varios valores que en general son continuos, y que no precisan explícitamente la naturaleza del documento (original o copia). Se debe aplicar en general un criterio predeterminado de discriminación de los originales y de las copias, por ejemplo comparando el o los valores obtenidos con uno o varios valores « umbrales », con el fin de determinar si el o los valores medidos corresponden a una « copia » o a un « original ».

En lo que concierne a los modos de realización del procedimiento de aseguramiento de documentos basados en los motivos identificadores, pueden ponerse en práctica las etapas siguientes:

- en el transcurso de una etapa 771, el titular de los derechos otorga una licencia a un transformador para producir un cierto número de documentos,
- en el transcurso de una etapa 772, el titular de los derechos transmite al transformador uno o varios motivos identificadores, que tengan una funcionalidad de código digital autenticador, en forma de una imagen digital que haya que imprimir en los documentos. El motivo identificador puede formar parte del dibujo de un documento digital, o ser enviado separadamente. En variante, el transformador recibe el motivo identificador de un tercero habilitado por el titular del derecho,
- en el transcurso de una etapa 773, el transformador imprime el número previsto de documentos, con el o los motivos identificadores previstos en cada documento,
- en el transcurso de una etapa 774, el número previsto de documentos impresos es enviado al titular del derecho. En variante, los documentos son enviados al ensamblador habilitado por el titular de los derechos. En variante, el número previsto de documentos impresos es tratado directamente por el transformador en el transcurso de la etapa 774, como se expone en variantes,
- en el transcurso de una etapa 775, el titular de los derechos/ensamblador, ensambla el producto acabado (que puede contener varios documentos).

- en el transcurso de una etapa 776, se capturan una o varias de las imágenes del o de los motivos identificadores. En principio, este proceso se realiza automáticamente, pasando por ejemplo los productos sobre una cinta rodante por debajo del objetivo de una cámara industrial. La cámara industrial es activada automáticamente o por una activación externa que procede de un sensor,

5 - en el transcurso de una etapa 777, se almacena cada imagen capturada de un motivo identificador en una base de datos, con las informaciones asociadas (orden de fabricación, fecha, etc.),

- en el transcurso de una etapa 778, en tiempo real o diferido, se calculan una o varias huellas para cada imagen válida de motivo identificador capturado,

10 - en el transcurso de una etapa 779, con el objetivo eventual de la utilización del motivo identificador en modo de verificación (sin conexión con la base de datos), se cuantifica y/o comprime una de las huellas, generalmente la que ocupa el volumen de datos más pequeño de modo que se obtenga una representación compacta de la misma. Se genera una matriz de información (una matriz de datos, un código de barras, un matriz de información segura MIS, etc.), preferentemente segura con la ayuda de una clave, que contiene la representación de la huella. La matriz de información es impresa en el documento que contiene el motivo identificador y

15 - en el transcurso de una etapa 780, si es necesario, se envía el conjunto de las huellas calculadas por enlace seguro, al servidor central al cual se conectan los inspectores con el fin de verificar la validez de las huellas.

En variantes:

20 - el sitio en el que son capturadas las imágenes de los motivos identificadores pueden encontrarse en el impresor o el transformador, siendo la ventaja de que el mismo puede ser integrado a la producción, siendo la desventaja de que le mismo se encuentra en zona expuesta. La máquina que sirve para el cálculo y/o almacenamiento de la huellas puede ser segura y/o

- el sitio puede encontrarse en el tercero habilitado por el titular de los derechos, generalmente el mismo que facilita el o los motivos identificadores utilizados.

En la figura 23, se observan:

25 - una etapa 605 de determinación de una matriz de puntos representativa de una información asociada a un objeto que haya que autenticar,

- una etapa 610 de adhesión de una marca al citado objeto de tal manera que la marca adherida presente errores imprevisibles debido a las características físicas de los medios de puesta en práctica en el transcurso de la etapa de marcado,

30 - una etapa 615 de captura de una imagen de la citada marca,

- una etapa 620 de determinación de características físicas de los citados errores imprevisibles por tratamiento de la citada imagen,

- una etapa 625 de memorización de una información representativa de las características físicas de los errores imprevisibles y

35 - una etapa 630 de marcado resistente en el transcurso de la cual se adhiere al citado objeto una marca resistente que comprende información relativa a las características físicas de los errores imprevisibles.

40 En el transcurso de la etapa 605, se determina la matriz de información, por ejemplo en forma de una matriz de zonas que comprenden, cada una, centenares de puntos y representativas, cada una, de una información binaria. La información asociada al producto es, por ejemplo, el nombre del fabricante, lo orden de fabricación y/o la fecha de fabricación.

45 En el transcurso de la etapa 610, se adhiere la marca formada por una matriz de puntos con una resolución tal que al menos el dos por ciento de los puntos de la marca sean erróneos, en comparación con la matriz de puntos original. Por ejemplo, se utiliza la resolución máxima de una impresora. Esta resolución tiene por efecto, especialmente, que la copia del objeto, que impone una copia de la marca, por ejemplo por procedimientos ópticos o fotográficos, aumente al menos el cincuenta por ciento la tasa de errores en la marca copiada, en comparación con la marca inicial.

50 En el transcurso de la etapa 620, se determina, como características físicas de los errores imprevisibles, características de repartición de los citados errores en la citada marca. Por ejemplo, se determina el vector que va del centro de la marca al baricentro de los errores llevados por la marca, después se asignan a los errores un peso que depende de su posición y se determina un nuevo vector que va del centro de la marca al baricentro de los errores y así sucesivamente.



5 En el transcurso de la etapa 630, la marca resistente es, por ejemplo, un código de barras, de una o de dos dimensiones, o una matriz de datos conocida con el nombre de Datamatrix (marca registrada). Debido a que esta segunda marca es resistente, la misma puede resistir a copias serviles y permitir identificar el objeto. Preferentemente, en el transcurso de la etapa 630, se pone en práctica una clave de codificación, preferentemente asimétrica, de las características físicas de los errores imprevisibles.

Gracias a la puesta en práctica de la presente invención, aunque sea puesto en práctica el mismo proceso de marcado, sin modificación, por ejemplo por grabado o impresión, sobre numerosos objetos, las características físicas de los errores de marcado permiten dar una identificación única a cada marca y por tanto cada objeto asociado.

10 Cuando se efectúa una nueva captura de imagen con un objeto marcado y se aplica un nuevo tratamiento de imagen, el resultado de este tratamiento de imagen puede ser comparado con la información memorizada para encontrar la identificación del objeto.

La cantidad de error es importante y permite una identificación única de la marca y del objeto.

La lectura de los datos relativos al objeto que lleva la marca facilita un origen y/o medios de acceso a una base de datos de características físicas de los errores.

15 Cualesquiera que sean las condiciones de captura de una nueva imagen de la citada marca, se pueden encontrar las características de repartición de los errores.

20 Para la puesta en práctica de ciertos modos de realización de la presente invención, el inventor ha descubierto que ciertas características de la impresión pueden permitir discernir los originales de las copias de manera muy eficaz. En particular, la variación en las dimensiones, o « tamaño », en el posicionamiento preciso o en la forma de puntos marcados puede ser medida e integrada en una métrica que permita discernir los originales de las copias. Se observa que la variación de nivel de color (o nivel de gris) en la imagen que haya que imprimir responde, debido al tramado, a una variación de forma o de dimensiones. Los códigos digitales autenticadores anteriormente mencionados no están diseñados para medir con precisión estas características. Por el contrario, todos los códigos digitales autenticadores de tipo conocido tienen prestaciones deterioradas por las variaciones de posicionamiento debidas a incidencias de impresión, variaciones que son perturbadoras de las mediciones utilizadas. En el mejor de los casos, se utilizan métodos para intentar eliminarlas. Por otra parte, las filigranas digitales y los MSMA están diseñados para permitir medir características globales de la señal (energía, por ejemplo) que son poco precisas para la diferenciación entre los originales y las copias.

30 La figura 1 muestra una marca digital 105 compuesta de un conjunto de puntos 110 en posiciones aleatorias rodeadas por un borde negro 115. Se observa que los puntos 110 en esta imagen de origen son todos del mismo tamaño, o sea de 1 pixel en una imagen impresa a 600 pixeles/pulgada. La figura 2 muestra una impresión 120 de esta marca digital. La figura 3 muestra una fotocopia 125 de esta marca. Se constata que, en la fotocopia 125, han desaparecido los puntos 110. Con una medición simple tal que el número de puntos todavía presentes en la marca cuya imagen es captada por un sensor de imagen electrónico, o un grado de correlación con la marca de referencia, es fácil discernir un original 120 de una fotocopia 125, o de una copia de mala calidad.

35 La figura 4 muestra una copia 130 de alta calidad. Esta copia ha sido hecha sobre la base de una captura de imagen con un escáner, captura denominada habitualmente « escaneo » de alta resolución, restituyendo a su estado original los puntos 110 detectados automáticamente (utilizando por ejemplo el software Matlab, marca registrada), sabiendo que estos últimos son negros y de tamaño de 1/600 de pulgada. Se observa que todos, si no la mayoría, de los puntos 110 presentes en el original en la figura 2 están presentes en la figura 4. La tarea de un eventual falsificador se ve facilitada, desgraciadamente, por el hecho de que, siendo todos los puntos del mismo tamaño en el original, puede permitirse ignorar la medición del tamaño o del nivel de gris de los puntos, y simplemente reconstituir los puntos a su tamaño original (que, siendo fijo, es trivial de determinar en un conjunto grande).

45 Preferentemente, por la puesta en práctica de ciertos aspectos de la presente invención, la simple contabilización de los puntos presentes no es suficiente para discernir el original de la copia. Un método basado en la correlación o el nivel de energía tal como el utilizado por los MSMA es igualmente ineficaz para detectar las copias de buena calidad.

50 A tal efecto, en modos de realización preferentes, para ampliar las posibilidades de utilización de los motivos de puntos, la determinación de la autenticidad de un documento impone prestar una atención particular a las características geométricas de los puntos, que son estudiadas a nivel local, contrariamente a los métodos de la técnica anterior. En particular, se utilizan el tamaño, la forma y/o el posicionamiento exacto de los puntos para la detección de copia, para el almacenamiento de información, y/o para la caracterización unitaria de los documentos. Los MPCV objetos de modos de realización particulares de la presente invención presentan así la particularidad de que el tamaño, la forma y/o el posicionamiento exacto de los puntos son variables. Preferentemente, para la generación de la distribución de puntos en este MPCV, se producen puntos de los que al menos una característica geométrica es variable, siendo la amplitud geométrica de la variación generada del orden de magnitud de la variación geométrica imprevisible de los puntos durante la impresión, conocida/medida en el sistema de impresión.

La descripción que sigue concierne a:

- métodos de diseño digitales de los MPCV,
  - métodos de mediciones de características geométricas de los MPCV,
  - métodos de combinaciones de características geométricas medidas de los MPCV en una métrica que permite discernir los MPCV originales de los MPCV copiados,
- 5
- métodos de optimización de la impresión de los MPCV,
  - métodos de identificación de los MPCV sobre la base de sus características geométricas,
  - métodos de verificación de MPCV,
  - métodos de almacenamiento de información en los MPCV y
  - un procedimiento de aseguramiento de documentos.
- 10
- A continuación se describe en primer lugar un método de generación de un motivo de puntos de características variables. Con el fin de generar un MPCV, en el transcurso de una etapa 300, se determina, previamente, la calidad de impresión del sistema de impresión que será utilizado para imprimir el MPCV en el documento. La calidad de impresión es representativa de una variación imprevisible de al menos una característica geométrica de los puntos impresos, punto por punto, provocada por la impresión, debido a las incidencias de impresión.
- 15
- Después, en el transcurso de una etapa 302, se determina la superficie a disposición para la impresión de este MPCV, la resolución del sistema de impresión y la densidad máxima de los puntos deseada. Por ejemplo, el tamaño disponible puede ser de aproximadamente 1/6 x 1/6 de pulgada, y la densidad de 1/100 (puede ser impreso aproximadamente un pixel de cada 100). La densidad máxima depende del grado de visibilidad aceptado del MPCV, que es función de las condiciones de la aplicación (por ejemplo color de la tinta, soporte, tipo de impresión, estética del documento). La
- 20
- densidad puede ser más elevada, por ejemplo son posibles una densidad de 1/16 o 1/9, incluso de 1/4. Preferentemente, el MPCV es generado de modo que los puntos impresos no se « toquen ».
- 25
- En ciertos casos, el tamaño disponible puede ser mucho mayor, por ejemplo de varias pulgadas al cuadrado. En cambio, la mayoría de los medios de captura, por ejemplo los aparatos de fotografía que comprenden un sensor de imagen matricial, ofrecen un superficie de captura que no permite cubrir esta zona (los escáneres de base plana no están en general disponibles cuando documentos o productos deben ser leídos en el « terreno »). En este caso, se puede « alicatar », es decir yuxtaponer de modo idéntico, el MPCV o yuxtaponer MPCV diferentes por razones de seguridad. En lo que sigue de la descripción, se denomina « alicatado » estos dos tipos de yuxtaposición de MPCV, respectivamente idénticos o diferentes.
- 30
- Haciendo la hipótesis de que la herramienta de captura puede ser aplicada arbitrariamente sobre la zona de impresión, el tamaño máximo del MPCV para garantizar que al menos un MPCV esté íntegramente contenido en la superficie de captura es igual a la mitad del lado más pequeño de la superficie de captura. En el ejemplo citado anteriormente de un CCD de 640 x 480 que opere a 1220 puntos/pulgada (superficie de 1,33 cm por 1 cm) el MPCV no deberá pasar de 0,5 centímetros de lado.
- 35
- El MPCV es generado, a continuación, de tal manera que:
- al menos la mitad de los puntos de la citada distribución no estén yuxtapuestos lateralmente a otros cuatro puntos de la citada distribución de puntos, y
  - al menos una variación de dimensión de al menos una parte de los puntos de la citada distribución de puntos sea del mismo orden de magnitud que la media del valor absoluto de la variación imprevisible.
- 40
- Los inventores han descubierto, en efecto, que la impresión del original debe presentar dicha relación de órdenes de magnitud para obtener una mejor eficacia de las funciones de aseguramiento (autenticación e identificación) del documento.
- 45
- Además, los inventores han descubierto que, en ciertos modos de realización, para asegurar un documento contra copias que provoquen, debido a las incidencias de copia, una variación denominada « de copia » imprevisible, punto por punto, de al menos una característica geométrica de los puntos impresos, es preferible que en el transcurso de la impresión de una distribución de puntos en el documento, la citada impresión provoque, debido a las incidencias de impresión, un variación, denominada « de impresión » imprevisible, punto por punto, de la citada característica geométrica de los puntos impresos, siendo la amplitud media de la variación imprevisible de impresión del mismo orden de magnitud que la amplitud media mínima de la variación imprevisible de las citadas copias. Preferentemente, se efectúa entonces una etapa de determinación de una magnitud física representativa de la variación imprevisible de
- 50
- impresión, como se expuso en otra parte en relación con las funciones de autenticación y de identificación de un documento.

5 Por ejemplo, se puede utilizar un MPCV de 200 x 200 píxeles impreso a 1200 puntos por pulgada, para una superficie impresa de 1/6 de pulgada, cuyos « puntos » miden 2 x 2 píxeles de generación cuando la media del valor absoluto de la variación imprevisible está entre 0,2 píxeles y 20 píxeles. Obsérvese que un MPCV de 100 x 100 píxeles impreso a 600 puntos por pulgada, con puntos de 1 x 1 píxel daría un resultado comparable. Sin embargo, una resolución de imagen más elevada (para un mismo tamaño de zona impresa) permite más flexibilidad para hacer variar el tamaño y/o la posición de los puntos, como se detalla en lo que sigue.

10 Preferentemente, se evita que puntos estén superpuestos, pegados, o demasiado próximos. A tal efecto, se divide el MPCV en zonas adyacentes, por ejemplo en 10 x 10 zonas de 20 x 20 píxeles cada una, para un MPCV de 200 x 200 píxeles. Dejando un margen blanco de 1 píxel en cada uno de los bordes de cada zona, se tiene una zona de 18 x 18 píxeles disponible para el punto. Hay entonces  $17 \times 17 = 289$  posiciones posibles para cada punto en la zona que le está reservada (formando los puntos 2 x 2 píxeles, su punto más alto y más a la izquierda, por ejemplo, solo puede tomar 17 posiciones laterales y 17 posiciones longitudinales).

15 Por razones de seguridad, es deseable que el MPCV sea de naturaleza pseudoaleatoria, por ejemplo generado a partir de un algoritmo criptográfico a cual se facilita una clave mantenida secreta. Esta clave es utilizada como valor de inicialización de un algoritmo que genera números pseudoaleatorios, que pueden ser encontrados por cualquiera que conozca la clave, pero que son muy difíciles de encontrar por cualquiera que no tenga la clave.

Como se observa en la figura 16A, para generar un MPCV, se realiza:

20 - una etapa 302 de recepción o de determinación de superficie disponible, y de resolución de sistema de impresión y de densidad de impresión,

- una etapa 304 de recepción de una clave criptográfica, por ejemplo una secuencia de 32 octetos (256 bits),

25 - una etapa 306 de generación de valores binarios, por ejemplo utilizando una función de comprobación aleatoria o de encriptado de manera recurrente, siendo inicializado el algoritmo con la clave criptográfica. Por ejemplo, para el ejemplo anteriormente mencionado, hay 289 posiciones posibles para el punto, y se necesitan 9 bits para determinar la posición de un punto en la zona que le está reservada. Así, se necesitan 900 bits para determinar las posiciones de los 100 puntos en sus respectivas zonas. Suponiendo que se utilice la función de comprobación aleatoria SHA-1, con entrada y salida de 256 bits, es necesario hacer cuatro llamadas a la función para obtener los datos binarios necesarios y

30 - una etapa 308 de incorporación de un punto en cada célula y de ensamblaje de las células en una imagen, aquí de tamaño 200 x 200 píxeles. Por ejemplo, en el transcurso de esta etapa 308, se utilizan secuencias de nueve bits sucesivos, para determinar la posición de un punto en cada célula. Cuando el valor representado por esta secuencia es superior a 289, se toma la secuencia siguiente. Si no, se sitúa el punto en la posición señalizada por la secuencia, por ejemplo numerando las posiciones sucesivamente en cada línea de posiciones posibles. Después, se juxtaponen las células, por ejemplo sucesivamente en cada línea de células.

35 A continuación de la etapa 308, se incorpora el MPCV en las películas de impresión y se imprime el documento, en el transcurso de una etapa 310.

40 En variantes, cada punto puede tener un tamaño variable. Por ejemplo, los puntos pueden tener una superficie superior o inferior a 2 x 2 píxeles. Así, los puntos pueden tener varios tamaños que ofrezcan la posibilidad de medir otras características geométricas difícilmente reproducibles por el falsificador. Por ejemplo, los puntos pueden tener dos tamaños posibles, ya sea de 2 x 2 píxeles como anteriormente, o de 3 x 3 píxeles, siendo igualmente posibles dimensiones verticales y horizontales desiguales, por ejemplo 2 x 3 o 3 x 2. Obsérvese que, en el caso de dos puntos cuadrados, es necesario un dato binario suplementario para identificar el tamaño del punto, dato que se añade a los nueve datos binarios que identifican la posición del punto en la zona que le está reservada. Así, se necesitan diez datos binarios por zona, y 1000 datos binarios para las 100 células.

45 La figura 5 muestra un MPCV 135 con puntos cuyas dimensiones varían pseudoaleatoriamente (puntos de 2 x 2 y 3 x 3 píxeles) y un borde 140 que rodea al MPCV 135. La figura 6 muestra un detalle del resultado 145 de la impresión del MPCV 135 de la figura 5.

Se observa que, en variantes, se añade un borde, en este caso 140, o formas arbitrarias que permitan la localización del MPCV. Por ejemplo, se añaden bloques de sincronización a los bordes o en el MPCV, en lugar de zonas que contienen puntos.

50 En lo que concierne a las mediciones de las características de posicionamiento de un MPCV, el inventor ha descubierto que, si los puntos que componen un MPCV pueden ser determinados y reconstituidos con una casi certeza por un falsificador, este último muy difícilmente puede reducir la incertidumbre sobre el posicionamiento preciso de los puntos. En efecto, durante la impresión de un MPCV, los puntos no serán necesariamente impresos en su posición exacta: esta incertidumbre es debida a las incidencias de la impresión, y es igualmente causada por el paso del digital al analógico. En efecto, al pasar de valores digitales a valores analógicos durante la impresión, y después de nuevo a valores digitales durante la captura de imagen, se tiene una incertidumbre media del orden del medio píxel (píxeles

- respectivamente de impresión y de captura de imagen) en el posicionamiento de los puntos, siendo la segunda incertidumbre independiente de las incertidumbres de posicionamiento debidas a las incidencias de la impresión. Obsérvese que en función de la estabilidad del medio de impresión, se pueden añadir incertidumbres de posicionamiento adicionales. Durante la producción de una copia de alta calidad, se añaden incertidumbres de posicionamiento adicionales de reimpresión a las incertidumbres de posicionamiento ya presentes. Así, la separación entre la posición de un punto en la imagen captada y el posicionamiento de este punto en la imagen de origen es, en media, más elevada si la imagen captada es una copia que se trata de un original.
- 5
- Se describe ahora un algoritmo de medición de las características geométricas de posicionamiento de un MPCV. Como entrada, se utiliza una imagen captada, en el transcurso de una etapa 320, de una zona de documento que contiene un MPCV y una clave criptográfica. A la salida de las etapas que implementan este algoritmo, se obtiene un vector de características de posicionamiento de los puntos del MPCV.
- 10
- aplicando el algoritmo de diseño de los MPCV, se determinan las posiciones de origen de cada uno de los puntos, en el transcurso de una etapa 322;
- 15
- en el transcurso de una etapa 324, se determina la posición de un conjunto de formas de referencia de posición en la imagen capturada, teniendo en cuenta que el propio MPCV, o una parte del mismo, puede servir de forma de referencia, puesto que es conocido. Por ejemplo, estas células de referencia pueden ser indicadores de esquinas, el borde de un cuadrado. Se puedan igualmente utilizar otras técnicas conocidas de determinación de posición, tales como la autocorrelación de imágenes alicatadas;
- 20
- a partir de las formas de referencia, se reconstruye una imagen de tamaño igual o múltiplo entero del tamaño de origen, en el transcurso de una etapa 326;
- 25
- para cada célula, se determina, en el transcurso de una etapa 328, una zona de búsqueda en la imagen captada en la cual debe encontrarse la imagen del punto (Por ejemplo, si el MPCV es impreso a 600 ppi (acrónimo de « puntos por pulgada ») y es capturado a 1200 dpi (acrónimo de « dip per inch » que significa pixel de captura por pulgada), una zona de +/- 5 pixeles corresponde a una zona de +/- 2,5 pixeles en la imagen de origen). Es necesaria una zona de búsqueda relativamente grande puesto que el posicionamiento inicial de las células de referencia puede ser impreciso;
- 30
- si el punto es de color oscuro sobre fondo claro, se determina, en el transcurso de una etapa 330, la posición en la imagen reconstruida, o en la imagen captada, del pixel que tenga el valor mínimo de luminancia en la zona definida y si el punto es de color claro sobre fondo oscuro, se determina, en el transcurso de la etapa 330, la posición en la imagen reconstruida, o en la imagen captada, del pixel que tenga el valor máximo de luminancia en la zona definida.
- Esta posición de un pixel es considerada como la posición del centro del punto en la imagen captada;
- se miden las distancias, en cada dirección, entre las dos posiciones, en el transcurso de una etapa 332 y
  - se compila el conjunto de las mediciones de distancias en un vector de características geométricas, en el transcurso de una etapa 334.
- 35
- Para un MPCV de 100 células, se obtiene así un vector de tamaño 100 x 2. A causa de las imprecisiones en el posicionamiento de las células de referencia, puede existir un sesgo sistemático. Preferentemente, en el transcurso de la etapa 332, se compensa este sesgo calculando las medias de las distancias horizontales y verticales y se sustrae esta media de las distancias correspondientes (se llega, en efecto, a una media nula para las imprecisiones de posicionamiento).
- 40
- En variantes:
- se utilizan otros valores característicos de cada punto para determinar su posición. Por ejemplo, el valor de luminancia del pixel central del punto, el valor de respuesta a un filtro de puntos correspondientes a pixeles, etc, y/o
  - se determinan las posiciones de los puntos sin reconstruir la imagen, teniendo en cuenta el factor de escala en la imagen capturada, así como de la rotación y de la traslación de la misma, en la determinación de las zonas de búsqueda para la posición precisa de cada punto.
- 45
- En lo que concierne a la discriminación, o el discernimiento entre los MPCV originales y los MPCV copiados poniendo en práctica el vector de características de posiciones, se puede proceder de la manera siguiente:
- para cada punto, se calcula la distancia euclidiana entre la posición del punto estimada según la imagen captada y la posición de origen, en el transcurso de una etapa 340,
- 50
- en el transcurso de una etapa 342, se calcula la media, o la mediana, de esta distancia en el conjunto de los puntos, para obtener una medición de la distancia media,
  - en el transcurso de una etapa 344, se compara esta distancia media con un umbral predeterminado y

- en el transcurso de una etapa 346, se determina si el MPCV es un original o una copia, de la manera siguiente:
- si la distancia media es inferior al umbral, se considera el MPCV como original,
- si no, el mismo es considerado como una copia.

5 El ejemplo siguiente ilustra el método propuesto. El mismo MPCV de origen ha sido impreso y después captado tres veces. Las distancias medias calculados en los vectores de características de posiciones de los originales son de 0,454, 0,514 y 0,503 pixeles de imagen.

10 Se realizaron tres copias de alta calidad, cada una a partir de los tres MPCV impresos. Las distancias medias calculadas en los vectores de características de posición de estas copias son de 0,965, 1,088 y 0,929 pixeles de imagen. Se constata que, sobre la base de la distancia media, los MPCV originales pueden ser separados fácilmente de los MPCV copiados por simple umbralización. Son posibles varios valores de umbral, según el coste relativo a los errores posibles (« falso positivo »: detectar una copia como un original, o « falso negativo »: detectar un original como copia). Un umbral de 0,75 pixeles (de imagen) puede ser un compromiso aceptable si los costes relativos a cada tipo de error son equivalentes.

15 Otras técnicas matemáticas conocidas, por ejemplo basadas en métodos estadísticos y/o de reconocimiento de formas, pueden ser utilizadas con el fin de discernir los MPCV originales de los MPCV copiados.

20 En lo que concierne a la discriminación, o el discernimiento, entre los MPCV originales y los MPCV copiados a partir de los valores de características geométricas de los puntos, como se ha observado anteriormente, si los puntos tienen un tamaño constante, es fácil para el falsificador reproducirlos con un tamaño conforme, incluso si los puntos pueden aparecer con un tamaño variable en la marca de origen. En un modo de realización, en el transcurso de la generación del MPCV, se hacen variar una o dos dimensiones de los puntos.

25 Durante el análisis de la autenticidad de un documento, después de haber captado una imagen del MPCV, en el transcurso de una imagen 350, se determinan la o las dimensiones de los puntos en función del grado de luminancia de su pixel de imagen central, correspondiendo su respuesta al menos a un filtro matricial correspondiente a pixeles de imagen central, correspondiendo su respuesta al menos a un filtro matricial correspondiente a pixeles de imagen, etc, en el transcurso de una etapa 352.

Después, se disciernen los MPCV originales de las copias en función del grado de similitud entre las dimensiones de los puntos del MPCV digital de origen y las dimensiones de los puntos correspondientes en la imagen captada del MPCV que haya que autenticar. Por ejemplo, se procede de la manera siguiente:

30 - en el transcurso de una etapa 354, aplicando el algoritmo de diseño de los MPCV, se determina un vector de características de dimensiones esperadas. Por ejemplo, el vector de características esperadas puede ser el valor de superficie de los puntos o sus dos dimensiones, horizontal y vertical;

- en el transcurso de una etapa 356, se calcula un índice de similitud, por ejemplo un coeficiente de correlación, entre el vector de características esperadas y el vector de características obtenidas después del tratamiento de la imagen captada del MPCV y

35 - en el transcurso de una etapa 358, se determina si el MPCV es auténtico, comparando el índice de similitud con un valor umbral predeterminado:

- si el valor del índice es superior al umbral, el MPCV es considerado como original y

- si no, el mismo es considerado como una copia.

40 El ejemplo siguiente ilustra el método propuesto. El mismo MPCV de origen, ilustrado en la figura 5, en el que las dimensiones de los puntos varían entre 2 x 2 pixeles y 3 x 3 pixeles ha sido impreso y después captado tres veces. El vector de características está compuesto de valores de superficie de 4 y 9 pixeles para los tamaños de puntos de 2 x 2 pixeles y 3 x 3 pixeles. Los vectores de características contienen el valor medio de luminancia de una región que rodea al punto, menos el valor de luminancia del punto. Se tiene así un valor más elevado si el punto es impreso más firmemente, lo que en general es el caso para los puntos de 3 x 3 pixeles.

45 Los índices de similitud calculados son, para las tres impresiones originales, de 0,654, 0,673 y 0,701. Después, se han hecho tres copias de alta calidad, cada una a partir de uno de los tres MPCV impresos. Para hacer las copias, se han determinado las posiciones de los puntos, después se ha medido su grado de luminancia. Se ha calculado el grado de luminancia media de los puntos del MPCV, y se han considerado los puntos que tienen una luminancia inferior al grado de luminancia media como de tamaño de 3 x 3 pixeles en origen, contra un tamaño de 2 x 2 pixeles para los puntos que tienen un grado de luminancia superior al grado de luminancia media. Se han impreso y capturado las copias. Los índices de similitud calculados son, para las tres copias, de 0,451, 0,423 y 0,446. Se constata que, sobre la base de las características de los puntos, los MPCV originales pueden ser separados fácilmente de los MPCV copiados por simple umbralización. Son posibles varios valores de umbral, según el coste relativo a los errores

50

posibles. Un umbral para el índice de similitud de 0,55 es un compromiso aceptable si los costes relativos a cada tipo de error son equivalentes.

Pueden ser utilizadas otras técnicas matemáticas conocidas, por ejemplo basadas en métodos estadísticos y/o de reconocimiento de formas, con el fin de discernir los MPCV originales de los MPCV copiados.

5 La descripción dada anteriormente concierne esencialmente al aseguramiento de un documento contra la copia. En lo que sigue de la descripción, se centra el interés en otras dos formas de aseguramiento de un documento, por una parte, para identificar de manera única documentos que no hayan sido impresos por un procedimiento de impresión « variable » y, por otra, para transmitir una información concerniente al documento, por ejemplo un número de referencia, su fecha, su lugar y su orden de fabricación, el nombre del titular de los derechos de propiedad intelectual  
10 relacionados con el documento o su destino.

Se describen ahora métodos de identificación de los MPCV sobre la base de sus características geométricas. Se trata, aquí, de utilizar características medidas de los MPCV para identificar, de manera única, cada una de las impresiones de una misma imagen digital fuente de MPCV. En efecto, cada impresión de un MPCV produce incidencias de impresión únicas, que pueden ser encontradas en diferentes capturas de la misma impresión. Así, almacenando en una base de datos las características de las impresiones sucesivas de un MPCV, o almacenándolas de manera preferiblemente segura en el documento que contiene el MPCV (por ejemplo en un código de barras 2D), se puede identificar posteriormente una impresión de un MPCV y por tanto un documento impreso que la lleva, es decir reconocer de manera única, buscando la correspondencia entre las características geométricas del MPCV cuya imagen es captada y las características geométricas almacenadas.

20 Preferentemente, se combinan la identificación y la autenticación, facilitando el mismo dispositivo de captura y de tratamiento de imagen a la vez una indicación de autenticidad del documento y de identificación del documento.

Pueden utilizarse varias características geométricas de los puntos, tales como el posicionamiento preciso, o la medición de la luminancia, la o las dimensiones de los puntos y su forma. El grado de luminancia, medido por el nivel de gris medio, central o mínimo del punto, es particularmente discriminador, porque el mismo varía significativamente y de manera imprevisible en diferentes impresiones de una misma imagen fuente. Se observa que no es necesario utilizar puntos de tamaño o forma variable en el MPCV fuente para que las características de los puntos varíen de una impresión a otra. Con el fin de ilustrar este propósito, la figura 7 muestra dos impresiones de un mismo MPCV que tienen un tamaño de puntos constante: un punto 151 está impreso de modo más fuerte en la imagen inferior que en la imagen superior, mientras que un punto 152 está impreso de modo más fuerte en la imagen superior que en la imagen inferior.

Capturando tres veces cada uno de los tres MPCV impresos, se obtiene un total de nueve imágenes capturadas. Se calcula el vector de características que contiene el valor de luminancia mínima de los puntos para cada una de las nueve capturas de imágenes. Después, se calcula un índice de similitud, es decir un coeficiente de correlación, entre los vectores de características de cada uno de los  $9 \times 8 / 2 = 36$  pares posibles de imágenes capturadas. En estos 36 pares, 9 corresponden a diferentes capturas de una misma impresión, y 25 a capturas de impresiones diferentes. La media del índice de similitud es de 0,9566 con una desviación típica de 0,0073 y un valor mínimo de 0,9474 para el primer grupo, y de 0,6203 con una desviación típica de 0,0272 y un valor máximo de 0,6679 para el segundo grupo. La diferencia del índice de similitud entre los dos grupos es muy significativa, y muestra que un MPCV impreso puede ser identificado sin ambigüedad sobre la base de un vector de características de puntos.

40 La figura 18 detalla etapas de un procedimiento de identificación correspondiente a este método. En el transcurso de una etapa 402, se captura una imagen de un MPCV impreso. Después, en el transcurso de una etapa 404, se calcula el vector de características que contiene los valores medios de luminancia mínima de los puntos. Este vector de características, o « firma » del MPCV impreso, contiene, para cada punto, la luminancia media medida y, eventualmente, la desviación típica entre las mediciones de luminancia. Se observa que ciertas mediciones de luminancia pueden ser excluidas sobre la base de su diferencia con la media de las otras mediciones y de la desviación típica entre las otras mediciones. Después, en el transcurso de una etapa 406, se almacena el vector de características, en una base de datos, con indicaciones concernientes a la producción y/o la circulación del documento.

50 Durante un intento de identificación, en el transcurso de una etapa 410, se captura una imagen de un MPCV impreso. Después, en el transcurso de una etapa 412, se calcula el vector de características correspondiente al vector de características almacenado. En el transcurso de una etapa 414, se determina el vector de características almacenado más próximo al vector de características calculado en el transcurso de la etapa 412 y se encuentran las informaciones asociadas.

55 En variante, se almacena también el vector de características determinado en el transcurso de la etapa 404 en el propio documento, de manera robusta, es decir resistente a la copia, por ejemplo en un código de barras en dos dimensiones o en un Datamatrix (marca registrada), preferiblemente cifrado por razones de seguridad. En este caso, se puede autenticar el documento comparando un índice de similitud entre los dos vectores de características y un valor de umbral predeterminado o almacenado, también, en el código de barras, en el transcurso de una etapa 416.

Con el fin de almacenar información en los MPCV, se pueden por ejemplo definir dos posiciones, dos dimensiones o dos formas posibles para cada uno de los puntos, en el interior de la célula asignada al mismo, con el fin de almacenar un bit por zona. Se asigna un valor de bit (« 0 » o « 1 ») a cada una de las posiciones, dimensiones o forma.

5 En referencia a la figura 5, que ilustra un MPCV con dos tamaños de puntos, los puntos de tamaño pequeño (2x2 píxeles) pueden, por ejemplo, representar el valor de bit « 0 » y los puntos de tamaño grande (3x3 píxeles) pueden representar el valor de bit « 1 ».

Para un MPCV de 100 células, se pueden así almacenar 100 bits sin redundancia. Con el fin de detectar y/o corregir los errores, es deseable la utilización de un código detector y/o corrector de error.

10 En el caso de la utilización de la posición para representar un valor binario, es preferible que las posiciones correspondientes a cada uno de los dos valores estén alejadas una de la otra. Un método posible para garantizar el alejamiento de las dos posiciones consiste en separar una célula en dos partes de tamaño igual correspondientes a los dos valores de bit, y atribuir una posición de manera pseudoaleatoria en la zona correspondiente al valor de bit que haya que codificar. Se observa que la posición de un punto en una célula puede representar más de un valor binario, debido a la multiplicidad de las posiciones posibles. Por ejemplo, como se ha visto anteriormente, esta posición puede  
15 representar 8 bits en 289 posiciones diferentes o 6 bits si se excluye una posición de cada dos en cada dirección, para limitar el riesgo de error de interpretación de posición durante la lectura.

En la lectura del MPCV, se determina una zona de búsqueda alrededor de las dos posiciones de un punto en cada subcélula. Para determinar cuál de las subcélulas contiene el punto, se determina el valor de luminancia mínima para cada una de las dos subcélulas: la zona que tiene el valor más bajo de luminancia es considerada como aquella en la que el punto ha sido insertado. En variante, se puede asignar un peso para cada valor de bit, en función de la diferencia  
20 o de la relación de luminancia entre cada una de las dos subcélulas.

En variantes:

- se utiliza la presencia o la ausencia del punto en la célula con el fin de representar un bit de información (utilizado más adelante en las « rejillas »);
- 25 - se representan más de un valor binario por más de dos posiciones posibles de un punto por célula;
- se representan más de un valor binario por más de dos dimensiones posibles de un punto por célula,
- se representan más de un valor binario por más de dos formas posibles de un punto por célula y/o
- se cifra el mensaje antes de codificarle.

En lo que concierne a la integración con otros códigos digitales autenticadores, los MPCV pueden ser integrados con otros códigos digitales autenticadores, con el fin de ofrecer una capa de protección suplementaria y/o un medio discreto de trazar los documentos. La figura 8 muestra una matriz de información segura 155 que comprende, en su centro, una zona en la cual está insertado un MPCV 156. La figura 9 muestra una matriz de información segura 160 que está rodeada por un MPCV 161. Se observa que, en este último caso, los elementos que permiten localizar el código digital autenticador 160, por ejemplo sus esquinas, pueden ser utilizados con el fin de localizar y determinar las posiciones  
35 aproximadas de los puntos del MPCV 161.

En modos de realización, se ponen en práctica medios de señalización del MPCV por marcas discretas. En efecto en ciertos casos, puede ser deseable que las marcas de señalización sean más discretas que un borde, con el fin de que la posición, o la presencia, de un MPCV sean difícilmente detectables: por ejemplo, se pueden insertar marcas de  
40 borde limitadas, discontinuas o marcas de esquinas, o incluso señalizarse por un código digital autenticador u otros símbolos asociados.

Si el mismo motivo de puntos está repetido varias veces, por ejemplo por alicatado, la señalización y la localización de los puntos puede hacerse con técnicas de autocorrelación y de correlación cruzada, tal como la descrita en el artículo de M. Kutter, "Watermarking resisting to traslation, rotation and scaling", Proc. of SPIE: Multimedia systems and applications, Volumen 3528, páginas 423-431, Boston, USA, Noviembre, 1998.

45 Otro modo de introducir marcas de referencia discretas en el MPCV consiste en insertar células constituidas de un conjunto de puntos con formas características fácilmente señalizables. Por ejemplo, si se desea que un punto sirva de referencia, se inserta un número significativo de puntos que sean vecinos de un punto de referencia para obtener una acumulación de puntos fácilmente señalizable. La figura 10 ilustra un MPCV 165 cuyas cuatro esquinas 166 consisten en una célula que comprende un punto central y cuatro puntos vecinos muy próximos, que forman las esquinas de un cuadrado centrado en el punto central. En la detección se empieza por detectar el conjunto de los puntos en una superficie suficiente, que servirán de « candidatos ». Después, para cada punto, se determina el número de sus vecinos a una distancia inferior o igual a una distancia predeterminada. Esto puede hacerse rápidamente si los puntos candidatos están dispuestos en una rejilla, lo que permite contabilizar rápidamente el número de vecinos en una  
50 ventana. Se conserva un número limitado de candidatos, por ejemplo seis candidatos, que tengan el mayor número

de vecinos. Pueden ser utilizadas entonces técnicas geométricas conocidas con el fin de determinar cuáles son los candidatos correspondientes a los puntos de referencia, en este caso las esquinas del MPCV. Para el MPCV 165, se sabe, por ejemplo que tres candidatos validos deben formar un triángulo isósceles rectángulo.

5 Otro modo de introducir marcas de referencias discretas consiste en insertar puntos según una línea. La figura 11 ilustra un MPCV 170 con, en los bordes, líneas 171 que llevan un mayor número de puntos que las líneas paralelas que se encuentran en el interior del MPCV 170. Estas líneas de borde pueden ser detectadas por diferentes algoritmos de detección de líneas, por ejemplo aplicando la transformada de Hough, y/o aplicando un filtro de Sobel que permite filtrar el ruido.

10 En variante, sea aplica un alicatado del mismo MPCV o de diferentes MPCV que comprendan líneas de puntos o marcas señalizables, por ejemplo conjuntos de puntos como se ilustra en la figura 10.

15 En un modo de realización preferente, un MPCV está dispuesto en forma de una rejilla regular. En efecto, en ciertos casos, puede ser ventajoso duplicar, por alicatado, el MPCV sobre una superficie grande, incluso en el conjunto del documento que haya que proteger. Se hace así la destrucción del MPCV muy difícil, incluso imposible, y se aumenta la flexibilidad en la posición de la captura de imagen. En particular, se puede insertar por alicatado varias veces el mismo MPCV. Igualmente, se puede insertar un MPCV al menos parcialmente diferente de todos los otros MPCV. Se pueden utilizar los medios de señalización anteriormente descritos con el fin de situarse correctamente para leer el MPCV. Sin embargo, en la práctica, los elementos de referencia, de sincronización o de señalización pueden ser difíciles de detectar correctamente.

20 Como se verá más adelante, disponiendo los puntos en forma de una rejilla, se puede facilitar la detección. Los puntos son insertados a intervalos regulares, por ejemplo con un espaciamiento entre 4 píxeles y 12 píxeles en cada dirección. Sobre la base de este principio, existen varios modos de representar información:

- la presencia de un punto o su ausencia permite representar un bit de información, como en el MPCV 175 ilustrado en la figura 12, en la cual la presencia de un punto corresponde al bit de valor '1', y su ausencia al bit de valor '0';

25 - el tamaño, la forma o un desfase de amplitud inferior al menos a una dimensión de los puntos del MPCV permite representar información. Por ejemplo, la elección del punto, entre cuatro formas o cuatro elecciones de dimensiones, permite hacer representar, en cada punto de un MPCV 180, dos bits de información, como se ilustra en la figura 14, que representa, agrandado, un detalle del MPCV 180. Se observa que los puntos de este MPCV pueden tomar las dimensiones, en pixel (indicando la primera cifra la altura y la segunda, la anchura) 1 x 1, 2 x 2, 1 x 2 y 2 x 1 píxeles corresponden respectivamente a los valores de bits « 00 », « 01 » « 10 » y « 11 ». Naturalmente, son posibles otras numerosas combinaciones de puntos.

30 En variante, sobre el principio de una rejilla perfectamente regular, un ligero desplazamiento de un punto permite representar información. Por ejemplo, el desplazamiento de un punto que ocupa al menos dos píxeles de superficie, desplazamiento de un pixel horizontalmente y/o verticalmente permite representar dos bits de información. Naturalmente, son posibles otras numerosas posibilidades. Obsérvese que tal desplazamiento de los puntos no modifica significativamente las características geométricas, y por tanto las ventajas, de la utilización de una rejilla, especialmente a nivel de la señalización.

35 Una rejilla se presta particularmente bien a la determinación del ángulo de rotación y del factor de redimensionado aplicado a la imagen captada. En efecto, puede basarse especialmente en una transformada de Hough de la imagen, o basarse en la determinación de los picos de energía en el espacio de Fourier. La figura 13 es una representación del valor absoluto de la transformada de Fourier bidimensional de la rejilla de la figura 12, en la cual los puntos de valor claro corresponden a picos de energía. La detección de estos picos de energía permite al especialista en la materia calcular el ángulo de rotación y el factor de redimensionado de la imagen que permite a esta última obtener dimensiones normalizadas, con miras a su tratamiento.

45 Una vez conocidas la rotación y la escala de la imagen, y eventualmente corregidas, se determina el valor de traslación, es decir el desplazamiento que haya que aplicar a la imagen con el fin de alinear correctamente los puntos de la rejilla. Para esto, son posibles diferentes métodos. Todos tienen como punto común fijar los valores de un conjunto de puntos de la rejilla, que, después son buscados con el fin de alinear la rejilla. Por ejemplo, se pueden fijar los valores de un conjunto de puntos, elegidos de modo pseudoaleatorio en función de una calve. Una correlación cruzada entre la imagen capturada y corregida de la rejilla, y una imagen generada a partir de los valores de puntos conocidos, genera un pico de correlación en la posición correspondiente al desplazamiento de la rejilla.

50 En lo que concierne al algoritmo de escritura, son posibles numerosos métodos conocidos por el especialista en la materia. A modo de ejemplo, supóngase que se dispone de una rejilla, alicatada o no, de 20 x 20 células sobre la base de las hipótesis siguientes: la impresión es efectuada a 600 puntos por pulgada, y el 1% de la superficie puede ser marcada (para minimizar el impacto visual del marcado), lo que hace, en media, un punto cada 10 píxeles, en cada dirección. El azulejo por tanto ocupa en origen 200 x 200 píxeles; la media de captura de imagen produce imágenes de 640 x 480 píxeles con la resolución de captura de 720 píxeles por pulgada. Se observa que se está seguro de que al menos un azulejo esté contenido íntegramente en la imagen captada.



Se recibe, en entrada, un mensaje, por ejemplo de 8 octetos, una clave criptográfica y una clave de interferencia (pudiendo ser las dos claves idénticas), en el transcurso de una etapa 502. Se cifra el mensaje en el transcurso de la etapa 504. Opcionalmente pueden añadirse bits de detección de errores, por ejemplo dos octetos permiten reducir el riesgo de error de descodificación del mensaje por un factor de 2 elevado a 16, en el transcurso de una etapa 506.

5 A partir del mensaje cifrado concatenado con el código detector de error, de 10 octetos en este ejemplo, se calcula el mensaje resistente a los errores, por ejemplo aplicando un código convolucional, en el transcurso de una etapa 508. Para un código convolucional de tasa dos con una memoria de siete, se obtiene, para ocho octetos en entrada, un código de 142 bits. Si se dispone de  $20 \times 20$  puntos = 400 posiciones, se puede replicar este mensaje dos veces, obteniendo así un mensaje replicado de 284 bits, en el transcurso de una etapa 510. Así, se dispone de  $400 - 284 =$

10 116 posiciones no utilizadas, que servirán para almacenar los bits de sincronización utilizados en la detección para el alineamiento del azulejo, como se describe más adelante. El mensaje replicado es interferido, en el transcurso de una etapa 512, es decir, alternativamente, permutado y transformado por una función o-exclusivo. La permutación y los valores de los bits utilizados en la función o-exclusivo son calculados a partir de la clave de interferencia. Se obtienen entonces 284 bits interferidos.

15 Los 116 bits de sincronización son generados pseudoaleatoriamente a partir de una clave, y su posición puede ser determinada también pseudoaleatoriamente, de modo que queden uniformemente repartidos en el azulejo, en el transcurso de una etapa 514.

20 La imagen del MPCV es modulada simplemente añadiendo a las posiciones definidas, un punto para el bit '1' (no hay modificación para el bit '0'). Evidentemente, el punto puede ser compuesto para tener una o unas dimensiones, una forma y/o una posición variables, según los métodos vistos anteriormente.

Si se desea cubrir una superficie grande, se añaden los azulejos uno a otro, en el transcurso de una etapa 516. Se puede entonces, según las variantes, disponer siempre el mismo azulejo o hacer variar el mensaje en cada azulejo. Por ejemplo de esta segunda variante, una parte del mensaje puede permanecer fija, mientras que otra parte, por ejemplo un octeto, es determinada aleatoriamente para cada azulejo. Se puede también aplicar una rotación aleatoria

25 múltiplo de 90 grados a cada azulejo, con el fin de hacer más difíciles los intentos de análisis del código por un falsificador. Además, se pueden insertar, de manera aleatoria, los bits de sincronización o su inversa, es decir que, para los bits de sincronización, se invierten las posiciones en las que se inserta un punto. La ventaja de este último método es que el número de configuraciones posibles aumenta sin que la lectura sea más compleja, como se verá. Considerando las variaciones de orientación, se pueden tener entonces 8 configuraciones posibles para los bits de

30 sincronización, lo que complica su análisis en el marco de un ataque por un falsificador.

La rejilla  $200 \times 200$  de este ejemplo puede ser replicada, como se expuso anteriormente.

El MPCV es insertado después en las películas de impresión y el documento es impreso, en el transcurso de una etapa 518.

En lo que concierne al algoritmo de lectura, se efectúa:

35 - una etapa 548 de captura de una imagen del documento,

- una etapa de pretratamiento 550: puede ser ventajoso pretratar la imagen, especialmente para la etapa siguiente de determinación de los puntos candidatos. Se desea, con el pretratamiento, eliminar los ruidos parásitos así como las derivas de iluminación. La aplicación de un filtro de paso alto omnidireccional cuyo resultado es ponderado con la imagen inicial permite por ejemplo reducir las derivas de iluminación, y la aplicación de un filtro medio permite reducir

40 el ruido de píxeles aislados;

- se determinan los puntos candidatos, en el transcurso de una etapa 552: los puntos candidatos corresponden a los píxeles de imagen cuya luminancia es un valor inferior a un umbral. Este umbral es por ejemplo un percentil del histograma, tal como el 1%, de tal modo que hay como máximo el 1% de los píxeles que son puntos candidatos. Se eliminan los candidatos que están muy próximos (por ejemplo, una distancia inferior a cinco píxeles), para conservar

45 solo aquéllos que tienen el valor más bajo en la región;

- se determinan, en el transcurso de una etapa 554, los vectores de puntos candidatos vecinos y se estima el ángulo de rotación y el factor de escala: se da un valor límite de distancia entre vecinos, y se catalogan todos los pares de puntos que tengan una distancia inferior a este umbral. Si este umbral es suficientemente bajo, solo los cuatro vecinos directos de un punto podrán ser asociados en un vector, si no, los vecinos indirectos (en diagonal) podrán ser

50 asociados. Es preferible evitar que puntos no vecinos sean asociados. Para esto, se evita un valor de umbral demasiado elevado. Se puede entonces estimar el ángulo de rotación llevando el ángulo de cada uno de los vectores a un valor entre 0 grados y 90 grados;

- si se incluyen los vecinos indirectos, en el transcurso de una etapa 556, se separan los vectores en dos grupos en función de su tamaño (que es más grande por un factor raíz de 2 para los vecinos indirectos), y se sustraen 45 grados al ángulo calculado para los vecinos indirectos. Se puede también estimar el factor de escala midiendo la distancia media entre puntos de un mismo grupo, dividida por la distancia en la imagen de origen si la misma es conocida;

55

- en opción, en el transcurso de una etapa 558, se restaura la imagen para constituir una imagen sin rotación, a su tamaño de origen o múltiplo entero de su tamaño de origen;

5 - en el transcurso de una etapa 560, se extrae una matriz que representa los valores representados por los puntos: se conoce la distancia media entre los puntos, por ejemplo 10 píxeles, y la dimensión de la imagen reconstruida, por ejemplo 500 x 500 píxeles. Se genera entonces una tabla de tamaño 50 líneas x 50 columnas que servirá para almacenar los valores estimados del mensaje, sabiendo que la relación entre las dimensiones de la imagen reconstruida y la distancia estimada entre los puntos corresponde a un umbral máximo sobre el número de puntos presentes en la imagen. En realidad, si la rejilla de puntos en la imagen captada tuviera un ángulo de rotación significativo, el número de puntos en la imagen reconstruida será probablemente significativamente menos elevado;

10 - con el objetivo de llenar esta tabla por los valores estimados del mensaje, en el transcurso de una etapa 562, se busca un punto de partida para barrer la imagen. Este punto puede ser por ejemplo el primer punto candidato detectado arriba en la parte superior izquierda de la imagen, o incluso el punto candidato que tenga la mayor probabilidad de ser un punto (por ejemplo el punto de nivel de gris más bajo). Se observa que es importante no equivocarse sobre el punto seleccionado, pudiendo un error tener consecuencias desafortunadas en el resto de los cálculos. Se puede proceder por iteración en el punto de partida elegido si las etapas siguientes de lectura del mensaje fracasan. Se almacena un valor del punto seleccionado en la tabla, por ejemplo su nivel de gris, o su valor más bajo de nivel gris, en una cierta zona alrededor de la posición central, de modo que se evite una medición errónea si la posición estimada del punto está ligeramente desfasada con respecto a la posición real, siendo debido este desfase a los desfases pseudoaleatorios destinados a detectar la presencia de una copia, o siendo debido a cualquier otra imprecisión del posicionamiento. El valor es almacenado en la posición correspondiente de la tabla, cuyas posiciones en este ejemplo van de (0,0) a (49,49): por ejemplo a la posición (0,0) si el punto de partida es el primer punto de la parte superior izquierda, o a la posición (32,20) si el punto de partida de mayor probabilidad es la posición (322, 204). A continuación, se barren todas las posiciones de la imagen a partir del punto de partida almacenado el valor encontrado para cada punto en la posición correspondiente de la tabla;

25 - en el transcurso de una etapa 564, se alinea la rejilla: en general, la tabla de valor está en desfase con respecto al comienzo del azulejo. Para invertir este desfase, se utilizan los bits de valores conocidos, o sea los bits de sincronización que permiten determinar el desfase. Así, se pueden correlacionar los bits de sincronización conocidos con la tabla de valores, para cada desfase posible, y para las cuatro orientaciones generales posibles (0, 90, 180 o 270 grados). El valor de correlación más elevado determina el desfase así como la orientación general.  
30 Alternativamente, esto podría ser el valor más pequeño o el valor absoluto de la correlación, si un azulejo es impreso en negativo, con respecto a otro azulejo. En el caso en que se hubieran insertado aleatoriamente los bits de sincronización o su inversa, se toma el valor absoluto de correlación más elevado para determinar el desfase. La correlación puede ser efectuada en el ámbito de Fourier para reducir la cantidad de cálculos. Se observa que los azulejos pueden igualmente estar delimitados por líneas continuas, o por concentraciones de puntos particulares, que  
35 pueden servir de señalización para la alineación;

- en el transcurso de una etapa 566, se reconstruye el mensaje interferido: se puede entonces reconstruir el mensaje interferido. Por ejemplo, si el mismo está contenido en una rejilla de 20x20, se genera una matriz 20x20 y se insertan en la misma los valores encontrados. El resto de la descodificación del mensaje puede efectuarse según métodos estándar de la técnica anterior. Una vez calculado el mensaje interferido, se aplica la inversa de las operaciones  
40 descritas en el algoritmo de lectura anteriormente descrito;

- en el transcurso de una etapa 568, opcional, como otras medidas, si la rejilla tiene características particulares que permiten la detección de copia, por ejemplo el posicionamiento preciso o el tamaño de los puntos, estas características pueden ser medidas en la rejilla determinada con el fin de tomar una decisión sobre la naturaleza del documento (original o copia) o la identificación / caracterización unitaria del documento.

45 La figura 21 representa una parte agrandada de un MPCV de alta densidad, comprendiendo cada línea de una matriz de puntos que constituye este MPCV sensiblemente tantos puntos negros como de fondo o fondo blanco, representando estos, información codificada, o no. En la línea superior 185, la posición lateral de cada punto es variable mientras que, en la línea inferior 186, las dimensiones de los puntos son variables, en este caso entre dos valores correspondientes a 3 x 3 píxeles de generación y 2 x 2 píxeles de generación. Se comprende que tales MPCV  
50 presentan una ventaja de compacidad para insertar un número de puntos dado en un documento al tiempo que se beneficia de las ventajas de la variación de dimensiones, posición y/o forma, cuya amplitud media es del orden de magnitud de al menos una dimensión de una parte de los puntos y/o de la variación imprevisible debida a la impresión, preferentemente, inferior la primera de estas dimensiones. Como se comprende fácilmente, al menos la mitad de los puntos de este MPCV no están yuxtapuestos a otros cuatro puntos. En cambio, menos de la mitad de los puntos no tocan a ningún otro.  
55

La figura 22 representa una parte agrandada de un MPCV 190 de gradiente de dimensiones de puntos. Esta parte corresponde a una esquina de un MPCV en el cual, por coronas sucesivas, en este caso de un grosor de una línea pero, en la práctica, de varias líneas, las dimensiones de los puntos son reducidas. Por ejemplo, las dimensiones de los puntos son de 6 x 6 píxeles para la corona que bordea en la parte inferior derecha la parte representada en la  
60 figura 22, después de 5 x 5 píxeles para la corona siguiente, después de 4 x 4 y así sucesivamente.

Gracias a esta disposición particular, en al menos una de las coronas la amplitud media de las variaciones imprevisibles, punto por punto, de al menos una característica geométrica de los puntos, es del mismo orden de magnitud que una dimensión de los puntos de esta corona.

5 Se comprende que tales MPCV presentan una ventaja de compacidad para insertar un número de puntos dado en un documento al tiempo que se beneficia de las ventajas de la variación de dimensiones, posición y/o forma, cuya amplitud media es del orden de magnitud de al menos una dimensión de una parte de los puntos y, preferentemente, inferior a esta dimensión y/o de la variación geométrica imprevisible media de la impresión.

10 En los procedimientos de impresión para la cual se utiliza una placa con el fin de imprimir un gran número de veces una misma imagen, se sabe que cada una de las impresiones de esta placa permite distinguirla de manera única de todas las otras impresiones de esta misma placa: se presentan aquí varios métodos para extraer y comparar estas huellas, así como para generar imágenes que maximizan la unicidad de estas huellas.

15 Los inventores han descubierto que cada placa tiene igualmente una huella única que se encuentra en cada una de estas impresiones que la misma realiza. Se ha descubierto que se puede determinar si una impresión proviene de una cierta placa comparando una imagen captada de la impresión y una imagen captada de la placa. De manera todavía más inesperada, se ha descubierto que se puede determinar si dos impresiones provienen de una misma placa, comparando las imágenes captadas de estas dos impresiones.

20 En la figura 30 está representada una imagen digital fuente compuesta de puntos idénticos de 4x4 píxeles. Se ha marcado esta imagen en varias placas diferentes que sirven para la impresión offset, y se han realizado varias impresiones diferentes de cada una de estas placas. Se ha constatado que, si cada impresión da una forma única para cada uno de los puntos, las diferentes impresiones de una misma placa presentan sin embargo similitudes singulares. La figura 31 representa capturas de alta resolución (de 20 000 ppi) de la esquina superior izquierda de tres impresiones de la imagen. Las dos imágenes de arriba provienen de impresiones de la misma placa, mientras que la de abajo proviene de una placa diferente. Se observa especialmente que los puntos 801 y 802 de las dos impresiones de la misma placa, aunque diferentes, presentan similitudes de forma netas, mientras que el punto 803, de la otra placa no tiene ninguna similitud de forma con las primeras.

25 La explotación de una huella de la placa tiene un gran interés en la lucha contra la falsificación. En efecto, si en principio la explotación de la huella de cada impresión permite catalogar las impresiones legítimas y es así una protección eficaz, no es siempre posible registrar estas huellas, por razones de coste o de logística. En cambio, se pueden capturar más fácilmente una o varias imágenes de diferentes elementos de la placa, ya sea en la misma placa, o bien en una impresión de esta placa. Después, se puede determinar si una impresión sospechosa proviene o no de esta placa. Por ejemplo, si el archivo que contiene los datos digitales del documento es robado y utilizado para crear copias que, a priori, pueden ser perfectas, se puede determinar que las impresiones provendrían de una placa diferente, y por tanto no son legítimas.

30 En general, los elementos discriminatorios de una firma se sitúan en las zonas de transición, por ejemplo el borde de la letras de un texto, los límites de un código de barras, en las zonas ricas en información de alta resolución tal como las MIS, o a nivel de bordes de punto impresos tal como en los MSMA, los MPCV. Puede entonces concentrarse en una zona pequeña muy rica en información discriminatoria y, preferentemente, efectuar una captura a alta resolución para extraer un máximo de detalles. Se puede igualmente generar e insertar imágenes que maximicen la riqueza de variaciones de detalles. Por ejemplo, la imagen en la Figura 30, aunque muy simple y que comprende simplemente varias veces un punto idéntico (en la imagen digital), da un firma propia de la placa, así como una firma propia de la impresión, que es rica en información. Se observa que se puede aumentar la densidad de puntos, evitando preferentemente que los mismos se toquen, para aumentar la unicidad de la firma. Se observa que se pueden utilizar las mismas características extraídas de la imagen para una firma que sirva a la vez para identificar la placa que haya servido para la impresión, y que sirva para identificar una impresión particular efectuada con esta placa.

35 Se ha impreso en diez placas diferentes la imagen dada en la figura 30, después se ha impreso un gran número de veces cada una de las diez placas. Se han capturado en total 120 imágenes a 2 400 dpi, y para cada imagen un vector de características que sirve de firmas compuesto del nivel de gris de cada uno de los 169 puntos de la imagen. La medición del nivel de gris es simple de obtener, y en efecto es representativa de la superficie y de la densidad de impresión del punto, dependiendo de la misma de la superficie del punto marcado en la placa, que es variable. Ciertamente, la medición precisa del contorno sería a priori preferible porque es más rica en información, pero a 2 400 dpi la captura del punto no permite una determinación muy precisa del mismo. El nivel de gris es por tanto una información muy degradada, pero como se va a ver aquí, suficiente para determinar la identidad de la placa, o verificar que dos impresiones provienen de la misma placa.

40 En la figura 32 se ha medido e ilustrado, la correlación estadística entre el vector de característica de una captura de una impresión y otras capturas de la misma impresión, en 811, de las capturas de otras impresiones que provienen de la misma placa 812, y de las capturas que provienen de impresiones de placas diferentes, en 813. Se observan en 811 las correlaciones con las capturas de la misma impresión, que se sitúan entre 0,6 y 0,65. Se observa que si la captura fuera a más alta resolución o de mejor calidad, se deberían tener valores próximos a 1. En 812, se tienen diez capturas que provienen de imágenes de impresiones de la misma placa, con correlaciones entre 0,2 y 0,3. Aunque

estas correlaciones son relativamente bajas, lo que es debido en parte a la calidad de la captura, las mismas son significativamente diferentes de 0, lo que se explica efectivamente por el efecto « tatuaje » de la placa. En 813, se tienen 100 capturas que provienen de impresiones de placas diferentes, con correlaciones en media de 0 como podría esperarse. Se distinguen todas las correlaciones del grupo 813 de las del grupo 812. Así, con un vector de umbral bien elegido, por ejemplo de 0,15 se pueden identificar las imágenes que provienen de la misma placa.

Si se dispone de una imagen de muy alta resolución, por ejemplo tal como las imágenes ilustradas en la figura 31, se pueden efectuar mediciones mucho más precisas, por ejemplo basándose en el contorno preciso del punto. Estas mediciones permiten obtener firmas de mejor calidad y más discriminatorias. Se pueden utilizar especialmente métodos de análisis de imagen conocidos por el especialista en la materia. Por ejemplo, para medir la similitud entre dos objetos, se basan en la similitud de su contorno representado por un vector monodimensional que representa la distancia al centro de gravedad en función de la dirección angular. Tal método, y otros que pueden servir también para el mismo objetivo de comparación de dos objetos, están descritos en la obra « Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities » de E. R. Davies.

En un primer modo de realización, para la identificación de una placa de impresión de un documento, se efectúa:

- una etapa de impresión de al menos un documento con la citada placa,
- una etapa de captura, a alta resolución, de al menos una imagen de al menos una parte de un citado documento,
- una etapa de extracción de una característica geométrica de al menos una imagen captada,
- una etapa de puesta en memoria de la característica geométrica extraída,
- en un documento candidato del que se busca determinar si la citada placa de impresión ha servido para imprimirla, una etapa de captura, de alta resolución, de una imagen de la parte del citado documento candidato correspondiente a la parte de este documento del que se ha memorizado una característica geométrica,
- una etapa de extracción de la característica geométrica de la imagen del citado documento candidato correspondiente a la característica geométrica memorizada y
- una etapa de determinación si una medición de correlación de la característica geométrica para el citado documento candidato y de la característica geométrica memorizada es superior a un valor límite predeterminado.

En modos de realización, el procedimiento comprende, además, una etapa de determinación de una característica geométrica global para cada impresión efectuada por la citada placa, una etapa de memorización de la citada característica geométrica y, para el documento candidato, una etapa de determinación de la característica geométrica global correspondiente a la característica geométrica global memorizada y una etapa de determinación de la mayor correlación de característica geométrica memorizada con la característica geométrica de documento candidato.

Preferentemente, se pone en práctica una etapa de generación de una imagen que haya que imprimir con la citada placa, comprendiendo la citada imagen una pluralidad de puntos que no se tocan entre sí, como se expuso anteriormente.

La figura 34 ilustra etapas de otro modo de realización del procedimiento de determinación de la placa que haya servido para una impresión de un documento.

Se observa, en primer lugar, una etapa 851 de generación de una imagen que haya que imprimir, por ejemplo una matriz tal como la expuesta anteriormente.

Después, en el transcurso de una etapa 852, se efectúa el marcado de una placa de impresión con la citada imagen que haya que imprimir.

En el transcurso de una etapa 854, se efectúa una impresión de al menos un documento con la citada placa.

En el transcurso de una etapa 855, se efectúa una captura de alta resolución, de al menos una imagen de al menos una parte de un documento que lleva una impresión hecha durante la etapa 854.

En el transcurso de una etapa 856, se extrae una característica geométrica de al menos una imagen captada en el transcurso de la etapa 855. Por ejemplo, se señala una esquina de la imagen impresa y se señala, en función de esta esquina, un punto particular de la imagen impresa. Por ejemplo, se extrae el contorno del punto y se realiza un vector que representa la distancia del contorno al centro de gravedad del punto, en función del ángulo. Preferentemente, se utilizan varias imágenes captadas a alta resolución en el transcurso de la etapa 855 para formar una media de las características del mismo punto en las diferentes imágenes.

En el transcurso de una etapa 857, se pone en memoria, por ejemplo en una base de datos la característica geométrica extraída en el transcurso de la etapa 856.

Durante la búsqueda de si un documento es legítimo y de qué placa ha servido para imprimirle, en el transcurso de una etapa 860, se efectúa una captura, a alta resolución, de una imagen de una parte del documento correspondiente a la parte de documento puesta en práctica en el transcurso de las etapas 855 a 857.

5 En el transcurso de una etapa 861, se extrae la característica geométrica de la imagen captada en el transcurso de la etapa 855. Por ejemplo, se señala una esquina de la imagen impresa y se señala, en función de esta esquina, un punto particular de la imagen impresa. Se ponen en práctica preferentemente los mismos algoritmos que los puestos en práctica en la etapa 856. Preferentemente, se utilizan varias imágenes captadas a alta resolución en el transcurso de la etapa 861 para formar una media de las características del mismo punto en las diferentes imágenes.

10 En el transcurso de una etapa 862, se pone en memoria, por ejemplo en la base de datos utilizada en el transcurso de la etapa 857, la característica geométrica extraída en el transcurso de la etapa 861.

En el transcurso de una etapa 863, se efectúa una medición de correlación de la característica geométrica determinada en el transcurso de la etapa 861 y de las características geométricas de puntos correspondientes conservadas en memoria desde la etapa 857.

En el transcurso de una etapa 864, se determina la correlación más elevada.

15 En el transcurso de una etapa 865, se determina si esta correlación es superior a un valor límite, o valor « umbral », por ejemplo 0,15. Si es sí, en el transcurso de una etapa 866, se considera que el documento es legítimo y ha sido impreso con la placa que ha impreso el punto que presenta la correlación más elevada. Si es no, en el transcurso de una etapa 867, se considera que el documento es ilegítimo. Eventualmente, por comparación con un segundo umbral, se determina si se trata de una copia efectuada a partir de un documento impreso con la placa que ha impreso el punto  
20 que presenta la correlación más elevada.

Se observa que, para identificar un trabajo (una serie de impresión sin desmontaje de la placa), entre varios trabajos efectuados con la misma placa, es preferible utilizar un gran número de puntos y una más alta resolución de imagen que para simplemente identificar la placa.

25 En efecto, incluso si la placa fuera inicialmente legítima, la misma ha podido ser robada y haber servido para la impresión de documentos ilegítimos. Su historia mecánica, su corrosión y su ensuciamiento eventuales, pueden encontrarse en una firma de trabajo más difícil de discernir (o identificar) que la simple firma de la placa.

La figura 15 ilustra un modo de realización particular del dispositivo objeto de la presente invención. Este dispositivo 201, por ejemplo un microordenador y sus diferentes periféricos, comprende una interfaz de comunicación 218 conectada a una red de comunicación 202 apta para transmitir y para recibir datos digitales. El dispositivo 201  
30 comprende igualmente un medio de almacenamiento 214, tal como por ejemplo un disco duro. El mismo comprende también un lector de disquetes 215. El disquete 224 puede contener datos que haya que tratar o en curso de tratamiento así como el código de un programa que implementa la presente invención, código que, una vez leído por el dispositivo 101, es almacenado en el disco duro 114. Según una variante, el programa que permite al dispositivo poner en práctica la presente invención, es almacenado en memoria muerta 110 (denominada ROM, acrónimo de «  
35 read only memory »). En segunda variante, el programa podrá ser recibido para ser almacenado de modo idéntico al descrito anteriormente por intermedio de la red de comunicación 202.

El dispositivo 201 tiene una pantalla 212 que permite visualizar los resultados de tratamiento e interactuar con el dispositivo, por ejemplo por intermedio de interfaces gráficas. Con la ayuda del teclado 213, el usuario puede facilitar datos, superficies, densidades, resoluciones, valores de parámetros o de claves, o efectuar elecciones de  
40 implementación. La unidad central 211 (denominada « CPU », acrónimo de « central processing unit », en el dibujo) ejecuta las instrucciones relativas a la puesta en práctica de la invención, instrucciones almacenadas en la memoria muerta 210 o en los otros elementos de almacenamiento. Durante la puesta en tensión, los programas relativos a la puesta en práctica del procedimiento objeto de la presente invención almacenados en una memoria no volátil, por ejemplo la ROM 210, son transferidos a la memoria viva RAM 217 que contiene entonces el código ejecutable del programa objeto de la presente invención así como registros para memorizar las variables necesarias para la puesta  
45 en práctica de la invención. Naturalmente, los disquetes 224 pueden ser reemplazados por cualquier soporte de información tal como un disco compacto o una tarjeta memoria. De manera más general, un medio de almacenamiento de información, legible por un ordenador o por un microprocesador, integrado o no en el dispositivo, eventualmente desmontable, memoriza un programa que pone en práctica el procedimiento objeto de la presente invención. El bus de comunicación 221 permite la comunicación entre los diferentes elementos incluidos en el microordenador 201 o  
50 conectados al mismo. La representación del bus 221 no es limitativa y, especialmente, la unidad central 211 es susceptible de comunicar instrucciones a cualquier elemento del microordenador 201 directamente o por intermedio de otro elemento del microordenador 201.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de aseguramiento de un documento, caracterizado por que el mismo comprende:
  - una etapa de determinación estadística de la amplitud media de una variación de impresión imprevisible punto por punto, de al menos una característica geométrica, entre el tamaño, la forma y/o el posicionamiento del punto,
- 5 - una etapa de impresión de una distribución de puntos en el citado documento, provocando la citada impresión, debido a las incidencias de impresión, una variación imprevisible, punto por punto, de al menos una característica geométrica de los puntos impresos entre el tamaño, la forma y/o el posicionamiento y
  - previamente a la citada etapa de impresión una etapa de generación de la citada distribución de puntos para que puntos de la citada distribución generada tengan al menos una característica geométrica, entre el tamaño, la forma y/o el posicionamiento, variable de un punto a otro, siendo la amplitud geométrica de la variación generada del orden de magnitud de la amplitud media de la citada variación de impresión imprevisible determinado estadísticamente; representando entonces la distribución de puntos impresa dos variables, una generada y la otra imprevisible punto por punto.
- 10
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que, en el transcurso de la etapa de generación de la distribución de puntos, la amplitud geometría de las variaciones generadas es inferior a la dimensión de los puntos.
- 15
3. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el transcurso de la etapa de generación de la distribución de puntos, se genera una distribución de puntos en función de la variación imprevisible del sistema de impresión utilizado.
4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que, en el transcurso de la etapa de generación, puntos de la distribución de puntos tienen al menos una característica geométrica variable, no siendo la citada variación repetitiva en la citada distribución de puntos.
- 20
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que, en el transcurso de la etapa de generación, en la citada distribución de puntos, al menos la mitad de los puntos de la citada distribución no están yuxtapuestos lateralmente a otros cuatro puntos de la citada distribución de puntos.
- 25
6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que, en el transcurso de la etapa de generación de la distribución de puntos, más de la mitad de los puntos no tocan a ningún otro punto de la citada distribución.
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la citada variación generada corresponde a una variación de posición de puntos, en al menos una dirección, con respecto a una posición en la que los centros de los puntos están alineados en líneas paralelas perpendiculares a la citada dirección y alejadas al menos una dimensión de los citados puntos en esta dirección.
- 30
8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la citada variación generada corresponde a una variación de al menos una dimensión de puntos, en al menos una dirección, con respecto a una dimensión media de los citados puntos, en esta dirección.
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la citada variación generada corresponde a una variación de forma de los puntos, con respecto a una forma media de los citados puntos, en esta dirección.
- 35
10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que en el transcurso de la etapa de generación, la citada distribución de puntos es representativa de una información codificada.
11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que comprende una etapa de captura de imagen de la distribución de puntos impresa y una etapa de determinación de una firma única de la citada distribución impresa, en función de la citada variación imprevisible de impresión.
- 40
12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que comprende una etapa de determinación de una magnitud representativa de la variación imprevisible debido a las incidencias de impresión del documento impreso con respecto a una distribución de puntos de referencia, siendo la etapa de generación de la distribución de puntos función de la citada magnitud.
- 45
13. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado por que comprende una etapa de detección de copia en función de la magnitud representativa de la variación imprevisible debido a las incidencias de impresión, del documento probado, con respecto a una distribución de puntos de referencia, comprendiendo la citada etapa de detección de copia una etapa de comparación de la citada magnitud representativa con un valor predeterminado, y una etapa de decisión de la autenticidad del documento en función del resultado de la comparación.
- 50
14. Dispositivo de aseguramiento de un documento, caracterizado por que comprende:

- un medio de determinación estadística de la amplitud media de una variación de impresión imprevisible punto por punto, de al menos una característica geométrica, entre el tamaño, la forma y/o el posicionamiento del punto,
  - un medio de impresión de una distribución de puntos en el citado documento, adaptado para que la citada impresión provoque, debido a las incidencias de impresión, una variación imprevisible, punto por punto, de al menos una característica geométrica de los puntos impresos entre el tamaño, la forma y/o el posicionamiento y
- 5
- un medio de generación de la citada distribución adaptado, previamente a la impresión, para generar la citada distribución de puntos para que puntos de la citada distribución generada tengan al menos una característica geométrica, entre el tamaño, la forma y/o el posicionamiento, variable entre ellas, siendo la amplitud geométrica de la variación generada del orden de magnitud de la amplitud media de la citada variación de impresión imprevisible determinada estadísticamente; representando entonces la distribución de puntos impresa dos variaciones, una generada y la otra imprevisible punto por punto.
- 10
15. Procedimiento de lectura de una distribución de puntos en un documento, caracterizado por que comprende:
- una etapa de captura de una imagen de la citada distribución de puntos del documento,
  - una etapa de determinación de una magnitud física representativa de una variación geométrica de puntos de la citada distribución con respecto a una distribución de puntos de referencia, siendo al menos una variación de característica geométrica de al menos una parte de los puntos de la citada distribución de puntos del mismo orden de magnitud que la media del valor absoluto de una variación imprevisible, punto por punto, de al menos una característica geométrica de los puntos impresos, variación que proviene de incidencias de impresión y
  - una etapa de determinación de la autenticidad de la citada distribución de puntos, en función de la citada magnitud física, por comparación con un valor límite determinado estadísticamente.
- 15
- 20
16. Dispositivo de lectura de una distribución de puntos en un documento, caracterizado por que comprende:
- un medio de captura de una imagen de la citada distribución de puntos del documento,
  - un medio de determinación de una magnitud física representativa de una variación geométrica de puntos de la citada distribución con respecto a una distribución de puntos de referencia, siendo al menos una variación de característica geométrica de al menos una parte de los puntos de la citada distribución de puntos del mismo orden de magnitud que la media del valor absoluto de una variación imprevisible, punto por punto, de al menos una característica geométrica de los puntos impresos, variación que proviene incidencias de impresión y
  - un medio de determinación de la autenticidad de la citada distribución de puntos, en función de la citada magnitud física, por comparación con un valor límite determinado estadísticamente.
- 25
- 30
17. Programa cargable en un sistema informático, conteniendo el citado programa instrucciones que permiten la puesta en práctica del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 o 15.
18. Soporte de informaciones legibles por un ordenador o un microprocesador, desmontable o no, que conserva instrucciones de un programa informático, caracterizado por que permite la puesta en práctica del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 o 15.

35

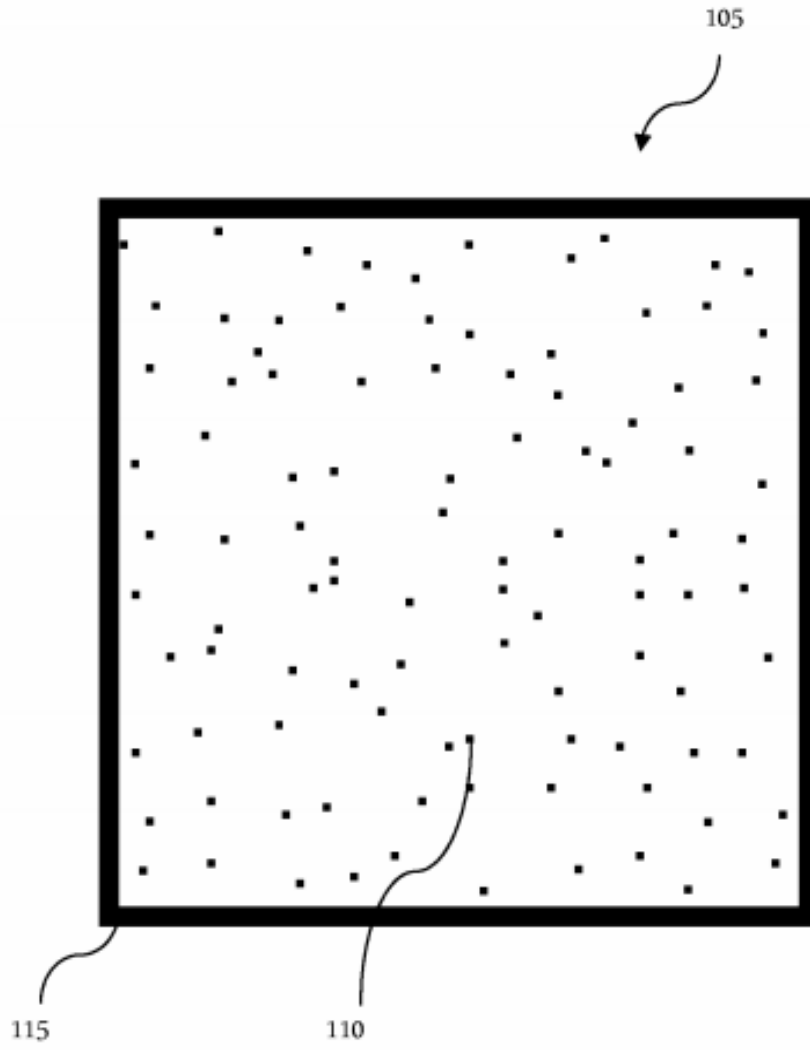


Figura 1



105  
↙

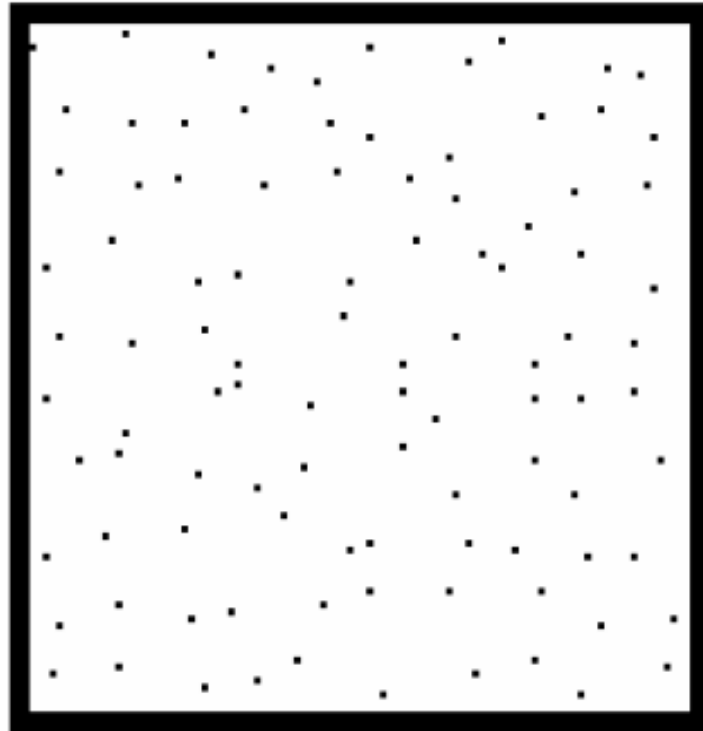


Figura 2

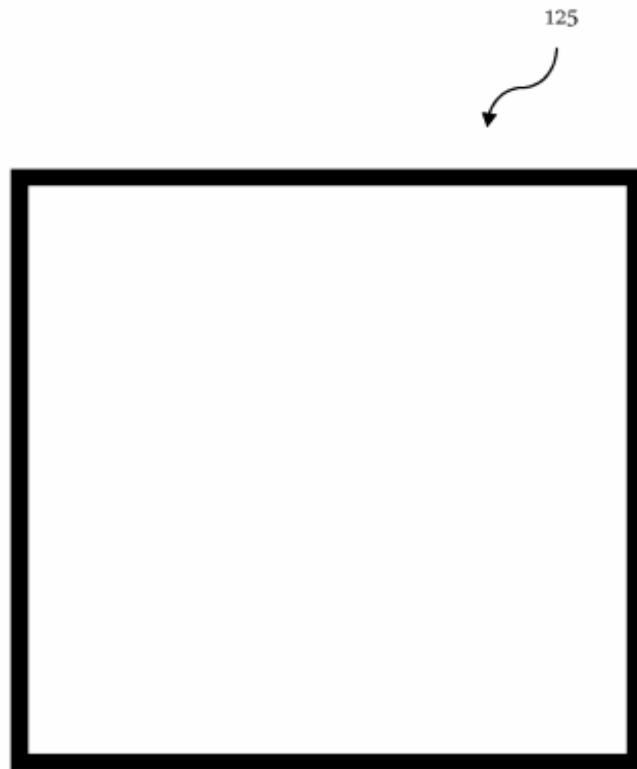


Figura 3

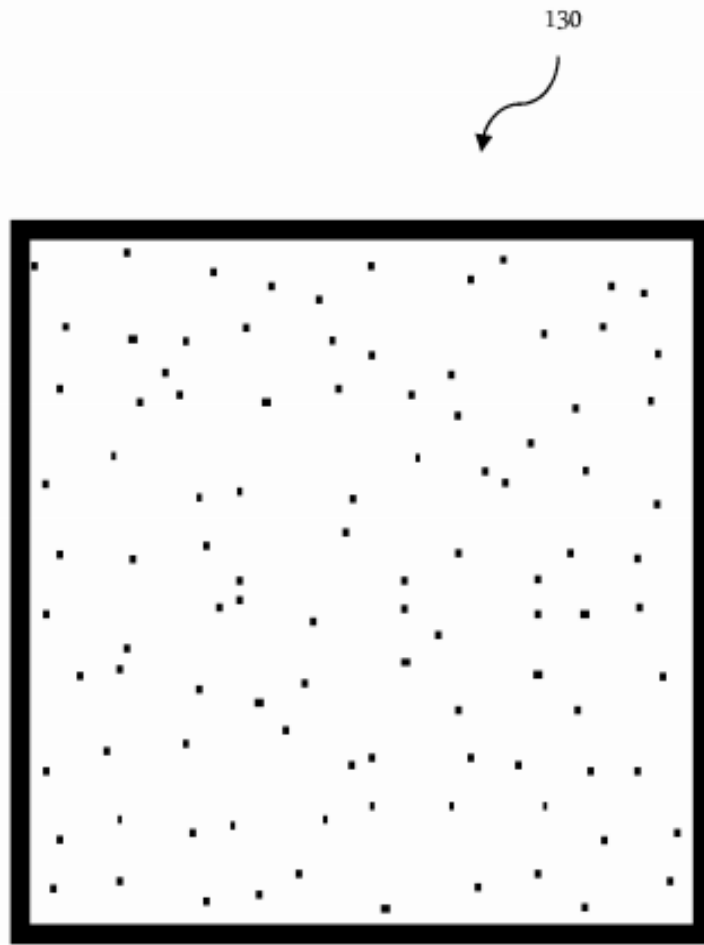


Figura 4

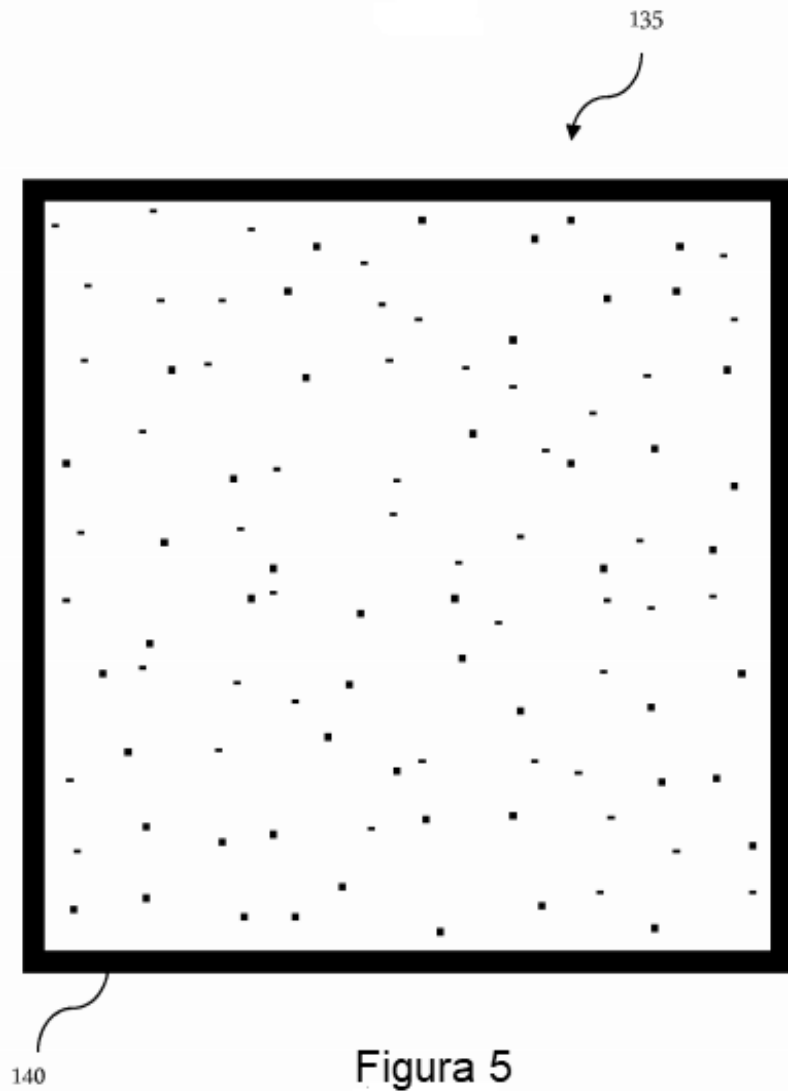


Figura 5



Figura 6

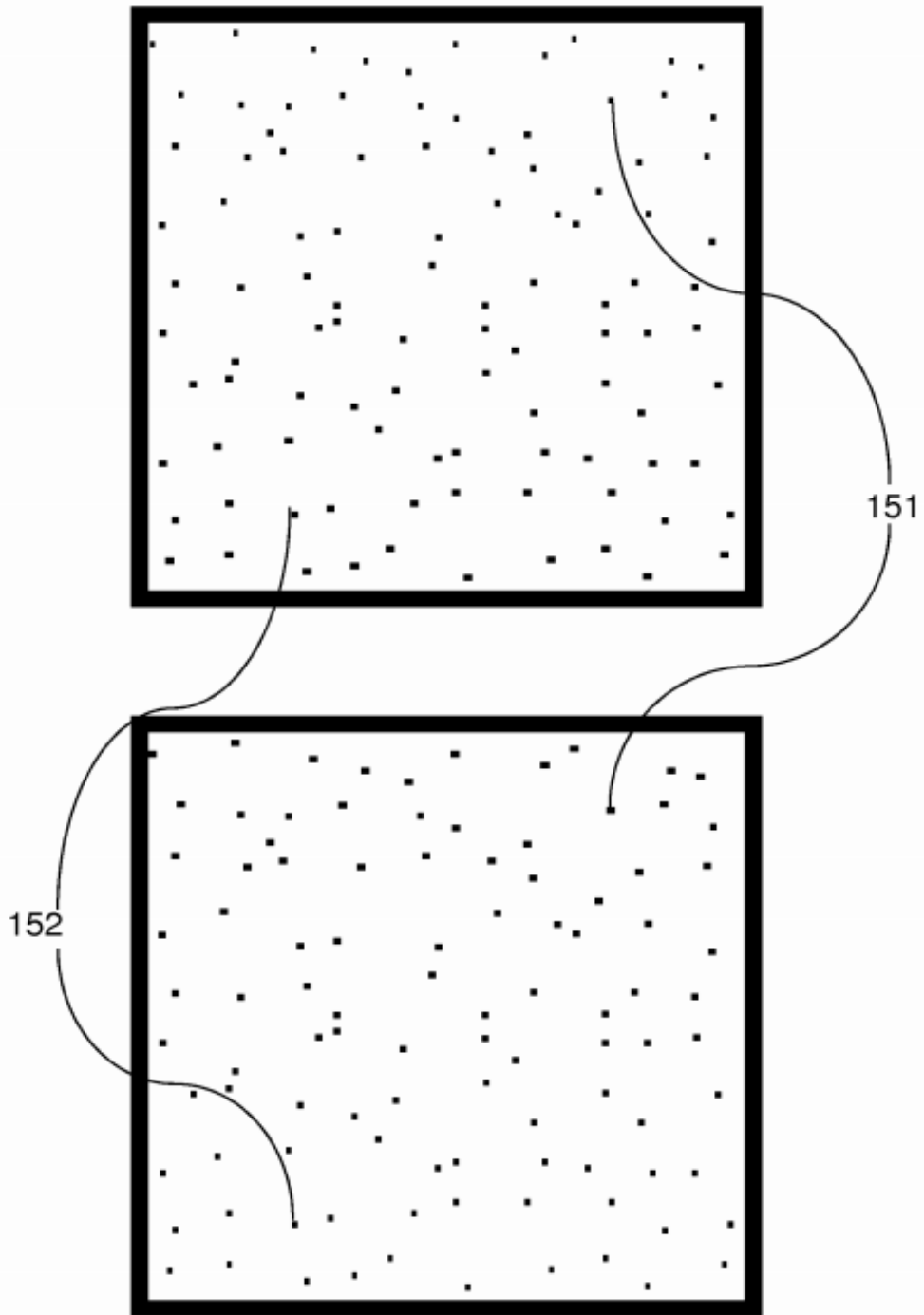


Figura 7

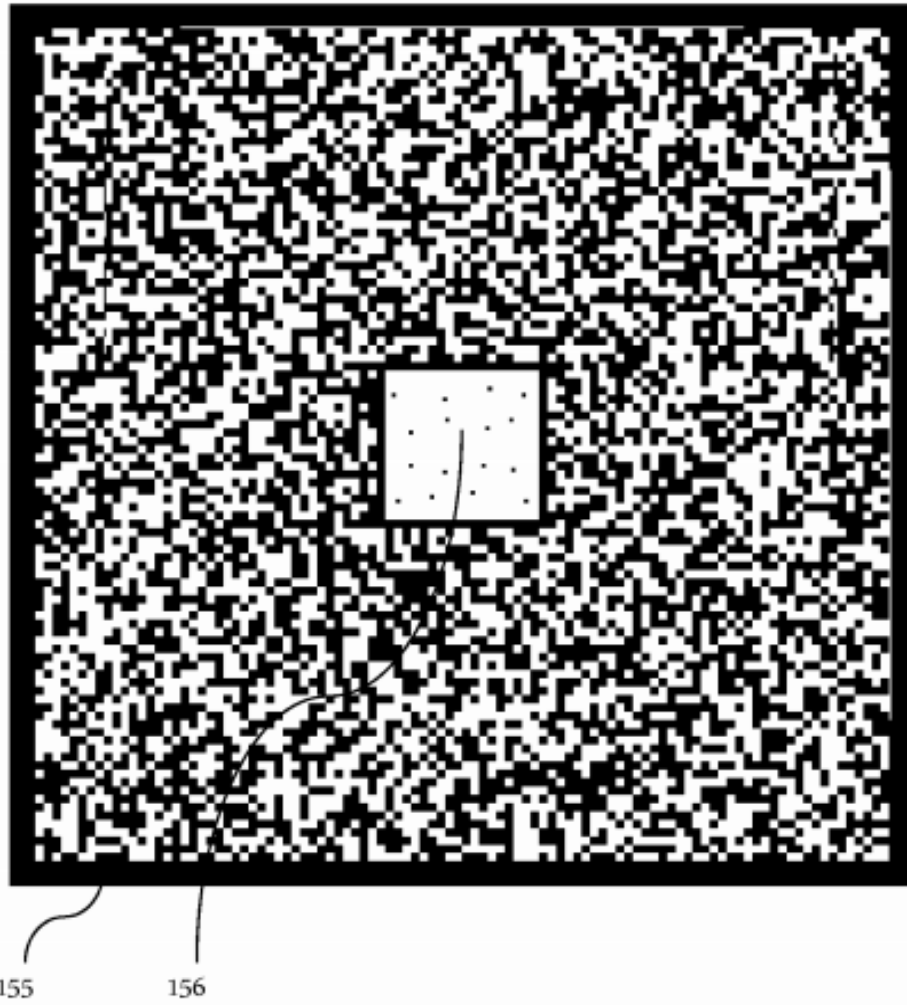


Figura 8

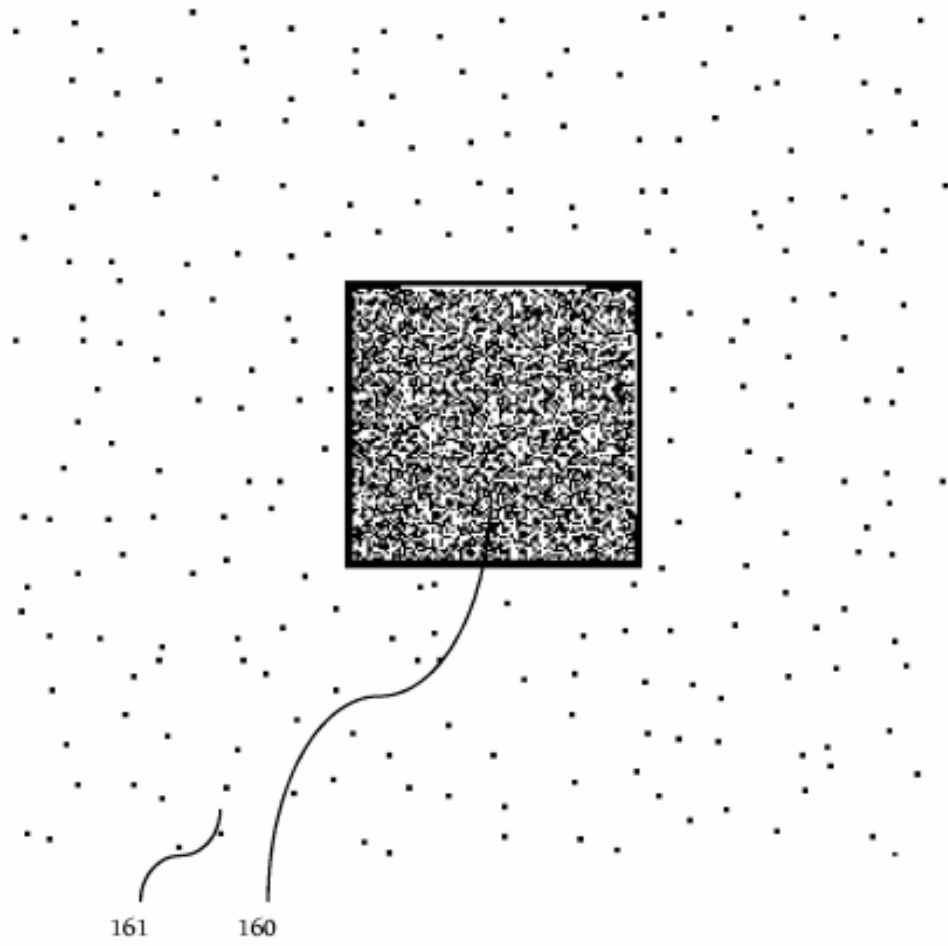


Figura 9

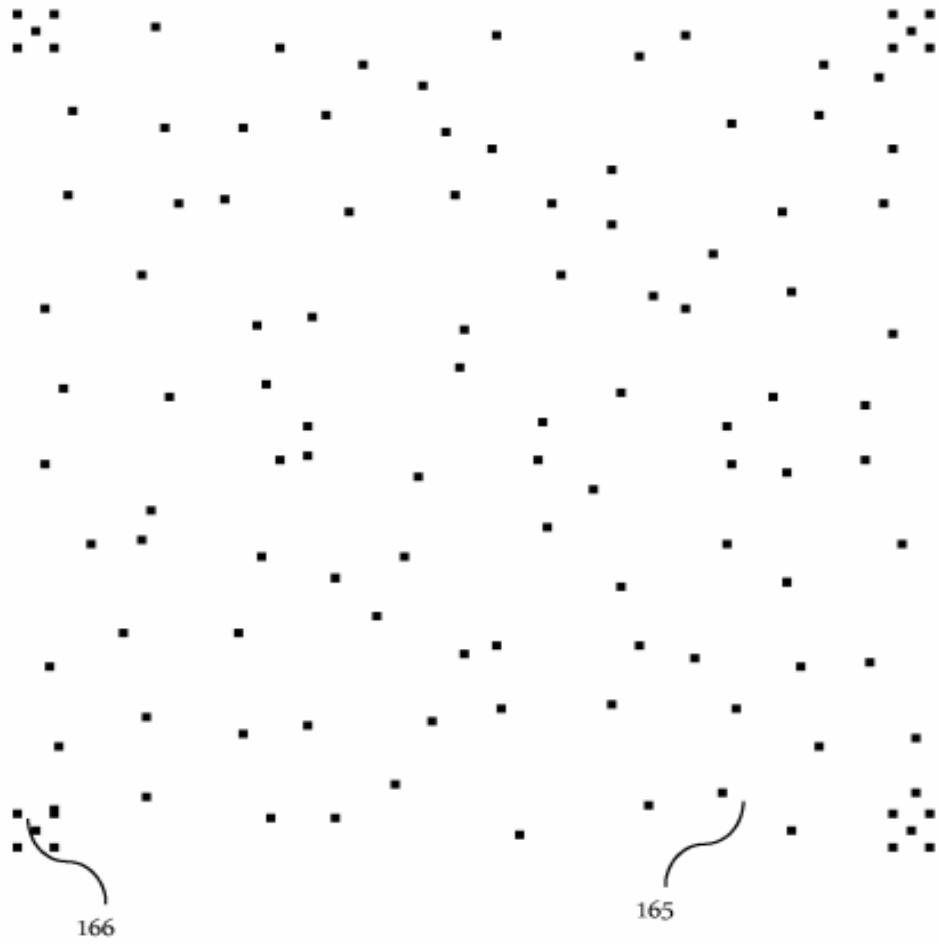


Figura 10



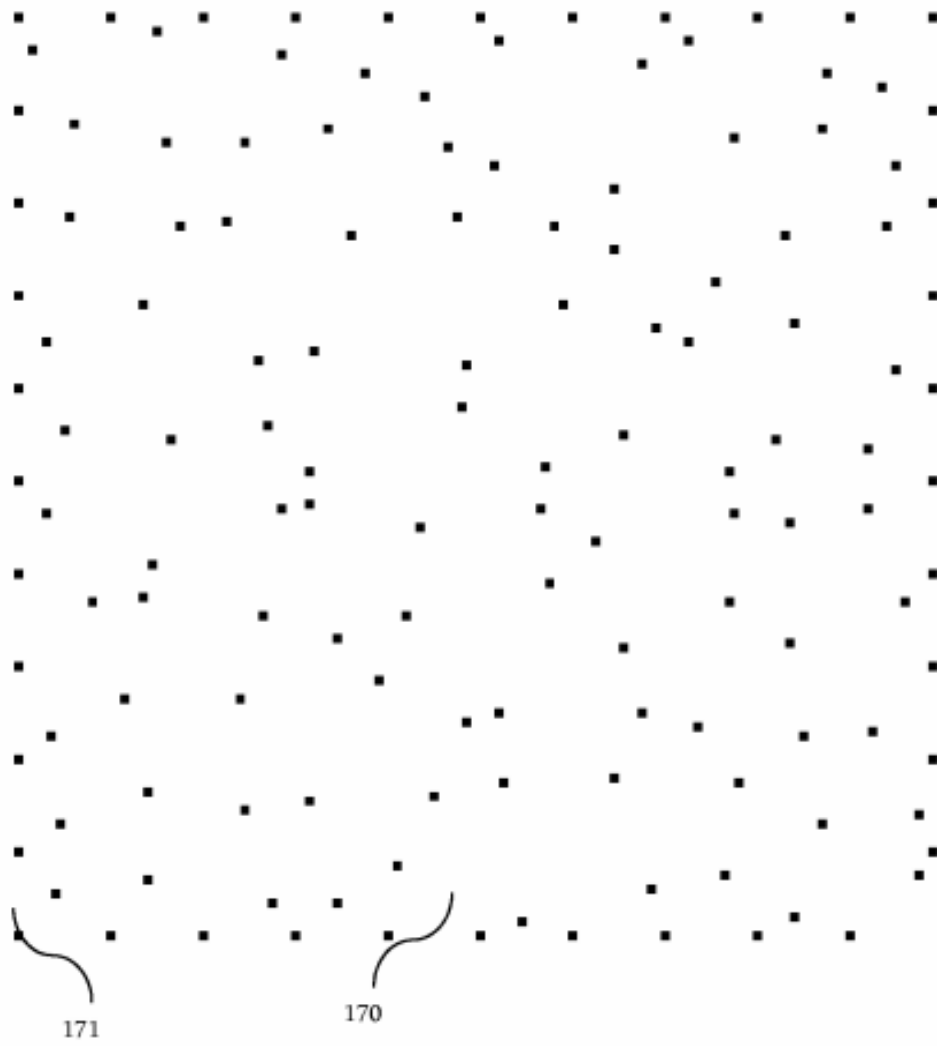


Figura 11

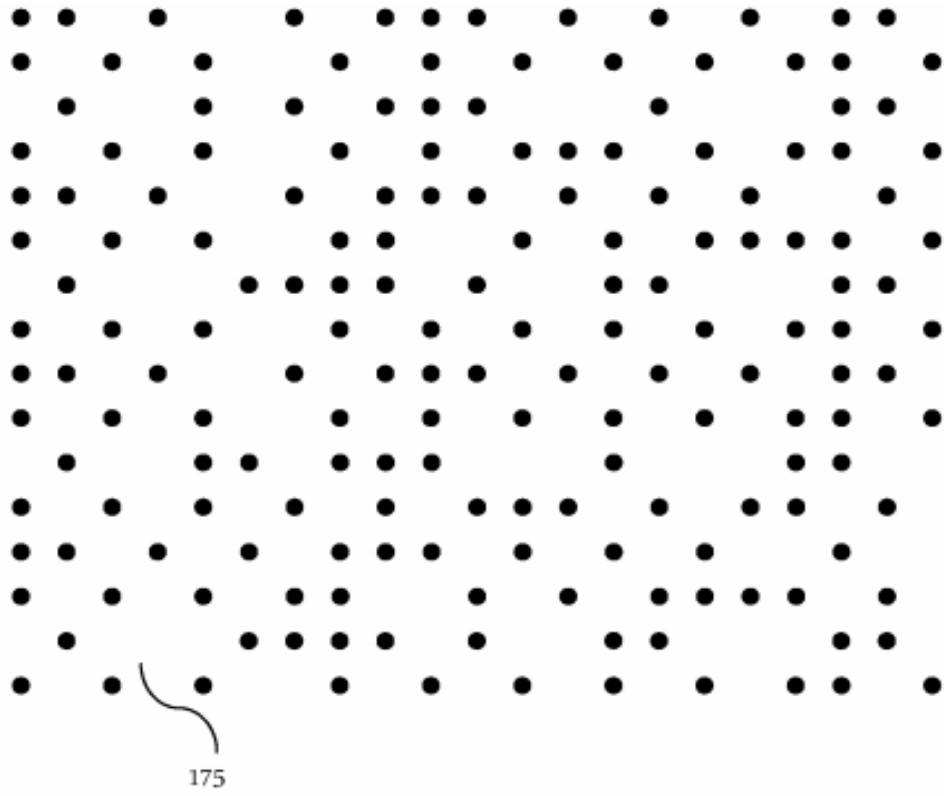


Figura 12

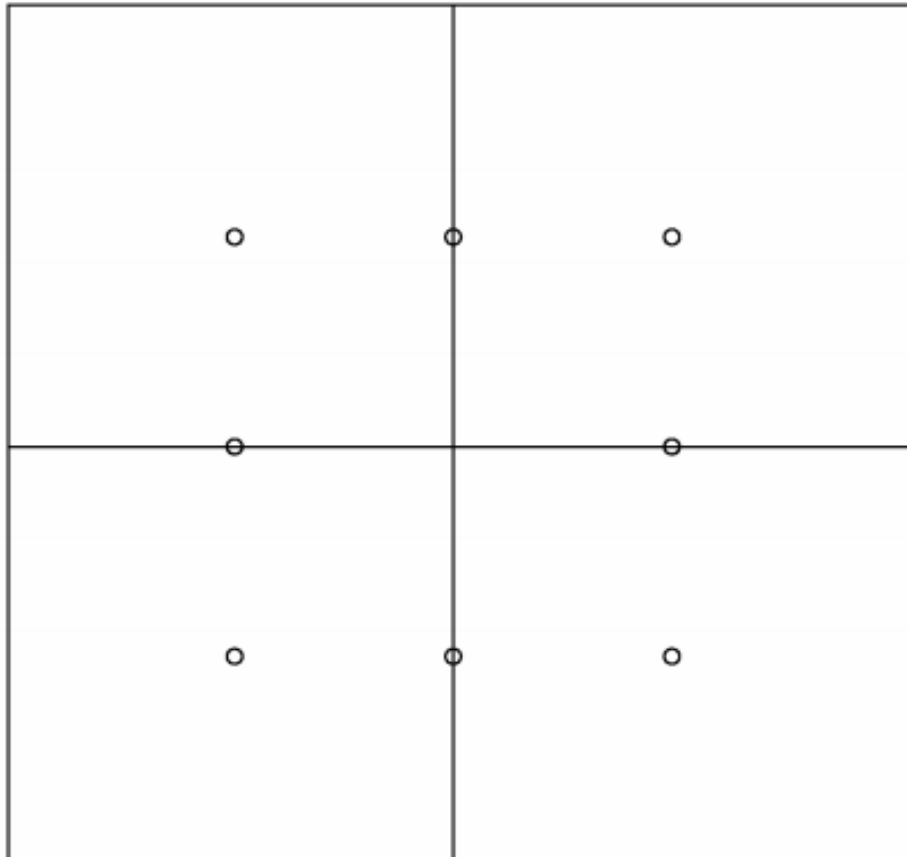


Figura 13

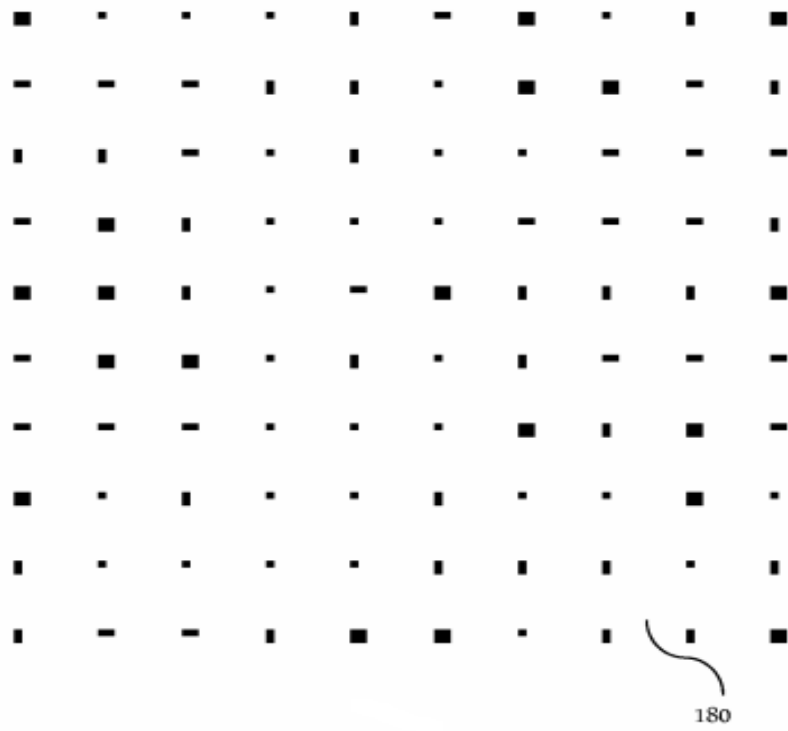


Figura 14

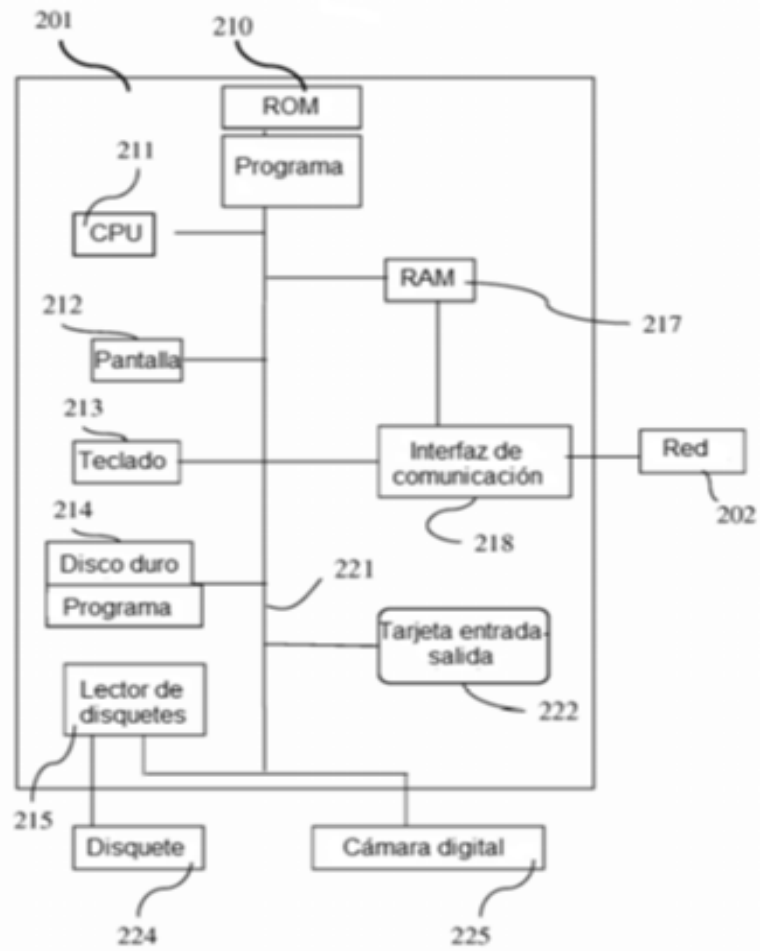


Figura 15

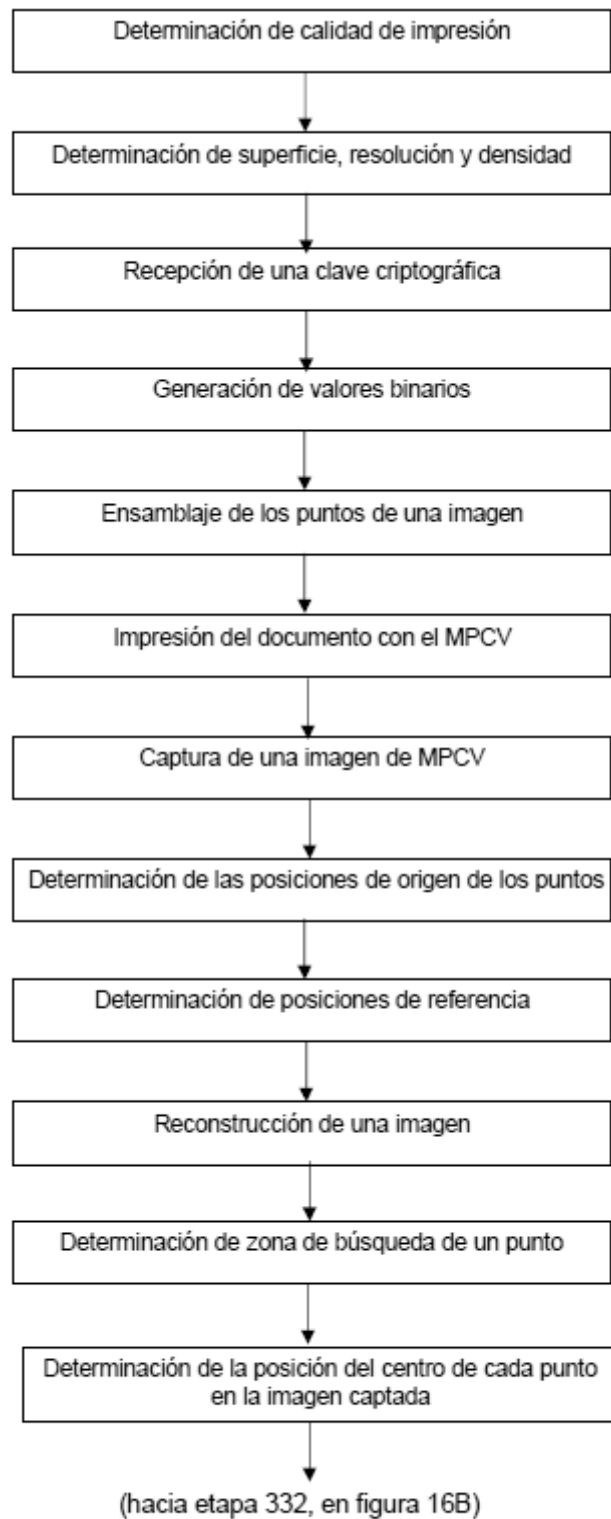


Figura 16A

(desde etapa 330, en figura 16A)

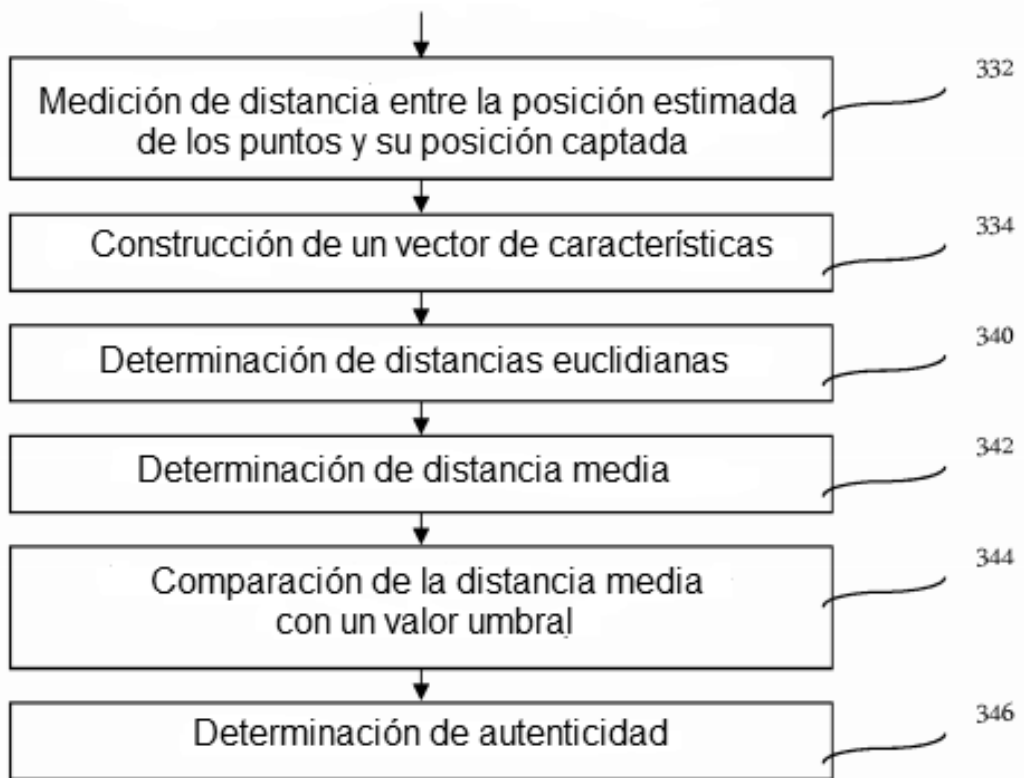


Figura 16B

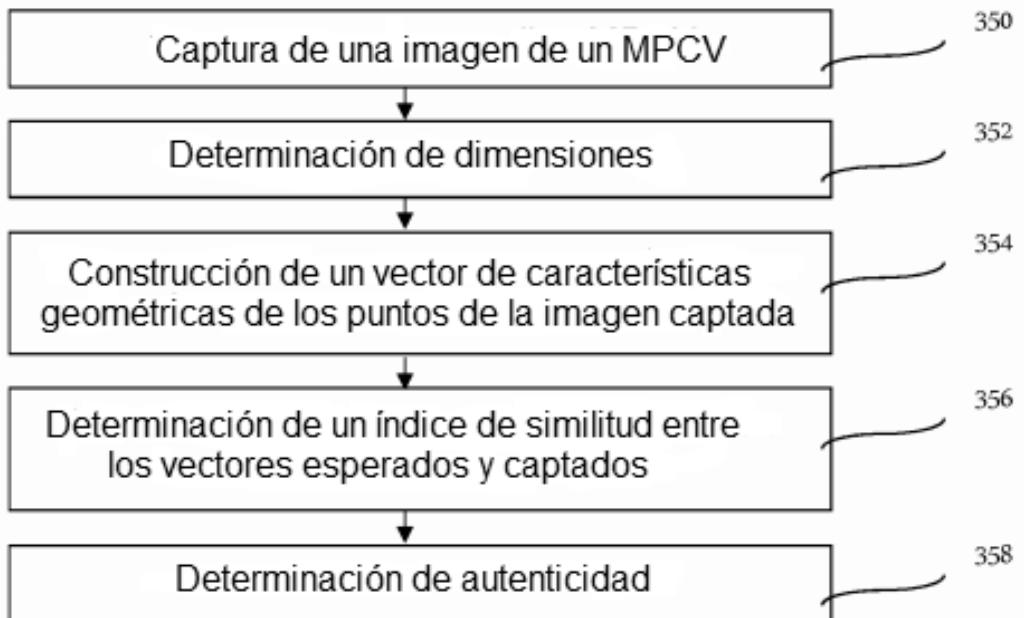


Figura 17

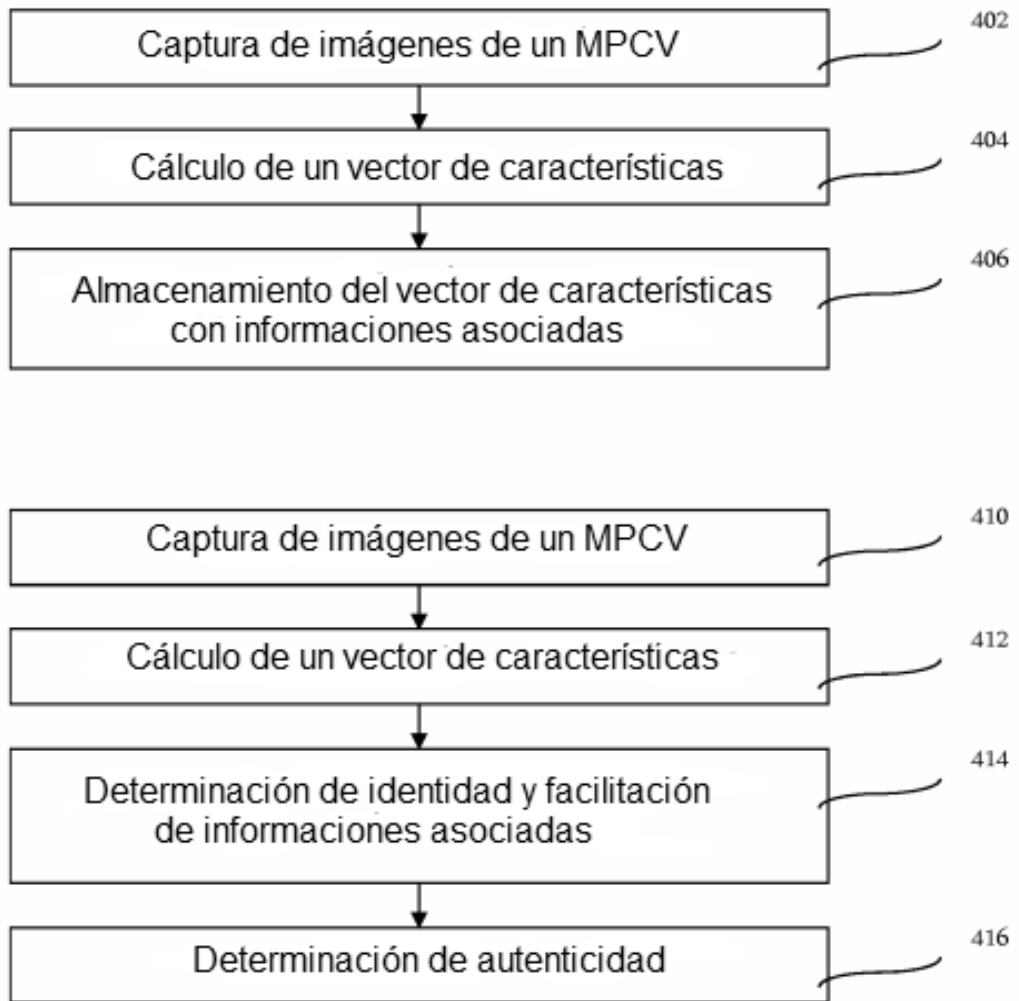


Figura 18



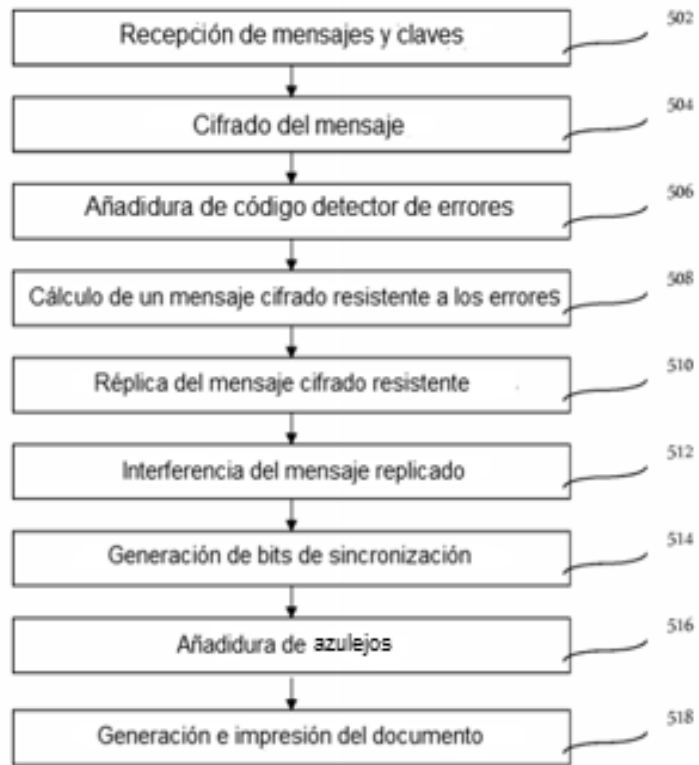


Figura 19

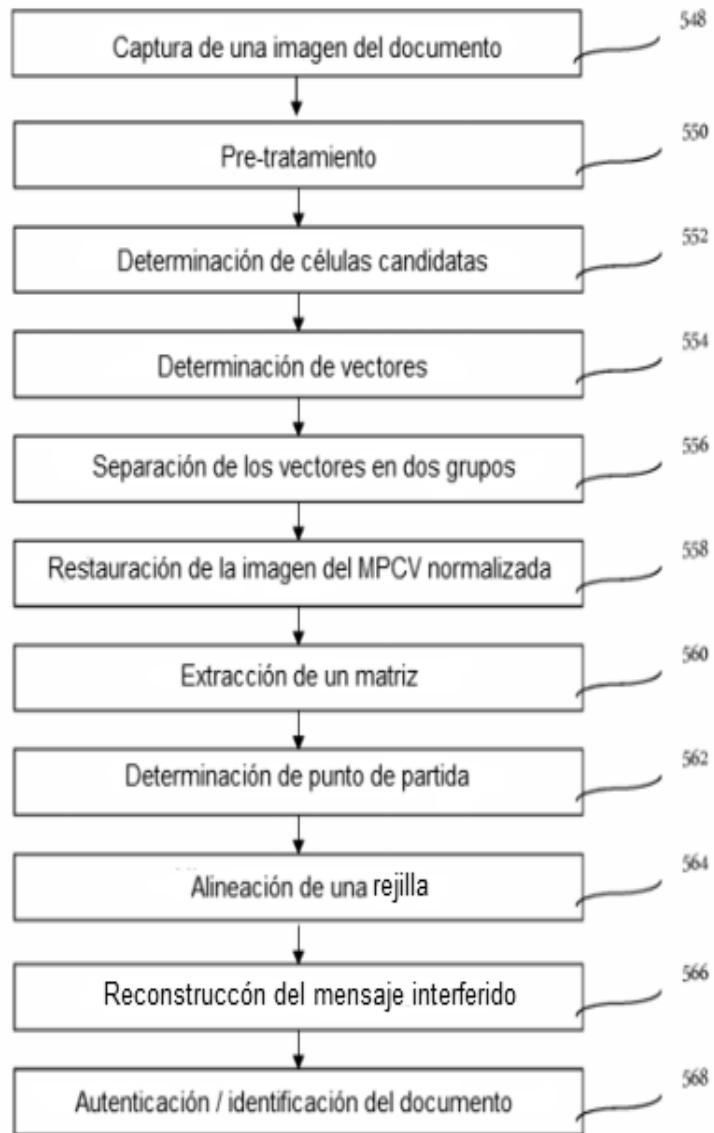


Figura 20

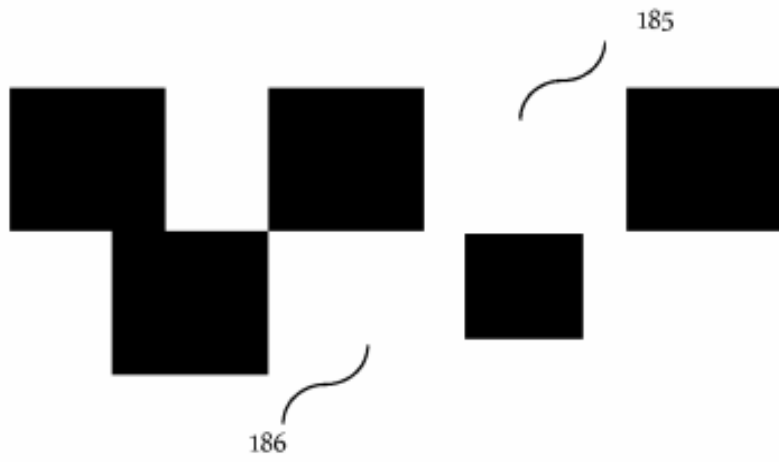


Figura 21

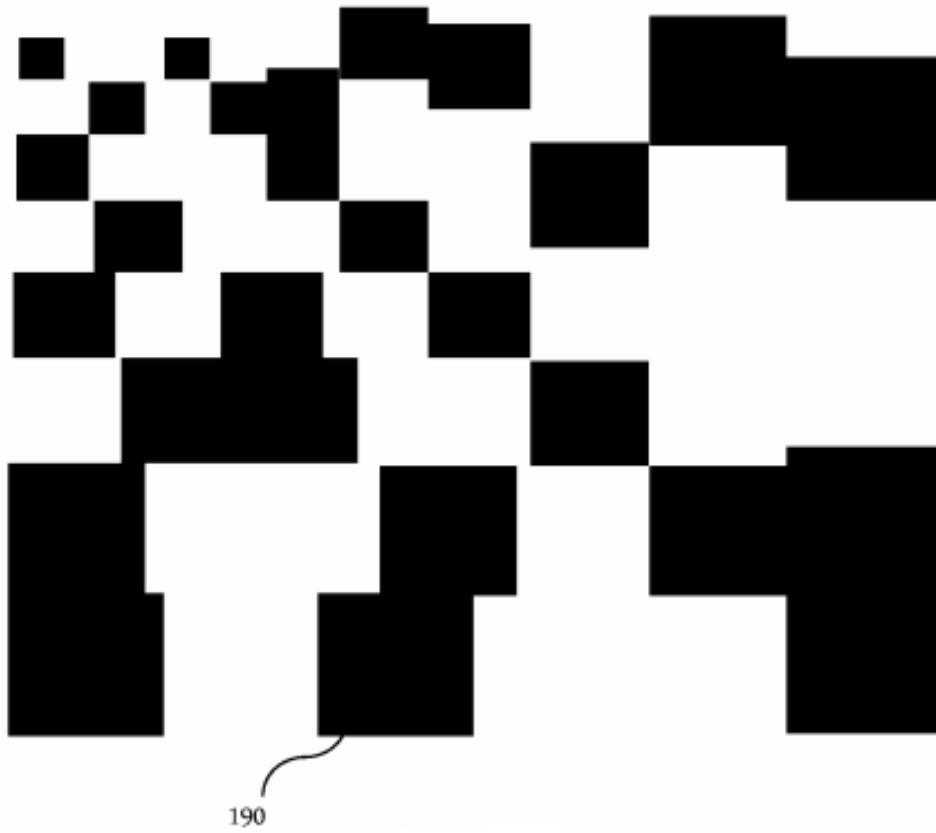


Figura 22

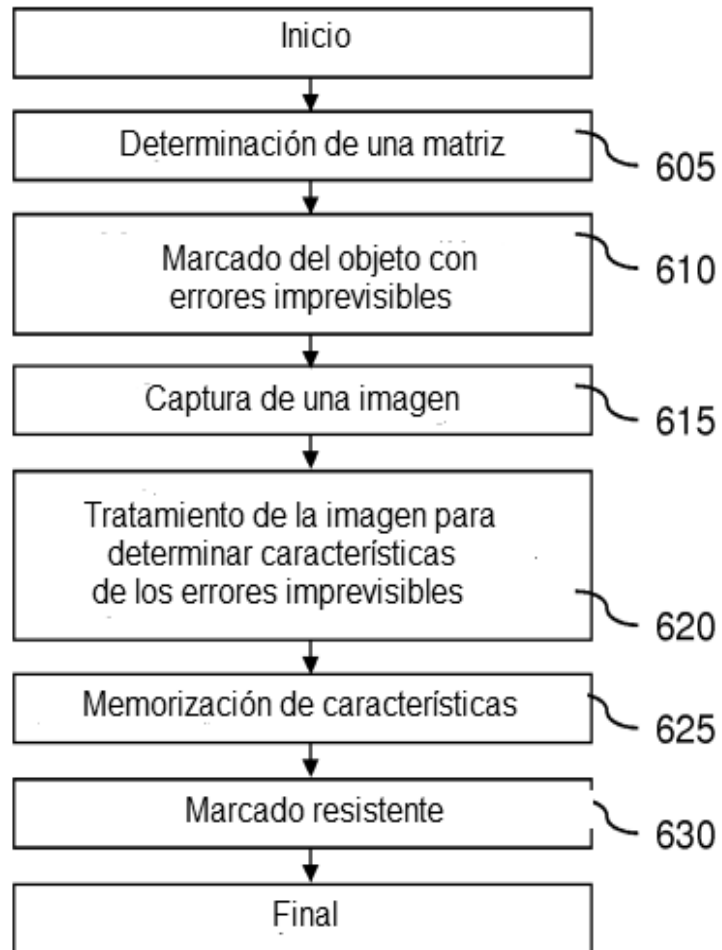


Figura 23

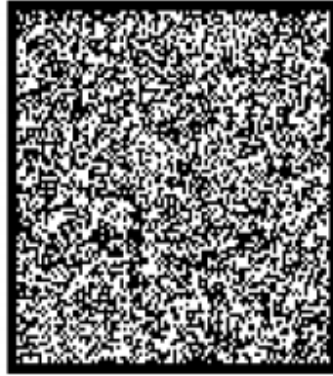


Figura 24

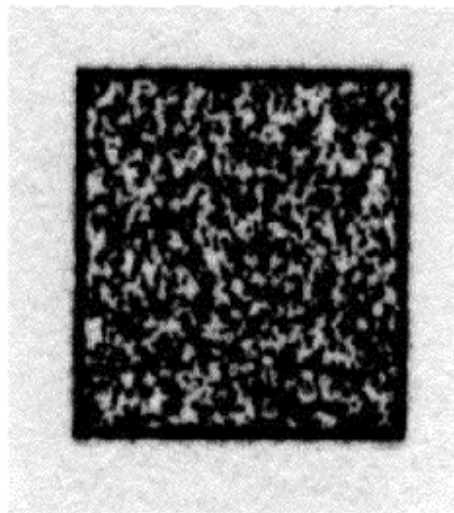


Figura 25

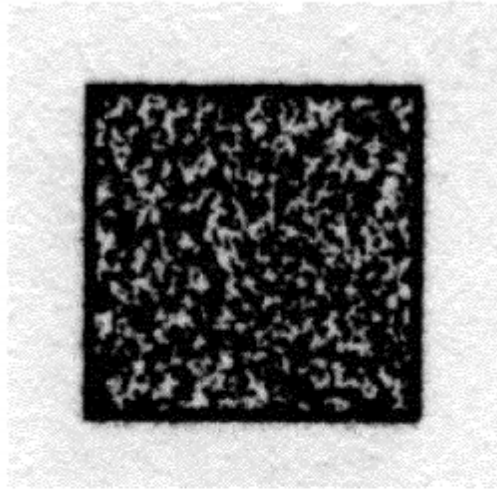


Figura 26

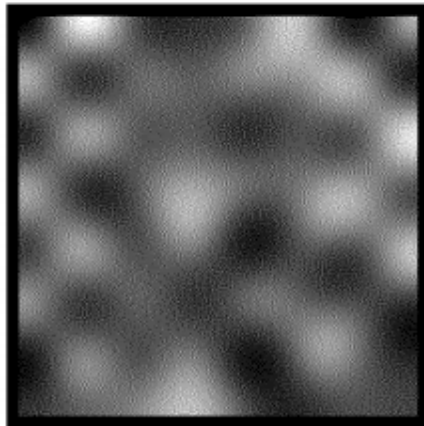


Figura 27



Figura 28A

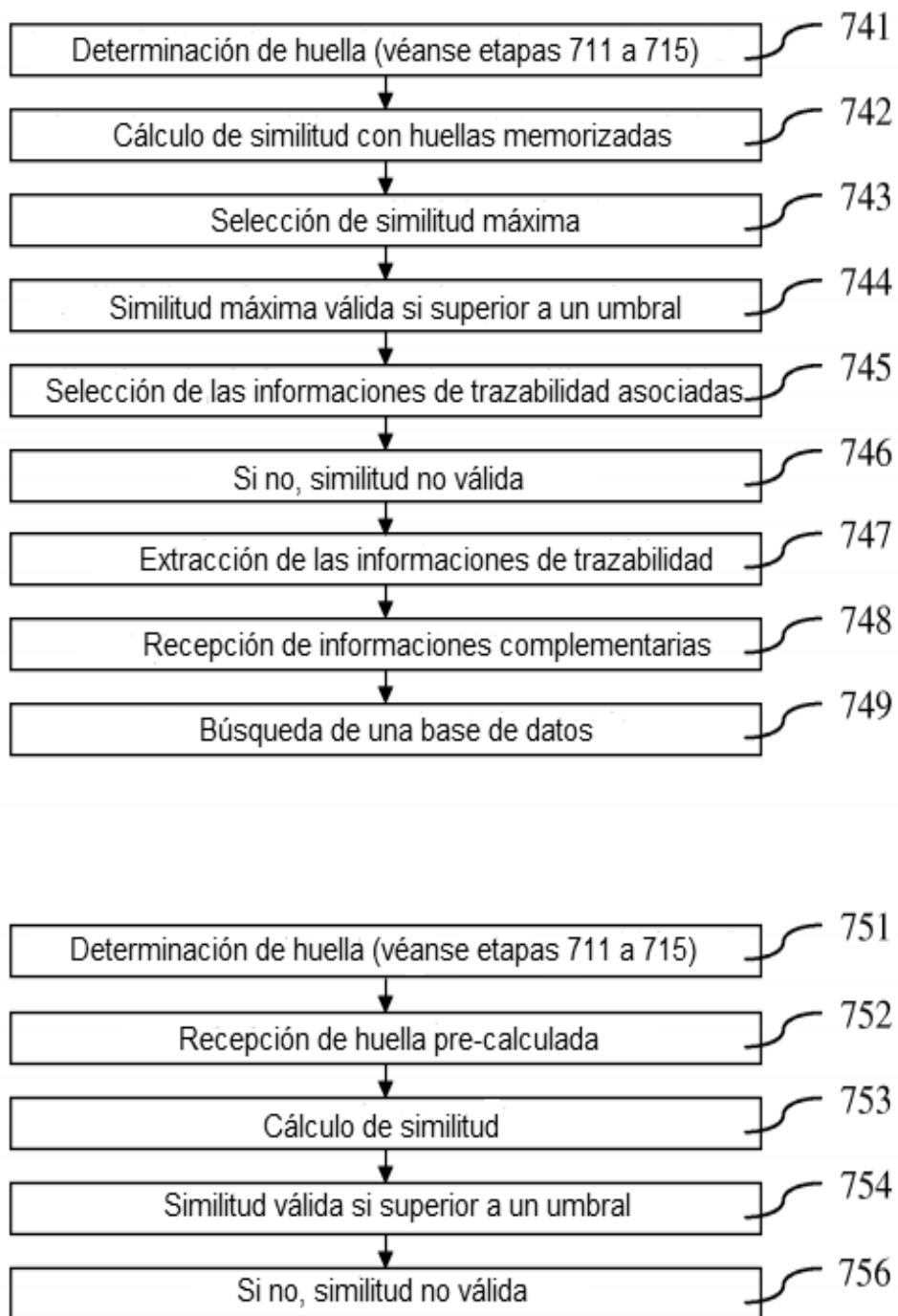


Figura 28B



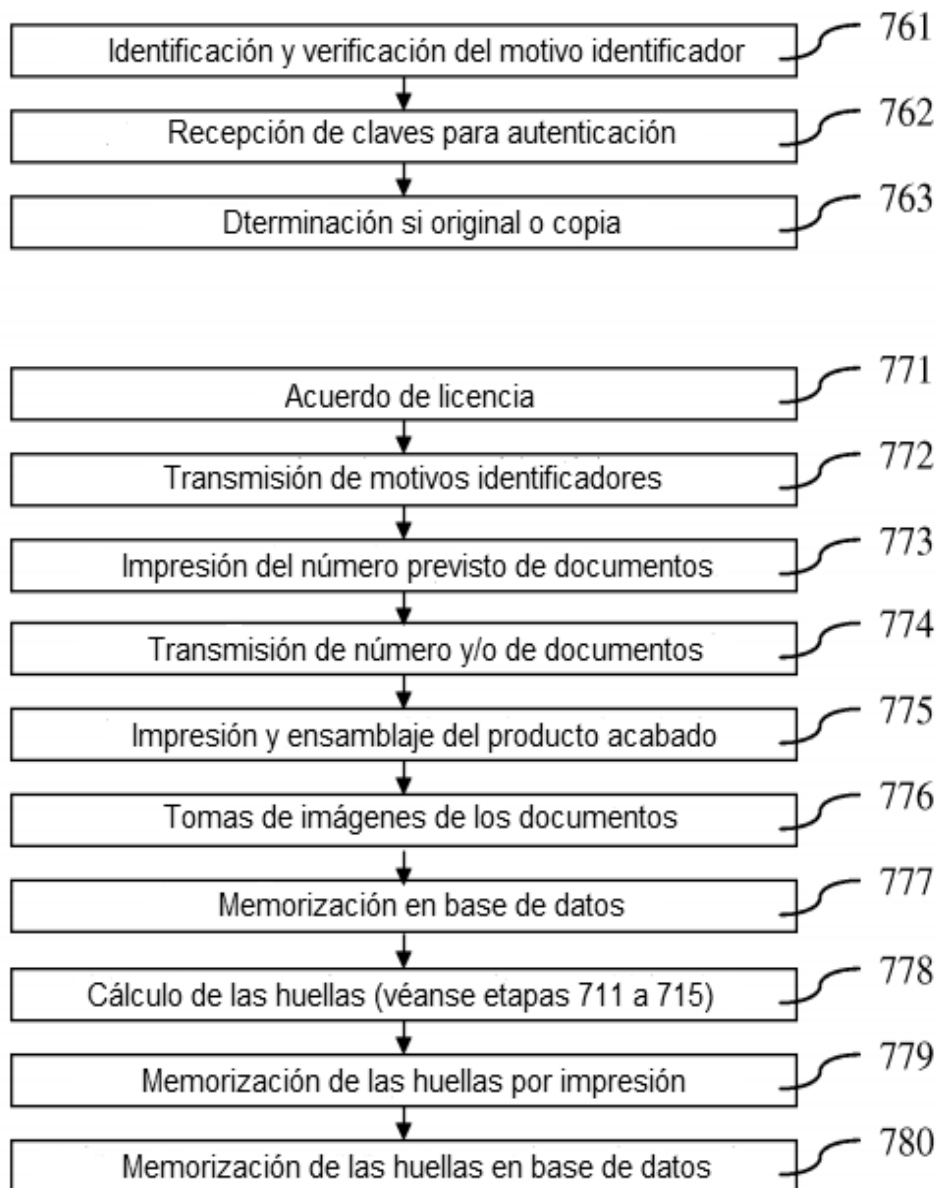


Figura 28C

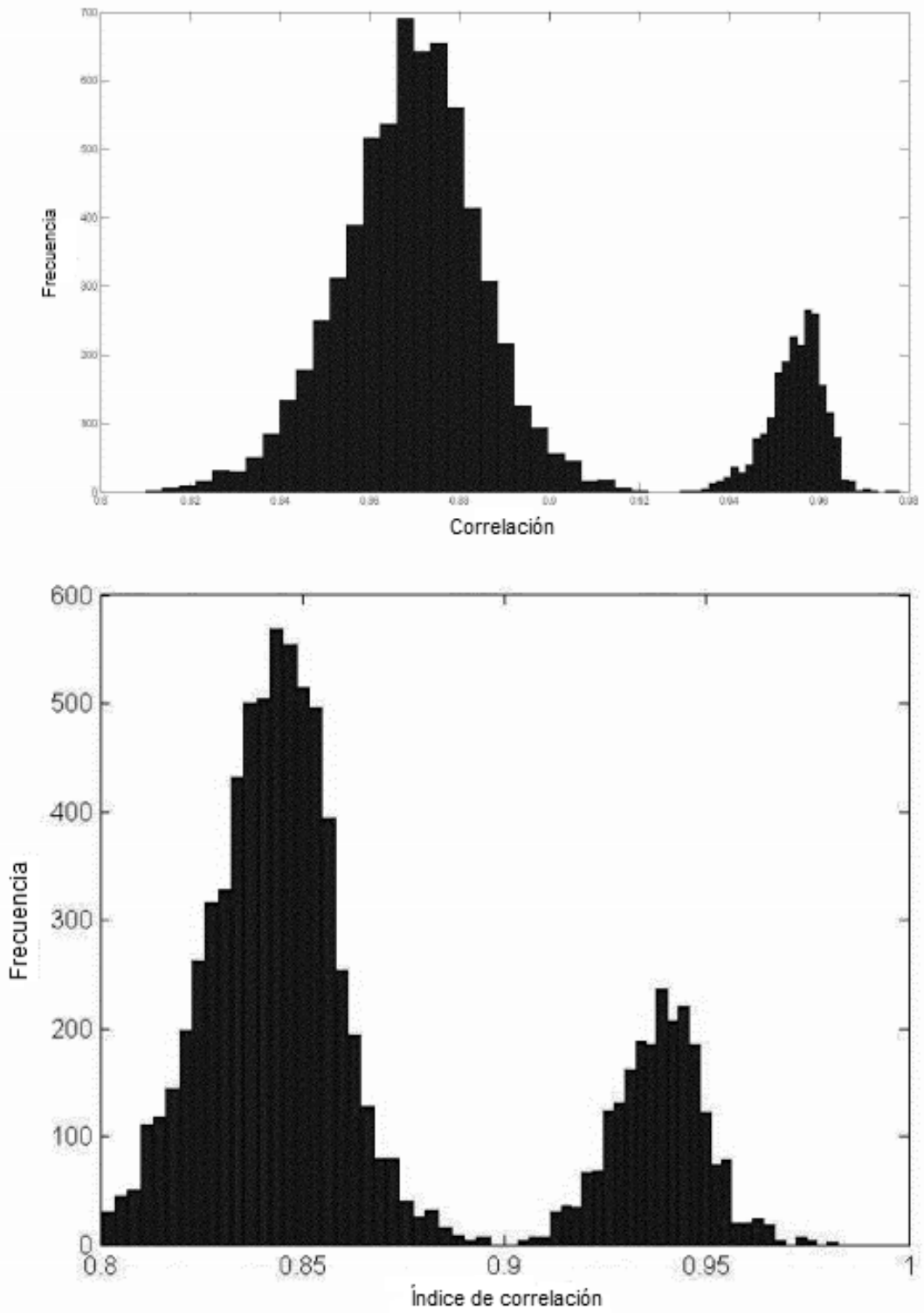


Figura 29

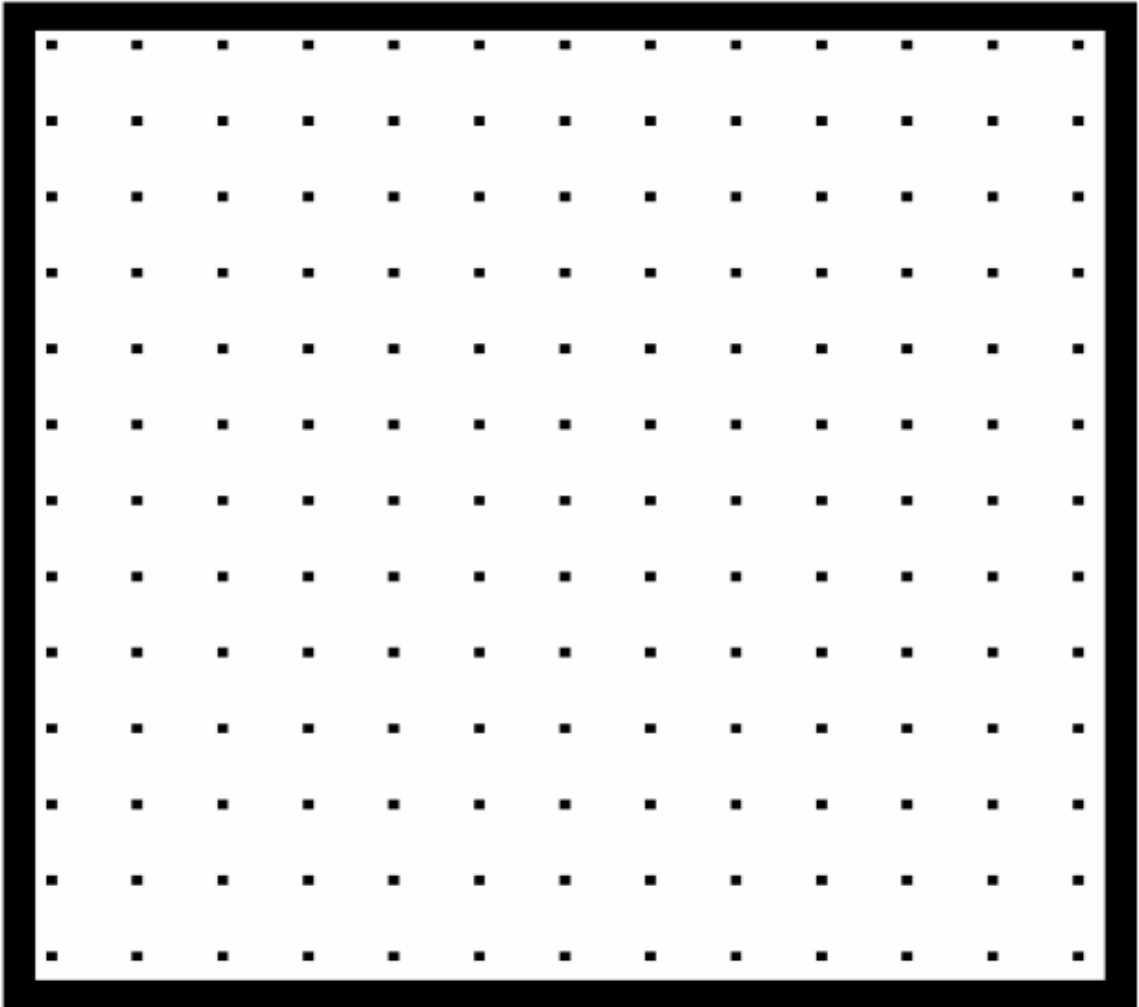


Figura 30

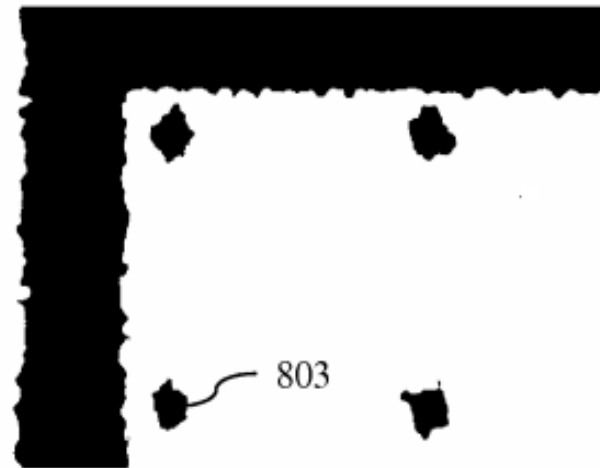
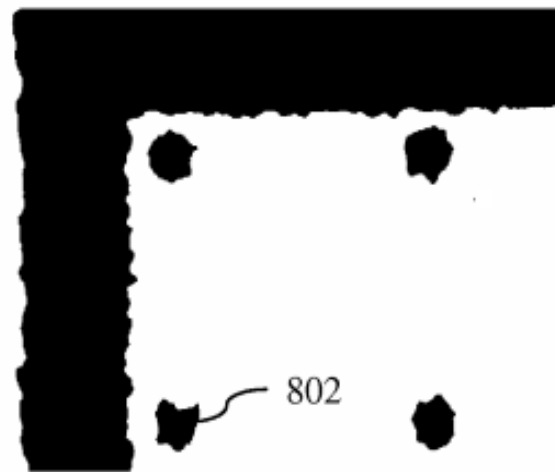
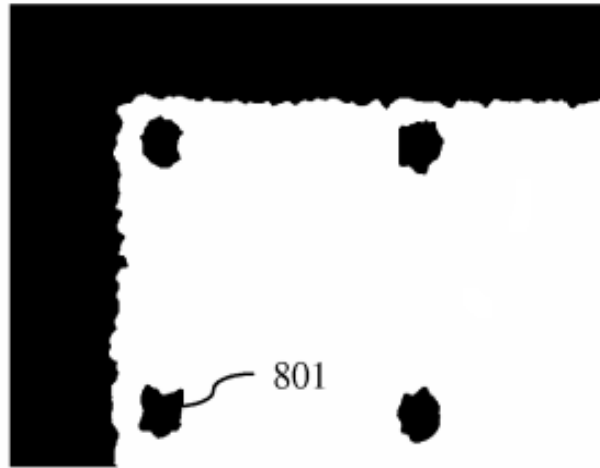


Figura 31

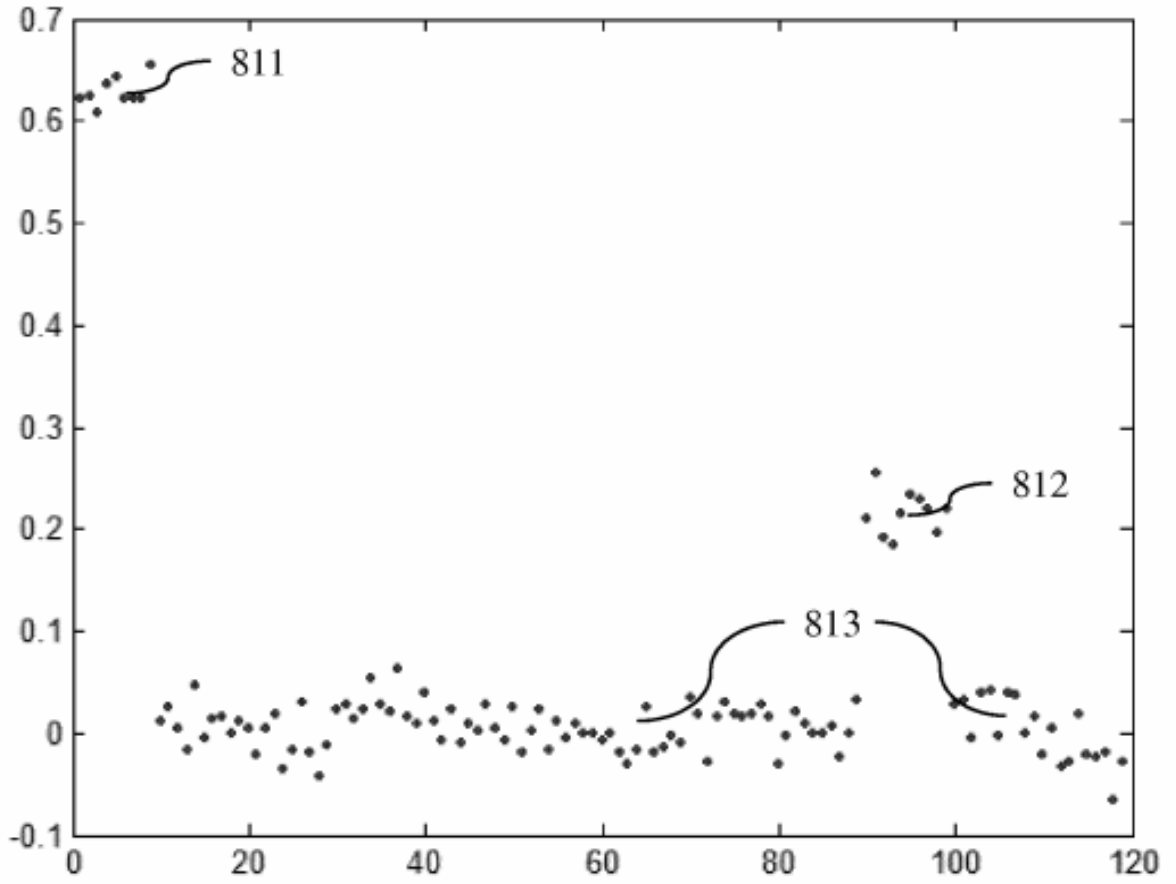


Figura 32

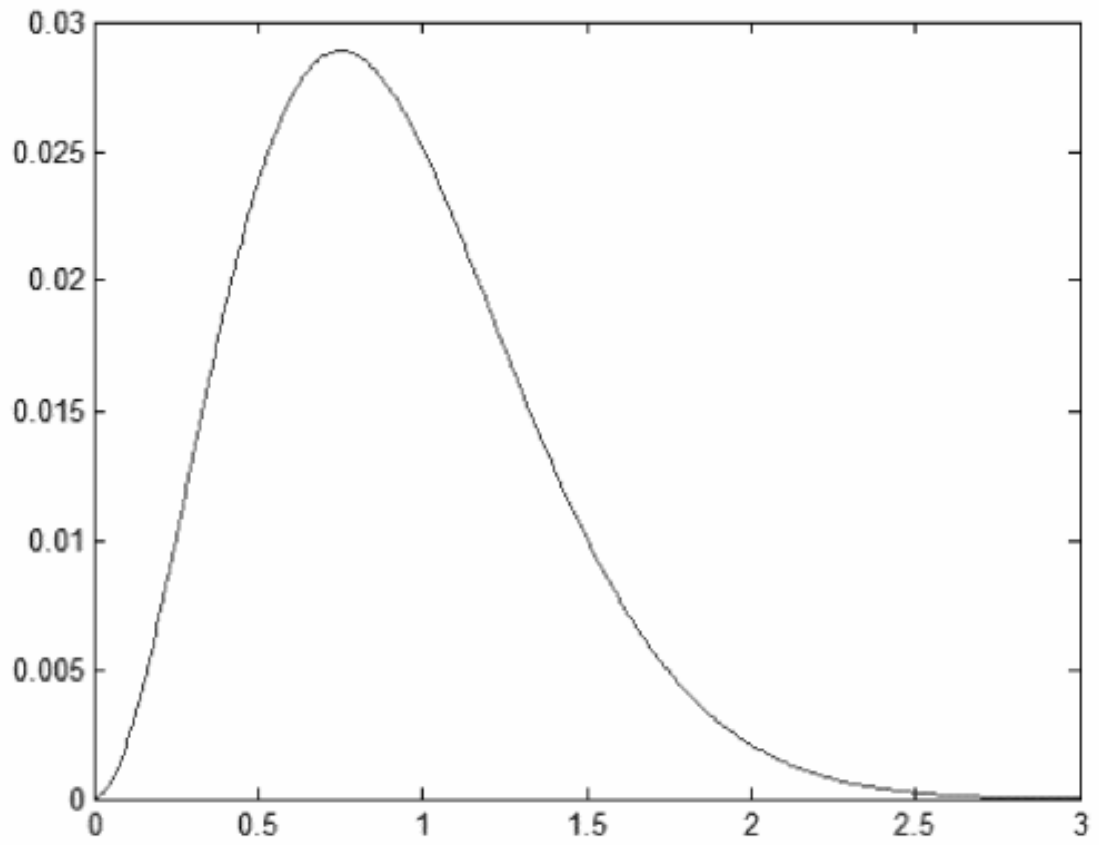


Figura 33

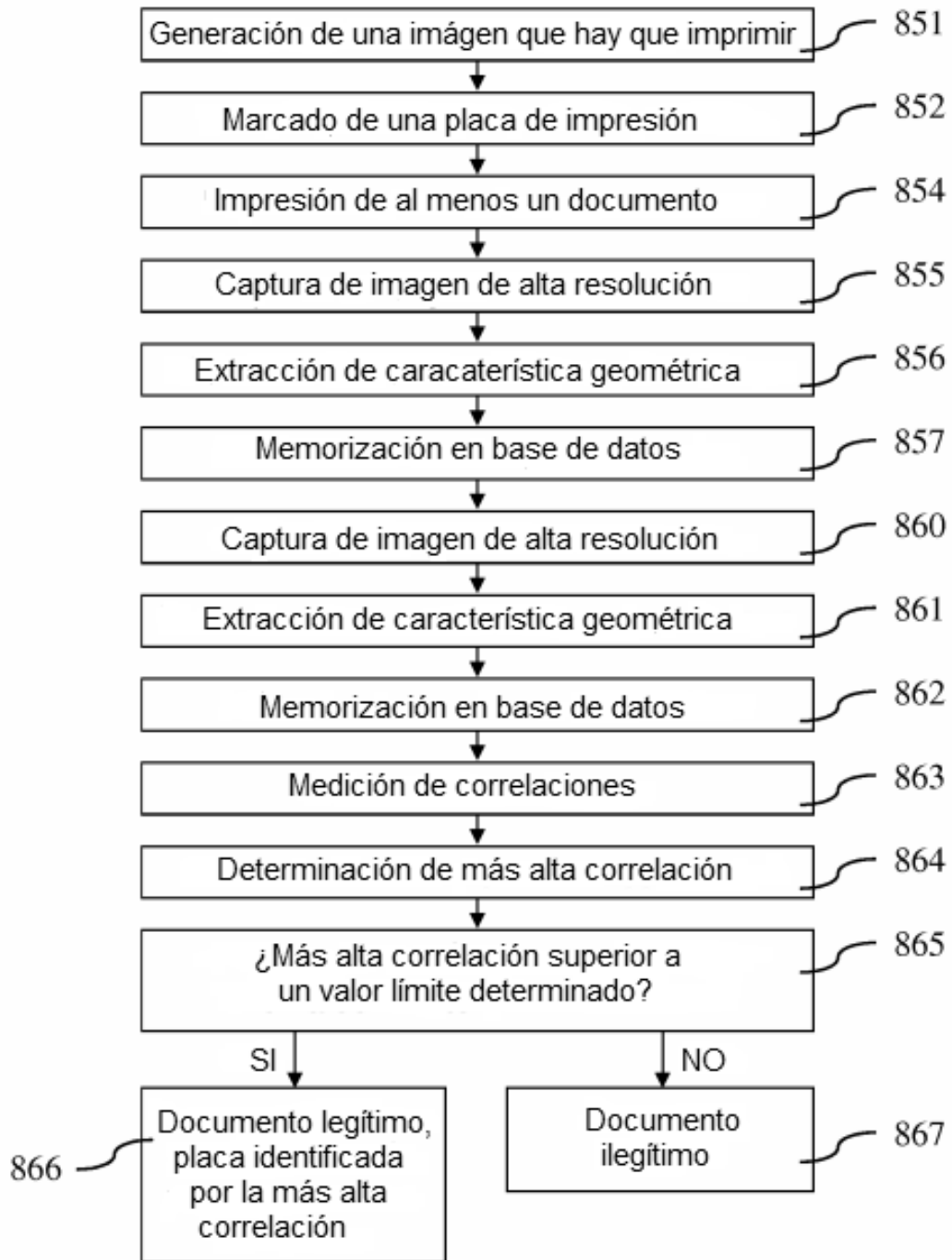


Figura 34