

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 517**

21 Número de solicitud: 201300498

51 Int. Cl.:

G01H 9/00

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

23.05.2013

43 Fecha de publicación de la solicitud:

23.12.2014

Fecha de la concesión:

14.05.2015

45 Fecha de publicación de la concesión:

22.05.2015

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2014/070415

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE ALICANTE (100.0%)
Carretera San Vicente del Raspeig, s/n
03690 San Vicente del Raspeig (Alicante) ES**

72 Inventor/es:

**ESPINOSA TOMÁS, Julián;
FERRER CRESPO, Belén;
MAS CANDELA, David;
PÉREZ RODRÍGUEZ, Jorge y
ROIG HERNÁNDEZ, Ana Belén**

54 Título: **Método y sistema para medir vibraciones**

57 Resumen:

Método y sistema para medir vibraciones en un objeto (4, 9) que comprende capturar una imagen mediante una cámara (1), donde dicha cámara (1) tiene una frecuencia de adquisición de al menos el doble de la frecuencia de vibración a registrar; seleccionar una región de interés dentro de la imagen capturada definiendo una escena (2); cuantificar el número de píxeles que varían en la escena (2); y determinar la existencia de un patrón de vibración mediante una transformada de Fourier sobre la escena (2) calculando además la frecuencia de dicho patrón de vibración.

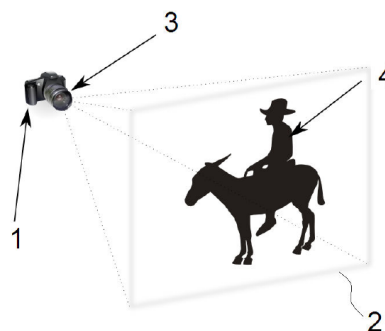


FIG.1

ES 2 525 517 B2

DESCRIPCIÓN

MÉTODO Y SISTEMA PARA MEDIR VIBRACIONES

El objeto de la presente invención es un método no invasivo para medir vibraciones, es decir, un método donde no se emplee ningún tipo de contacto para medir vibraciones imperceptibles para el ojo humano. Este método emplea una cámara de vídeo, de tal forma que mediante el procesado de la secuencia grabada sea posible detectar movimientos que, aparentemente, no provocan un cambio en la imagen, así como detectar su frecuencia de movimiento.

10 Estado de la técnica

La detección de movimientos y vibraciones es un tema de interés en diferentes campos científicos. Así, por ejemplo, en ingeniería y arquitectura, el estudio de las vibraciones se utiliza para diagnosticar el estado de salud de las estructuras y fuerzas a las que son sometidas.

La medida de las vibraciones es posible mediante métodos acústicos. Así, en ciertas situaciones las vibraciones producen efectos audibles y con un micrófono es posible su detección. No obstante, en la mayoría de los casos esto no es posible y es necesario acudir a técnicas más sofisticadas.

Otra técnica conocida en el estado de la técnica es el empleo de acelerómetros. Estos sistemas están conectados a la superficie o estructura objeto de estudio y registran la aceleración sufrida por la misma debido a fuerzas dinámicas o impactos. Pese a lo extendido de su uso, presenta varios inconvenientes, ya que es un sistema invasivo que requiere una instalación propia y un cableado, así como un coste económico a tener en cuenta [Nassif HN, Gindy M, Davis J. *Comparison of laser Doppler vibrometer with contact sensors for monitoring bridge deflection and vibration. NDT & E Int. 2005; 38(3): 213-128*].

Por otro lado, en muchos casos el uso de acelerómetros no está indicado ya que, por razones de seguridad, inaccesibilidad o integridad del objeto a medir, no es posible fijar el sistema y el cableado. En estas ocasiones se requiere el uso de métodos no invasivos de medición a distancia, como la interferometría Doppler.

Los métodos basados en la interferometría Doppler utilizan la interferencia entre un haz de

referencia y uno reflejado en la superficie a estudiar para medir la velocidad del desplazamiento. Aunque es un método muy preciso, requiere del uso de un haz láser y una distancia muy corta de trabajo. Adicionalmente, el coste de este método lo hacen prohibitivo para la mayoría de aplicaciones [Castellini P, Martarelli M, Tomasini EP. Lasser Doppler Vibrometry: Development of advanced solutions answering to technology's needs. Mechanical systems and signal processing. 2006; 20: 1265-1285].

En los últimos años han aparecido técnicas de detección de movimiento y vibraciones basadas en la detección de patrones de Speckle [Valero, E., V. Micó, Z. Zalevsky, and J. García. "Depth sensing using coherence mapping." Opt. Commun. 283 no. 16 (2010): 3122–3128].

Estos sistemas han dado lugar a sistemas de detección 3D, como Kinect® [<http://es.wikipedia.org/wiki/Kinect>] y a métodos de captura de audio mediante técnicas ópticas (como en WO/2007/043036, US2009/096783 o US 2010/226543), así como aplicaciones en biomedicina [A. Shenhav, Z. Brodie, Y. Beiderman, J. Garcia, V. Micó, and Z. Zalevsky "Optical Sensor for remote estimation of alcohol concentration in blood stream" Opt. Commun. 289, 15, 149-157 (2013)].

Pese a las ventajas de estos sistemas, estos métodos cuentan con el inconveniente de requerir la proyección de un patrón de luz mediante láseres de baja potencia, lo que limita su alcance, precisión y uso.

Las técnicas de visión artificial permiten detectar y medir el movimiento a distancia sin necesidad de usar láseres o sondas de contacto. En general, estos métodos utilizan un reconocimiento de patrones por convolución, lo que hace que la técnica sea muy sensible al ruido y poco precisa. Además de estos inconvenientes, la detección de movimientos rápidos o frecuencias elevadas requiere de sistemas de vídeo de alta velocidad y gran resolución, lo que incrementa notablemente el coste final de la técnica.

No obstante, existen técnicas para, a partir de la detección y el reconocimiento de patrones determinados en un objeto, determinar con gran precisión su posición, incluso a resoluciones subpíxel.

Aunque la resolución de la imagen esté limitada por la calidad del sensor óptico, en ciertas

condiciones es posible obtener información por encima del límite de resolución espacial. Estas técnicas se conocen con el nombre de técnicas subpíxel y aprovechan información sobre el objeto que se conoce a priori con el fin de aumentar las capacidades del sistema en la detección de objetos.

5

La técnica más habitual de obtener resolución subpíxel consiste en introducir en la escena una diana de geometría conocida. Mediante el reconocimiento de formas y el ajuste de la geometría detectada a la real es posible localizar el objeto con precisión de hasta 0,02 píxeles [D. Mas, J. Espinosa, A. B. Roig, B. Ferrer, J. Pérez, C. Illueca "*Measurement of wide frequency range structural microvibrations with a pocket digital camera and sub-pixel techniques*" *Applied Optics*, 51, 14, 2664-2671 (2011)].

10

No obstante, para aplicar esta técnica es indispensable adherir al objeto vibrante una diana ajena a la escena, lo que en ocasiones puede ser complicado o incluso inviable.

15

El problema principal que presentan las cámaras de vídeo estándar es que la resolución temporal (fotogramas por segundo - fps) suele estar limitada a 30-50 fps, lo que, según el criterio de Nyquist, no permite su uso para medir frecuencias por encima de 15-25 Hz. Un sistema de registro de vibraciones debería tener una capacidad de adquisición por encima 500 fps con el fin de optar a un gran rango de aplicaciones (las estructuras civiles suelen vibrar por debajo de los 200 Hz y la frecuencia fundamental de la voz humana está en torno a los 250 Hz).

20

En este punto se han de tener en cuenta las limitaciones de la electrónica. El flujo de datos por segundo que puede procesar y almacenar una cámara de vídeo depende tanto del tamaño del fotograma (píxeles) como del número de fotogramas por segundo que es capaz de capturar la cámara. Para un flujo constante de datos, incrementar la velocidad de adquisición implica disminuir el tamaño del fotograma y viceversa.

25

Así pues, cuanto mayor sea la velocidad de adquisición de la cámara menor será su resolución espacial y por tanto proporcionará una menor calidad de imagen. Como consecuencia de esto, aumentar el flujo de datos implica aumentar el precio del dispositivo de manera importante, lo que puede hacer que la solución final no sea rentable para la mayoría de aplicaciones.

30

35

Descripción de la invención

La presente invención tiene por objeto un método de medida de vibraciones no invasivo, que no necesite elementos externos, como láseres o patrones de *Speckle* y con un coste reducido. Para ello, la presente invención se basa en un análisis de los cambios de iluminación producidos por un objeto móvil, a partir del cual se determina si éste vibra y, en consecuencia, su frecuencia de vibración.

Preferentemente, el método de la invención comprende:

capturar una sucesión de imágenes de dicho objeto con una cámara, donde dicha cámara tiene una frecuencia de adquisición de al menos el doble de la frecuencia de las vibraciones a medir;

seleccionar una región de interés dentro de la sucesión de imágenes capturadas definiendo una escena;

identificar una pluralidad de píxeles cuya luminancia varía en la escena;

realizar una umbralización multinivel de la secuencia dentro de la región de interés, definiéndose dicha umbralización según un nivel de luminancia predeterminado, de modo que se obtenga una secuencia de imágenes binarias;

sumar los píxeles activos en cada imagen y representar la variación del número de píxeles en función del tiempo;

realizar una transformada de Fourier sobre la representación obtenida para cada nivel de luminancia binario;

componer las transformadas de Fourier obtenidas para cada nivel como una señal de caracterización de la escena;

obtener la frecuencia de vibración del objeto como aquella que tiene mayor amplitud en la señal de caracterización de la escena.

El método objeto de la invención permite la medida de vibraciones en objetos de un amplio intervalo de frecuencias mediante la captura y posterior procesamiento de una secuencia de vídeo. La invención permite realizar las medidas a partir de secuencias con muy baja calidad de imagen y sin necesidad de sistemas de iluminación adicionales o de dianas.

Así, respecto de los sistemas ya existentes, la invención se aplica sin contacto y, lógicamente, sin alterar la estructura o superficie objeto de estudio. Además, no es necesaria una distancia próxima al objeto bajo estudio, ya que la distancia a dicho objeto es

función del sistema de vídeo empleado, permitiendo el estudio de estructuras inaccesibles o inseguras. Otro problema técnico que se soluciona, derivado del uso del análisis de la imagen, frente a otros sistemas, es que evita el problema de la atenuación de la señal en función de la distancia.

5

Por otro lado, la invención no requiere iluminación especial y/o instrumentación específica, lo que posibilita también su implementación en cámaras de bajo coste.

10 Aparte de la medida, la invención permite la visualización directa del objeto y análisis más sofisticados basados en unos algoritmos que pueden ser implementados en la propia cámara.

Por último, cabe destacar que, al estar basado en imágenes su uso es posible tanto para objetos macroscópicos como microscópicos.

15

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra "comprende" y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los
20 siguientes ejemplos y dibujos se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que restrinjan la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas.

Breve descripción de las figuras

25

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

30 La FIG.1 muestra un esquema del montaje requerido para la captura de una escena.

La FIG.2 muestra tres imágenes donde la Fig.2a muestra una escena capturada y adaptación a la cuadrícula de sensores en la cámara. En la Fig.2b se muestra la imagen detectada por el sensor digital. Finalmente, en la Fig.2c se muestra la imagen detectada por
35 el sensor digital tras un desplazamiento de la imagen original de 0,25 píxeles.

La FIG.3 muestra cuatro imágenes donde en la Fig.3a se muestra un objeto capturado con cuatro niveles de gris (0-3) sobre un fondo uniforme. En la Fig.3b se muestra una imagen con valores mayores que 0. En la Fig.3c se muestra una imagen con valores mayores que 1 y, finalmente, en la Fig.3d se muestra una imagen con valores mayores que 2.

La FIG.4 muestra un ejemplo de una región de interés en escala de grises dentro de una imagen capturada en un ejemplo práctico para determinar la vibración de un diapason de 440 Hz.

La FIG.5 muestra una secuencia de umbralizaciones desde el nivel 32 al 255 cada 32 niveles de la imagen de la figura 4.

La FIG.6 muestra el producto de las transformadas de Fourier obtenidas a partir de la variación de píxeles en cada secuencia umbralizada de la figura 5.

La FIG.7 muestra el producto de las transformadas de Fourier obtenidas a partir de la variación de píxeles en cada secuencia umbralizada para un ejemplo de un altavoz vibrando a 290 Hz.

Exposición de un modo detallado de realización de la invención

La presente invención se basa en técnicas sub-píxel donde es posible la detección de movimientos con elevada precisión. Para una mejor comprensión de la invención se considera un objeto puntual y se detecta que este objeto se ha desplazado cuando su detección sobre la matriz detectora de la cámara pase de un píxel a otro píxel. Así, en plano imagen, la resolución nominal de la cámara será de 1 píxel.

Se considera a continuación que el objeto a detectar es más pequeño que un píxel. En ese caso, la cámara no será capaz de resolverlo y todo el píxel proporciona una respuesta independientemente del punto concreto en que se encuentre el objeto dentro de ese píxel. Si se consigue que el objeto por debajo del tamaño del píxel (objeto sub-píxel) se encuentre en un lateral de la zona útil del sensor óptico de la cámara, bastará un pequeño desplazamiento para pasar a otra área. Así, la detección del movimiento no requiere del desplazamiento de un píxel completo.

El punto desplazado se mueve dentro del nuevo píxel sin que el movimiento sea detectado y sólo cuando cambie nuevamente de píxel, se detecta un nuevo movimiento. Esto provoca que la detección de movimiento no sea continua, sino que se producen saltos.

5

Para evitar dicho problema, se debe asegurar que un segundo punto realice la detección una vez que el primero está amortizado. Con dos puntos en píxeles diferentes, el primero de ellos localizado en la mitad derecha del sensor y el segundo en la mitad izquierda, se podrán detectar saltos de medio píxel. En general, se necesitan tantos puntos adicionales como fracciones de píxel se quieran detectar.

10

En [D. Mas, B. Ferrer, J. T. Sheridan, J. Espinosa "Resolution limits to object tracking in subpixel accuracies" *Opt. Letters*, 53, 23 4877-4879 (2012)] se demuestra de modo teórico que la capacidad de detección de este sistema es del orden de la inversa del número de píxeles totales en el detector, pudiéndose llegar a resoluciones de micro-píxeles.

15

La invención que se presenta trata sobre el uso de la teoría expuesta para la medida de vibraciones. Tal y como se ha expuesto, los objetos que permiten una resolución subpíxel presentan unas propiedades específicas y no son objetos naturales. Por tanto, el uso de esta técnica en todo su potencial requiere del diseño de dianas especiales que deberían adherirse al sujeto objeto de estudio. Sin embargo, la invención usa objetos cotidianos, a costa de perder resolución respecto al límite teórico, tal y como se muestra en las figuras 1 y 2.

20

Más concretamente, la invención comprende una primera captura de una imagen del objeto (4) mediante una cámara (1) cuya frecuencia de adquisición debe ser, al menos, del doble de la frecuencia de vibración a registrar.

25

En la presente invención por escena (2) se entiende la imagen de una región de interés de un determinado objeto (4) capturada mediante la cámara (1).

30

El objetivo (3) es variable, en función de la distancia del objeto (4) respecto de la cámara (1), todo ello con el fin de maximizar el tamaño del objeto (4) o de la zona de interés sobre el sensor de la cámara (1).

35

Los objetos reales (4), en general, tienen formas complejas, que no se ajustan a la estructura cuadriculada (5) del sensor de las cámaras digitales (generalmente CCD y/o CMOS). Así, es posible encontrar píxeles completamente ocupados por el objeto y píxeles en los que el área está compartida por el objeto y el fondo (6).

5

Si, simplificando, admitimos que el sensor sólo dará respuesta blanca o negra, el píxel del contorno se asignará a uno de esos valores en función de que la zona dominante sobre el píxel pertenezca al objeto o al fondo y la imagen final ya no tendrá un perfil suave sino recortado (7). Si el objeto se mueve ligeramente, aunque sea una cantidad menor que un pixel, la proporción de áreas en algunos de los píxeles del contorno cambiará, lo que producirá un ligero cambio en el perfil (8). Este pequeño cambio sólo afectará a pocos píxeles pero será suficiente para ser detectado. Desplazamientos mayores de un píxel pueden ser detectados con facilidad y no son objeto de esta patente.

10

15 En función de la complejidad del objeto, un pequeño movimiento supondrá un cambio en el estado de diferentes píxeles. Aunque el movimiento simple es fácil de detectar, en una escena completa resulta difícil controlar qué píxeles han cambiado y qué dirección, con lo que el método propuesto no puede realizar un seguimiento completo del objeto.

20 No obstante, si el objeto vibra, se producirá un cambio de píxeles con un patrón definido, de modo que se activarán y desactivarán determinados píxeles a intervalos regulares. Simplemente contando el número de píxeles que cambian y realizando un análisis de Fourier de la imagen capturada es posible detectar la existencia de dicho patrón de vibración y determinar la frecuencia de la misma.

25

En todo caso, los objetos no son en blanco y negro puros, ni presentan contornos bien definidos, sino que las transiciones son suaves. Suponiendo una imagen en tonos de grises, un movimiento se apreciará como un ligero cambio en la luminancia de algunos píxeles debido a un cambio en la región dominante en el área del detector. Esos cambios suelen ser sutiles y difíciles de apreciar, lo que dificulta la aplicación directa del método explicado anteriormente. Además, el movimiento de la imagen puede ser sutil y no afectar al contorno del objeto sino a las sombras o a la luz difundida por el objeto, produciendo pequeñas alteraciones.

30

35 En cualquier caso, un movimiento se traducirá como cambios en la distribución de

luminancias en el objeto que habrá que cuantificar. Podemos, no obstante transformar el objeto en un objeto binario mediante umbralizaciones multinivel.

En la figura 3 se considera un objeto sencillo (9). Este objeto se ha considerado que sólo tiene 4 niveles de gris. A partir del objeto podemos obtener los diferentes umbrales determinando los píxeles cuyo valor es mayor que cero (10), mayor que uno (11) y mayor que dos (12). Estos perfiles son imágenes binarias a los que se aplica el método explicado anteriormente.

- 10 La idea es fácilmente generalizable a una escena con N niveles, de la que se obtienen N-1 secuencias binarias para analizar. Admitiendo que el objeto bajo estudio se moverá de forma homogénea, todos los niveles cambiarán de forma parecida, con lo que, en general no será necesario estudiar todos los niveles.
- 15 Una posible limitación del método es que cualquier variación en la escena debida a movimiento, sombras o cambio en la iluminación va a producir un cambio en los diferentes niveles de gris detectados y, por tanto, no será sencillo discriminar qué cambios se deben a movimientos y cuales se deben a otras causas.
- 20 Como se ha indicado, un objeto en vibración producirá alteraciones periódicas en su luminancia. Esas alteraciones periódicas se verán reflejadas en cada secuencia binarizada y podrá ser identificada sobre el ruido mediante un análisis de Fourier. Además, el hecho de contar con múltiples secuencias binarias proporciona información redundante que puede ser utilizada para reforzar la detección. La media o el producto de las transformadas obtenidas
- 25 en cada nivel reforzará los picos de detección y cancelará el ruido de la imagen.

Ejemplo de medida en un diapasón a 440 Hz

El método explicado se ha utilizado para determinar la vibración de un diapasón de 440 Hz.

- 30 La cámara utilizada ha sido una Casio EXFH100 grabando a 1000 fps con una resolución de 224x64 píxeles (ancho por alto) situada a 75 cm del diapasón. En la figura 3 se muestra el diapasón, es decir, el objeto (9), sobre un fondo uniforme. Para iluminar se utiliza la luz ambiente del laboratorio y una lámpara halógena de 50 W conectada a un transformador de corriente continua para evitar las oscilaciones de luz debidas a la corriente alterna (100 Hz).
- 35 La distancia entre la lámpara y el diapasón es de 50 cm con un ángulo de iluminación de 45°

respecto al eje cámara-objeto.

Tras golpear el diapasón con un martillo de goma se filmó la escena. Los primeros tres segundos de la filmación son desechados para minimizar el efecto de la vibración de la cámara producida al pulsar el disparo. Se ha tomado una secuencia de 1 segundo (1000 fotogramas) para su análisis.

De la secuencia, el estudio de la vibración se ha centrado en la parte superior de una varilla. Se ha seleccionado un rectángulo de 15 x 12 píxeles al que se ha aplicado el método descrito.

El procedimiento seguido una vez establecida la zona de interés ha sido la siguiente: se ha convertido la imagen a niveles de gris y se ha extendido el rango dinámico de la imagen mediante una la redefinición del blanco y el negro y la transformación lineal de las luminancias (figura 4). Seguidamente se han establecido 8 niveles de umbralización, cada 32 niveles de gris, (figura 5) y se han analizado la variación del número de píxeles blancos respecto al primer fotograma.

La variación obtenida se ha estudiado mediante el análisis de Fourier. Las transformadas obtenidas para cada umbralización se han multiplicado con el fin de reforzar los picos y cancelar el ruido. En la figura 6 se aprecia el producto de las transformadas de Fourier con el pico de frecuencia obtenido, con un error de ± 1 Hz. Se puede apreciar claramente que el método detecta con gran precisión la frecuencia de movimiento del diapasón, proporcionando un resultado de 441 Hz.

Ejemplo de medida en un altavoz a 290 Hz

Siguiendo el mismo método se ha estudiado la vibración de una membrana de altavoz vibrando a 290 Hz. La distancia entre la cámara y el altavoz es de 75 cm. Para iluminar el objeto se ha utilizado una lámpara halógena de 50 W conectada a un transformador de corriente continua. Dado que la membrana del altavoz es de color negro-mate, la luminaria se colocó a 50 cm frente al objeto, formando un ángulo de 15° respecto de la línea imaginaria que une el objeto y la cámara.

Al igual que anteriormente se tomó una secuencia de varios segundos a 1000 fps y 224x64

píxeles de resolución. Los primeros tres segundos fueron desechados por la oscilación de la cámara siendo analizados 1000 fotogramas. El volumen del altavoz se estableció por debajo de los 35 dB, de modo que el sonido emitido quedaba por debajo del ruido ambiente.

- 5 De la secuencia anterior se ha analizado una región de interés de alto contraste con el fin de maximizar el número de niveles y así asegurar una detección óptima.

Siguiendo exactamente el proceso descrito para el diapasón se ha obtenido la transformada de Fourier del número de píxeles en cada umbral. El producto de las ocho transformadas
10 obtenidas se muestra en la figura 7, donde se aprecia que el método proporciona resultados satisfactorios con un error de ± 1 Hz

El presente método puede ser implementado de distintas formas, bien en un ordenador personal, bien en un procesador destinado a tal efecto e integrado en la propia cámara. En
15 cualquier caso, el sistema comprende al menos una cámara, uno o más procesadores, una o más memorias y uno o más programas en el que el o los programas están almacenados en la memoria y configurados para ejecutarse mediante, al menos, el o los procesadores, incluyendo los programas instrucciones para ejecutar el método descrito.

- 20 Finalmente, el método tiene múltiples posibles usos sin modificación de sus características esenciales como por ejemplo:

- Medida de pequeñas vibraciones en pequeños objetos. Si el objeto es de pequeño tamaño y de formas irregulares resulta difícil proyectar un patrón de
25 speckle o usar métodos de contacto.
- Medida de vibraciones en estructuras civiles. Es particularmente interesante para medida de estructuras inaccesibles, o cuya cercanía implique peligro.
- Interceptación de conversaciones móviles mediante lectura de vibración del terminal.
- 30 - Medida de variaciones periódicas en imágenes astronómicas o de satélite, tales como seguimiento de objetos, pulsaciones, variaciones en brillo/reflectividad.
- Realización de mapa de vibraciones de una escena mediante una secuencia única y análisis zonal.
- Medida de constantes vitales (pulso y respiración) mediante cámaras webcam.
- 35 - Medida de variaciones periódicas en imágenes biológicas.

- Detección de cambios en imágenes de baja resolución, tales como resonancias, radiografías.
- Seguimiento de variaciones periódicas ultra-lentas mediante combinación de la técnica explicada y fotografía time-lapse.

5

En general, dado que el método se basa en un análisis de imagen es posible aplicarlo a cualquier secuencia o stack de vídeo de cualquier procedencia en la que se sospeche un cambio periódico. La frecuencia límite de detección dependerá de la frecuencia de muestreo temporal, que podrá ser de pocas décimas o centésimas de Hertzio (fotografía time-lapse) o

10

de varios cientos de Hertzios (vídeo alta velocidad).

REIVINDICACIONES

1 – Método para medir vibraciones en un objeto (4,9) que comprende:

capturar una secuencia de imágenes de dicho objeto (4,9) con una cámara (1),
5 donde dicha cámara (1) tiene una frecuencia de adquisición de al menos el doble de la frecuencia de las vibraciones a medir;

seleccionar una región de interés dentro de la secuencia de imágenes capturadas definiendo una escena (2);

realizar una umbralización multinivel de la secuencia dentro de la región de interés
10 (9), definiéndose dicha umbralización según un nivel de luminancia predeterminado en la que los píxeles de la región de interés que sobrepasen el valor de luminancia son activados (valor uno) y el resto son desactivados (valor cero) de modo que se obtenga una secuencia de imágenes binarias para cada nivel de umbralización (10,11, 12);

caracterizado por que comprende, además, las etapas de:

15 identificar una pluralidad de píxeles cuya luminancia varía en la escena (2);

sumar los píxeles activos en cada escena de la imagen y representar la variación del número de píxeles en función del tiempo;

realizar una transformada de Fourier sobre la representación obtenida para cada nivel de luminancia binario;

20 componer las transformadas de Fourier obtenidas para cada nivel como una señal de caracterización de la escena (2) mediante el cálculo de la media de las transformadas de Fourier aplicadas, o del producto de dichas transformadas entre sí y obtener la frecuencia de vibración del objeto (4,9) como aquella que tiene mayor amplitud en la señal compuesta.

25 2 – Sistema para medir vibraciones en un objeto (4,9) que comprende, al menos una cámara (1), al menos un procesador, al menos una memoria y al menos un programa almacenado en la memoria y configurado para ejecutarse mediante el procesador, donde el programa comprende instrucciones para ejecutar el método según la reivindicación 1.

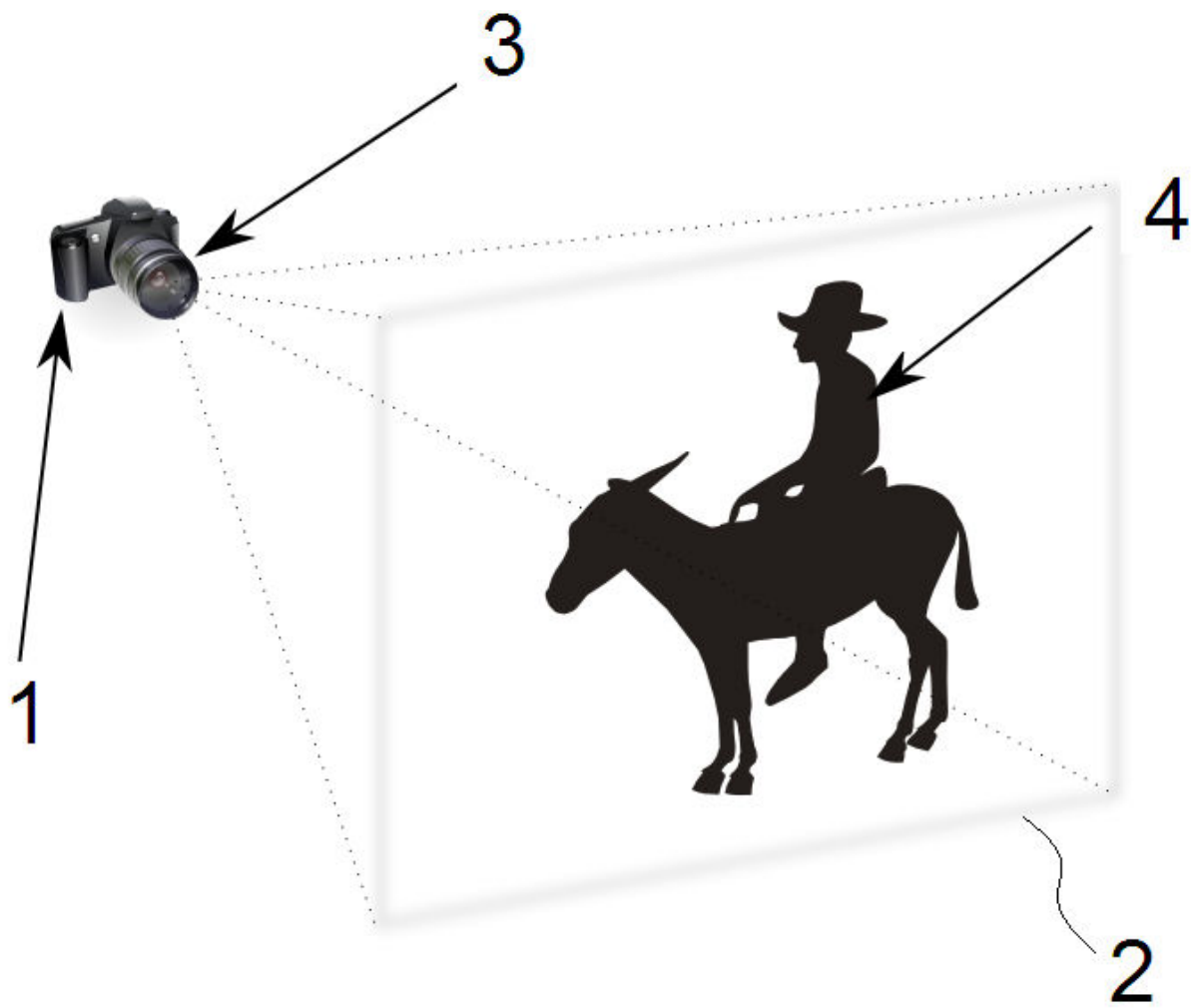


FIG.1

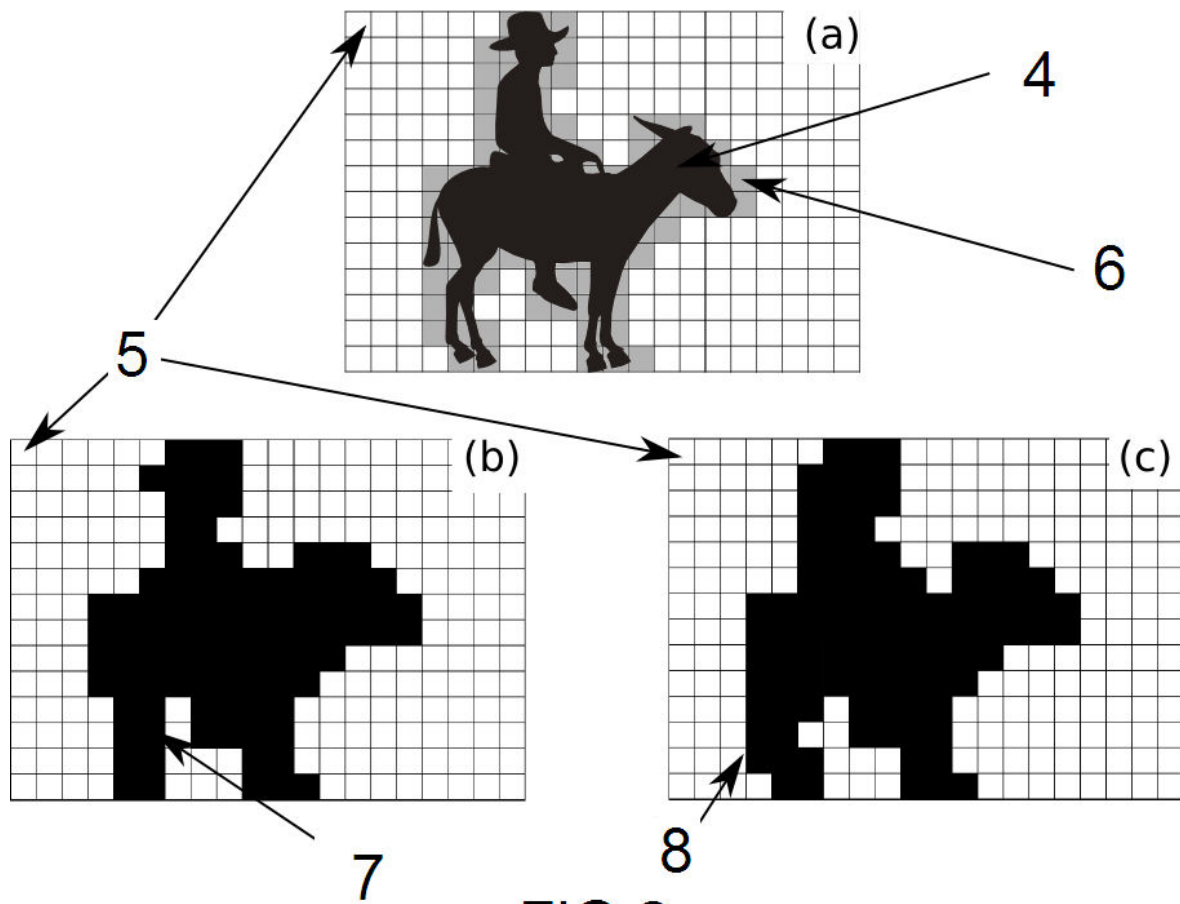


FIG.2

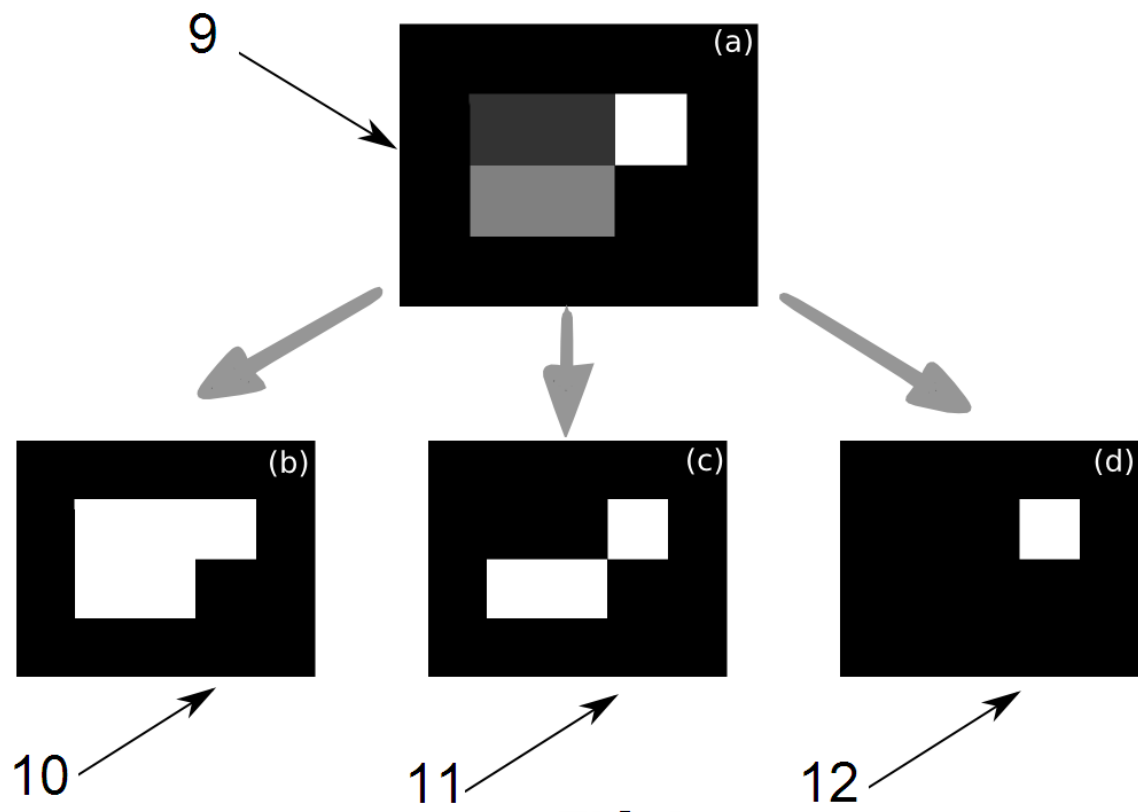


FIG.3

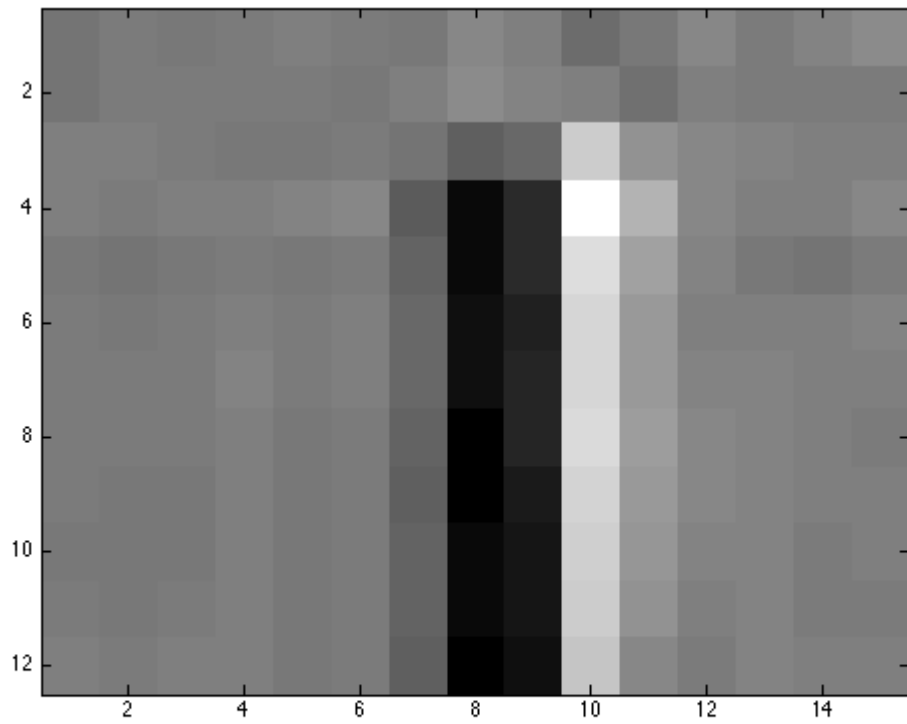


FIG.4

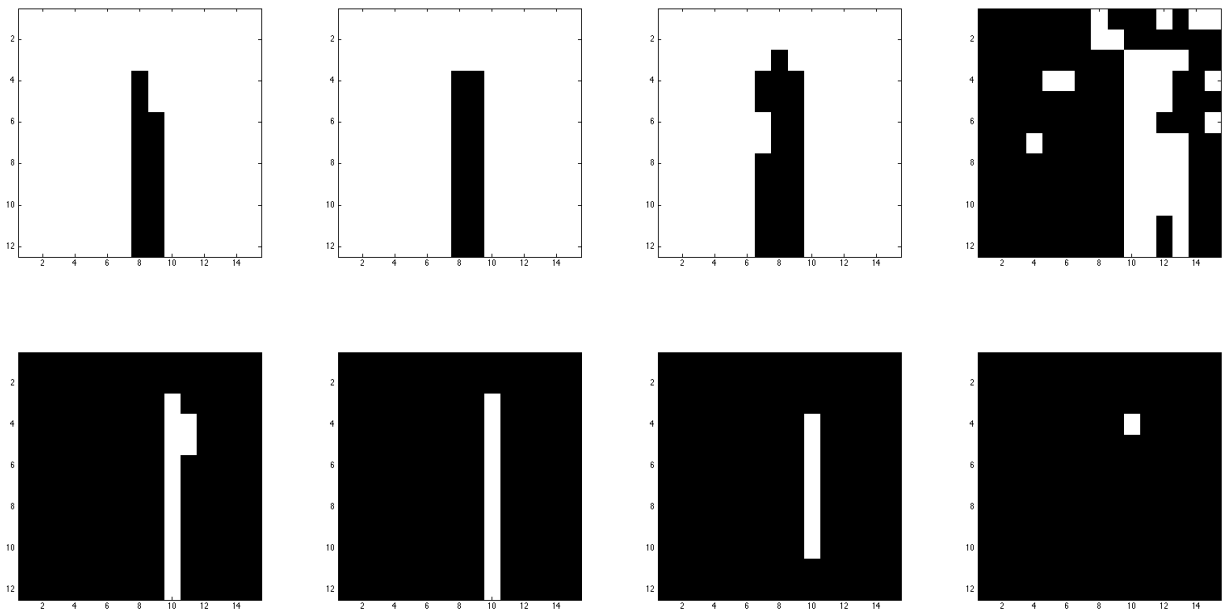


FIG.5

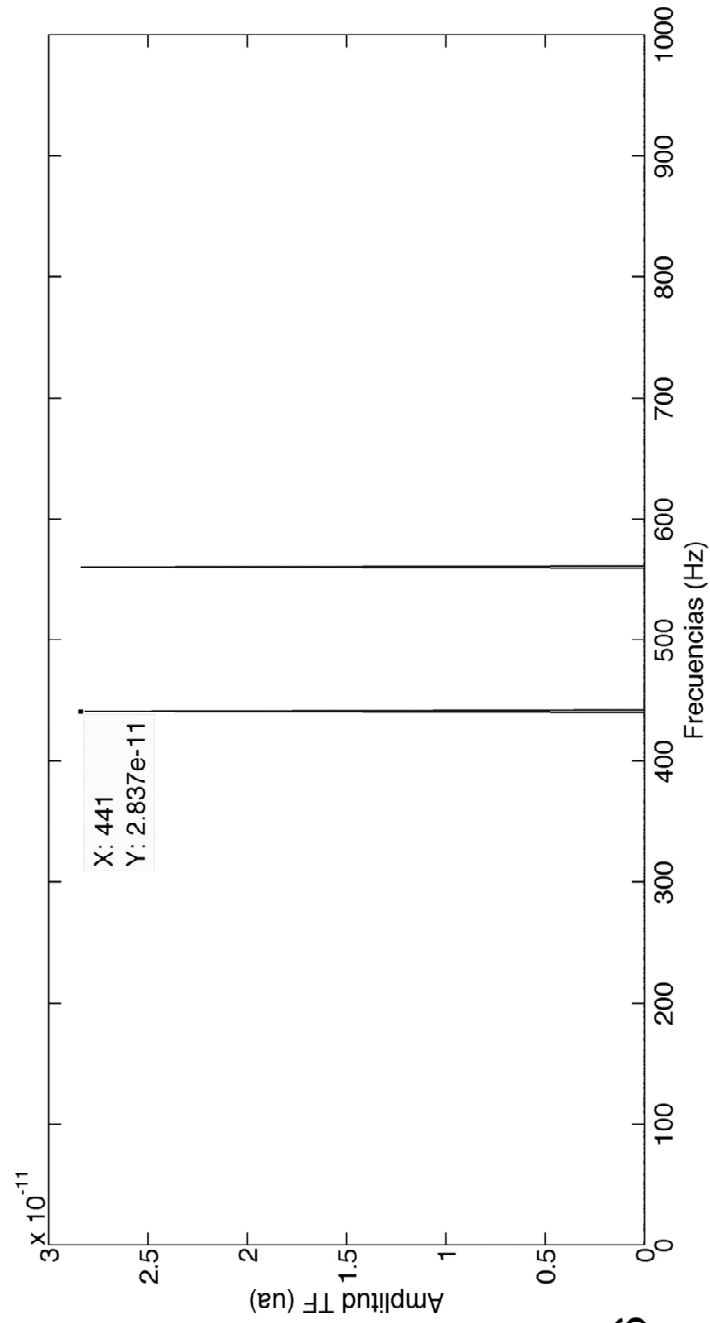


FIG.6

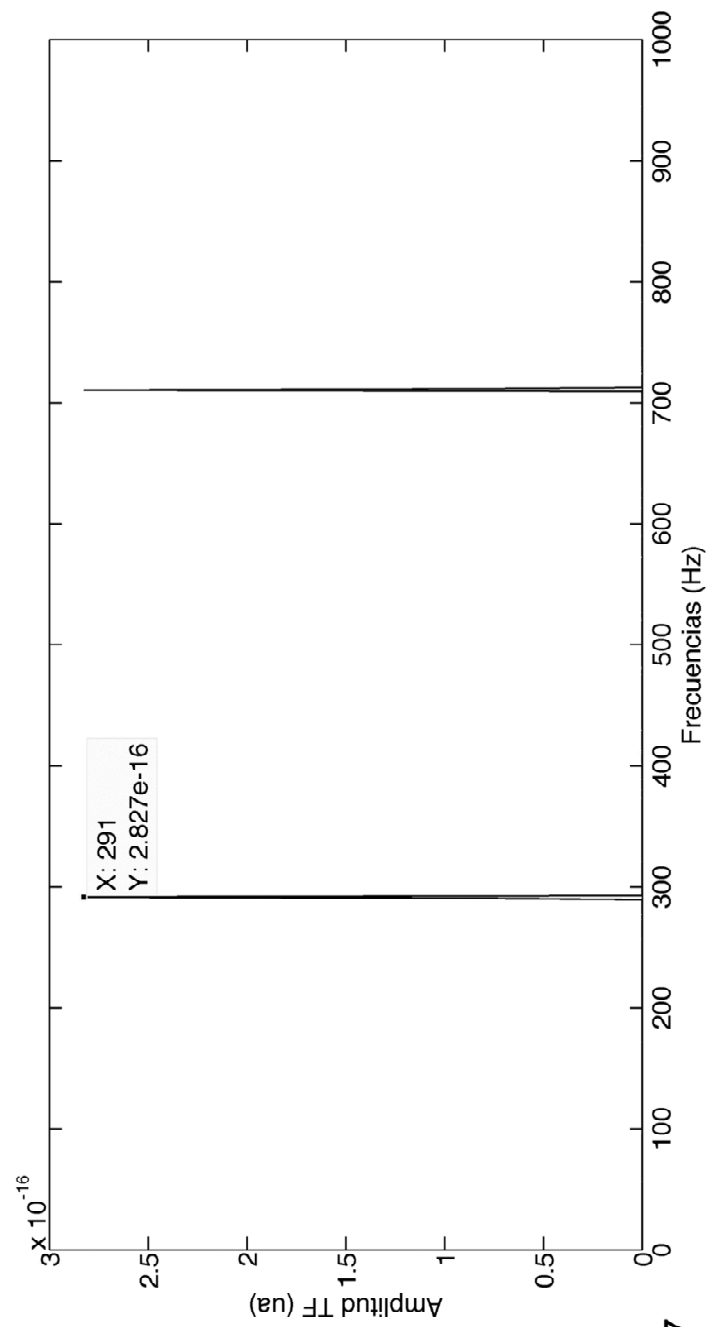


FIG.7