

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 859**

51 Int. Cl.:

**G01B 9/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.07.2008 PCT/IL2008/001008**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.01.2009 WO09013738**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.07.2008 E 08776638 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.09.2018 EP 2183543**

54 Título: **Sistema y procedimiento de detección de movimiento**

30 Prioridad:

**26.07.2007 IL 18486807**

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

**29.04.2019**

73 Titular/es:

**BAR ILAN UNIVERSITY (50.0%)  
52115 Ramat Gan, IL y  
UNIVERSITAT DE VALENCIA (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ZALEVSKY, ZEEV y  
GARCÍA, JAVIER**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 710 859 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

Sistema y procedimiento de detección de movimiento

### Campo de la invención

5 La presente invención se encuentra en el campo de la detección y reconocimiento de movimiento. Es particularmente útil para la detección y el reconocimiento de movimientos asociados con varios sonidos, por ejemplo, latidos cardíacos y voz.

### Antecedentes

10 La identificación de movimiento es útil en una amplia gama de aplicaciones, que incluyen, por ejemplo, el control de producción de fabricación, vigilancia y aplicaciones biomédicas. Se han desarrollado varios procedimientos mediante los cuales se puede identificar automáticamente el movimiento, incluyendo la detección de movimiento mecánica, electrónica, óptica y acústica.

15 Por ejemplo, la detección óptica de movimiento se puede realizar mediante una técnica basada en moteado, tal como la interferometría electrónica de patrones de moteado (ESPI). La ESPI se ha utilizado para mediciones de desplazamiento y análisis de vibraciones, dirigidas a amplitudes, pendientes y modos de vibración. Las técnicas basadas en moteado también se han utilizado para medir la medición de deformación. La detección óptica puede ser la única opción viable si el entorno de un objeto en movimiento dificulta la propagación del sonido o lo altera de forma impredecible.

20 La detección acústica es especialmente útil en entornos que evitan la propagación de la luz de un objeto en movimiento a un observador. Para la detección acústica, el movimiento a detectar debe estar asociado con un sonido. Sin embargo, es posible que el entorno del objeto en movimiento no permita la propagación del sonido más allá de un cierto rango de distancia. En particular, esto ocurre cuando se producen sonidos detrás de una ventana (por ejemplo, dentro de una habitación). Del mismo modo, el movimiento de interés puede estar asociado con sonidos que pueden ser remotos o débiles. Si por alguna razón los sonidos se deterioran antes de que lleguen a un observador remoto, la detección de sonido debe ser indirecta. Esta detección indirecta puede basarse en medios ópticos.

25 En particular, considerando el ejemplo de los sonidos producidos detrás de una ventana, pueden detectarse mediante la detección de un reflejo del rayo láser desde la ventana. Para la generación del reflejo, el rayo láser puede proyectarse en la ventana. La detección del reflejo puede ser realizada por un interferómetro óptico. Luego se pueden extraer (reconocer) los sonidos procesando la señal electrónica de salida del interferómetro. La salida del interferómetro es indicativa de los sonidos producidos detrás de la ventana porque los sonidos vibran en este último y modulan en fase el reflejo del rayo láser. Sin embargo, en esta técnica de detección de sonido basada en interferencias, todos los sonidos que vibran en la ventana participan en la modulación de fase. En consecuencia, se detectan en suma (es decir, como superposición) y para su separación se debe realizar un procedimiento de separación de fuente ciega. Además, en esta técnica, el láser de proyección y el módulo de interferómetro de detección deben colocarse de tal manera que el haz reflejado especularmente se dirija hacia el módulo de detección. Esta técnica basada en interferencias requiere una calibración complicada antes de la operación y el control de errores durante la operación.

30 La detección de movimiento es útil en aplicaciones biomédicas. Por ejemplo, se puede usar para la detección y el control de la enfermedad cardíaca coronaria (CHD). La CHD, junto con la insuficiencia cardíaca congestiva, está conectada con el movimiento regional y global del ventrículo izquierdo (LV) del corazón: la CHD generalmente produce anomalías en el movimiento de la pared. Por ejemplo, si los segmentos locales de la pared del LV se mueven débilmente, esta afección se conoce como hipocinesia; si no se mueven en absoluto, esta afección es acinesia; y si se desincronizan con el resto del corazón, esta afección es la discinesia. A veces, el movimiento en múltiples regiones, o todo el corazón, está comprometido. Los latidos del LV se pueden visualizar de varias maneras. El procedimiento más común de esto es el ecocardiograma, una prueba que usa ondas de sonido para crear una imagen en movimiento del corazón. En esta prueba, las ondas de sonido de alta frecuencia son emitidas por un transductor colocado en las costillas del paciente cerca del esternón y dirigido hacia el corazón. Los ecos de las ondas de sonido se recogen y se transforman como impulsos eléctricos en una máquina de ecocardiografía. La máquina convierte estos impulsos en imágenes en movimiento del corazón.

35 40 45 50 55 Los latidos cardíacos se pueden monitorear con otros procedimientos, especialmente si se necesita una imagen menos detallada. Por ejemplo, para la detección de la frecuencia cardíaca y el pulso hay tres técnicas principales en uso: (1) detectar el flujo sanguíneo en los capilares de un dedo o lóbulo de la oreja con un sensor infrarrojo; (2) detectar la señal eléctrica de ECG del corazón en el área de la mano; y (3) detectar la señal eléctrica de ECG del corazón con electrodos de tórax, comúnmente unidos a una correa elástica que rodea el tórax. Un circuito de tiempo mide el intervalo entre cada latido, promedia los intervalos durante un corto período de tiempo y lo convierte en una lectura de la frecuencia cardíaca expresada en latidos por minuto. Típicamente, un usuario de un monitor de frecuencia cardíaca debe dejar de hacer ejercicio y sostener su dedo sobre el sensor y estar muy quieto, mientras se

realiza la medición.

### Descripción

5 Existe una necesidad en la técnica de una nueva técnica de detección óptica de movimiento, capaz de detección indirecta de sonido y voz. Una nueva técnica presentada aquí, desarrollada por los inventores y basada en imágenes ópticas, tiene adaptaciones (versiones, realizaciones) útiles para tal detección. La técnica es útil para la detección de movimientos que contienen un componente de inclinación.

10 La técnica incluye imágenes de un patrón de moteado coherente formado por un objeto o sujeto o, en general, una superficie de interés. El patrón se puede formar mediante la iluminación de la superficie fija o en movimiento de interés por la luz coherente de un láser u otra fuente de luz. Preferiblemente, el movimiento de la superficie incluye un componente de inclinación. El movimiento de la superficie puede ser, por ejemplo, de tipo vibración. La vibración puede ser causada por un sonido o la vibración en sí misma puede producir un sonido, produciendo así el movimiento de la superficie de interés asociado con el sonido. El movimiento de la superficie de interés también se denomina aquí *movimiento de interés*.

15 Los documentos WO02005090908 y US3804521 describen un procedimiento y un sistema para medir la rugosidad de la superficie y la posición de una superficie rugosa utilizando el patrón de moteado de la superficie de la imagen. GREGORY ET AL: "Basic physical principles of defocused speckle photography: a tilt topology inspection technique", OPTICS AND LASER TECHNOLOGY, ELSE-VIER SCIENCE PUBLISHERS BV., AMSTERDAM, NL, vol. 8, no. 5, 1 de octubre de 1976 (1976-10-01), páginas 201-213, generalmente analiza la fotografía de moteado desenfocada y enfocada para medir la orientación y la posición de una superficie. SJOEDAHL M: "Calculation of speckle displacement, decorrelation and object-point location in imaging systems", APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC; US, vol. 34, no. 34, 1 de diciembre de 1995 (1995-12-01), páginas 7998-8010, y SJOEDAHL M: "ELECTRONIC SPECKLE PHOTOGRAPHY: MEASUREMENT OF IN-PLANE STRAIN FIELDS THROUGH THE USE OF DEFOCUSED LASER SPECKLE", APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC; EE.UU., divulgan la detección de deformación y tensión de una superficie utilizando espectroscopia desenfocada de moteado.

25 En la técnica de los inventores, la obtención de imágenes emplea el enfoque en un plano o superficie que se encuentra entre la superficie en movimiento y una unidad de obtención de imágenes (superficie de detección de luz) o en un plano o superficie detrás de la superficie en movimiento. Tales planos o superficies se denominan aquí *planos desplazados*. Los planos que se encuentran entre la superficie en movimiento y la unidad de obtención de imágenes se denominan aquí *planos desplazados hacia adelante*; y los planos que están más allá de la superficie en movimiento, mirando desde la unidad de obtención de imágenes, se denominan aquí *planos desplazados hacia abajo*. En algunas realizaciones, la imagen utiliza el enfoque en un plano desplazado hacia delante que está en el campo lejano de la superficie en movimiento. Dichos planos o superficies se denominan en este documento *planos desplazados hacia adelante*. En algunas otras realizaciones, la obtención de imágenes utiliza el enfoque en un plano desplazado hacia abajo que se encuentra en el campo lejano de la superficie en movimiento. Dichos planos o superficies se denominan aquí *planos desplazados hacia abajo en el campo lejano*. Si bien algunas de las siguientes consideraciones abordan directamente el caso de la obtención de imágenes que emplea el enfoque en los planos desplazados hacia adelante o los planos desplazados hacia adelante del campo lejano, estas consideraciones pueden aplicarse de manera apropiada al caso de utilizar el enfoque en los planos desplazados hacia abajo o desplazados hacia abajo en el campo lejano.

30 Los inventores han encontrado que en los planos desplazados hacia adelante, un patrón de moteado coherente asociado con la superficie de interés se vuelve generalmente estacionario, y en los planos desplazados hacia delante en el campo lejano, el patrón de moteado coherente se vuelve aún más estacionario (sustancialmente estacionario). La estacionariedad es en realidad cuasi estacionariedad (estacionariedad aproximada); aparece en los planos desplazados hacia adelante si la superficie de interés, mientras se mueve, mantiene su forma constante o cambia esta forma relativamente lentamente. La (cuasi) estacionariedad del patrón de moteado restringe efectivamente la variación del patrón de moteado al desplazamiento en correspondencia con el movimiento de interés. Este efecto es más evidente en los planos desplazados hacia adelante en el campo lejano. Este efecto no se utiliza en las técnicas de obtención de imágenes típicas, ya que se enfoca en la superficie de interés.

35 Se debe tener en cuenta que la técnica de la invención se puede utilizar para la extracción de movimiento incluso en casos en que solo una determinada región de la superficie de interés mantiene su forma constante o cambia su forma cuasi estacionaria: si un movimiento o sonido que debe ser detectado se asocia con toda la superficie de interés, entonces este movimiento o sonido puede extraerse del movimiento de esta región.

40 La estacionariedad también aparece para los planos desplazados hacia abajo y los planos desplazados hacia abajo en el campo lejano. Es posible que el patrón de moteado no alcance estos planos porque el objeto los separa del origen del patrón de moteado; por ejemplo, el patrón de moteado no alcanzará estos planos si el objeto (superficie de interés) es opaco. Sin embargo, esto no impide la obtención de imágenes enfocando en uno de estos planos desplazados hacia abajo y desplazados hacia abajo en el campo lejano. La unidad de obtención de imágenes enfocada en un plano desplazado hacia abajo seguirá recibiendo el patrón de moteado originado desde el objeto, no

desde el plano desplazado hacia abajo. Este patrón dará como resultado una imagen que sería producida por un patrón de moteado *convergente* que se origina en el plano desplazado hacia abajo, se propaga a través del verdadero punto de nacimiento del patrón de moteado, y divergente a partir de este punto, a pesar de que, de hecho, el patrón de moteado se originaría en el punto iluminado con luz coherente (es decir, su punto de nacimiento).

- 5 Se debe tener en cuenta que enfocar un plano desplazado hacia abajo o desplazado hacia abajo en el campo lejano puede ser muy útil cuando la unidad de obtención de imágenes está demasiado cerca de la superficie de interés: si la unidad de obtención de imágenes requiere detalles demasiado especializados (por ejemplo, lentes) y / o si la obtención de imágenes de la superficie no está en el campo lejano del objeto de interés (campo lejano del punto original del patrón de moteado). La unidad de obtención de imágenes puede entonces enfocarse en un plano  
10 desplazado hacia abajo que se encuentra en el campo lejano de la superficie de interés; la propiedad estacionaria aparecerá gracias al principio de reversibilidad de la luz.

- Considerando el uso de la estacionariedad, el movimiento de interés (o el movimiento de cierta región de la superficie de interés) se puede extraer de las trayectorias espacio-temporales de los moteado. La extracción puede basarse en técnicas de estimación de movimiento (ME), incluidas las basadas en algoritmo de coincidencia de bloques (BMA), modelos paramétricos / de movimiento, flujo óptico y técnicas recursivas pel. La extracción se facilita debido a la estacionariedad del patrón de moteado. Cuando esta última está presente, permite identificar la superficie de interés (o al menos una región de la superficie de interés) en diferentes cuadros y considerar el movimiento de esta superficie de interés (o al menos de la región de la superficie de interés) como movimiento de un cuerpo rígido. Por lo tanto, la estacionariedad permite rastrear una cierta región de la superficie de interés o la  
15 superficie completa de interés, y extraer de su movimiento un tipo especial de movimiento, por ejemplo, un movimiento oscilatorio asociado con el sonido. Debe notarse, que ocurre con bastante frecuencia, que el movimiento de interés es una superposición de varios movimientos, uno o más de los cuales es/ son de un tipo especial, por ejemplo, tipo de vibración, pertinente a la aplicación en la que se utiliza la superficie.

- La técnica de la presente invención permite, por ejemplo, la detección de sonidos producidos por una fuente remota. Estos sonidos pueden estar distorsionados o débiles cuando llegan a un punto de observación o pueden no llegar a ese punto en absoluto. Los sonidos pueden asociarse con superficies cuyos movimientos incluyen movimientos además de las vibraciones de sonido. La técnica también permite la detección separada de varios sonidos, lo cual es útil cuando se producen dos o más sonidos simultáneamente. De hecho, las diferentes regiones de una matriz de detección de píxeles (PDA) de una unidad de obtención de imágenes pueden crear imágenes de diferentes fuentes de sonido. Por lo tanto, la técnica es útil, por ejemplo, para extraer la voz de varias personas que hablan al mismo tiempo. Por consiguiente, la necesidad típicamente presente en las técnicas acústicas para la separación de la fuente ciega se reduce o falta. Además, la técnica de la presente invención es útil para extraer la voz de incluso una persona en un ambiente ruidoso, presente, por ejemplo, en un club nocturno o en la naturaleza en caso de respectivas condiciones meteorológicas.

- 35 La técnica de la invención se basa en la interferencia, pero no requiere un interferómetro: un patrón de moteado generado en una superficie iluminada por un punto de rayo láser (el llamado "patrón de moteado secundario") es en realidad un patrón autointerferente localizado. En los patrones de moteado coherente, cada moteado individual sirve como un punto de referencia desde el cual se pueden rastrear los cambios en la fase de la luz.

- La técnica de la presente invención también proporciona un margen para posicionar una unidad de imagen con respecto a las superficies móviles (por ejemplo, superficies de fuentes de sonido o superficies de objetos que experimentan vibraciones causadas por el sonido). El margen se debe a la divergencia del patrón de moteado: los moteado se deben a la reflexión difusa y se forman espacialmente pequeñas (inicialmente su tamaño es de aproximadamente la longitud de onda óptica), por lo tanto, su difracción se produce en un ángulo amplio (cerca de  $2\pi$  esteradianos). En consecuencia, independientemente en una ubicación de la unidad de obtención de imágenes, pero siempre que la unidad de obtención de imágenes esté orientada correctamente, ésta puede recoger moteado. Sin embargo, para la extracción de movimiento, se prefiere la ubicación de la unidad de obtención de imágenes en el campo lejano de la superficie de interés.

- Los inventores han considerado aplicaciones de su técnica para la detección de varios movimientos, incluidos los asociados con sonidos, tal como la voz y los latidos cardíacos. Para la detección de la voz, los inventores tienen patrones de moteados con imágenes formadas por la reflexión de la luz infrarroja coherente de un cuerpo humano, en particular de la cabeza humana, las mejillas, los pómulos o la garganta de un ser humano. Para facilitar la detección de voz, la unidad de obtención de imágenes ha sido operada con una frecuencia de muestreo de 10 KHz, es decir, con una frecuencia de muestreo superior a 8 KHz, la frecuencia media de Nyquist de voz. La frecuencia Nyquist de voz puede ser menor, por lo tanto, en varias realizaciones de esta técnica, la frecuencia de muestreo de la unidad de obtención de imágenes puede estar, por ejemplo, entre 2 KHz y 4 KHz, o 4 KHz y 8 KHz, o más alta que 8 KHz.

- Un sistema de detección de movimiento puede incluir una unidad de obtención de imágenes, una unidad de iluminación (por ejemplo, un láser) y una unidad de extracción (por ejemplo, una computadora programada para extraer la voz o las vibraciones de los latidos cardíacos de las trayectorias espacio-temporales del patrón de moteado, o un circuito integrado específico de la aplicación, ASIC, configurado para extraer vibraciones). La unidad  
60

de obtención de imágenes puede incluir PDA y ópticas adaptadas para obtener imágenes del patrón de moteado relevante. El PDA y la óptica pueden tener una o más de sus características, tal como resolución, tamaño de píxel, tamaño de apertura y distancia focal, determinadas por o limitadas por una distancia de objeto esperada (es decir, una distancia esperada desde la unidad de obtención de imágenes hasta la superficie de interés).

5 Por ejemplo, cuando una superficie asociada con la voz se ubica relativamente lejos, el patrón de moteado que alcanza un plano desplazado hacia adelante en foco o desplazado hacia delante en el campo lejano puede ser grande: la escala del patrón de moteado generado en la superficie de interés aumenta proporcionalmente a una distancia de la superficie de interés. Un objetivo (por ejemplo, una o más lentes) de la unidad de obtención de imágenes proyecta el patrón de moteado en la PDA y, por lo general, desmagnifica la escala del patrón de moteado.  
 10 La unidad de obtención de imágenes debe configurarse para que recoja un número suficiente de moteado dentro del patrón de moteado de la imagen y para resolver los moteado en el patrón recolectado. Por lo tanto, la apertura del objetivo de la unidad de obtención de imágenes debe seleccionarse lo suficientemente grande para recoger al menos varios moteado de un patrón de moteado que se propaga desde la superficie remota de interés. La longitud focal del objetivo se seleccionará de manera suficientemente grande y el tamaño de píxel de la PDA se seleccionará  
 15 de manera suficientemente pequeña para resolver los moteado del patrón de moteado recolectado. Las posibles selecciones de los parámetros ópticos y PDA dependen de la aplicación del sistema de detección de movimiento.

La selección de los parámetros de la unidad de obtención de imágenes también puede depender de factores adicionales, tal como el tamaño del punto iluminado de forma coherente en la superficie de interés, la velocidad de cuadros de PDA y sensibilidad deseadas, el tamaño de PDA disponible o el número de píxeles. Por ejemplo, el  
 20 tamaño del punto iluminado de forma coherente está relacionado con la velocidad de cuadros de PDA y el tamaño y el número de píxeles de PDA. De hecho, si entre dos cuadros la superficie de interés se mueve demasiado, es posible que no haya ninguna región de esta superficie que se ilumine y se capture en imagen en ambos cuadros: la luz que ilumina puede caer sobre una región completamente nueva de esta superficie durante la obtención de imagen del segundo cuadro, o incluso no caer sobre esta superficie, o los moteado reflejados en la intersección de  
 25 las dos regiones iluminadas podrían perder la unidad de obtención de imágenes durante la obtención de imagen del segundo cuadro. El último caso puede ocurrir, por ejemplo, si el reflejo de la intersección iluminada de dos regiones se mueve fuera de la PDA. Por lo tanto, el tamaño del punto iluminado de manera coherente, que depende de una sección transversal del haz de iluminación, puede hacerse más pequeño, si la velocidad de cuadros de la PDA se hace más grande. En general, un producto de estos dos parámetros es mayor si la velocidad esperada del  
 30 movimiento de interés es mayor. De manera similar, en general, el recuento de píxeles de PDA debe ser mayor si la amplitud esperada o la región esperada del movimiento de interés es mayor. Debe observarse, sin embargo, que en algunas realizaciones, el haz de iluminación y / o la unidad de obtención de imágenes se pueden operar para seguir la región determinada de la superficie de interés y / o los moteado generados en esta región.

De acuerdo con lo anterior, los parámetros del sistema de detección de movimiento se pueden optimizar para varias aplicaciones. Por ejemplo, si se necesita una PDA de una velocidad de cuadro relativamente alta en la unidad de imagen, la longitud de onda operativa del sistema de detección de movimiento puede hacerse relativamente corta, es decir, la longitud de onda puede ser del espectro visible en lugar del infrarrojo. Esto se relaciona con el hecho de que, normalmente, las PDA para luz infrarroja son más lentas que las PDA para luz visible. Además, la óptica es típicamente más grande para la luz infrarroja.

40 La elección de la longitud de onda operativa del sistema de detección de movimiento se puede basar también en una cobertura deseada del haz de iluminación y en una seguridad de uso deseada del haz de iluminación. Por ejemplo, la longitud de onda de la luz de iluminación se puede elegir para que esté fuera del espectro visible.

Teniendo en cuenta los tipos de movimiento que pueden detectarse mediante la técnica de la invención, se debe tener en cuenta lo siguiente. En general, el movimiento de una superficie se puede dividir en componentes tal como el movimiento transversal, el movimiento axial y la inclinación (el eje conecta la superficie de interés con la unidad de obtención de imágenes). La técnica de la invención tiene una mayor sensibilidad a la inclinación, que en el plano de detección del reproductor de imágenes (PDA) causa principalmente el desplazamiento del patrón de moteado. El movimiento transversal de la superficie de interés provoca desplazamientos y cambios en la imagen del patrón de moteado, pero en los casos en que la obtención de imagen utiliza el enfoque en un plano desplazado (por ejemplo, hacia adelante o hacia abajo), los desplazamientos causados son a menudo significativamente más pequeños que los desplazamientos causados por la inclinación. Además, si el plano desplazado (por ejemplo, desplazado hacia adelante) está en el campo lejano del punto de origen del patrón de moteado, estos desplazamientos se suprimen: el efecto del movimiento transversal se restringe principalmente a un cambio de la fase del patrón de moteado. El tercer componente de movimiento, el movimiento axial, causa la escala del patrón de moteado. Sin embargo, en muchas aplicaciones la coordenada axial de la superficie de interés cambia solo ligeramente con respecto a una distancia axial entre la unidad de obtención de imágenes y la superficie de interés; el movimiento axial, por lo tanto, puede o no afectar significativamente la imagen del patrón de moteado. Como resultado, la técnica de la invención es principalmente útil para la extracción de los movimientos de inclinación, aunque no se excluye la determinación de una trayectoria de la superficie de interés, incluso cuando el movimiento de interés tiene los tres componentes nombrados.  
 60

A este respecto, debe entenderse que en algunas aplicaciones no se requiere la extracción de todos los

componentes de movimiento. Por ejemplo, los inventores experimentaron con la extracción de la voz humana. En la mayoría de los casos, la voz obtenida era reconocible a pesar de que la extracción se había realizado con la suposición de que el patrón de moteado se había movido solo como resultado de la inclinación (la suposición no era de hecho requerida).

5 Los inventores también han experimentado con vibraciones de partes del cuerpo. En estos experimentos, detectaron sin contacto los latidos cardíacos de los participantes del experimento. Los latidos cardíacos obtenidos fueron repetibles para el mismo participante y diferían de un participante a otro. Los inventores luego desarrollaron un concepto de cardiograma óptico (OCG). OCG se puede usar para determinar afecciones de salud, para autenticación, en detectores de mentiras.

10 Por lo tanto, se proporciona, de acuerdo con un aspecto amplio de la invención, un procedimiento para obtener imágenes de un objeto. El procedimiento incluye obtener imágenes de un patrón de moteado coherente, que se propaga desde el objeto, mediante un sistema de obtención de imágenes centrado en un plano desplazado del objeto.

15 El plano desplazado puede estar ubicado entre el sistema de obtención de imágenes y el objeto; o más lejos del sistema de obtención de imágenes que del objeto.

Por ejemplo, el plano desplazado puede ubicarse más lejos que  $D^2/4\lambda$  del objeto, siendo D y  $\lambda$  respectivamente un tamaño y una longitud de onda del patrón de moteado en el objeto. Este plano está por lo tanto en un campo lejano del objeto.

20 En algunas realizaciones de la invención, la iluminación del objeto con luz coherente se usa para formar el patrón de moteado coherente.

El procedimiento de obtención de imágenes se puede utilizar para obtener imágenes del objeto mientras se mueve. El movimiento puede estar asociado con una vibración, por ejemplo, de la parte de un cuerpo vivo.

La vibración puede corresponder a la voz una secuencia de latidos cardíacos, un latido cardíaco resuelto en la estructura de un latido cardíaco, así como la vibración de una tela en un cuerpo vivo.

25 La parte del cuerpo vivo puede ser al menos una de una articulación de la mano, un torso, una garganta, una fosa temporal, un estómago, una garganta, un pómulos, una cabeza.

En algunas otras realizaciones de la invención, se detecta la vibración de la parte de un vehículo (por ejemplo, de un automóvil). La parte del vehículo puede ser una parte interior, por ejemplo, una parte del motor del vehículo; o una parte exterior.

30 Preferentemente, la obtención de imágenes se repite al menos dos veces para obtener una secuencia de al menos dos imágenes de patrón de moteado.

Por ejemplo, el procedimiento puede incluir extraer la voz de una secuencia de imágenes de una parte del cuerpo vivo, extraer la secuencia de los latidos cardíacos, extraer la estructura de los latidos cardíacos. El procedimiento puede incluir comparar la estructura extraída de los latidos cardíacos con la estructura de un latido del mismo corazón; comparando la estructura del latido cardíaco extraída con la estructura de un latido cardíaco de un corazón diferente.

40 El procedimiento se utiliza en la detección de movimiento. Para este fin, se determina un desplazamiento entre las regiones de un objeto que aparecen en la primera y la segunda imágenes del objeto. Cada una de estas regiones incluye un patrón de moteado estacionario formado por la luz originada en la misma región del objeto y captado en imagen enfocando en un plano que está desplazado del objeto y ubicado en un campo lejano del objeto.

La determinación del desplazamiento se repite al menos dos veces para obtener una secuencia de desplazamientos. En algunas realizaciones de la invención, la secuencia de desplazamientos obtenida se compara con otra secuencia de desplazamientos.

45 Según otro aspecto amplio de la invención, se proporciona un procedimiento para su uso en la detección de movimiento. El procedimiento incluye la determinación de un desplazamiento entre las regiones de un objeto que aparecen en la primera y segunda imagen del objeto, cada una de las regiones incluye un patrón de moteado estacionario formado por la luz originada en la misma región del objeto y captado en imagen enfocando un plano que está desplazado del objeto y se ubica en un campo lejano del objeto.

50 De acuerdo con otro aspecto amplio de la invención, se proporciona un sistema para su uso en la detección de movimiento. El sistema incluye una fuente de un haz de luz coherente y un sistema de obtención de imágenes, el sistema de imágenes puede enfocarse en un plano desplazado de una intersección del haz y un campo de visión del sistema de obtención de imágenes y estar en un campo alejado de la intersección.

El plano de enfoque (enfocado) se puede ubicar entre el sistema de obtención de imágenes y la ubicación de la

intersección; o más lejos del sistema de obtención de imágenes que la ubicación de la intersección.

El sistema de detección puede incluir una unidad de procesamiento asociada con dicho sistema de obtención de imágenes. La unidad de procesamiento está configurada y es operativa para determinar un desplazamiento entre dos imágenes de un patrón de moteado originado en la ubicación de la intersección.

- 5 En su aspecto adicional, la invención proporciona una memoria (memoria técnica) que incluye datos indicativos de una secuencia de imágenes de un patrón de moteado coherente estacionario originado en un sujeto, siendo los datos indicativos de los latidos cardíacos y / o estructura de latidos cardíacos, por lo que la secuencia se habilita para su uso en la determinación de al menos un parámetro fisiológico.

- 10 Al menos un parámetro fisiológico puede incluir al menos uno de los siguientes: una frecuencia cardíaca, una estructura de latidos cardíacos y un cardiograma óptico.

Los datos almacenados pueden incluir la secuencia de imágenes del patrón de moteado coherente estacionario originado en el sujeto; o una secuencia de valores de desplazamientos entre las imágenes en la secuencia de imágenes del patrón de moteado estacionario originado en el sujeto, siendo los valores de desplazamiento indicativos de la frecuencia cardíaca del sujeto.

- 15 La secuencia puede incluir una imagen de al menos una de una articulación de la mano, un torso, una garganta, una fosa temporal.

En otro aspecto adicional, se proporciona una memoria que incluye datos indicativos de una secuencia de imágenes de un patrón de moteado estacionario originado en un sujeto, siendo dicha secuencia indicativa de la voz del sujeto.

- 20 Los datos almacenados pueden incluir la secuencia de imágenes del patrón de moteado estacionario; o una secuencia de valores de desplazamiento entre las imágenes del patrón de moteado coherente estacionario, siendo la secuencia indicativa de la voz. La secuencia puede tomarse con una frecuencia entre 2 y 4 KHz; una frecuencia entre 4 KHz y 8 KHz; una frecuencia superior a 8 KHz. La secuencia puede incluir una imagen de al menos una de una garganta, un pómulo, una cabeza.

- 25 También se proporciona una memoria que incluye datos indicativos de una secuencia de imágenes de un patrón de moteado estacionario originado en un vehículo, siendo las imágenes indicativas de vibraciones asociadas con el vehículo y la secuencia indicativa de la operación del vehículo.

Los datos almacenados pueden ser indicativos de una imagen de una región del interior del vehículo, por ejemplo motor del vehículo; y / o una imagen de una región del exterior del vehículo.

- 30 La invención también proporciona un dispositivo que comprende la memoria descrita anteriormente, y uno o más procesadores configurados para determinar una secuencia de valores de desplazamiento entre las imágenes en la secuencia de imágenes del patrón de moteado estacionario; y / o un espectrograma de una secuencia de valores de desplazamiento entre las imágenes en la secuencia de imágenes del patrón de moteado estacionario. El dispositivo puede configurarse como o incluir una computadora (por ejemplo, una computadora programada).

### Breve descripción de los dibujos

- 35 Para entender la invención y ver cómo se puede llevar a cabo en la práctica, ahora se describirán realizaciones, solo a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La **Fig. 1** es una ilustración esquemática de un sistema de obtención de imágenes que utiliza los principios de la presente invención;

- 40 Las **Figs. 2A-2D** ilustran respectivamente lo siguiente: (A) La imagen de los altavoces; (B) Gráfico de la evolución de la posición del patrón de moteado capturado desde el altavoz izquierdo; (C) El espectrograma reconstruido del altavoz izquierdo; (D) El espectrograma reconstruido del altavoz derecho.

- 45 Las **Figs. 3A-3G** ilustran lo siguiente: (A) - (B) Dos patrones de moteado capturados secuencialmente; (C) La imagen desenfocada de un participante del experimento y de un patrón de moteado que se propaga desde la garganta del participante; (D) Dos ejemplos de evolución de la posición del patrón de moteado; (E) Ampliación de uno de los dos ejemplos anteriores, junto con un gráfico suavizado de la evolución de la posición del patrón de moteado; (F) Vibraciones extraídas del ejemplo anterior de evolución de la posición del patrón de moteado; (G) Espectrograma de una señal de voz (un grito) correspondiente a las vibraciones del ejemplo anterior.

Las **Figs. 4A y 4B** ilustran lo siguiente: (a) Vibraciones de la posición del patrón de moteado causadas por los latidos cardíacos; (b) El espectrograma de la señal de 3A.

- 50 Las **Figs. 5A-5F** muestran diversos cardiogramas ópticos, obtenidos con la técnica de la invención, en el dominio de la frecuencia (las marcas intermedias de los gráficos corresponden a la frecuencia cero).

Las **Figs. 6A-6F** muestran diversos cardiogramas ópticos, obtenidos con la técnica de la invención, en el dominio del tiempo.

**Descripción detallada de realizaciones ejemplares**

5 Con referencia a la **Fig. 1**, se ilustra esquemáticamente un proceso de obtención de imágenes de un patrón de moteado secundario generado en la superficie de un objeto difuso en movimiento. La obtención de imágenes se realiza mediante una unidad de obtención de imágenes **10** en dos casos: cuando el objeto difuso está en una posición y orientación **DO<sub>1</sub>** y cuando el objeto difuso está en una posición y orientación **DO<sub>2</sub>**. La unidad de obtención de imágenes **10** incluye una lente de obtención de imágenes **L** y una matriz de detectores de píxeles **PDA**. La unidad de obtención de imágenes está configurada para enfocarse en un plano desplazado hacia delante **IF**. En ambos casos, el patrón de moteado se forma como un reflejo del haz de luz coherente **LB** (por ejemplo, haz de láser). El patrón de moteado se propaga al plano de enfoque, donde toma una forma **SP<sub>IF,1</sub>** en la primera instancia y una forma **SP<sub>IF,2</sub>** en la segunda instancia. El patrón de moteado continúa propagándose: cruza el plano de enfoque y alcanza la unidad de obtención de imágenes, de modo que la lente de obtención de imagen recoge una parte del patrón de moteado. Para evaluar y usar una variación entre los patrones de moteado en diferentes instancias, los inventores han utilizado un modelo según el cual la forma de la superficie del objeto iluminada por el punto del rayo láser no se cambia en el intervalo de tiempo entre dos cuadros (es decir, no se cambia entre dos instancias de obtención de imagen posteriores). En otras palabras, se supone que la forma de la superficie del objeto es estacionaria (por ejemplo, rígida).

20 Con respecto a los patrones de moteado, se debe tener en cuenta lo siguiente. Los patrones de moteado son patrones aleatorios autointerrumpidos que tienen distribuciones de amplitud y fase relativamente aleatorias. Los llamados "patrones de moteado primario" se pueden generar mediante el paso de la luz iluminada a través de un difusor o un vidrio esmerilado. Los llamados "patrones de moteado secundario" se pueden generar mediante el reflejo de la luz iluminada desde la superficie difusa de un objeto.

25 Un movimiento de una superficie de objeto rígido se puede presentar como una superposición de movimientos básicos de tres tipos: transversal, axial y de inclinación. Normalmente, los tres componentes estarán presentes en la superposición. Sin embargo, estos movimientos se traducen de manera diferente en el plano PDA. Los inventores han descubierto que, debido a la posición desplazada hacia adelante del plano de enfoque de la unidad de obtención de imágenes, la inclinación tiende a producir el efecto principal en el patrón de moteado y este efecto tiende a estar en el desplazamiento del patrón de moteado.

30 De hecho, considerando los efectos de los tres componentes uno por uno, se observa lo siguiente. El primer componente transversal del movimiento del objeto se manifiesta en el desplazamiento transversal del patrón de moteado que se forma. Este desplazamiento es desmagnificado por la unidad de obtención de imágenes después de la proyección del patrón de moteado en el plano de la imagen (plano PDA). El desplazamiento transversal del patrón de moteado proyectado en la PDA se puede expresar a través de una causa de este desplazamiento transversal  $\Delta X$  del objeto: el desplazamiento del patrón es igual a  $\Delta X / M$ , donde un factor de desmagnificación  $M$  es igual a  $(Z_2 + Z_3 - F)/F$ ,  $Z_2$  es una distancia entre el objeto y el plano de enfoque,  $Z_3$  es una distancia entre el plano de enfoque y la lente, y  $F$  es una distancia focal de la lente. El desplazamiento se puede escribir también como  $\Delta X F / (Z_t - F)$ , siendo  $Z_t = Z_2 + Z_3$  una distancia total desde la lente hasta el objeto. Si el reproductor de imágenes (unidad de obtención de imágenes) se enfoca en un plano que se encuentra en el campo lejano del punto del patrón de moteado original, el efecto de la componente transversal se reduce a un cambio de la fase del patrón de moteado.

35 El segundo, componente axial del movimiento del objeto, se manifiesta en un cambio de una escala del patrón de moteado de la imagen. Este cambio es relativamente pequeño, ya que está desmagnificado por la unidad de obtención de imágenes. En términos de la **Fig. 1**, mientras que para el objeto en la posición **DO<sub>1</sub>**, el factor de desmagnificación es igual a  $M = (Z_2 + Z_3 - F)/F$ , para el objeto en la posición **DO<sub>2</sub>**, este factor será igual  $(Z_2 + Z_3 + \Delta Z - F)/F$ ,  $\Delta Z$  es un cambio axial entre la posición **DO<sub>1</sub>** y **DO<sub>2</sub>**. El cambio relativo del factor de desmagnificación será igual a  $(Z_2 + Z_3 + \Delta Z - F)/(Z_2 + Z_3 - F) - 1$ . El cambio relativo se puede escribir también como  $(Z_t + \Delta Z - F)/(Z_t - F) - 1 = \Delta Z / (Z_t - F)$ .

45 A propósito, el tercer componente de inclinación del movimiento del objeto afecta al patrón de moteado de manera similar al primer componente transversal del movimiento del objeto: como resultado de la inclinación, el patrón de moteado en el plano PDA se desplaza. Sin embargo, en contra de la distinción con el desplazamiento causado por la componente transversal, el desplazamiento causado por la inclinación se vuelve más importante cuando la unidad de obtención de imágenes se enfoca en un plano más cercano a la unidad de obtención de imágenes y más lejos del objeto, ya que el último desplazamiento es igual a  $Z_2 \Delta \alpha / M_{IF} = Z_2 F \Delta \alpha / (Z_3 - F)$ , siendo  $\Delta \alpha$  la inclinación, siendo  $M_{IF}$  un factor de desmagnificación para el plano IF. Este desplazamiento se puede escribir también como  $(Z_t - Z_3) F \Delta \alpha / (Z_3 - F)$ .

55 Se puede ver de lo anterior, que la obtención de imagen del patrón de moteado con un enfoque en un plano desplazado hacia adelante y con un enfoque en el objeto conduce a resultados diferentes. Mientras que en este último caso, la condición relevante  $Z_3 \approx Z_t$  resulta en que un movimiento de un objeto remoto (es decir, para qué distancia del objeto  $Z_t \gg F$ ) no se traduzca en un movimiento significativo del patrón de moteado, incluso si el



movimiento tiene los tres componentes, en el primer caso, la condición relevante  $Z_3 < Z_t$  da como resultado que el patrón de moteado en el plano de PDA puede mover una distancia útil para la detección, si el movimiento tiene un componente de inclinación. En otras palabras, se puede concluir que incluso un ligero movimiento del objeto se puede magnificar a desplazamientos significativos en el plano de PDA si el movimiento contiene un componente de inclinación, el objeto está lo suficientemente lejos de la unidad de obtención de imágenes, y el plano de enfoque está suficientemente cerca de la unidad de obtención de imágenes. La obtención de imágenes del patrón de moteado con el enfoque en un objeto conduce más bien a un cambio del patrón de moteado que a su desplazamiento cuando el objeto se mueve.

Se debe tener en cuenta que el aumento de la distancia focal  $F$  hasta valores cercanos a la distancia del objeto  $Z_t$  podría magnificar el desplazamiento lateral en el plano de PDA a valores significativos en el caso de que la unidad de obtención de imágenes se enfoque en el objeto. Sin embargo, esto normalmente requeriría aumentar la longitud del objetivo a valores demasiado grandes. De hecho, en el caso de un objetivo que consiste en una sola lente, la longitud del objetivo, es decir, la longitud entre la lente  $L$  y la matriz de detectores de píxeles de **PDA**, es igual a  $Z_t F / (Z_t - F)$ . Si la distancia focal  $F$  estuviera cerca de la distancia del objeto  $Z_t$ , y el objeto fuera relativamente remoto, la longitud del objetivo podría ser muy grande.

En el caso de que la unidad de obtención de imágenes se enfoque en un plano desplazado hacia adelante, la tarea de magnificar el desplazamiento lateral se puede realizar de manera algo similar, mediante la selección de la posición del plano capturado en imagen desplazado hacia adelante cerca de un plano focal (es decir, seleccionando  $Z_3 \approx F$ ). Sin embargo, en este caso, la distancia focal no tiene que estar cerca de la distancia del objeto  $Z_t$ ; y por lo tanto, si bien puede ser necesario un aumento en la longitud del objetivo, este aumento generalmente puede ser menor.

El caso de la unidad de obtención de imágenes enfocada en un plano desplazado hacia abajo se puede considerar de manera similar al caso de la unidad de obtención de imágenes enfocada en un plano desplazado hacia adelante.

Como queda claro de lo anterior, la técnica de los inventores proporciona un procedimiento conveniente para medir el desplazamiento de un patrón de moteado generado en la superficie del objeto. El desplazamiento se puede proporcionar enfocando la unidad de obtención de imágenes en un plano que esté más cerca de la unidad de obtención de imágenes que el objeto o que esté más alejado de la unidad de obtención de imágenes que el objeto. Particularmente, la unidad de obtención de imágenes puede enfocarse en un plano que se encuentra en el campo lejano del objeto. Los inventores también consideraron la selección de otros parámetros del sistema de detección.

Por ejemplo, la técnica de detección de movimiento inventada puede emplear el seguimiento del patrón de moteado o de una región del patrón de moteado a través de una serie de imágenes (cuadros). El seguimiento puede seguir la intensidad máxima del patrón de moteado. En tal caso, estos valores máximos de intensidad deben ser resueltos por el sistema de obtención de imágenes.

Como se sabe, a una distancia  $Z_2$  desde el punto de formación de moteado de un tamaño  $D$ , un tamaño de moteado promedio alcanza  $\lambda Z_2 / D$ . Aquí  $\lambda$  es una longitud de onda de luz.

Una resolución del patrón de moteado capturado en imagen en el plano del sensor (es decir, el plano PDA) es igual a (en el caso de obtención de imágenes enfocadas en un plano frontal eliminado):

$$\delta x = \frac{\lambda Z_2}{D} \cdot \frac{1}{M_{IF}} = \frac{\lambda F}{D} \cdot \frac{Z_2}{Z_3 - F} \quad (1)$$

En algunas realizaciones, esta resolución es más grande (y, por lo tanto, no está limitada por) que la resolución óptica y geométrica de la unidad de obtención de imágenes. En particular, en algunas realizaciones, la PDA tiene un tamaño de píxel  $p$  menor que uno, o la mitad, del moteado promedio  $\delta x$ . Si el tamaño de píxel  $p$  es  $K$  veces más pequeño que el moteado promedio, entonces  $K$  píxeles detectará un moteado típico en el plano PDA. La última condición se puede escribir como:

$$F = \frac{Kp(Z_3 - F)D}{Z_2 \lambda} \quad (2)$$

En algunas realizaciones, puede aproximarse como:

$$F \approx \frac{Kp Z_3 D}{Z_2 \lambda} \quad (3)$$

La última aproximación es útil en particular en aquellos casos en que la longitud del objetivo se selecciona para que sea relativamente pequeña; por ejemplo, solo un poco más grande que la distancia focal F.

Además, en algunas realizaciones, puede aproximarse como:

$$F \approx \frac{K_p Z_3 D}{Z_1 \lambda} \quad (4)$$

- 5 La aproximación (4) es útil cuando el sistema de imágenes está configurado para la detección de inclinaciones de objetos relativamente pequeños que necesitan el mayor aumento posible, pero sin un aumento significativo en la longitud del objetivo.

La obtención de imágenes del mismo moteado con más de cuatro píxeles puede ser redundante. Por lo tanto, en algunas formas de realización, el tamaño de píxel es mayor que un cuarto del tamaño de moteado promedio.

- 10 Para el seguimiento del patrón de moteado, no es necesario que una cantidad de moteado recolectados por la PDA en cada dimensión sea demasiado pequeña, de lo contrario, es posible que no se establezca una correspondencia entre los patrones de moteado de diferentes cuadros. El número de moteado recogidos en una sola dimensión de la PDA es igual a:

$$N = A \frac{Z_2}{Z_1} \frac{1}{M_{IF} \delta x} = \frac{AD}{\lambda Z_1} = \frac{FD}{F_{\#} \lambda Z_1} \quad (5)$$

- 15 Aquí A es un diámetro de la abertura de la lente, en la dimensión respectiva;  $F_{\#}$  es un número F de la lente. La última relación se obtiene gracias a la gran divergencia del patrón de moteado, que hace que la abertura de la lente se llene con los moteado. En algunas realizaciones, el número de moteado es mayor que 2 y menor que 4. En algunas otras realizaciones, el número de moteado N es mayor que 4 y menor que 8. Aún en algunas otras realizaciones, el número de moteado N es mayor que 8 y menor que 10. Aún en algunas otras realizaciones, el número de moteado N es mayor que 10 y menor que 16. Aún en algunas otras realizaciones, el número de moteado N es mayor que 16 y menor que 20, o mayor que 20.

El recuento de píxeles de la PDA, en cualquier dimensión, debe ser mayor que KN. Por ejemplo, en algunas realizaciones es 2 veces más grande que 20, es decir, más grande que 40.

- 25 El seguimiento del patrón de moteado puede facilitarse si el patrón de moteado es estacionario o cuasi estacionario, es decir, si se desplaza mayormente en el plano PDA, sin cambiar significativamente su topología y escala. La (cuasi) estacionariedad se puede proporcionar si el plano de enfoque está en el campo lejano del punto de luz que forma los moteado. Por ejemplo, se puede proporcionar cierta cuasi estacionariedad si la distancia  $Z_2$  entre el punto de luz con formación de moteado y el plano de enfoque es mayor que  $D^2 / 4\lambda$ .

- 30 El origen de la condición de campo lejano se puede aclarar comparando la obtención de imágenes del patrón de moteado con el enfoque cerca y lejos del punto de formación de moteado. El campo formado por el patrón de moteado debe considerarse en detalle. Puede suponerse que la superficie del objeto agrega a la fase del campo de iluminación coherente una distribución de fase aleatoria  $\emptyset(x, y)$ , siendo las coordenadas (x, y) en la superficie del objeto difuso.

- 35 Considerando primero un caso de la unidad de obtención de imágenes que utiliza el enfoque en un plano cercano al punto de formación de moteado, para un plano que está en el campo cercano del objeto (a una pequeña distancia  $Z_1$  del objeto) la distribución del campo de luz es:

$$T_m(x_o, y_o) \propto \iint \exp[i\phi(x, y)] \exp\left[\frac{\pi i}{\lambda Z_1} ((x-x_o)^2 + (y-y_o)^2)\right] dx dy \propto A_m(x_o, y_o) \exp[i\psi(x_o, y_o)] \quad (6)$$

- 40 El campo anterior  $T_m(x_o, y_o)$  tiene una amplitud espacialmente no uniforme  $A_m(x_o, y_o)$  y fase  $\psi(x_o, y_o)$ , donde  $(x_o, y_o)$  son coordenadas en el plano cercano al objeto. El campo  $T_m(x_o, y_o)$  se calcula como una integral de Fresnel para la fase aleatoria  $\emptyset$ , introducida por la superficie del objeto de reflexión en forma difusa.

La fórmula (6) se basa en la aproximación paraxial (el argumento del segundo exponente en (6) es cuadrático). También se basa en el supuesto de una distribución de reflectividad uniforme en la región iluminada de la superficie del objeto. Los dos supuestos anteriores se hacen por conveniencia; no restringen innecesariamente la técnica de imagen presentada aquí.

La distribución (6) puede ser representada por la unidad de obtención de imágenes. La distribución de intensidad espacial en el plano de la imagen es:

$$I(x_s, y_s) = \left| \iint T_m(x_o, y_o) h(x_o - Mx_s, y_o - My_s) dx_o dy_o \right|^2 \quad (7)$$

5 Aquí  $h$  es una respuesta de impulso espacial de la unidad de obtención de imágenes,  $(x_s, y_s)$  coordenadas en el plano del sensor (sensible a la luz), y  $M$  es la desmagnificación (ampliación inversa) de la unidad de obtención de imágenes. La respuesta de impulso espacial  $h$  tiene en cuenta el desenfoque óptico y del sensor (por ejemplo, PDA). Se define en el plano del sensor.

Si la superficie del objeto experimenta una inclinación, el campo de luz en el plano cercano al objeto cambia:

$$A_m(x_o, y_o) \propto \left| \iint \exp[i\phi(x, y)] \exp[i(\beta_x x + \beta_y y)] \exp\left[\frac{\pi i}{\lambda Z_1}((x - x_o)^2 + (y - y_o)^2)\right] dx dy \right|$$

$$\beta_x = \frac{4\pi \tan \alpha_x}{\lambda}$$

$$\beta_y = \frac{4\pi \tan \alpha_y}{\lambda} \quad (8)$$

10 Aquí, los ángulos  $\alpha_x$  y  $\alpha_y$  son los componentes de inclinación relativos a los ejes  $x$  e  $y$ ; el factor de cuatro en  $\beta_x$  y  $\beta_y$  incluye un factor de dos que explica la doble contribución de la inclinación en la longitud óptica recorrida por la luz en su camino hacia el detector. La longitud óptica se ve afectada doblemente porque, por ejemplo, para una parte de la superficie de interés que reprocha al detector, la luz debe, primero, viajar más en su camino hacia la superficie de interés y, segundo, tiene que viajar más después de la reflexión en la superficie de interés en su camino hacia el detector. Se ve en (8) que el patrón de moteado cambiará debido a la inclinación.

El cambio (causado por la inclinación) del patrón de moteado en el plano cercano al objeto provoca un cambio en la distribución de la intensidad espacial en el plano de la imagen. El último cambio se mejora, debido al desenfoque de pequeños moteado con la respuesta al impulso de la unidad de obtención de imágenes que tiene un gran factor de ampliación. El aumento  $M$  puede ser tan alto como unos pocos cientos. Básicamente, mientras la lente se enfoca en el objeto o en un plano cercano al objeto, la imagen del patrón de moteado varía aleatoriamente con la inclinación del objeto (y el movimiento, incluida la inclinación del objeto). Por lo tanto, el seguimiento del movimiento del objeto mediante la obtención de imagen del patrón de moteado secundario con una cámara enfocada en la superficie del objeto o muy cerca de ella es un problema.

25 Además, el enfoque en un plano que está muy cerca del objeto de interés puede evitar la resolución del patrón de moteado capturado en imagen. Para distancias pequeñas  $Z_1$ , el moteado promedio en el plano de la imagen es pequeño. Esto se ve desde (1), donde la distancia  $Z_1$  reemplaza a  $Z_2$ . Si el tamaño de moteado promedio es demasiado pequeño, es posible que el sensor no resuelva el patrón de moteado. Por lo tanto, un patrón de moteado asociado con la apertura de la lente en lugar de con la superficie del objeto puede volverse dominante. Un punto promedio del último patrón de moteado es  $\lambda F\#$ . Coincide con el ancho borroso de la apertura.

30 Sin embargo, cuando se considera el enfoque en un plano remoto desde la superficie del objeto, el patrón de moteado secundario generado por el objeto se vuelve dominante y estacionario. El desenfoque, con respecto al plano del objeto, produce una disminución del factor de ampliación  $M$  (la disminución puede ser de uno o más órdenes de magnitud). El desenfoque también trae el plano capturado en imagen en el campo lejano.

Las ecuaciones (6) y (7) en el campo lejano se convierten en::

$$T_m(x_o, y_o) \propto \iint \exp[i\phi(x, y)] \exp\left[\frac{-2\pi i}{\lambda Z_2}(xx_o + yy_o)\right] dx dy \propto A_m(x_o, y_o) \exp[i\psi(x_o, y_o)] \quad (9)$$

35 y

$$I(x_s, y_s) = \left| \iint T_m(x_o, y_o) h(x_o - Mx_s, y_o - My_s) dx_o dy_o \right|^2 \quad (10)$$

En (9) el exponente cuadrático en coordenadas (x, y) se omite de la integral ya que este exponente afecta la fase y la amplitud en todos los moteado (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>) por igual. De acuerdo con (9) y (10), el patrón de moteado apenas cambia y se desliza como resultado del movimiento transversal. De hecho, el movimiento transversal no afecta la amplitud de la transformada de Fourier en (9). Además, la ampliación de la función de desenfoque h en (10) es más pequeña de lo que sería al enfocar el objeto. El movimiento axial también casi no afecta el patrón de moteado. Sólo se agrega una fase constante en (9) y la ampliación del patrón de moteado se modifica ligeramente.

En el campo lejano, la inclinación provoca el desplazamiento del patrón de moteado (como se mencionó anteriormente). Esto se confirma con la siguiente ecuación (11), análoga a la ecuación (8):

$$A_m(x_o, y_o) = \left| \iint \exp[i\phi(x, y)] \exp[i(\beta_x x + \beta_y y)] \exp\left[\frac{-2\pi i}{\lambda Z_2} (xx_o + yy_o)\right] dx dy \right|$$

$$\beta_x = \frac{4\pi \tan \alpha_x}{\lambda}$$

$$\beta_y = \frac{4\pi \tan \alpha_y}{\lambda}$$

(11)

De acuerdo con (11) la inclinación se puede compensar con un desplazamiento del origen del sistema de coordenadas (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>). En otras palabras, la inclinación introduce en la integral en (11) una fase lineal en coordenadas (x, y); esta fase provoca el desplazamiento en el plano de Fourier (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>). Este desplazamiento es proporcional a la tangente del ángulo de inclinación. Las ecuaciones (8) y (11) tienden a describir el campo de luz de manera más precisa para ángulos de iluminación del láser y la detección del patrón de moteado cerca de la normal, con respecto a la superficie de interés.

Los inventores han experimentado con varias realizaciones del sistema de detección de movimiento inventado. En la primera serie de experimentos, los inventores detectaron ópticamente y extrajeron los sonidos producidos por altavoces. En la **Fig. 2A** se muestra una fotografía de los altavoces. Los altavoces estaban aproximadamente a 1 metro de una cámara (unidad de obtención de imágenes) y una fuente de luz coherente; no se movieron. La cámara era Basler A312f; podría capturar hasta 400 cuadros por segundo en una ventana de interés relativamente pequeña. El láser era un láser Nd: YAG de doble frecuencia con una potencia de salida de 30 mW a una longitud de onda de 532 nm. La luz láser que iluminaba se pasó a través de una lente X10 (con un orificio) colocada al lado de la cámara. El punto de iluminación era de unos 5 mm de diámetro. Ambos altavoces fueron iluminados por el láser, en secuencia. Los patrones de moteado resultantes se capturaron en imagen con la cámara, equipada con una lente de TV con una distancia focal de 16 mm y un número F entre 5,6 y 8. La cámara se enfocó en una superficie desplazada hacia abajo, aproximadamente 20 m detrás de los altavoces. El tamaño de pixel de la PDA de la cámara fue de 8,3 x 8,3 micrones. La cámara fue controlada con Matlab.

En el experimento, los inventores enviaron una señal de excitación de una frecuencia temporal ascendente al altavoz izquierdo y una señal de excitación de una frecuencia descendente al altavoz derecho. La cámara capturó una secuencia de 5000 cuadros en 12.207 segundos. La velocidad de cuadros de la cámara era de 409,6 cuadros por segundo (fps), que correspondía a la frecuencia Nyquist de 205 Hz. En el primer cuadro de la secuencia, los inventores seleccionaron dos regiones de 10 x 10 píxeles (muestras) de regiones correspondientes a cubiertas de plástico de los altavoces (no de las membranas de los altavoces). Las muestras se tomaron tanto para el altavoz izquierdo como para el derecho. Para ambas muestras, se extrajeron sus posiciones en otros cuadros. Luego, a partir de estas secuencias de posición, se calcularon los espectrogramas para los sonidos de los altavoces. La extracción de sonidos se basó en los movimientos vibratorios de las paredes de las cubiertas de los altavoces. Las vibraciones cambiaron la inclinación de las cubiertas s.

En la **Fig. 2B** se presenta una secuencia temporal ejemplar de la posición de la muestra, a lo largo de un eje. La posición de la muestra cambió debido a los movimientos de la cubierta del altavoz izquierdo. La posición de la muestra, en el plano PDA, se extrajo mediante la correlación de cuadros secuenciales. La posición se normalizó para un trazado conveniente. En el recuadro, una parte de la secuencia temporal de la posición de muestra se muestra ampliada.

La secuencia de posición temporal en la **Fig. 2B** se obtuvo mediante una búsqueda de un desplazamiento de la muestra seleccionada entre cuadros secuenciales. Para cada par de cuadros secuenciales, se realizó un barrido a través de varios valores de desplazamiento posibles; ese valor de desplazamiento se seleccionó para ser el desplazamiento entre los dos cuadros del par, que produjo una correlación máxima entre la muestra seleccionada que se encuentra en el primer cuadro y un desplazamiento de ella por la región del valor de desplazamiento de 10x10 en el segundo cuadro. Debido a los ruidos, no en todos los cuadros se pudo encontrar la muestra seleccionada: en algunos casos no había una región de 10x10 en el segundo cuadro que coincidiría con la muestra seleccionada con un pico de alta correlación. Aquellos cuadros que no mostraron un pico de alta correlación con sus cuadros anteriores o posteriores tuvieron desplazamientos que correspondían a altas frecuencias y que podrían

filtrarse para los experimentos.

Desde la posición de las secuencias temporales de las cubiertas de los altavoces izquierdo y derecho, los inventores calcularon los espectrogramas. Para este fin se utilizó la función Matlab "specgram". La función usó una ventana predeterminada de 256 cuadros para calcular los espectros "instantáneos" (es decir, para aproximarlos). En la **Fig. 2C** se presenta un espectrograma reconstruido desde el altavoz izquierdo. El espectrograma es una representación tiempo-frecuencia de la secuencia temporal de la señal analizada: en el espectrograma, la dimensión horizontal representa el tiempo y la dimensión vertical representa la frecuencia. Cada corte vertical delgado del espectrograma muestra el espectro durante un corto período de tiempo, utilizando la blancura para representar la amplitud. Las áreas más blancas muestran aquellas frecuencias donde las ondas de componente simple tienen una mayor amplitud. Se observa que el espectrograma reconstruido y mostrado en la **Fig. 2C** coincide con la señal de excitación del altavoz de la frecuencia ascendente.

En la **Fig. 2D** se presenta un espectrograma reconstruido a partir de la secuencia de imágenes que contiene el altavoz derecho. Para la reconstrucción se utilizó el mismo procesamiento digital que en el ejemplo anterior. Aquí también el espectrograma coincide con la señal de excitación enviada al altavoz.

En otra serie de experimentos, los inventores aplicaron su técnica para la extracción de señales de voz humanas (el canto de uno de los inventores) reproducidas en los altavoces. Al igual que en la serie anterior de experimentos, iluminaron los altavoces con una luz coherente y los capturaron en imágenes con una cámara enfocada en un plano retirado.

Las dos secuencias de imágenes obtenidas se procesaron en varios pasos realizados en una computadora programada apropiadamente. En el primer paso, se seleccionó una muestra y se determinó una dependencia temporal de su posición en el plano de la imagen (PDA) (para cada una de las dos secuencias). En el segundo paso, se aplicó un filtro de paso bajo a la dependencia del tiempo de posición de la muestra y la señal filtrada se restó de la dependencia (para cada una de las dos secuencias); Las frecuencias correspondientes a la voz del inventor se mantuvieron en la diferencia. Las señales se purificaron: solo se conservaron esas imágenes (cuadros de secuencia), que proporcionaron una alta probabilidad (relación señal / ruido, más de 10) de encontrar la muestra en estas imágenes. Las señales podrían mejorarse mediante el uso de la interpolación antes de encontrar el desplazamiento para cada señal y utilizando muestras más grandes. Además, podrían mejorarse mediante la iteración del proceso de búsqueda de las muestras de SNR alta, aumentando el tamaño de píxeles de la muestra en el proceso de iteración. Del mismo modo, la búsqueda de desplazamientos también puede ser iterada. Incluso sin la mejora adicional, las muestras de vibraciones fueron indicativas de los sonidos de voz del cantante. Esto se verificó transformando las señales reconstruidas en señales eléctricas adecuadas, activando los altavoces con las señales eléctricas y escuchando los sonidos producidos.

En otra serie de experimentos, los inventores han detectado y extraído ópticamente las señales de voz humana, producidas por un participante del experimento (uno de los inventores). El participante no solo habló, sino que también se movió durante los experimentos (los altavoces de los experimentos anteriores no se movieron por razones ajenas a la producción de sonido). Para la detección del sonido, en varios experimentos se realizó la obtención de imágenes del patrón de moteado originado en la garganta, cara (en particular el pómulo) parte posterior de la cabeza y otras regiones de la cabeza del participante. El reproductor de imágenes (cámara) se enfocó en un plano desplazado hacia adelante que estaba más cerca de la cámara que la fuente del patrón de moteado. En experimentos, los inventores utilizaron la misma cámara Basler A312f con una matriz de 782x582 píxeles. Las velocidades de obturación fueron entre 40 y 100 microsegundos, en unidades de frecuencia entre 25 KHz y 10 KHz, la ganancia (parámetro interno de la cámara) fue de 192. La cámara se usó con una lente telecéntrica Computar de distancia focal de 55 mm y número F 2,8. La velocidad de la cámara era casi independiente de una cantidad de píxeles en una región utilizada de la matriz. Los inventores utilizaron muestras de tamaños de 20x20 y 20x40 píxeles. Se usó un láser Suwtech doble Nd-YAG con una potencia de entre 1 y 20 mW y una longitud de onda de 532 nm para crear patrones de moteado.

En las **Figs. 3A** y **3B**, se muestran 20 x 20 muestras de dos patrones de moteado tomados secuencialmente. En la **Fig. 3C** se presenta una imagen desenfozada del inventor. La imagen está desenfozada, ya que la cámara estaba enfocada en un plano desplazado hacia adelante. El patrón de moteado se origina en la garganta del inventor.

Las imágenes del patrón de moteado se correlacionaron secuencialmente para el hallazgo de desplazamiento de muestra. Se acumularon los desplazamientos diferenciales encontrados de la muestra. En la **Fig. 3D** se presentan dos ejemplos **R<sub>1</sub>** y **R<sub>2</sub>** de la trayectoria de la muestra en el plano de imagen (es decir, PDA). Una parte de la trayectoria superior y su promedio deslizante se muestran en una vista más detallada en la **Fig. 3E**. Las líneas se indican **R<sub>1</sub>** y **A<sub>1</sub>**, respectivamente. La trayectoria real promediada de manera deslizante, es decir, la trayectoria **A<sub>1</sub>**, corresponde al movimiento principal de la persona (mayormente inclinación). Las vibraciones de la trayectoria real **R<sub>1</sub>** alrededor de la trayectoria filtrada **A<sub>1</sub>** corresponden a la voz de la persona.

En la **Fig. 3F** se muestra una diferencia entre las trayectorias reales y suavizadas del patrón de moteado. La desviación de la trayectoria de su promedio deslizante puede corresponder total o parcialmente a los movimientos acústicos de la persona (vibraciones de inclinación). Por lo tanto, el espectro de voz deslizante de la diferencia entre

trayectorias reales y suavizadas es indicativo de la voz humana. El espectro deslizante se puede encontrar al transformar de manera deslizante la dependencia de la desviación temporal en el dominio de la frecuencia y seleccionar desde este dominio la banda de frecuencia de voz (por ejemplo, la banda de frecuencia de voz de telefonía que varía de aproximadamente 300 Hz a 3400 Hz). El intervalo de tiempo deslizante en el que se realiza la transformación puede ser de 10 ms. Para la detección y extracción de voz, se puede utilizar el desplazamiento del patrón de moteado en cualquier dirección en el plano de PDA.

En la **Fig. 3G** se muestra un espectrograma calculado a partir de la evolución temporal de la posición del patrón de moteado en la PDA. El eje vertical muestra la frecuencia del sonido en Hz. El eje horizontal muestra el tiempo, en décimas de segundo (0,1 s). La persona gritó durante la obtención de imagen; el grito se refleja cuando la banda S está en frecuencias relativamente altas en el espectrograma (aproximadamente 120 Hz).

Los inventores realizaron simulaciones para un diseño de varias configuraciones de detección de voz más. En las simulaciones, utilizaron 2 cm como valor del diámetro del punto de iluminación (es decir,  $D = 2$  cm).

Para la longitud de onda de 400 nm, la distancia focal  $F = 10$  mm (un valor bastante pequeño) y el número  $f$  de  $F\# = 1$  (es decir, el diámetro de apertura de  $\varnothing = 10$  mm), se calculó que la distancia máxima del objeto era aproximadamente  $Z_2^{(max)} = 500$  m. Disminuir el diámetro de apertura  $\varnothing$  (aumentando el número  $f$   $F\#$ ) disminuirá  $Z_2^{(max)}$ . Se calculó que una distancia adecuada del plano de enfoque de la cámara estaba entre 20 cm y 6 m. El cálculo se realizó para preservar la condición de campo lejano. Para la longitud de onda de 2 micrones y número  $f$  de  $F\# = 1$ , los inventores obtuvieron la distancia máxima de objeto  $Z_2^{(max)}$  de aproximadamente 100 m. Un intervalo adecuado para la distancia del plano de enfoque  $Z_3$  no cambió.

Para una longitud de onda de 400 nm, la distancia focal  $F = 1000$  mm (un valor bastante grande) y el número  $f$   $F\# = 1$  (es decir, el diámetro de apertura  $\varnothing = 1000$  mm), la distancia máxima calculada del objeto  $Z_2^{(max)}$  fue de aproximadamente 50 km, mientras que la distancia mínima calculada en el plano de enfoque  $Z_3^{(min)}$  fue de aproximadamente 3 km. Nuevamente, estos valores se calcularon para la preservación de la aproximación de campo lejano. Además, se puede estimar una distancia máxima del plano de enfoque de tal manera que se conserve la condición del campo lejano. Para una longitud de onda de 2 micrones, los inventores obtuvieron para las mismas condiciones ( $D = 2$  cm y  $\varnothing = 1000$  mm) que la distancia máxima del objeto es  $Z_2^{(max)} = 10$  km.

En otra serie de experimentos, los inventores han usado su técnica para detectar los latidos cardíacos del asistente. Con este fin, tomaron imágenes del patrón de moteado que se originó en el pecho del asistente, cubierto con un paño. En la **Fig. 4A** se muestra una dependencia temporal del desplazamiento de la muestra extraída por correlación. El eje de tiempo se dibuja en unidades, cinco mil (5000) de los cuales corresponden a 20 segundos. La señal (el desplazamiento del pico de correlación) se mide en píxeles (o en unidades de píxeles). En la **Fig. 4B** se muestra un espectrograma de la señal. Los latidos cardíacos son bien distinguibles. Así, la técnica inventada permite el monitoreo sin contacto de la frecuencia cardíaca humana. Este monitoreo sin contacto puede ser utilizado en hospitales para monitorear pacientes, en operaciones de rescate para detectar signos vitales de víctimas de accidentes, y en deportes y entrenamiento físico. Los latidos cardíacos también pueden detectarse sin contacto mediante la obtención de imagen de un patrón de moteado producido en la articulación de la mano.

La técnica de los inventores puede usarse no solo para detectar la presencia de latidos cardíacos, sino también para determinar parámetros médicos tales como la frecuencia cardíaca (es decir, el pulso) y la presión arterial y para caracterizar la tensión física experimentada por un individuo (un humano o un animal). Esto debería ser útil en medicina, medicina veterinaria y agricultura. Además, la técnica de los inventores se puede utilizar para obtener *cardiogramas ópticos* (OCG). Una OCG puede construirse a partir de una secuencia de imágenes de un patrón de moteado estacionario, en donde estas imágenes son indicativas de vibraciones asociadas con vibraciones del corazón y la secuencia es indicativa de latidos cardíacos. La última condición significa que la secuencia, preferiblemente, debe tomarse con una frecuencia superior a la frecuencia de Nyquist para los latidos cardíacos. La OCG se puede usar no solo para determinar las condiciones de salud, sino también para la autenticación, ya que la OCG parece ser una característica repetible individualizada.

Los inventores han realizado una serie de experimentos en los que utilizaron OCG para la determinación del pulso y la caracterización de la tensión física. En el experimento, iluminaron las partes del cuerpo de los participantes del experimento con un láser Nd: YAG que funcionaba a una longitud de onda de 532 nm y tomaron imágenes de patrones de moteado coherente reflejado con una cámara digital modelo Pixel Link A741. La cámara y el láser se colocaron lado a lado. Los participantes estaban separados por una distancia de aproximadamente 1 m de la cámara. La cámara estaba enfocada en un rango lejano de unos 20 m. Para la extracción de vibraciones, se utilizaron regiones espaciales (muestras) de 128 por 128 píxeles. El plano de correlación fue de 256x256 píxeles; el pico de correlación apareció en algún lugar cerca de su centro.

Refiriéndose a la **Fig. 5A**, se muestra una representación de frecuencia (transformada de Fourier) de una dependencia temporal de una coordenada de la misma muestra encontrada en una secuencia de imágenes de patrón de moteado. En otras palabras, se muestra la transformada de Fourier de OCG u OCG en el dominio de la frecuencia. Los patrones de moteado se originaron en las articulaciones de las manos de un sujeto. Las imágenes fueron tomadas a una velocidad de 20 Hz. Se tomaron quinientas (500) imágenes (cuadros) y la resolución espectral

resultante, por lo tanto, fue  $1 / (500/20) = 0,04$  Hz. La transformada de Fourier se realizó sobre una secuencia de 490 cuadros; estas unidades de resolución se utilizaron para el eje de frecuencia en la Fig. 5A. La frecuencia es cero en el pico central, más alto de la transformada de Fourier, posicionada en 245 unidades en la gráfica (la transformada de Fourier se desplaza de 0, ya que se representa en las unidades de la representación). La representación es simétrica, porque la señal temporal es real. El siguiente pico espectral más alto se ubica en la marca 279. Este pico corresponde a los latidos cardíacos que ocurren con una frecuencia de  $0,04 (279-245) \text{ Hz} = 1,36$  Hz. Se realizó una medición de control con el Reloj Polar; su resultado fue de 1,33 pulsos / seg.

La medición de la frecuencia del pulso se repitió para el mismo sujeto (# 1) con tensión física. La respectiva transformada de Fourier se muestra en la Fig. 5B. Esta vez, el pico no central más alto estaba en una marca 287 y una frecuencia de pulso de  $0,04 (287-245) \text{ Hz} = 1,68$  Hz. La respectiva medida del reloj Polar fue 1,783 (pulsos por segundo).

Cuatro mediciones sucesivas se realizaron a una velocidad de 100 Hz; Se tomaron 1000 imágenes en ventanas de tiempo de 10 segundos. En la primera medición de estos cuatro, la medición del Reloj Polar de control dio el resultado de 1,033 pulsos por segundo, para un Sujeto # 2 en reposo. Dado que la resolución espectral fue  $1 / (1000/100) = 0,1$  Hz y 990 cuadros participaron en el cálculo espectral, el pico tuvo que aparecer en la marca  $1,033 / 0,1 + 495 = 505,3$ . De hecho, en la Fig. 5C, el pico aparece en la marca 506. En la segunda medición, realizada para el Sujeto # 3 que experimenta tensión física después de la actividad física, la medición del Reloj Polar fue de 1,433 pulsos por segundo; por lo tanto, el pico tenía que aparecer en la marca  $1,433 / 0,1 + 495 = 509,3$ . El pico apareció en la marca 509 (Fig. 5D). En la siguiente medición, el resultado del Reloj Polar fue 1,216 Hz, para un Sujeto # 3 en reposo; por lo tanto, el pico se anticipó en la marca  $1,216 / 0,1 + 495 = 507,2$ . El pico se obtuvo en la marca 507 (Fig. 5E, esta vez el patrón de moteado se originó en la garganta del sujeto). En la última medición de las cuatro, la medición del Reloj Polar fue de 1,5 pulsos por segundo, para el Sujeto # 3 con tensión física, y por lo tanto el pico se anticipó en la marca  $1,5 / 0,1 + 495 = 510$ . De hecho, los inventores recibieron el pico en la marca 510 (Fig. 5F, el patrón de moteado se originó en la garganta del sujeto).

Por lo tanto, se ve que la técnica del inventor es capaz de ser utilizada para la medición de la frecuencia cardíaca sin contacto.

Además, los inventores han realizado una serie de experimentos que demostraron que OCG tiene características altamente individualizadas. Los experimentos se realizaron con la misma configuración utilizada en los ejemplos de las Figs. 5C-5F. La velocidad de imagen fue de 100 Hz. En la Fig. 6A se muestra un OCG en el dominio del tiempo de un Sujeto # 4, con un solo período de este OCG ampliado en el recuadro. Este período solo puede ser suficiente para su uso como firma, ya que el OCG generalmente se repite en otros períodos. En la Fig. 6B se muestra un OCG de un Sujeto # 5. Este OCG también generalmente se repite. Las firmas de los Sujetos # 4 y # 5 se ven diferentes; y los latidos del Sujeto # 5 en general tienen una alta correlación entre sí y una baja correlación con los latidos del Sujeto # 4. Los latidos de cada sujeto conservan su forma temporal única. En las Figs. 6C y 6D se presentan OCGs de un sujeto # 6 en reposo en diferentes días. Las firmas son iguales, a pesar del período de tiempo transcurrido entre las mediciones. En las Figs. 6E y 6F se presentan los OCG de los Sujetos # 7 y # 8. Diferentes Sujetos tienen diferentes firmas.

Por lo tanto, OCG parece llevar una firma única de una persona como, por ejemplo, huellas dactilares o impresiones de retina. Por lo tanto, OCG puede usarse como una llave de entrada a áreas seguras. Por otro lado, OCG también transmite información sobre la condición médica y / o de esfuerzo de la persona. Esto, por ejemplo, se puede usar en un detector de mentiras: cuando una persona miente, su OCG cambiará y esto se puede detectar con la técnica de la presente invención.

De forma similar a los ejemplos anteriores, la técnica de los inventores se puede usar para obtener imágenes biomédicas de un feto. Las vibraciones del feto pueden ser excitadas por ultrasonido. Las ondas de sonido del feto reflejadas se pueden capturar en imágenes mediante la técnica de los inventores, además o en vez de acústicamente.

Algo similar al ejemplo de OCG, la técnica de los inventores se puede utilizar para el diagnóstico y el reconocimiento o la autenticación de vehículos. Una imperfección en el trabajo del motor del automóvil a menudo resulta en un sonido específico de esta imperfección o una interrupción del sonido del motor; muchos conductores y mecánicos utilizan estos detalles para encontrar la causa de la imperfección. Sin embargo, tal diagnóstico por escucha es difícil, en parte debido al ruido hecho por el motor, en parte debido a la limitada audición de los seres humanos. Además, la fuente del sonido a menudo no se puede localizar fácilmente. El uso de la técnica de los inventores permite detectar y caracterizar varios sonidos de motores y vehículos, incluso cuando todavía son débiles para el oído humano; y también permite localizar las fuentes de los sonidos. Además, la detección óptica permite lograr una mayor precisión sobre la detección acústica. Por lo tanto, la técnica de los inventores será útil no solo para establecer el origen de las fallas, sino también para prevenirlas en las etapas iniciales. Esto conlleva la posibilidad de un mejor mantenimiento de los vehículos.

En vista de lo anterior, las aplicaciones de la técnica de los inventores al diagnóstico de vehículos pueden usar una o más secuencias de imágenes de un patrón de moteado estacionario, en donde estas imágenes son indicativas de

vibraciones asociadas con un vehículo y la secuencia es indicativa de una operación del vehículo. Estas imágenes pueden ser imágenes (desenfocadas) de la parte o partes del motor de un vehículo. Las imágenes también pueden ser imágenes (desenfocadas) del sistema de ruedas o la transmisión de un vehículo. El vehículo puede ser operado con el motor en reposo; el vehículo puede tener ruedas que pueden ser o no rotadas por el motor. La secuencia puede almacenarse en una memoria, tal como la memoria de una computadora de propósito general, o la memoria de un dispositivo especializado, o un soporte de memoria (por ejemplo, una memoria operativa, una memoria de video, un disco compacto, un disco óptico, un disco duro, un dispositivo de memoria flash, etc.). El propio vehículo puede ser un automóvil, un barco, una locomotora, un avión, un helicóptero o cualquier otra operación cuyo funcionamiento o motor esté asociado a vibraciones mecánicas. Los diagnósticos del vehículo también pueden utilizar un conjunto de secuencias de imágenes tomadas a diferentes velocidades del motor y / o para diferentes partes del vehículo.

La técnica de los inventores también se puede utilizar en aplicaciones de seguridad del hogar. Por ejemplo, se puede utilizar para distinguir vehículos, por ejemplo, automóviles (para estos fines, actualmente se utilizan placas de matrícula). En particular, puede ser utilizado para encontrar vehículos camuflados. Los vehículos que aparecen de forma similar pueden distinguirse, por ejemplo, por sus motores, que tienen diferentes firmas vibratorias. En movimiento, aunque el motor está oculto en el interior del vehículo, las vibraciones se transfieren al exterior del vehículo y, por lo tanto, se pueden encontrar las vibraciones mediante la imagen desenfocada de los patrones de moteados formados en el exterior del vehículo (por ejemplo, capó, cuerpo, protectores contra el viento).

Los expertos en la técnica apreciarán fácilmente que pueden aplicarse diversas modificaciones y cambios a las realizaciones de la invención como se describe anteriormente en este documento sin apartarse de su alcance definido en y por las reivindicaciones adjuntas.

25

30

35

40

45



**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para su uso en la detección de movimiento de un objeto, comprendiendo el procedimiento:  
obtener imágenes de un patrón de moteado coherente, que se propaga desde el objeto, mediante un sistema de obtención de imágenes focalizado en un plano desplazado del objeto,
- 5 generar una secuencia de imágenes desenfocadas,  
procesar dicha secuencia de las imágenes desenfocadas de los patrones de moteado coherentes, y  
determinar un desplazamiento entre las regiones del objeto que aparecen en cada par de imágenes secuenciales del objeto, incluyendo cada una de dichas regiones un patrón de moteado estacionario formado por luz originada en la misma región del objeto, siendo dicho desplazamiento indicativo de correlación entre los patrones de moteado  
10 secuenciales correspondientes al movimiento originado en el objeto.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicho plano desplazado se encuentra entre el sistema de obtención de imágenes y el objeto, o situado más lejos del sistema de obtención de imágenes que el objeto.
3. El procedimiento de la reivindicación 1 o 2, en el que dicho plano está situado más lejos que  $D^2/4\lambda$  desde el objeto, siendo D y  $\lambda$  respectivamente un tamaño y una longitud de onda del patrón de moteado en el objeto, estando  
15 de este modo dicho plano en un campo lejano del objeto.
4. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende iluminar el objeto con una luz coherente, formando de este modo dicho patrón de moteado coherente.
5. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que el objeto se está moviendo.
6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que el movimiento está asociado con la vibración de una parte de  
20 un cuerpo vivo y / o una tela sobre un cuerpo vivo.
7. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que dicho movimiento corresponde a al menos uno de los siguientes: una voz, una secuencia de latidos cardíacos, un latido cardíaco resuelto en una estructura de un latido cardíaco.
8. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que dicho objeto comprende una parte del cuerpo vivo seleccionada de una articulación de la mano, un torso, una fosa temporal, una garganta, un pómulo, una cabeza, un estómago.  
25
9. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que dicho objeto comprende una parte del vehículo que es un automóvil o una parte interior del vehículo tal como parte del motor del vehículo o una parte exterior del vehículo.
10. El procedimiento de la reivindicación 7 u 8, en el que la obtención de imágenes se repite al menos dos veces  
30 para obtener una secuencia de al menos dichas primera y segunda imágenes de los patrones de moteado coherentes, y determina una secuencia de los desplazamientos entre regiones del objeto.
11. El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende procesar datos de imagen obtenidos por dicha obtención de imágenes del patrón de moteado coherente que se propaga desde un sujeto, dicho procesamiento comprende al menos uno de los siguientes: (i) determinar al menos uno de los latidos cardíacos, pulso sanguíneo, o presión arterial del sujeto, y (ii) caracterizar una tensión física experimentada por el sujeto.  
35
12. El procedimiento de la reivindicación 10, que comprende procesar la imagen del objeto obtenida por dicha obtención de imágenes del patrón de moteado coherente que se propaga desde el objeto, comprendiendo dicho procesamiento realizar al menos uno de los siguientes: extraer la voz de dicha secuencia; extraer la secuencia de los latidos cardíacos, extraer la estructura de los latidos cardíacos, extraer la estructura de los latidos cardíacos y compararla con una estructura de un latido cardíaco del mismo corazón o corazón diferente.  
40
13. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para su uso en la detección de movimiento, comprendiendo el procedimiento: determinar un desplazamiento entre regiones de un objeto que aparecen en la primera y segunda imágenes del objeto, incluyendo cada una de dichas regiones el patrón de moteado estacionario formado por la luz originada en la misma región del objeto y captado en imagen enfocando  
45 sobre el plano que está desplazado del objeto; y determinar el movimiento del objeto a lo largo de las dimensiones de inclinación.
14. Un sistema para su uso en la detección de movimiento de un objeto, comprendiendo el sistema: una fuente de un haz de luz coherente y un sistema de obtención de imágenes, siendo dicho sistema de obtención de imágenes capaz de ser enfocado sobre un plano desplazado del objeto y generar un secuencia de imágenes desenfocadas del objeto obtenidas a lo largo del tiempo e incluir la secuencia de patrones de moteado coherentes que se propagan  
50 desde el objeto; y una unidad de procesamiento asociada con dicho sistema de obtención de imágenes, estando

dicha unidad de procesamiento configurada y operativa para determinar un desplazamiento entre cada dos imágenes secuenciales de los patrones de moteado generados por el objeto, siendo dicho desplazamiento indicativo de la correlación entre los patrones de moteado secuenciales correspondientes al movimiento originado en el objeto.

5 **15.** El sistema de la reivindicación 14, en el que dicho plano está situado entre el objeto y la ubicación de la intersección, o más lejos del objeto.

10 **16.** Un dispositivo que comprende: una memoria que comprende datos indicativos de una secuencia de imágenes desenfocadas de un patrón de moteado coherente estacionario originado en un objeto; y un procesador configurado y operable para analizar dicha secuencia de imágenes de los patrones de moteado coherentes estacionarios y determinar un desplazamiento entre cada dos imágenes secuenciales del patrón de moteado, determinando así una secuencia de valores de desplazamiento entre las imágenes en la secuencia de imágenes del patrón de moteado estacionario indicativo del movimiento del objeto.

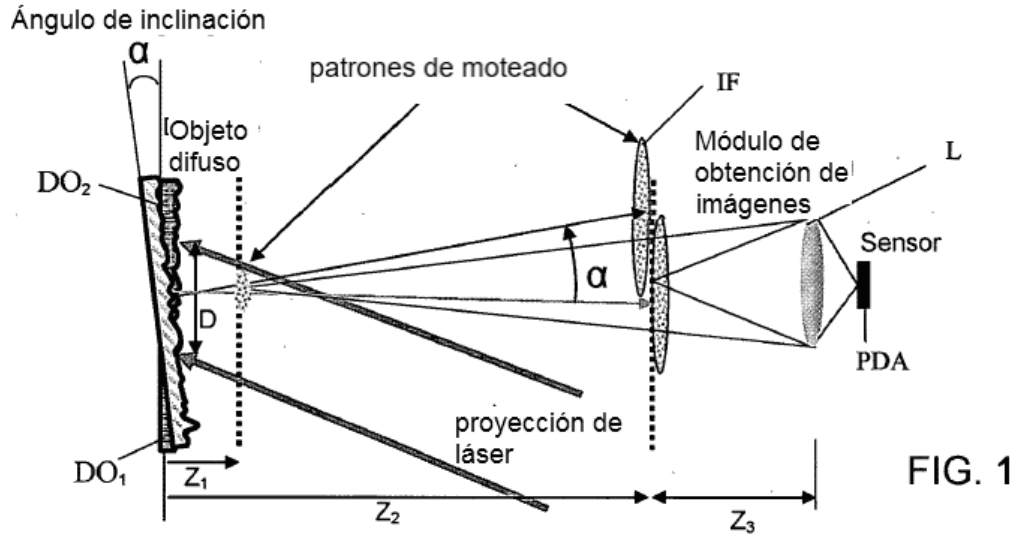


FIG. 1

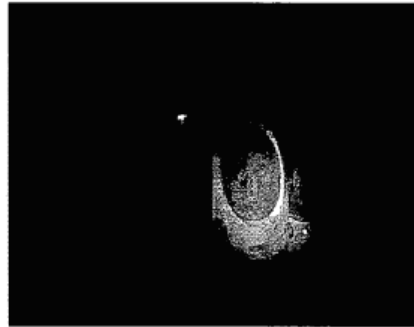


FIG. 2A

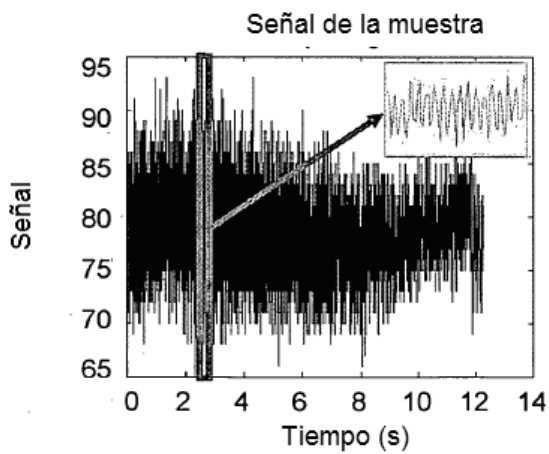


FIG. 2B

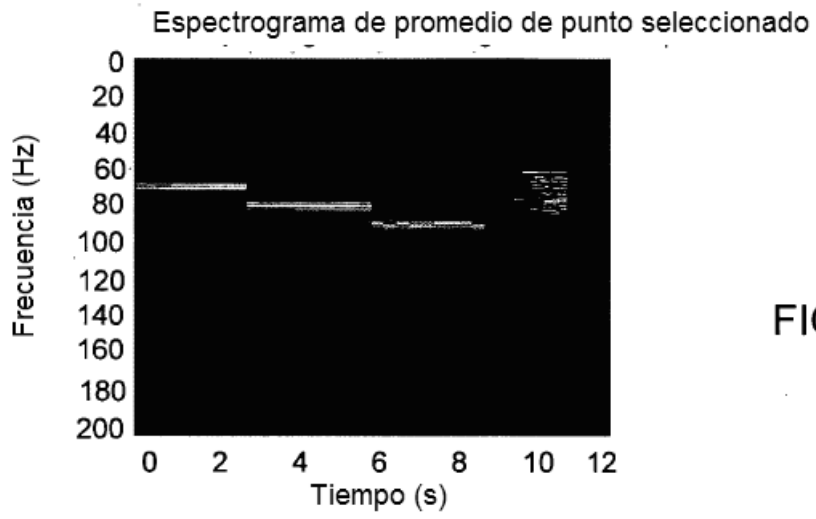


FIG. 2C

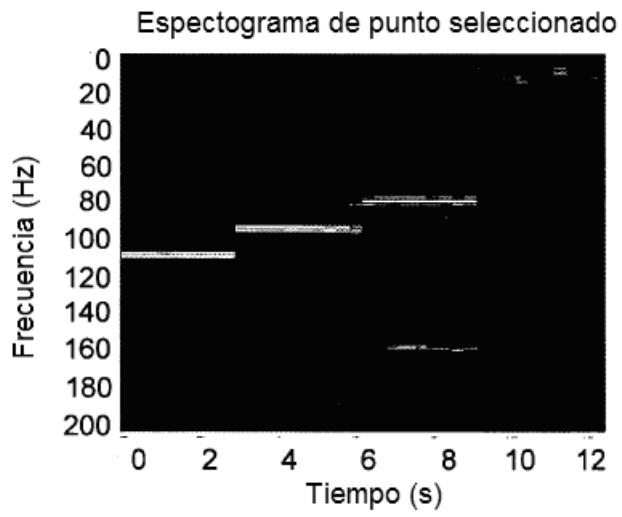


FIG. 2D

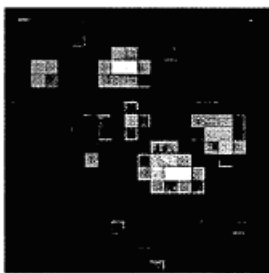


FIG. 3A



FIG. 3B

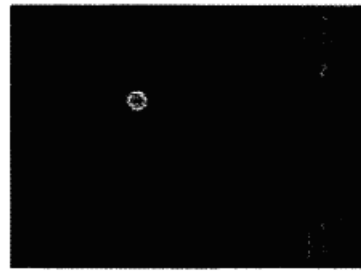


FIG. 3C

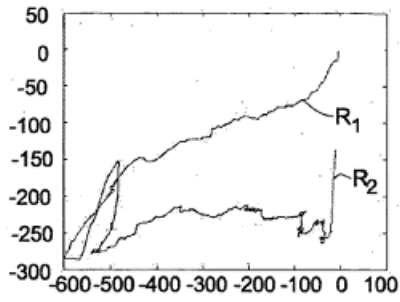


FIG. 3D

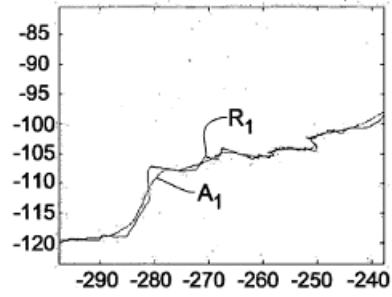


FIG. 3E

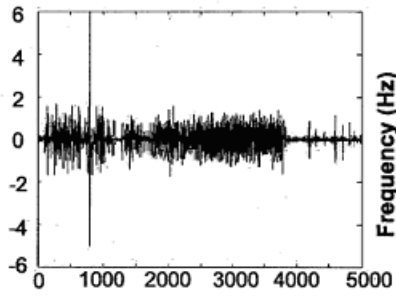


FIG. 3F

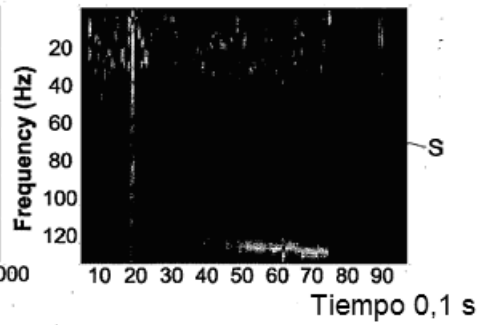


FIG. 3G

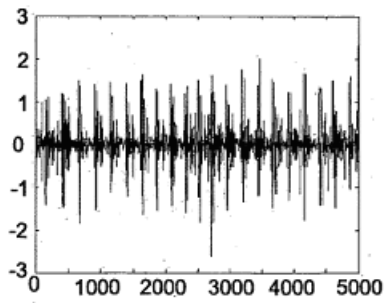


FIG. 4A

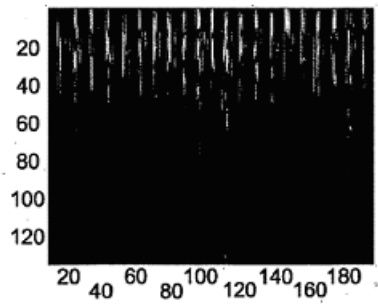


FIG. 4B

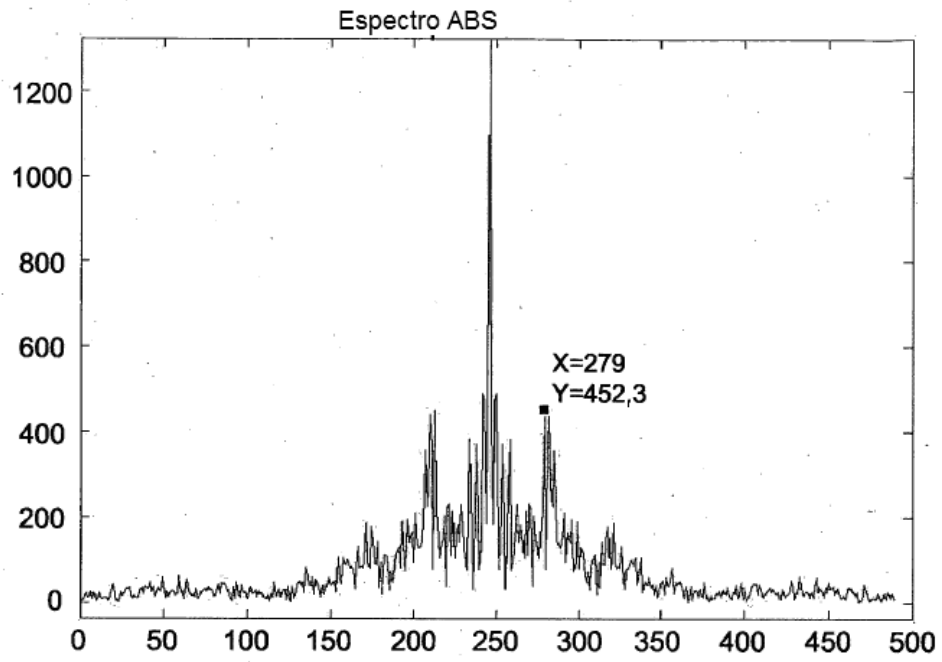


FIG. 5A

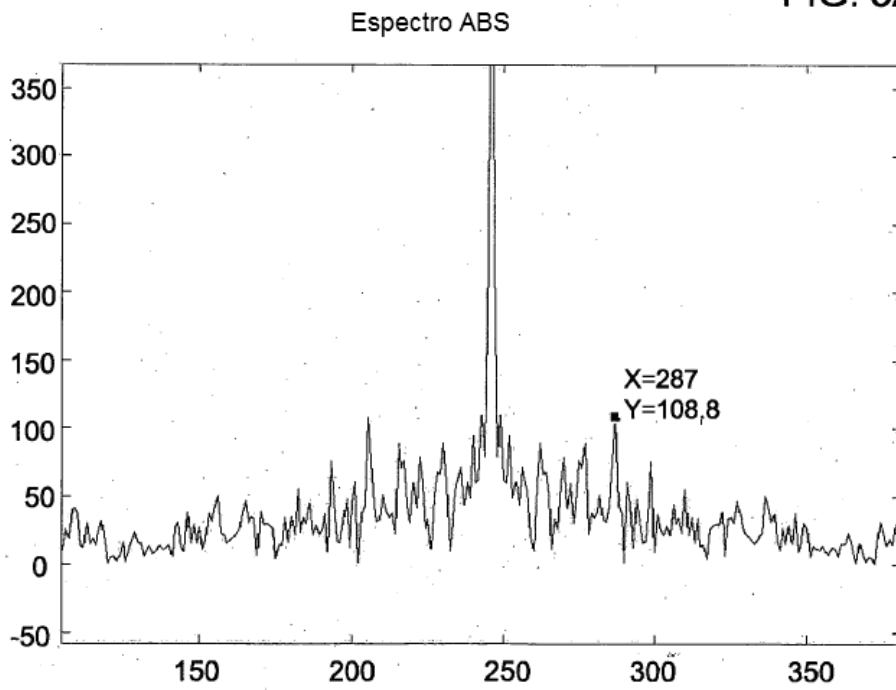


FIG. 5B

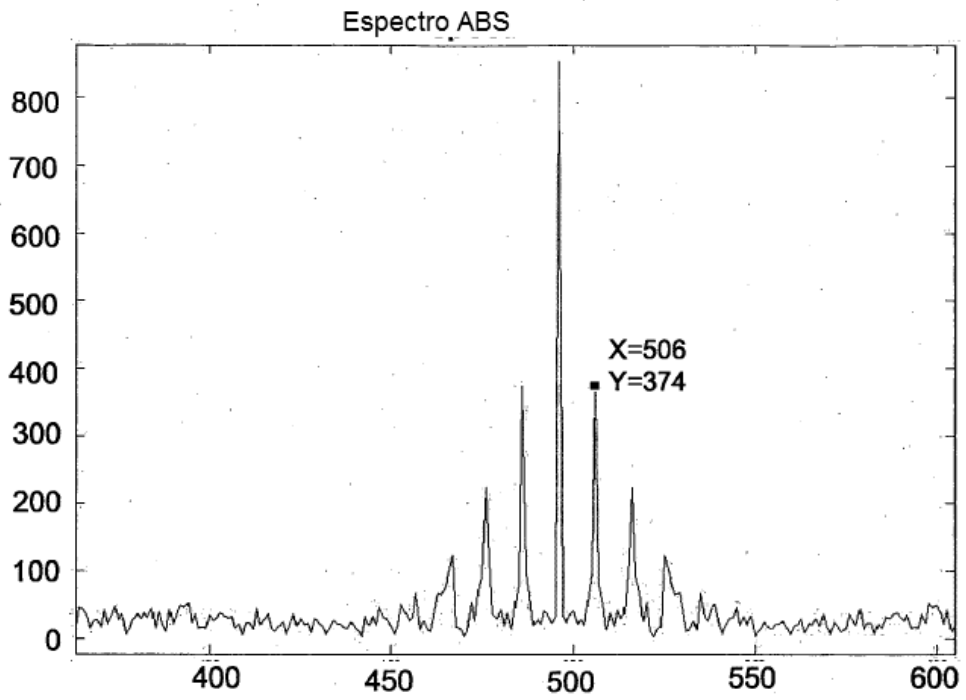


FIG. 5C

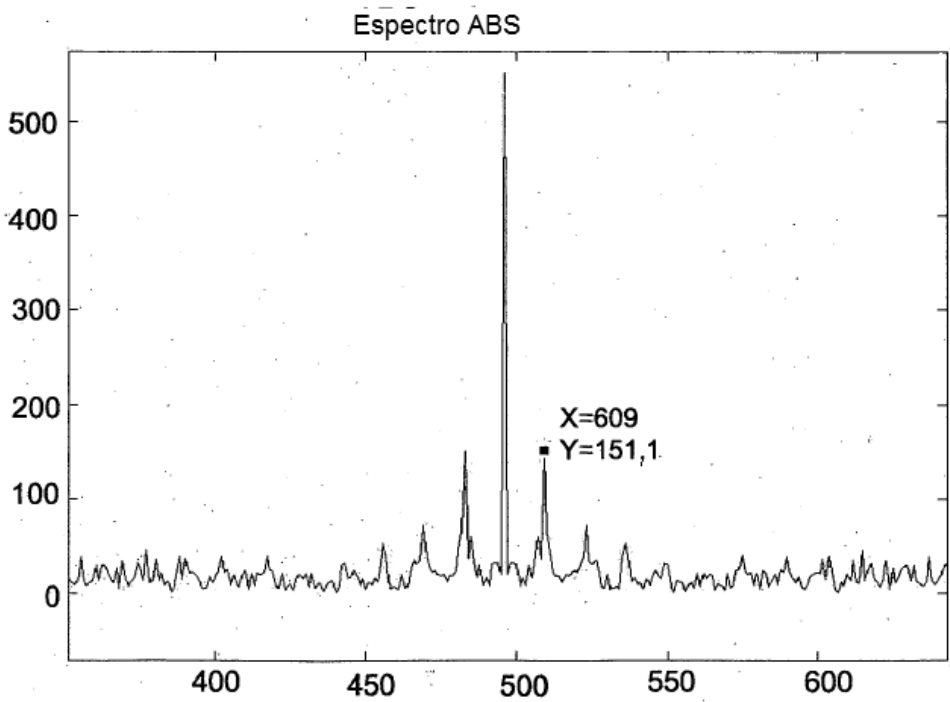


FIG. 5D

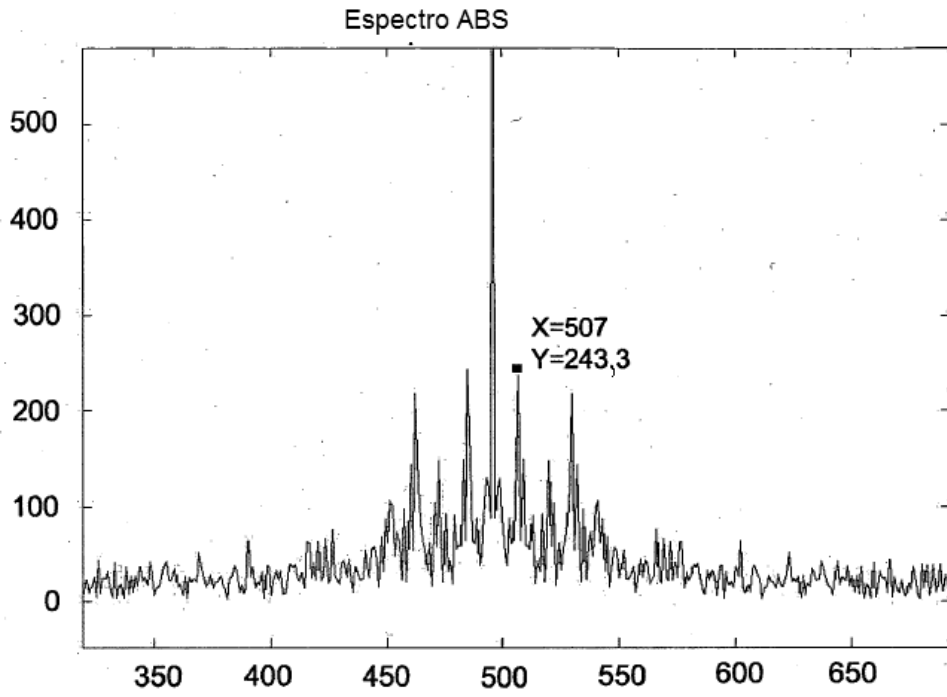


FIG. 5E

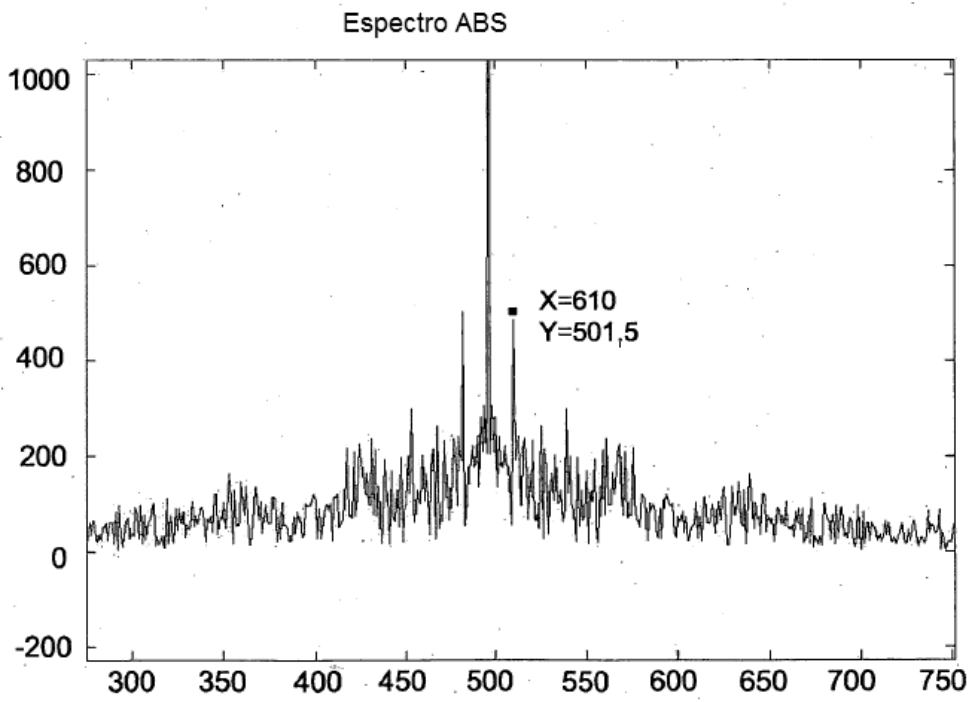


FIG. 5F



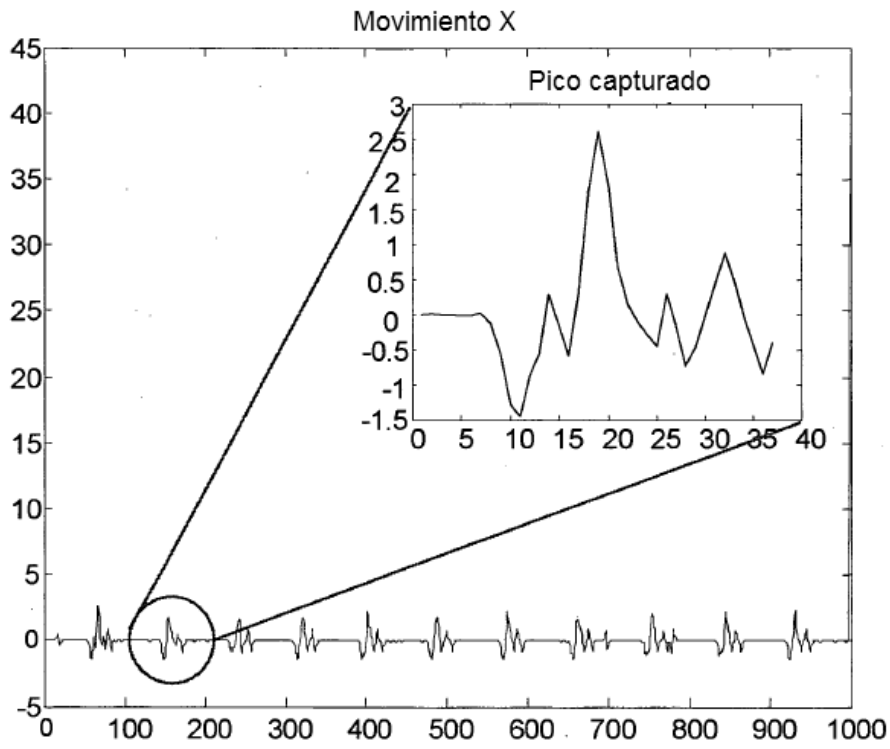


FIG. 6A

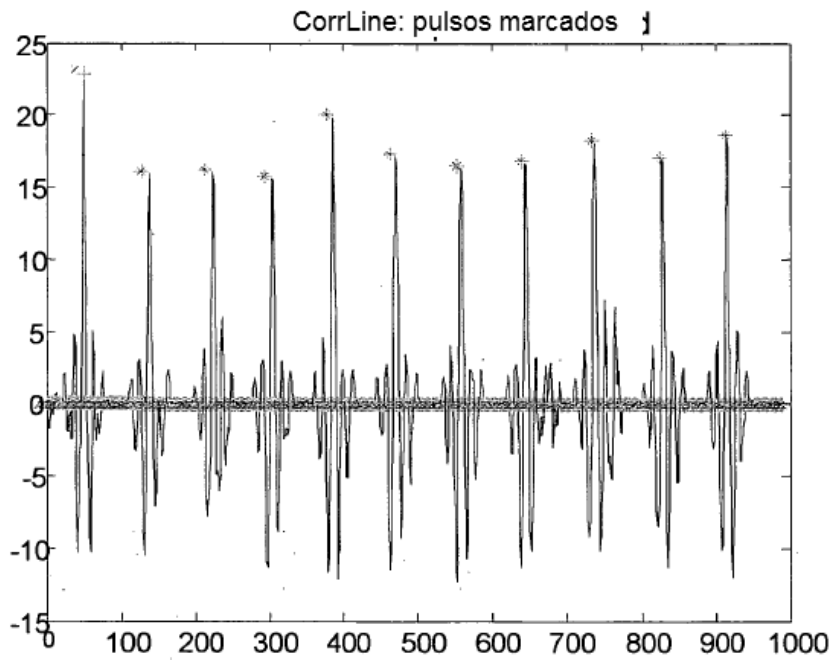


FIG. 6B

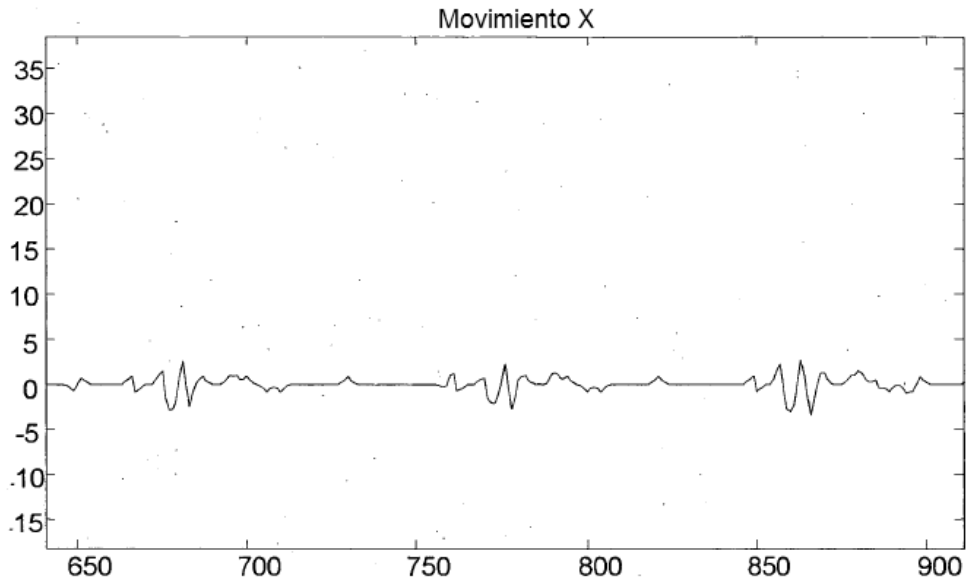


FIG. 6C

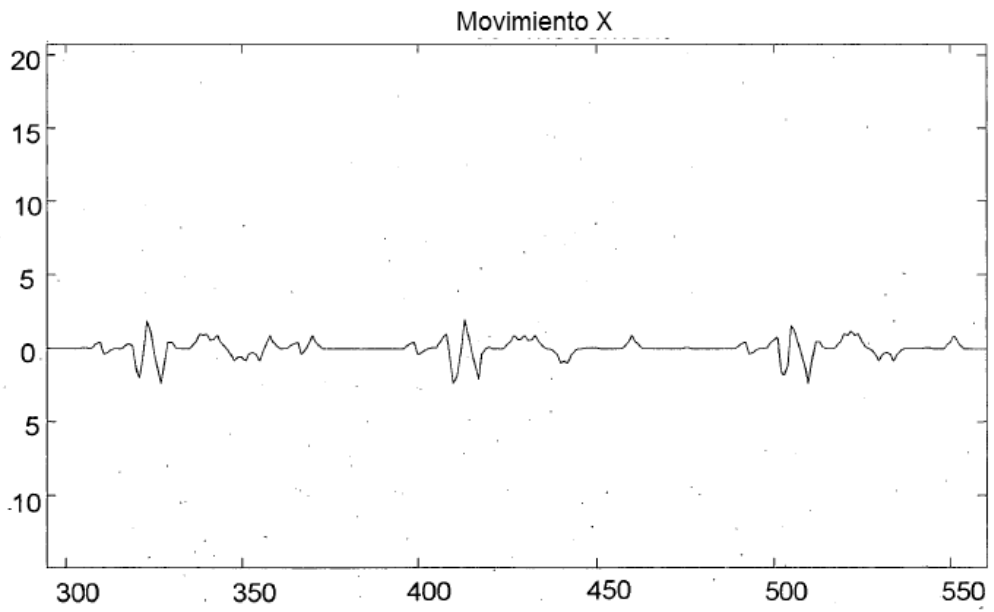


FIG. 6D

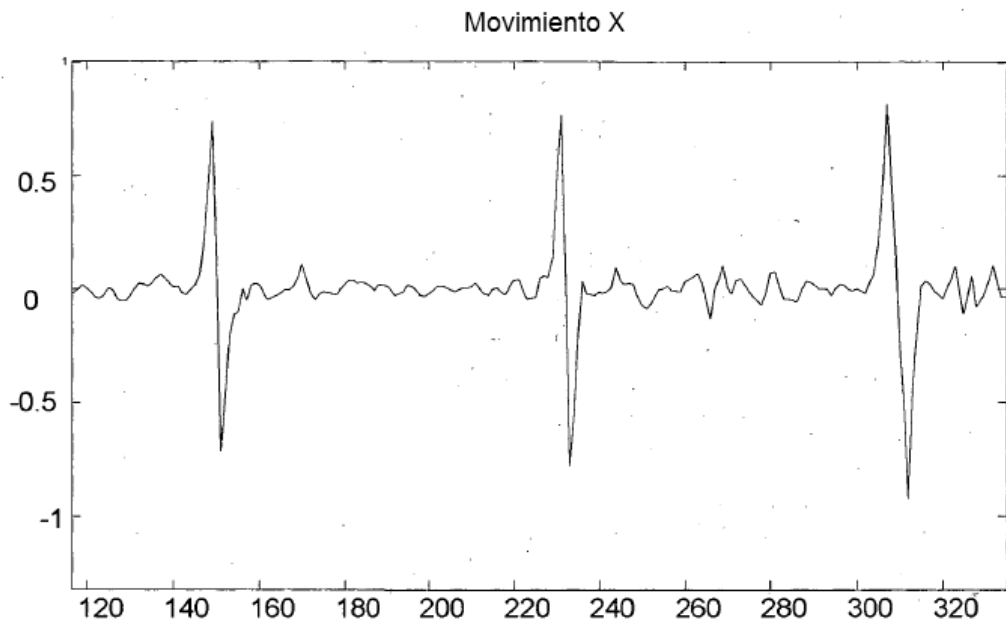


FIG. 6E

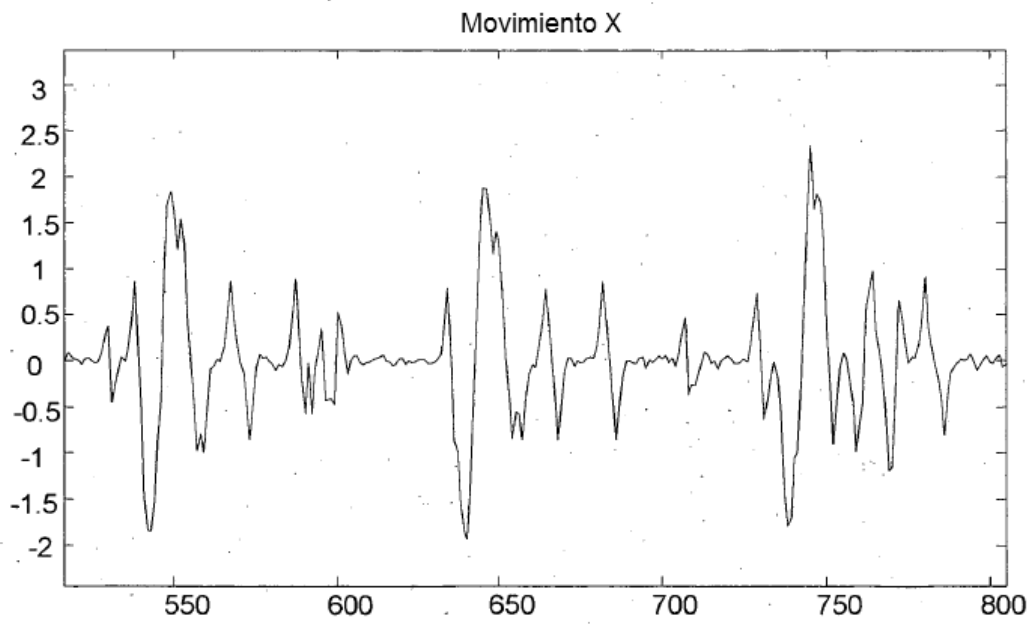


FIG. 6F