

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 673 969**

51 Int. Cl.:

A61B 3/103 (2006.01)

A61B 3/11 (2006.01)

G06T 7/20 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.03.2009** **PCT/EP2009/052995**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.09.2009** **WO09112575**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2009** **E 09719176 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018** **EP 2252195**

54 Título: **Algoritmo rápido para frentes de onda continuos**

30 Prioridad:

14.03.2008 DE 102008014294

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

26.06.2018

73 Titular/es:

BAUSCH & LOMB, INC. (100.0%)
One Bausch & Lomb Place
Rochester, NY 14604, US

72 Inventor/es:

POLLAND, HANS-JOACHIM y
YOUSSEFI, GERHARD

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 673 969 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

Algoritmo rápido para frentes de onda continuos

- 5 La invención se refiere generalmente al campo del procesamiento de imágenes y, más particularmente, a un método y a un aparato para determinar propiedades ópticas de un objeto, en particular un ojo humano.

Los sensores de frentes de onda Hartmann-Shack actualmente son reconocidos como el estado de la técnica para determinar un frente de onda de un objeto, particularmente de un ojo humano, incluso si algunos otros conceptos como el sensor de frente de onda Tracy se basan en diferentes conceptos, por ejemplo, el principio de Tscheming. Un sensor de frente de onda Hartmann-Shack incluye típicamente una matriz de microlentes que obtiene imágenes de porciones de un frente de onda no distorsionado o distorsionado que sale del ojo sobre un detector de CCD / cámara. La imagen producida por la matriz de microlentes, como se ilustra a modo de ejemplo en la Figura 1, comprende una matriz de pequeños puntos de luz llamados centroides en una ubicación predeterminada. En el caso de un frente de onda aberrado, al menos algunos centroides se desplazan de las ubicaciones de referencia de la imagen del punto de luz. Los desplazamientos de los centroides están relacionados con las pendientes localizadas del frente de onda que sale de la pupila del ojo. Los polinomios de Zernike u otras herramientas matemáticas se usan para derivar estos desplazamientos de los centroides de sus parámetros predefinidos de aberración de un ojo. Con el fin de proporcionar niveles más altos de resolución, el desarrollo de los sensores de frente de onda en el pasado condujo a un número creciente de centroides para determinar un error de frente de onda más preciso.

En principio, se llevan a cabo las siguientes etapas para adquirir y visualizar datos de aberración de frente de onda. En primer lugar, se captura una imagen mediante una cámara y los datos obtenidos son analizados, es decir, se determinan las posiciones de los centroides. A partir de este análisis de la imagen del centroide, es decir, a partir de la colocación(desplazamiento) de los centroides, se calcula un mapa del frente de onda que se puede visualizar. La etapa crítica en términos del momento en esta cadena de etapas es el análisis de la imagen del centroide. La posición de cada centroide individual debe determinarse y, en particular, en el campo de la oftalmología, generalmente se aplica un control de sensatez. El nivel de rendimiento en estas etapas, es decir, la determinación de las posiciones del centroide y la comprobación de sensatez, con respecto al tiempo de cálculo, depende directamente del número de centroides que se analizarán.

Es bien sabido que cada una de las mediciones de una aberración de frente de onda de este tipo es una instantánea de la configuración de aberración real del ojo y que hay una dinámica en la aberración del ojo. Este componente dinámico se basa en diversos factores, tales como la microacomodación continua de la lente, los micromovimientos del ojo e incluso el ciclo cardíaco. Por lo tanto, es deseable tener un concepto de "frente de onda continua" que significa, en otras palabras, tener una detección de frente de onda en tiempo real mediante la cual se captura el error de frente de onda real, se analiza y, finalmente, se visualiza en tiempo real para proporcionar la base para un promedio de los datos del frente de onda para un cierto intervalo de tiempo o para aplicar dicha comprobación de sensatez para asegurar que los datos de aberración final usados para cualquier aplicación adicional sean representativos del estado general del ojo examinado. El número creciente de centroides, sin embargo, conduce a una mayor cantidad de operaciones de procesamiento y, por lo tanto, a un mayor tiempo de procesamiento. Por lo tanto, el concepto de tener un frente de onda en tiempo real y, por lo tanto, una cantidad de procesamiento minimizada es crítico por los motivos mencionados anteriormente.

45 El documento US 2003/086063 A1 se refiere a un sensor de frente de onda y, más particularmente, a un sensor de frente de onda para aplicaciones oftálmicas usando dos algoritmos idénticos para determinar la posición de los centroides en imágenes sucesivas.

50 El documento US 2007/008491 A1 se refiere al campo del procesamiento de imágenes, y, más particularmente, a métodos y aparatos para la medición, análisis y visualización simultáneos de información del frente de onda ocular usando etapas de algoritmo idénticas para cada imagen de frente de onda.

La presente invención tiene como objetivo proporcionar un método y un aparato para determinar un frente de onda resultante a partir de una imagen de centroide con una cantidad de procesamiento reducida, independientemente de los detalles técnicos específicos del aparato. Este objetivo se logra mediante las características de las reivindicaciones.

La invención desvela un método y un aparato para la detección de frente de onda en tiempo real de un sistema óptico que utiliza al menos dos algoritmos diferentes para detectar centroides. De acuerdo con un aspecto de la invención, un primer algoritmo detecta una posición inicial de todos los centroides y un segundo algoritmo detecta cambios incrementales de centroides detectados por dicho primer algoritmo.

Se adquiere y se analiza una primera imagen de centroide para determinar las posiciones de, preferentemente, todos los centroides usando dicho primer algoritmo de determinación de centroide. A partir de una imagen de centroide adquirida posteriormente, las posiciones de los centroides se determinan usando dicho segundo algoritmo de determinación de centroide, donde dicho segundo algoritmo de determinación de centroide determina la posición de cada centroide con referencia a la posición del centroide respectivo en la primera y/o anterior imagen de centroide.

adquirida. El segundo algoritmo de determinación de centroide es más rápido que el primer algoritmo de determinación de centroide ya que no se debe analizar toda la imagen para las posibles posiciones de centroide. Preferentemente, solo se busca un área predeterminada en la proximidad de un centroide previamente determinado mediante el segundo algoritmo de determinación del centroide.

De acuerdo con un aspecto de la invención, la detección de la posición del centroide que consume tiempo usando el primer algoritmo de determinación del centroide se aplica una vez al comienzo de la adquisición del frente de onda continua. Una vez que las posiciones se han detectado una vez, solo se realiza un seguimiento de los cambios posicionales en las siguientes imágenes para determinar las ubicaciones del centroide y el frente de onda resultante. La determinación de los cambios posicionales que realiza el segundo algoritmo de determinación del centroide da como resultado una cantidad de procesamiento de datos disminuida y, por lo tanto, el tiempo de cálculo disminuye.

Debido a las características de la invención, es posible mejorar significativamente la fiabilidad de la determinación del frente de onda y aumentar la velocidad de procesamiento de las mediciones. De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, pueden promediarse dos o más mediciones, incluso muchos cientos de mediciones. Por lo tanto, se pueden compensar las mediciones causadas por la acomodación estadística, es decir, se evalúan las mediciones que muestran el valor máximo en el equivalente esférico. Como alternativa o adicionalmente, se pueden determinar las fluctuaciones y los movimientos sacádicos del ojo y eliminarse. De acuerdo con un aspecto de la invención, los mapas de frentes de onda se pueden ver en línea, lo que, por ejemplo, permite ajustar un láser de inyección a un lugar donde se eliminan los efectos perturbadores. Como ejemplo, el frente de onda podría verse alterado si la región corneana más aberrada de un queratocono es golpeada por el láser de inyección.

La invención describe un concepto general que es independiente del algoritmo básico que se usa para detectar las posiciones de centroides fundamentales y, por lo tanto, se puede aplicar a diversos sensores de frente de onda existentes. El algoritmo se aplica, preferentemente, a lenticulos con una pequeña distancia focal, por ejemplo, inferior a 10 mm. En este caso, los cambios de las posiciones del centroide de una imagen a otra generalmente no son grandes.

Estos y otros objetivos de la presente invención serán más evidentes a partir de la siguiente descripción detallada. Sin embargo, debe entenderse que la descripción detallada y los ejemplos específicos, aunque indican las realizaciones preferidas de la invención, se dan a modo de ilustración solamente, ya que diversos cambios y modificaciones dentro del alcance de la invención serán evidentes para los expertos en la técnica basada en la descripción y los dibujos del presente documento y las reivindicaciones pendientes.

Figura. 1 muestra una imagen de centroide de ejemplo de un sensor Hartmann-Shack;
 Fig. 2a muestra una imagen de centroide de acuerdo con la Figura 1 ubicada en una rejilla;
 Fig. 2b muestra una imagen de centroide de acuerdo con la Figura 2a con un movimiento global de los centroides;
 Fig. 3a ilustra puntos de mira ubicados en posiciones de centroides determinadas;
 Fig. 3b ilustra los puntos de mira mostrados en la figura 3a;
 Fig. 3c ilustra los puntos de mira mostrados en la figura 3b y los respectivos nuevos centroides capturados;
 Fig. 4a ilustra los puntos de mira y los centroides de acuerdo con la figura 3c y el área analizada de cada punto de mira;
 Fig. 4b ilustra los puntos de mira ubicados en los centroides como se muestra en la figura 4a;
 Fig. 4c ilustra los puntos de mira relacionados con las posiciones del centroide que se muestran en la figura 4b;
 Fig. 5 muestra el concepto básico de utilizar un primer algoritmo lento que proporciona la base para un segundo algoritmo rápido de acuerdo con la invención; y
 Fig. 6 ilustra un diagrama de flujo de un método de acuerdo con la invención.

En la figura 1, se muestra una imagen de un centroide de ejemplo de un sensor de frente de onda Hartmann-Shack, que es captada por una cámara. El objetivo de la medición en el caso de la Figura 1 puede considerarse como un objetivo de referencia sin aberraciones o centroides que pueblan las posiciones optimizadas precalculadas para un examen del frente de onda no aberrado, ya que los centroides vecinos 1 tienen distancias constantes en dirección x e y, respectivamente. Este ejemplo se usó para aclarar como punto de partida para el concepto descrito de la invención. De acuerdo con la invención, la imagen de inicio también puede ser un examen de frente de onda aberrado.

La Figura 2a ilustra una imagen de centroide con líneas de rejilla 2 en dirección x e y, donde los centroides 1 como se muestran en la Figura 1 están ubicados en los puntos de intersección de las líneas de la rejilla 2. La Figura 2b muestra un movimiento global de los centroides 1 como se ilustra en Figura 2a hacia una dirección específica indicada por la flecha D. Este movimiento global de los centroides 1 puede deberse a fluctuaciones intrínsecas en la dinámica del interior del ojo (lentes transparentes, variaciones de PIO, etc.) así como a las variaciones de la película lagrimal, que puede variar y causar fluctuaciones. De acuerdo con una realización preferida de la invención, se proporciona un promedio de una serie de imágenes para compensar tales fluctuaciones con el fin de mejorar la fiabilidad de la lectura del frente de onda.

La invención también se puede aplicar a la monitorización de una respuesta de acomodación de un sistema óptico a un tipo de estímulo de acomodación.

La invención usa el hecho de que los centroides 1 mostrarán una desviación posicional desde su posición en una imagen previamente adquirida a la siguiente imagen adquirida, pero el desplazamiento real está dentro de un cierto intervalo. El desplazamiento real viene dado básicamente por la longitud focal del sensor y los cambios esperados en el frente de onda. Tras determinar inicialmente las posiciones de los centroides 1 con un primer algoritmo de determinación del centroide, solo un área predeterminada relacionada con la vecindad directa de las ubicaciones que se han reconocido para la primera posición de centroide se busca mediante un segundo algoritmo de determinación de centroide. Preferentemente, cualquier imagen posterior de centroide siguiente se maneja de la misma manera por el segundo algoritmo de determinación de centroide.

La Figura 3a muestra un subconjunto de centroides 1 de una imagen de centroide correspondiente a un ojo a analizar. Se observará que el siguiente método se aplica a todos los centroides 1 de una imagen de centroide y se hace referencia al subconjunto de centroides solo para simplificar la descripción de la invención. La posición del centroide inicial, que está determinada por el primer algoritmo de determinación del centroide, está marcada por los respectivos puntos de mira 3. Las posiciones de los centroides 1 indicadas como puntos de mira 3 solo en la Figura 3b se almacenan, preferentemente, en un medio de almacenamiento, que puede ser la memoria asignada por una aplicación de software. Las posiciones de centroides del mismo subconjunto de centroides de una imagen de centroide adquirida siguiente como se muestra en la Figura 3c diferirán de las posiciones de centroides almacenadas pero los centroides 1 no mostrarán un desplazamiento significativo. Esta diferencia puede ser el resultado de cualquier cambio del ojo que se va a analizar, por ejemplo, un estado de acomodación diferente del ojo.

Por lo tanto, el algoritmo de búsqueda que determina las posiciones de centroide a partir de cualquier imagen de centroide excepto la determinación inicial puede limitarse a una región alrededor de la posición primera y / o anterior para que la búsqueda detecte las nuevas posiciones de centroide. Esta región limitada que se va a buscar disminuye el tiempo total necesario para identificar las nuevas posiciones, ya que conduce a una cantidad de procesamiento reducida.

En la Figura 4a, los puntos de mira 3 y las posiciones de los centroides 1 son los mismos que en la Figura 3c. Además, se ilustra un área de búsqueda predeterminada que define un área 4 dentro de las proximidades de cada centroide como un área circular alrededor de cada punto de mira. El área cercana 4 puede tener otras formas y / o tamaños. Los centroides 1 que se refieren a una imagen de centroide próxima / siguiente se encuentran dentro del área de proximidad 4 y, por lo tanto, se pueden detectar con el segundo algoritmo de determinación de centroide. En una etapa adicional, que se ilustra en la figura 4b, los puntos de mira 3' se colocan en la posición del centroide determinada de los centroides 1 que se muestran en la figura 4a. Las nuevas posiciones identificadas se usarán para crear un nuevo mapa de aberración del frente de onda. Después, las posiciones de los puntos de mira 3' como se muestra en la Figura 4c se usan como el punto de partida para la próxima determinación de las posiciones de centroides, donde se repiten las etapas mencionadas anteriormente que se describen con referencia a las Figuras 3b a 4c. En ese momento, puede estar presente otra diferencia de posiciones de centroides que puede ser el resultado de un cambio adicional del ojo a analizar, por ejemplo, una acomodación adicional del ojo.

Si uno o más centroides 1, por ejemplo, un porcentaje predeterminado, están ubicados fuera del área de proximidad 4, es decir, no pueden ubicarse mediante el segundo algoritmo de determinación de centroide, preferentemente una nueva imagen de centroide es capturada y analizada por el segundo algoritmo de determinación de centroide. En caso de que no se pueda analizar un número predeterminado de imágenes de centroides posteriores mediante el segundo algoritmo de determinación de centroides, preferentemente se aplica el primer algoritmo de determinación de centroides para analizar una imagen de centroide y así proporcionar una nueva base para usar el segundo algoritmo de determinación de centroides al analizar las imágenes de centroide posteriores.

El área de proximidad 4, que se refiere al área adyacente a la posición de un centroide en la imagen del centroide primera y / o anterior, es la proximidad directa que se determina preferentemente mediante una desviación dx y dy . La desviación dx , dy que determina la proximidad de una posición de un centroide en la imagen del centroide primera y / o anterior preferentemente equivale a de 0,1 % a 10 % de la distancia X de dos centroides vecinos en la dirección x y la distancia Y de dos centroides vecinos en la dirección y , respectivamente. Esta área de proximidad puede tener la forma de un círculo, rectángulo u otra descripción adecuada de las proximidades de un centroide.

En la Figura 5, se ilustra el concepto general de la invención. En una primera etapa S1, un algoritmo lento correspondiente al primer algoritmo de detección del centroide mencionado anteriormente detecta las posiciones iniciales de todos los centroides de una imagen de centroide. En esta determinación inicial, se analiza toda la imagen del centroide proporcionada por una cámara, lo que significa una gran cantidad de procesamiento. Un ciclo de tacto del primer algoritmo de detección de centroide puede estar en el intervalo de 1Hz a 2Hz, que es demasiado lento para el muestreo del frente de onda en tiempo real. Después de la detección de las posiciones iniciales de todos los centroides, se aplica un algoritmo rápido relacionado con el segundo algoritmo de detección del centroide mencionado anteriormente en la etapa S2 a la siguiente imagen de centroide para detectar cambios incrementales de todas las posiciones de centroides en relación con las posiciones de centroides iniciales. Un ciclo de tacto del segundo algoritmo de detección del centroide puede estar en el intervalo de 10 Hz a 15 Hz, que es significativamente más rápido que el primer ciclo de tacto. Los ciclos de tacto mencionados anteriormente son ejemplos y pueden variar dependiendo de los parámetros del sistema, en particular el tiempo de cálculo para realizar un algoritmo lento y un algoritmo rápido. A

continuación, se realiza una verificación en la etapa S3 si el algoritmo rápido todavía es aplicable basándose en ciertos parámetros, por ejemplo, si un nuevo centroide capturado 1 está ubicado dentro del área de proximidad 4 de un centroide respectivo 1 en una imagen de centroide capturada anterior. En el afirmativo (ruta S3-Sí), se adquiere una nueva imagen del centroide y se analiza mediante el algoritmo rápido. En caso de que el algoritmo rápido ya no sea aplicable (ruta S3-No), el algoritmo lento se aplica para detectar de nuevo las posiciones iniciales de todos los centroides.

La figura 6 proporciona un diagrama de flujo más detallado de un aspecto de la invención y se analizará a continuación. El método comienza en la etapa S11. Después de capturar una imagen de centroide en la etapa S12, se aplica un primer algoritmo de centroide en la etapa S13 para detectar las posiciones iniciales de todos los centroides 1. El primer algoritmo de centroide analiza la totalidad de la imagen de centroide. Luego, se aplica una comprobación del centroide en la etapa S14, donde se evalúa la calidad básica de la imagen del centroide adquirida. Los criterios de aceptación típicos pueden basarse en el ojo que se analizará, por ejemplo, que el tamaño de la pupila examinada sea mayor de 3,0 mm y / o que el tamaño de una brecha centroide potencial dentro del grupo centroide sea menor de 0,5 mm de diámetro. Los criterios adicionales pueden ser ruido de imagen, nivel de fondo o número absoluto de centroides detectables. En caso de que la comprobación del centroide falle (ruta S14-NotOK), el método continúa en la etapa S12 y se capturará una nueva imagen del centroide. Además, en la etapa S13, se aplicará el primer algoritmo de centroide. De lo contrario (ruta S14-OK), las posiciones del centroide determinadas $Z(x_i, y_i)$ se almacenará en la etapa S15 como posiciones del centroide original. En la etapa S16, se almacenará el tiempo de captura t_1 correspondiente a las posiciones de centroides $Z(x_i, y_i)$ previamente determinadas (x_i, y_i) .

Las siguientes etapas S17 a S22 indicadas como un bloque en la figura 6 se refieren al ciclo de etapas que se ejecuta en caso de que no sea necesario aplicar el primer algoritmo de detección del centroide. En la etapa S17, se captura y analiza una imagen de centroide adicional mediante el segundo algoritmo de determinación de centroide en la etapa S18. En la etapa S18, preferentemente, se determina la nueva posición de cada centroide como se determina en la etapa S13. Preferentemente, el segundo algoritmo de determinación del centroide determina la posición de un centroide en la siguiente imagen del centroide, adquirida en la etapa S17, buscando en un área adyacente a la posición del centroide respectivo en la primera y / o anterior imagen del centroide, es decir, en el área de proximidad 4. Como se ha mencionado anteriormente, un ciclo de tacto del segundo algoritmo de determinación del centroide puede estar en el intervalo de 10Hz a 15Hz, que es aproximadamente 10 veces más rápido que el primer algoritmo de determinación del centroide. En general, el factor entre los diferentes tiempos de cálculo puede estar en un intervalo de 2 a 100, preferentemente de 5 a 20.

Después de la etapa S19, el almacenamiento del tiempo de captura t_2 relacionado con los centroides previamente determinados en la etapa S18, las posiciones de los centroides como se determina mediante el segundo algoritmo de determinación del centroide se comparan con las posiciones de centroides originales almacenadas y / o las posiciones de centroides anteriores almacenadas en la etapa S20. En caso de que las desviaciones no excedan un valor predeterminado (ruta S20-OK), es decir, los centroides están ubicados en el área de proximidad 4 de un centroide determinado anterior como se discutió, por ejemplo, con referencia a la Figura 4a, las posiciones del centroide según lo determinado por el segundo algoritmo centroide se almacena en la etapa S22. Por tanto, la diferencia de los centroides y el frente de onda se evalúan en la etapa S23. En la etapa S23, se evalúa la diferencia en los centroides y el frente de onda, es decir, los cambios del frente de onda $\Delta W(x, y)$ se determinan sobre la base de los cambios de las posiciones del centroide para cada imagen de centroide siguiente. En una etapa de decisión S24, se decide si el método debe finalizar y finalizar en la etapa S25 o continuarse con la etapa S16. A continuación, en la etapa S16, se almacena un tiempo de captura t_1 relacionado con las posiciones del centroide almacenadas en la etapa S22.

En caso de que la comparación en la etapa S20 de las posiciones del centroide según lo determinado por el segundo algoritmo del centroide y las posiciones del centroide original muestre que la desviación excede de un valor predeterminado (ruta S20-NotOK), sigue la etapa S21. En la etapa S21 se determina si dentro de un tiempo predeterminado cualquier otra imagen centroide sucesiva se desvía más que la tolerancia predeterminada, es decir, si $t_2 - t_1 > t(\max)$, mientras que $t(\max)$ es el tiempo máximo predeterminado. Si no se excede este límite de tiempo (ruta S21-No), el método continuará en la etapa S17 y capturará una imagen de centroide adicional que será analizada por el segundo algoritmo centroide. En el caso de que en la etapa S21 se determine que el tiempo máximo se ha superado (ruta S21-Sí), el método continuará en la etapa S12 y capturará una nueva imagen de centroide que será analizada por el primer algoritmo de determinación de centroide. Como se ha mencionado anteriormente con referencia a la figura 4, otro criterio puede ser que un número predeterminado de imágenes de centroides posteriores no puede analizarse mediante el segundo algoritmo de determinación de centroide. Por lo tanto, en la etapa S21 se puede verificar si el número de intentos para analizar imágenes de centroides posteriores usando el segundo algoritmo es igual a un número predeterminado $n_{\max}$, donde $n_{\max}$ puede estar en un intervalo de 2 a 50, preferentemente de 4 a 25 y, de la forma más preferente, de aproximadamente 10.

Aunque se han elegido ciertas realizaciones para ilustrar la invención, los expertos en la técnica entenderán que pueden realizarse cambios y modificaciones sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la detección de frente de onda en tiempo real de un sistema óptico, que comprende las siguientes etapas:

- (a) adquirir una primera imagen de centroide y determinar las posiciones de los centroides en dicha primera imagen de centroide usando un primer algoritmo de determinación de centroide;
- (b) adquirir una siguiente imagen de centroide y determinar las posiciones de los centroides en la siguiente imagen de centroide usando un segundo algoritmo de determinación de centroide, donde dicho segundo algoritmo de determinación de centroide determina la posición de cada centroide con referencia a la posición del centroide respectivo en la primera imagen de centroide,

donde el segundo algoritmo de determinación de centroide es más rápido que el primer algoritmo de determinación de centroide.

2. El método de la reivindicación 1, donde el segundo algoritmo de determinación de centroide determina la posición de un centroide en la siguiente imagen de centroide buscando en un área adyacente a la posición del centroide respectivo en la primera imagen de centroide.

3. El método de la reivindicación 2, donde dicha área adyacente a la posición de un centroide en la primera imagen de centroide se define como las proximidades directas que se determinan mediante una desviación dx y dy.

4. El método de la reivindicación 3, donde la desviación dx, dy que determina las proximidades de una posición de un centroide en la primera imagen de centroide representa del 0,1 % al 10 % de la distancia X de dos centroides vecinos en la dirección x y la distancia Y de dos centroides vecinos en la dirección y, respectivamente.

5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además las etapas:

- (c) adquirir una imagen de centroide adicional y determinar las posiciones de los centroides en la imagen de centroide adicional usando el segundo algoritmo de determinación de centroide, donde la posición de un centroide en la imagen de centroide adicional se determina por referencia a la posición del centroide respectivo en una imagen del centroide previamente adquirida.

6. El método de la reivindicación 5, que comprende además la etapa de comparar las posiciones de los centroides en una imagen de centroide posterior con las posiciones de los centroides respectivos en la primera imagen de centroide y si la desviación de las posiciones de los centroides respectivos es mayor que una tolerancia previamente dada o si faltan algunos centroides con la siguiente imagen sucesiva de centroide.

7. El método de la reivindicación 6, que comprende además la etapa de determinar si dentro de un tiempo predeterminado cualquier otra imagen de centroide sucesiva se desvía más que la tolerancia preestablecida, y evaluar la siguiente imagen de centroide con el primer algoritmo de determinación de centroide si todas las siguientes imágenes de centroides sucesivas se desvían más que la tolerancia preestablecida.

8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además la etapa de determinar los cambios del frente de onda ΔW (x, y) sobre la base de los cambios de las posiciones del centroide para cada imagen de centroide siguiente.

9. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, donde dicho primer algoritmo de determinación del centroide opera en una base de 1 Hz-2 Hz.

10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde dicho segundo algoritmo de determinación del centroide opera en una base de 10 Hz-15 Hz.

11. Aparato para la detección de frente de onda en tiempo real de un sistema óptico que comprende:

- (a) medios de adquisición para adquirir imágenes de centroides;
- (b) primer medio de determinación para determinar las posiciones de los centroides en una primera imagen de centroide usando un primer algoritmo de determinación de centroide;
- (c) segundo medio de determinación para determinar las posiciones de los centroides en una próxima imagen de centroide utilizando un segundo algoritmo de determinación de centroide, donde dicho segundo algoritmo de determinación de centroide determina la posición de cada centroide con referencia a la posición del centroide respectivo en la primera imagen de centroide,

donde el segundo algoritmo de determinación de centroide es más rápido que el primer algoritmo de determinación de centroide.

12. el aparato de la reivindicación 11, donde el segundo medio de determinación está adaptado para determinar la posición de un centroide en una imagen de centroide adicional por referencia a la posición del centroide respectivo en una imagen de centroide previamente adquirida.

5 13. El aparato de la reivindicación 11 o 12, donde dicho primer medio de determinación opera en una base de 1 Hz-2 Hz.

14. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, donde dicho segundo medio de determinación opera en una base de 10 Hz-15 Hz.

10

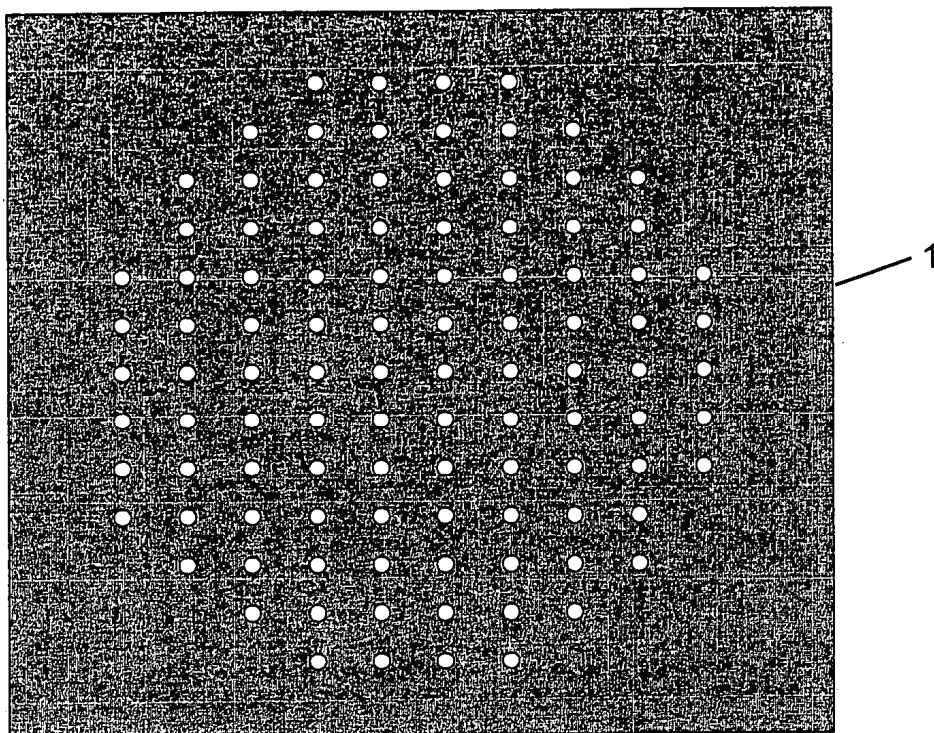


Figura 1

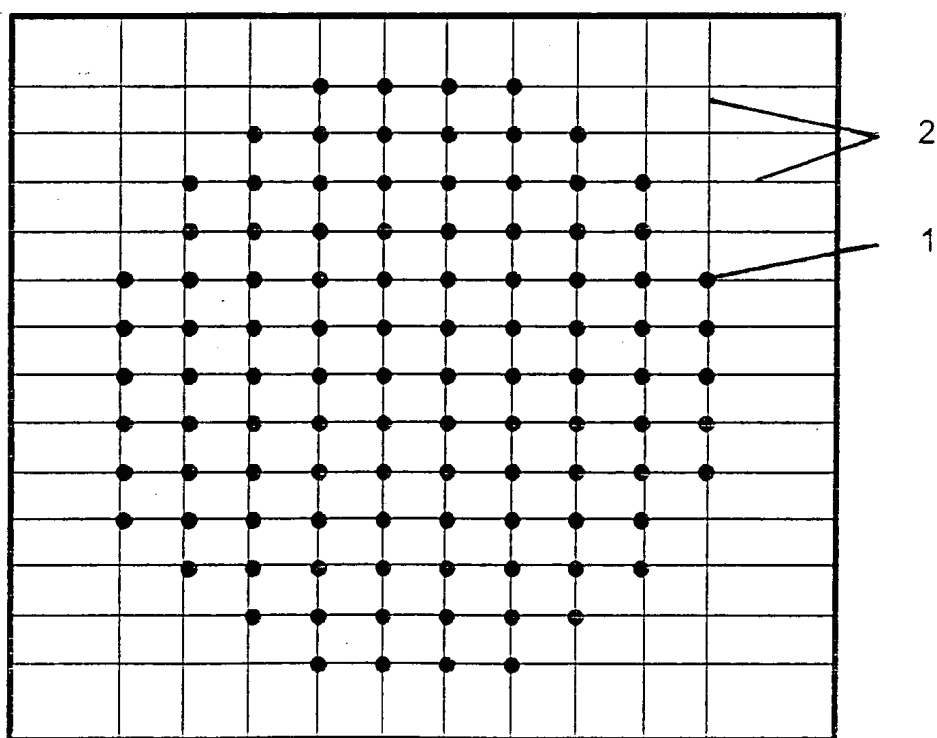


Figura 2a

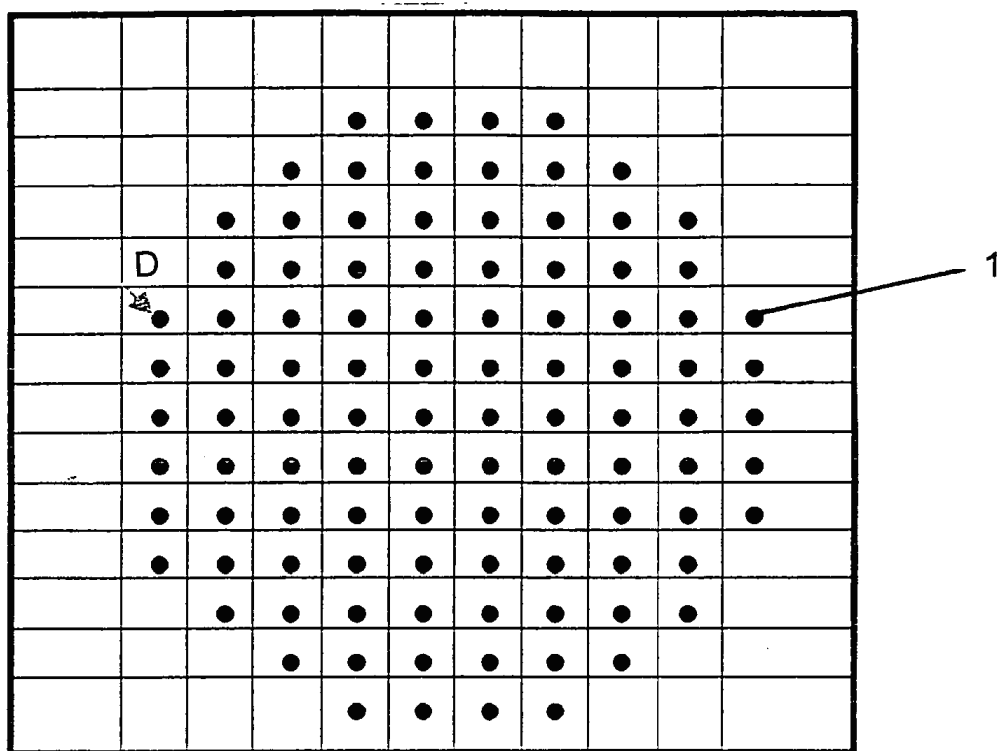


Figura 2b

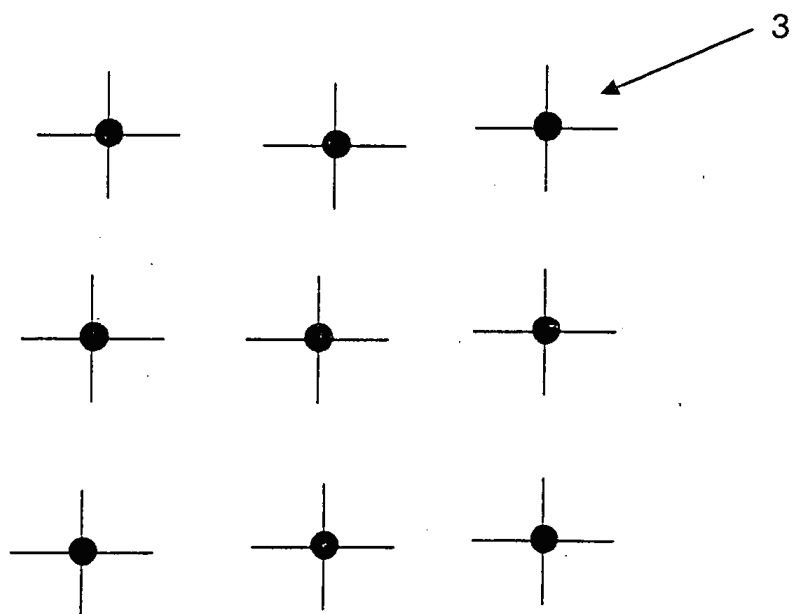


Figura 3a

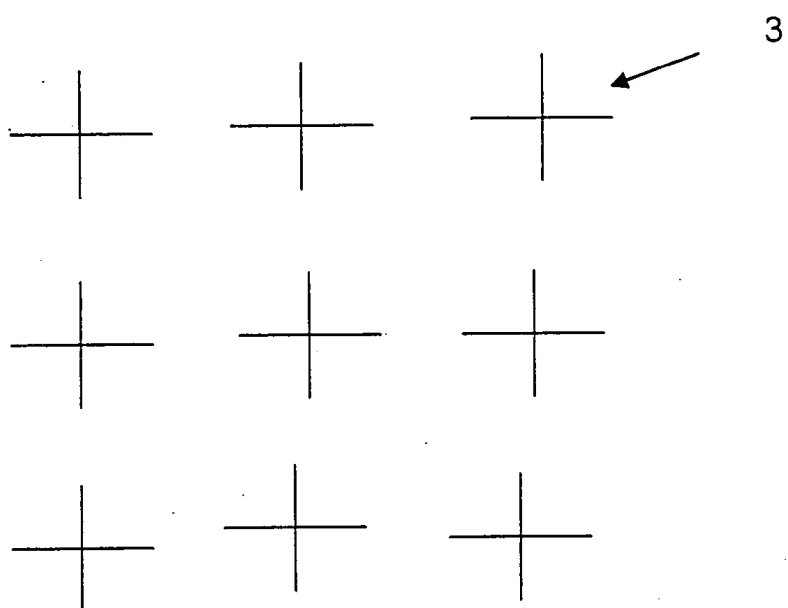


Figura 3b

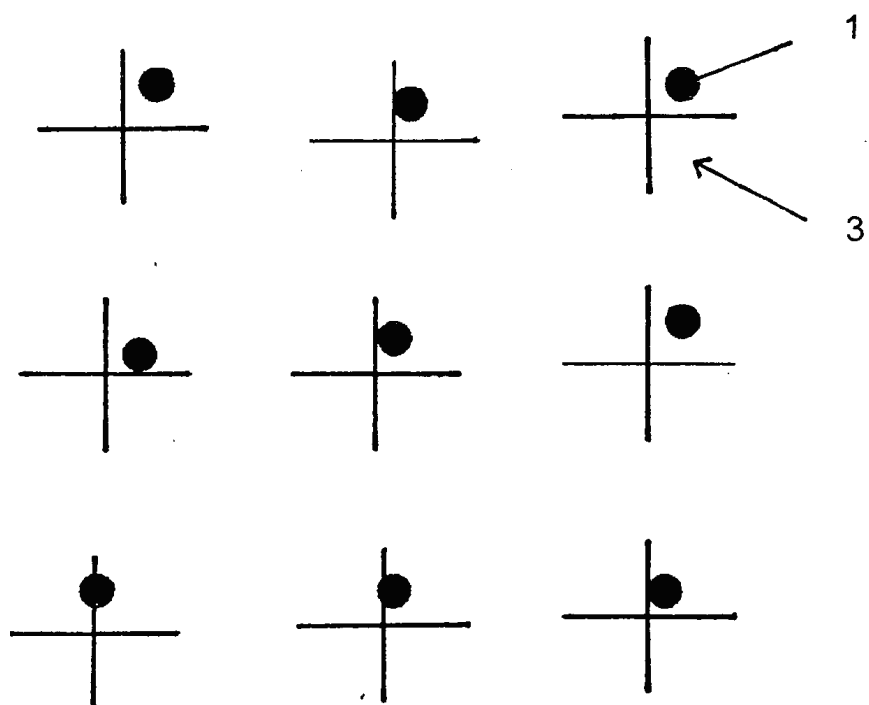


Figura 3c

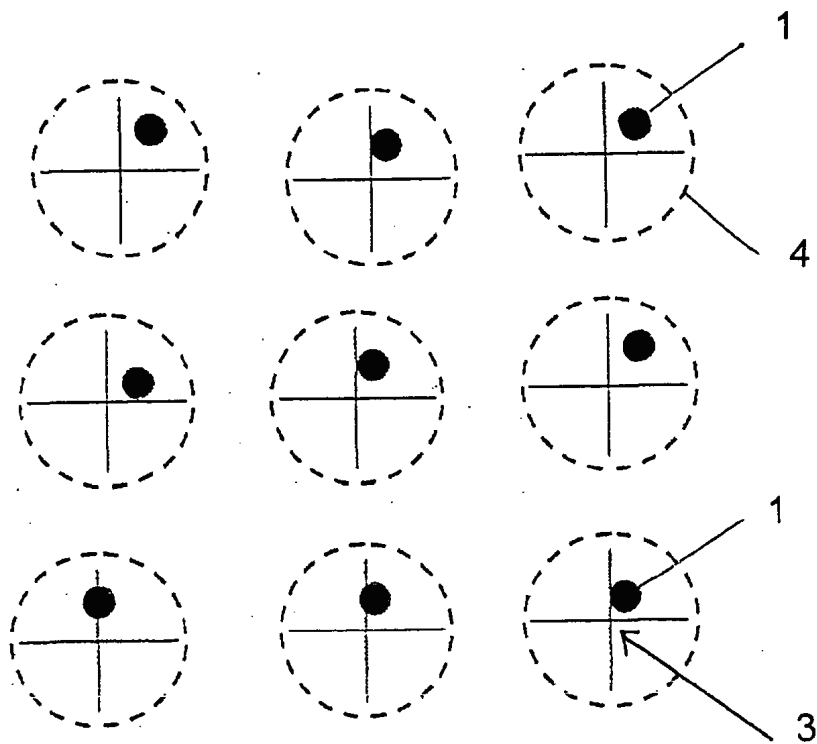


Figura 4a

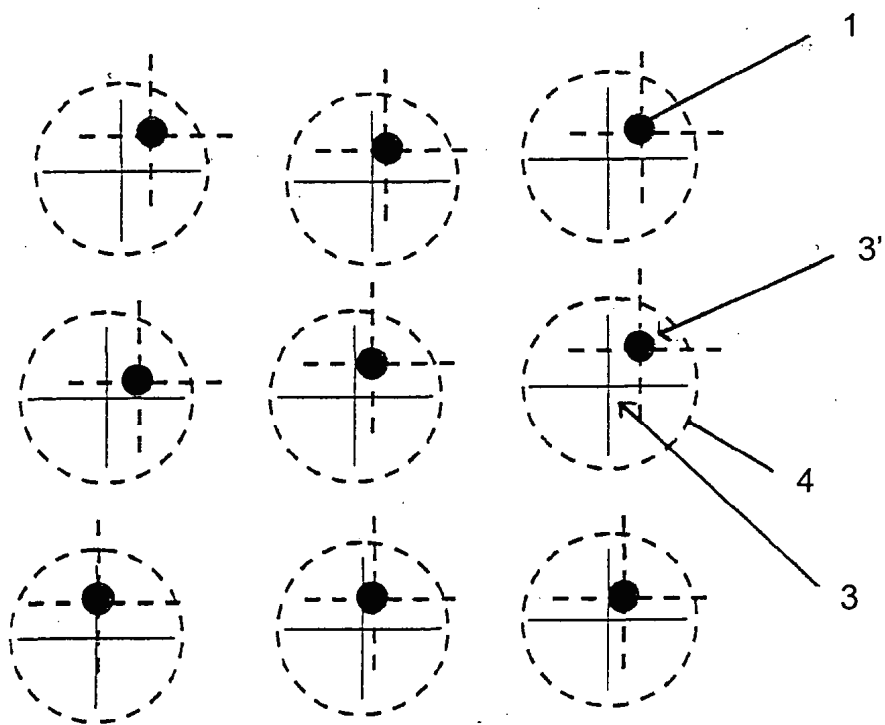


Figura 4b

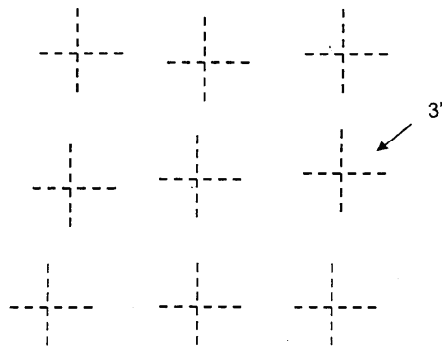


Figura 4c

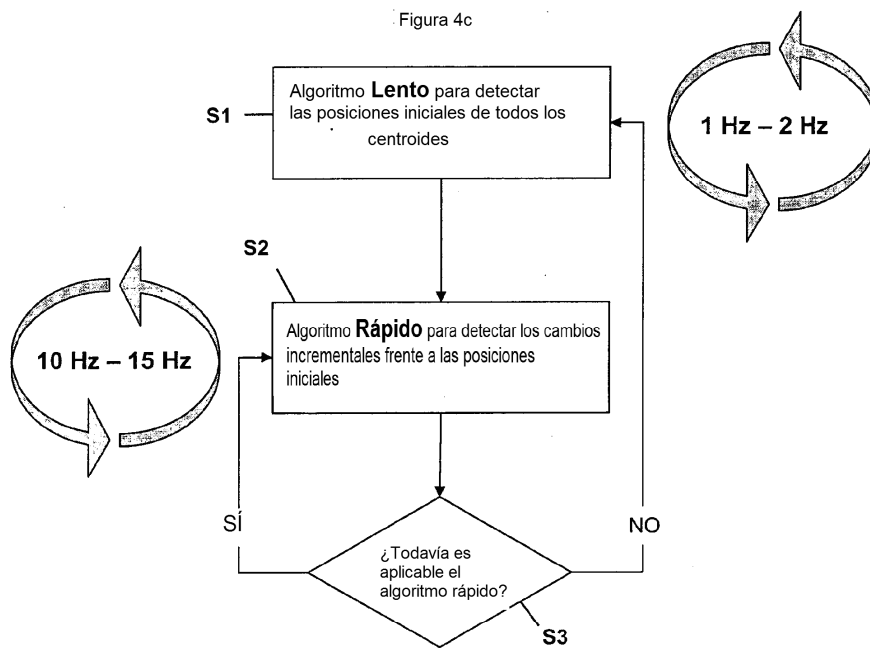


Figura 5

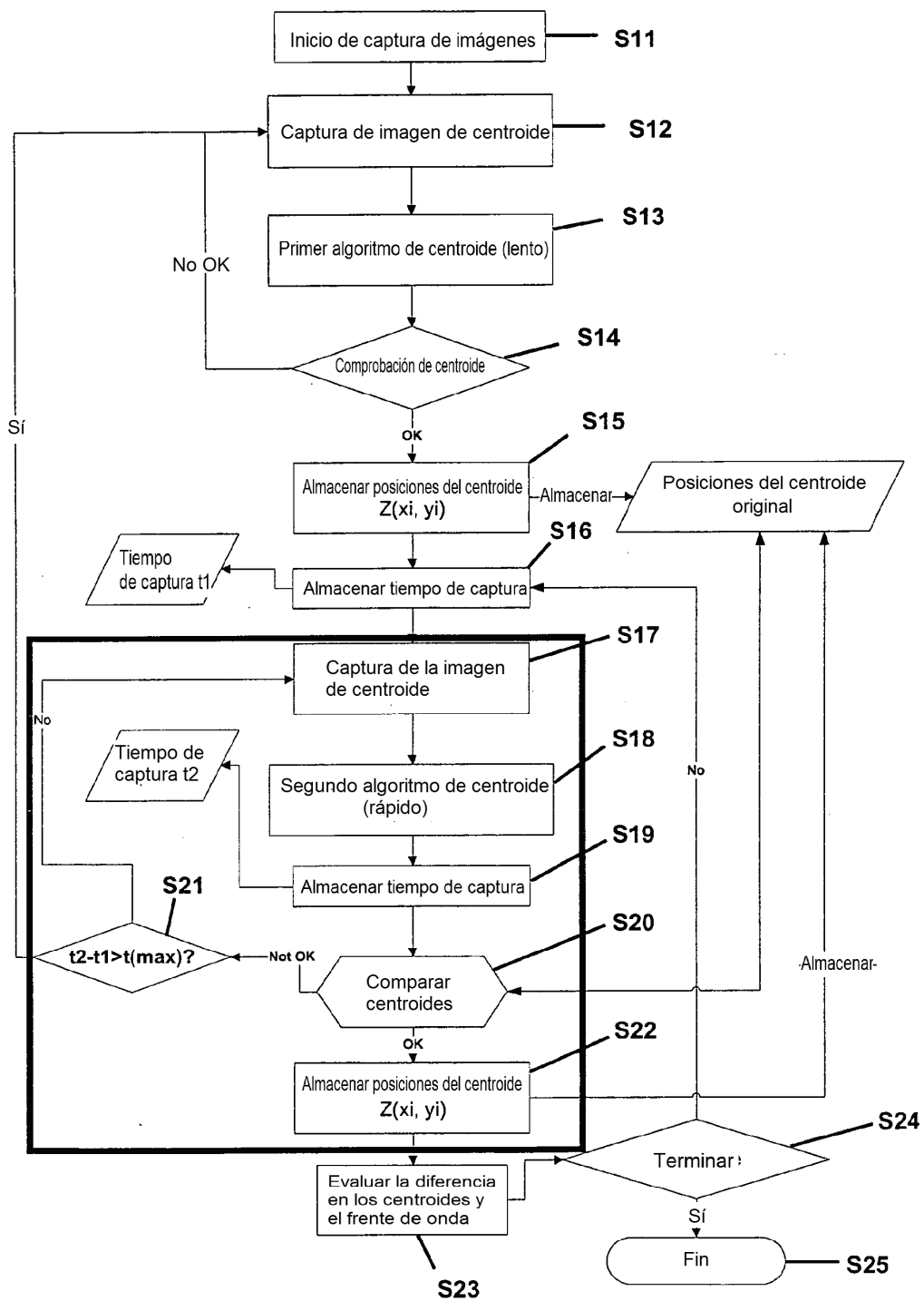


Figura 6