

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 024 938**

51 Int. Cl.:

**G03B 35/08** (2011.01)  
**G01B 11/00** (2006.01)  
**G06T 15/00** (2011.01)  
**G06T 7/579** (2007.01)  
**G06T 7/593** (2007.01)  
**G06T 7/33** (2007.01)  
**G06T 17/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2017** **PCT/IL2017/051376**  
87 Fecha y número de publicación internacional: **28.06.2018** **WO18116305**  
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2017** **E 17882759 (8)**  
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2025** **EP 3559740**

54 Título: **Seguimiento en tiempo real para la obtención de imágenes tridimensionales**

30 Prioridad:

**22.12.2016 US 201662437933 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.06.2025**

73 Titular/es:

**CHERRY IMAGING LTD (100.00%)**  
**Beit Hermon**  
**2069200 Yokneam, IL**

72 Inventor/es:

**ECKHOUSE, VARDIT;**  
**COHEN, ODED y**  
**ALTMAN, IGOR**

74 Agente/Representante:

**MENDIGUTÍA GÓMEZ, María Manuela**

ES 3 024 938 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

Seguimiento en tiempo real para la obtención de imágenes tridimensionales

Antecedentes

La invención se refiere al campo de la obtención de imágenes tridimensionales (3D).

- 5 Las cámaras convencionales transforman una vista tridimensional de un objeto en una imagen bidimensional. Típicamente, se pierde la dimensión de profundidad, correspondiente a la distancia entre el plano focal de la imagen capturada y la cámara. Para incluir una característica de profundidad, algunos sistemas ópticos usan dos cámaras para capturar un par de imágenes estéreo del objeto, de la misma manera que funcionan nuestros ojos. Cada imagen del par se adquiere desde un ángulo de visión ligeramente diferente, y la discrepancia entre las dos imágenes se usa para medir la profundidad. Un ejemplo de este enfoque se conoce de WO 2012/115862 A2.

Los ejemplos anteriores de la técnica relacionada y las limitaciones relacionadas con la misma, se pretende que sean ilustrativos y no exclusivos. Otras limitaciones de la técnica relacionada resultarán evidentes para los expertos en la técnica tras la lectura de la especificación y el estudio de las figuras.

Resumen

- 15 Las siguientes modalidades y aspectos de las mismas se describen e ilustran junto con sistemas, herramientas y métodos que se pretenden ser ilustrativos y no limitativos en alcance.

Un aspecto proporciona un sistema de acuerdo con la reivindicación 1.

- En algunas modalidades, el procesador se configura además para indicar en la renderización de la construcción incremental una comparación entre una distancia de visión del par de imágenes adquirido actualmente y una distancia de visión óptima.

En algunas modalidades, el procesador se configura para indicar la comparación al mostrar un indicador gráfico de distancia correspondiente a la distancia de visión del par de imágenes adquirido actualmente superpuesto con el indicador gráfico de seguimiento.

- El procesador está configurado para registrar el par de imágenes adquirido actualmente a una ubicación en el modelo 3D al: calcular una distancia entre la cámara y la superficie como una función de una disparidad del par de imágenes adquirido actualmente, determinar una nube de puntos para el par de imágenes adquirido actualmente mediante el uso de la distancia calculada, y mapear múltiples puntos clave en la nube de puntos a una región en el modelo 3D en proximidad a un par de imágenes añadidos más recientemente, determinar a partir del mapeo cuándo se realiza el registro y cuándo falla el registro, calcular delta como una función de una discrepancia entre la nube de puntos mapeada y el modelo 3D cuando se realiza el registro, y en donde la adición del par de imágenes adquirido actualmente al modelo 3D comprende la adición de la nube de puntos mapeada al modelo 3D.

- El procesador está configurado para determinar la nube de puntos al: agrupar el par de imágenes, calcular una distorsión de baja resolución del par de imágenes agrupado, calcular una distancia promedio de la distorsión de baja resolución, mediante el uso de la distancia promedio seleccionar una tabla de corrección de distorsión correspondiente a la distancia promedio, aplicar la tabla de distorsión seleccionada para corregir una distorsión del par de imágenes, y en donde la disparidad del par de imágenes comprende una disparidad del par de imágenes corregidas, y en donde determinar una nube de puntos comprende determinar la nube de puntos a partir del par de imágenes corregidas.

- En algunas modalidades, el procesador está configurado para realizar un seguimiento de la construcción incremental al indicar en la renderización de la construcción incremental cuándo tiene éxito el registro y cuándo falla el registro.

- En algunas modalidades, el procesador se configura para indicar cuándo el registro tiene éxito al mostrar el indicador gráfico de seguimiento mediante el uso de un primer color, y en donde el procesador se configura para indicar cuándo el registro falla al mostrar el indicador gráfico de seguimiento mediante el uso de un segundo color.

- En algunas modalidades, el procesador se configura además para, en respuesta a determinar que el registro falla, ejecutar un procedimiento de rebloqueo.

- En algunas modalidades, el procedimiento de rebloqueo comprende intentar registrar el par de imágenes adquirido más recientemente en las proximidades de la ubicación registrada correspondiente a un par de imágenes añadidos

previamente hasta que el registro tenga éxito, en donde el par de imágenes añadidos previamente se selecciona de un grupo que consiste en: los diez pares de imágenes añadidos más recientemente, los veinte pares de imágenes añadidos más recientemente, los treinta pares de imágenes añadidos más recientemente y los cuarenta pares de imágenes añadidos más recientemente.

- 5 En algunas modalidades, el sistema comprende además una interfaz de usuario, en donde el procesador se configura para recibir una ubicación indicada por el usuario a través de la interfaz de usuario, y en donde el procedimiento de rebloqueo comprende registrar el par de imágenes adquirido más recientemente en proximidad a la ubicación indicada por el usuario en el modelo 3D.

- 10 En algunas modalidades, el sistema comprende además una memoria, en donde el procesador se configura además para recuperar un modelo 3D construido previamente de la memoria, en donde registrar el par de imágenes adquirido actualmente comprende registrar en una ubicación en el modelo 3D construido previamente recuperado, y en donde añadir el par de imágenes adquirido actualmente en la ubicación registrada comprende añadir el par de imágenes adquirido actualmente al modelo 3D construido previamente.

- 15 En algunas modalidades, la renderización de la construcción incremental comprende además diferenciar entre los pares de imágenes adquiridas añadidas y el modelo 3D construido previamente.

En algunas modalidades, la renderización de la construcción incremental del modelo 3D en la pantalla comprende ajustar continuamente la orientación del modelo 3D en respuesta a los cambios detectados en al menos uno de un ángulo de visión horizontal y uno vertical de dicha cámara estereoscópica.

- 20 En algunas modalidades, el procesador está configurado para calcular al menos uno del ángulo de visión horizontal y vertical de dicha cámara estereoscópica a partir de la tabla de corrección de distorsión.

Además de los aspectos y modalidades ilustrativos descritos anteriormente, otros aspectos y modalidades se harán evidentes mediante referencia a las figuras y mediante el estudio de la siguiente descripción detallada.

Breve descripción de las figuras

- 25 Las modalidades ilustrativas se ilustran en las figuras de referencia. Las dimensiones de los componentes y características mostradas en las figuras se seleccionan generalmente para la conveniencia y claridad de la presentación y no se muestran necesariamente a escala. Las figuras se enumeran más abajo.

Las Figuras 1A-1B, tomadas juntas, un sistema de obtención de imágenes ópticas de acuerdo con una modalidad;

Las Figuras 2A-2B ilustran un sistema de obtención de imágenes ópticas de acuerdo con otra modalidad;

- 30 Las Figuras 3A-3B muestran un diagrama de flujo de un método para rastrear la construcción de un modelo 3D de una superficie a partir de múltiples pares de imágenes adquiridas por cualquiera de los sistemas de las Figuras 1A-1B y 2A-2B, de acuerdo con una modalidad;

Las Figuras 4A-4D muestran una implementación ilustrativa del método de seguimiento descrito con respecto a la Figura 3A;

- 35 La Figura 5 muestra un diagrama de flujo de un método para registrar el par de imágenes adquirido actualmente en el modelo 3D, de acuerdo con una modalidad;

Las Figuras 6A-6B tomadas juntas muestran un diagrama de flujo de un método para determinar una nube de puntos a partir de un par de imágenes, de acuerdo con una modalidad;

La Figura 7 muestra líneas de tiempo que comparan las velocidades para la adquisición, registro y rebloqueo de imágenes, de acuerdo con una modalidad;

- 40 Las Figuras 8A-8E muestran múltiples orientaciones de barrido y orientaciones de visualización correspondientes, de acuerdo con una modalidad;

La Figura 8F muestra un diagrama de flujo de un método para ajustar la orientación de la pantalla, de acuerdo con las Figuras 8A-8E;

- 45 Las Figuras 9A-9B muestran una implementación de la adición de imágenes adquiridas recientemente a un modelo 3D construido previamente, de acuerdo con una modalidad; y

La Figura 10 muestra una ilustración conceptual de un sistema para rastrear el escaneo del rostro de una persona en tiempo real, de acuerdo con una modalidad.

Descripción detallada

En la presente descripción se describe un sistema y un método para implementar el seguimiento en tiempo real para la reconstrucción de imágenes 3D. Una cámara estereoscópica escanea una superficie y proporciona una corriente de pares de imágenes que se añaden de forma incremental para construir un modelo tridimensional (3D) de alta resolución de la superficie en tiempo real. La cámara puede ser una cámara portátil y, por lo tanto, el usuario puede requerir comentarios para garantizar que la cámara esté posicionada a la distancia y orientación correctas desde la superficie para capturar imágenes útiles y de calidad. Para proporcionar dicha retroalimentación, el sistema realiza un seguimiento del escaneo por parte de la cámara a la construcción del modelo en tiempo real. La construcción del modelo 3D se muestra al usuario mientras se escanea, y la adición de imágenes adquiridas recientemente se indica en tiempo real en el modelo 3D mostrado, lo que permite al usuario ver la ubicación relativa de la superficie escaneada actualmente en el modelo 3D.

La descripción más abajo describe un sistema óptico estereoscópico (Figuras 1A-1B, y 2A-2B) para capturar pares de imágenes de alta resolución, así como también métodos para construir un modelo 3D a partir de esos pares de imágenes. Sin embargo, puede apreciarse que esta combinación no pretende ser limitante, y el método puede usar otros sistemas ópticos para adquirir los pares de imágenes necesarios para construir el modelo.

Ahora se hace referencia a las Figuras 1A-1B que, tomadas juntas, muestran un sistema de obtención de imágenes ópticas estereoscópicas para proporcionar múltiples pares de imágenes de alta resolución para construir un modelo 3D, de acuerdo con una modalidad.

Se proporciona un sistema de obtención de imágenes 100, tal como una cámara, para capturar múltiples imágenes estéreo de un objeto 3D 110, tal como la piel. La cámara 100 se proporciona con una lente frontal (objetivo) 102 para recoger la luz reflejada del objeto 110. La luz recogida se transmite a través de una o más aberturas de una máscara 104 a un par de lentes traseras 106a y 106b, que enfocan la luz recogida en uno o más sensores 108, tales como puede comprender cualquier sensor de imagen adecuado, por ejemplo, un dispositivo de acoplamiento de carga (CCD) o un semiconductor de óxido metálico complementario (CMOS). Opcionalmente, la luz recogida puede recogerse en múltiples regiones de un solo sensor 108, mostrado en la Figura 1B como dos regiones de sensor 108a, 108b. Las regiones del sensor 108a, 108b pueden capturar múltiples pares de imágenes del objeto 110 en estéreo. Las parejas de imágenes capturadas pueden recibirse por un procesador 112 que usa las parejas de imágenes para construir un modelo 3D del objeto 110 y almacenar el modelo en una memoria 118. El modelo 3D construido puede renderizarse en una pantalla 116.

Con referencia a la Figura 1B, se muestra una vista ilustrativa del sensor 108 que tiene dos regiones distintas, 108a y 108b. Alternativamente, pueden proporcionarse múltiples sensores individuales 108a y 108b para cada uno de los sistemas de obtención de imágenes.

La cámara 100 puede constituir dos sistemas de imágenes, cada sistema que comprende uno de los lentes 106a y 106b y una de las regiones del sensor 108a y 108b, y que comparten el objetivo común 102. Los dos sistemas de obtención de imágenes pueden permitir la obtención de imágenes a lo largo de caminos ópticos separados, cada uno correspondiente a un ángulo de visión diferente  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  del objeto 110, lo que permite de esta manera la adquisición simultánea de imágenes estéreo. Cada una de las lentes 106a y 106b y las regiones de sensor 108a y 108b puede estar dedicada a una de las trayectorias ópticas. Este diseño puede permitir que la longitud total de los sistemas de obtención de imágenes se limite dentro de un límite de tamaño predefinido, tal como para implementarse dentro de un dispositivo portátil. Alternativamente, puede proporcionarse un objetivo separado (no mostrado) para cada trayectoria óptica.

Los sistemas de obtención de imágenes pueden ser telecéntricos en el espacio de muestra del objeto 110, tal como al colocar la máscara 104 en el plano focal posterior del objetivo 102, lo que permite desacoplar el desenfoque y el aumento del objeto 110. Opcionalmente, las lentes traseras 106a y 106b pueden operar en condiciones telecéntricas tales como al colocar la máscara 104 en el plano focal delantero de las lentes traseras 106a y 106b. Opcionalmente, la distancia entre la máscara 104 a las lentes traseras 106a y 106b puede ser menor que la distancia focal de las lentes traseras 106a y 106b para permitir que las imágenes del objeto 110 se expandan al alcanzar las esquinas de

las regiones del sensor 108a y 108b. La obtención de imágenes telecéntricas descrita de este modo puede permitir una obtención de imágenes de escala uniforme al proporcionar un campo de visión (FOV) constante y, por lo tanto, las regiones del objeto 110 colocadas ya sea por encima o por debajo del plano de mejor enfoque pueden obtenerse imágenes a la misma escala de tamaño que las regiones colocadas en el enfoque óptimo. Esta propiedad puede ser  
5 útil cuando se combinan las múltiples imágenes capturadas diferentes por el procesador 112 para realizar la reconstrucción 3D del objeto 110.

La máscara 104 puede tener dos o más aberturas para transmitir la luz recogida, cada abertura corresponde a una de las diferentes trayectorias ópticas. En una implementación, la máscara 104 incluye un par de agujeros redondos para producir el número F (F#) deseado en el objeto 110, tal como se ilustra en la Figura 1A, donde se entiende que F# es  
10 una medida de la cantidad de luz que se recoge mediante el sistema de obtención de imágenes 100.

El sistema 100 puede diseñarse para obtener imágenes del objeto 110 posicionado en o cerca del plano focal frontal del lente frontal de manera que las regiones de sensor 108a y 108b sean conjugados infinitos. Por lo tanto, la luz reflejada del objeto 110 en el ángulo  $\theta_1$  puede enfocarse a través del objetivo 102 a través de una abertura de la máscara 104 y enfocarse a través de la lente 106a en la región del sensor 108a, y la luz reflejada de la muestra 110  
15 en el ángulo  $\theta_2$  puede enfocarse a través del objetivo 102 a través de una segunda abertura de la máscara 104 y enfocarse a través de la lente 106b en la región del sensor 108b. De esta manera, diferentes puntos del objeto 110 se imagina en diferentes ángulos  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  pueden asignarse a diferentes regiones del plano de máscara y diferentes regiones del plano del sensor, que comprenden un sistema de obtención de imágenes diferente para cada ángulo de visión. De manera similar, los rayos de luz que reflejan un solo punto del objeto 110 en diferentes ángulos  $\theta_1$ ,  $\theta_2$   
20 pueden ser paralelas cuando llegan a la máscara 104, y se transmiten, respectivamente, a través de las diferentes aberturas a través de las lentes traseras 106a y 106b a las regiones de sensores 108a y 108b. De esta manera, los dos sistemas de imágenes juntos permiten la obtención simultánea de imágenes estéreo desde múltiples vistas angulares diferentes del objeto 110. Opcionalmente, cada ángulo de visión puede representarse por imágenes secuencialmente en el sensor 108.

Las aberturas de la máscara 104 pueden colocarse simétricamente opuestas alrededor del eje de visión de la cámara 100, lo que permite obtener dos vistas ligeramente diferentes de la superficie 3D. La disparidad  $\Delta$  entre las dos vistas capturadas diferentes puede calcularse y usarse para determinar un atributo de profundidad de la superficie 3D imagen. La disparidad puede calcularse como las diferencias entre las posiciones laterales (X, Y) de una o más características identificadas en las dos imágenes. Se puede formar un mapa 3D del objeto representado por imágenes  
30 al calcular la disparidad entre cada característica identificada en las dos vistas capturadas. La disparidad puede calcularse mediante el uso de cualquier algoritmo adecuado tal como se conoce en la técnica de la estereoscopia. La profundidad puede calcularse mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$Z = F_1 + \Delta F_1^2 / (F_2 b) \quad (1)$$

Donde  $F_1$  es la distancia focal de la lente frontal (objetivo),  $F_2$  es la longitud focal de la lente posterior,  $b$  es la separación de la abertura,  $\Delta$  es la disparidad y  $Z$  es la profundidad. Valores para  $F_1$  pueden variar entre 170-180 milímetros (mm)  $\pm 10\%$ , valores para  $F_2$  pueden variar entre 25-35 mm  $\pm 10\%$ , y los valores para  $b$  puede variar de 15 a 20 mm  $\pm 10\%$ .  
35

Típicamente, existe una compensación entre la profundidad de campo, la resolución y el nivel de luz. Para aberturas redondas, esta compensación puede describirse mediante las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} &\text{Resolución lateral (criterio de Rayleigh, radio de disco de Airy)} \\ &= 1.22\lambda(F_2/D_A) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{Difracción — Profundidad o foco limitado} = \pm 2\lambda \left( F_1/D_A \right)^2 \quad (3)$$

$$\text{Luz} \sim \left( D_A/F_1 \right)^2 \quad (4)$$

donde  $D_A$  es el diámetro de la abertura y  $\lambda$  es la longitud de onda.

El campo de visión (FOV) de un sistema de obtención de imágenes está gobernado por el diámetro  $D_L$  del objetivo 102, longitud focal  $F_1$ , y  $F\#$  del objetivo, como sigue:

$$FOV \leq D_L - F_1 \times \alpha - F_1 / F\# \quad (5),$$

5 donde  $\alpha$  es el ángulo entre las imágenes derecha e izquierda medido en radianes.

Dado que un FOV grande típicamente requiere un objetivo grande, lo que da como resultado un sistema óptico pesado y voluminoso, el FOV puede restringirse para permitir que la cámara 100 tenga un tamaño y peso que sean adecuados para un dispositivo portátil. Para compensar un FOV más pequeño, el objeto 110 puede escanearse para capturar muchos pares de imágenes consecutivas. La Ecuación (1) puede aplicarse a cada uno de los pares de imágenes adquiridas mediante el uso del sistema de obtención de imágenes estéreo anterior, para calcular el atributo de profundidad, o una nube de puntos 3D, para cada par de imágenes. Puede usarse un algoritmo de registro para agregar todas las nubes de puntos 3D calculadas juntas y formar una gran nube de puntos 3D que representa la región escaneada.

Cualquier ruido de una sola nube de puntos 3D puede acumularse en el proceso de registro, lo que da como resultado un nivel de ruido significativo para la gran nube de puntos 3D. Para limitar la sensibilidad al ruido, la cámara 100 puede diseñarse de manera que el ángulo  $\alpha$  entre las imágenes izquierda y derecha (los pares de imágenes adquiridas en estéreo), pueden ser sustancialmente pequeños, tales como  $\sim 6^\circ$ . Alternativamente, el ángulo  $\alpha$  entre las imágenes izquierda y derecha puede variar de  $5,5^\circ$  y  $6,5^\circ$ , o  $5^\circ$  y  $7^\circ$ , o  $4^\circ$  y  $8^\circ$ . Por lo tanto, las características de la imagen izquierda y la imagen derecha pueden ser muy similares, lo que permite un alto grado de precisión en la identificación de características a lo largo de los ejes lateral, x y vertical, y. Sin embargo, puede quedar una distorsión no despreciable a lo largo de la profundidad, eje z.

Se hace referencia ahora a las Figuras 2A-2B que ilustran un sistema de obtención de imágenes ópticas 200 que tiene una lente correctora para reducir la distorsión óptica, de acuerdo con otra modalidad.

La distorsión es una aberración óptica que mapea incorrectamente un punto en el objeto real al espacio de imagen.

Este mapeo incorrecto de puntos puede tener un efecto sustancial en las nubes de puntos 3D. Siguiendo la Ecuación (1), la relación  $dz$  entre  $z$  (profundidad) y disparidad ( $\Delta$ ) en un sistema con un ángulo relativamente pequeño entre las imágenes izquierda y derecha, tal como  $\sim 6^\circ$  (60) es  $dz \sim 30\Delta$ . En tal sistema, incluso una distorsión muy baja, tal como décimas de un por ciento, puede tener un efecto no insignificante en la gran nube de puntos 3D. Para evitar tales errores, el sistema de obtención de imágenes ópticas telecéntricas 200 puede capturar imágenes con distorsión muy baja, tal como  $< 0,5\%$ . Adicionalmente, el sistema de obtención de imágenes ópticas telecéntricas 200 proporciona un FOV constante con un número uniforme de píxeles.

La distorsión en un sistema óptico también es una función de la profundidad; cuando está enfocado, un sistema óptico puede adquirir imágenes con distorsión muy baja, sin embargo, las imágenes adquiridas lejos del foco pueden sufrir una alta distorsión. Para abordar este problema, puede proporcionarse una lente 214 para reducir la distorsión del sistema óptico y cambiar muy gradualmente a lo largo de toda la profundidad de enfoque, lo que da como resultado una distorsión relativamente baja a lo largo de la profundidad de enfoque. Al reducir la distorsión para cada imagen capturada, el error acumulado para la nube de puntos 3D resultante del registro puede reducirse significativamente.

La Figura 2A muestra un sistema de abertura única para la obtención de imágenes del objeto 110. La luz reflejada del objeto 110 se recoge mediante el objetivo 102. La luz recogida se enfoca mediante la lente correctora 214 y se transmite a través de la abertura de la máscara 104, a través de una o más lentes traseras 106 al sensor 108.

El sistema de la Figura 2B es sustancialmente similar al de las Figuras 1A-1B que tienen dos sistemas de imágenes para dos trayectorias ópticas, cada una correspondiente a un ángulo de visión diferente del objeto 110, con la diferencia notable de que el lente corrector 214 se coloca entre el objetivo 102 y el plano de abertura de la máscara 104. La lente 102 acoplada con la lente 214 puede reducir la distorsión de las imágenes adquiridas mediante el uso del sistema 200. La luz reflejada del objeto 110 en dos caminos ópticos separados se recoge por el objetivo 102 acoplado con la lente 214, enfocado en la máscara 104, y transmitido a través de múltiples pares de aberturas de la

## ES 3 024 938 T3

máscara 104 a través de las lentes traseras 106a y 106b a las regiones de sensores 108a y 108b, respectivamente.

La longitud total del sistema 200 de la Figura 2A puede variar, por ejemplo, de 110 a 130 mm. En una modalidad, la longitud total es de aproximadamente  $120 \text{ mm} \pm 10 \%$ . El diámetro máximo del sistema 200 puede variar, por ejemplo, de 60 a 80 mm, y en una modalidad puede ser de aproximadamente  $70 \text{ mm} \pm 10 \%$ . La distorsión promedio puede variar de 0,4 % a 0,6 % y en una modalidad puede ser de aproximadamente 0,5 %. El FOV puede variar, por ejemplo, de 30x30 mm a 60x35 mm, y en una modalidad, puede ser de aproximadamente  $60 \times 30 \text{ mm} \pm 10 \%$ . La profundidad de campo puede variar, por ejemplo, de 2 mm a 35 mm, y en una modalidad, puede ser de aproximadamente  $20 \text{ mm} \pm 10 \%$ . La resolución 3D puede variar, por ejemplo, de 80 a 100 micras, y en una modalidad, puede ser de 100 micras  $\pm 10 \%$ .

Las regiones de sensor 108a y 108b configuradas con cualquiera de los sistemas 100 o 200 pueden adquirir múltiples pares de imágenes y transmitirlos para su procesamiento por el procesador 112. La velocidad de adquisición de imágenes y la velocidad de transmisión pueden variar de 5-10 Hercio (Hz)  $\pm 10 \%$ , o alternativamente de 6-12 Hz  $\pm 10 \%$ , o 7-15 Hz  $\pm 10 \%$ .

Ahora se hace referencia a la Figura 3A que muestra un diagrama de flujo de un método para el seguimiento en tiempo real del escaneo de una superficie 3D mediante el uso del sistema de cualquiera de los sistemas 100 o 200, de acuerdo con una modalidad. La construcción y el seguimiento de imágenes se implementan por el procesador 112 que opera con la memoria 118 y la pantalla 116.

Se adquieren secuencialmente múltiples pares de imágenes estereoscópicas de una superficie desde una cámara (Etapa 300). Un modelo 3D de la superficie se construye incrementalmente a partir de los pares de imágenes simultáneamente con la adquisición secuencial de imágenes (Etapa 302). La construcción incremental incluye realizar las Etapas 304-306, para cada par de imágenes adquirido actualmente: el par de imágenes adquirido actualmente se registra en una ubicación en el modelo 3D (Etapa 304), cuyos detalles se proporcionan a continuación con respecto a la Figura 5; si el registro tiene éxito y si un delta entre el par de imágenes registradas excede un umbral predefinido, el par de imágenes adquirido actualmente se agrega al modelo 3D en la ubicación registrada (Etapa 306), tal como realizando la Etapa 512 de la Figura 5. La construcción incremental del modelo 3D puede renderizarse en una pantalla (Etapa 308). La construcción incremental del modelo 3D puede rastrearse simultáneamente con la adquisición secuencial de imágenes (Etapa 310), tal como mediante la visualización de un indicador gráfico en la renderización de la construcción incremental del modelo 3D. El indicador gráfico puede indicar simultáneamente en el modelo 3D renderizado tanto la ubicación registrada, como cuando la distancia de visión de la cámara a la superficie actual está dentro de un intervalo de enfoque de la cámara, y cuando la distancia de visión de la cámara a la superficie actual no está dentro de un intervalo de enfoque de la cámara. Esto permite al usuario observar la región de la superficie escaneada mediante el uso del modelo 3D como referencia, lo que le permite maniobrar la cámara de acuerdo con las regiones del modelo que requieren un escaneo adicional. También proporciona al usuario comentarios de que las imágenes que se están escaneando actualmente están enfocadas y, por lo tanto, se registran y se añaden al modelo.

El indicador de seguimiento puede tener múltiples atributos diferentes para indicar varios parámetros del sistema, lo que permite al usuario ajustar la posición de la cámara y/o la velocidad de adquisición en respuesta a las indicaciones. Por ejemplo, el indicador de seguimiento puede mostrarse como un punto que indica al usuario la distancia de visión entre la cámara y la superficie para el par de imágenes registrado más recientemente. Opcionalmente, a medida que el usuario mueve la cámara más cerca de la superficie para adquirir imágenes, el indicador de seguimiento será más pequeño. Por el contrario, a medida que la cámara se aleja más de la superficie para adquirir imágenes, el indicador de seguimiento será más grande. Por lo tanto, el usuario puede seguir la posición del punto en el modelo renderizado para ver dónde se están agregando y registrando las imágenes adquiridas actualmente en el modelo, y el indicador de seguimiento en el punto puede indicar la distancia entre la cámara y la superficie. Esta retroalimentación de seguimiento puede proporcionarse en tiempo real mientras se escanea la superficie, lo que permite al usuario ajustar cualquiera de las regiones de escaneo y la distancia a la superficie, y la velocidad de escaneo, en consecuencia, y adquirir imágenes bien enfocadas de las regiones relevantes de la superficie.

Alternativamente, el tamaño del 'punto' del indicador de seguimiento puede ser constante, lo que indica dónde en el

modelo se registra el par de imágenes adquirido actualmente y se añade. Puede mostrarse un indicador de distancia separado para indicar al usuario una comparación entre la distancia de visión actual y la distancia de visión óptima para el sistema de obtención de imágenes, como sigue:

a) Cuando la distancia actual entre la cámara y la superficie está fuera de un intervalo de enfoque óptimo, pero aún dentro de un intervalo de registro de imágenes y, por lo tanto, las imágenes adquiridas tienen una calidad suficiente para permitir su uso en la construcción del modelo 3D, el indicador de distancia puede mostrarse para advertir al usuario que la distancia está cerca del umbral de enfoque, más allá del cual fallará el registro. El umbral de enfoque puede ser una propiedad predeterminada del sistema de obtención de imágenes. El indicador de distancia puede indicar una comparación entre la distancia de visión actual y la distancia óptima. Por ejemplo, el tamaño del indicador de seguimiento puede corresponder a una distancia focal óptima, y el tamaño del indicador de distancia puede corresponder a la distancia de visión actual. Los dos indicadores pueden superponerse de una manera que permita ver ambos simultáneamente, es decir, uno de los indicadores puede ser transparente. Por lo tanto, si el indicador de distancia es mayor que el indicador de seguimiento, la cámara está demasiado lejos y se advierte al usuario que no aumente la distancia, para que el registro no falle, y si el indicador de distancia es menor que el indicador de seguimiento, la cámara está demasiado cerca y se advierte al usuario que no disminuya la distancia, para que el registro no falle.

b) Cuando la distancia actual entre la cámara y la superficie está dentro del intervalo de enfoque óptimo, el indicador de seguimiento puede mostrarse mediante el uso del 'color de registro exitoso', (es decir, verde) y puede mostrarse solo, sin el indicador de distancia, indicando al usuario que las imágenes adquiridas a la distancia actual están dentro del intervalo de enfoque óptimo y se están registrando con éxito.

c) Cuando la distancia actual entre la cámara y la superficie está fuera del umbral de enfoque del intervalo focal óptimo, el indicador de seguimiento puede mostrarse mediante el uso del 'color de registro fallido' (es decir, rojo) y puede mostrarse solo, sin el indicador de distancia, indicando al usuario que las imágenes adquiridas a la distancia actual no están enfocadas y, por lo tanto, no se están registrando, y el sistema debe 'rebloquear' el registro.

Por lo tanto, la combinación de los indicadores de seguimiento y distancia puede permitir al usuario ajustar la distancia de visión actual en tiempo real mientras escanea para permanecer dentro de un intervalo de la distancia focal óptima y adquirir imágenes de calidad y enfocadas.

El indicador gráfico de seguimiento puede indicar cuándo tiene éxito el registro y, por lo tanto, las imágenes adquiridas del escaneo se están añadiendo al modelo, y viceversa, cuando falla el registro. Por ejemplo, la inscripción exitosa puede indicarse al mostrar el indicador en un color, tal como verde, y la inscripción fallida puede indicarse al mostrar el indicador en un color diferente, tal como rojo. Una indicación de "registro fallido" en rojo puede permitir al usuario maniobrar la cámara mientras se ejecuta un rebloqueo de la adquisición de imágenes para la construcción del modelo 3D, cuyos detalles se proporcionan más abajo con respecto a la Figura 4. Opcionalmente, el usuario puede indicar una nueva ubicación de registro en el modelo 3D y puede ajustar la distancia de la cámara para centrarse en la nueva ubicación de registro. El seguimiento puede seguir este ajuste proporcionando al usuario comentarios para rebloquear con éxito.

Ahora se hace referencia a las Figuras 4A-4D, que muestran una implementación ilustrativa del método de seguimiento descrito anteriormente con respecto a la Figura 3A.

Con referencia a la Figura 4A, se muestra un indicador de seguimiento 402 superpuesto a un modelo 3D 400. El indicador 402 se muestra como un punto (verde) correspondiente a una distancia focal óptima entre la cámara y la superficie, y la posición del indicador 402 indica la ubicación en el modelo del par de imágenes más recientemente registrado. El color del indicador 402 (verde) indica el registro exitoso de la secuencia de imágenes adquirida y, por lo tanto, la distancia entre la cámara y la superficie está dentro del intervalo de enfoque del sistema de obtención de imágenes. La ausencia del indicador gráfico de distancia adicional indica que la distancia está dentro de un intervalo predefinido de la distancia focal óptima.

Con referencia a la Figura 4B, dos indicadores gráficos: el indicador de distancia 404 y el indicador de seguimiento 406 se muestran superpuestos entre sí. El tamaño del indicador de distancia 404 (anillo exterior discontinuo) se escala

### ES 3 024 938 T3

para corresponder a la distancia de la cámara a la superficie para el par de imágenes adquirido más recientemente, y el tamaño del indicador de seguimiento 406 (punto interno) es constante, lo que indica al usuario que la distancia de escaneo actual excede la distancia de escaneo óptima. Sin embargo, el color de los indicadores 404 y 406 (verde) muestra que la cámara aún está dentro de un intervalo de umbral de la distancia óptima que permite registrar las imágenes adquiridas del escaneo. Esta retroalimentación advierte al usuario que no aumente la distancia, de lo contrario el registro fallará, y permite al usuario ajustar la distancia para adaptarse al intervalo óptimo.

Con referencia a la Figura 4C, dos indicadores gráficos: el indicador de seguimiento 408 y el indicador de distancia 410 se muestran superpuestos entre sí. El tamaño del indicador de distancia 410 (anillo interior discontinuo) se escala para corresponder a la distancia de la cámara a la superficie para el par de imágenes adquirido más recientemente, y el tamaño del indicador 408 (punto exterior) es constante, lo que indica al usuario que la distancia es menor que la distancia focal óptica. Como se indicó anteriormente, el atributo de color de los indicadores 408 y 410 (verde) indica que la distancia aún está dentro de un intervalo de umbral de la distancia focal óptima y, por lo tanto, las imágenes adquiridas a partir del escaneo se están registrando con éxito. Esta retroalimentación advierte al usuario que no disminuya la distancia, de lo contrario el registro fallará, y permite ajustar la distancia en consecuencia.

Con referencia a la Figura 4D, el color del indicador 412 (rojo) indica que la cámara está fuera del intervalo de enfoque umbral y las imágenes adquiridas no se están registrando. El atributo de color del indicador 412 puede ser sustancialmente diferente a los atributos de color de los indicadores 402-410 de las Figuras 4A-4C, para dar una indicación clara de que el registro de imagen en la orientación y/o distancia actual falló.

Puede apreciarse que las formas gráficas y/o colores específicos para los indicadores 402-412 son implementaciones ilustrativas solamente, y pueden usarse otras representaciones gráficas adecuadas. Algunos valores de umbral posibles son 20 mm, o 15 mm, o 25 mm. El atributo de color de los indicadores 402- 410 en las Figuras 6A-6C puede ser el mismo, para indicar el seguimiento exitoso para todos estos escenarios.

Ahora se hace referencia a la Figura 5 que muestra un diagrama de flujo del método para registrar el par de imágenes adquirido actualmente en el modelo 3D, de acuerdo con una modalidad. Una distancia entre la cámara y la superficie se calcula como una función de una disparidad del par de imágenes adquirido actualmente (Etapa 500), por ejemplo, mediante la aplicación de la Ecuación 1 anterior. Se determina una nube de puntos para el par de imágenes adquirido actualmente mediante el uso de la distancia calculada (Etapa 502). Por ejemplo, la nube de puntos puede determinarse mediante el uso del método descrito con mayor detalle a continuación con respecto a las Figuras 6A-6B.

Pueden determinarse múltiples puntos clave en la nube de puntos del par de imágenes adquirido actualmente, y luego asignarse a múltiples puntos clave correspondientes de una nube de puntos del modelo 3D (Etapa 504). El mapeo puede usarse para determinar si el registro tiene éxito o si el registro falla (Etapa 506). Una descripción más detallada de la Etapa 506 se da por las etapas 610-614 de las Figuras 6B. Si el registro tiene éxito, indique el éxito (Etapa 508) y calcule el delta entre el par de imágenes registradas y el modelo 3D, por ejemplo, como una función de una discrepancia entre la nube de puntos mapeada y el modelo 3D (Etapa 510). Si el delta es significativo y excede el umbral, la nube de puntos mapeada puede añadirse al modelo 3D (Etapa 512), correspondiente a la etapa de adición 306 de la Figura 3A.

Ahora se hace referencia a las Figuras 6A-6B que muestran un diagrama de flujo de un método para registrar una nube de puntos de un par de imágenes adquirido actualmente a una nube de puntos calculada previamente, de acuerdo con una modalidad.

Un par de imágenes de alta resolución recibidas se contenedor, por ejemplo, al combinar los valores de píxeles en una operación de agrupación de 2x2 o 3x3 o 4x4 o 5x5 o 6x6 y se puede calcular una distorsión de baja resolución a partir de las imágenes contenidas (Etapa 600).

Se calcula una distancia promedio entre la cámara y la superficie 3D mediante el uso del cálculo de baja resolución de la distorsión (Etapa 602).

La distancia promedio se usa para seleccionar una tabla de corrección de distorsión correspondiente a la distancia promedio (Etapa 604). Opcionalmente, la tabla de distorsión puede seleccionarse de múltiples tablas de corrección de distorsión almacenadas en la memoria 118.

### ES 3 024 938 T3

La tabla de distorsión seleccionada se aplica para corregir la distorsión del par de imágenes (Etapa 606). El par de imágenes de alta resolución corregido por distorsión se usa para calcular una disparidad del par de imágenes corregidas, y puede usarse para el valor de disparidad de la Etapa 502 de la Figura 5.

Adicionalmente, las imágenes corregidas de la distorsión pueden usarse para calcular el ángulo y la distancia entre la cámara y la superficie, así como también para determinar la nube de puntos 3D de la Etapa 502 de la Figura 5, como se define por la Ec. 1 (Etapa 608). El ángulo puede usarse para reorientar el modelo, como se describe más abajo con respecto a la Figura 8.

Pueden determinarse múltiples puntos clave en la nube de puntos 3D (Etapa 610).

Los puntos clave pueden asignarse a los puntos clave de referencia correspondientes identificados en la nube de puntos del modelo 3D, tales como pueden ubicarse cerca de una región correspondiente a un par de imágenes añadidos con éxito previamente (Etapa 612). Esto produce múltiples pares de puntos clave, cada par tiene un punto clave de la nube de puntos actual y la nube de puntos anterior (del modelo 3D).

Después, se calcula una matriz de transformación de registro mediante el uso de los pares coincidentes de puntos clave, para registrar correctamente (mediante rotación, distorsión, etc.) las dos nubes de puntos (Etapa 614).

Si el registro es exitoso, el método puede continuar hasta la Etapa 508 de la Figura 5. Si el registro no es exitoso, el indicador puede indicar el fallo de registro (Etapa 622), proporcionando al usuario comentarios de manera que pueda reposicionar la cámara y adquirir imágenes a partir de la ubicación indicada por el indicador. Por lo tanto, el reposicionamiento puede permitir que las nubes de puntos determinadas a partir de pares de imágenes adquiridas subsecuentemente se registren y se añadan al modelo 3D. Por ejemplo, si la distancia entre la cámara y la superficie es mayor que una distancia predefinida, y/o si las imágenes adquiridas están desenfocadas, y/o el usuario mueve la cámara demasiado rápido a través de la superficie, el registro de las imágenes adquiridas puede fallar, y la indicación de esto permite al usuario maniobrar la cámara para permitir rebloquear la adquisición de imágenes en la construcción del modelo 3D. Por lo tanto, en respuesta al fallo de registro, la adquisición de imágenes subsecuente puede rebloquearse en el modelo 3D al intentar registrar el par de imágenes adquirido más recientemente en una ubicación en el modelo 3D que está cerca de una ubicación correspondiente a un par de imágenes añadidos previamente, mediante el uso del método de la Figura 5, hasta que el registro tenga éxito (Etapa 624). Por ejemplo, puede intentarse la registración con respecto a imágenes previamente registradas y/o añadidas, tales como volver a la décima, vigésima, trigésima o cuadragésima parejas de imágenes añadidas más recientemente, lo que permite tener en cuenta el movimiento de la cámara lejos de la pareja de imágenes añadida más recientemente. Por lo tanto, el par de imágenes añadidos previamente puede seleccionarse de un grupo que consiste en: los diez pares de imágenes añadidos más recientemente, o los veinte pares de imágenes añadidos más recientemente, o los treinta pares de imágenes añadidos más recientemente, o los cuarenta pares de imágenes añadidos más recientemente.

Dado que el algoritmo de registro puede requerir más procesamiento para cada trama que el algoritmo de seguimiento, el registro de cada par de imágenes adquirido puede dar como resultado una latencia que provoca una discrepancia entre la posición restaurada en el modelo 3D y la ubicación del par de imágenes adquirido más recientemente. Para abordar esto, el algoritmo de registro puede omitir algunas de las imágenes adquiridas y usar el par de imágenes adquirido más recientemente para rebloquear la adquisición de imágenes en el modelo 3D. Por ejemplo, las imágenes que son muy similares a la región registrada y proporcionan poca información nueva y, por lo tanto, tienen un delta pequeño con la región registrada, pueden descartarse.

Con referencia a la Figura 7, una línea de tiempo 700, mostrada dos veces con el propósito de claridad, se muestra comparando las velocidades para la adquisición, registro y rebloqueo de imágenes. La velocidad de adquisición de imágenes se indica mediante la combinación de todas las flechas y puede permanecer constante. Durante el período de "rebloqueo de intento" 706, a menos que el usuario haya indicado lo contrario, el procesador intenta registrar imágenes entrantes en una porción construida del modelo 3D. Puede intentarse la inscripción con respecto a imágenes añadidas previamente, tales como la décima, vigésima, trigésima imagen añadida más recientemente, y similares. Alternativamente, el procesador intenta registrar las imágenes entrantes en proximidad a una ubicación en el modelo 3D indicada por el usuario. El rebloqueo puede requerir recursos computacionales sustanciales y, por lo tanto, la

### ES 3 024 938 T3

velocidad de rebloqueo intentada, indicada por las flechas gruesas (702), puede ser más lenta que la velocidad de adquisición de imágenes. Después de un intento fallido de rebloquear, el procesador usa el par de imágenes adquirido más recientemente para el intento posterior y descarta cualquier imagen adquirida en el ínterin. En el ejemplo mostrado, se intenta registrar el primer, cuarto y noveno par de imágenes adquirido, por lo que la velocidad de rebloqueo puede no ser necesariamente uniforme. Después de intentar registrar la primera imagen, correspondiente a la primera flecha (en negrita) 702 desde la izquierda, las imágenes adquiridas, correspondientes a las 2<sup>da</sup> y 3<sup>ra</sup> flechas desde la izquierda (flechas sólidas delgadas 710) se descartan, y el procesador intenta registrar el 4<sup>to</sup> par de imágenes adquirido, correspondiente a la segunda flecha en negrita 702 de la izquierda. De manera similar, debido a la latencia en el intento de hacer coincidir los 4<sup>to</sup> par de imágenes, la 6<sup>ta</sup>, 7<sup>ma</sup>, y 8<sup>va</sup> imágenes (flechas sólidas delgadas 710) también se descartan. Finalmente, el procesador logra registrar el 9<sup>no</sup> par de imágenes entrantes, como se indica por la 'X' debajo de la 3<sup>a</sup> flecha en negrita desde la izquierda.

Una vez que se logra el rebloqueo, comienza el período registrado, 708. El registro típicamente requiere menos recursos computacionales que el rebloqueo, ya que el procesador coincide con las imágenes entrantes en una región más pequeña del modelo 3D. Por lo tanto, la velocidad de adquisición de imágenes no puede exceder la velocidad de registro, lo que permite registrar cada imagen entrante. Sin embargo, para conservar los recursos computacionales, opcionalmente solo se añaden imágenes con información significativa al modelo 3D. Las imágenes recién registradas se comparan con el modelo 3D y se determina la discrepancia entre ellas. Si la discrepancia es menor que un valor umbral, las imágenes se descartan, como indican las flechas discontinuas delgadas 712. Sin embargo, si la discrepancia es mayor que el valor umbral, y por lo tanto las imágenes contienen una cantidad significativa de nueva información, las imágenes pueden añadirse al modelo 3D, como indican las flechas de peso medio 704. Los valores del umbral de discrepancia pueden variar de 5 % a 15 %, o de 8 % a 12 %, o aproximadamente 10 %. La velocidad de descarte de imágenes puede no ser uniforme, por ejemplo, si el usuario se detiene en una región durante un período prolongado, muchas imágenes adquiridas pueden descartarse, y si el usuario mueve la cámara sobre una región que no se escaneó previamente, pocas o ninguna imagen puede descartarse.

Ahora se hace referencia a las Figuras 8A-8E, que ilustran múltiples orientaciones de barrido y orientaciones de visualización correspondientes, de acuerdo con una modalidad. A medida que el usuario maniobra manualmente la cámara alrededor de la superficie 3D y cambia los ángulos de visión vertical y/u horizontal, la perspectiva del modelo 3D mostrado puede ajustarse en consecuencia ("reorientarse") de manera que la región del modelo 3D actualmente registrada se muestre de manera prominente, por ejemplo, se muestre aproximadamente en el centro de la pantalla y/o en el centro de un área de visualización del modelo. Opcionalmente, para evitar que la pantalla salte o tiemble en respuesta a cada cambio en los ángulos de visión, la perspectiva de la pantalla puede ajustarse en función del cambio en cualquiera de los ángulos de visión vertical u horizontal que exceda un umbral. Adicional o alternativamente, se puede aplicar un suavizado para evitar tales saltos o movimientos involuntarios, al relajar los movimientos repentinos. Con referencia a la Figura 8A, se muestra una visualización frontal inicial, en perspectiva frontal 800, correspondiente al escaneo de la cara de un paciente 802 mediante el uso de la cámara 100 desde un ángulo de visión frontal de frente. La región actualmente escaneada (nariz), indicada por el círculo blanco 802a se indica en el modelo 3D mostrado 800 en la ubicación 800a correspondiente al registro de las imágenes adquiridas. En este caso, la ubicación actualmente registrada 800a correspondiente a la región actualmente escaneada 802a se muestra en el centro del modelo 3D 800 mostrado.

Con referencia a la Figura 8B, a medida que el usuario maniobra la cámara 100 alrededor del lado de la cara del paciente 802, el ángulo de visión de la cámara pasa de una vista frontal a una vista lateral, de perfil 804, para adquirir imágenes de la mejilla del paciente 802b. Sin embargo, la visualización del modelo 3D 800 no se ha ajustado y la perspectiva permanece frontal. Como resultado, la ubicación en el modelo 3D donde se registran las imágenes adquiridas actualmente no se muestra de manera destacada en el centro de la pantalla, sino más bien a un lado, como se indica mediante el círculo 800b correspondiente a la región de exploración 802b.

Las Figuras 8C-8D muestran el cambio en el ángulo de visión horizontal 806 y el ángulo de visión vertical 808, respectivamente, al pasar de la orientación frontal de la Figura 8A a la orientación lateral de la Figura 8B. Estos ángulos

pueden medirse calculándolos mediante el uso de las ubicaciones de registro del modelo 3D, o mediante la inclusión de una brújula o giroscopio con la cámara 100, o cualquier otro medio adecuado.

Cuando el cambio en los ángulos de visión excede un valor umbral, la perspectiva de la pantalla puede ajustarse de manera que la indicación en el modelo 3D de la región actualmente escaneada se muestre de manera prominente para la conveniencia del usuario.

Con referencia a la Figura 8E, la orientación del modelo 3D 808 mostrado se muestra ajustada a la vista de perfil en lugar de la vista frontal 800 mostrada en la Figura 8A, de manera que la indicación 800b, correspondiente a la ubicación registrada actualmente, se ubica en el centro del modelo 800 mostrado.

Ahora se hace referencia a la Figura 8F que muestra un diagrama de flujo de un método para ajustar la orientación de la pantalla, de acuerdo con las Figuras 8A-8E. Durante el escaneo, la orientación del modelo 3D mostrado puede ajustarse continuamente para garantizar que la indicación gráfica de la ubicación actualmente registrada en el modelo 3D se incluya en la renderización mostrada. Los ángulos horizontales y verticales entre el campo de visión del visor y el campo de visión de la nube de puntos pueden calcularse (Etapa 810). Los ángulos horizontales y verticales calculados pueden compararse con un umbral (Etapa 812). Si el ángulo horizontal excede el umbral, se ajusta el ángulo horizontal correspondiente a la perspectiva de la pantalla (Etapa 814). Si el ángulo vertical excede el umbral, se ajusta el ángulo vertical correspondiente a la perspectiva de la pantalla (Etapa 816).

Los algoritmos de bloqueo y seguimiento en tiempo real descritos anteriormente pueden usarse para rastrear una posición de escaneo actual en un modelo 3D construido previamente y, por lo tanto, añadir imágenes adquiridas recientemente al modelo 3D al menos parcialmente construido. El indicador gráfico puede usarse para permitir al usuario navegar el enfoque de la cámara a regiones de la superficie que ya se habían incluido en el modelo 3D escaneado previamente, de manera que las imágenes adquiridas recientemente puedan registrarse en una ubicación en el modelo 3D previamente construido recuperado. Una vez registrada, la pareja de imágenes adquirida actualmente puede añadirse al modelo 3D construido previamente en la ubicación registrada, como se describió anteriormente. La renderización de la construcción incremental puede diferenciar entre los pares de imágenes adquiridos añadidos recientemente y el modelo 3D construido previamente. Por ejemplo, las regiones recién escaneadas pueden renderizarse en un color diferente.

Ahora se hace referencia a las Figuras 9A-9B que muestran una implementación de la adición de imágenes adquiridas recientemente a un modelo 3D construido previamente. La Figura 9A muestra un modelo 3D 900 parcialmente construido de la cara de un individuo que se almacenó en una memoria 118 del procesador 112 y se abrió para su visualización en la pantalla 116. El usuario puede indicar una región en el modelo 3D para rebloquear la adquisición de imágenes a través de la interfaz 120 como se describió anteriormente. Una vez rebloqueada, el registro de imágenes puede comenzar como se indica mediante el indicador gráfico 902 mediante el uso de los métodos descritos anteriormente, para añadir pares de imágenes adquiridos recientemente al modelo 3D recuperado. La porción recién construida del modelo 3D 904, correspondiente a las imágenes adquiridas recientemente, puede renderizarse de manera que se diferencie del modelo 3D que se recuperó de la memoria 118, tal como al renderizar la nueva porción 904 en un color diferente, que se muestra solo con fines ilustrativos en gris. Esto permite al usuario realizar un seguimiento de la construcción escaneada y renovada del modelo 3D con relación al modelo 3D construido previamente.

Ahora se hace referencia a la Figura 10, que muestra una ilustración conceptual de un sistema para rastrear el escaneo del rostro de una persona en tiempo real, de acuerdo con una modalidad. Un dispositivo de escaneo portátil 1000, tal como cualquiera de las cámaras 100 o 200 anteriores, escanea la cara de una persona 1002. La ubicación del escaneo se indica mediante el círculo 1004 que rodea la esquina de la boca de la persona. Las imágenes adquiridas del escaneo son usadas por un procesador (no mostrado) configurado con el dispositivo 1000 para construir un modelo 3D 1006 de la cara de la persona. La construcción del modelo se renderiza en tiempo real en la pantalla 116. Mientras se muestra la construcción, la ubicación de la región actualmente escaneada se indica en la renderización de la construcción del modelo 3D 1006 como indicador circular 402. Por lo tanto, el usuario del dispositivo 1000 recibe comentarios en tiempo real con respecto al progreso del escaneo y puede observar y rastrear la construcción del

modelo mientras escanea, lo que permite al usuario ajustar la velocidad y la ubicación del escaneo, en consecuencia. Como puede verse en la Figura 10, el usuario ha terminado de escanear la mejilla de la persona, cuyo modelo 3D 1006 se construye y se renderiza en la pantalla 116. El usuario puede ahora mover la cámara a las regiones de la boca y la nariz de la cara de la persona para continuar la construcción del modelo 3D, que se renderizará en tiempo real en la pantalla 116, con el indicador 402 que rastrea la región escaneada en el modelo renderizado.

Ahora se hace referencia a la Figura 3B que es un diagrama de flujo de un método para implementar el seguimiento en tiempo real del escaneo de una superficie 3D de la Etapa 310 de la Figura 3A mediante el uso de indicadores gráficos, de acuerdo con una modalidad.

Un atributo de tamaño de un indicador de distancia gráfica puede establecerse para indicar la distancia entre la cámara estereoscópica y la superficie, tal como estableciendo el atributo de tamaño para que corresponda a la distancia de visión actual de la cámara a la superficie para el par de imágenes registrado más recientemente; un atributo de forma, patrón u otro atributo visual del indicador puede establecerse para indicar una comparación entre la distancia de visión actual y la distancia de visión óptima; y un atributo de color del indicador puede establecerse para indicar el éxito del registro.

La distancia entre la cámara y la superficie, tal como se calcula en la Etapa 500 de la Figura 5, puede compararse con una distancia de enfoque de cámara óptima (Etapa 312). Si la distancia no está dentro del umbral de la distancia focal óptima, los atributos de color, forma y tamaño del indicador pueden establecerse para indicar un error de registro (Etapa 314). Si la distancia está dentro del umbral de la distancia focal óptima, el atributo de color del indicador puede establecerse para indicar un registro exitoso (Etapa 316). Si la distancia está dentro del umbral, pero es mayor que la distancia óptima, el atributo de forma puede establecerse para indicar una indicación de 'distancia más allá de lo óptimo' (Etapa 318). Si la distancia está dentro del umbral, pero es menor que la distancia óptima, el atributo de forma puede establecerse para indicar una indicación de 'distancia más cercana que la óptima' (Etapa 320). El indicador de conjunto puede superponerse al modelo 3D renderizado en una ubicación correspondiente al par de imágenes registrado más recientemente con éxito (Etapa 322). Además, o alternativamente, cualquiera de los indicadores puede comprender emitir una alerta y/o parpadear una luz.

La presente invención es un sistema de acuerdo con la reivindicación 1. Otros ejemplos que no son parte de la invención reivindicada son un método y/o un producto de programa informático. El producto de programa informático puede incluir un medio de almacenamiento legible por ordenador (o medios) que tiene instrucciones de programa legibles por ordenador en el mismo para hacer que un procesador lleve a cabo aspectos de la presente invención.

El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser un dispositivo tangible no transitorio que puede retener y almacenar instrucciones para su uso por un dispositivo de ejecución de instrucciones. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser, por ejemplo, pero no se limita a, un dispositivo de almacenamiento electrónico, un dispositivo de almacenamiento magnético, un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento electromagnético, un dispositivo de almacenamiento de semiconductores o cualquier combinación adecuada de lo anterior. Una lista no exhaustiva de ejemplos más específicos del medio de almacenamiento legible por ordenador incluye los siguientes: un disquete de ordenador portátil, un disco duro, una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de solo lectura (ROM), una memoria de solo lectura programable y borrable (EPROM o memoria Flash), una memoria de acceso aleatorio estática (SRAM), una memoria de solo lectura de disco compacto portátil (CD-ROM), un disco versátil digital (DVD), una memoria USB, o cualquier combinación adecuada de los anteriores. Un medio de almacenamiento legible por ordenador, como se usa en la presente, no debe interpretarse como señales transitorias per se, tal como ondas de radio u otras ondas electromagnéticas que se propagan libremente, ondas electromagnéticas que se propagan a través de una guía de ondas u otros medios de transmisión (por ejemplo, pulsos de luz que pasan a través de cable de fibra óptica) o señales eléctricas transmitidas a través de un cable.

Las instrucciones de programa legibles por ordenador descritas en la presente descripción pueden descargarse a dispositivos informáticos/de procesamiento respectivos desde un medio de almacenamiento legible por ordenador o a un ordenador externo o dispositivo de almacenamiento externo a través de una red, por ejemplo, la Internet, una red de área local, una red de área amplia y/o una red inalámbrica. La red puede comprender cables de transmisión de

cobre, fibras de transmisión óptica, transmisión inalámbrica, enrutadores, cortafuegos, conmutadores, ordenadores de puerta de enlace y/o servidores de borde. Una tarjeta de adaptador de red o interfaz de red en cada dispositivo informático/de procesamiento recibe instrucciones del programa legibles por ordenador de la red y reenvía las instrucciones del programa legibles por ordenador para su almacenamiento en un medio de almacenamiento legible por ordenador dentro del dispositivo informático/de procesamiento respectivo.

Las instrucciones de programa legibles por ordenador para llevar a cabo las operaciones de la presente invención pueden ser instrucciones de ensamblador, instrucciones de arquitectura del conjunto de instrucciones (ISA), instrucciones de máquina, instrucciones dependientes de máquina, microcódigo, instrucciones de microprograma, datos de configuración de estado o ya sea código fuente o código objeto escrito en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación, incluido un lenguaje de programación orientado a objetos tal como Smalltalk, C++ o similares y lenguajes de programación procedimental convencionales, tal como el lenguaje de programación "C" o lenguaje de programación similar. Las instrucciones del programa legibles por ordenador pueden ejecutarse completamente en el ordenador del usuario, parcialmente en el ordenador del usuario, como un paquete de software independiente, parcialmente en el ordenador del usuario y parcialmente en un ordenador remoto o completamente en el ordenador o servidor remoto. En este último escenario, el ordenador remoto puede conectarse a el ordenador del usuario a través de cualquier tipo de red, que incluye una red de área local (LAN) o una red de área amplia (WAN) o la conexión puede hacerse a un ordenador externo (por ejemplo, a través de Internet mediante el uso de un Proveedor de Servicios de Internet). En algunas modalidades, los circuitos electrónicos que incluyen, por ejemplo, circuitos lógicos programables, matrices de puertas programables en campo (FPGA) o matrices lógicas programables (PLA) pueden ejecutar las instrucciones de programa legibles por ordenador mediante el uso de información de estado de las instrucciones de programa legibles por ordenador para personalizar el circuito electrónico, con el fin de realizar aspectos de la presente invención.

Aspectos de la presente invención pueden describirse en la presente descripción con referencia a ilustraciones y/o diagramas de flujo. Se debe entender que cada bloque de las ilustraciones de diagramas de flujo y/o diagramas de bloques, y combinaciones de bloques en las ilustraciones de diagramas de flujo y/o diagramas de bloques, pueden implementarse mediante instrucciones de programa legibles por ordenador.

Estas instrucciones de programa legibles por ordenador pueden proporcionarse a un procesador de un ordenador de propósito general, un ordenador de propósito especial, u otro aparato de procesamiento de datos programable para producir una máquina, de manera que las instrucciones, que se ejecutan a través del procesador del ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable, creen medios para implementar las funciones/actos especificados en el diagrama de flujo y/o bloque de diagrama de bloques. Estas instrucciones de programa legibles por ordenador también pueden almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador que puede dirigir a un ordenador, un aparato de procesamiento de datos programable y/u otros dispositivos para que funcionen de una manera particular, de manera que el medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene instrucciones almacenadas en él comprende un artículo de fabricación que incluye instrucciones que implementan aspectos de la función/acción especificados en el diagrama de flujo y/o diagrama de bloques.

Las instrucciones de programa legibles por ordenador también pueden cargarse en un ordenador, otro aparato de procesamiento de datos programable, u otro dispositivo para provocar que se realice una serie de etapas operativas en el ordenador, otro aparato programable u otro dispositivo para producir un proceso implementado por ordenador, de manera que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador, otro aparato programable u otro dispositivo implementen las funciones/actos especificados en el diagrama de flujo y/o bloque de diagrama de bloques.

El diagrama de flujo y los diagramas de bloques en las Figuras ilustran la arquitectura, funcionalidad y operación de posibles implementaciones de sistemas, métodos y productos de programas informáticos de acuerdo con varios ejemplos de la presente invención. Con respecto a esto, cada bloque en el diagrama de flujo o en los diagramas de bloques puede representar un módulo, segmento o porción de instrucciones, que comprende una o más instrucciones ejecutables para implementar la(s) función(es) lógica(s) especificada(s). En algunas implementaciones alternativas, las funciones indicadas en el bloque pueden producirse fuera del orden indicado en las figuras. Por ejemplo, dos

### ES 3 024 938 T3

bloques mostrados en sucesión pueden, de hecho, ejecutarse sustancialmente de manera simultánea, o los bloques a veces pueden ejecutarse en el orden inverso, en dependencia de la funcionalidad involucrada. También se observará que cada bloque de los diagramas de bloques y/o la ilustración del diagrama de flujo y las combinaciones de los bloques en los diagramas de bloques y/o la ilustración del diagrama de flujo, pueden implementarse mediante sistemas basados en hardware de propósito especial que realizan las funciones o actos especificados o llevar a cabo combinaciones de hardware para propósitos especiales e instrucciones informáticas.

Las descripciones de las diversas modalidades de la presente invención se han presentado con fines ilustrativos, pero no pretenden ser exhaustivas ni limitadas a las modalidades descritas. Muchas modificaciones y variaciones serán evidentes para los expertos en la técnica sin apartarse del alcance de las modalidades descritas. La terminología usada en la presente descripción se eligió para explicar mejor los principios de las modalidades, la aplicación práctica o mejora técnica sobre las tecnologías encontradas en el mercado, o para permitir que otros expertos en la técnica comprendan las modalidades descritas en la presente descripción.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema, que comprende:

una cámara estereoscópica (100) configurada para adquirir múltiples pares de imágenes de una superficie (300); y

5 un procesador (112) configurado para:

adquirir secuencialmente (300) múltiples pares de imágenes estereoscópicas de una superficie de la cámara estereoscópica;

construir incrementalmente (302) un modelo 3D (400, 800, 1006) de la superficie a partir de los pares de imágenes simultáneamente con la adquisición secuencial de imágenes, en donde construir incrementalmente comprende, para cada par de imágenes adquirido actualmente:

registrar el par de imágenes adquirido actualmente en una ubicación del modelo 3D (304);

agrupar el par de imágenes adquirido actualmente mediante la combinación de valores de píxeles en una operación de agrupación;

calcular (600) una distorsión de baja resolución de las imágenes agrupadas;

15 calcular (602) una distancia promedio entre la cámara y la superficie 3D, mediante el uso de la distorsión de baja resolución calculada;

seleccionar (604) una tabla de corrección de distorsión correspondiente a la distancia promedio;

aplicar (606) la tabla de corrección de distorsión seleccionada para corregir una distorsión del par de imágenes adquirido actualmente;

20 determinar (502) una nube de puntos del par de imágenes corregidas, adquiridas actualmente; y

añadir el par de imágenes adquirido actualmente al modelo 3D, al añadir (512) la nube de puntos al modelo 3D en la ubicación registrada.

2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el procesador se configura para registrar el par de imágenes adquirido actualmente en una ubicación del modelo 3D al:

25 calcular (500) una distancia entre la cámara y la superficie como una función de una disparidad del par de imágenes adquirido actualmente,

determinar (502) la nube de puntos para el par de imágenes adquirido actualmente mediante el uso de la distancia calculada, y

30 mapear (504) múltiples puntos clave en la nube de puntos a una región en el modelo 3D en las proximidades de un par de imágenes añadidos más recientemente,

determinar a partir del mapeo cuándo tiene éxito el registro y cuándo falla el registro,

calcular un valor delta como una función de una discrepancia entre la nube de puntos mapeada y el modelo 3D cuando el registro tiene éxito, y

35 en donde añadir el par de imágenes adquirido actualmente al modelo 3D comprende añadir la nube de puntos mapeada al modelo 3D.

3. El sistema de la reivindicación 2, en donde el procesador se configura para

añadir el par de imágenes adquirido actualmente al modelo 3D en la ubicación registrada cuando: a) el registro tiene éxito y b) un delta del par de imágenes registrado excede un umbral.

4. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además una pantalla (116), y en donde el procesador se configura para:

renderizar (308) la construcción incremental del modelo 3D en la pantalla; y

45 simultáneamente con la adquisición de imágenes secuencial, rastrear (310) la construcción incremental del modelo 3D al mostrar un indicador gráfico de seguimiento (406, 408) en la renderización de la construcción incremental del modelo 3D que indica simultáneamente: i) la ubicación registrada, ii) cuando una distancia de visión para el par de imágenes adquirido actualmente está dentro de un intervalo de enfoque de la cámara, y iii) cuando la distancia de visión no está dentro de un intervalo de enfoque de la cámara.

5. El sistema de la reivindicación 4, en donde el procesador se configura además para indicar en la renderización de la construcción incremental una comparación entre una distancia de visión del par de imágenes adquirido actualmente y una distancia de visión óptima.
6. El sistema de la reivindicación 5, en donde el procesador se configura para indicar la comparación al mostrar un indicador gráfico de distancia (404, 410) correspondiente a la distancia de visión del par de imágenes adquirido actualmente superpuesto con el indicador gráfico de seguimiento.
7. El sistema de la reivindicación 4, en donde el procesador se configura para realizar el seguimiento de la construcción incremental al indicar en la renderización de la construcción incremental cuándo tiene éxito el registro y cuándo falla el registro.
8. El sistema de la reivindicación 7, en donde el procesador se configura para indicar cuándo el registro tiene éxito al mostrar el indicador gráfico de seguimiento mediante el uso de un primer color, y en donde el procesador se configura para indicar cuándo el registro falla al mostrar el indicador gráfico de seguimiento mediante el uso de un segundo color.
9. El sistema de la reivindicación 2, en donde el procesador se configura además para, en respuesta a determinar que el registro falla, ejecutar un procedimiento de rebloqueo.
10. El sistema de la reivindicación 9, en donde el procedimiento de rebloqueo comprende intentar registrar el par de imágenes adquirido más recientemente en las proximidades de la ubicación registrada correspondiente a un par de imágenes añadidos previamente hasta que se logre el registro, en donde el par de imágenes añadidos previamente se selecciona de un grupo que consiste en: los diez pares de imágenes añadidos más recientemente, los veinte pares de imágenes añadidos más recientemente, los treinta pares de imágenes añadidos más recientemente y los cuarenta pares de imágenes añadidos más recientemente.
11. El sistema de la reivindicación 9, que comprende además una interfaz de usuario (120), en donde el procesador se configura para recibir una ubicación indicada por el usuario a través de la interfaz de usuario, y en donde el procedimiento de rebloqueo comprende registrar el par de imágenes adquirido más recientemente en proximidad a la ubicación indicada por el usuario en el modelo 3D.
12. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además una memoria (118), en donde el procesador se configura además para recuperar un modelo 3D construido previamente de la memoria, en donde registrar el par de imágenes adquirido actualmente comprende registrar en una ubicación en el modelo 3D construido previamente recuperado, y en donde añadir el par de imágenes adquirido actualmente en la ubicación registrada comprende añadir el par de imágenes adquirido actualmente al modelo 3D construido previamente.
13. El sistema de la reivindicación 12, en donde la renderización de la construcción incremental comprende además diferenciar entre los pares de imágenes adquiridos añadidos y el modelo 3D construido previamente.
14. El sistema de la reivindicación 1, en donde la renderización de la construcción incremental del modelo 3D en la pantalla comprende ajustar continuamente la orientación del modelo 3D en respuesta a los cambios detectados en al menos uno de un ángulo de visión horizontal y uno vertical de dicha cámara estereoscópica.
15. El sistema de la reivindicación 14, en donde el procesador se configura para calcular al menos uno del ángulo de visión horizontal y vertical de dicha cámara estereoscópica a partir de la tabla de corrección de distorsión.

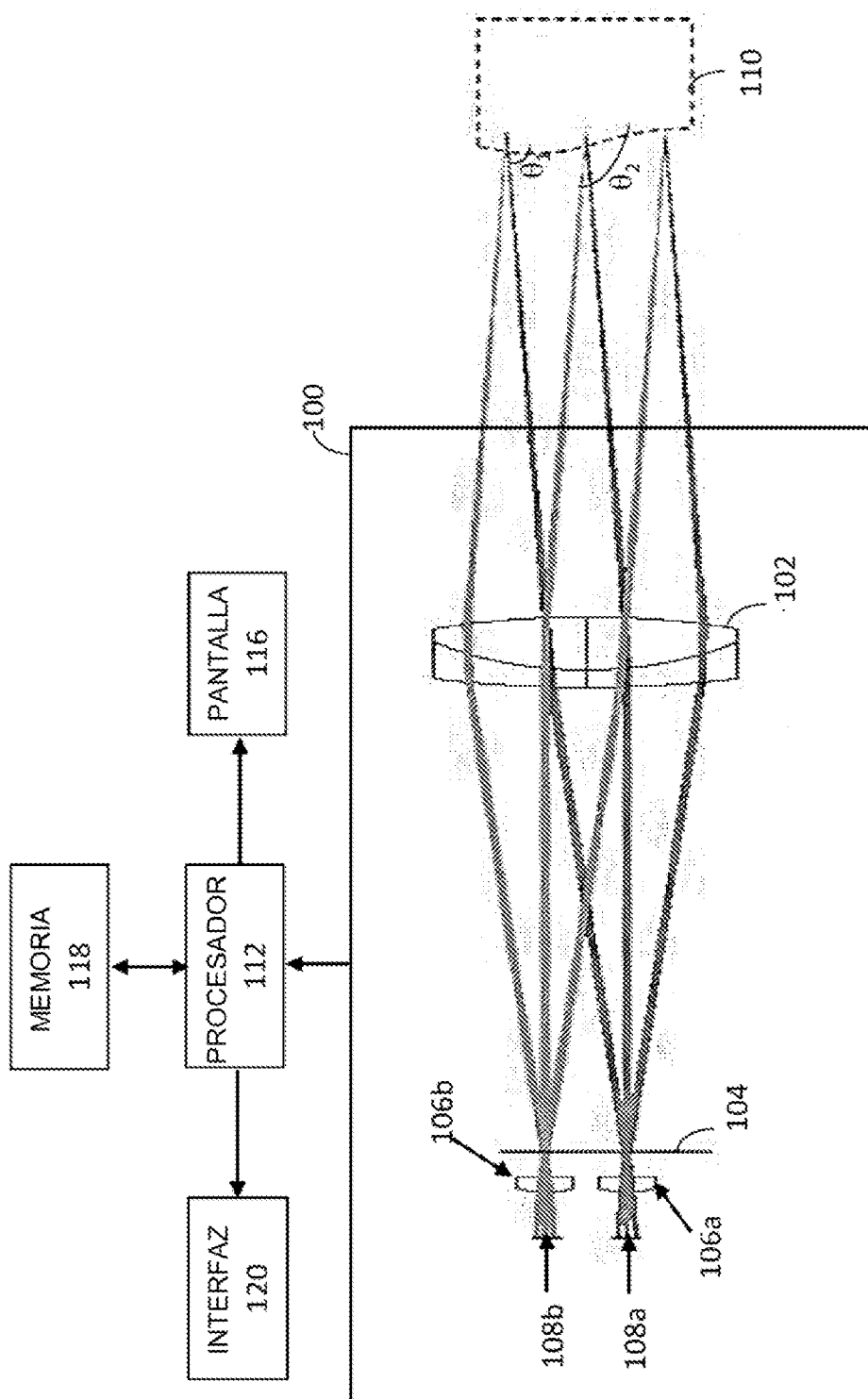


Figura 1A

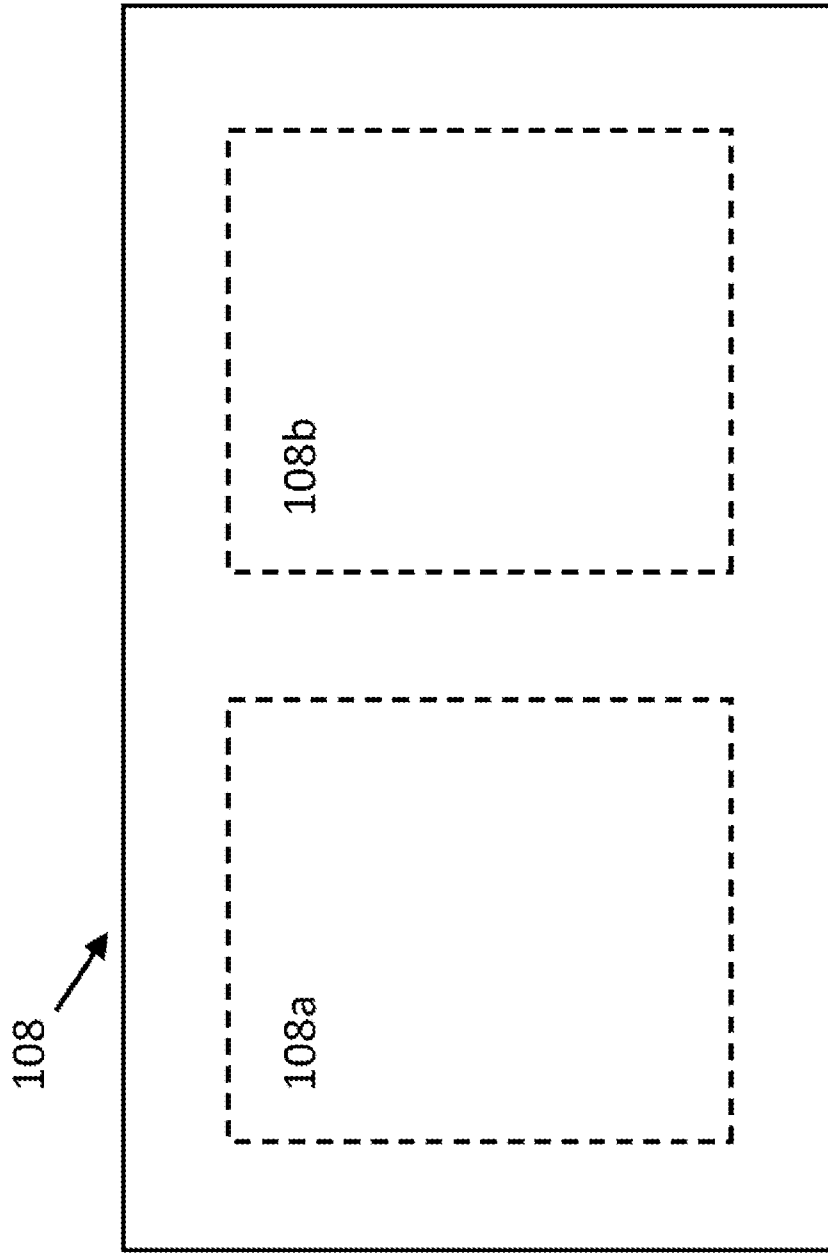


Figura 1B

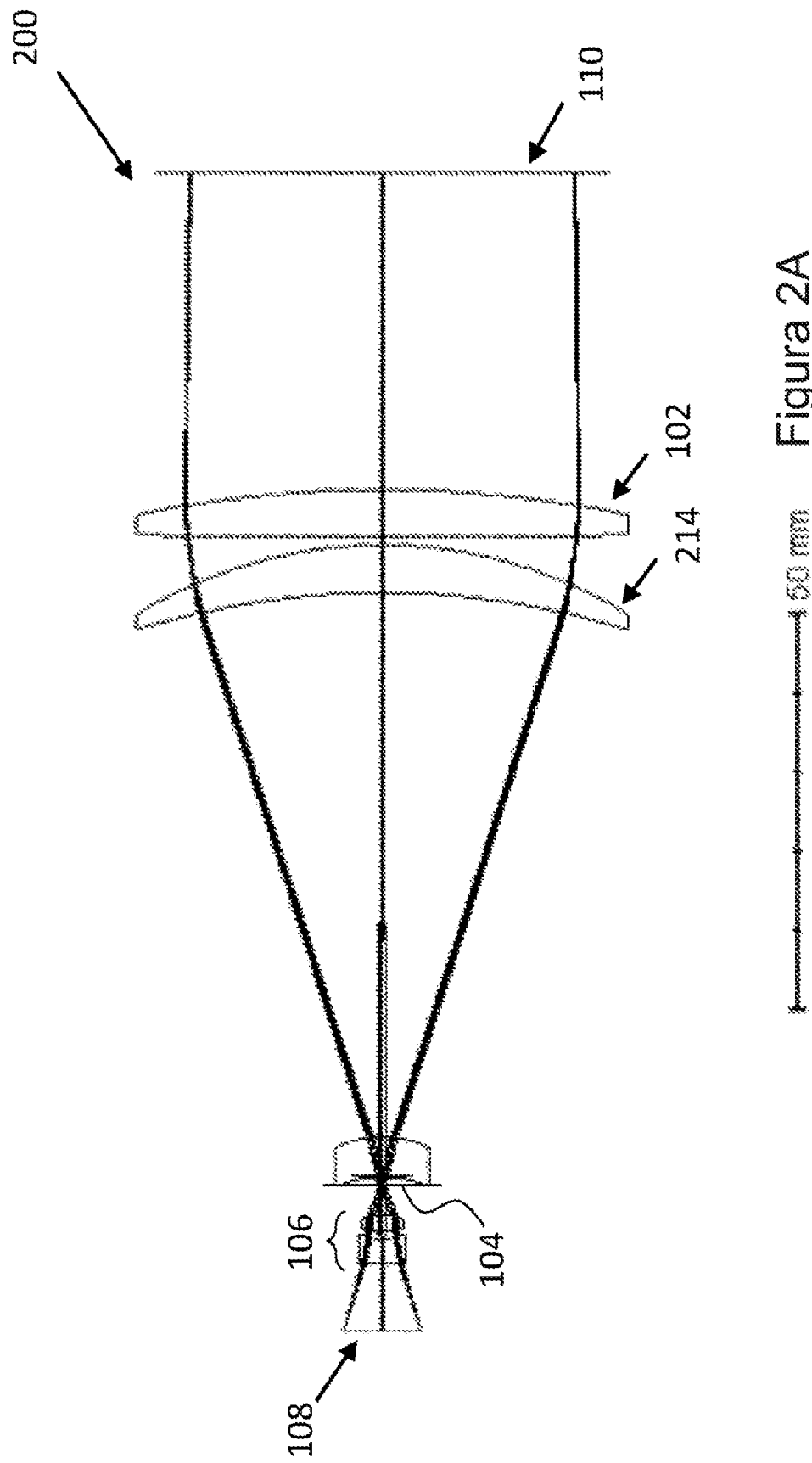
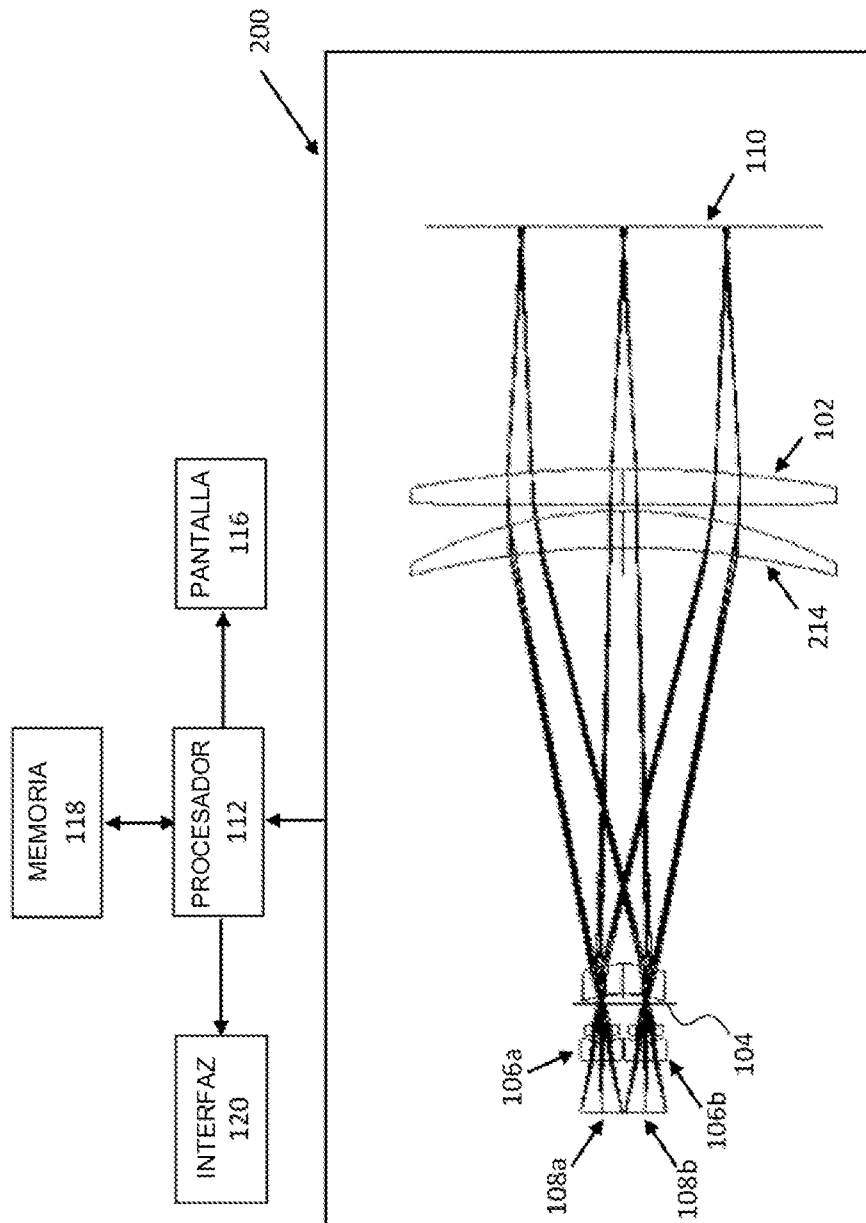


Figura 2A



50 mm

Figura 2B

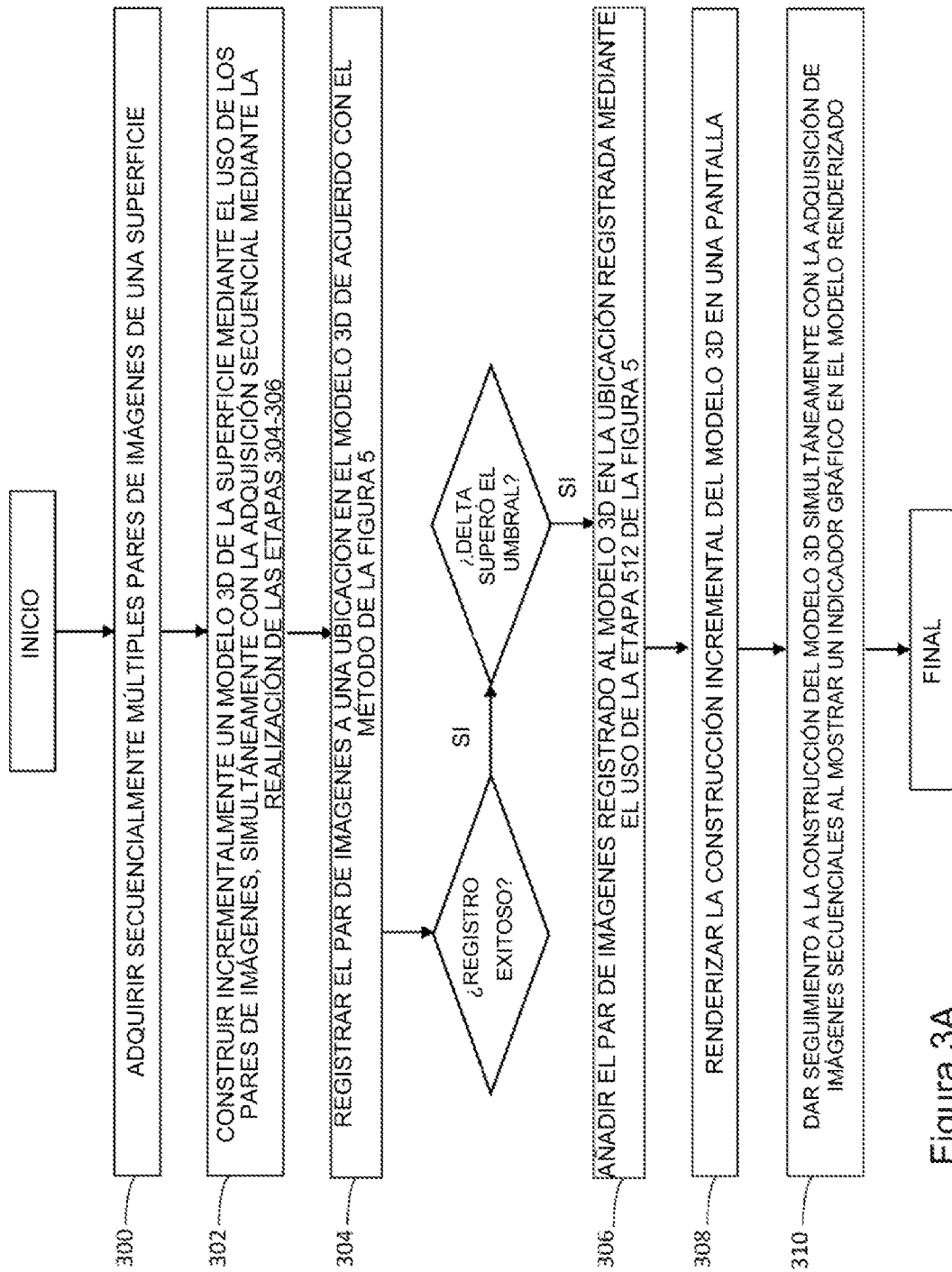


Figura 3A

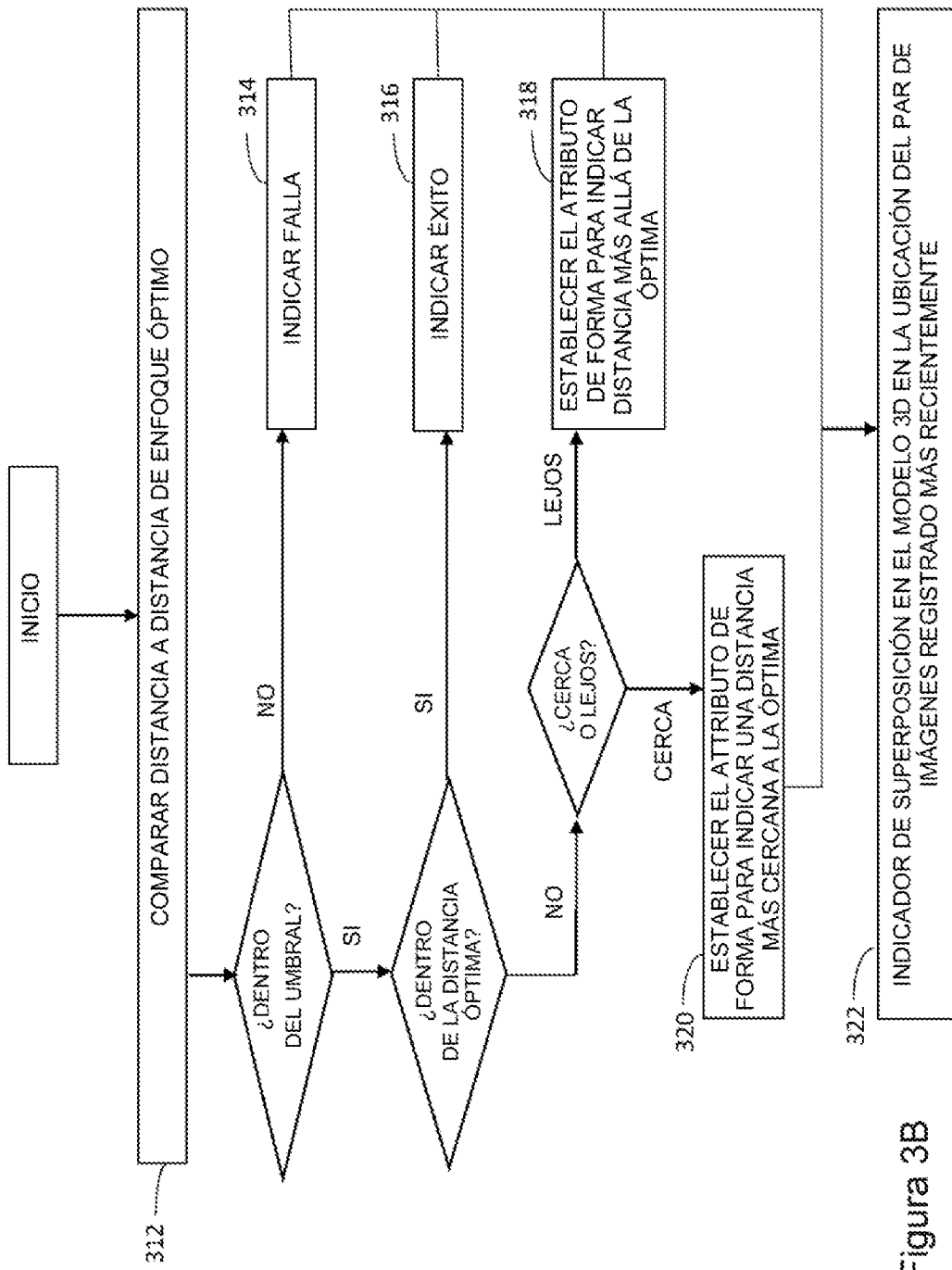


Figura 3B

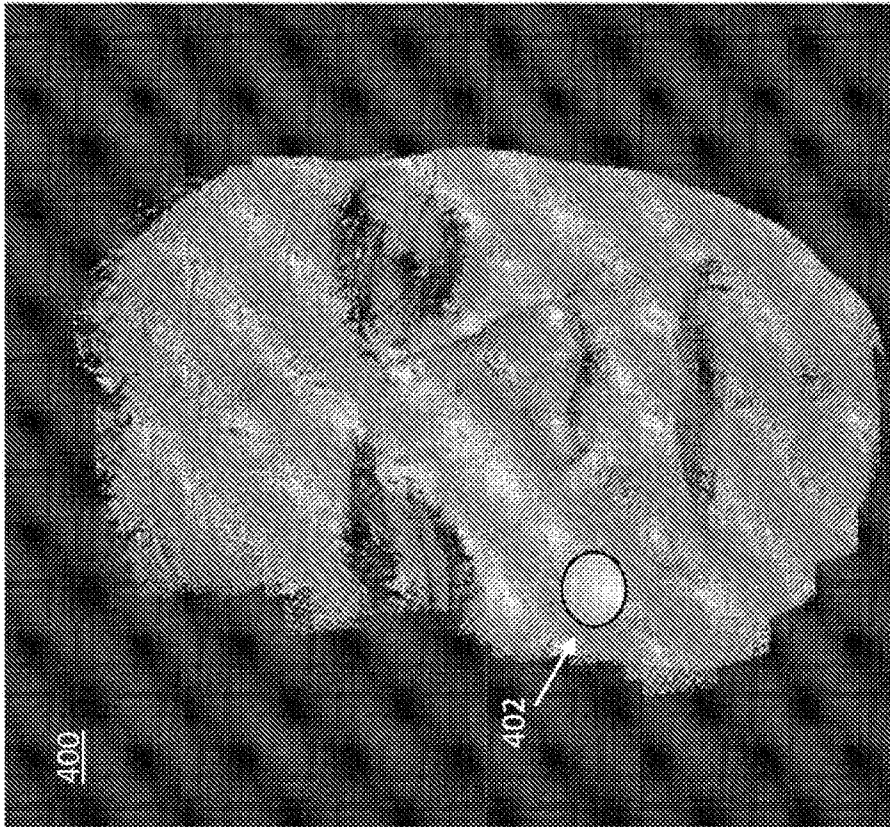


Figura 4A

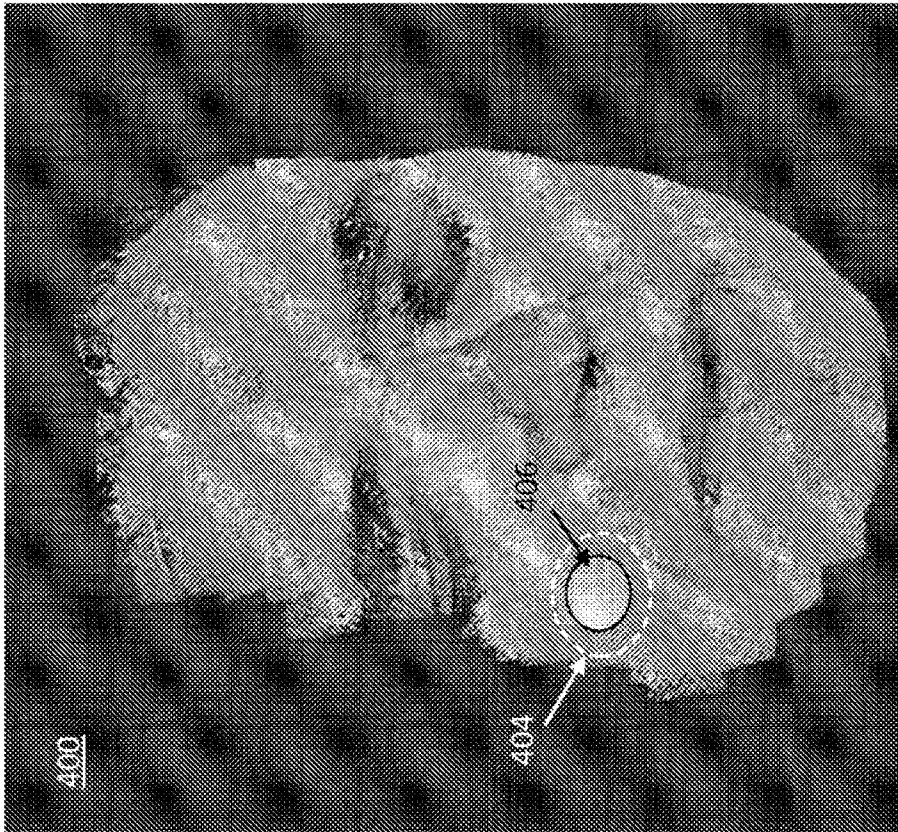


Figura 4B

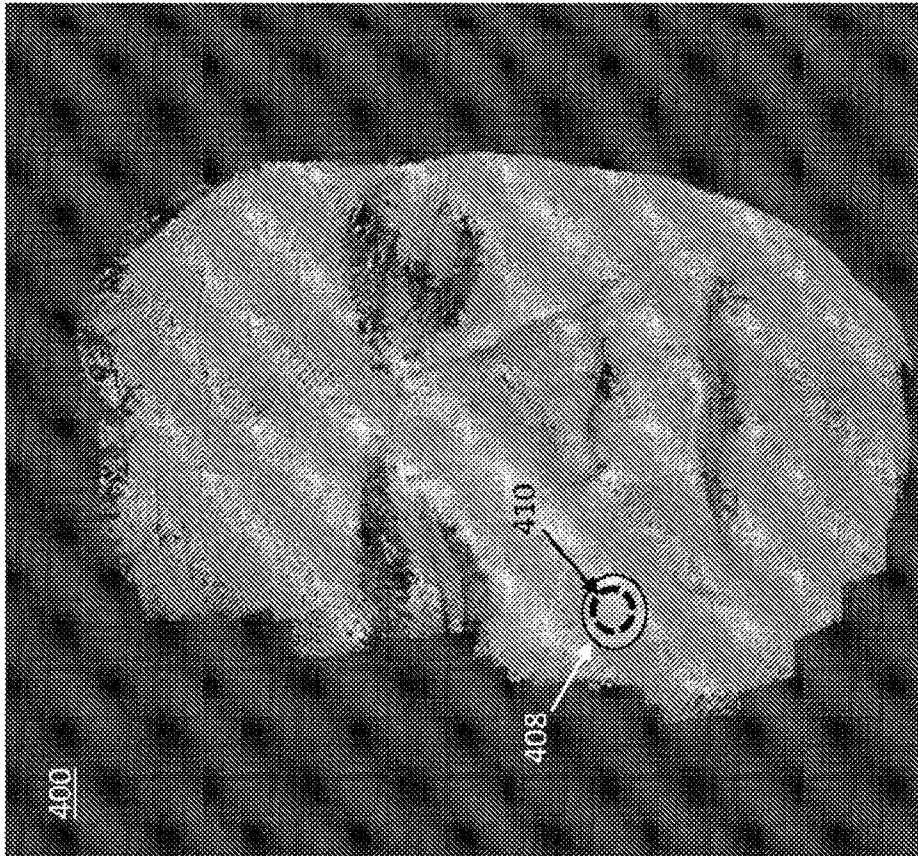


Figura 4C

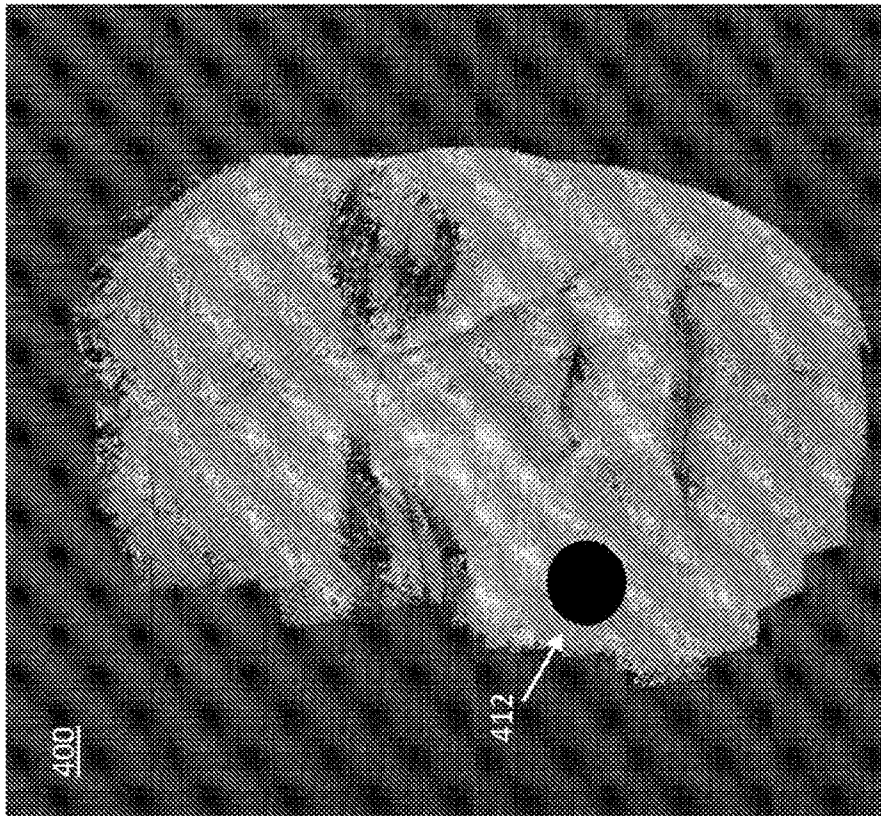


Figura 4D

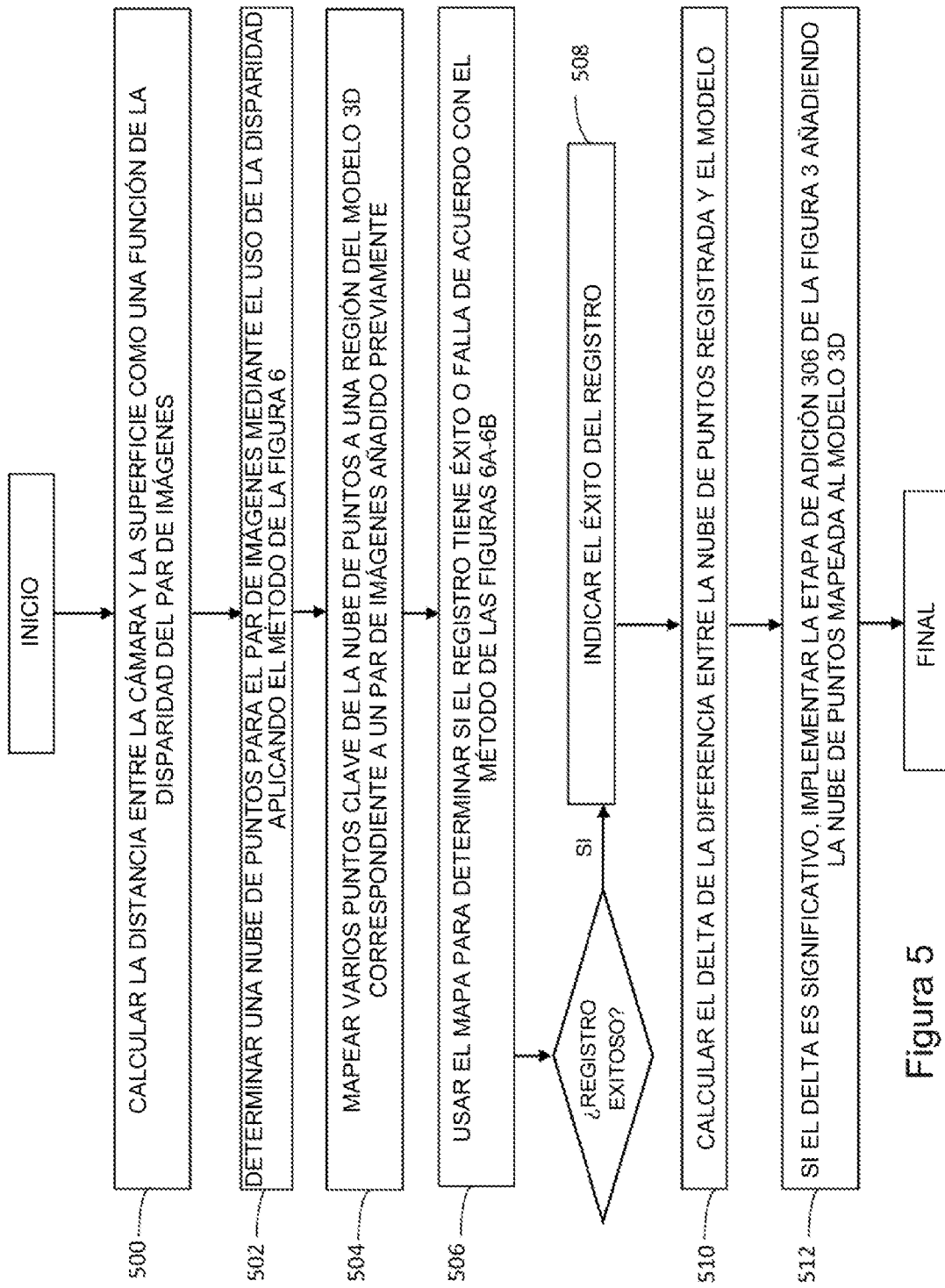


Figura 5

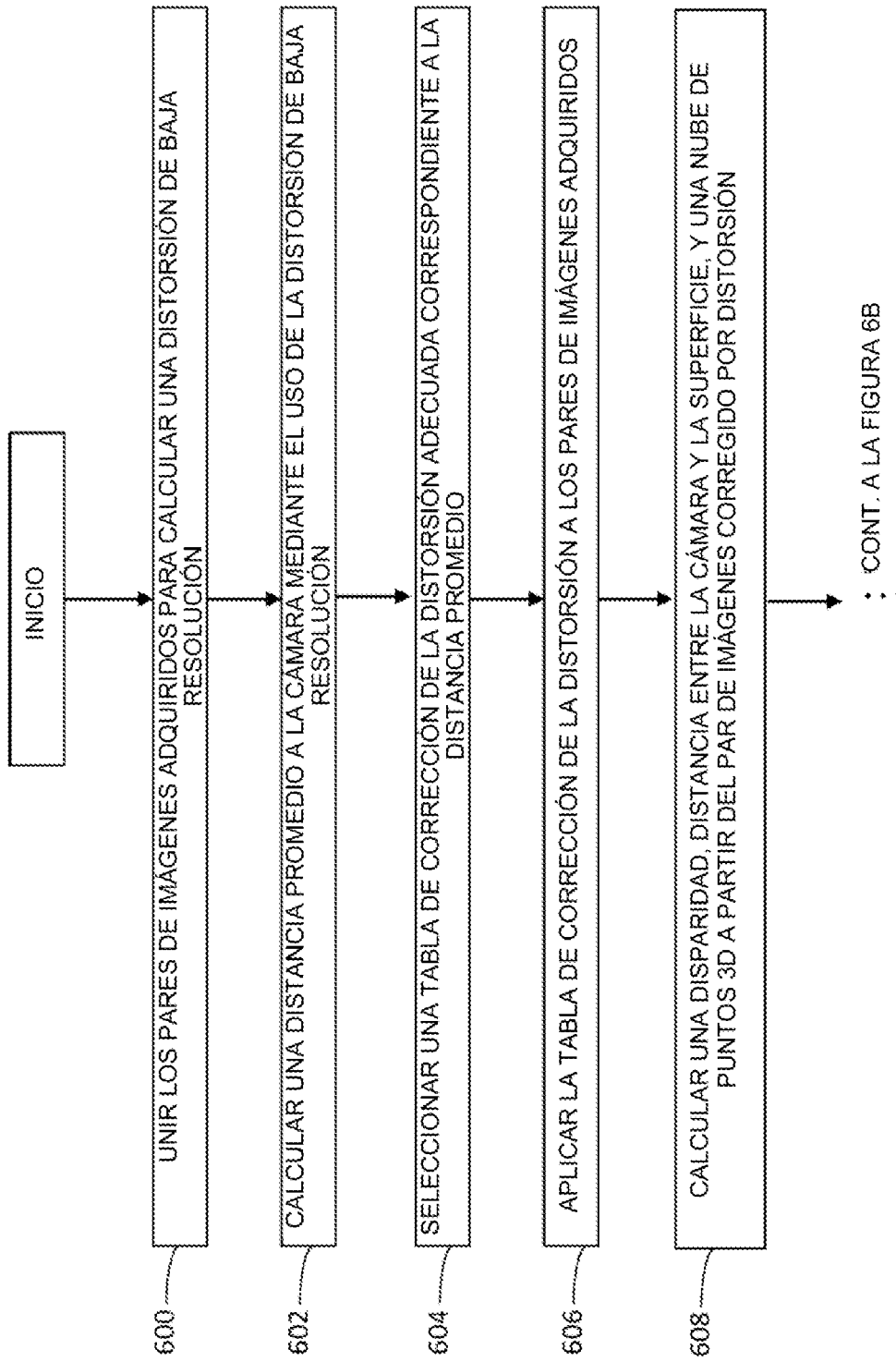


Figura 6A

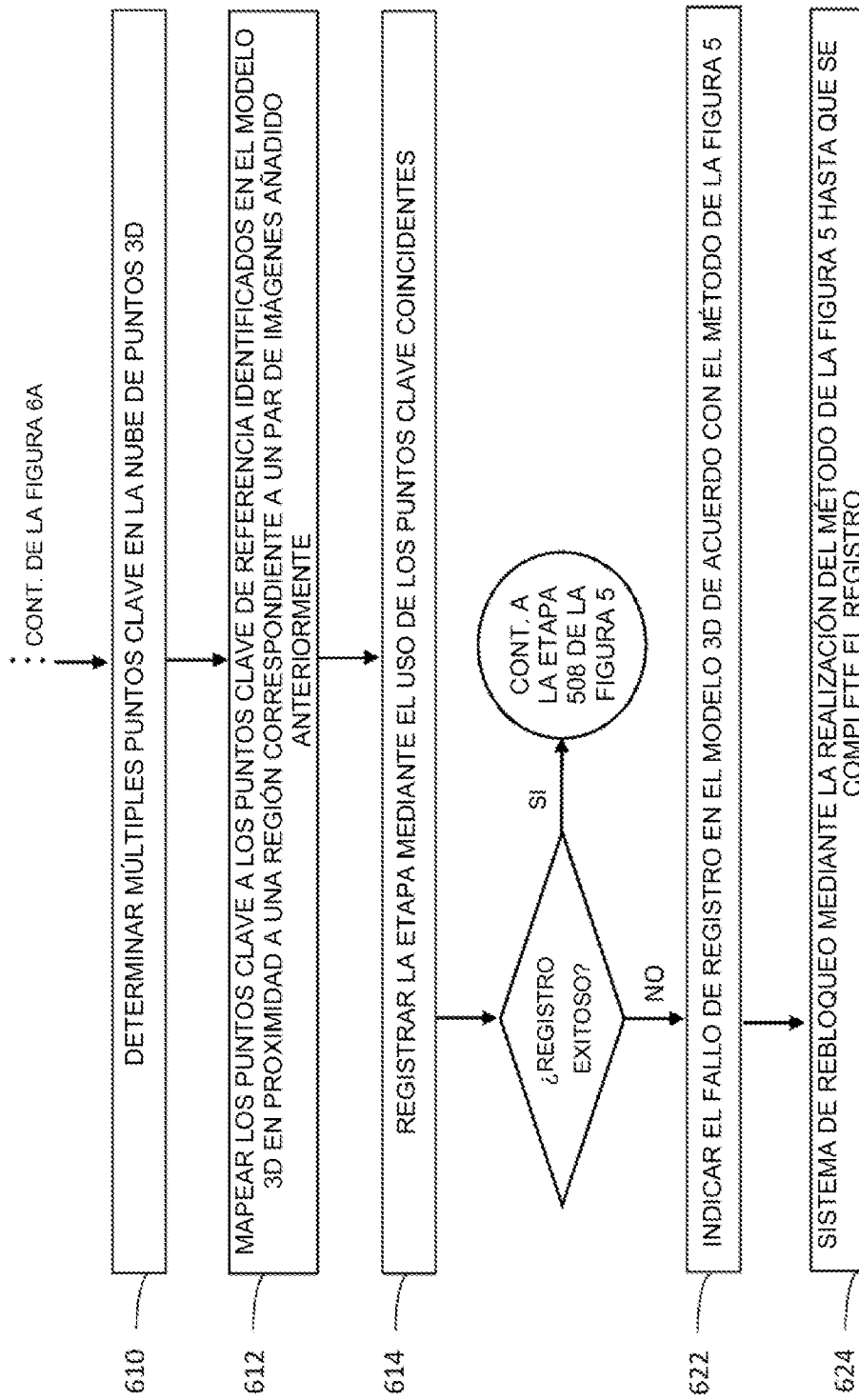


Figura 6B

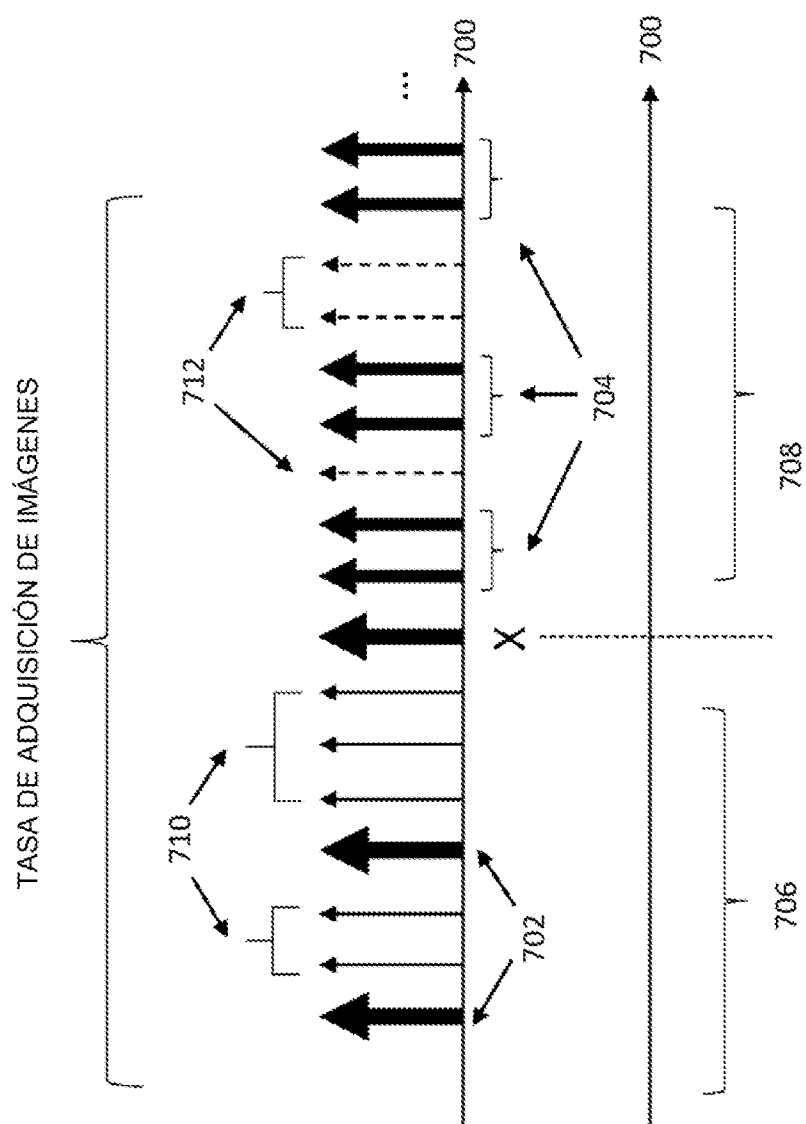


Figura 7

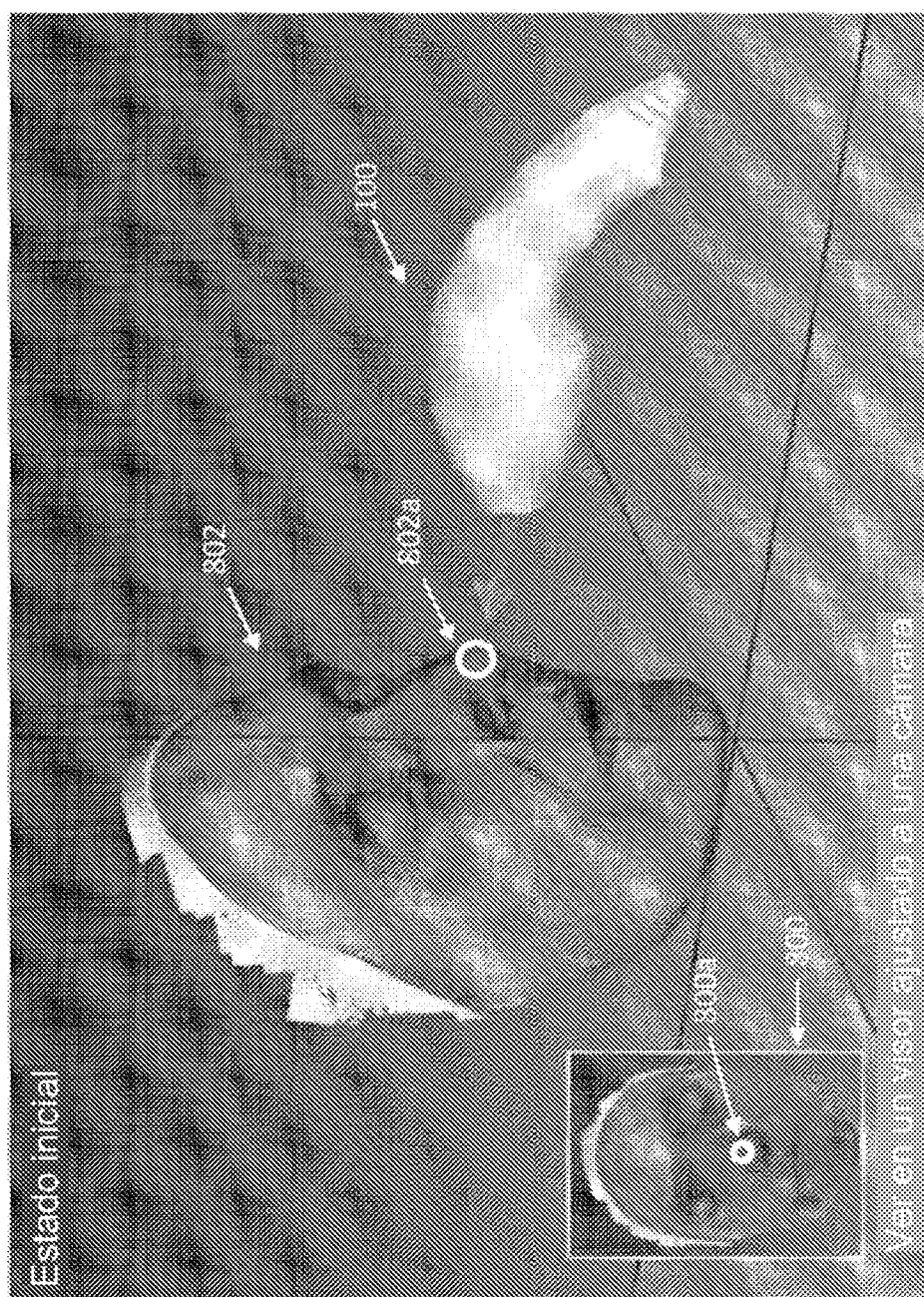


Figura 8A

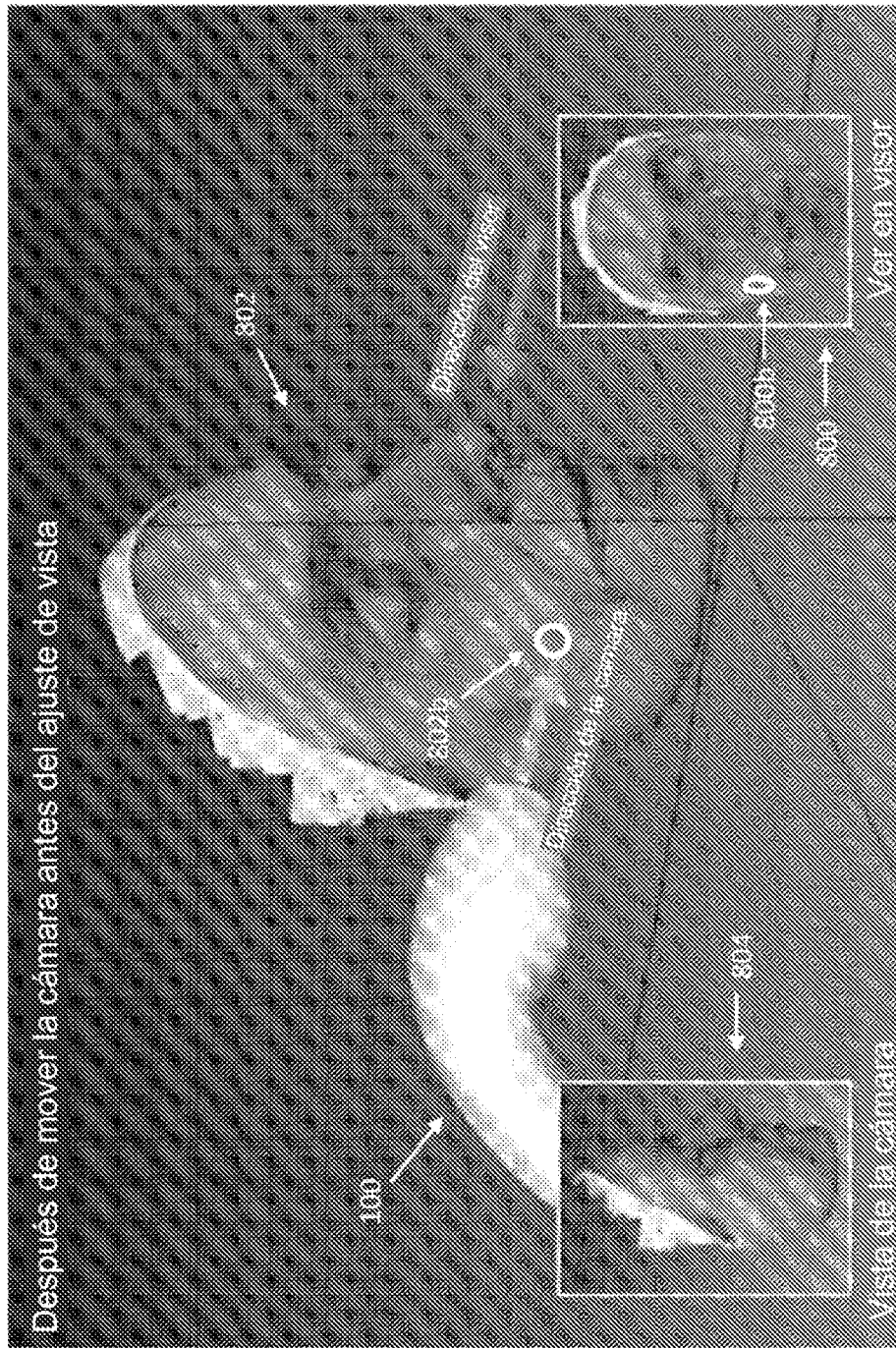


Figura 8B

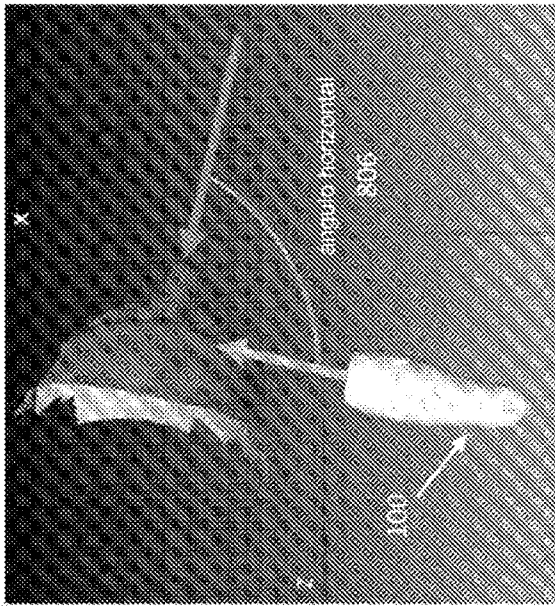


Figura 8C

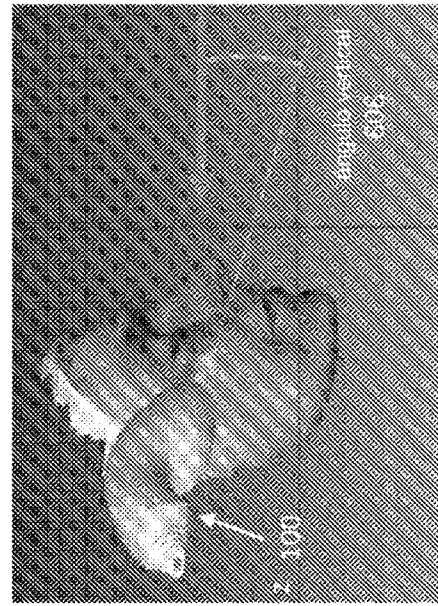


Figura 8D

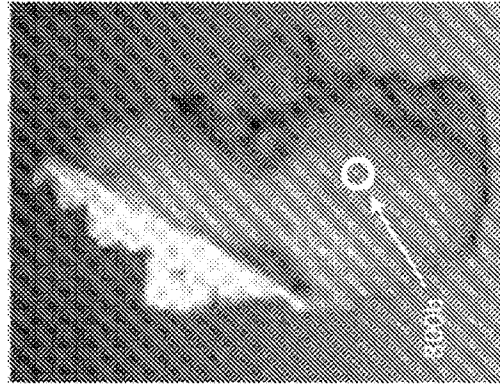


Figura 8E

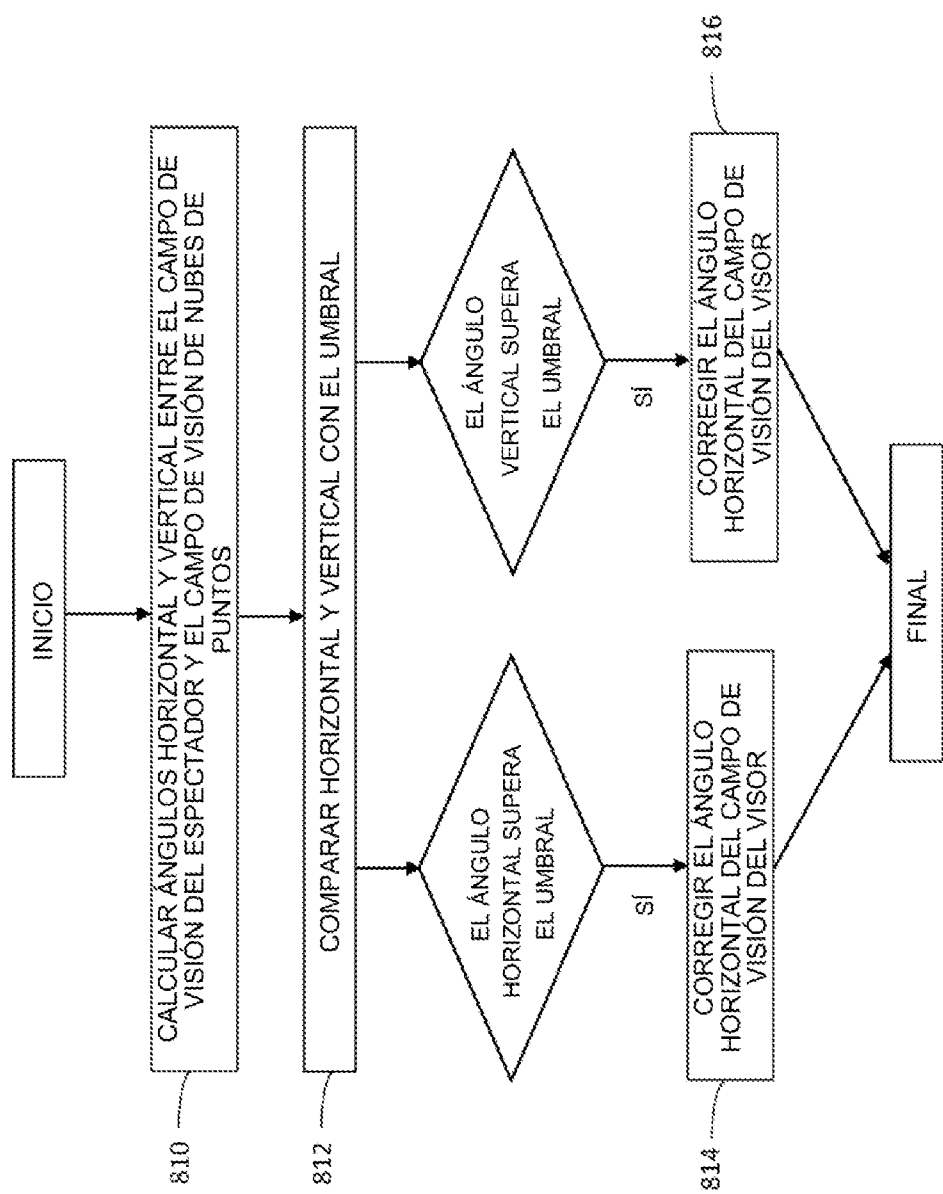


Figura 8F

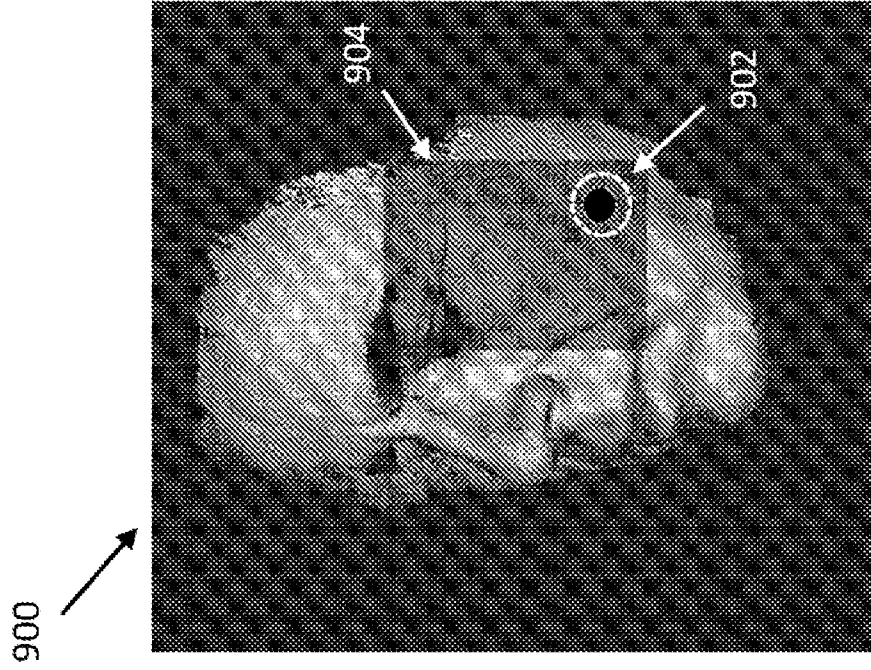


Figura 9B

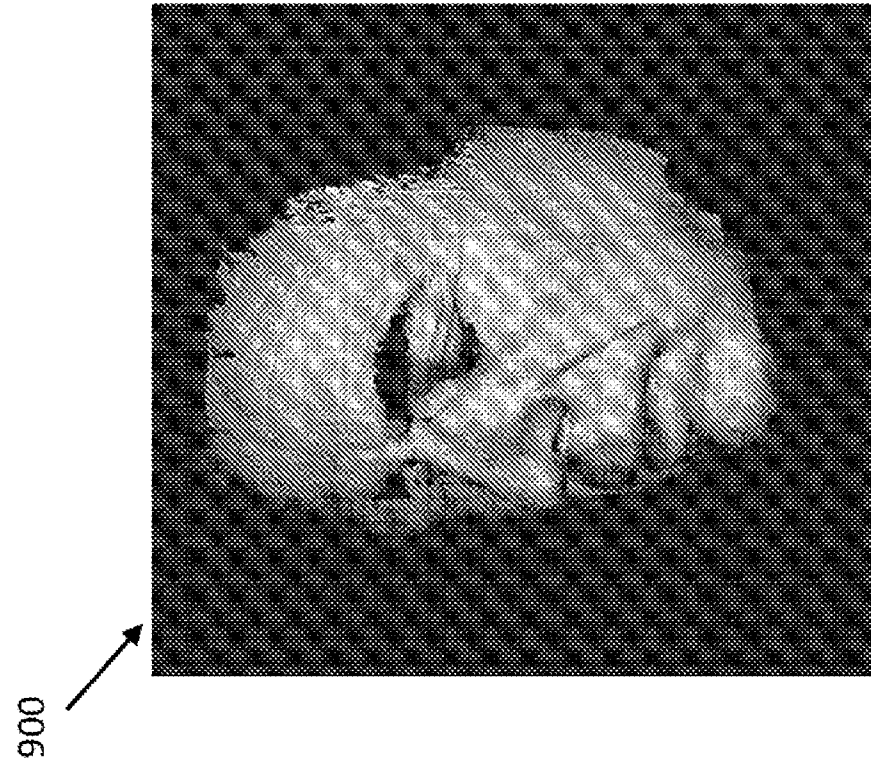


Figura 9A

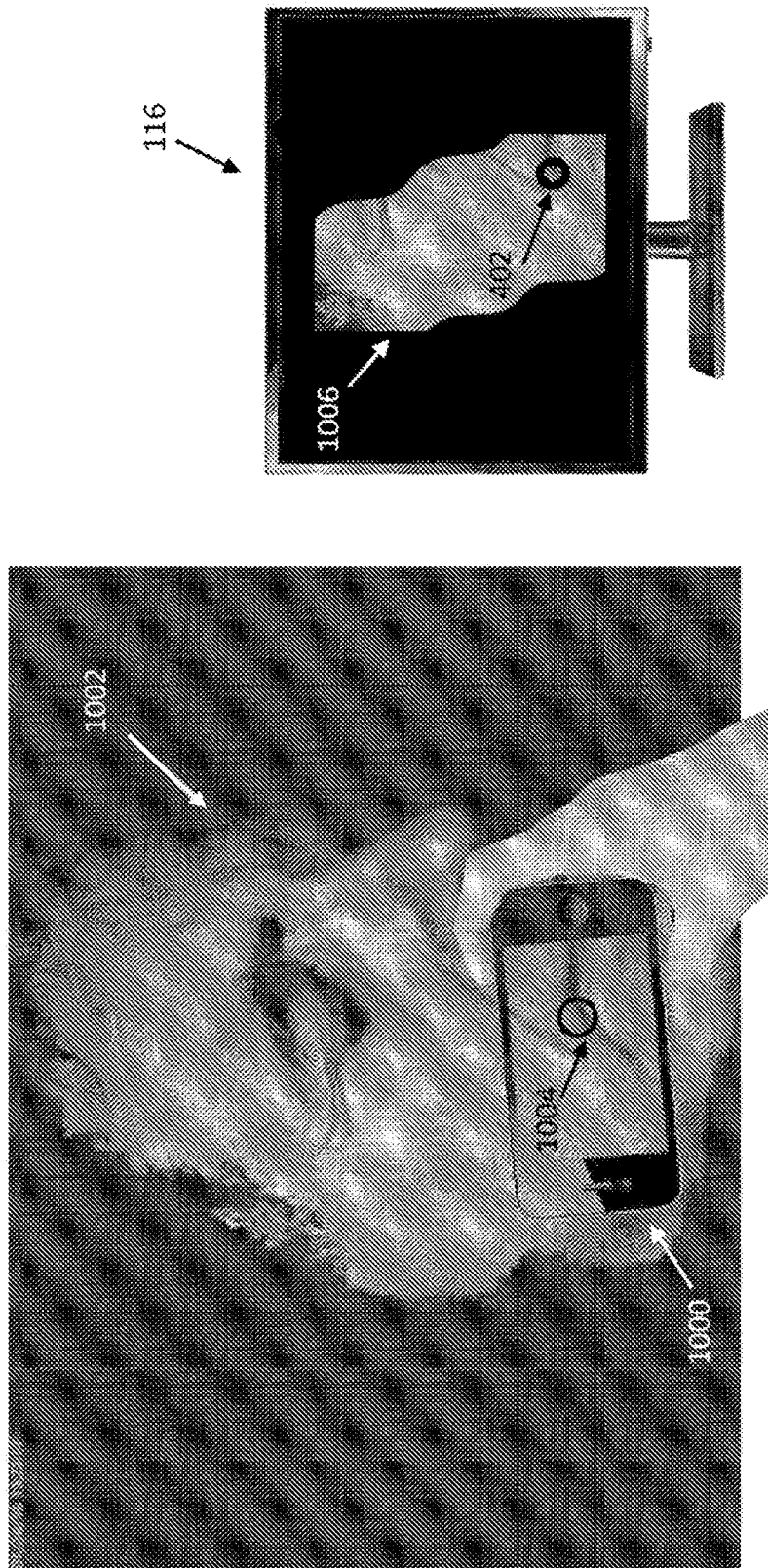


Figure 10