

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 984 373**

51 Int. Cl.:

**A61C 9/00** (2006.01)

**G01B 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.09.2020 PCT/GB2020/052255**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.03.2021 WO21053338**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.09.2020 E 20780295 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2024 EP 4031060**

54 Título: **Sistema de escaneo dental tridimensional y método de escaneo**

30 Prioridad:

**18.09.2019 GB 201913469**

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

**29.10.2024**

73 Titular/es:

**MIMETRIK SOLUTIONS LIMITED (100.0%)**

**Nexus, Discovery Way**

**Leeds LS2 3AA, GB**

72 Inventor/es:

**KEELING, ANDREW JAMES**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 984 373 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Sistema de escaneo dental tridimensional y método de escaneo

5 **CAMPO**

La presente invención se refiere a un sistema de escaneo dental tridimensional para escanear un objeto dental y a métodos para escanear un objeto dental.

10 **ANTECEDENTES**

Para una amplia variedad de aplicaciones, resulta conveniente capturar con precisión un modelo tridimensional (3D) de las estructuras intrabucales de un paciente (es decir, los dientes y las encías). Por ejemplo, dichos modelos 3D resultan útiles en la producción de prótesis e implantes dentales, en donde los laboratorios utilizarán software de diseño asistido por computadora (CAD) para diseñar dichas prótesis en función de los modelos 3D y luego fabricarán posteriormente la prótesis o el implante. En consecuencia, es resulta muy conveniente que el modelo 3D capturado refleje con precisión las estructuras intrabucales del paciente, de modo que cualquier prótesis o implante fabricado se ajuste adecuadamente al paciente.

20 En un flujo de trabajo habitual, el dentista tomará una impresión dental de las estructuras intrabucales del paciente en la consulta dental. Esto se consigue colocando un material de impresión en la boca del paciente, después de lo cual el paciente muerde el material de impresión y lo deforma, produciendo una impresión negativa de las estructuras intrabucales. A continuación, la impresión puede enviarse a un laboratorio dental. El laboratorio dental fundirá un modelo a partir de la impresión. A continuación, el modelo fundido se puede sujetar en un escáner dental, después de  
25 lo cual el modelo fundido se mueve con respecto a un cabezal de escaneo para capturar un modelo.

Las dificultades aparecen porque las impresiones dentales pueden deformarse durante el transporte o el almacenamiento, por ejemplo, debido a cambios de temperatura, afectando así en la precisión del modelo fundido y el modelo 3D capturado. Además, el proceso de fundición del modelo puede provocar deformaciones de la impresión.

30 Aparecen otras dificultades porque los escáneres 3D tienden a utilizar trayectorias de movimiento preprogramadas en un intento de abarcar por completo el objeto escaneado. Sin embargo, es posible que se omitan regiones del objeto y el operario tendrá que añadir escaneos manualmente para cubrir las regiones faltantes. Esto puede requerir que la formación se lleve a cabo con relativa precisión.

35 En otro flujo de trabajo habitual, se coloca un escáner 3D intrabucal en la boca del paciente, en la consulta dental, y se mueve alrededor de la boca del paciente para capturar un modelo 3D. Sin embargo, estos dispositivos son prohibitivamente caros y pueden carecer de precisión.

40 Un objetivo de la divulgación es resolver los problemas mencionados anteriormente y cualquier otra dificultad que pueda resultar evidente para la persona experta a partir de la descripción del presente documento. Otro objetivo de la divulgación es proporcionar un escáner 3D rentable y preciso para escanear objetos dentales, tales como impresiones dentales, que no requiera formación ni habilidades muy especiales para hacerlo funcionar. El documento DE4301538A1 se refiere a un método para medir modelos de prótesis dentales; el documento US2016/161250A1 se refiere a un dispositivo de medición de formas; el documento EP3195826A1 se refiere a un método para crear un  
45 modelo dental digital.

**SUMARIO**

50 Según la presente invención, se proporciona un aparato y un método según lo establecido en las reivindicaciones adjuntas. Otras características de la invención resultarán evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes y de la descripción que sigue.

Según un primer aspecto de la divulgación, se proporciona un sistema de escaneo dental tridimensional (3D) para escanear un objeto dental, que comprende:

una superficie de escaneo configurada para soportar el objeto dental;

una sección de escaneo configurada para capturar un escáner 3D del objeto dental; y

60 una sección de movimiento configurada para mover la superficie de escaneo y la sección de escaneo entre sí en cinco ejes de movimiento, mientras se retiene la superficie de escaneo en un plano sustancialmente horizontal.

65 El sistema comprende una unidad de control configurada para controlar la sección de movimiento y la sección de escaneo para obtener un escáner 3D del objeto dental.

La unidad de control está configurada para:

- 5            identificar una región de una nube de puntos del objeto dental capturado con un nivel de detalle por debajo de un nivel de detalle predeterminado;
- identificar una posición de escaneo para capturar la región identificada; y
- 10            controlar la sección de movimiento para mover la superficie de escaneo y la sección de escaneo para escanear la región identificada.

15            La unidad de control puede configurarse para generar la superficie de la nube de puntos para producir un modelo 3D y muestrear uniformemente el modelo con superficie para generar una nube de puntos muestreada uniformemente. La unidad de control puede configurarse para: identificar un punto más cercano en la nube de puntos a cada punto de la nube de puntos muestreada uniformemente, y marcar el punto de la nube de puntos muestreada uniformemente como por debajo del nivel de detalle predeterminado en respuesta a una distancia entre el punto en la nube de puntos muestreada uniformemente y el punto más cercano identificado que sobrepasa una distancia umbral.

20            La unidad de control puede configurarse para determinar una posición de visualización óptima para cada punto marcado. La posición de visualización óptima puede basarse en una distancia focal óptima de la sección de escaneo. La posición de visión óptima puede basarse en una línea normal que se extiende desde el punto marcado. La unidad de control puede configurarse para verificar cada posición de visualización óptima para determinar que el punto marcado no quedará ocluido cuando se vea desde la sección de escaneo.

25            La unidad de control puede configurarse para determinar que la posición de visualización óptima está ocluida y ajustar la posición de visualización óptima para alcanzar una posición no ocluida. La posición de visualización óptima se puede ajustar regulando el ángulo de la línea normal. La posición de visualización óptima se puede ajustar regulando la posición a lo largo de la línea normal. La posición de visualización óptima se puede ajustar iterativamente hasta alcanzar la posición no ocluida. La unidad de control puede configurarse para clasificar cada posición de visualización óptima según el número de puntos marcados visibles desde la misma.

35            La unidad de control puede configurarse para identificar iterativamente una región de una nube de puntos del objeto dental capturado con un nivel de detalle por debajo de un nivel de detalle predeterminado; identificar una posición de escaneo para capturar la región identificada; y controlar la sección de movimiento para mover la superficie de escaneo y la sección de escaneo para escanear la región identificada del segundo aspecto se puede llevar a cabo de forma iterativa. En consecuencia, la nube de puntos del objeto dental puede ser una nube de puntos obtenida mediante una iteración previa de las etapas definidas anteriormente. La nube de puntos del objeto dental puede ser una nube de puntos inicial y puede obtenerse mediante una secuencia de escaneo preprogramada.

40            La sección de movimiento puede comprender una pluralidad de actuadores configurados para mover la superficie de escaneo y la sección de escaneo entre sí. La unidad de control puede configurarse para controlar la pluralidad de actuadores.

45            Los cinco ejes de movimiento pueden comprender traslación, preferiblemente de la superficie de escaneo, en una primera dirección horizontal, que puede ser una dirección X. La sección de movimiento puede comprender un primer actuador lineal configurado para trasladar la superficie de escaneo en la dirección X.

50            Los cinco ejes de movimiento pueden comprender traslación, preferiblemente de la superficie de escaneo, en una segunda dirección horizontal. La segunda dirección horizontal puede ser perpendicular a la primera dirección horizontal y puede ser una dirección Y. La sección de movimiento puede comprender un segundo actuador lineal configurado para trasladar la superficie de escaneo en la dirección Y. El primer actuador lineal puede configurarse para trasladar el segundo actuador lineal en la dirección X.

55            Los cinco ejes de movimiento pueden comprender traslación, preferiblemente de la sección de escaneo, en una dirección vertical. La dirección vertical puede ser una dirección Z. La sección de movimiento puede comprender un actuador lineal vertical configurado para trasladar la sección de escaneo en la dirección Z. La sección de escaneo puede moverse hasta una posición en la dirección vertical que esté sustancialmente en el mismo plano horizontal que el objeto dental y/o la superficie de escaneo. Un extremo inferior del actuador lineal vertical puede extenderse hasta una posición en o debajo del mismo plano horizontal que el objeto dental y/o la superficie de escaneo.

60            Los cinco ejes de movimiento pueden comprender la rotación de la superficie de escaneo. La rotación de la superficie de escaneo puede ser alrededor de un eje sustancialmente vertical perpendicular a un plano de la superficie de escaneo. La sección de movimiento puede comprender un actuador giratorio para girar la superficie de escaneo.

65            Los cinco ejes de movimiento pueden comprender la inclinación de la sección de escaneo. La sección de movimiento puede comprender un actuador de inclinación configurado para inclinar la sección de escaneo. El actuador de

inclinación puede configurarse para alterar el paso de la sección de escaneo. El actuador de inclinación puede configurarse para inclinar la sección de escaneo alrededor de un eje sustancialmente horizontal. El eje sustancialmente horizontal puede estar dispuesto debajo de la sección de escaneo.

5 La sección de movimiento puede configurarse para que la sección de escaneo tenga libertad de movimiento con respecto a un centro de la superficie de escaneo. Cada uno de los diversos actuadores puede accionarse de forma independiente. La superficie de escaneo y la sección de escaneo pueden no mantenerse en una relación fija, adecuadamente una relación en la que el centro de la superficie de escaneo se retiene en el centro de la vista de la sección de escaneo.

10 La sección de escaneo puede comprender un proyector configurado para proyectar un patrón de luz estructurado sobre el objeto dental. La sección de escaneo puede comprender una cámara, preferiblemente dos cámaras. Las cámaras pueden estar dispuestas en el mismo plano horizontal.

15 La sección de escaneo puede comprender un proyector configurado para proyectar un patrón de luz estructurado sobre el objeto dental. La sección de escaneo puede comprender una cámara, preferiblemente dos cámaras. Una primera de las dos cámaras y el proyector pueden estar conectados mediante una primera línea ficticia. Una segunda de las dos cámaras y el proyector pueden estar conectados mediante una segunda línea ficticia. La primera línea ficticia y la segunda línea ficticia pueden ser no colineales. La primera línea ficticia y la segunda línea ficticia pueden ser ortogonales. Una primera de las dos cámaras y el proyector pueden estar dispuestos en el mismo plano horizontal. Una segunda de las dos cámaras y el proyector pueden estar dispuestos en el mismo plano vertical. Las dos cámaras y el proyector pueden disponerse en una forma en "L" ficticia, con el proyector en el vértice de la "L".

25 La sección de escaneo puede configurarse para funcionar en un primer modo en el que se activan la primera cámara y el proyector. La primera cámara y el proyector pueden formar un par estereofónico con una primera línea de referencia extendiéndose entre ellos. En el primer modo, el proyector puede proyectar patrones de luz estructurada que son ortogonales a la primera línea de referencia. El primer modo puede denominarse aquí modo horizontal. La primera línea de referencia puede ser una línea de referencia horizontal.

30 La sección de escaneo puede configurarse para funcionar en un segundo modo en el que se activan la segunda cámara y el proyector. La segunda cámara y el proyector pueden formar un par estereofónico con una segunda línea de referencia extendiéndose entre ellos. En el segundo modo, el proyector puede proyectar patrones de luz estructurada que son ortogonales a la segunda línea de referencia. El segundo modo puede denominarse aquí modo vertical. La segunda línea de referencia puede ser una línea de referencia vertical.

35 La sección de escaneo puede configurarse para funcionar en un tercer modo, en el que se activan la primera cámara, la segunda cámara y el proyector. La primera y la segunda cámara pueden formar un par estereofónico con una tercera línea de referencia extendiéndose entre ellas. En el tercer modo, el proyector puede proyectar patrones de luz estructurada que son ortogonales a la tercera línea de referencia. El tercer modo puede denominarse aquí modo diagonal. La segunda línea de referencia puede ser una línea de referencia diagonal.

40 La sección de escaneo puede configurarse para funcionar en un modo trifocal, en el que la primera cámara, la segunda cámara y el proyector están activados, y cada una de la primera cámara, la segunda cámara y el proyector forman un centro óptico. El sistema puede configurarse para determinar un tensor trifocal en el modo trifocal.

45 La sección de escaneo puede funcionar selectivamente en el modo horizontal y en el modo vertical.

50 El aparato de escaneo puede comprender una caja que comprende la superficie de escaneo, la sección de escaneo y la sección de movimiento.

La superficie de escaneo puede ser una superficie sustancialmente plana. Puede que el sistema de escaneo no comprenda medios de sujeción para asegurar el objeto dental a la superficie de escaneo.

55 La superficie de escaneo puede comprender una superficie de alta fricción para retener el objeto dental en su posición durante el movimiento de la superficie de escaneo.

60 En algunos ejemplos, los elementos del sistema o partes del mismo pueden estar dispuestos de forma remota entre sí y conectados mediante un medio de comunicación adecuado. Por ejemplo, los elementos o piezas pueden conectarse mediante una conexión de red. La conexión de red puede comprender una o más de una red de área local (LAN), red de área amplia (WAN), líneas alquiladas o Internet. La conexión de red puede comprender enlaces por cable y/o inalámbricos. En otros ejemplos, los elementos pueden estar vinculados mediante un protocolo de comunicación por cable, por ejemplo, un enlace USB o FireWire®.

65 El sistema puede comprender un aparato de escaneo y un dispositivo de control operable para controlar el aparato de escaneo. El aparato de escaneo puede comprender la superficie de escaneo, la sección de escaneo y la sección de movimiento.

Según un segundo aspecto de la divulgación, se proporciona un método de escaneo tridimensional (3D), que comprende utilizar el sistema de escaneo dental 3D según se define en el primer aspecto para capturar un escáner 3D de un objeto dental.

5 El método de escaneo 3D puede comprender:

- 10 identificar una región de una nube de puntos del objeto dental capturado con un nivel de detalle por debajo de un nivel de detalle predeterminado;
- 15 identificar una posición de escaneo para capturar la región identificada; y
- controlar la sección de movimiento para mover la superficie de escaneo y la sección de escaneo para escanear la región identificada.

El método puede comprender generar la superficie de la nube de puntos para producir un modelo 3D y muestrear uniformemente el modelo con superficie para generar una nube de puntos muestreada uniformemente.

El método puede comprender:

20 identificar un punto más cercano en la nube de puntos a cada punto de la nube de puntos muestreada uniformemente, y

25 marcar el punto de la nube de puntos muestreada uniformemente como por debajo del nivel de detalle predeterminado si una distancia entre el punto de la nube de puntos muestreada uniformemente y el punto más cercano identificado sobrepasa una distancia umbral.

El método puede comprender determinar una posición de visualización óptima de cada punto marcado. La posición de visualización óptima puede basarse en una distancia focal óptima de la sección de escaneo. La posición de visión óptima puede basarse en una línea normal que se extiende desde el punto marcado.

El método puede comprender verificar cada posición de visualización óptima para determinar que el punto marcado no quedará ocluido cuando se vea desde la sección de escaneo. El método puede comprender emisión de rayos (*ray casting*).

El método puede comprender determinar que la posición de visualización óptima esté ocluida y ajustar la posición de visualización óptima para alcanzar una posición no ocluida. La posición de visualización óptima se puede ajustar regulando el ángulo de la línea normal. La posición de visualización óptima se puede ajustar regulando la posición a lo largo de la línea normal. La posición de visualización óptima se puede ajustar iterativamente hasta alcanzar la posición no ocluida.

El método puede comprender clasificar cada posición de visualización óptima según el número de puntos marcados visibles desde la misma.

El método del segundo aspecto se puede llevar a cabo de forma iterativa. En consecuencia, la nube de puntos del objeto dental puede ser una nube de puntos obtenida mediante una iteración previa del método.

La nube de puntos del objeto dental puede ser una nube de puntos inicial y puede obtenerse mediante una secuencia de escaneo preprogramada.

Según un tercer aspecto de la divulgación, se proporciona un método de escaneo tridimensional que comprende:

identificar una región para sustituirla en una primera nube de puntos de un objeto dental; y

parchar la región para sustituirla por una región correspondiente de una segunda nube de puntos de un objeto dental.

Una de la primera nube de puntos y la segunda nube de puntos puede ser una nube de puntos de una impresión dental, y la otra de la primera nube de puntos y la segunda nube de puntos puede ser una nube de puntos de una pieza fundida de la impresión dental.

El método puede comprender generar la superficie de la primera nube de puntos y muestrear uniformemente el modelo con superficie para generar una nube de puntos muestreada uniformemente.

El método puede comprender:

identificar un punto más cercano en la primera nube de puntos a cada punto de la nube de puntos muestreada uniformemente, y

5 marcar el punto de la nube de puntos muestreada uniformemente para su sustituirlo si una distancia entre el punto en la nube de puntos muestreada uniformemente y el punto más cercano identificado sobrepasa una distancia umbral.

El método puede comprender invertir la segunda nube de puntos y alinearla con la primera nube de puntos.

10 El método puede comprender determinar un punto más cercano en la nube de puntos muestreada uniformemente para cada punto de la nube de puntos invertida y alineada de la nube de puntos de impresión. El método puede comprender, como respuesta a que el punto más cercano determinado sea un punto marcado para sustitución, añadir el punto a una nube de puntos temporal.

15 El método puede comprender editar la nube de puntos temporal para incluir puntos contiguos de la segunda nube de puntos.

El método puede comprender agrupar la nube de puntos temporal para formar una pluralidad de parches. El método puede comprender alinear cada parche con la primera nube de puntos.

20 El método del tercer aspecto puede ejecutarse mediante el sistema de escaneo dental tridimensional (3D) del primer aspecto.

25 Según un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas por la unidad de control del dispositivo de escaneo, hacen que la unidad de control lleve a cabo el método de la reivindicación 14. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser tangible y/o no transitorio.

#### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

30 Para una mejor comprensión de la invención, y para mostrar cómo se pueden llevar a cabo ejemplos de la misma, a continuación se hará referencia, solo a modo de ejemplo, a los dibujos esquemáticos adjuntos en los que:

35 la figura 1 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema de escaneo dental 3D de ejemplo;

la figura 2 es una vista en perspectiva de un aparato de escaneo de ejemplo del escáner dental 3D;

40 la figura 3 es una vista en perspectiva del aparato de escaneo de ejemplo de la figura 2 con partes de la caja retiradas para revelar el interior del escáner;

la figura 4 es una vista en planta en sección transversal del aparato de escaneo de ejemplo de las figuras 2-3;

45 la figura 5 es una vista en sección transversal lateral del aparato de escaneo de ejemplo de las figuras 2-4;

la figura 6 es una vista lateral a través de la puerta del aparato de escaneo de ejemplo en uso;

50 la figura 7 es una vista en perspectiva de una primera sección de escaneo de ejemplo del escáner dental 3D de ejemplo de las figuras 1-6;

las figuras 8A y 8B son una vista en perspectiva de una segunda sección de escaneo de ejemplo del escáner dental 3D de ejemplo de las figuras 1-6;

55 la figura 9 es un diagrama de flujo esquemático de un primer método de escaneo de ejemplo;

la figura 10 es un diagrama de flujo esquemático que muestra el primer método de escaneo de ejemplo de la figura 9 con más detalle;

60 la figura 11 es un diagrama de flujo esquemático que muestra el primer método de escaneo de ejemplo de la figura 9 con más detalle;

la figura 12 es un diagrama de flujo esquemático de un segundo método de escaneo de ejemplo, y

65 la figura 13 es un diagrama de flujo esquemático que muestra el segundo método de escaneo de ejemplo de la figura 12 con más detalle.

En los dibujos, los caracteres de referencia correspondientes indican los componentes correspondientes. La persona experta apreciará que los elementos de las figuras se ilustran por simplicidad y claridad y no necesariamente se han dibujado a escala. Por ejemplo, las dimensiones de algunos de los elementos en las figuras pueden exagerarse en relación con otros elementos para ayudar a entender los diversos ejemplos ilustrativos. Además, los elementos comunes, pero bien comprendidos que son útiles o necesarios en un ejemplo comercialmente factible a menudo no se representan para facilitar una visión con menos elementos de estos diversos ejemplos.

## DESCRIPCIÓN

En resumen, los ejemplos de la divulgación proporcionan un escáner dental 3D para escanear un objeto dental, en donde el escáner proporciona 5 ejes de movimiento relativo entre el objeto dental y la sección de escaneo, mientras retiene el objeto dental en un plano sustancialmente horizontal. Como resultado, no se requieren abrazaderas, portapiezas ni otros mecanismos de seguridad para asegurar el objeto dental en su sitio. Esto permite escanear con precisión objetos dentales que de otro modo se deformarían al sujetarlos, como las impresiones dentales.

Las figuras 1-6 muestran un sistema de escaneo dental 3D 1 de acuerdo con un ejemplo de la divulgación. El sistema de escaneo dental 1 comprende un aparato de escaneo 100 y un dispositivo de control 200.

El aparato de escaneo 100 se muestra en detalle en las figuras 2-5. El aparato de escaneo 100 comprende una caja 110, que retiene y soporta los otros componentes del aparato de escaneo 100. En el ejemplo mostrado, la caja 110 adopta la forma de una carcasa sustancialmente cúbica, que tiene una pared inferior 111, una pared superior 112 y cuatro paredes laterales sustancialmente verticales 113a-d. Una pared delantera 113a de las paredes laterales 113 comprende una puerta 114 para acceder al interior de la caja 110. Por ejemplo, la puerta 114 puede ser una puerta corredera.

Las dimensiones de la caja 110 pueden tener aproximadamente 440 mm de altura entre la pared inferior 111 y la pared superior 112, aproximadamente 580 mm entre las paredes 113b y 113d, y aproximadamente 450 mm entre las paredes 113a y 113c. Estas dimensiones permiten que el aparato de escaneo 100 se coloque sobre un escritorio o superficie de trabajo, por ejemplo, en una consulta dental.

A continuación, en cuanto a las figuras 3-5, el aparato de escaneo 100 comprende una sección de movimiento 120. La sección de movimiento 120 puede comprender una pluralidad de actuadores.

La sección de movimiento 120 comprende un primer actuador lineal 121. El primer actuador lineal 121 está montado en la pared inferior 111 y está configurado para moverse en una primera dirección horizontal, denominada en lo sucesivo dirección X.

La sección de movimiento 120 también comprende un segundo actuador lineal 122, que está montado en el primer actuador lineal 121. En consecuencia, el primer actuador lineal 121 está configurado para trasladar el segundo actuador lineal 122 en la dirección X.

Un elemento de soporte de placa 123 está montado en el segundo actuador lineal 122. El elemento de soporte de placa 123 está configurado para soportar una placa 124, que se puede ver mejor en la figura 6. La placa 124 define una superficie de escaneo 124a sobre la cual se puede colocar un objeto dental D. La placa 124 puede adoptar la forma de una superficie sustancialmente plana, que es circular en una vista en planta y que está dispuesta en un plano sustancialmente horizontal.

En un ejemplo, la superficie de escaneo 124a comprende una superficie de alta fricción. Por ejemplo, se puede disponer una estera antideslizante sobre la superficie de escaneo 124a. La superficie de alta fricción puede comprender, por ejemplo, crestas, protuberancias u otro tipo de salientes que aumenten la fricción entre la superficie 124a y el objeto dental D colocado sobre ella. En consecuencia, el objeto dental D permanece en posición sobre la superficie de escaneo 124a durante el movimiento de la superficie 124.

El segundo actuador lineal 122 está configurado para mover el elemento de soporte de placa 123 y, por tanto, la placa 124, en una segunda dirección horizontal. La segunda dirección horizontal es perpendicular a la primera dirección horizontal y en lo sucesivo se denomina dirección Y. En consecuencia, el primer actuador lineal 121 y el segundo actuador lineal 122 actúan juntos para trasladar el elemento de soporte de placa 123 y la placa 124 horizontalmente en las direcciones X e Y.

Además, la sección de movimiento 120 comprende un actuador giratorio 125. El actuador giratorio 125 está configurado para girar la placa 124 alrededor de un eje vertical V en una dirección de rotación R1. El eje, por ejemplo, puede pasar por el centro de la superficie de escaneo 124a.

La sección de movimiento 120 comprende además un tercer actuador lineal 126. El tercer actuador lineal 126 está montado verticalmente, por ejemplo, en el interior de la pared lateral 113d. El tercer actuador lineal 126 comprende una porción de montaje de la sección de escaneo 127 en la que se puede montar una sección de escaneo 130. La

sección de escaneo 130 se explica con más detalle a continuación. El tercer actuador lineal 126 está configurado para mover la porción de montaje de la sección de escaneo 127 en una dirección vertical, sustancialmente perpendicular a las direcciones X e Y. La dirección vertical puede denominarse, en lo sucesivo, dirección Z.

5 El tercer actuador lineal 126 está configurado para mover la porción de montaje de la sección de escaneo 127 hasta una posición en la que la sección de escaneo 130 está sustancialmente en el mismo plano horizontal que el objeto dental D. Por ejemplo, el extremo inferior del tercer actuador lineal 126 puede terminar en aproximadamente el mismo plano horizontal que el plano de la placa 124, o debajo del plano de la placa 124. Esto puede permitir que la sección de escaneo 130 escanee en una dirección sustancialmente horizontal, capturando así con precisión los aspectos laterales del objeto dental D.

10 Además, la sección de movimiento 120 comprende un actuador de inclinación (no mostrado) que está configurado para inclinar la porción de montaje de la sección de escaneo 127. En consecuencia, el actuador de inclinación está configurado para alterar el paso de la sección de escaneo 130. En concreto, como se muestra en la figura 5 con líneas de puntos, la porción de montaje de la sección de escaneo 127 se puede mover entre una primera posición y una segunda posición. En la primera posición, la porción de montaje de la sección de escaneo 127 está dispuesta en un plano vertical sustancialmente paralelo al plano del tercer actuador lineal 126. En la segunda posición, la parte superior de la porción de montaje de la sección de escaneo 127 gira alejándose del plano del tercer actuador lineal 126 en la dirección de rotación R2. Por lo tanto, la porción de montaje de la sección de escaneo 127 está configurada para inclinarse alrededor de un eje de inclinación horizontal T. En un ejemplo, el eje de inclinación T atraviesa la parte inferior de la porción de montaje de la sección de escaneo 127.

15 En consecuencia, la placa 124 y la sección de escaneo 130 están configuradas para movimiento relativo en cinco ejes de movimiento: traslación en las direcciones X, Y y Z, rotación de la placa 124 e inclinación de la sección de escaneo 130.

20 Además, la placa 124 y la sección de escaneo 130 pueden configurarse para un movimiento relativo independiente. Dicho de otra forma, cada actuador puede accionarse independientemente. En consecuencia, la placa 124 y la sección de escaneo 130 no se retienen en una relación fija, tal como una relación en la que el centro de la placa 124 (y, por lo tanto, el objeto dental D) se retiene en el centro de la vista de la sección de escaneo 130. En consecuencia, la sección de escaneo 130 que tiene libertad de movimiento con respecto al centro de la placa 124 permite que la sección de escaneo 130 se mueva a posiciones desplazadas desde el centro de la placa 124. Esto, a su vez, puede permitir la captura de áreas de interés que no podrían capturarse si la sección de escaneo 130 solo pudiera capturar imágenes centradas en el centro de la placa 124.

25 Se apreciará que los actuadores pueden comprender cualquier mecanismo adecuado para trasladar o girar la placa 124 o la sección de escaneo 130. Los actuadores pueden comprender, por ejemplo, un husillo de accionamiento, un elevador de pistón o un elevador de husillo. En algunos ejemplos, los actuadores los acciona un motor. En algún ejemplo, cada actuador es accionado por un motor respectivo, aunque se apreciará que en otros ejemplos pueden ser accionados por el motor dos o más actuadores.

30 Volviendo ahora a la figura 7, se muestra en detalle un ejemplo de la sección de escaneo 130. La sección de escaneo 130 comprende un escáner de luz estructurada, que comprende un proyector 131 y un par de cámaras 132, 133.

35 El proyector 131 está configurado para proyectar un patrón de luz estructurado sobre el objeto dental D. Las cámaras 132, 133 están dispuestas encima del proyector 131. Las cámaras 132, 133 están dispuestas en el mismo plano horizontal. Cada cámara 132, 133 está dispuesta equidistante del proyector 131. En consecuencia, las lentes de las cámaras 132, 133 y el proyector 131 pueden conectarse mediante un triángulo invertido ficticio con un borde superior horizontal. Las cámaras 132, 133 están inclinadas entre sí, de modo que sus puntos focales convergerán.

40 Volviendo a la figura 1, el aparato de escaneo comprende además una unidad de control 140. La unidad de control 140 está configurada para controlar las operaciones del aparato de escaneo 140. Por ejemplo, la unidad de control 140 está configurada para controlar la unidad de movimiento 120 y la sección de escaneo 130 para obtener un escaneo 3D del objeto dental.

45 La unidad de control 140 comprende un elemento de cálculo, tal como una CPU (unidad central de procesamiento), GPU (unidad de procesamiento de gráficos) o FPGA (matriz de puertas programables en campo).

50 El aparato de escaneo 100 comprende además un almacenamiento 150. El almacenamiento 150 puede almacenar de forma transitoria o permanente cualquier dato y/o instrucciones requeridas para el funcionamiento del aparato de escaneo 100. El almacenamiento puede comprender memoria volátil y/o no volátil, incluyendo ROM, RAM, EEPROM, unidades de estado sólido y unidades de disco duro.

55 En un ejemplo, la unidad de control 140 y el almacenamiento 150 pueden estar comprendidos en un mini-PC 141. La unidad de control 140 y el almacenamiento también pueden estar comprendidos en un microcontrolador (por ejemplo,

un Arduino®). Por ejemplo, el mini-PC 141 puede controlar la sección de escaneo 130, así como enviar instrucciones de control al microcontrolador, que a su vez controla el movimiento de la sección de movimiento 130.

5 El aparato de escaneo 100 puede comprender, además, una interfaz de comunicación 160. La interfaz de comunicación 160 está configurada para transmitir y recibir datos e instrucciones desde el dispositivo de control 200. Por ejemplo, la interfaz de comunicación 160 comprende una interfaz de red, tal como una interfaz de red por cable o inalámbrica. En otros ejemplos, la interfaz de comunicación 160 puede comprender una conexión en serie, una conexión USB o cualquier otro mecanismo de transmisión de datos adecuado.

10 Volviendo de nuevo a la figura 1, el dispositivo de control 200 comprende una unidad de control 210, un almacenamiento 220, una interfaz de comunicación 230 y una interfaz de usuario 240. La unidad de control 210 comprende un elemento de cálculo, tal como una CPU (unidad central de procesamiento), GPU (unidad de procesamiento de gráficos) o FPGA (matriz de puertas programables en campo). El almacenamiento 220 puede almacenar de forma transitoria o permanente cualesquiera datos y/o instrucciones requeridas para el funcionamiento del dispositivo de control 200. El almacenamiento puede comprender memoria volátil y/o no volátil, incluyendo ROM, RAM, EEPROM, unidades de estado sólido y unidades de disco duro.

15 La interfaz de comunicación 230 está configurada para transmitir y recibir datos e instrucciones del aparato de escaneo 100. Por ejemplo, la interfaz de comunicación 230 comprende una interfaz de red, tal como una interfaz de red por cable o inalámbrica. En otros ejemplos, la interfaz de comunicación 230 puede comprender una conexión en serie, una conexión USB o cualquier otro mecanismo de transmisión de datos adecuado.

20 La interfaz de usuario 240 puede adoptar la forma de cualquier dispositivo de entrada y salida adecuado que permita al usuario introducir instrucciones de control en el aparato de escaneo 100 y/o ver los modelos resultantes obtenidos de los escaneos. Por ejemplo, la interfaz de usuario 240 puede comprender uno o más de un monitor u otra pantalla, un teclado, un ratón y una interfaz de pantalla táctil. El dispositivo de control 200 puede adoptar la forma de un ordenador de escritorio o portátil.

25 Durante el uso, se abre la puerta 114 del aparato de escaneo 100 y se coloca un objeto dental D, tal como un modelo fundido o una impresión dental, sobre la placa 124. Luego se inicia la rutina de escaneo del objeto dental, por ejemplo, cuando un usuario realiza una entrada de usuario apropiada a través de la interfaz de usuario 240.

30 Posteriormente, el controlador 140 controla la sección de movimiento 120 y la sección de escaneo 130, de modo que se muevan a una posición de escaneo deseada, en la que una porción deseada del objeto dental es visible para la sección de escaneo 130 en un ángulo de visión deseado.

35 La sección de movimiento 120 puede trasladar la placa 124 en las direcciones X o Y activando los actuadores lineales 121 o 122. La sección de movimiento 120 también puede girar la placa 124 usando el actuador giratorio 125. Además, la sección de movimiento 120 puede trasladar la sección de escaneo 130 en la dirección Z usando el actuador lineal 123 y puede inclinar la sección de escaneo 130 usando el actuador de inclinación.

40 Una vez que la sección de movimiento 120 ha movido la placa 124 y la sección de escaneo 130 a la posición de escaneo deseada, el proyector 131 proyecta un patrón de luz sobre el objeto dental y una o ambas cámaras 132, 133 capturan una imagen.

45 A partir de la imagen o imágenes capturadas se obtiene una nube de puntos 3D, según una técnica de escaneo de luz estructurada. Se apreciará que parte del proceso de obtener la nube de puntos 3D a partir de las imágenes capturadas la puede realizar el controlador 140, siendo realizado el procesamiento adicional por el controlador 210.

50 El proceso de controlar la sección de movimiento 120 para posicionar el objeto dental D y la sección de escaneo 130 en una posición de escaneo deseada se puede repetir una pluralidad de veces para así capturar escaneos del modelo desde una pluralidad de posiciones de escaneo deseadas. Las nubes de puntos obtenidas de las diferentes posiciones de escaneo se pueden combinar para formar una nube de puntos del objeto dental D. Los métodos de escaneo de ejemplo, en los que se capturan y combinan una pluralidad de escaneos, se analizan con más detalle a continuación con respecto a las figuras 9 y 10.

55 En consecuencia, la sección de movimiento 120 y la sección de escaneo 130 pueden moverse entre sí en 5 ejes de movimiento. Esto permite que la sección de escaneo 130 capture escaneos desde un abanico muy amplio de posiciones, proporcionando así un escaneo de amplia cobertura con alto detalle. Además, los escaneos pueden capturarse sin requerir sujeción u otro tipo de fijación del objeto dental D a la placa 124.

60 Las figuras 8A y 8B muestran una segunda sección de escaneo 1130 de ejemplo. Al igual que la sección de escaneo 130, la sección de escaneo 1130 comprende un proyector 1131 y un par de cámaras 1132, 1133. Una primera de las dos cámaras 1132 y el proyector 1131 están dispuestos en el mismo plano horizontal. Una segunda de las dos cámaras 1133 y el proyector 1131 están dispuestos en el mismo plano vertical. En consecuencia, las lentes de las dos cámaras 1132, 1133 y el proyector 1131 están dispuestas en una forma de "L" ficticia.

5 La sección de escaneo 1130 está configurada para funcionar en un primer modo, al que se puede hacer referencia en el presente documento como modo horizontal, en el que se utilizan para el escaneo la cámara 1132 y el proyector 1131. En consecuencia, la primera cámara 1132 y el proyector 1131 forman un par estereofónico con una línea de referencia horizontal extendiéndose entre ellos. En el modo horizontal, el proyector 1131 puede proyectar patrones de luz estructurada (por ejemplo, una serie de líneas) que son ortogonales a la línea de referencia horizontal.

10 La sección de escaneo 1130 también está configurada para funcionar en un segundo modo, al que se puede hacer referencia en el presente documento como modo vertical, en el que se utilizan para el escaneo la cámara 1133 y el proyector 1131. En consecuencia, la segunda cámara 1133 y el proyector 1131 forman un par estereofónico con una línea de referencia vertical extendiéndose entre ellos. En el modo vertical, el proyector 1131 puede proyectar patrones de luz estructurada (por ejemplo, una serie de líneas) que son ortogonales a la línea de referencia vertical.

15 La sección de escaneo 1130 también está configurada para funcionar en un tercer modo, al que se puede hacer referencia en el presente documento como modo diagonal, en el que se utilizan para el escaneo tanto la primera cámara 1132 como la segunda cámara 1133. En este modo, la primera cámara 1132 y la segunda cámara 1133 forman un par estereofónico que tiene una línea de referencia diagonal que se extiende entre ellas. El proyector 1131 proyecta patrones de luz estructurada que son ortogonales a la línea de referencia diagonal.

20 En un ejemplo, la sección de escaneo 1130 está configurada para funcionar en modo trifocal. En este modo, en lugar de utilizar un par de escaneo estereofónico que tiene dos centros ópticos, cada una de la primera cámara 1132, la segunda cámara 1133 y el proyector 1131 forman un centro óptico. En el modo de escaneo trifocal, en lugar de calcular una matriz fundamental (también conocida como tensor bifocal) que se basa en dos imágenes, se calcula un tensor trifocal, que expresa la correspondencia en puntos entre imágenes capturadas desde los tres centros ópticos. El tensor trifocal se puede calcular, por ejemplo, de la manera establecida en Richard Hartley y Andrew Zisserman (2003). *"Online Chapter: Trifocal Tensor"* (PDF). Multiple View Geometry in computer vision. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-54051-3, al que se hace referencia en el presente documento.

30 En uso, el controlador 140 controla la sección de escaneo 1130 para operar selectivamente en modo vertical u horizontal. Esto permite que el aparato de escaneo 100 escanee con precisión regiones del modelo dental que de otro modo quedarían ocluidas si se escanearan usando la sección de escaneo 130, mejorando así la cobertura del escaneo y la precisión del modelo 3D.

35 Se apreciará que la sección de escaneo 1130 es una configuración de ejemplo en la que una primera línea ficticia que conecta la primera cámara 1132 y el proyector 1131 y una segunda línea ficticia que conecta la segunda cámara 1133 y el proyector 1131 no son colineales. En la sección de escaneo 1130 de ejemplo, la primera y la segunda líneas ficticias son ortogonales, siendo la primera línea ficticia sustancialmente horizontal. Sin embargo, en ejemplos adicionales la sección de escaneo puede configurarse de otras maneras en las que la primera y segunda líneas ficticias no sean colineales. Por ejemplo, el ángulo entre las líneas puede ser agudo u obtuso. Así mismo, las líneas ficticias no tienen por qué coincidir con los planos horizontal y/o vertical.

La figura 9 es un diagrama de flujo de un método de escaneo de ejemplo. El método de escaneo genera una secuencia de ubicaciones de escaneo, para así proporcionar un escaneo de alta cobertura del objeto dental.

45 En la etapa S901, se analiza una nube de puntos de entrada de un objeto dental y se identifica una región del objeto que se escanea a un nivel de detalle por debajo de un nivel de detalle suficiente predeterminado. En la etapa S902, se determina una posición de escaneo para capturar la región identificada. En la etapa S903, la sección de movimiento 120 y la sección de escaneo 130 se mueven hacia la posición de escaneo para capturar la región identificada.

50 La figura 10 ilustra el proceso de la etapa S901 con más detalle. En una primera etapa S1001, se genera la superficie de la nube de puntos de entrada. Este es el proceso de reconstruir la superficie 3D del objeto dental en función de los puntos de la nube de puntos. Por ejemplo, se utiliza un algoritmo de generación de superficies de Poisson para generar una superficie a partir del modelo 3D. Esto da como resultado una malla con superficie.

55 Después, en la etapa S1002, se muestrea la malla con superficie a una distancia uniforme, para así generar una nube de puntos muestreada uniformemente. En un ejemplo, la distancia de muestreo es de 0,5 mm. La distancia puede modificarse; las distancias más pequeñas aumentan la precisión a expensas de la velocidad de procesamiento.

60 Posteriormente, en la etapa S1003, para cada punto en la nube de puntos muestreada uniformemente, se identifica un punto más cercano en la nube de puntos de entrada.

65 Después, en la etapa S1004, si la distancia entre el punto en la nube de puntos muestreada uniformemente y el punto más cercano identificado sobrepasa una distancia umbral, es indicativo de que esta región de la nube de puntos de entrada se ha capturado con detalle insuficiente. Cada punto que sobrepasa el umbral se marca, por ejemplo, alterando el color del punto.

El umbral puede ser, por ejemplo, 0,3 mm, aunque de manera similar a la distancia de muestreo, se pueden emplear distancias mayores o menores.

5 Opcionalmente, si el punto más cercano en la nube de puntos de entrada está a una distancia relativamente grande (por ejemplo, más de 10 mm), el punto puede eliminarse de la nube de puntos muestreada uniformemente. Distancias tan grandes pueden ser indicativas de una región de la nube de puntos muestreada uniformemente donde la generación de superficies del modelo es inexacta y, por lo tanto, no debe emplearse.

10 En un ejemplo, el modelo dental puede comprender regiones no escaneables, por ejemplo, con partes negras o altamente reflectantes. Las áreas de la nube de puntos muestreada uniformemente que corresponden a una región no escaneable no tendrán puntos correspondientes próximos en la nube de puntos de entrada. En consecuencia, para evitar intentar repetidamente escanear una región no escaneable, se mantiene una lista de cada ubicación de escaneo anterior de la cual ya se ha obtenido un escaneo del objeto dental. Se ejecuta una emisión de rayos desde cada una de estas ubicaciones de escaneo anteriores para ver si una vista anterior ya debería haber capturado el punto invisible.

15 Si la emisión de rayos indica que el punto invisible era visible desde una ubicación de escaneo anterior, se puede determinar que el punto es un punto que no se puede escanear. En algunos ejemplos, se puede determinar que un punto no se puede escanear cuando existe un número predeterminado de vistas previas (por ejemplo, 2) que deberían haber capturado el punto, pero no lo hicieron. Esto evita descartar puntos que no se pueden escanear debido a un reflejo anómalo en una sola vista.

20 La figura 11 ilustra el proceso de la etapa S902 con más detalle. En una primera etapa S1101, para un punto marcado en concreto, se determina una posición de visualización óptima. En un ejemplo, el punto de visualización óptimo se determina proyectando primero una línea normal desde el punto marcado. La línea normal es una línea perpendicular a un plano tangencial al punto marcado. Después, se determina que un punto en la línea normal que está a una

25 distancia del punto marcado correspondiente a la distancia focal óptima de la sección de escaneo 130, 1130 es la posición de visualización óptima para el punto marcado.

30 En una segunda etapa S1102, se verifica la posición de visualización óptima para garantizar que el punto marcado no quede ocluido cuando se vea desde las cámaras de la sección de escaneo 130, 1130. Por ejemplo, la sección de escaneo se coloca virtualmente en la posición de visualización óptima y se realiza una proyección de rayos desde la posición virtual de los centros de las cámaras hasta el punto marcado.

35 Si la emisión de rayos muestra que las cámaras tienen una línea de visión clara hacia el punto marcado, esta posición de la cámara se almacena en una lista de posiciones candidatas de la sección de escaneo (S1103).

Se apreciará que, como se explicó anteriormente, la sección de escaneo 1130 puede funcionar en uno de una pluralidad de modos, en los que una o más cámaras y el proyector están en funcionamiento. En consecuencia, en un ejemplo, se requiere una línea de visión clara de todas las cámaras que están en uso en el modo de escaneo actual. En ejemplos adicionales, si hay disponible una línea de visión clara en uno de los modos de escaneo, se almacena la

40 posición de la cámara, junto con un registro del modo en el que está disponible la línea de visión clara. En consecuencia, el método de escaneo puede seleccionar automáticamente el modo de escaneo más apropiado para capturar un punto específico. En algunos ejemplos, se puede definir una clasificación predeterminada con el fin de utilizar el mejor modo de escaneo disponible. Por ejemplo, el método puede seleccionar los modos trifocal o diagonal si ambas cámaras y el proyector tienen una línea de visión clara, actuando los modos horizontal y vertical como reemplazos.

45 Como el proyector está activo en todos los modos de escaneo, en un ejemplo, la línea de visión del proyector puede determinarse antes que la línea de visión de cualquiera de las cámaras. Esto actúa como un primer filtro eficiente, evitando calcular una proyección de rayos a las cámaras en los casos en que el proyector esté ocluido.

50 Si, por el contrario, no hay una línea de visión clara, el ángulo de la línea normal se regula iterativamente. Por ejemplo, el ángulo de la línea normal se ajusta 1 grado por vez en un eje hasta llegar a una posición en la que la línea de visión es clara (S1104). En consecuencia, se traza un patrón cónico, con el punto en el pico del cono y la posición de la cámara formando la base del cono. El radio de la base del cono se puede aumentar progresivamente hasta encontrar una posición con una línea de visión clara. Por lo tanto, el método combina eficazmente una búsqueda por fuerza

55 bruta con una optimización basada en la posición ideal.

En otro ejemplo, en el caso de que no haya una línea de visión clara, la posición de la cámara se puede regular iterativamente a lo largo de la línea normal, para que así esté más o menos próxima al punto que la distancia focal óptima. Esto proporciona otro medio posible para llegar a una posición cercana a la posición ideal con una visión sin

60 obstáculos del punto.

La posición ajustada luego se almacena en la lista de posiciones candidatas de la sección de escaneo (S1103).

65 En el paso S1105, las posiciones de las secciones de escaneo candidatas se clasifican según el número de puntos marcados visibles desde las mismas.

Por ejemplo, para cada posición candidata, se almacenan todos los puntos marcados visibles desde la posición. Esta lista de puntos marcados se puede recortar para eliminar uno o más de los siguientes:

- 5           ▪ puntos que no se encuentran dentro de las coordenadas de pantalla 2D de todas las cámaras.
- Puntos cuya normal en 3D se orienta alejada de cada cámara. Se puede utilizar un ángulo umbral, por ejemplo de 70 grados desde la cámara, para descartar los puntos.
- 10          ▪ Puntos que están demasiado lejos o demasiado cerca de cualquiera de las cámaras, según los parámetros de profundidad de campo almacenados de la cámara.
- Puntos que están ocluidos de cualquier proyección de la cámara.

Después, las posiciones de escaneo candidatas se clasifican según la cantidad de puntos marcados visibles.

15           En un ejemplo, si la lista de posiciones candidatas sobrepasa un tamaño umbral predeterminado, las posiciones candidatas se muestrean aleatoriamente para reducir el tamaño de la lista antes de que se lleve a cabo la etapa S1105. Si bien el muestreo aleatorio puede dar lugar a que se omitan ciertos puntos, la iteración repetida del algoritmo da como resultado que es probable que los puntos se capturen en iteraciones posteriores. El umbral puede ser, por ejemplo, 1000.

          En un ejemplo, la clasificación es tal que un punto marcado en particular no puede contarse de forma repetida una vez que haya aparecido en un escaneo específico. Es decir, un punto que ya aparece en una posición de escaneo no contribuye posteriormente al recuento de puntos visibles en otras posiciones de escaneo de menor clasificación.

25           En un ejemplo, se puede devolver la lista completa de posiciones de escaneo candidatas. En otros ejemplos, se pueden devolver las primeras n vistas. En algunos ejemplos, se puede devolver una lista que comprende posiciones de escaneo correspondientes a un porcentaje predeterminado de los puntos marcados. A continuación, la sección de movimiento se mueve a las posiciones de escaneo para escanear las regiones identificadas con detalles insuficientes.

30           En algunos ejemplos, el método de la figura 9 se lleva a cabo de forma iterativa. En consecuencia, la nube de puntos obtenida como resultado de una iteración del método forma la nube de puntos de entrada para una iteración posterior del método.

35           En algunos ejemplos, se puede obtener una nube de puntos inicial mediante una secuencia de escaneo preprogramada. Esta nube de puntos inicial puede formar luego la nube de puntos de entrada del método.

          El método de ejemplo de las figuras 9-11 lo puede realizar el sistema de escaneo 1. También puede ser llevado a cabo, por ejemplo, por el dispositivo de control 200.

40           A continuación, se describirá otro método de escaneo de ejemplo con referencia a la figura 12.

          Como se explicó anteriormente, las impresiones dentales son una impronta negativa de las estructuras interbucales de un paciente, a partir de las cuales se puede fundir un modelo dental. Al escanear un modelo dental fundido, se pueden perder áreas cruciales de detalles que pueden ser más fácilmente visibles en la impresión dental. Por ejemplo, es posible que no se capturen con precisión áreas de detalle en las regiones interproximales y el surco gingival retraído alrededor de una preparación de corona. Por el contrario, las regiones que pueden ser difíciles de escanear con precisión en una impresión dental pueden ser más fácilmente visibles en el modelo fundido.

50           En el método de escaneo de ejemplo, un modelo 3D obtenido del escaneo de una impresión dental (en adelante, el "modelo 3D de impresión") se puede combinar con un modelo 3D obtenido del escaneo de un modelo dental fundido a partir de la impresión (de aquí en adelante, el "modelo 3D fundido"). Sin embargo, debido a las diferencias entre el modelo 3D fundido y el modelo 3D de impresión provocadas, por ejemplo, por el proceso de vaciado del modelo, el modelo 3D fundido y el modelo 3D de impresión, puede resultar inexacto simplemente invertir el modelo 3D de impresión y combinarlo con el modelo 3D fundido.

          El método de ejemplo comprende una etapa S1201 en la que se detectan regiones defectuosas en un modelo 3D obtenido del escaneo de un modelo dental fundido a partir de una impresión dental.

60           En un ejemplo, las regiones defectuosas se detectan de manera similar a la detección de las regiones escaneadas con detalle insuficiente en la etapa S901 anterior. Por ejemplo, se puede generar la superficie la nube de puntos del modelo 3D fundido y luego muestrearla uniformemente para producir una nube de puntos muestreada uniformemente. Los puntos de la nube de puntos muestreada uniformemente que están por encima de una distancia umbral desde el punto más cercano en la nube de puntos del modelo 3D fundido se marcan como defectuosos. En este ejemplo, se puede utilizar un umbral más pequeño en función de que es poco probable que falten grandes regiones del modelo, como puede ser el caso durante el proceso de escaneo. Por ejemplo, el umbral puede ser 0,1 mm.

En otro ejemplo, se puede utilizar una técnica de detección de bordes para identificar agujeros en la nube de puntos del modelo 3D fundido.

- 5 El método de ejemplo comprende una etapa S1202, en la que las regiones defectuosas se parchean en una región correspondiente de un modelo 3D de un objeto dental obtenido del escaneo de la impresión dental.

La figura 13 ilustra la etapa S1202 con más detalle.

- 10 En una primera etapa S1301, se invierten las normales del modelo 3D de impresión y se alinea con el modelo 3D fundido utilizando un algoritmo de registro global.

- 15 En una segunda etapa S1302, para cada punto en la nube de puntos invertida y alineada del modelo 3D de impresión, se identifica un punto más cercano en la nube de puntos muestreada uniformemente. Si el punto más cercano en la nube de puntos muestreada uniformemente se marca como defectuoso, el punto en la nube de puntos invertida y alineada del modelo 3D de impresión se añade a una nueva nube de puntos temporal. Por lo tanto, esta nube de puntos temporal se rellena con todos los puntos de la nube de puntos invertida y alineada del modelo 3D de impresión que corresponden a las regiones defectuosas del modelo 3D fundido.

- 20 En la siguiente etapa S1303, la nube de puntos temporal se agranda para incluir puntos contiguos del modelo 3D de impresión. Cada punto de la nube de puntos invertida y alineada del modelo 3D de impresión que tiene un contiguo más cercano en la nube de puntos temporal a menos de una distancia predeterminada (por ejemplo, 0,5 mm), también se añade a la nube de puntos temporal.

- 25 En la siguiente etapa S1304, la nube de puntos temporal se agrupa en una pluralidad de nubes de puntos más pequeñas. Esto puede basarse en la búsqueda del contiguo más cercano, con un criterio de búsqueda de ejemplo de 0,3 mm. Se apreciará que se pueden aplicar otros algoritmos de agrupamiento para dividir la nube de puntos temporal. La pluralidad resultante de nubes de puntos más pequeñas forma, cada una, un parche que se aplicará en el modelo 3D fundido.

- 30 En la siguiente etapa S1305, cada parche se alinea con el modelo 3D fundido y se incorpora al mismo. Por ejemplo, se puede emplear un algoritmo de alineación, tal como el algoritmo iterativo del punto más cercano.

- 35 Se entenderá que el método de las figuras 12 y 13 se puede llevar a cabo igualmente, si se desea, parcheando el modelo 3D de impresión con el modelo 3D fundido.

En ejemplos adicionales, el método de las figuras 12 y 13 se puede aplicar para combinar dos escáneres de varios objetos dentales.

- 40 En un ejemplo, el método puede utilizarse para combinar dos escáneres de impresiones, en donde los escáneres son del mismo paciente. Por ejemplo, en la práctica, un dentista puede tomar una segunda impresión, en donde es evidente que una primera impresión ha capturado una región específica de los dientes con suficiente detalle.

- 45 En otro ejemplo, el método puede aplicarse para combinar dos escáneres de modelos fundidos. Por ejemplo, un laboratorio dental puede realizar un primer escáner del modelo fundido. Posteriormente, el modelo fundido puede ser trabajado en el laboratorio, por ejemplo, para colocarle una prótesis. En el proceso de preparación de la prótesis, el modelo fundido puede ser manipulado y pueden producirse daños menores en regiones del modelo, en concreto, en aquellas regiones que no están próximas a la prótesis. Por lo tanto, puede ser deseable combinar el primer escaneo del modelo fundido con un escaneo posterior, en donde el método parchea el primer escaneo con un segundo escaneo del modelo fundido que incluya la prótesis.

- 50 En algunos ejemplos, una región de un modelo puede marcarse como región donante, la cual debería actuar como el área que un usuario debe parchear en el otro modelo. Por ejemplo, la región puede seleccionarse a través de la interfaz de usuario 240. Las áreas del modelo que no corresponden a la región donante o que no están a una distancia predeterminada de la región donante, pueden recortarse del modelo antes de aplicar el método descrito anteriormente.

El método de ejemplo de las figuras 9-11 lo puede realizar el sistema de escaneo 1. También puede ser llevado a cabo, por ejemplo, por el dispositivo de control 200.

- 60 Se pueden realizar diversas modificaciones o alteraciones de los ejemplos descritos en el presente documento. Por ejemplo, se apreciará que la funcionalidad del controlador del aparato de escaneo 100 y el dispositivo de control 200 pueden intercambiarse. Dicho de otra forma, en algunos ejemplos, la funcionalidad descrita en el presente documento realizada por la unidad de control 140 la puede realizar la unidad de control 210, y viceversa. En algunos ejemplos, la funcionalidad del dispositivo de control 200 puede integrarse en el aparato de escaneo 100, de modo que el dispositivo de control no sea necesario. Se entenderá que la forma y construcción de la caja 110 pueden variar.

65

El sistema de escaneo y los métodos descritos en el presente documento permiten ventajosamente un escaneo preciso desde un amplio abanico de puntos de vista de materiales flexibles, tales como impresiones dentales, sin sujetar las impresiones, lo que puede causar la distorsión de los mismos. Además, la construcción del sistema de escaneo es tal que puede instalarse fácilmente en una consulta dental.

5 Así mismo, los métodos de escaneo descritos en este documento pueden obtener automáticamente modelos de objetos dentales de alta calidad con una intervención mínima por parte del operario del sistema de escaneo. En consecuencia, el sistema de escaneo puede ser puesto en funcionamiento fácilmente con una formación mínima, por ejemplo, puede hacerlo un auxiliar de odontología o un dentista en una consulta. El hecho de que el escáner pueda  
10 utilizarse con una formación mínima y sobre impresiones dentales puede evitar la necesidad de enviar impresiones dentales por correo a un laboratorio dental. En consecuencia, se puede crear rápidamente un modelo preciso de los dientes del paciente.

15 Al menos algunos de los ejemplos descritos en el presente documento pueden construirse, parcial o totalmente, utilizando hardware para fines especiales. Términos como "componente", "módulo" o "unidad" utilizados en este documento pueden incluir, entre otros, un dispositivo de hardware, como circuitos en forma de componentes separados o integrados, una matriz de puertas programables en campo (FPGA) o circuito integrado de aplicación específica (ASIC), que realiza determinadas tareas o proporciona la funcionalidad asociada. En algunos ejemplos, los elementos descritos pueden configurarse para almacenarse en un medio de almacenamiento tangible, persistente y direccionable  
20 y pueden configurarse para ejecutarse en uno o más procesadores. Estos elementos funcionales pueden incluir en algunos ejemplos, a modo de ejemplo, componentes, tales como componentes de software, componentes de software orientados a objetos, componentes de clases y componentes de tareas, procesos, funciones, atributos, procedimientos, subrutinas, segmentos de código de programa, controladores, firmware, microcódigo, circuitos, datos, bases de datos, estructuras de datos, tablas, matrices y variables. Aunque los ejemplos se han descrito con referencia a los  
25 componentes, módulos y unidades explicados en el presente documento, dichos elementos funcionales pueden combinarse en menos elementos o separarse en elementos adicionales. En el presente documento se han descrito varias combinaciones de características opcionales y se apreciará que las características descritas pueden combinarse en cualquier combinación adecuada. En concreto, las características de cualquier ejemplo pueden combinarse con las características de cualquier otro ejemplo, según corresponda, excepto cuando dichas combinaciones sean mutuamente excluyentes. A lo largo de esta memoria descriptiva, el término "que comprende" o  
30 "comprende" significa que incluye el o los componentes especificados, pero sin excluir la presencia de otros.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de escaneo dental tridimensional (3D) (1) para escanear un objeto dental, que comprende:  
 5 una superficie de escaneo (124a), configurada para soportar el objeto dental;
- una sección de escaneo (130), configurada para capturar un escaneo 3D del objeto dental;  
 una sección de movimiento (120) configurada para mover la superficie de escaneo (124a) y la sección de escaneo  
 entre sí en cinco ejes de movimiento, mientras se retiene la superficie de escaneo en un plano sustancialmente  
 horizontal, y  
 10 una unidad de control (210) configurada para controlar la sección de movimiento (120) y la sección de escaneo (130)  
 para obtener un escaneo 3D del objeto dental,  
**caracterizado por que** la unidad de control (210) está configurada para:
- 15 a) identificar una región de una nube de puntos del objeto dental capturado con un nivel de detalle por debajo de un  
 nivel de detalle predeterminado;  
 b) identificar una posición de escaneo para capturar la región identificada; y  
 c) controlar la sección de movimiento (130) para mover la superficie de escaneo (124a) y la sección de escaneo (130)  
 para escanear la región identificada.
- 20 2. El sistema (1) de la reivindicación 1, en donde la unidad de control (210) está configurada para:
- generar la superficie de la nube de puntos para producir un modelo 3D;  
 muestrear uniformemente el modelo con superficie para generar una nube de puntos muestreada uniformemente;  
 25 identificar un punto más cercano en la nube de puntos a cada punto de la nube de puntos muestreada uniformemente,  
 y  
 marcar el punto en la nube de puntos muestreada uniformemente como por debajo del nivel de detalle predeterminado  
 en respuesta a una distancia entre el punto en la nube de puntos muestreada uniformemente y el punto más cercano  
 identificado que sobrepasa una distancia umbral.
- 30 3. El sistema (1) de la reivindicación 2, en donde la unidad de control (210) está configurada para determinar una  
 posición de visualización óptima para cada punto marcado, en donde la unidad de control (210) está configurada para  
 verificar cada posición de visualización óptima para determinar que el punto marcado no estará ocluido cuando se ve  
 desde la sección de escaneo, y en donde la unidad de control está configurada para determinar que la posición de  
 visualización óptima está ocluida y ajustar la posición de visualización óptima para alcanzar una posición no ocluida.
- 35 4. El sistema (1) de la reivindicación 3, en donde la unidad de control (210) está configurada para clasificar cada  
 posición de visualización óptima según el número de puntos marcados visibles desde la misma.
- 40 5. El sistema (1) de cualquier reivindicación anterior, en donde la nube de puntos del objeto dental es una nube de  
 puntos obtenida mediante una iteración previa de las etapas (a)-(c) o mediante una secuencia de escaneo  
 preprogramada.
6. El sistema (1) de cualquier reivindicación anterior, en donde los cinco ejes de movimiento comprenden:  
 45 traslación en una primera dirección horizontal;  
 traslación en una segunda dirección horizontal, perpendicular a la primera dirección horizontal;  
 traslación en una dirección vertical;  
 rotación de la superficie de escaneo; e  
 inclinación de la sección de escaneo (130).
- 50 7. El sistema (1) de cualquier reivindicación anterior, en donde la sección de escaneo (130) comprende:
- un proyector (131, 1131) configurado para proyectar un patrón de luz estructurado sobre el objeto dental, y  
 una cámara (132, 1132).
- 55 8. El sistema (1) de la reivindicación 7, que comprende dos cámaras (132, 133) dispuestas en el mismo plano.
9. El sistema (1) de la reivindicación 7, que comprende dos cámaras (1132, 1133), en donde:  
 una primera de las dos cámaras (1132) y el proyector (1131) están conectados por una primera línea ficticia;  
 una segunda de las dos cámaras (1133) y el proyector (1131) están conectados por una segunda línea ficticia,  
 60 en donde la primera línea ficticia y la segunda línea ficticia son no colineales,  
 en donde la sección de escaneo (130) puede funcionar selectivamente en al menos dos de:  
 un primer modo en el que se activan la primera cámara (1132) y el proyector (1131),  
 un segundo modo en el que se activan la segunda cámara (1133) y el proyector (1131), y  
 un tercer modo en el que se activan la primera cámara (1132), la segunda cámara (1133) y el proyector (1131).
- 65

10. El sistema (1) de cualquiera de las reivindicaciones 8-9, en donde la sección de escaneo (130) puede funcionar en un modo trifocal en el que se activan la primera cámara (132, 1132), la segunda cámara (133, 1133) y el proyector (131, 1131), y cada una de la primera cámara (132, 1132), la segunda cámara (133, 1133) y el proyector (131, 1131) forman un centro óptico.
- 5
11. El sistema (1) de cualquier reivindicación anterior, en donde la superficie de escaneo (124a) es una superficie sustancialmente plana, y en donde el sistema de escaneo (1) no comprende medios de sujeción para sujetar el objeto dental a la superficie de escaneo (124a).
- 10
12. El sistema (1) de cualquier reivindicación anterior, en donde la sección de movimiento (120) está configurada para permitir libertad de movimiento de la sección de escaneo (130) con respecto a un centro de la superficie de escaneo (124).
- 15
13. El sistema (1) de la reivindicación 6, en donde la sección de escaneo (130) se puede mover a una posición en la dirección vertical que está sustancialmente en el mismo plano horizontal, o más bajo, que el objeto dental y/o la superficie de escaneo (124a).
- 20
14. Un método de escaneo tridimensional (3D) que comprende utilizar el sistema de escaneo dental 3D de cualquier reivindicación anterior para capturar un escaneo 3D de un objeto dental.
15. Un medio de almacenamiento legible por ordenador, que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas por la unidad de control (210) del dispositivo de escaneo según la reivindicación 1, hacen que la unidad de control (210) lleve a cabo el método de la reivindicación 14.

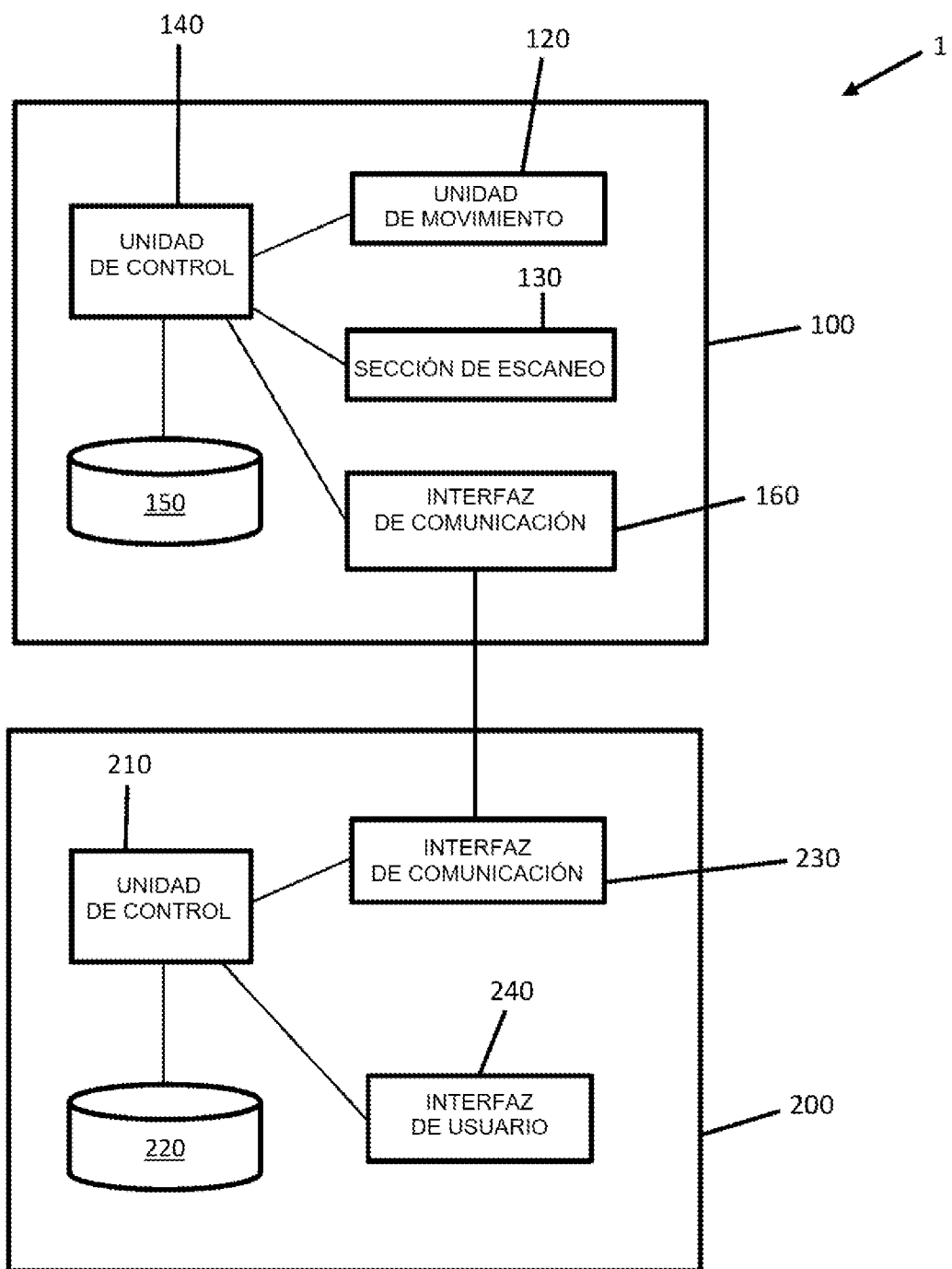


FIG. 1

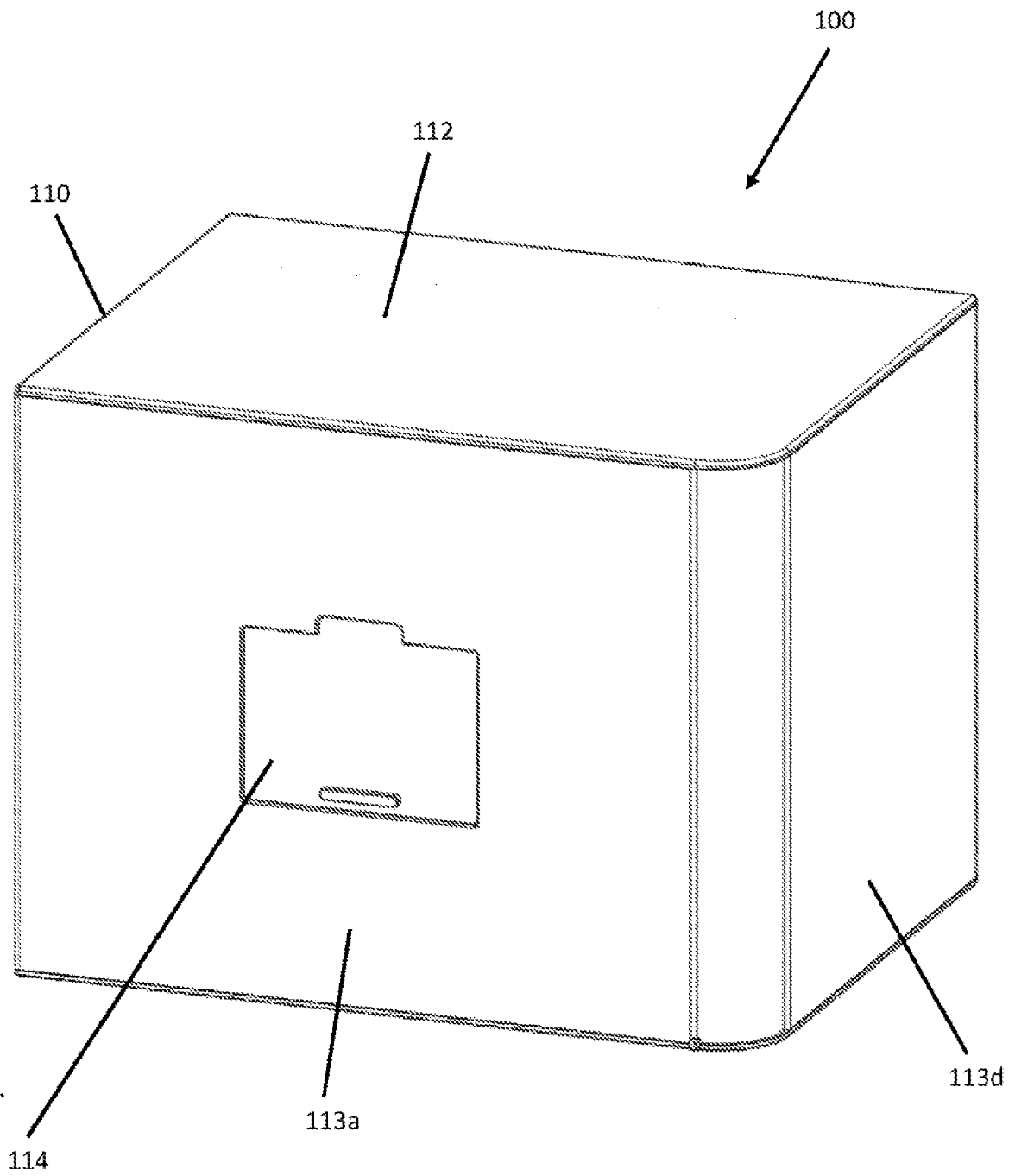


FIG. 2

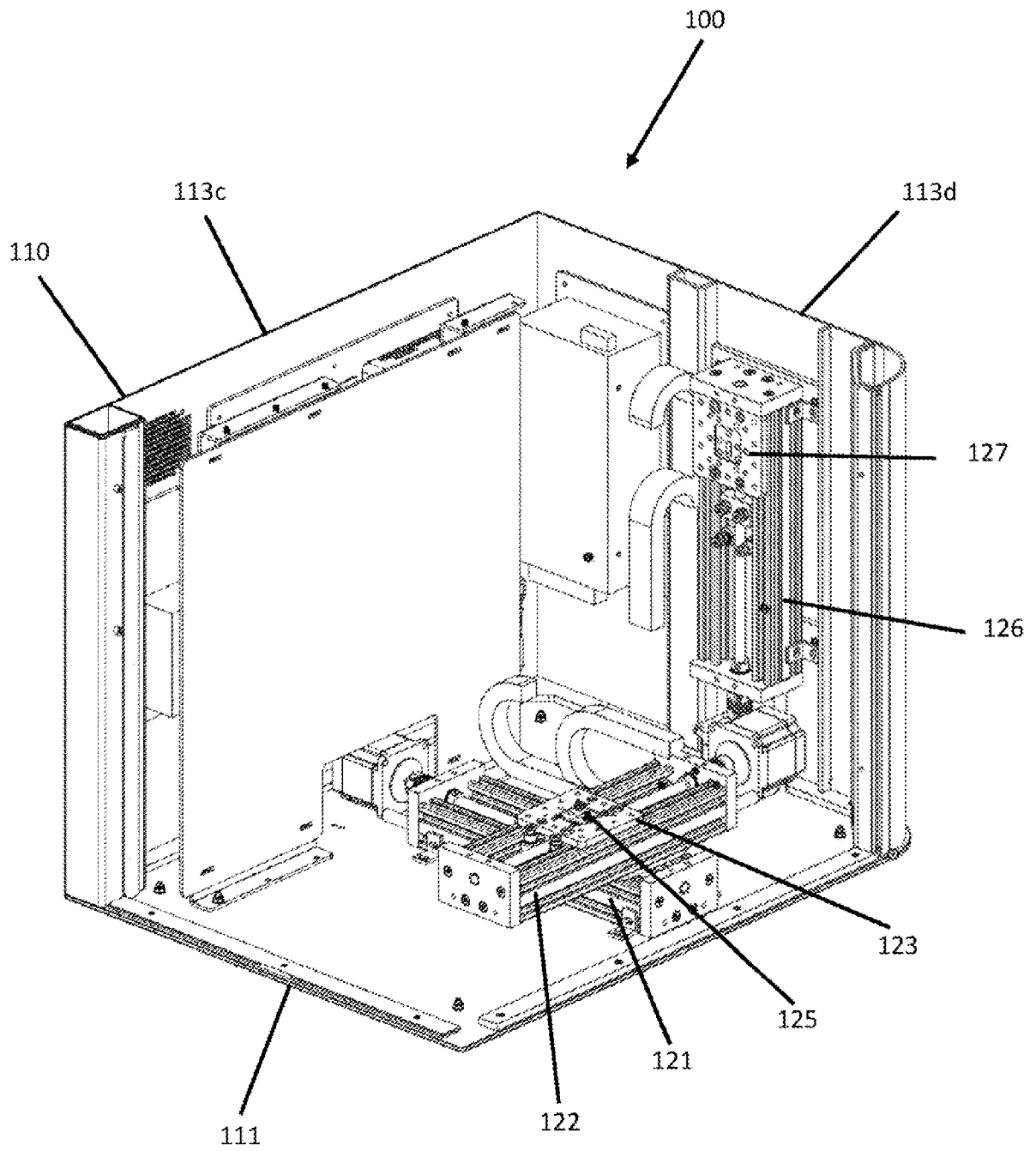


FIG. 3

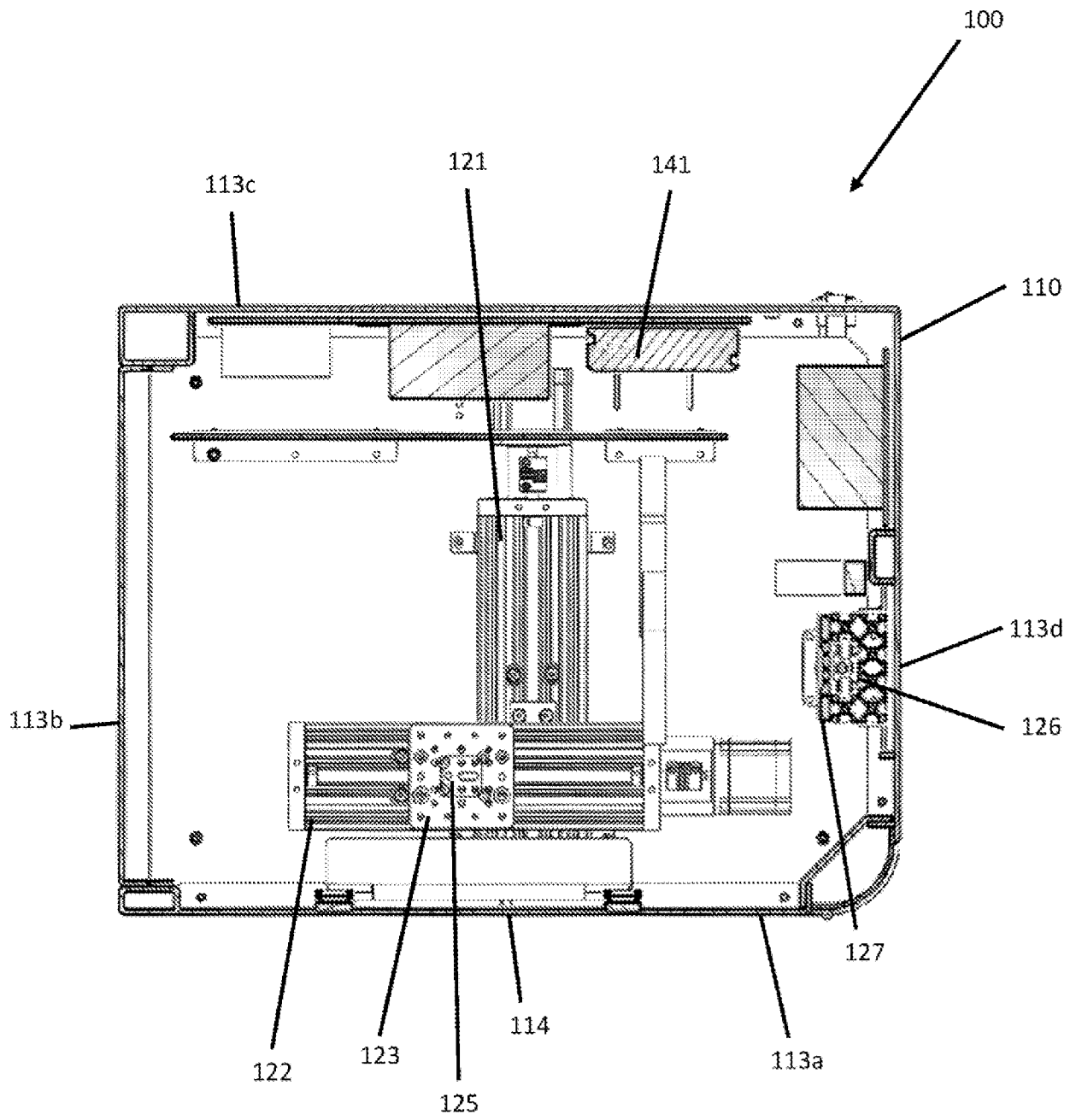


FIG. 4

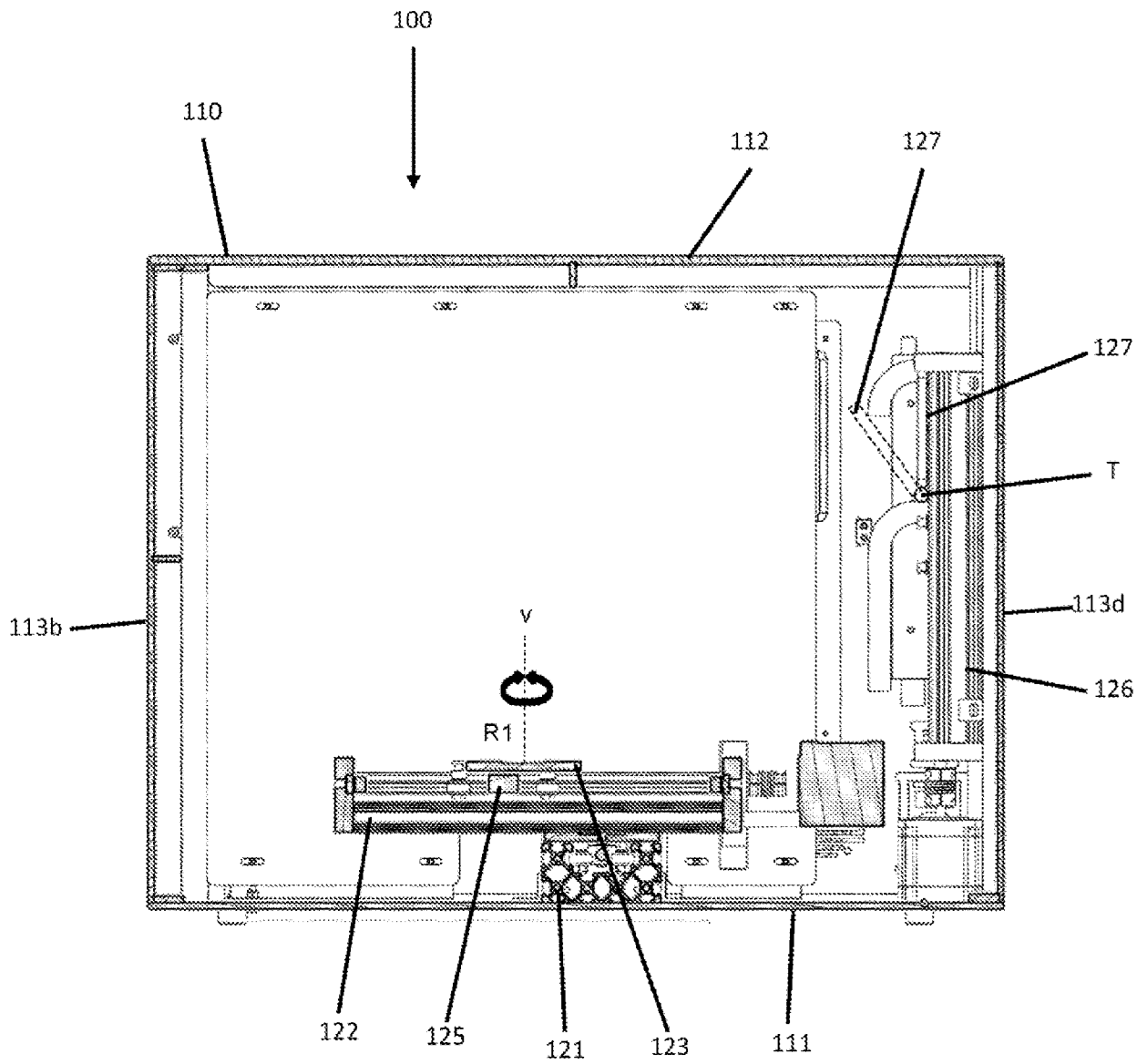


FIG. 5

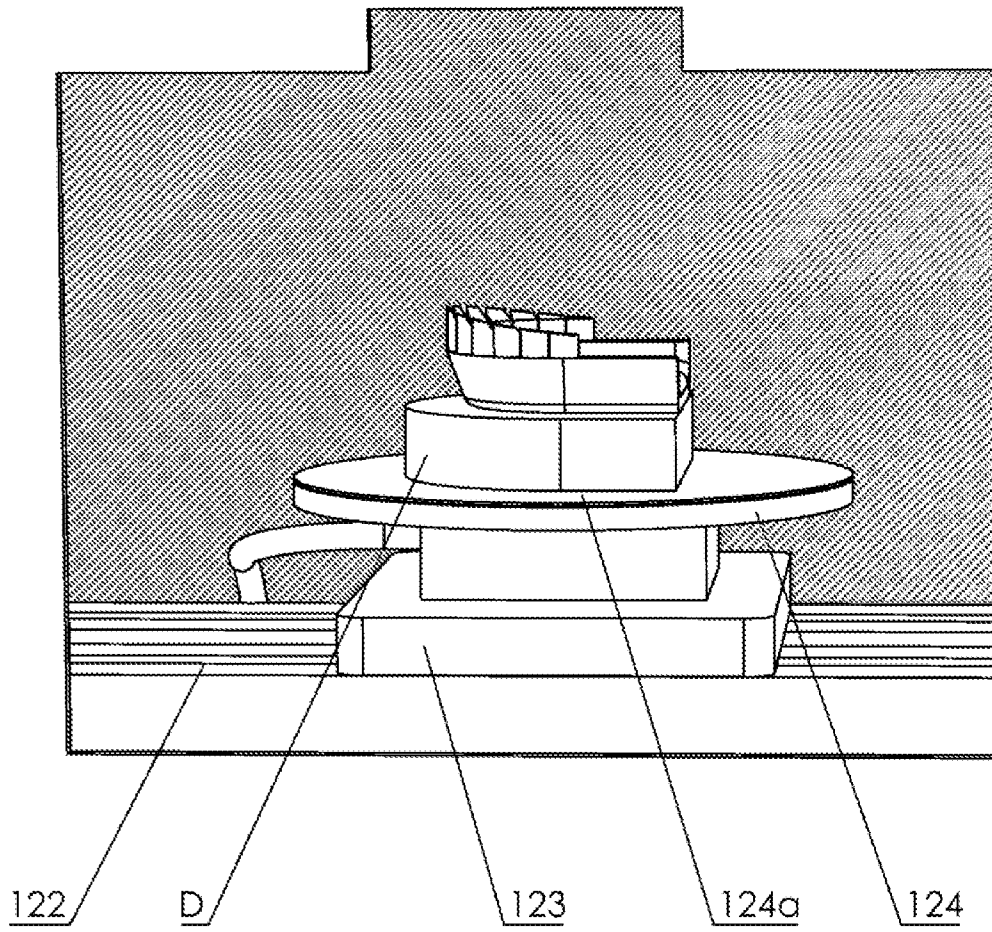


FIG. 6

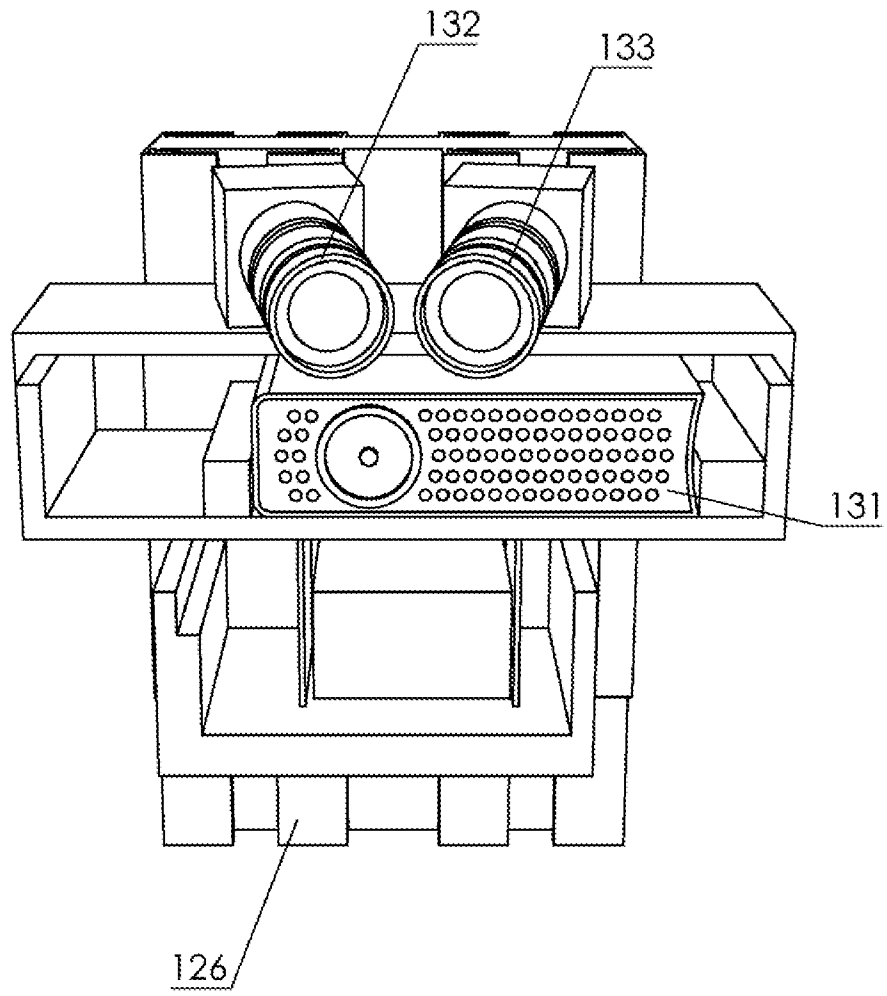


FIG. 7

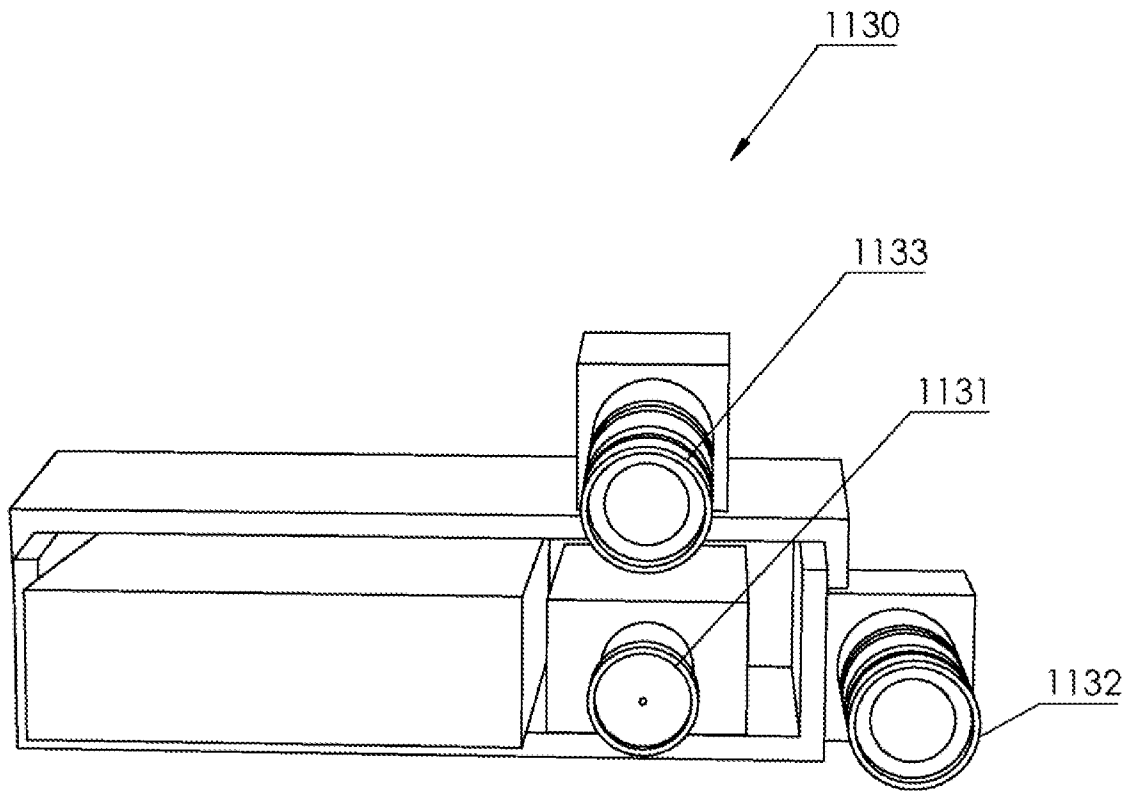


FIG. 8A

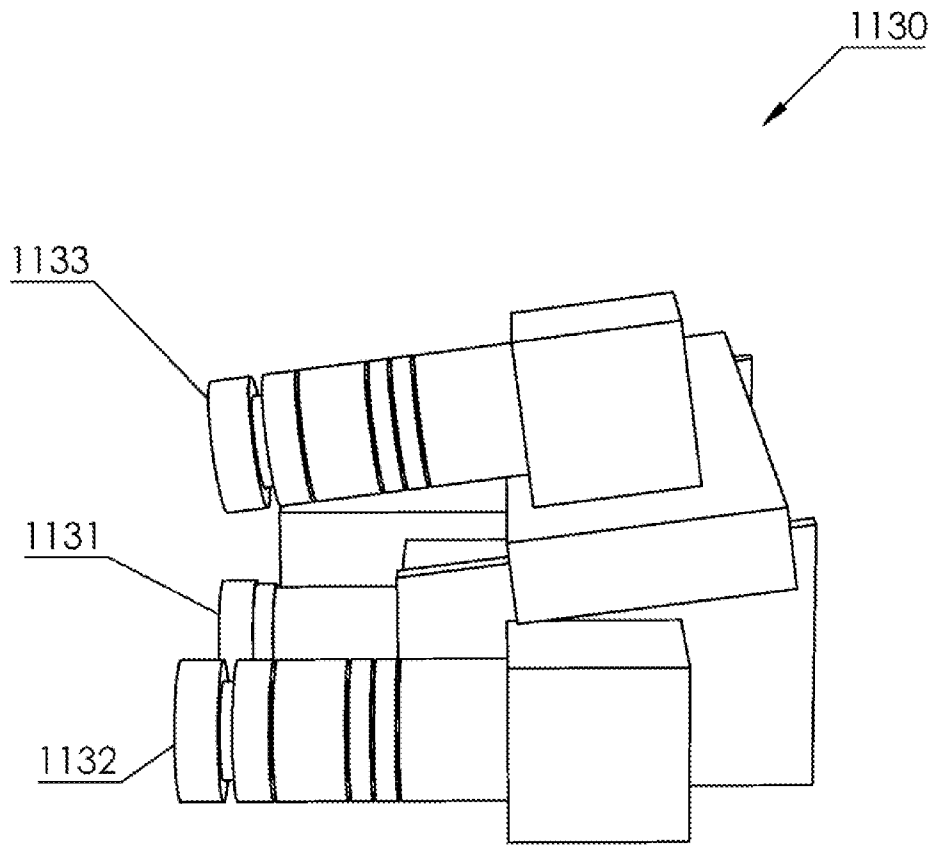


FIG. 8B

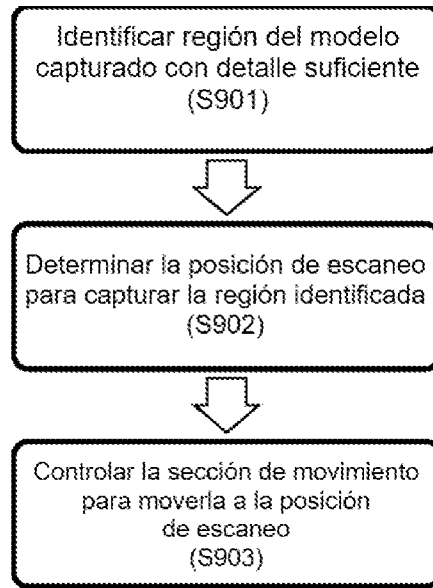


FIG. 9

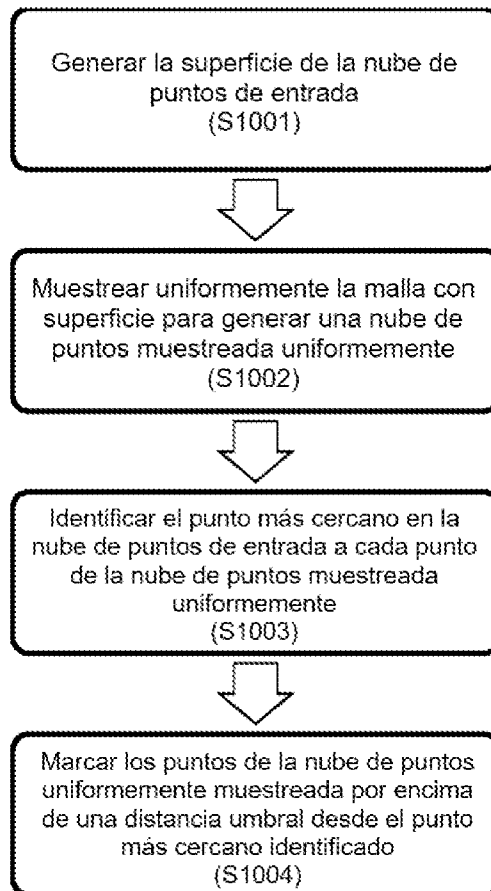


FIG. 10

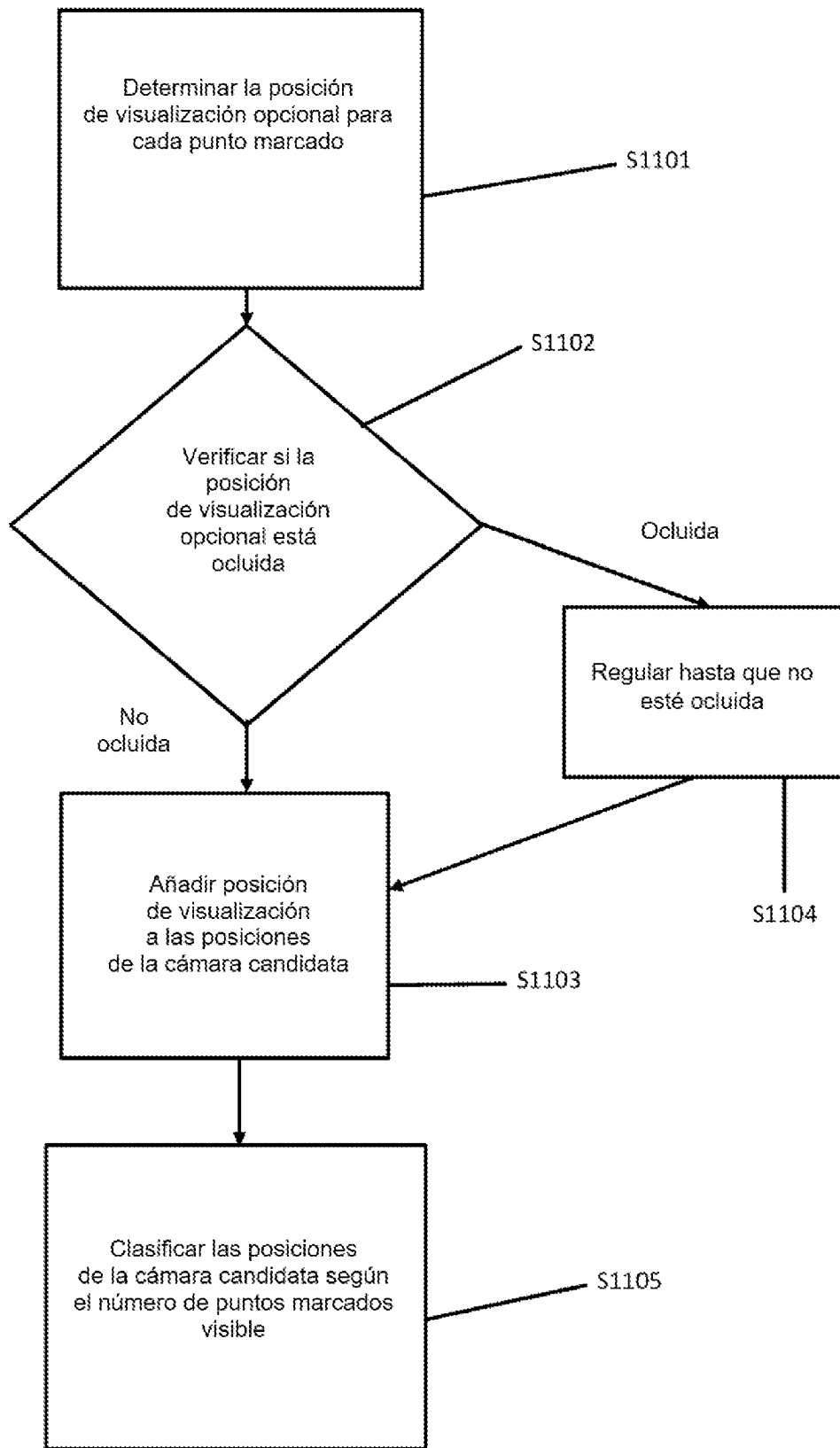


FIG. 11

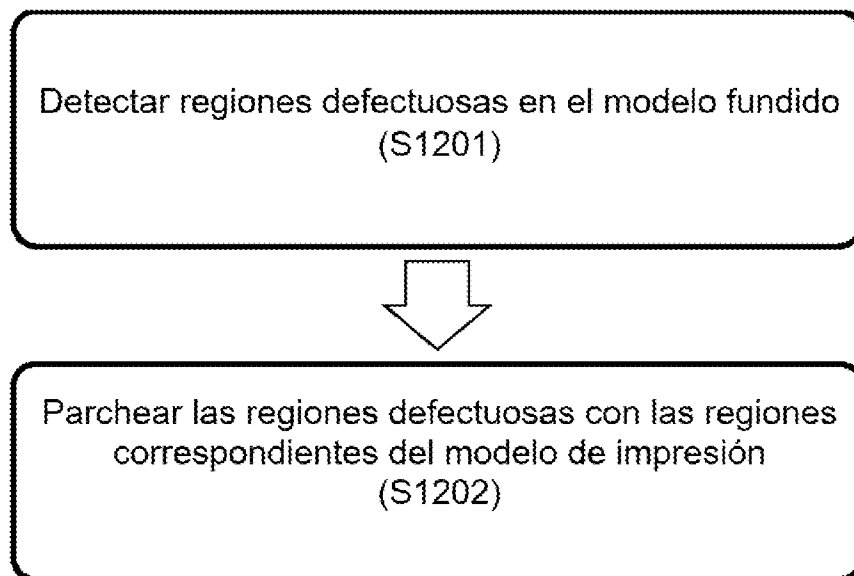


FIG. 12

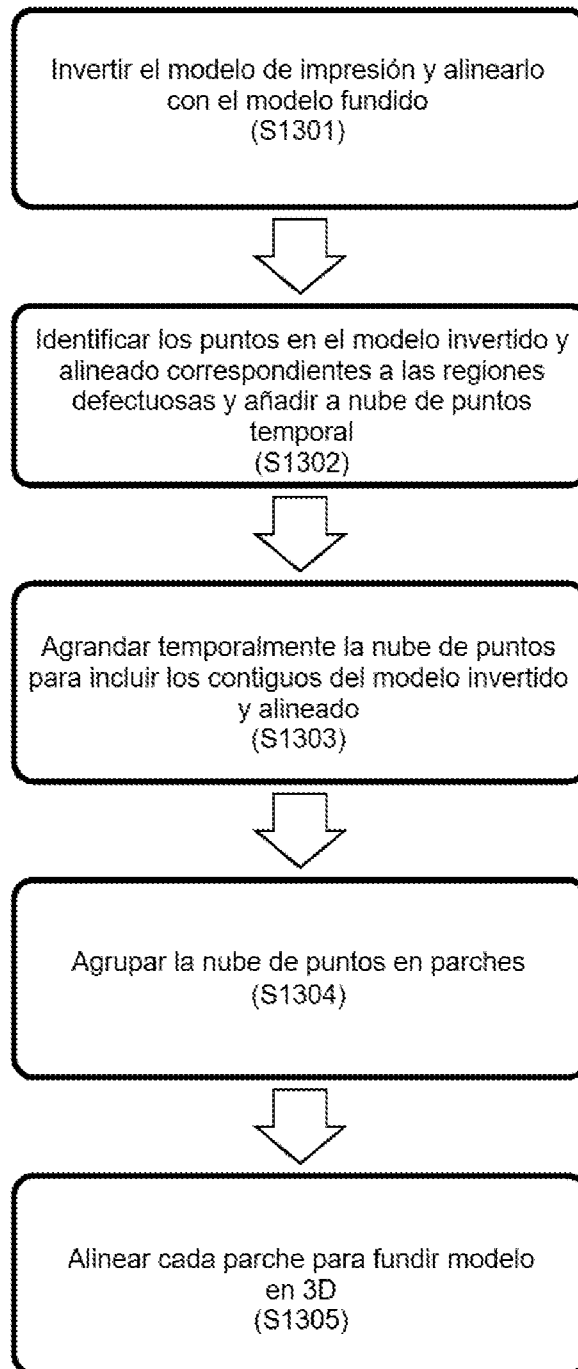


FIG. 13