

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 457**

51 Int. Cl.:

G06T 7/00 (2007.01)

G06T 11/00 (2006.01)

G06T 7/12 (2007.01)

G06T 7/149 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.07.2012 PCT/GB2012/051823**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.02.2013 WO13021170**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.07.2012 E 12751103 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2019 EP 2742483**

54 Título: **Método de procesamiento de imágenes**

30 Prioridad:

09.08.2011 GB 201113683

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.06.2019

73 Titular/es:

IMORPHICS LIMITED (50.0%)
Kilburn House Manchester Science Park Lloyd
Street North
Manchester M15 6SE, GB y
DEPUY INTERNATIONAL LIMITED (50.0%)

72 Inventor/es:

VINCENT, GRAHAM RICHARD y
BOWES, MICHAEL ANTONY

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 717 457 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

Método de procesamiento de imágenes

5 La presente invención se refiere a métodos y aparatos para identificar características en una imagen. Más particularmente, pero no exclusivamente, la presente invención se refiere a métodos y aparatos para ajustar modelos a una imagen para identificar características en la imagen.

10 El análisis automatizado de imágenes se puede usar para reducir las cargas de trabajo manuales para determinar las propiedades de las imágenes. El análisis de imágenes se utiliza en varios campos diferentes para identificar características de las imágenes. Un área en la que se utilizan técnicas de análisis de imágenes es procesar imágenes médicas donde la identificación de características anatómicas en una imagen puede brindar información útil a los médicos.

15 Las técnicas de proyección de imagen se usan comúnmente para generar imágenes médicas en las que la radiación electromagnética puede penetrar en un objeto sólido, como las radiografías, se genera y proyecta a través de una región anatómica de interés. Un sensor está dispuesto para detectar la radiación electromagnética después de pasar por la región anatómica de interés. La región anatómica de interés atenúa la radiación electromagnética en función de su densidad y composición y, como tal, la radiación electromagnética detectada por el sensor es indicativa de la composición de la región anatómica de interés. La imagen bidimensional resultante representa el efecto atenuante acumulativo de la densidad y la composición de la región anatómica de interés y, por lo tanto, puede analizarse, ya sea por un humano o automáticamente. Sin embargo, se apreciará que el análisis de imágenes bidimensionales, como las imágenes de rayos X, solo proporciona una cantidad limitada de información.

25 Las técnicas de imagen, como la tomografía computarizada por rayos X (CT) y la resonancia magnética (MR) pueden proporcionar información tridimensional para el análisis. Una técnica de imagen de este tipo se describe en Tristan Whitmarsh, Ludovic Humbert, Mathieu De Creane, Luis M. Del Rio Barquero y Alejandro F. Frangi "Reconstrucción de la forma 3D y la distribución de la densidad mineral ósea del fémur proximal a partir de la absorciometría de rayos X de energía dual". Transacciones IEEE en imágenes médicas, vol. 30, n.º 12, 29 de julio de 2011, páginas 2101-2114 que presenta un método para reconstruir la forma del hueso en 3D y la distribución de la BMD en 3D de un fémur proximal a partir de una única imagen DXA utilizada en la rutina clínica. Las imágenes de MR se obtienen utilizando campos magnéticos potentes para alinear la magnetización de los átomos de la región anatómica de interés y son costosas de generar. Las imágenes de CT se generan a partir de una gran cantidad de datos de rayos X capturados en varios ángulos diferentes a través de una región anatómica de interés que se procesa utilizando técnicas de imágenes tomográficas. Las técnicas de imágenes por CT también son caras y además requieren la exposición de un paciente a una gran cantidad de radiación de rayos X, lo que no es deseable.

Por lo tanto, es deseable una técnica de imagen tridimensional rentable.

40 Es un objetivo de algunas realizaciones de la presente invención obviar o mitigar al menos algunos de los problemas expuestos anteriormente.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método implementado por ordenador de acuerdo con la reivindicación 1.

45 De este modo, a partir de una imagen bidimensional se puede generar una representación tridimensional de un objeto que es útil para el procesamiento para identificar características del objeto. Aunque existen técnicas de imagen tridimensional, las técnicas existentes son caras y pueden requerir que se emitan grandes cantidades de radiación. Al generar una representación tridimensional de un objeto como se describe, estos problemas son mitigados.

50 El método puede comprender además recibir como entrada un modelo que modela una región de interés y ajustar el modelo a la representación tridimensional del objeto. Las características en la representación tridimensional del objeto se pueden identificar según el ajuste del modelo. Es decir, la representación tridimensional se puede procesar utilizando técnicas de modelado para generar información útil. Por ejemplo, donde el objeto es una región anatómica de interés, se pueden identificar las características de la región anatómica de interés que pueden ser útiles para llevar a cabo un procedimiento médico.

60 El ajuste puede comprender aplicar una técnica de ajuste seleccionada del grupo que consiste en: registro rígido, registro no rígido, modelado de formas activas y modelos de apariencia activa. En efecto, el accesorio puede comprender aplicar cualquier técnica de ajuste adecuada.

65 El método puede comprender además recibir como entrada una segunda imagen de proyección bidimensional y recibir como datos de adquisición de entrada asociados a la segunda imagen de proyección bidimensional. El procesamiento puede comprender la combinación de la primera y la segunda imágenes de proyección bidimensionales basadas en los datos de adquisición asociados a cada una de la primera y la segunda imagen de

proyección bidimensional, en donde cada vóxel tiene un primer valor basado en al menos un píxel de la primera imagen de proyección bidimensional y un segundo valor basado en al menos un píxel de la segunda imagen bidimensional.

5 Al combinar los datos de esta manera, la representación tridimensional proporciona más información y, por lo tanto, puede proporcionar un resultado de ajuste más preciso. Los datos de adquisición primero y segundo normalmente indican diferentes puntos en el mismo espacio de coordenadas y combinando datos capturados desde diferentes puntos, la representación tridimensional puede proporcionar una indicación de la composición de puntos particulares dentro del volumen en lugar de una composición neta a lo largo de una ruta a través del volumen.

10 La primera imagen de proyección se genera proyectando radiación electromagnética a través del objeto desde una primera fuente de radiación electromagnética a un primer sensor de radiación electromagnética y la segunda imagen de proyección se genera proyectando radiación electromagnética a través del objeto desde una segunda fuente de radiación electromagnética a un segundo sensor de radiación electromagnética. Se apreciará que la primera y la
15 segunda fuente de radiación electromagnética pueden ser la misma fuente. De forma similar, El primer y segundo sensores pueden ser el mismo sensor. En particular, la posición del objeto se puede modificar en relación con una única fuente y sensor, de modo que la primera y la segunda imágenes proporcionen diferentes proyecciones a través del objeto.

20 Los datos de adquisición para cada imagen de proyección bidimensional proporcionan una indicación de las rutas de proyección desde una fuente respectiva de radiación electromagnética a un sensor respectivo de radiación electromagnética. Es decir, los datos de adquisición pueden indicar las posiciones relativas en el espacio tridimensional de la fuente de radiación electromagnética y el sensor. El espacio tridimensional para cada uno de los datos de adquisición primero y segundo generalmente se basa en el mismo marco de coordenadas. Es decir, la
25 ubicación de los puntos indicados por los datos de adquisición para la primera imagen se puede determinar con relación a los puntos indicados por los datos de adquisición para la segunda imagen.

Para cada vóxel del volumen tridimensional de datos, el primer valor puede basarse en un valor de al menos un píxel de la primera imagen, el o cada al menos un valor siendo determinando en función de una ruta en proyección desde la primera fuente de radiación electromagnética a una ubicación de píxel del primer sensor y el segundo valor puede basarse en un valor de al menos un píxel de la segunda imagen, el o cada uno, al menos, un valor determinado en función de una ruta de proyección desde la segunda fuente de radiación electromagnética a una ubicación de píxeles del segundo sensor. Cada vóxel que se interseca con una ruta de proyección particular puede tener un valor basado en el mismo valor de píxel. En general, cada ubicación de píxel del sensor proporciona un
30 único valor indicativo de la atenuación total de la radiación electromagnética entre la fuente y el sensor. Al combinar los datos de imagen para los puntos generados a lo largo de diferentes rutas en función de los datos de adquisición asociados, sin embargo, se generan datos que contienen información asociada a la diferente contribución a la atenuación total de diferentes puntos a lo largo de una ruta, y como tal, se proporcionan datos tridimensionales.

40 El primer valor puede basarse en un promedio ponderado de una pluralidad de píxeles de la primera imagen y el segundo valor puede basarse en un promedio ponderado de una pluralidad de píxeles de la segunda imagen. Por ejemplo, una pluralidad de trayectorias de proyección desde la fuente de radiación electromagnética a una ubicación de píxeles del sensor puede pasar a través del vóxel, y los valores primero y segundo para el vóxel pueden basarse en una combinación de los valores de píxeles en la imagen respectiva para cada ubicación del píxel que tiene una
45 ruta de proyección que pasa a través del vóxel. De forma alternativa o adicional, los valores primero y segundo para los vóxeles pueden basarse en una pluralidad de valores de píxeles para ubicaciones de píxeles adyacentes a una ubicación de píxeles a través de las cuales pasa una ruta de proyección asociada al vóxel.

Los datos de adquisición pueden generarse basándose en la identificación de un marcador representado en la respectiva imagen de proyección bidimensional. Los datos de adquisición pueden generarse en función de una propiedad del marcador identificado representado en la imagen de proyección bidimensional respectiva seleccionada del grupo que consiste en: un tamaño del marcador, una orientación del marcador, una forma del marcador representado en la imagen de proyección y una posición del marcador. El marcador puede ser generado por un objeto de calibración dispuesto para ubicarse en una posición particular en relación con el objeto que incluye, por
50 ejemplo, rodamientos de bolas en lugares particulares dentro del objeto de calibración, que puede ser, por ejemplo, un aparato ortopédico. Los rodamientos de bolas (u otro objeto adecuado) atenúan fuertemente la radiación electromagnética y, por lo tanto, pueden identificarse fácilmente dentro de la primera y la segunda imagen y usarse para generar datos de adquisición utilizando métodos conocidos.

60 La primera y la segunda imágenes de proyección bidimensional pueden ser imágenes de radiografías o imágenes de fluorógrafos. Se apreciará que se pueden usar más de dos imágenes de proyección bidimensionales para generar la representación tridimensional del objeto. Por ejemplo, el método puede comprender además recibir como entrada una tercera imagen de proyección bidimensional y recibir como entrada los terceros datos de adquisición asociados a dicha tercera imagen de proyección bidimensional. La tercera imagen de proyección bidimensional puede combinarse con la primera y la segunda imagen de proyección bidimensional basadas en los datos de la tercera
65 adquisición asociados a la tercera imagen de proyección bidimensional para generar un volumen tridimensional de

datos que proporciona la representación del objeto, en el que cada vóxel tiene además un tercer valor basado en al menos un píxel de la tercera proyección bidimensional. Las imágenes de proyección bidimensionales adicionales se pueden combinar de una manera correspondiente.

5 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método implementado por ordenador para generar un modelo que modela una clase de objetos. El método comprende, para cada uno de una pluralidad de objetos de la clase de objetos, recibir como entrada una primera imagen bidimensional del objeto y la primera adquisición de datos asociados a la primera imagen bidimensional y recibir como datos de entrada que indican una pluralidad de puntos de interés dentro del objeto. La imagen bidimensional se procesa en función de los datos de adquisición para generar datos de imagen tridimensionales, Los datos de imágenes tridimensionales que incluyen datos basados en los datos que indican una pluralidad de puntos de interés y los datos de imágenes tridimensionales generados para cada uno de los objetos de la clase de objetos se procesan para generar el modelo.

10 Por lo tanto, el segundo aspecto de la invención generalmente comprende generar un modelo que modela datos de imágenes tridimensionales de la forma generada por el primer aspecto de la invención.

15 El método puede comprender, además, para cada uno de dicha pluralidad de objetos de la clase de objetos que reciben como entrada una segunda imagen bidimensional y una segunda adquisición de datos asociados a la segunda imagen bidimensional, en el que el procesamiento comprende combinar la primera y segunda imágenes bidimensionales basadas en los datos de adquisición asociados a cada una de la primera y la segunda imágenes de proyección bidimensionales.

20 El método puede comprender además recibir una imagen tridimensional del objeto, generar la primera imagen bidimensional de dicho objeto basándose en dicha imagen tridimensional recibida y dichos primeros datos de adquisición y generar la segunda imagen bidimensional del objeto basándose en la imagen tridimensional recibida y los segundos datos de adquisición.

25 El uso de imágenes tridimensionales para generar imágenes bidimensionales a partir de las cuales se pueden generar más datos de imágenes tridimensionales de esta manera permite proporcionar datos que indican una pluralidad de puntos de interés para que el modelo generado pueda identificar los puntos de interés en datos de imagen invisibles. Sin embargo, el modelo está capacitado para ajustarse a los datos de imagen en los que los puntos de interés no se pueden identificar fácilmente, pero que se puede obtener de forma fácil y económica. Por lo tanto, el modelo puede ajustarse con precisión a dichos datos de imagen para identificar características en los datos de imagen.

30 El conjunto de imágenes tridimensionales de la región de interés puede ser un conjunto de imágenes de tomografía computarizada o cualquier imagen tridimensional adecuada en la cual los puntos de interés puedan identificarse fácilmente y desde los cuales se puedan generar imágenes bidimensionales.

35 La generación de imágenes bidimensionales de la región de interés puede comprender determinar una pluralidad de rutas a través del objeto basándose en los datos de adquisición, la pluralidad de rutas que representan una ruta desde una fuente de radiación electromagnética a un sensor asociado de radiación electromagnética y el procesamiento de la imagen a generar, para cada una de la pluralidad de rutas, un valor de datos que proporciona una indicación de la atenuación total de la radiación electromagnética a lo largo de la ruta. Por ejemplo, donde las imágenes tridimensionales son imágenes de tomografía computada, las imágenes incluyen datos indicativos de la composición del objeto y estos datos pueden procesarse utilizando datos de adquisición teóricos para generar una imagen que corresponde a una imagen de rayos X generada usando una fuente y sensor predeterminados ubicados en puntos correspondientes a una fuente teórica y a un sensor indicado por los datos teóricos de adquisición. Es decir, las imágenes tridimensionales pueden procesarse de acuerdo con los datos de adquisición que indican una ubicación de una fuente teórica de radiación electromagnética y un sensor teórico de modo que los datos de imagen generados correspondan a los datos de imagen que se generarían al proyectar radiación electromagnética a través del objeto representado por los datos de imagen tridimensionales de la ubicación de la fuente teórica de radiación electromagnética a un sensor ubicado en la ubicación del sensor teórico.

40 Los datos de imagen tridimensionales pueden comprender una pluralidad de vóxeles, cada vóxel de los datos tridimensionales tiene un primer valor basado en al menos un píxel de la primera imagen de proyección bidimensional y un segundo valor basado en al menos un píxel de la segunda imagen bidimensional. Los primeros valores pueden basarse en un valor de al menos un píxel de la primera imagen bidimensional determinada basándose en una ruta desde la fuente teórica de radiación electromagnética hasta al menos una ubicación de píxeles del sensor teórico y los segundos valores pueden basarse a un valor de al menos un píxel de la segunda imagen bidimensional determinada en función de una ruta desde la fuente teórica de la radiación electromagnética con al menos una ubicación de píxel del sensor teórico. Los primeros y segundos valores pueden ser determinados, por ejemplo, basado en un valor promedio para cada ubicación de píxel del sensor respectivo para el cual una ruta pasa a través del volumen representado por el vóxel.

45 El segundo aspecto de la invención puede usar datos de imagen generados de acuerdo con el primer aspecto de la

invención. El primer y segundo aspecto de la invención pueden por lo tanto combinarse de cualquier manera adecuada. Por ejemplo, una representación tridimensional de un objeto generado de acuerdo con el primer aspecto de la invención puede procesarse para que se ajuste a un modelo generado de acuerdo con el segundo aspecto de la invención a la representación tridimensional del objeto y las características en la representación tridimensional del objeto puede identificarse en función del ajuste del modelo.

Los aspectos de la invención se pueden implementar en cualquier forma conveniente. Por ejemplo, pueden proporcionarse programas informáticos para llevar a cabo los métodos descritos en este documento. Dichos programas de ordenador pueden llevarse en medios apropiados legibles por ordenador, término que incluye dispositivos de almacenamiento tangible apropiados (por ejemplo, discos). Los aspectos de la invención también pueden implementarse por medio de computadoras debidamente programadas.

Ahora se describirán realizaciones de la presente invención, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una ilustración esquemática de una disposición de imagen de proyección conocida;

La figura 2 es una ilustración esquemática de una disposición de formación de imágenes de proyección adecuada para llevar a cabo la invención;

La figura 2A es una ilustración esquemática que muestra un ordenador de la disposición de imágenes de la figura 2;

La figura 3 es un diagrama de flujo que muestra el procesamiento utilizado para generar datos de imagen en una realización de la invención;

Las figuras 4 y 5 ilustran la combinación de valores de imagen para generar datos de imagen;

La figura 6 ilustra la propagación de valores de imagen a través de un volumen;

La figura 7 es una ilustración esquemática de un sistema para el análisis de imágenes según una realización de la presente invención; y

La figura 8 es un diagrama de flujo que muestra el procesamiento realizado para analizar una imagen en el sistema de la figura 7.

Con referencia a la figura 1, se muestra una disposición de imágenes de proyección para obtener imágenes de una región anatómica de interés 1 para la cual es deseable generar una imagen que muestre características de la región anatómica de interés 1. La región anatómica de interés 1 puede ser, por ejemplo, una articulación de la rodilla de un paciente que requiere cirugía, y puede ser conveniente determinar las características de la articulación de la rodilla antes de realizar la cirugía. Usando técnicas de proyección de imagen conocidas, una fuente de radiación electromagnética 2 está dispuesta para proyectar radiación electromagnética, como rayos X, a través de la región anatómica de interés 1 hacia un sensor 3. Cada punto a lo largo de una ruta de la radiación electromagnética desde la fuente 2 al sensor 3, la ruta que pasa por la región anatómica de interés 1, absorbe una porción de la radiación electromagnética proyectada a través de ella en función de la densidad y la composición del punto. La radiación detectada por el sensor 3 se puede utilizar para generar una imagen 4 que representa la densidad y la composición de la región anatómica de interés 1 a lo largo de la ruta de la radiación electromagnética desde la fuente hasta el sensor.

La figura 2 muestra un sistema de imágenes de proyección adecuado para obtener imágenes de la misma región anatómica de interés 1 de acuerdo con una realización de la invención. El sistema de proyección de imágenes de la figura 2 tiene una primera fuente de radiación electromagnética 5 dispuesta para proyectar radiación electromagnética a través de la región anatómica de interés 1 a un primer sensor 6 y una segunda fuente de radiación electromagnética 7 dispuesta para proyectar radiación electromagnética a través de la región anatómica de interés 1 a un sensor 8. Las fuentes primera y segunda de radiación electromagnética 5, 7 y los sensores primero y segundo 6, 8 están dispuestos de tal manera que la radiación electromagnética se proyecta a través de la región anatómica de interés 1 desde dos orientaciones diferentes, de manera que la radiación detectada por el primer y segundo sensores 6, 8 pasa a través de la región anatómica de interés 1 a lo largo de diferentes rutas. Los datos de cada uno de los sensores 6, 8 se proporcionan a un ordenador 9 y se procesan como se describe a continuación.

La figura 2A muestra el ordenador 9 con más detalle. Se puede ver que el ordenador comprende una CPU 9a que está configurada para leer y ejecutar instrucciones almacenadas en una memoria volátil 9b que toma la forma de una memoria de acceso aleatorio. La memoria volátil 9b almacena instrucciones para su ejecución por la CPU 9a y los datos utilizados por esas instrucciones. Por ejemplo, durante su uso, Los datos generados por los sensores 6, 8 de la figura 2 pueden almacenarse en la memoria volátil 9b.

El ordenador 9 comprende además un almacenamiento no volátil en forma de una unidad de disco duro 9c. Los datos generados por los sensores 6, 8 pueden almacenarse en la unidad de disco duro 9c. El ordenador 9 comprende además una interfaz de E/S 9d a la que se conectan los dispositivos periféricos utilizados en conexión con el ordenador 9. Más particularmente, una pantalla 9e está configurada para mostrar la salida del ordenador 9. La pantalla 9e puede, por ejemplo, Mostrar una representación de los datos generados por los sensores 6, 8. Los dispositivos de entrada también están conectados a la interfaz de E/S 9d. Dichos dispositivos de entrada incluyen un teclado 9f y un ratón 9g que permiten la interacción del usuario con el ordenador 9. Una interfaz de red 9h permite que el ordenador 9 esté conectado a una red informática apropiada para recibir y transmitir datos desde y hacia otros dispositivos informáticos. La CPU 9a, la memoria volátil 9b, la unidad de disco duro 9c, la interfaz de E/S 9d, y la interfaz de red 9h, están conectados entre sí por un bus 9i.

La figura 3 muestra el procesamiento para generar datos de imagen de acuerdo con una realización de la invención. En la etapa S1 se reciben los primeros datos de imagen y en la etapa S2 se reciben los primeros datos de adquisición. Los primeros datos de imagen son datos generados por el primer sensor 6 de la figura 2 y los primeros datos de adquisición indican las posiciones relativas en el espacio tridimensional de la fuente de radiación electromagnética 5 asociada al sensor 6 y al sensor 6. Como tal, los primeros datos de adquisición recibidos en la etapa S2 se pueden usar para determinar la ruta de proyección de la radiación electromagnética desde la fuente de radiación electromagnética 5 a través de la región anatómica de interés 1 al sensor 6 para cada ubicación de detección del sensor 6. En la etapa S3 se reciben los datos de la segunda imagen y en la etapa S4 se reciben los datos de adquisición. Los segundos datos de imagen y los segundos datos de adquisición generalmente corresponden a los primeros datos de imagen y los primeros datos de adquisición de imágenes respectivamente, pero son datos asociados a la segunda fuente de radiación electromagnética 6 y sensor 8.

Los datos de adquisición pueden generarse basándose en una característica que puede identificarse en la primera y la segunda imagen. Por ejemplo, la región de la imagen puede incluir uno o más marcadores que pueden identificarse en la primera y segunda imágenes y que proporcionan una indicación de la ubicación y orientación de la fuente y el sensor que se usó para generar los datos de la imagen en particular. Los marcadores pueden tomar cualquier forma conveniente, como un objeto de calibración dispuesto para ubicarse en una posición particular en relación con la región anatómica de interés que incluye rodamientos de bolas en ubicaciones particulares dentro del objeto de calibración. Los rodamientos de bolas atenúan fuertemente la radiación electromagnética y, por lo tanto, pueden identificarse fácilmente dentro de la primera y la segunda imagen.

En la etapa S5, los datos de imagen primero y segundo recibidos en las etapas S1 y S3 se combinan basándose en los datos de adquisición primero y segundo recibidos en las etapas S2 y S4 para generar valores de datos para cada vóxel de un volumen que representa la región anatómica de interés. Como se describe en detalle a continuación, los datos de la primera y la segunda imagen se combinan de manera que cada vóxel está asociado a un par de valores, uno de los pares de valores se basa en los primeros datos de imagen y el otro del par de valores se basa en los datos de la segunda imagen.

Tal como se ha indicado en lo que antecede, los datos de imagen recibidos en las etapas S1 y S3 son datos generados a partir de técnicas de imagenología de proyección y, como tal, cada valor de píxel de los datos de imagen primero y segundo representa la atenuación total de la radiación electromagnética en una ruta de proyección que se origina desde la fuente de radiación electromagnética 5, 7 y que termina en la ubicación del sensor que determinan el valor de píxel. Como tal, cada valor de píxel contiene información de atenuación basada en la atenuación proporcionada por cada punto a lo largo de la ruta. Aunque algunos puntos a lo largo de la ruta atenúan la radiación electromagnética más que otros puntos a lo largo del ruta, cada imagen proporciona un solo valor para cada ruta. Por ejemplo, un punto que se encuentra en el hueso de una articulación de la rodilla de un paciente atenuará la señal una gran cantidad, mientras que un punto que se encuentra en el espacio que solo contiene aire atenuará la señal en una cantidad despreciable, pero no es posible determinar la atenuación diferente de los puntos a lo largo de la ruta en función de un valor de píxel particular. Al combinar los datos de imagen para los puntos generados a lo largo de diferentes rutas en función de los datos de adquisición asociados, sin embargo, se generan datos que contienen información asociada a la diferente contribución a la atenuación total de diferentes puntos a lo largo de una ruta, y como tal, se proporcionan datos tridimensionales.

La combinación de los datos de la primera y la segunda imagen se ilustra en las figuras 4 y 5. La figura 4 muestra un volumen 10 que representa la región anatómica de interés. El volumen 10 comprende una pluralidad de vóxeles 11, un pequeño número de los cuales se muestran en la figura 4 y con más detalle en la figura 5. Cada vóxel 11 está asociado a un par de valores de datos, uno de los valores de datos se basa en un valor de píxeles de los primeros datos de imagen y el otro de los valores de datos se basa en un valor de píxeles de los datos de segunda imagen. El valor de píxel particular de los datos de imagen respectivos para cada vóxel se determina en función de la ruta desde la fuente de radiación electromagnética 5, 7 al sensor 6, 8. Una primera ruta 12 que se origina desde la fuente 5 a la ubicación del sensor 13 y una segunda ruta 14 que se origina desde la fuente 7 a la ubicación 15 del sensor se muestran en la figura 4 y cada ruta 12, 14 genera un valor único respectivo en las ubicaciones 13, 15 del sensor que proporciona valores a algunos de los vóxeles 11.

Cada vóxel 16, 17, 18 que se encuentra en la ruta 12 toma como primer valor el valor de la ubicación del sensor 13

y cada vóxtel 18, 19, 20 que se encuentra en la ruta 14 toma como segundo valor el valor de la ubicación del sensor 15. Cada uno de los vóxteles 16, 17 toma como segundo valor un valor basado en una ubicación del sensor diferente a la ubicación del sensor 13 y cada uno de los vóxteles 19, 20 toma como primer valor un valor basado en una ubicación del sensor diferente a la ubicación del sensor 15. De este modo, cada vóxtel toma un par de valores que en combinación proporcionan una indicación de la atenuación de una parte correspondiente de la región anatómica de interés, pero eso se basa en la atenuación total a lo largo de dos rutas que se cruzan.

En algunas realizaciones, algunos o todos los vóxteles pueden estar en una pluralidad de rutas. Es decir, una pluralidad de rutas que se originan desde una fuente a una pluralidad de ubicaciones de sensores pueden pasar a través de algunos o todos los vóxteles. Cuando un vóxtel se encuentra en una pluralidad de rutas desde una fuente a ubicaciones del sensor, el vóxtel puede tomar un valor basado en una combinación de valores de esas ubicaciones del sensor. Por ejemplo, los valores de las ubicaciones de los sensores en la ruta se pueden combinar utilizando un promedio ponderado. Alternativamente, un vóxtel puede estar en una ruta única a la ubicación del sensor y los valores de la ubicación del sensor y las ubicaciones del sensor adyacentes a esa ubicación del sensor pueden promediarse para proporcionar un valor para el vóxtel.

La figura 6 ilustra cómo los valores de píxeles de un sensor, como los sensores 6 y 8, se propagan a través de un volumen para proporcionar valores para vóxteles. La figura 6 muestra un volumen tridimensional que tiene un lado 25 que tiene valores correspondientes a una imagen bidimensional generada basándose en un sensor. La imagen bidimensional se genera al pasar la radiación electromagnética a través de una región anatómica de interés generalmente en la dirección 26, y como tales valores del lado 25 se propagan en la dirección 26 para formar un volumen en el que cada corte a través del volumen en el plano del lado 25 tiene valores idénticos. Los datos de imagen generados en la etapa S5 se generan combinando los valores de datos de dos de tales volúmenes, con la combinación determinada en función de los datos de adquisición que permiten determinar los puntos correspondientes de modo que cada vóxtel tenga valores indicativos de la atenuación de un punto correspondiente en más de una dirección.

Los datos de imagen generados en la etapa S5 de la figura 3 se procesan para identificar características de la región anatómica de interés. Con referencia a la figura 7, un ordenador 30, que puede ser el mismo ordenador que el ordenador 9 descrito anteriormente o un ordenador de la misma forma que el ordenador 9, está dispuesta para recibir los datos de imagen 31 generados de la manera descrita anteriormente de una región anatómica de interés y para recibir un modelo 32. El modelo 32 se ajusta a los datos de imagen 31 para generar una parametrización del modelo 33. El modelo 32 es un modelo estadístico tal como un modelo de apariencia activa o modelo de forma activa, que se ha creado basándose en un conjunto de imágenes de formación de regiones anatómicas de interés del mismo tipo que la región anatómica de interés que es el sujeto de los datos de imagen 31, y que se generan de manera correspondiente a los datos de imagen 31, como se describe abajo. El modelo 32 es un modelo estadístico de la variación dentro de las imágenes de entrenamiento y se genera al procesar el conjunto de imágenes de entrenamiento para generar un modelo de media y un rango de variación del modelo de media del conjunto de entrenamiento. La parametrización 33 generada por el ordenador 30 indica características de la región anatómica de interés representada por la imagen 31 y, por lo tanto, puede usarse para identificar características de la región anatómica de interés representada.

El procesamiento descrito a continuación hace referencia a un modelo M, construido sobre la base de un conjunto de entrenamiento de datos de imagen. El modelo M es un modelo estadístico basado en un conjunto de entrenamiento de datos de imagen y es un modelo de características de interés en los datos de imagen, como se establece anteriormente. Se apreciará que la generación y el ajuste del modelo M se pueden llevar a cabo de cualquier manera conveniente. Por ejemplo, El modelo M se puede generar usando una técnica de parametrización descrita en la patente de Estados Unidos número 7584080.

Para que el modelo M identifique puntos de interés, estos puntos de interés están indicados en el conjunto de imágenes de entrenamiento. El conjunto de puntos de interés se selecciona en función de las características del objeto a modelar. Por ejemplo, si el objeto a modelar es una articulación de rodilla, los puntos de interés se pueden seleccionar según las características anatómicas de la articulación de la rodilla.

Para que el modelo pueda ajustarse con precisión a los datos de imagen como se describe anteriormente, es deseable que el conjunto de entrenamiento de datos de imagen se corresponda con los datos de imagen a los que se ajustará el modelo lo más cerca posible. Como tal, el modelo puede ser entrenado en datos de imágenes tridimensionales generados a partir de imágenes de radiografías y datos de adquisición como se describe anteriormente, junto con un conjunto de puntos de interés dentro de los datos de imágenes tridimensionales. Sin embargo, marcar manualmente un conjunto de entrenamiento de datos de imagen del formulario descrito anteriormente es problemático porque, mientras que los datos de imagen representan datos de imagen tridimensionales, los datos de la imagen no son fácilmente interpretables por un humano para indicar los puntos de interés. Los puntos de interés pueden por lo tanto, por ejemplo, ser indicados en una imagen de CT de la misma región anatómica de interés que el sujeto de las imágenes de radiografía a partir de la cual se generan los datos de imágenes tridimensionales, y los puntos de interés pueden ubicarse en los datos de imágenes tridimensionales utilizando métodos de registro. Por ejemplo, los puntos de interés se pueden ubicar en los datos de imágenes

tridimensionales ajustando manualmente los datos de imágenes tridimensionales hasta que corresponda una proyección bidimensional de los datos de imágenes tridimensionales en una proyección bidimensional de la imagen de CT correspondiente.

- 5 Alternativamente, los datos de imagen de entrenamiento que son de una forma correspondiente a los datos de imagen a los que se ajustará el modelo M y que son adecuados para la generación del modelo M que tiene puntos de interés predeterminados marcados se pueden generar de la manera que se describirá ahora.

10 Con referencia a la figura 8, se muestra el procesamiento para generar una imagen de entrenamiento. En la etapa S10 se reciben datos de imágenes tridimensionales. Los datos de imagen tridimensionales pueden ser, por ejemplo, datos de imagen de tomografía computarizada (CT) de rayos X que proporcionan una representación tridimensional de una región anatómica de interés en la que un experto humano puede identificar características anatómicas. En la etapa S11, se reciben datos que indican puntos de interés en los datos de imagen tridimensionales. Los puntos de interés son proporcionados por un experto humano que marca manualmente los datos de imágenes tridimensionales y se seleccionan en función de las características del objeto a modelar, como se indica arriba. En la etapa S12, se generan los primeros datos de imagen a partir de la imagen recibida en la etapa S10 y en la etapa S13 se generan datos de la segunda imagen. La generación de los datos de la primera y la segunda imagen se describe con más detalle a continuación.

20 Cada uno de los datos de imagen primera y segunda se genera al procesar los datos de imagen tridimensionales recibidos en la etapa S10 para generar una representación bidimensional de los datos de imagen tridimensionales basados en datos de adquisición y cada representación bidimensional se genera de tal manera que tiene la misma forma que una imagen de proyección generada como se describió anteriormente con referencia a la figura 2.

25 Es decir, los datos de imagen tridimensionales recibidos en la etapa S10 proporcionan una indicación de la densidad y atenuación de cada punto en el volumen representado por los datos de imagen tridimensional. Los datos de adquisición que indican las posiciones relativas teóricas en el espacio tridimensional de una fuente teórica de radiación electromagnética y un sensor teórico dispuesto para detectar la radiación electromagnética pueden procesarse para generar recorridos teóricos a través del volumen representado por los datos de imagen tridimensionales. Dado que se conoce la atenuación de cada punto en el volumen representado por los datos de imagen tridimensionales, la atenuación total a lo largo de cada ruta teórica se puede determinar y puede ser generada una imagen que corresponde a una imagen bidimensional generada proyectando radiación electromagnética a través de la región anatómica de interés representada en los datos de imagen tridimensionales desde la fuente teórica al sensor teórico.

35 En la etapa S14, los datos de imagen primera y segunda generados en las etapas S12 y S13 se procesan basándose en los datos de adquisición correspondientes utilizados para generar las imágenes de la manera descrita anteriormente con referencia a la figura 3 para generar datos de imagen tridimensionales adicionales. Los datos de imagen tridimensionales adicionales se generan en el mismo marco de coordenadas tridimensionales que los datos de imagen tridimensionales recibidos en la etapa S10 y la ubicación de los puntos de interés recibidos en la etapa S11, por lo tanto, indica la ubicación de los puntos de interés en los datos de imagen tridimensionales generados.

45 Como los datos de imagen tridimensionales adicionales contienen datos que indican los puntos de interés en los datos de imagen tridimensionales recibidos en la etapa S10, por lo tanto, es adecuado para entrenar a un modelo para que se ajuste a los datos de imagen como se describió anteriormente. Además, ya que los datos de imagen tridimensionales adicionales se generan de tal manera que corresponden a los datos de imagen generados como se describe anteriormente a partir de datos de imagen que no se han visto previamente, un modelo entrenado en los datos de imagen tridimensionales adicionales puede ajustarse con precisión a los datos de imagen generados como se describió anteriormente con referencia a la figura 3.

50 Se describió anteriormente que dos imágenes se combinan en la etapa S5 de la figura 3 basándose en los datos de adquisición respectivos para generar valores de datos para cada vóxel de un volumen que representa una región anatómica de interés. Sin embargo, se apreciará que los valores de datos para cada vóxel de un volumen que representa una región anatómica de interés se pueden generar a partir de una imagen única basada en los datos de adquisición. En particular, cada vóxel en el volumen que se encuentra en una ruta como lo indican los datos de adquisición puede tomar un valor basado en un píxel de la imagen de la manera descrita anteriormente con referencia a la figura 6. De esta manera, se puede generar una representación tridimensional de la región anatómica de interés a partir de una única imagen bidimensional y esa representación tridimensional se puede procesar utilizando el sistema de la figura 7 para generar una parametrización que indique las características de la región anatómica de interés representada por la única imagen.

65 Cuando el sistema de la figura 7 genera la representación tridimensional de una región anatómica de interés a partir de una imagen bidimensional única, el modelo 32 de la figura 7 es un modelo entrenado en representaciones tridimensionales generadas de la misma manera, e incluye una indicación de las características de la región anatómica de interés en tres dimensiones en lugar de las características visibles en la proyección bidimensional. Como tal, todavía es posible identificar características que no pueden identificarse visualmente en la imagen

bidimensional utilizando el ajuste de modelo.

El modelo puede ser, por ejemplo, un modelo de forma o un modelo de apariencia, que se describen a continuación. Se apreciará, sin embargo, que se pueden utilizar otros modelos como por ejemplo, plantillas deformables o atlas deformables que toman la forma de un ejemplo típico o promedio que se permite deformar dentro de un conjunto de restricciones. Una revisión de los modelos deformables se da en Tim McInerney y Demetri Terzopoulos "Modelos deformables en el análisis de imágenes médicas: una encuesta", *Análisis de imágenes médicas*, 1 (2): 91-108, 1996 cuyos contenidos se incorporan aquí como referencia.

La siguiente descripción se basa en datos de imagen bidimensionales en los que cada ubicación de píxel toma un valor único y en la que se modela la forma y el aspecto, sin embargo, se apreciará que los principios pueden aplicarse a datos de imágenes tridimensionales en los que cada ubicación de vóxel toma una tupla de valores. Aunque los datos de imagen utilizados para entrenar el modelo en la presente invención generalmente no son de una forma que un experto humano pueda interpretar fácilmente, Los modelos del tipo que se describe a continuación se basan en conjuntos de números que representan imágenes en los que los puntos de interés ya están identificados y, por lo tanto, la forma en que los datos son difíciles de interpretar por un ser humano no es problemática.

En el caso de que el modelo sea un modelo de forma, el conjunto de puntos de interés asociados a cada imagen de entrenamiento, generado de la manera descrita anteriormente, se representa mediante un vector de forma que comprende una concatenación de las coordenadas de los puntos seleccionados. Para datos de imagen bidimensionales en los que cada píxel tiene un solo valor, el vector de forma x para datos de imagen de entrenamiento particulares toma la forma:

$$X = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n) \tag{1}$$

donde n es el número de puntos de interés en la imagen.

Un vector de forma media \bar{x} se puede calcular de acuerdo a la ecuación (2):

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \tag{2}$$

Donde N es el número de imágenes de entrenamiento; y X_i es un vector que representa una imagen de entrenamiento i .

Una pluralidad de vectores de forma, una para cada imagen de entrenamiento puede usarse para generar una matriz X , en el que cada fila representa un vector de forma.

Cada una de las formas representadas por los puntos seleccionados en una imagen de entrenamiento respectiva se traduce, girado y escalado de modo que sus centroides coincidan y se minimice la suma de las diferencias cuadradas entre los puntos de cada imagen y los de la forma media.

Se puede crear una matriz de covarianza S a partir de las formas alineadas, calculando primero el vector de forma promedio mediante la ecuación (2). Para cada imagen en el conjunto de entrenamiento, la desviación de la forma media se puede calcular a partir de la ecuación (3):

$$dx_i = x_i - \bar{x} \tag{3}$$

La matriz de covarianza S se calcula utilizando la ecuación (4):

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N dx_i dx_i^T \tag{4}$$

Se pueden determinar los vectores propios de la matriz S y se puede crear una matriz P de los vectores propios más significativos.

De este modo, cualquier forma puede representarse de acuerdo con el modelo de forma dado por la ecuación (5):

$$x = \bar{x} + P_s b_s \tag{5}$$

donde x es un vector que representa la forma; \bar{x} es un vector de forma media generado a partir de vectores de forma de imágenes en el conjunto de entrenamiento (según la ecuación (2)); P_s es la matriz de vectores propios descritos anteriormente; y b_s es un vector de ponderaciones del elemento t que se aplicará a los vectores propios de la matriz P_s para generar el vector x para la forma.

Los componentes de \mathbf{b}_s ($b_i, i = 1 \dots t$) se conocen como parámetros de forma. Los vectores propios P_i se ordenan de acuerdo con sus valores propios λ_i , que describen la varianza observada sobre las formas de entrenamiento asociadas a cada vector propio. Es decir, la λ_i representa las proporciones de varianza de la forma media que se describe por cada uno de los vectores propios. Seleccionando un valor de t ($\leq N$), se puede hacer que el modelo represente una proporción elegida de la varianza total observada en las formas de entrenamiento.

Cada vector propio incluido en la matriz \mathbf{P}_s representa un modo de variación de la forma modelada. Los valores variables de los elementos del vector \mathbf{b}_s permiten la generación de formas dentro del rango observado dentro de las imágenes de las imágenes de entrenamiento. Es decir, la variación de un elemento b_1 del vector \mathbf{b}_s afectará una característica de la forma modelada, mientras que la variación de un segundo elemento b_2 afectará una característica diferente de la forma modelada.

Un modelo de apariencia es una extensión del modelo de forma descrito anteriormente. Para construir un modelo estadístico de la apariencia de nivel de gris después de traducir los puntos seleccionados en una imagen de entrenamiento respectiva, rotado y escalado para que coincidan sus centroides y se minimice la suma de las diferencias cuadradas entre los puntos de cada imagen y los de la forma media, como se describió anteriormente, la información de nivel de gris g_{im} se muestrea de la imagen en la región cubierta por la forma media \mathbf{g} , después de normalizar la imagen para minimizar el efecto de la variación de iluminación global. Aplicando el método descrito anteriormente para determinar el modelo de forma (5) a los datos de nivel de gris, se obtiene un modelo de nivel de gris, como se muestra en la ecuación (6):

$$\mathbf{g} = \bar{\mathbf{g}} + \mathbf{P}_g \mathbf{b}_g \tag{6}$$

dónde:
 $\bar{\mathbf{g}}$ es el vector de nivel de gris medio normalizado;
 \mathbf{P}_g es una matriz de vectores propios; y
 \mathbf{b}_g es un conjunto de parámetros de nivel de gris.

Los valores variables de los elementos de los vectores \mathbf{b}_s (en la ecuación (5)) y \mathbf{b}_g (en la ecuación (6)) permiten la generación de formas e imágenes de nivel de gris dentro del rango observado dentro de las imágenes de las imágenes de entrenamiento.

Para que se capture la relación entre la forma y la variación del nivel de gris en las imágenes de entrenamiento, Se genera un vector \mathbf{b} para cada imagen de entrenamiento de acuerdo con la ecuación (7):

$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} \mathbf{W}_s \mathbf{b}_s \\ \mathbf{b}_g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{W}_s \mathbf{P}_s^T (\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}}) \\ \mathbf{P}_g^T (\mathbf{g} - \bar{\mathbf{g}}) \end{pmatrix} \tag{7}$$

dónde:
 \mathbf{W}_s es una matriz diagonal de pesos asociada a cada parámetro de forma en el vector \mathbf{b}_s .

La matriz \mathbf{W}_s ajusta los valores de \mathbf{b}_s para permitir la diferencia en unidades entre los modelos de forma y nivel de gris.

Un modelo adicional que se muestra en la ecuación (8) se genera a partir del conjunto de vectores concatenados \mathbf{b} , utilizando el método descrito anteriormente para generar los modelos (5) y (6).

$$\mathbf{b} = \mathbf{Q} \mathbf{c} \tag{8}$$

dónde:
 \mathbf{Q} es una matriz de vectores propios; y
 \mathbf{c} es un vector de parámetros de apariencia.

Dado que el modelo de la ecuación (8) es lineal, la forma y los niveles de gris se pueden expresar directamente como funciones de \mathbf{c} de acuerdo con la ecuación (9).

$$\mathbf{x} = \bar{\mathbf{x}} + \mathbf{P}_s \mathbf{W}_s \mathbf{Q}_s \mathbf{c}, \mathbf{g} = \bar{\mathbf{g}} + \mathbf{P}_g \mathbf{Q}_g \mathbf{c} \tag{9}$$

donde la matriz de vectores propios $\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} \mathbf{Q}_s \\ \mathbf{Q}_g \end{pmatrix}$.

Se puede sintetizar una imagen de ejemplo para una \mathbf{c} dada al generar la imagen de nivel de gris sin forma a partir del vector \mathbf{g} y deformarla usando los puntos de control descritos por \mathbf{x} .

En el caso de que los datos sean del formulario descrito anteriormente, La variación de los datos de la forma (10) se modela en lugar de la variación de nivel de gris.

$$I = (([x_{11}, y_{11}], [x_{12}, y_{12}]), ([x_{21}, y_{21}], [x_{22}, y_{22}]), \dots, ([x_{n1}, y_{n1}], [x_{n2}, y_{n2}])) \quad (10)$$

5
dónde:

[x_{n1}, y_{n1}] es un valor de píxel en los datos de la primera imagen que se determina que está asociado a vóxel n que tiene coordenadas en el espacio tridimensional (a, b, c) basándose en los datos de adquisición;
10 [x_{n2}, y_{n2}] es un valor de píxel en el segundo dato de imagen determinado como asociado a vóxel n basado en los datos de adquisición; y
([x_{n1}, y_{n1}], [x_{n2}, y_{n2}]) es una tupla de valores de píxeles para vóxel n.

15 En términos generales, el objetivo del ajuste del modelo es determinar el conjunto de parámetros c que mejor se ajustan al modelo a una imagen invisible. Una forma de hacerlo es mediante el uso de modelos de apariencia activa que se describen a continuación.

20 Un modelo de apariencia activa utiliza la diferencia entre una imagen reconstruida generada por el modelo y la imagen objetivo subyacente I , para conducir iterativamente los parámetros del modelo hacia mejores valores. En una etapa previa de aprendizaje, desplazamientos conocidos al vector de parámetros de apariencia, δc , se aplican a instancias de modelo conocidas y la diferencia resultante entre modelo e imagen, $\delta I = I_i - I_m$, es medido, donde I_i es un vector de valores de nivel de gris en la imagen I y I_m es un vector de valores de nivel de gris para los parámetros del modelo actual c . La regresión lineal multivariable se aplica a un gran conjunto de tales desplazamientos de entrenamiento y una relación lineal aproximada, $\delta c = A \delta I$, está establecido.

25 Para identificar la mejor coincidencia entre el modelo y la imagen I la magnitud del vector de diferencia $\Delta = |\delta I|^2$ se minimiza utilizando la relación lineal aprendida durante la etapa de aprendizaje para predecir un ajuste a los parámetros del modelo c que mejora el ajuste del modelo. Los parámetros del modelo c se ajustan repetidamente hasta que no se realiza ninguna mejora en Δ . Los modelos de apariencia activa se describen en detalle en T.F. Cootes, C.J. Edwards, C.J. Taylor "Modelos de apariencia activa", Transacciones IEEE en Análisis de Patrones e Inteligencia de Máquinas, 2001, Volumen 23, Publicación 6.

30 El modelo puede ajustarse a una imagen invisible de cualquier manera conveniente, por ejemplo, ajustando una pluralidad de modelos a la imagen que en conjunto modelan una región de interés de la imagen, como se describe en la Publicación de Patente de los Estados Unidos n.º US2011/0194739 A1.

35 Se apreciará que, si bien la descripción anterior indica que los datos de la primera y la segunda imagen se combinan para generar datos de la imagen, se pueden combinar más de dos datos de imagen para proporcionar un volumen en el que los vóxeles tengan valores de datos basados en cada uno de los datos de imagen combinados. Además, mientras que arriba se indica que se usan dos fuentes de radiación electromagnética y dos sensores, se apreciará que se puede usar una sola fuente de radiación electromagnética y un sensor para proporcionar diferentes imágenes como se describe. Por ejemplo, la fuente y el sensor pueden moverse en relación con la región anatómica de interés o, alternativamente, la región anatómica de interés puede moverse en relación con la fuente y el sensor para generar una imagen diferente, tal como se describe.

45 El sensor puede adoptar cualquier forma conveniente, como una película o un sensor electrónico.

50 Aunque se han descrito anteriormente realizaciones específicas de la invención, se apreciará que pueden realizarse diversas modificaciones a las realizaciones descritas sin apartarse del alcance de la presente invención, que se define por las reivindicaciones. Es decir, las realizaciones descritas deben considerarse, en todos los aspectos, a modo de ejemplo y no limitativas. En particular, donde una forma particular ha sido descrita para un procesamiento particular, se apreciará que tal procesamiento puede llevarse a cabo en cualquier forma adecuada dispuesta para proporcionar datos de salida adecuados.

REIVINDICACIONES

1. Un método implementado por ordenador para generar una representación tridimensional de un objeto, comprendiendo el método:

5 recibir (S1) como entrada una primera imagen de proyección bidimensional, en donde dicha primera imagen de proyección bidimensional se genera proyectando radiación electromagnética a través de dicho objeto desde una primera fuente de radiación electromagnética a un primer sensor de radiación electromagnética;
 10 recibir (S2) como datos de adquisición de entrada asociados a dicha primera imagen de proyección bidimensional, en donde dichos datos de adquisición para la primera imagen de proyección bidimensional proporcionan una indicación de las rutas de proyección desde una fuente respectiva de radiación electromagnética a un sensor respectivo de radiación electromagnética;
 15 procesar dicha primera imagen de proyección bidimensional basada en dichos datos de adquisición para generar un volumen tridimensional de datos que proporciona dicha representación de dicho objeto, comprendiendo el volumen de datos una pluralidad de vóxeles, teniendo cada vóxel un valor generado a partir de una única imagen de proyección bidimensional, basándose dicho valor en al menos un píxel de dicha imagen de proyección bidimensional única.

2. Un método implementado por ordenador de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:

20 recibir (32) como entrada un modelo que modela una región de interés;
 ajustar (33) dicho modelo a dicha representación tridimensional de dicho objeto; e identificar características en la representación tridimensional de dicho objeto basado en dicho ajuste de dicho modelo,
 25 en donde dicho ajuste comprende opcionalmente aplicar una técnica de ajuste seleccionada del grupo que consiste en: registro rígido, registro no rígido, modelado de formas activas y modelos de apariencia activa.

3. Un método implementado por ordenador para generar una representación tridimensional de un objeto, comprendiendo el método:

30 recibir (S1) como entrada una primera imagen de proyección bidimensional, en donde dicha primera imagen de proyección se genera proyectando radiación electromagnética a través de dicho objeto desde una primera fuente de radiación electromagnética hasta un primer sensor de radiación electromagnética;
 recibir (S2) como datos de adquisición de entrada asociados a dicha primera imagen de proyección bidimensional, en donde dichos datos de adquisición para la primera imagen de proyección bidimensional
 35 proporcionan una indicación de las rutas de proyección desde una fuente respectiva de radiación electromagnética a un sensor respectivo de radiación electromagnética;
 recibir (S3) como entrada una segunda imagen de proyección bidimensional, en donde dicha segunda imagen de proyección se genera proyectando radiación electromagnética a través de dicho objeto desde una segunda fuente de radiación electromagnética a un segundo sensor de radiación electromagnética;
 40 recibir (S4) como datos de adquisición de entrada asociados a dicha segunda imagen de proyección bidimensional; en donde dichos datos de adquisición para la segunda imagen de proyección bidimensional proporcionan una indicación de las rutas de proyección desde una fuente respectiva de radiación electromagnética a un sensor respectivo de radiación electromagnética; y
 45 combinar (S5) dichas primeras y segundas imágenes de proyección bidimensionales basadas en dichos datos de adquisición asociados a cada una de dichas primera y segunda imágenes de proyección bidimensionales para generar un volumen tridimensional de datos que proporciona dicha representación de dicho objeto, el volumen de datos que comprende una pluralidad de vóxeles, donde cada vóxel tiene un primer valor generado a partir de una imagen de proyección bidimensional única basada en al menos un píxel de la primera imagen de proyección bidimensional y un segundo valor generado a partir de una imagen de proyección bidimensional única basada en al menos un píxel de la segunda imagen bidimensional.

4. Un método implementado por ordenador de acuerdo con la reivindicación 3, en el que, para cada vóxel de dicho volumen tridimensional de datos, dicho primer valor se basa en un de al menos un valor que se determina en función de una ruta de proyección desde dicha segunda fuente de radiación electromagnética a una ubicación de
 55 píxeles del segundo sensor,
 en el que dicho primer valor se basa opcionalmente en un promedio ponderado de una pluralidad de píxeles de dicha primera imagen y dicho segundo valor se basa opcionalmente en un promedio ponderado de una pluralidad de píxeles de dicha segunda imagen.

5. Un método implementado en ordenador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde dichos datos de adquisición se generan basándose en la identificación de un marcador representado en la imagen de proyección bidimensional respectiva, en donde dichos datos de adquisición se generan opcionalmente en función de una propiedad del marcador identificado representado en la imagen de proyección bidimensional respectiva seleccionada del grupo que consiste en: un tamaño del marcador, una orientación del marcador y una posición del marcador.

6. Un método implementado en ordenador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde las imágenes de

proyección bidimensionales o cada una de ellas son imágenes de radiografías o imágenes de fluorógrafos; y/o, que comprende además:

5 recibir como entrada una o más imágenes de proyección bidimensionales adicionales; y
 recibir como entrada datos de adquisición respectivos asociados a cada una de dichas una o más imágenes de proyección bidimensionales;
 en donde cada una de dichas una o más imágenes de proyección bidimensionales adicionales se combina con dichas primera y segunda imágenes de proyección bidimensionales basadas en dichos datos de adquisición respectivos asociados a cada una de dichas una o más imágenes de proyección bidimensionales para generar
 10 un volumen tridimensional de datos que proporcionan dicha representación de dicho objeto, teniendo cada vóxel además un valor adicional respectivo generado a partir de una imagen de proyección bidimensional única basada en al menos un píxel de cada una de dichas una o más imágenes de proyección bidimensionales adicionales.

7. Un método implementado por ordenador para generar un modelo que modela una clase de objetos,
 15 comprendiendo el método:

para cada uno de una pluralidad de objetos de dicha clase de objetos:

20 recibir como entrada datos que indican una pluralidad de puntos de interés dentro de dicho objeto;
 generar una representación tridimensional de un objeto de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, incluyendo dichos datos de imagen tridimensionales basados en dichos datos que indican una pluralidad de puntos de interés; y procesar dichos datos de imagen tridimensionales generados para cada uno de dichos objetos de dicha clase de objetos para generar dicho modelo.

25 8. Un método implementado por ordenador de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además:

para cada uno de dicha pluralidad de objetos de dicha clase de objetos:

30 recibir (S3) como entrada una segunda imagen bidimensional y segundos datos de adquisición asociados a dicha segunda imagen bidimensional;
 en donde dicho procesamiento comprende combinar (S5) dichas imágenes bidimensionales primera y segunda basadas en dichos datos de adquisición asociados a cada una de dichas imágenes de proyección bidimensionales primera y segunda.

35 9. Un método implementado por ordenador de acuerdo con la reivindicación 7, en donde dicha primera imagen bidimensional recibida para cada objeto de dicha pluralidad de objetos es generada:

40 recibiendo (S10) una imagen tridimensional de dicho objeto; y
 generando (S12) dicha primera imagen bidimensional de dicho objeto basándose en dicha imagen tridimensional recibida y dichos primeros datos de adquisición; y
 en donde dicha segunda imagen bidimensional recibida para cada objeto de dicha pluralidad de objetos es generada:

45 generando (S13) dicha segunda imagen bidimensional de dicho objeto basándose en dicha imagen tridimensional recibida y dichos segundos datos de adquisición,

en donde generar dichas imágenes bidimensionales de dicho objeto comprende opcionalmente:

50 determinar una pluralidad de trayectorias a través de dicho objeto basándose en dichos datos de adquisición, representando dicha pluralidad de rutas una ruta desde una fuente de radiación electromagnética a un sensor asociado de radiación electromagnética; y
 procesar dicha imagen para generar, para cada uno de dicha pluralidad de rutas, un valor de datos que proporciona una indicación de la atenuación total de dicha radiación electromagnética a lo largo de dicha ruta,

55 en el que dichos datos de imagen tridimensionales comprenden opcionalmente una pluralidad de vóxeles, teniendo cada vóxel de dichos datos tridimensionales un primer valor basado en al menos un píxel de la primera imagen de proyección bidimensional y un segundo valor basado en al menos un píxel de la segunda imagen bidimensional;

60 en el que dichos primeros valores se basan opcionalmente en un valor de al menos un píxel de dicha primera imagen bidimensional, determinándose el o cada píxel basándose en una ruta desde dicha fuente de radiación electromagnética a una ubicación de píxel del sensor y dichos segundos valores se basan en un valor de al menos un píxel de dicha segunda imagen bidimensional, determinándose el o cada píxel en función de una ruta desde dicha fuente de radiación electromagnética a una ubicación de píxeles del sensor.

65 10. Un método implementado por ordenador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, que comprende además procesar una representación tridimensional de un objeto generado de acuerdo con una

cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 para ajustar el modelo a la representación tridimensional del objeto; y identificar características en la representación tridimensional de dicho objeto basándose en dicho ajuste de dicho modelo; y/o, en donde las imágenes tridimensionales recibidas de dicho objeto son un conjunto de imágenes de tomografía computarizada.

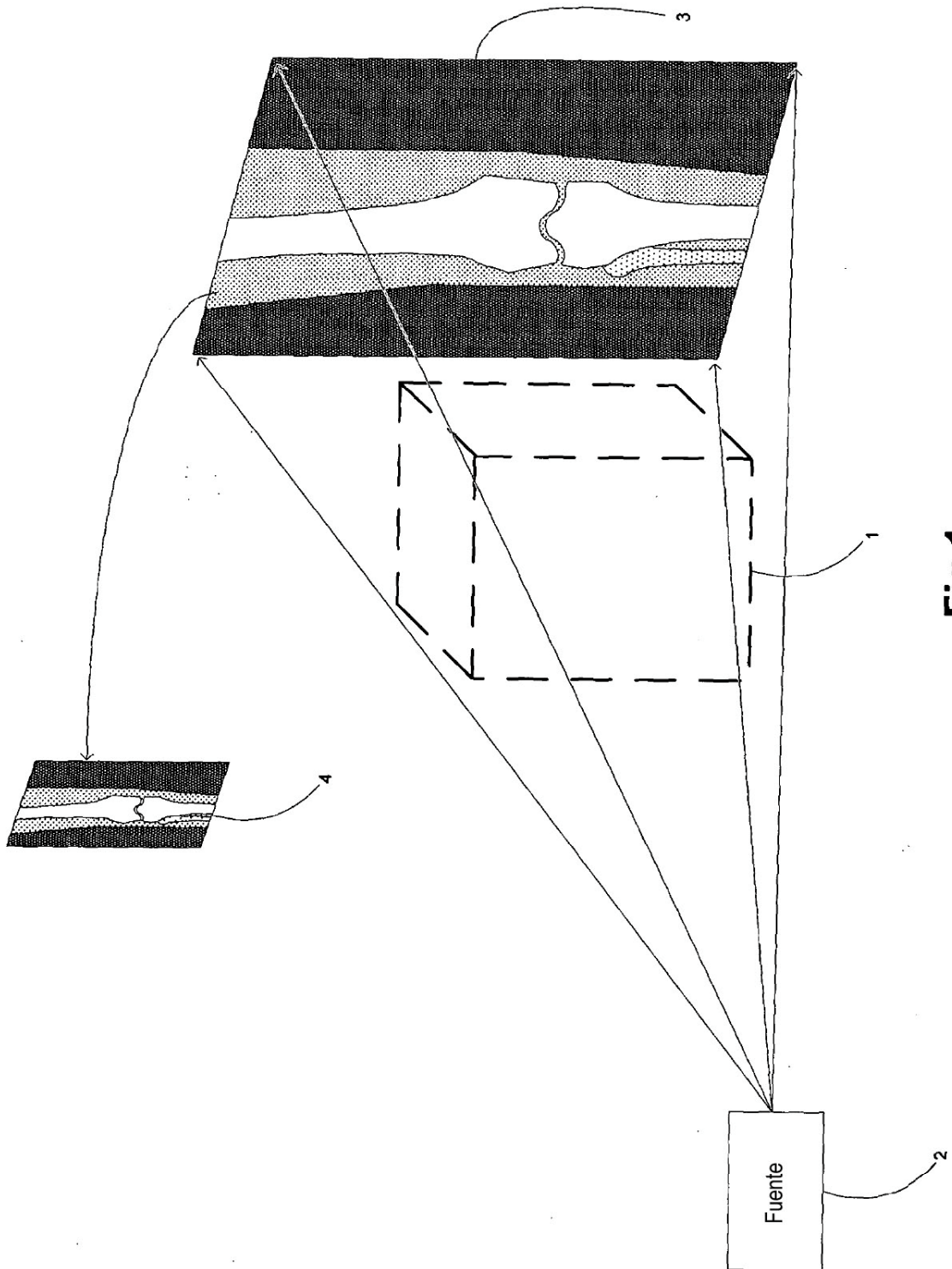
5 11. Un programa informático que comprende instrucciones legibles por ordenador configuradas para hacer que un ordenador lleve a cabo un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior.

10 12. Un medio legible por ordenador que lleva un programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 11.

13. Un aparato de ordenador para generar un modelo que modela un objeto, que comprende:

15 una memoria que almacena instrucciones legibles por el procesador; y un procesador dispuesto para leer y ejecutar instrucciones almacenadas en dicha memoria;

en donde dichas instrucciones legibles por el procesador comprenden instrucciones dispuestas para controlar el ordenador para llevar a cabo un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.



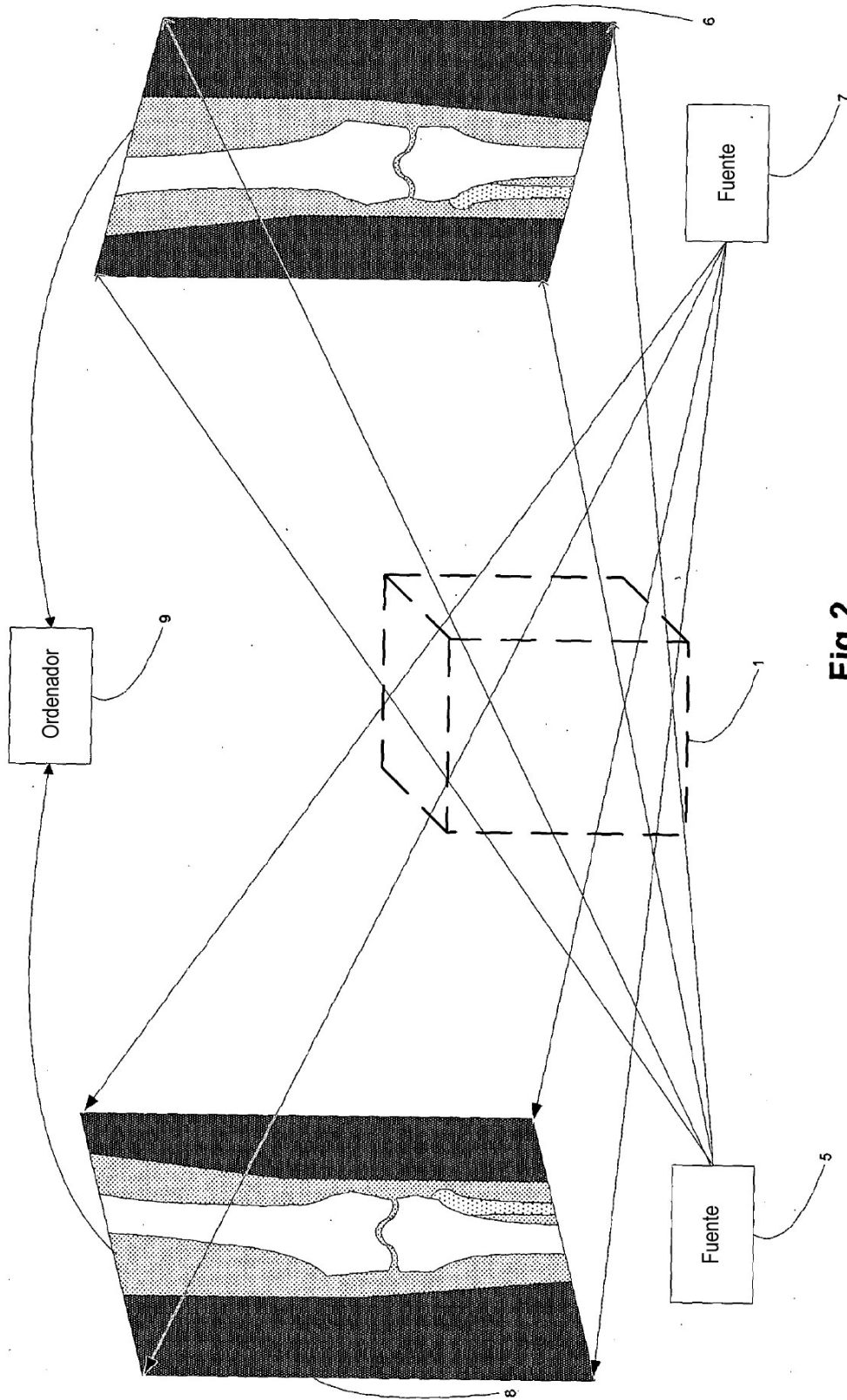


Fig 2

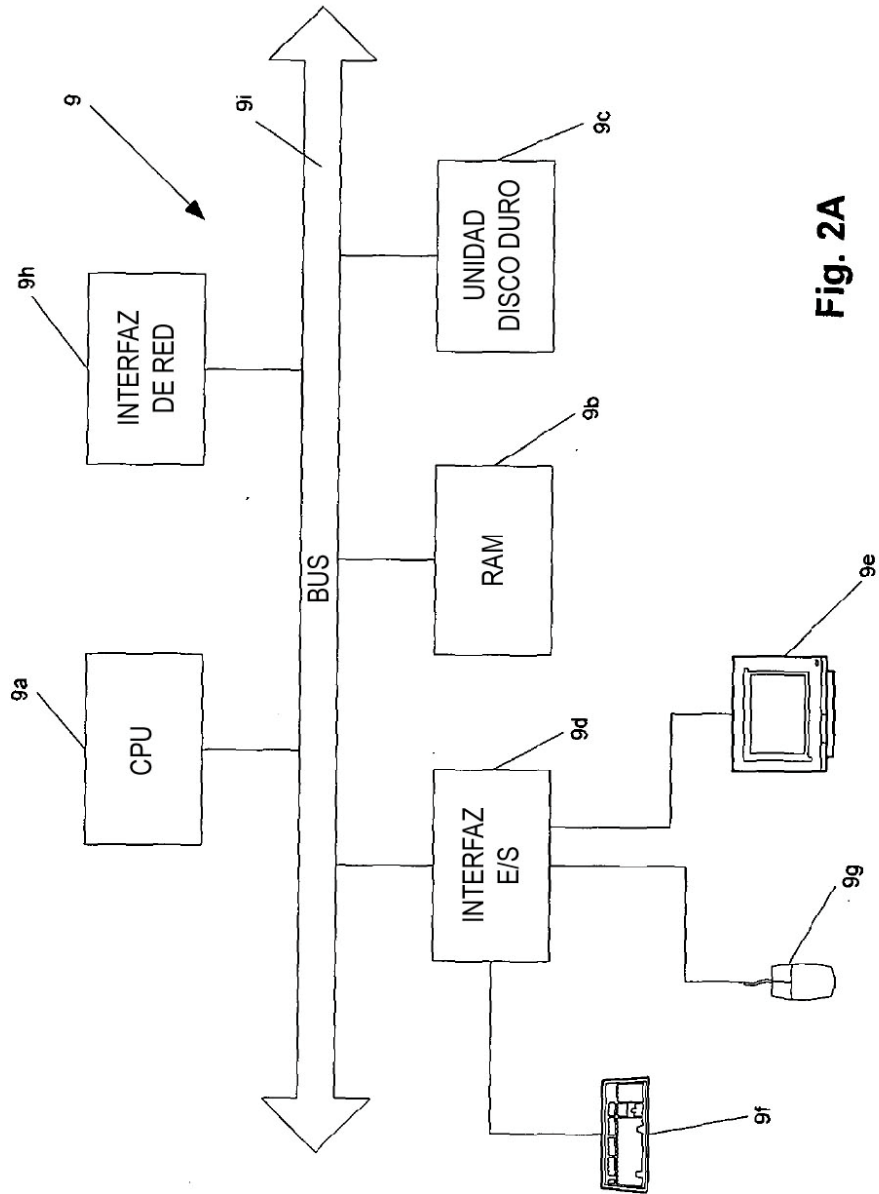


Fig. 2A

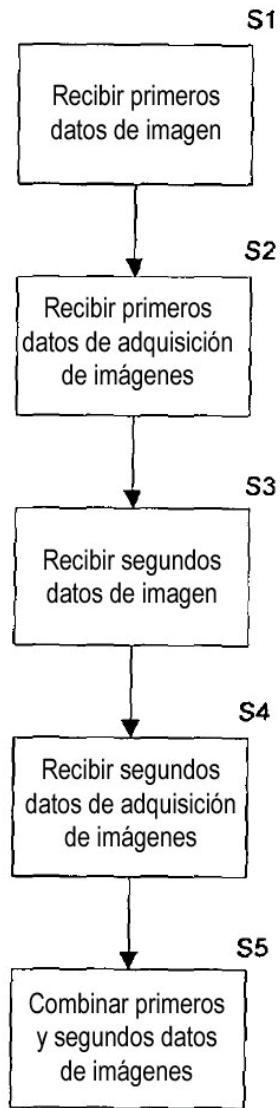


Fig 3

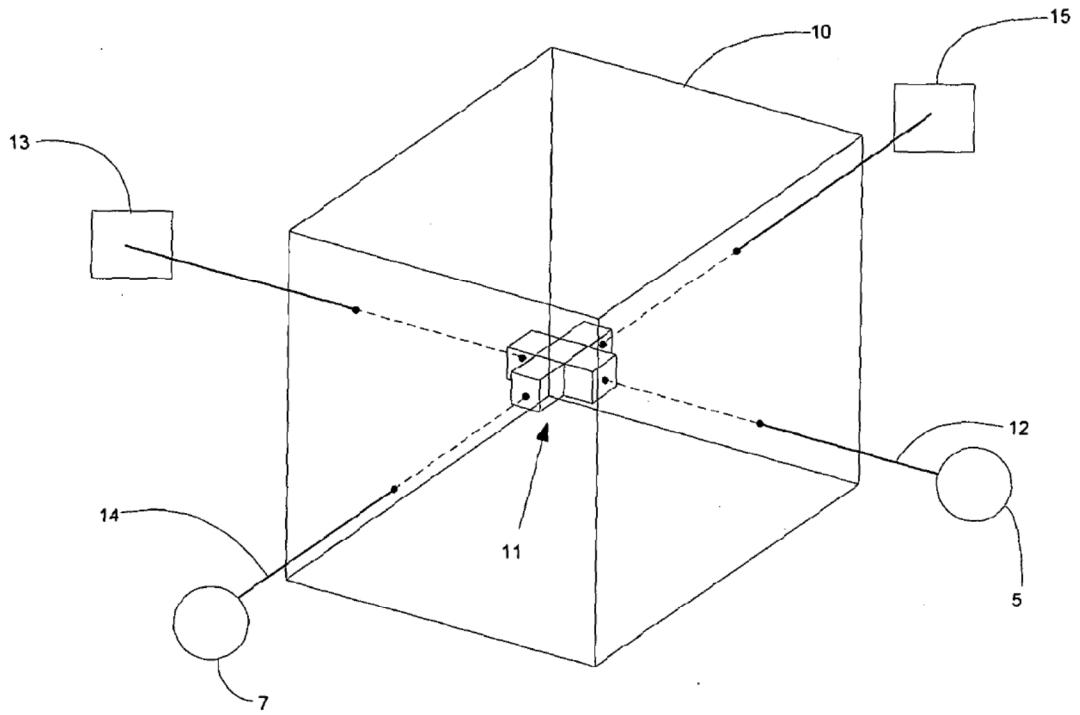


Fig 4

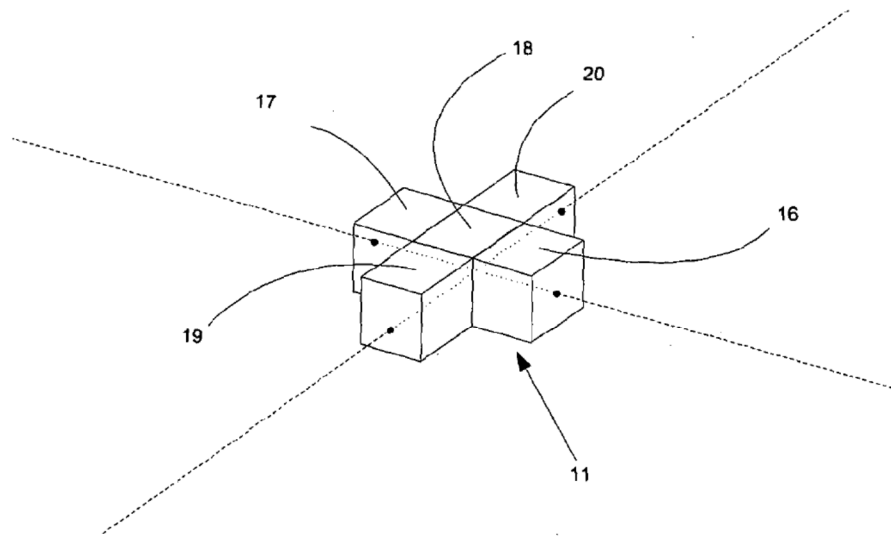


Fig 5



Fig 6

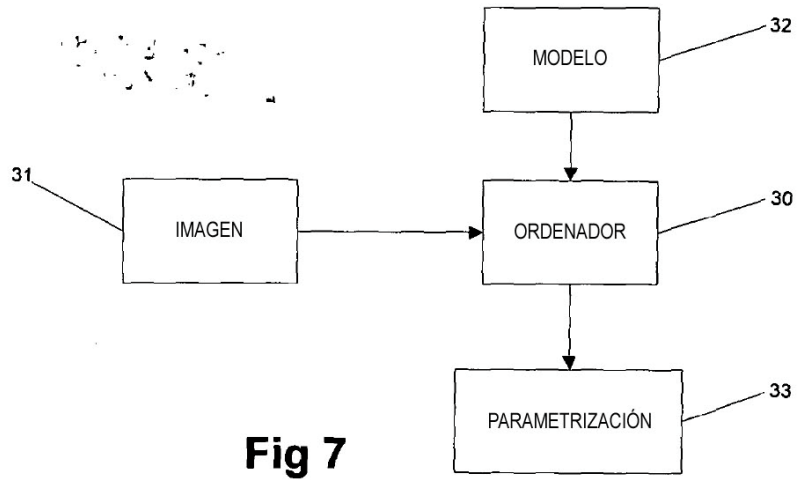


Fig 7

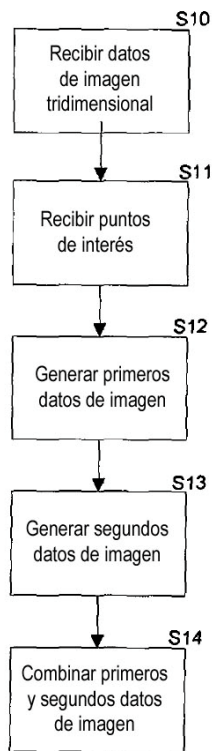


Fig 8