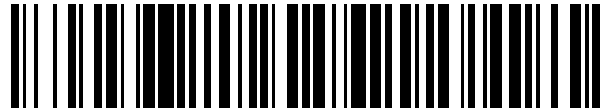


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 216**

51 Int. Cl.:

A61B 6/03 (2006.01)

A61B 6/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.08.2016 E 16186349 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017 EP 3141187**

54 Título: **Mira y procedimiento de calibración de un dispositivo de imagenología por rayos X**

30 Prioridad:

11.09.2015 FR 1501892

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

10.01.2018

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem Place des Corolles Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**BERNARD, GUILLAUME y
MURIENNE, ALBERT**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 649 216 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

Mira y procedimiento de calibración de un dispositivo de imagenología por rayos X

La presente invención se refiere a un dispositivo de calibración geométrica de un dispositivo de imagenología de rayos X. Se refiere más particularmente a los dispositivos de imagenología cuyo detector es bidimensional, es decir, sustancialmente plano. El dispositivo de imagenología comprende tradicionalmente una fuente de rayos X y un detector bidimensional. Los rayos X se ven atenuados por un cuerpo que hay que convertir en imagen. La energía restante se capta por el detector y se convierte en señales para producir una imagen radiológica. La imagen radiológica es una imagen bidimensional (2D) (o proyección) de un objeto desplegado en un espacio tridimensional (3D) interpuesto entre la fuente de rayos X y el detector bidimensional. Tradicionalmente, la fuente de rayos X y el detector están instalados en un dispositivo de arrastre que permite desplazarlos con respecto al cuerpo que hay que convertir en imagen para realizar varias proyecciones del cuerpo bajo ángulos de vista diferentes. Las proyecciones se usan entonces para reconstruir una imagen tridimensional del cuerpo que hay que convertir en imagen. Durante tomas de vista, el detector y la fuente deben seguir normalmente trayectorias predeterminadas, por ejemplo trayectorias circulares. Ahora bien, debido a las tolerancias del dispositivo de desplazamiento, existen errores entre la trayectoria realmente seguida por cada uno de estos elementos y la trayectoria ideal que debería seguir. Dicho de otra manera, existen errores entre las posiciones ideales de la fuente y/o del detector con respecto al objeto y las posiciones que ocupan realmente. La reconstrucción de la imagen 3D a partir de las proyecciones 2D del objeto tiene en cuenta posiciones relativas entre el objeto, el detector y la fuente en cada toma de vista. Es fundamental por tanto tener en cuenta errores de posicionamiento definidos anteriormente con el fin de obtener imágenes 3D que presentan una buena resolución y una buena precisión. Dicho de otra manera, es fundamental conocer las características geométricas del dispositivo de imagenología por rayos X durante la adquisición de cada proyección 2D a partir de las que se construye la imagen 3D. El dispositivo de calibración que tiene en cuenta estos errores de posicionamiento se basa tradicionalmente en el uso de una mira geométrica de calibración conocida en el espacio 3D. La mira de calibración comprende un objeto conocido que comprende un cierto número de marcadores (marcadores radio-opacos) cuyas posiciones en el espacio se conocen por construcción mediante coordenadas medidas con respecto a un punto de referencia propio de este objeto. Se adquiere una proyección de la mira en las condiciones geométricas que se desea calibrar, es decir según el punto de vista que se desea calibrar. Este punto de vista se define por las posiciones del detector, de la fuente y de la mira y por sus orientaciones relativas. Se reconoce, en la proyección de la mira, las proyecciones de los marcadores. Las posiciones de las proyecciones de los marcadores en la proyección de la mira así como el conocimiento de sus posiciones respectivas en la mira permiten determinar las características geométricas del dispositivo de imagenología durante la adquisición de la imagen según el punto de vista adoptado. Las características geométricas del dispositivo de imagenología por rayos X durante la adquisición de una imagen según el punto de vista adoptado se definen por una matriz de proyección 4*3 que permite poner en correspondencia cada punto del objeto en el espacio 3D (con respecto al referencial terrestre) con su proyección en un detector plano 2D (con respecto a un referencial conectado al detector). Estas características geométricas se usan ventajosamente durante la etapa de reconstrucciones 3D.

Las miras tradicionales comprenden un objeto cilíndrico transparente a los rayos X provisto en su superficie de bolas que absorban los rayos X que forman los marcadores. Las bolas están espaciadas tradicionalmente a lo largo de una hélice. Ahora bien, este tipo de habilitación no permite integrar un gran número de bolas en el objeto cilíndrico lo que va en detrimento de la precisión de la calibración y por consiguiente de la reconstrucción de la imagen 3D.

La mira está provista tradicionalmente de una bola de referencia que presenta un tamaño diferente de las demás bolas. Se conocen las posiciones de las demás bolas relativamente a esta bola de referencia. Es la identificación y el posicionamiento de la proyección de esta bola de referencia en una imagen 2D, el conocimiento de las posiciones de las demás bolas con respecto a la bola de referencia y las posiciones de las proyecciones de las demás bolas con respecto a la proyección de la bola de referencia los que permiten poner en correspondencia las posiciones de las proyecciones de todas las bolas de la imagen y sus posiciones en el espacio 3D y de este modo obtener la matriz de proyección por medio de algoritmos adecuados. La presencia y la identificación de la proyección de la bola de referencia en la proyección del objeto es por tanto fundamental. Ahora bien, si la proyección de esta bola se superpone a la de otra bola en una imagen, lo que puede ocurrir para ciertos ángulos de vista, si la proyección de esta bola no aparece en la imagen, lo que puede ser el caso si la imagen de la mira está truncada, o bien si la imagen es de mala calidad, se puede atribuir entonces una proyección detectada en una imagen 2D a una mala bola del espacio 3D o encontrarse en la imposibilidad de atribuir las proyecciones a las bolas correspondientes. La calibración es entonces imposible o errónea. Dicho de otra manera, este tipo de mira conduce a procedimientos de calibración que carecen de robustez con respecto a las identificaciones erróneas de la proyección de la bola de referencia (falsas detecciones). Por otra parte, puede resultar complejo y costoso identificar la proyección de la bola de referencia entre un conjunto de proyecciones de bolas con un buen nivel de confianza.

Por la patente americana US 6,715,918, se conoce una mira que no necesita la identificación de una bola de referencia. Esta mira comprende un cuerpo cilíndrico y marcadores dispuestos a lo largo de una hélice. Los marcadores comprenden dos tipos de marcadores diferenciados por sus propiedades geométricas, por ejemplo sus tamaños y/o por sus formas respectivas. A cada uno de los dos tipos de marcadores físicos se le asocia un valor binario. Los valores asignados a una secuencia de marcadores sucesivos forman entonces un código binario. Los marcadores del primer y del segundo tipo están habilitados en hélice de modo que cuando se toma un número

predeterminado de marcadores sucesivos, el código binario obtenido solo aparece una vez a lo largo de la hélice y ello sea cual sea el sentido de lectura. Ahora bien, esta mira presenta un cierto número de inconvenientes. En efecto, diferenciándose los marcadores por sus propiedades geométricas, y en concreto por sus tamaños, cuanto más cercano está un marcador de la fuente de rayos X, más grande es su proyección. Por consiguiente, no se puede garantizar, incluso previendo marcadores de tamaños muy diferentes, que las proyecciones de los marcadores de los dos tipos sean diferenciables fácilmente para todos los ángulos de toma de vista. Existe por tanto un riesgo no nulo de confundirlos en las proyecciones obtenidas lo que conduce a atribuir una imagen de un marcador de un tipo a un marcador de otro tipo, y limita la fiabilidad de la calibración.

La fiabilidad de la calibración se limita igualmente debido a la disposición de los marcadores en hélice. Cuando una fuente de luz alumbrada la mira según un eje central perpendicular al eje del cilindro, las distancias entre las proyecciones de los marcadores alumbrados por los bordes del haz emitido por la fuente son muy débiles y las imágenes de estos marcadores pueden estar superpuestas. Ello hace más difícil y menos fiable la atribución de una proyección de un marcador a un marcador dado de la mira debido a la complejidad de la forma en hélice y limita la precisión de la calibración. Una solución dada en la patente US 6, 715,918 es excluir los bordes del cilindro de la zona de proyección para evitar las superposiciones de las proyecciones de los marcadores. No obstante, esta solución, excluyendo ciertos marcadores de las proyecciones, conduce a una limitación de la precisión. Otra solución dada en la patente US 6, 715,918 es prever un algoritmo de detección de marcadores que permita excluir de la calibración las proyecciones de los marcadores situadas en los bordes del cilindro con respecto al eje central. No obstante, ello conduce a aumentar la complejidad de la calibración y no es fiable al 100 %.

Una finalidad de la invención es paliar al menos uno de los inconvenientes anteriormente citados.

A tal efecto la invención tiene por objeto una mira de calibración destinada a calibrar geoméricamente un dispositivo de imagenología por rayos X destinado a generar imágenes tridimensionales de un objeto por reconstrucción a partir de proyecciones bidimensionales de dicho objeto, comprendiendo la mira de calibración un soporte volumétrico provisto de marcadores con absorción radiológica contrastada con respecto al soporte volumétrico, estando los marcadores distribuidos según una figura tridimensional. Los marcadores están distribuidos en subconjuntos de marcadores distribuidos según rectas respectivas sustancialmente paralelas de modo que secuencias de relaciones anarmónicas puedan construirse a partir de los subconjuntos de marcadores respectivos, comprendiendo cada secuencia de relaciones anarmónicas una única relación anarmónica para cada cuádruple de marcadores en el que los marcadores están ordenados según un orden dependiente de los números de orden de los marcadores respectivos a lo largo de la recta según la que están alineados según un primer sentido predeterminado, siendo dicho orden común a todas las relaciones anarmónicas, y cuando un subconjunto de marcadores comprende al menos cinco marcadores, el orden de las relaciones anarmónicas en las secuencias de relaciones anarmónicas respectivas según una regla predeterminada común a todas las secuencias de relaciones anarmónicas. Ventajosamente, las secuencias de relaciones anarmónicas son todas diferentes.

La mira de calibración según la invención permite implementar procedimientos robustos, simples y fiables de calibración. En efecto, la puesta en correspondencia entre una proyección de un marcador y el marcador asociado en la mira se realiza a partir de las posiciones de proyecciones de marcadores detectadas en una imagen (proyección de la mira). Ahora bien, la detección de proyecciones de marcadores de la mira según la invención es fiable. En efecto, es independiente del tamaño y de la forma de los marcadores. Esta detección puede obtenerse por otra parte mediante algoritmos de detección muy simples (de tipo detector de blobs circulares). No es necesario que estos algoritmos permitan diferenciar proyecciones de marcadores de geometrías diferentes.

Por otra parte, no se realiza directamente la puesta en correspondencia de los marcadores y de sus proyecciones respectivas en una imagen o proyección 2D de la mira. Se realiza poniendo en correspondencia cadenas de relaciones anarmónicas únicas formadas por las proyecciones de los marcadores por una parte y por los marcadores de la mira por otra parte. El riesgo de cometer un error durante la puesta en correspondencia es por tanto mucho menor que durante una puesta en correspondencia realizada proyección por proyección. La mira según la invención permite implementar por consiguiente procedimientos de detección robustos.

Durante una toma de imagen por rayo X, la operación geométrica implementada es una proyección cónica (proyección central) del cuerpo convertido en imagen. La imagen de una recta es una recta y las relaciones anarmónicas entre las distancias se conservan por proyección central. Por tanto los riesgos de superposición de las imágenes de los diferentes marcadores en el borde del haz cuyo rayo central es sustancialmente perpendicular a un eje perpendicular a las alineaciones de marcadores están limitados lo que permite realizar una calibración fiable. Esta propiedad permite aprovechar las proyecciones de la totalidad de los marcadores para realizar la calibración lo que permite realizar una calibración precisa. La distribución de los marcadores según rectas paralelas favorece igualmente la precisión y la fiabilidad de la calibración porque el número de marcadores que pueden integrarse en un cilindro es grande.

La distribución de los marcadores y por consiguiente de las proyecciones de los marcadores según líneas rectas permite extraer fácilmente y con una buena fiabilidad las informaciones codificadas formadas por las proyecciones de los marcadores, en este caso de las sucesiones de las relaciones anarmónicas, usando un simple algoritmo de detección de alineaciones en las proyecciones 2D. Permite facilitar la puesta en correspondencia, con un buen grado

de certeza, de porciones de líneas rectas proyectadas con las líneas rectas correspondientes en la mira. Por otra parte, la disposición conocida de los marcadores según rectas y por consiguiente la disposición a priori de las proyecciones de marcadores según rectas puede permitir corregir pequeños errores de posicionamiento de las proyecciones de ciertos marcadores que se alejan de la recta esperada y de este modo realizar una calibración precisa.

La mira de calibración comprende ventajosamente una de las características siguientes o varias de las características siguientes:

- todos los marcadores presentan sustancialmente el mismo tamaño y sustancialmente la misma forma;
- las rectas son generatrices llamadas destacables de un cilindro;
- la distribución de las rectas según las que los subconjuntos de marcadores están alineados se elige de modo que, para todas las condiciones de proyección en las que se adquieren imágenes durante la calibración ninguna proyección de marcador solape otra proyección de marcador y/o de modo que si se solapan proyecciones de marcadores procedentes de dos subconjuntos de marcadores, no se solapan las proyecciones de los marcadores de los demás subconjuntos de marcadores;
- los subconjuntos de marcadores están repartidos según segmentos rectas destacables respectivos paralelos a un eje, siendo los segmentos de recta de misma longitud y presentando las mismas coordenadas según dicho eje, alojando cada segmento de recta un primer número m entero de sitios, susceptibles de estar ocupados por un marcador, estando dos sitios consecutivos cualesquiera tomados a lo largo de dicho segmento destacable espaciados en una distancia predeterminada llamada paso, asignándose a cada sitio un primer valor o respectivamente un segundo valor según si está ocupado por un marcador o no, estando los marcadores distribuidos de modo que los valores atribuidos a un segundo número entero n, a lo sumo igual a m, de sitios consecutivos cualesquiera tomados según un sentido dado a lo largo de los segmentos de rectas respectivos formen códigos binarios respectivos compuestos de n bits, siendo cada código binario compuesto de n bits formado según dicho sentido único;
- el segundo número m es superior al primer número n;
- los marcadores están distribuidos en la mira de modo que, para un número de generatrices y de sitios por generatriz conocidos y para tasas de ocupación conocidas por los sitios generatrices respectivas, una diferencia entre códigos binarios formados por los valores tomados por los m sitios consecutivos alojados por las generatrices destacables respectivas según el sentido predeterminado es máxima, los códigos binarios son porciones de una sucesión obtenida por medio de un LFSR de n bits, siendo m inferior o igual a n;
- el orden de las relaciones anarmónicas en cada secuencia de relaciones anarmónicas construida a partir de un subconjunto de marcadores alineados según una recta, se define de la manera siguiente:

Para marcadores anotados A_g llevan números de orden $g = 1$ a N , con N número entero, a lo largo de la recta según un segundo sentido,

Para i desde 1 hasta $N-3$ hacer:

(- Para j desde $i+1$ hasta $N-2$ hacer:

(- Para k desde $j+1$ hasta $N-1$ hacer:

(- Para l desde $k+1$ hasta N hacer:

(-insertar la relación anarmónica siguiente en la secuencia, siendo la relación anarmónica siguiente una relación anarmónica calculada a partir de los marcadores $A_{g=i}$, $A_{g=j}$, $A_{g=k}$, $A_{g=l}$,

- $l=i+1$)

- $k=k+1$)

- $j=j+1$).

- $i=i+1$);

- el orden de los marcadores en cada cuádruple de marcadores es el orden de los marcadores a lo largo de la recta según la que están alineados según el primer sentido.

La invención se refiere igualmente a un procedimiento de determinación de características geométricas de un dispositivo de imagenología por rayos X, destinado a realizar imágenes tridimensionales de un objeto por reconstrucción a partir de imágenes bidimensionales de dicho objeto, usando el procedimiento una mira de calibración según la invención, el procedimiento según la invención comprende las etapas siguientes:

- Colocar la mira de calibración en una zona de proyección entre una fuente de rayos X y un detector de rayos X,
- adquirir al menos una proyección de la mira de calibración según al menos una geometría del dispositivo de imagenología definida por posiciones de la fuente, de la mira y del detector y de sus orientaciones relativas,

Y, para cada proyección de la mira:

- Detectar las proyecciones de marcadores en la proyección,
- Determinar las posiciones de las proyecciones de marcadores en la proyección,
- Detectar alineaciones de proyecciones de los marcadores según rectas respectivas llamadas rectas imágenes,

Para cada alineación de proyecciones de marcadores:

- 5 ◦ Formar una secuencia llamada secuencia imagen de relaciones anarmónicas a partir de proyecciones de marcadores que forman dicha alineación, comprendiendo la secuencia imagen una única relación anarmónica por cuádruple de proyecciones de marcadores en el que las proyecciones de marcadores están ordenadas según el orden predeterminado dependiente de los números de orden de las proyecciones marcadores respectivas a lo largo de la recta imagen correspondiente según el primer sentido predeterminado, y, cuando un conjunto de proyecciones de marcadores comprende al menos cinco proyecciones marcadores, el orden de las relaciones anarmónicas en las secuencias imagen según la regla predeterminada a lo largo de la recta imagen correspondiente,
- 10 ◦ Para cada proyección de marcador que forma dicha alineación detectada, identificar el marcador del que procede atribuyendo una secuencia de relaciones anarmónicas formada a partir de las proyecciones de marcador de dicha alineación a una parte de una secuencia de relaciones anarmónicas formada por marcadores de la mira que comprende el mismo número de relaciones anarmónicas que la secuencia imagen,
- 15 ◦ Determinar características geométricas del dispositivo de imagenología durante la adquisición de la proyección de la mira a partir de las posiciones de las proyecciones de marcadores detectadas y de las posiciones de los marcadores correspondientes respectivos.

El procedimiento presenta ventajosamente al menos una de las características de más abajo:

- la etapa de detección de las alineaciones se realiza aplicando una transformada de Hough en las posiciones de las proyecciones de marcadores detectadas durante la etapa de detección de las proyecciones de los marcadores;
- 20 - los códigos binarios son porciones de una sucesión obtenida por medio de un LFSR de n bits.

Otras características y ventajas de la invención se mostrarán con la lectura de la descripción detallada que sigue, hecha a título de ejemplo no limitativo y con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 representa esquemáticamente un dispositivo de imagenología por rayos X en una configuración en la que se adquiere una imagen de la mira de calibración según la invención;
- 25 - la figura 2 representa esquemáticamente marcadores alineados según una recta destacable y proyecciones de marcadores según otra recta,
- las figuras 3a y 3b representan esquemáticamente una generatriz destacable de una mira según la invención y los sitios que aloja (figura 2a) así como los marcadores dispuestos en esta generatriz (figura 2b),
- la figura 4 representa un esquema sinóptico de las etapas del procedimiento según la invención.

30 De una figura a otra, los mismos elementos se localizan con las mismas referencias.

La figura 1 representa un dispositivo de imagenología por rayos X. Este dispositivo de imagenología comprende una fuente de rayos X 3 que comprende un foco S y un detector plano 4. El dispositivo de imagenología comprende ventajosamente un dispositivo de arrastre no representado que permite desplazar la fuente 3 y el detector plano 4 con respecto a un soporte 2 destinado a recibir un objeto que hay que convertir en imagen.

35 La mira de calibración 1 según la invención está interpuesta de este modo entre una fuente de rayos X 3 y el detector plano 4. Es fija con respecto al soporte 2. El dispositivo de calibración comprende igualmente un dispositivo de tratamiento 6 que está configurado para implementar al menos un procedimiento de tratamiento contenido en un programa 7 almacenado en una memoria programa 8. La mira 1 comprende marcadores 10. Ventajosamente, se almacena en la memoria 8 un programa que contiene un procedimiento de tratamiento que permite calcular características geométricas del dispositivo de imagenología a partir de la asociación entre proyecciones de los marcadores de la mira en proyecciones 2D respectivas de la mira y las posiciones, en la mira, de los marcadores que han generado estas proyecciones. La proyección I de la mira en el detector plano se representa esquemáticamente en la figura 1.

45 El haz de rayos X 5 emitido por la fuente 3 desde el foco S presenta la forma de un cono que se ensancha desde la fuente 3 hasta el detector plano 4. La operación geométrica que interviene en la producción de una imagen es por tanto una proyección cónica (o proyección central) de la mira 1 desplegada en el espacio 3D en el plano formado por el detector plano.

50 La mira de calibración 1 comprende un soporte volumétrico 20 y un conjunto de marcadores 10 llevados por el soporte volumétrico 20 y distribuidos según una figura tridimensional. Los marcadores 10 son fijos con respecto al soporte volumétrico 20. Se fijan por ejemplo en la superficie del soporte (como en la figura 1) o se incrustan en el soporte volumétrico 20. Por soporte volumétrico se entiende un soporte que presenta una forma tridimensional. El soporte volumétrico es por ejemplo un cilindro hueco (como en la figura 1) o macizo. El cilindro presenta ventajosamente una simetría de revolución alrededor de un eje z. Presenta una curva directriz circular y una recta generatriz perpendicular al plano que contiene el círculo director (curva directriz).

55 Los marcadores 10 son de absorción radiológica contrastada con respecto al soporte volumétrico 20. De esta manera la determinación de las posiciones de las imágenes (o proyecciones) de los marcadores respectivos en la imagen de manera fiable es posible.

Preferentemente, el soporte 20 es transparente a los rayos X. Se realiza por ejemplo con plexiglás con PVC o con policarbonato.

Los marcadores absorben los rayos X. Se realizan por ejemplo con acero inoxidable o con cualquier otro material similar que absorbe mejor los rayos X que el soporte 20.

- 5 La forma y el tamaño de los marcadores deben conocerse con precisión para facilitar su detección y el posicionamiento de los baricentros de sus imágenes respectivas, es decir de sus proyecciones respectivas, en las imágenes 2D adquiridas.

10 Los marcadores 10 presentan ventajosamente el mismo tamaño, la misma forma y ventajosamente las mismas características de absorción a los rayos X. Ello permite facilitar la detección y el posicionamiento de las proyecciones o baricentros de las proyecciones de los marcadores en las imágenes 2D. Los marcadores presentan ventajosamente una forma esférica. Esta forma facilita la detección y el posicionamiento de las proyecciones de los marcadores en las imágenes 2D ya que la proyección cónica de una esfera siempre es una elipse cercana a un disco por tanto fácilmente posicionable. Como variante, los marcadores presentan otra forma. Presentan ventajosamente una simétrica de revolución alrededor de ejes de simetría de revolución respectivos. Están posicionados ventajosamente para que sus ejes de simetría de revolución respectivos sean sustancialmente paralelos al eje z o ventajosamente sustancialmente paralelos a las generatrices destacables que se describirán ulteriormente. Se puede tratar de cilindros o de barras que presentan formas alargadas según ejes respectivos. Ventajosamente, los marcadores son homogéneos para presentar en todo su volumen las mismas características de absorción a los rayos X lo que facilita su detección y su posicionamiento.

- 20 En una variante, el conjunto de marcadores comprende marcadores de los que difiere al menos una de las características citados anteriormente.

Las posiciones de los marcadores 10 respectivos en el soporte volumétrico 20 se conocen con suficiente precisión que permite realizar la calibración geométrica con la precisión deseada. Por ejemplo, la posición de los marcadores con respecto al soporte volumétrico 20 se conoce con una precisión del orden de 20 micrómetros.

- 25 La distribución de los marcadores en la mira según la invención presenta varias características.

Los marcadores están distribuidos en subconjuntos de marcadores. Los marcadores de cada subconjunto de marcadores están distribuidos en línea recta. Dicho de otra manera, los marcadores de un mismo subconjunto están dispuestos en una línea recta y espaciados a lo largo de esta línea recta. Las rectas según las que se extienden los marcadores de los subconjuntos respectivos son paralelas.

- 30 Una secuencia de relaciones anarmónicas también llamadas relaciones anarmónicas puede construirse a partir de los marcadores de cada subconjunto de marcadores. Cada relación anarmónica se calcula a partir de distancias entre los marcadores de un cuádruple de marcadores de un mismo subconjunto de marcadores.

35 Cada relación anarmónica se calcula a partir de un cuádruple de marcadores en el que los marcadores están ordenados según un orden predeterminado dependiente de los números de orden de los marcadores respectivos a lo largo de la recta según un primer sentido predeterminado.

Este orden es común a todas las relaciones anarmónicas, es decir a todos los cuádruples de marcadores. En otros términos, se construye una única relación anarmónica por cuádruple de marcadores sucesivos.

40 Cuando un subconjunto de marcadores comprende al menos cinco marcadores, la secuencia de relaciones anarmónicas correspondiente comprende varias relaciones anarmónicas. El orden de las relaciones anarmónicas sigue una regla predeterminada común a todas las secuencias de relaciones anarmónicas. Esta regla se define en función de los rangos, es decir de los números de orden, de los marcadores que forman los cuádruples de marcadores respectivos de un subconjunto, a partir de los que se calculan las relaciones anarmónicas respectivas, a lo largo de la recta correspondiente según un segundo sentido predeterminado. El rango o número de orden de un marcador de un subconjunto es su rango en una sucesión, formada por los marcadores del subconjunto correspondiente, en la que los marcadores del subconjunto están clasificados por orden de sucesión de los marcadores a lo largo de la recta correspondiente según el segundo sentido.

45 El segundo sentido es ventajosamente el primer sentido.

50 Por ejemplo, para cuatro marcadores como se representan en la figura 2 alineados según una recta d. Cada relación anarmónica se calcula según el sentido de la flecha. Se llama r , la función relación anarmónica. La relación anarmónica r calculada para los marcadores A, B, C y D tomados en este orden a lo largo de la recta correspondiente en el sentido de la flecha se da por la ecuación siguiente:

$$r(A, B, C, D) = \frac{\overline{CA}}{\frac{\overline{CB}}{\frac{DA}{\overline{DB}}}}$$

La secuencia de relaciones anarmónicas construida a partir de los marcadores A, B, C, D y E es por ejemplo la secuencia siguiente:

- r1 = r(A,B,C,D)
- 5 - seguido por la relación anarmónica r2 = r(A,B, C, E)
- seguido por la relación anarmónica r3 = r(A,C,D,E)
- seguido por la relación anarmónica r4 = r(A,C, D,E)
- seguido por la relación anarmónica r5 = r(B,C,D, E).

10 Tomemos un subconjunto de N marcadores alineados según una recta. N es un número entero. Estos marcadores anotados Ag llevan los números de orden g, con g= 1 a N, a lo largo de la recta según el segundo sentido.

Ventajosamente, el orden de las relaciones anarmónicas en la secuencia se define de la manera siguiente:

Para i desde 1 hasta N-3 hacer:

(- Para j desde i+1 hasta N-2 hacer:

(- Para k desde j+1 hasta N-1 hacer:

15 (- Para l desde k+1 hasta N hacer:

(-insertar la relación anarmónica siguiente en la secuencia, siendo la relación anarmónica siguiente

una relación anarmónica calculada a partir de los marcadores $A_{g=i}$, $A_{g=j}$, $A_{g=k}$, $A_{g=l}$,

- l=l+1)

- k=k+1)

20 - j=j+1).

- i=i+1).

25 Esta regla de construcción de la secuencia permite garantizar la unicidad de las secuencias de relaciones anarmónicas construidas a partir de un conjunto de marcadores, en particular cuando la distribución de los marcadores se realiza como en el modo de realización particular descrito a continuación en la descripción en el que los valores asignados a sitios regularmente espaciados según un segmento de recta, tomado según un sentido dado a lo largo del segmento de recta, forman códigos binarios únicos de n bits.

Cada relación anarmónica se calcula a partir de un cuádruple de marcadores en el que los marcadores están ordenados según un orden de sucesión predeterminado dependiente de los números de orden de los marcadores respectivos a lo largo de la recta según un primer sentido predeterminado.

30 Ventajosamente, para el cálculo de relaciones anarmónicas, el orden de los marcadores en cada cuádruple de marcadores es el orden de los marcadores a lo largo de la recta según la que están alineados según el primer sentido predeterminado. Como variante, el orden de los marcadores en cada cuádruple de marcadores es el orden según el sentido contrario al primer sentido predeterminado.

35 Cada secuencia de relaciones anarmónicas es única en la mira. Dicho de otra manera, las secuencias de relaciones anarmónicas formadas a partir de los subconjuntos de marcadores respectivos de la mira son todas diferentes. Dicho de otra manera, las secuencias de relaciones anarmónicas son diferentes entre sí. Son distintas.

40 Cabe destacar que la determinación de una configuración geométrica de adquisición del dispositivo de imagenología por rayos X de manera fiable es posible, convirtiendo en imagen la mira en esta configuración, cuando se sabe asociar cada proyección de un marcador en la imagen 2D con el marcador de la mira que ha generado esta imagen. La mira según la invención permite esta asociación porque cada secuencia de relaciones anarmónicas es única. En efecto, por la proyección cónica que interviene en la generación de una imagen radiológica, una recta es una recta y se conservan las relaciones anarmónicas. Por consiguiente, como es visible en la figura 2, la proyección de cada subconjunto de marcadores A, B, D, C, E es una alineación de un subconjunto de proyecciones de marcadores A', B', C', D', E'. La secuencia de relaciones anarmónicas formada a partir de las proyecciones de marcadores A', B', C', D', E' del subconjunto de proyecciones de marcadores es idéntica a la secuencia de relaciones anarmónicas formada a partir de los marcadores del subconjunto de marcadores correspondiente A, B, C, D, E si estas secuencias están construidas siguiendo el mismo orden de cálculo de cada una de las relaciones anarmónicas y la misma regla de ordenación de las relaciones anarmónicas respectivas. Por consiguiente, una vez construidas estas secuencias, se puede asociar la proyección de un marcador al marcador correspondiente asociando una secuencia de un subconjunto de marcadores a una secuencia de proyecciones de marcadores. No es necesario prever un marcador de referencia.

La mira según la invención permite realizar una calibración de forma simple y fiable. En efecto, basta con detectar

las proyecciones de los marcadores, posicionarlas, detectar alineaciones de proyecciones de marcadores es decir formar los subconjuntos respectivos de proyecciones de marcadores, construir las secuencias de relaciones anarmónicas a partir de las proyecciones de marcadores que forman las alineaciones (o subconjuntos) respectivas y asociar las secuencias de relaciones anarmónicas respectivas a secuencias respectivas de relaciones anarmónicas de subconjuntos de marcadores de la mira. Ventajosamente, la secuencia de relaciones anarmónicas formada a partir de un subconjunto de marcadores atribuida a la que está formada a partir de un subconjunto de proyecciones de marcadores es la que, entre el conjunto de las secuencias de relaciones anarmónicas formadas a partir de todos los subconjuntos de marcadores respectivos, presenta una diferencia mínima con la secuencia de relaciones anarmónicas formada a partir de un subconjunto de proyecciones de marcadores. Ahora bien, la operación de detección de alineaciones es una operación bien conocida y dominada por el experto en la materia. Esta operación es simple y fiable. Ocurre lo mismo para el cálculo de las distancias intermarcadores e interproyecciones de marcadores.

Por otra parte, la solución según la invención permite, debido a la disposición en línea recta, corregir posicionamientos erróneos. En efecto, dado que la atribución de un marcador a una proyección de un marcador se realiza de manera colectiva, si el posicionamiento de la proyección de un marcador es erróneo, la atribución de esta proyección al marcador correspondiente se realiza con una mayor probabilidad.

La construcción de las secuencias de relaciones anarmónicas de las proyecciones de marcadores es independiente de la geometría de los marcadores. Depende únicamente de las distancias que separan las proyecciones de diferentes marcadores lo que limita los riesgos de identificar secuencias erróneas sea cual sea el ángulo de la toma de vista.

Ventajosamente, los subconjuntos de marcadores están distribuidos según segmentos de rectas respectivos paralelos al eje z que presenta longitudes respectivas idénticas y coordenadas respectivas idénticas según el eje z.

Ventajosamente, los segmentos de rectas son generatrices destacables de un cilindro. Ventajosamente, el cilindro es de simetría de revolución alrededor del eje z. Se trata por ejemplo del cilindro 22.

Este ejemplo se representa en las figuras 1 y 3a y 3b.

En la figura 1, los marcadores 10 están distribuidos según una pluralidad de generatrices destacables g_1, g_2, g_3 de un cilindro 22 espaciadas a lo largo de la curva directriz del cilindro 30. En la realización no limitativa de la figura 1, el cilindro 22 está incluido en el cilindro formado por el cuerpo volumétrico 20, presenta el mismo eje z y la superficie formada por las rectas generatrices del cilindro 22 es una porción de la superficie exterior 22b del cilindro formado por el cuerpo volumétrico 20. Como variante, el cilindro es cualquier otro cilindro solidario del cuerpo volumétrico 20 y preferentemente coaxial con el cuerpo volumétrico 20.

Las generatrices destacables g_1, g_2, g_3 según las que están distribuidos los marcadores 10 están espaciadas de dos en dos, a lo largo de la curva directriz, en una distancia fija o variable. Dicho de otra manera, están espaciadas de dos en dos en un ángulo fijo o variable alrededor del eje z del círculo director en el caso de un cilindro de revolución. Varios marcadores están posicionados en cada generatriz destacable g_1, g_2, g_3 y espaciados de dos en dos a lo largo de dicha generatriz destacable. Dicho de otra manera, los marcadores están habilitados en líneas rectas.

En las figuras 3a y 3b, se ha representado un ejemplo preferido de habilitación de los marcadores según la generatriz destacable g_1 . En la figura 3a, se han representado con cruces, sitios S_j con $j = 1$ a 10 que la generatriz destacable g_1 comprende. En la figura 3b, se han representado los marcadores posicionados a lo largo de esta primera generatriz destacable. Cada generatriz destacable aloja un primer número m entero de sitios $S_j, j = 1$ a m (con $m = 10$ en el ejemplo no limitativo de la figura 1) susceptibles de estar ocupados por un marcador 10. Estos sitios S_j están espaciados en una distancia fija llamada paso p a lo largo de dicha generatriz g_1 . Dicho de otra manera, dos sitios consecutivos cualesquiera tomados a lo largo de la generatriz destacable, según un sentido dado representado por la flecha, están separados en una distancia p fija. En la figura 3b, se destaca que los sitios $S_1, S_4, S_6,$ y S_8 a S_{10} están ocupados por un marcador 10 y que los sitios S_2, S_3, S_5 y S_7 están libres. Los marcadores consecutivos 10 según la recta generatriz g_1 están separados por tanto por una distancia igual a un múltiple del paso p.

Se asigna a cada sitio un primer valor ($=1$) o respectivamente un segundo valor ($=0$) según si está ocupado por un marcador 10 o no respectivamente. En el ejemplo de las figuras 3a y 3b, se asignan a los sitios $S_1, S_4, S_6,$ y S_8 a S_{10} el valor 1 porque están ocupados por un marcador y se asignan a los sitios S_2, S_3, S_5 y S_7 el valor 0 porque no están ocupados por un marcador 10.

Los valores atribuidos a un segundo número entero n de sitios consecutivos cualesquiera tomados a lo largo de una generatriz destacable g_1 , según un sentido dado (representado por la flecha) de la generatriz destacable, forman una unidad de información binaria compuesta de n bits (o palabra). Por unidad de información de n bits, se entiende igualmente una palabra, un código binario o una secuencia binaria de n bits. En la realización de las figuras 3a y 3b, los valores atribuidos a los 10 sitios comprendidos en la generatriz g_1 forman una secuencia de código que comprende 3 palabras de códigos de 8 bits cada una, es decir tres unidades de información compuestas de 8 bits

cada una. Estas unidades de información I1, I2, I3 están formadas por los valores atribuidos a los sitios S1 a S8, S2 a S9 y respectivamente S3 a S10. Estos códigos binarios son los siguientes:

- I1: 1 0010101
- I2: 00101011
- 5 - I3: 01010111

La secuencia de código formada por los valores atribuidos a los 10 sitios de la generatriz g1 es la siguiente: 1001010111.

10 Cada unidad de información de n bits tomada en una generatriz destacable en el sentido dado según dicha recta, siendo dicho sentido común a todas las generatrices destacables, debe aparecer una sola vez en la mira. Dicho de otra manera, cada unidad de información de n bits tomada según el sentido dado es única. Aparece una sola vez en el conjunto de las generatrices destacables. El sentido predefinido de lectura es el sentido de lectura definido paralelamente al eje del cilindro. Ventajosamente, el sentido es el primer sentido y/o el segundo sentido.

15 Al colocar los marcadores de esta manera en la mira se obtiene de manera simple y rápida subconjuntos de marcadores que permiten formar secuencias de relaciones anarmónicas (como se han definido anteriormente) respectivas únicas en la mira. Por otra parte, una mira de este tipo es fácil de fabricar, siendo el ajuste de las posiciones de los marcadores respectivos simple. Ventajosamente, cada secuencia de relaciones anarmónicas que comprende más de una relación anarmónica está formada por porciones de la secuencia de relaciones anarmónicas únicas en la mira. Las porciones de una secuencia se leen en el mismo sentido que la secuencia correspondiente. Las porciones de la secuencia presentan una longitud W inferior a la de la secuencia. La longitud W de las porciones de secuencia corresponde al número de relaciones anarmónicas en las porciones de secuencia. Por ejemplo, en el ejemplo de las figuras 3a y 3b, la secuencia B1, B2, B3, B4 está formada por dos secuencias únicas de longitud tres: B1, B2, B3 y B2, B3, B4 o por tres secuencias únicas de longitud dos: B1, B2 y B2, B3 y B3, B4.

25 Ello permite aumentar la robustez de la calibración geométrica, realizada a partir de la mira según la invención, en el truncamiento de la proyección de la mira. En efecto, si todos los marcadores no están presentes en la proyección, es posible hacer corresponder, con un buen grado de certeza, las proyecciones de marcador presentes con los marcadores correspondientes asociando secuencias de proyecciones de marcadores de longitud W con porciones de secuencia de marcadores correspondientes.

30 En el modo de realización de las figuras 3a y 3b, ello se repercute de la manera siguiente. Cada cadena de marcadores dispuestos según una generatriz del cilindro que presenta una longitud L (expresada en metros) representa una secuencia de código de longitud m bits.

35 Ventajosamente, m es superior a n. En otros términos, la longitud L de las generatrices es superior o igual a $n \cdot p$. La probabilidad de convertir en imagen una cadena de marcadores de longitud $n \cdot p$ es mayor que la de convertir en imagen una longitud $m \cdot p$. Ahora bien, la unidad de información de n bits es única en la mira, conocida y su posición se conoce en la mira lo que permite poner en correspondencia de manera fiable las proyecciones de los marcadores presentes en esta cadena con los marcadores de esta cadena. Como variante m es igual a n.

En la realización de la figura 3b, la generatriz destacable g1 alberga $m = 10$ sitios y las unidades de información están codificadas en $n = 8$ bits. En los modos de realización preferentes de la invención, estos números m y n son muy superiores.

40 Generalmente, se prevé unidades de informaciones de $n = 16$ bits y cadenas de marcadores que representan secuencias de código de una longitud m comprendida entre 24 y 40 bits.

Ventajosamente, las cadenas de marcadores representan secuencias de código binario que comprende una proporción de 1 comprendida entre 7 y 18. Ventajosamente, la mira comprende al menos 6 subconjuntos de marcadores.

45 Ventajosamente, cada secuencia de relaciones anarmónicas o porción de secuencia de relaciones anarmónicas es única en los dos sentidos. Ello permite reducir los riesgos de puesta en correspondencia erróneas. No obstante, esta condición no es esencial porque este riesgo está limitado debido a que las unidades de informaciones se realizan según rectas cuya geometría es invariante y predecible por proyección durante una toma de imagen por rayos X.

Cada unidad de información es ventajosamente única en el sentido predefinido y en otro sentido opuesto a dicho sentido.

50 Ventajosamente, la distribución de las generatrices destacables g1, g2, g3 a lo largo de la curva directriz 30, o más generalmente rectas según las que se realizan las alineaciones, se elige para que, para todas las condiciones de proyección en las que se adquiere imágenes durante la calibración, es decir para todas las geometrías de adquisición de imagen usadas durante la calibración (definidas por las posiciones de la fuente, del detector y de la mira y sus orientaciones respectivas), en las que el rayo central del haz emitido por la fuente 3 está inclinado con respecto al eje z en a lo sumo 45° , y en las que el detector es sustancialmente perpendicular al rayo central, ninguna

proyección de marcador solapa otra proyección de marcador y/o de modo que si se solapan proyecciones de marcadores procedentes de dos subconjuntos de marcadores, no se solapan las proyecciones de los marcadores de los demás subconjuntos de marcadores. Por rayo central, se entiende el rayo que se encuentra en el centro del haz emitido por la fuente 3 de rayos X, es decir el eje de simetría del haz emitido por la fuente 3. Ello permite facilitar la discriminación de las proyecciones de los marcadores.

La fabricación de la mira de calibración según la invención comprende una etapa de colocación de los marcadores a lo largo del conjunto de las rectas o del conjunto de las generatrices destacables según una distribución de modo que las secuencias de relaciones anarmónicas respectivas sean únicas. Esta distribución puede obtenerse mediante iteraciones sucesivas de una etapa de colocación de los marcadores, de una etapa de construcción de las secuencias de relaciones anarmónicas correspondientes y de verificación de la unicidad de las secuencias.

A tal efecto, la habilitación se realiza ventajosamente de modo que los valores atribuidos a n sitios consecutivos cualesquiera tomados a lo largo de una cualquiera de las generatrices destacables, según el sentido de la generatriz destacable, formen una unidad de información compuesta de n bits, siendo la unidad de información única en la mira según dicho sentido. La distribución de los marcadores puede obtenerse de varias maneras. Se obtiene por ejemplo mediante iteraciones sucesivas de una etapa de colocación de los marcadores, de una etapa de construcción de las unidades de información y de verificación de la unicidad de las unidades de informaciones o bien por medio de un registro de desfase con retroacción lineal de tamaño n , siendo cada unidad de información de n bits una porción, es decir una secuencia de n bits, de una sucesión de una longitud inferior a 2^n generada por un registro de desfase con retroacción lineal (LFRS con referencia a la expresión anglosajona: "linear feedback shift register") a n bits. El uso de un LFRS está bien adaptado para una implementación material y es simple de implementar. Por otra parte, el uso de secuencias de n bits de una sucesión generada por un LFSR a n bits permite garantizar la obtención de secuencias únicas, es decir de unidades de información, únicas en la mira. En efecto, un LFRS codificado en 16 bits garantiza la generación de una sucesión que comprende 65535 series de 16 bits todas diferentes, siendo las series de 16 bits los estados consecutivos de la LFSR de 16 bits.

Tomemos el caso en el que cada generatriz destacable aloja un número m superior a n sitios. Por ejemplo, cuando $n = 16$, entonces m está comprendido entre 24 y 40. La distribución de los marcadores en los sitios de la generatriz forma por ejemplo un código correspondiente a una sucesión de m bits obtenida por medio de un LFSR de 16 bits. Esta distribución es simple porque evita una etapa de verificación de la unicidad de las $m-n$ secuencias de código de 16 bits formados por los valores atribuidos a los sitios según su ocupación o no por un marcador ya que esta unicidad está garantizada por las propiedades matemáticas del LFSR. Por otra parte, garantiza la unicidad del código en los dos sentidos.

Ventajosamente, para mejorar la fiabilidad de la calibración geométrica realizada por medio de una mira según la invención, los marcadores están distribuidos en la mira de modo que para un número de generatrices y de sitios por generatriz conocidos y para tasas de ocupación conocidas por los sitios de las generatrices respectivas, una diferencia entre códigos binarios formados por los valores tomados por los m sitios consecutivos alojados por las generatrices destacables respectivas según el sentido predeterminado sea máxima. Dicho de otra manera, las secuencias elegidas en la sucesión generada por la sucesión obtenida por el LFSR de 16 bits son las que presentan una diferencia máxima. La diferencia calculada entre dos códigos binarios es por ejemplo la diferencia entre el número de bits de valor 1 del resultado del o exclusivo de los dos códigos binarios.

La invención tiene igualmente por objeto un procedimiento de determinación de las características geométricas del dispositivo de imagenología por rayos X durante la adquisición de al menos una imagen. El procedimiento usa una mira de calibración según la invención. El procedimiento según la invención comprende las etapas siguientes, representadas en la figura 4:

- Colocar 100 la mira de calibración en una zona de proyección entre la fuente de rayos X y el detector de rayos X,
- adquirir 110 al menos una proyección de la mira según al menos una geometría del dispositivo de imagenología; es posible adquirir varias proyecciones según geometrías diferentes por ejemplo según varias posiciones angulares de una trayectoria circular de la fuente y del detector alrededor del eje z del cilindro,

Y, para al menos una proyección adquirida:

- Detectar 111 las proyecciones de marcadores en la proyección, esta etapa se implementa por un método tradicional, como por ejemplo de manera no limitativa, por un método llamado de detección de blobs que significa ancho objeto binario, con referencia a la expresión anglosajón "binary large object", o mediante un procedimiento de reconocimiento de forma, en concreto de detección de elipses,
- Determinar 112 las posiciones de las proyecciones de marcadores; esta etapa puede realizarse durante la etapa 111;
- Detectar 113, en la proyección, alineaciones de proyecciones de los marcadores según rectas respectivas di, llamadas rectas imágenes; esta etapa se realiza por ejemplo mediante un método tradicional, por ejemplo del tipo regresión lineal o por medio de una transformada de Hough; esta etapa permite identificar las rectas según los que están alineadas las proyecciones de los marcadores e identificar las proyecciones de marcadores alineadas según estas rectas respectivas;

- Para cada alineación i detectada:

5 ◦ Formar 114 una secuencia llamada secuencia imagen de relaciones anarmónicas a partir de proyecciones de marcadores que forman dicha alineación, comprendiendo la secuencia imagen una única relación anarmónica por cuádruple de proyecciones de marcadores en el que las proyecciones de marcadores están ordenadas según el orden predeterminado dependiente de los números de orden de las proyecciones de marcadores respectivas a lo largo de la recta imagen correspondiente según el primer sentido predeterminado, y, cuando un conjunto de proyecciones de marcadores comprende al menos cinco proyecciones marcadores, el orden de relaciones anarmónicas en las secuencias imagen según la regla predeterminada a lo largo de la recta imagen correspondiente (esta regla es por consiguiente común a todas las alineaciones, se define en función de los rangos o números de orden de las proyecciones marcadores respectivas que forman los cuádruples de proyecciones marcadores que generan las relaciones anarmónicas respectivas a lo largo de la recta imagen correspondiente según el segundo sentido predeterminado, esta regla es la misma que la regla de construcciones de las secuencias de relaciones anarmónicas),

10 ◦ Para cada proyección de marcador que forma dicha alineación detectada, identificar 115 el marcador del que procede atribuyendo una secuencia de relaciones anarmónicas formada a partir de las proyecciones de marcador de dicha alineación a una parte de una secuencia de relaciones anarmónicas formada por marcadores de la mira que comprende el mismo número de relaciones anarmónicas que la secuencia imagen,

15 - Determinar 116 características geométricas del dispositivo de imagenología durante la adquisición de la proyección de la mira a partir de las posiciones de las proyecciones de marcadores detectadas y de las posiciones de los marcadores correspondientes respectivos. Esta etapa consiste en concreto en calcular una matriz de proyección del espacio 2D hacia el espacio 3D. Se realiza por ejemplo usando el algoritmo de Faugeras-Toscani o de Levenberg-Marquart.

20 Durante la etapa 115, el marcador del que procede una proyección se identifica asociando una secuencia de relaciones anarmónicas formada a partir de las proyecciones de marcador de dicha alineación a una parte de una secuencia de relaciones anarmónicas formada por marcadores de la mira que comprende el mismo número de relaciones anarmónicas que la secuencia imagen.

25 La etapa de identificación 115 de los marcadores de los que proceden cada una de las proyecciones de marcadores que se han detectado consiste ventajosamente en identificar qué parte de secuencia de marcadores de la mira presenta una diferencia mínima con la secuencia imagen o es idéntica a la secuencia imagen. La diferencia minimizada es por ejemplo la disparidad cuadrática mediana de la diferencia de las dos secuencias de relaciones anarmónicas o la disparidad cuadrática mediana de una diferencia ponderada de las dos secuencias de relaciones anarmónicas para compensar el hecho de que las relaciones anarmónicas son todas diferentes mientras que el error, él, es sustancialmente idéntico.

30 Ventajosamente, la etapa de detección de las alineaciones se realiza aplicando una transformada de Hough a las únicas posiciones de las proyecciones de marcadores detectadas durante la etapa de detección de las proyecciones de los marcadores. Ello equivale a aplicar una transformada de Hough a una imagen binaria que comprende un fondo uniforme y píxeles contrastados con respecto al fondo uniforme cuyas posiciones respectivas son las posiciones de las proyecciones de marcadores que se han detectado durante la etapa 112. Ello permite detectar las rectas según las que están alineados los píxeles y evitar que la transformada de Hough detecte los contornos de las proyecciones de los marcadores. Los riesgos de error están por tanto limitados. Por otra parte, ello simplifica el algoritmo de Hough y limita los tiempos de cálculo.

REIVINDICACIONES

1. Mira de calibración (1) destinada a calibrar geoméricamente un dispositivo de imagenología por rayos X destinado a generar imágenes tridimensionales de un objeto por reconstrucción a partir de proyecciones bidimensionales de dicho objeto, comprendiendo la mira de calibración (1) un soporte volumétrico (20) provisto de marcadores (10) con absorción radiológica contrastada con respecto al soporte volumétrico (20), estando los marcadores (10) distribuidos según una figura tridimensional, **caracterizado porque** los marcadores (10) están distribuidos en subconjuntos de marcadores distribuidos según rectas respectivas sustancialmente paralelas de modo que secuencias de relaciones anarmónicas puedan construirse a partir de los subconjuntos de marcadores respectivos, comprendiendo cada secuencia de relaciones anarmónicas una única relación anarmónica para cada cuádruple de marcadores en el que los marcadores están ordenados según un orden dependiente de los números de orden de los marcadores respectivos a lo largo de la recta según la que están alineados según un primer sentido predeterminado, siendo dicho orden común a todas las relaciones anarmónicas, y cuando un subconjunto de marcadores comprende al menos cinco marcadores, el orden de las relaciones anarmónicas en las secuencias de relaciones anarmónicas respectivas según una regla predeterminada común a todas las secuencias de relaciones anarmónicas, siendo las secuencias de relaciones anarmónicas todas diferentes.

2. Mira de calibración según la reivindicación anterior, en la que todos los marcadores (10) presentan sustancialmente el mismo tamaño y sustancialmente la misma forma.

3. Mira de calibración según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las rectas son generatrices, llamadas generatrices destacables, de un cilindro.

4. Mira de calibración según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la distribución de las rectas según las que los subconjuntos de marcadores están alineados se elige de modo que, para todas las condiciones de proyección en las que se adquieren imágenes durante la calibración ninguna proyección de marcador solape otra proyección de marcador y/o de modo que si se solapan proyecciones de marcadores procedentes de dos subconjuntos de marcadores, no se solapan las proyecciones de los marcadores de los demás subconjuntos de marcadores.

5. Mira de calibración según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los subconjuntos de marcadores están distribuidos según segmentos rectas destacables respectivos paralelos a un eje z, siendo los segmentos de recta de misma longitud y presentando las mismas coordenadas según dicho eje z, alojando cada segmento de recta un primer número m entero de sitios (Sij), susceptibles de estar ocupados por un marcador (10), estando dos sitios consecutivos cualesquiera tomados a lo largo de dicho segmento destacable (gi) espaciados en una distancia predeterminada llamada paso (p), asignándose a cada sitio (Sij) un primer valor o respectivamente un segundo valor según si está ocupado por un marcador o no, estando los marcadores distribuidos de modo que los valores atribuidos a un segundo número entero n, a lo sumo igual a m, de sitios consecutivos cualesquiera tomados según un sentido dado a lo largo de los segmentos de rectas respectivos (gi) formen códigos binarios respectivos compuestos de n bits, siendo cada código binario compuesto de n bits formado según dicho sentido único.

6. Mira de calibración según la reivindicación anterior, en la que el segundo número m es superior al primer número n.

7. Mira de calibración según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 6, en la que los marcadores están distribuidos en la mira de forma que, para un número de generatrices y de sitios por generatriz conocidos y para tasas de ocupación conocidas por los sitios de las generatrices respectivas, una diferencia entre códigos binarios formados por los valores tomados por los m sitios consecutivos alojados por las generatrices destacables respectivas según el sentido predeterminado es máxima, los códigos binarios son porciones de una sucesión obtenida por medio de un LFSR de n bits, siendo m inferior o igual a n.

8. Mira de calibración según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en la que el orden de las relaciones anarmónicas en cada secuencia de relaciones anarmónicas construida a partir de un subconjunto de marcadores alineados según una recta, se define de la manera siguiente:

Para marcadores anotados A_g llevan los números de orden $g = 1$ a N a lo largo de la recta según un segundo sentido,

Para i desde 1 hasta N-3 hacer:
 (- Para j desde i+1 hasta N-2 hacer:
 (- Para k desde j+1 hasta N-1 hacer:
 (- Para l desde k+1 hasta N hacer:
 (-insertar la relación anarmónica siguiente en la secuencia, siendo la relación anarmónica siguiente una relación anarmónica calculada a partir de los marcadores $A_{g=i}$, $A_{g=j}$, $A_{g=k}$, $A_{g=l}$,
 - $l=i+1$)
 - $k=k+1$)
 - $j=j+1$).
 - $i=i+1$),

Donde N es un número entero.

9. Mira de calibración según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en la que el orden de los marcadores en cada cuádruple de marcadores es el orden de los marcadores a lo largo de la recta según la que están alineados según el primer sentido.

5 10. Procedimiento de determinación de características geométricas de un dispositivo de imagenología por rayos X destinado a realizar proyecciones tridimensionales de un objeto por reconstrucción a partir de proyecciones bidimensionales de dicho objeto, usando dicho procedimiento una mira de calibración según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, el procedimiento según la invención comprende las etapas siguientes:

- 10
- Colocar (100) la mira de calibración en una zona de proyección entre una fuente (3) de rayos X y un detector (4) de rayos X,
 - Adquirir (110) al menos una proyección de la mira de calibración según al menos una geometría del dispositivo de imagenología definida por posiciones de la fuente, de la mira y del detector y de sus orientaciones relativas,

Y, para cada proyección de la mira:

- 15
- Detectar (111) las proyecciones de marcadores en la proyección,
 - Determinar (112) las posiciones de las proyecciones de marcadores en la proyección,
 - Detectar (113) alineaciones de proyecciones de los marcadores según rectas respectivas llamadas rectas imágenes,

Para cada alineación de proyecciones de marcadores:

- 20
- Formar (114) una secuencia llamada secuencia imagen de relaciones anarmónicas a partir de proyecciones de marcadores que forman dicha alineación, comprendiendo la secuencia imagen una única relación anarmónica por cuádruple de proyecciones de marcadores en el que las proyecciones de marcadores están ordenadas según el orden predeterminado dependiente de los números de orden de las proyecciones de marcadores respectivas a lo largo de la recta imagen correspondiente según el primer sentido predeterminado, y, cuando un conjunto de proyecciones de marcadores comprende al menos cinco proyecciones marcadores, el orden de las relaciones anarmónicas en las secuencias imagen según la regla predeterminada a lo largo de la recta imagen correspondiente,

- 25
- Para cada proyección de marcador que forma dicha alineación detectada, identificar (115) el marcador del que procede atribuyendo una secuencia de relaciones anarmónicas formada a partir de las proyecciones de marcador de dicha alineación a una parte de una secuencia de relaciones anarmónicas formada por marcadores de la mira que comprende el mismo número de relaciones anarmónicas que la secuencia imagen,

- 30
- Determinar (116) características geométricas del dispositivo de imagenología durante la adquisición de la proyección de la mira a partir de las posiciones de las proyecciones de marcadores detectadas y de las posiciones de los marcadores correspondientes respectivos.

35 11. Procedimiento de calibración según la reivindicación anterior, en el que la etapa de detección de las alineaciones se realiza aplicando una transformada de Hough a las posiciones de las proyecciones marcadores detectadas durante la etapa de detección de las proyecciones de los marcadores.

12. Procedimiento de fabricación de una mira de calibración según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, en el que los códigos binarios son porciones de una sucesión obtenida por medio de un LFSR de n bits.

40

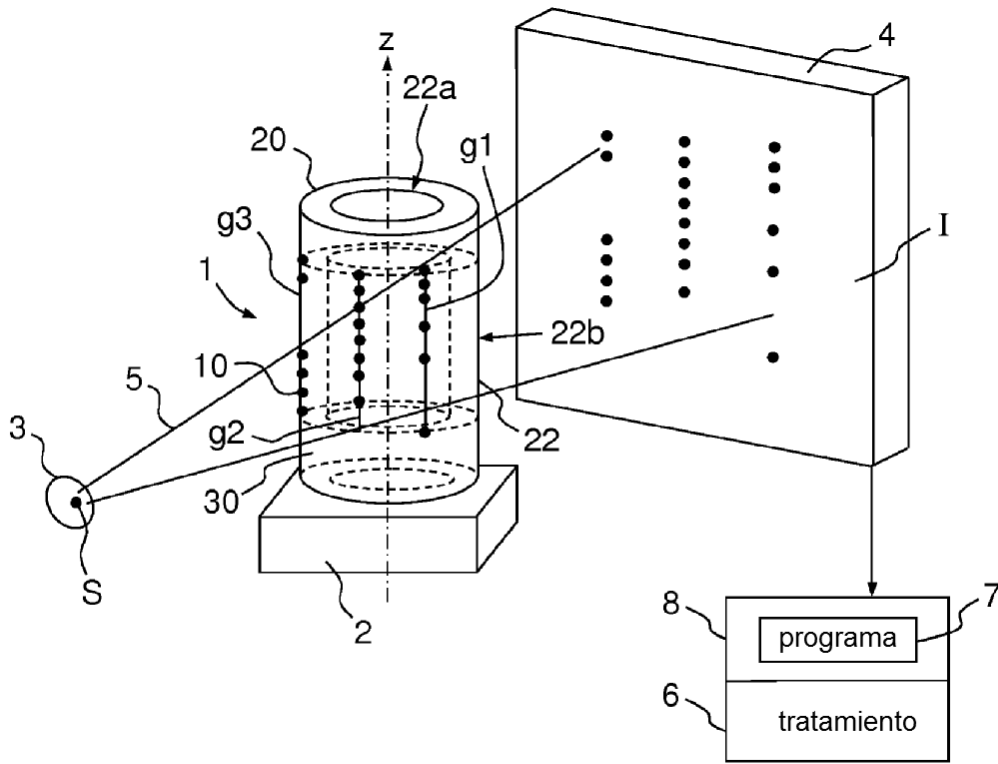


FIG. 1

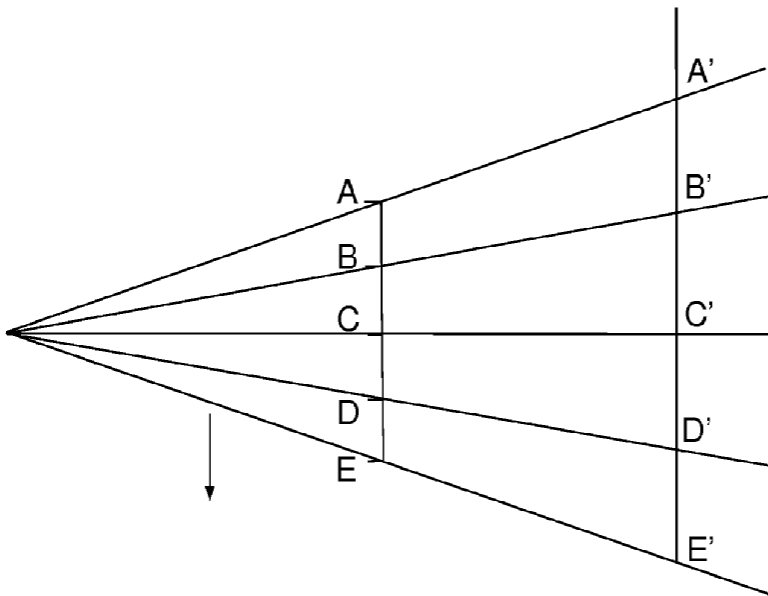


FIG. 2

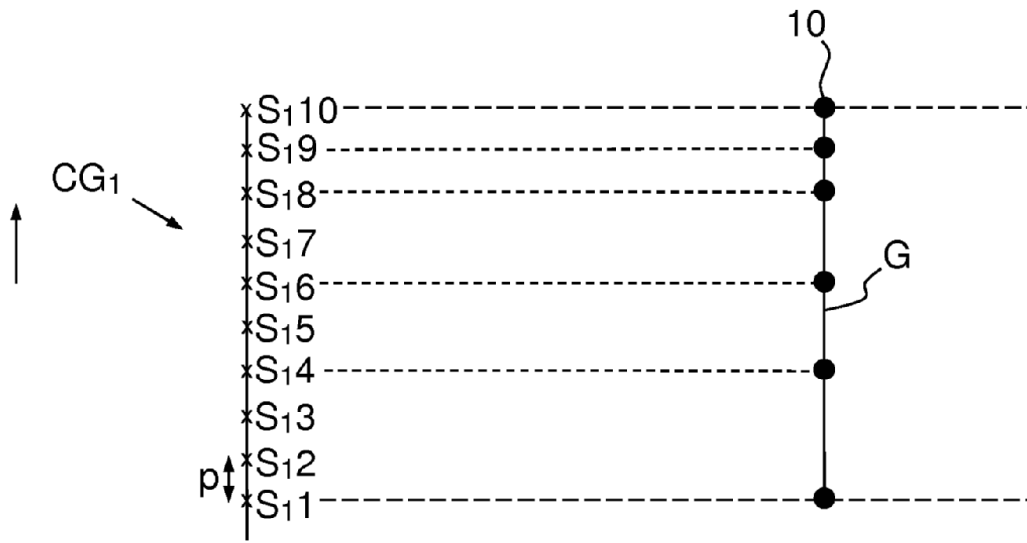


FIG.3a

FIG.3b

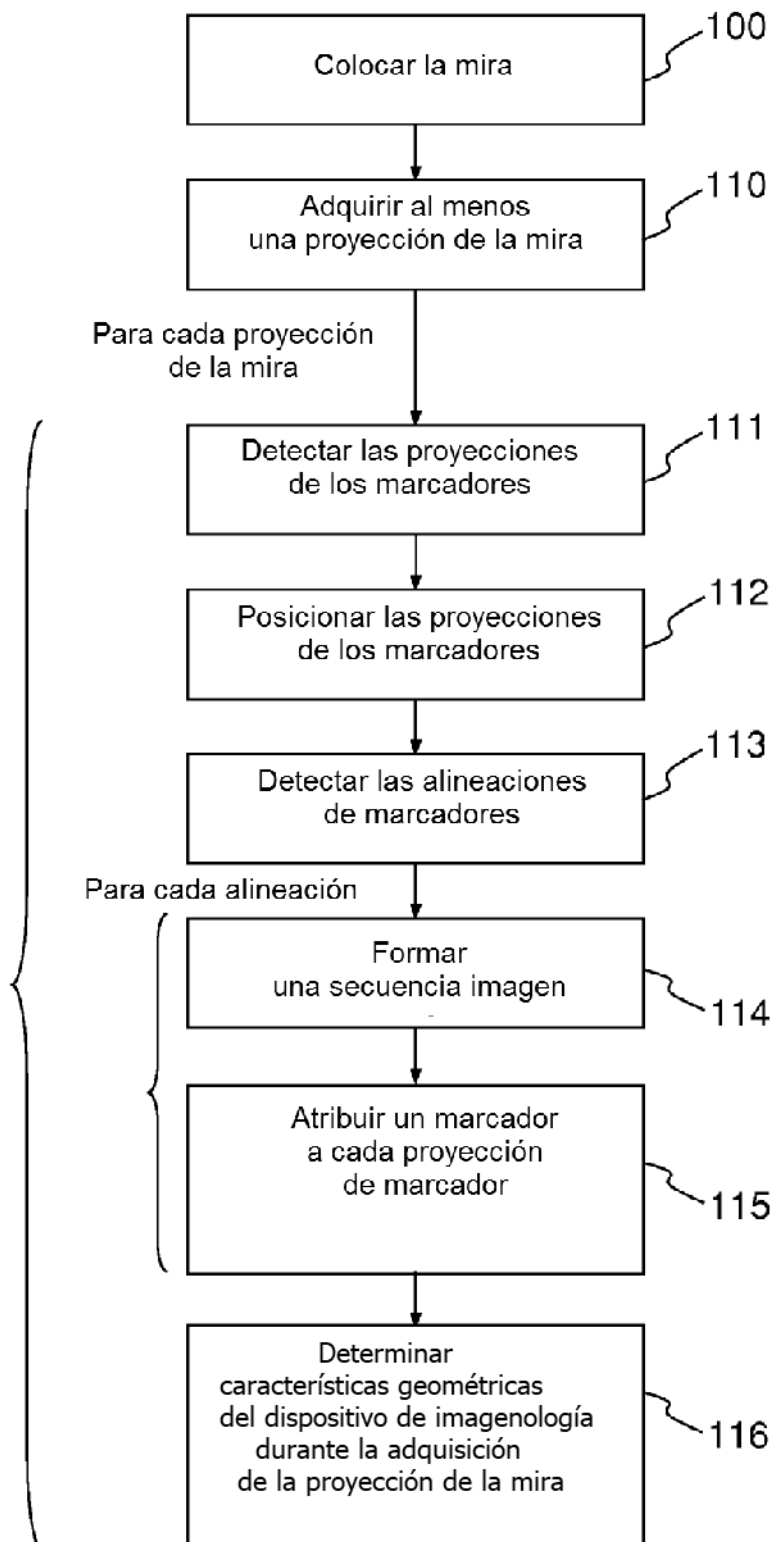


FIG.4