

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 298**

51 Int. Cl.:

**A61B 6/03** (2006.01)

**A61B 6/00** (2006.01)

**G06T 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2014** **E 14172167 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.08.2018** **EP 2862516**

54 Título: **Métodos y sistemas de adquisición de imágenes por TC**

30 Prioridad:

**14.06.2013 CN 201310234787**

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

**24.10.2018**

73 Titular/es:

**NUCTECH COMPANY LIMITED (100.0%)**  
**2nd Floor, Block A Tongfang Building**  
**Shuangqinglu**  
**Haidian District, Beijing 100084, CN**

72 Inventor/es:

**SHEN, LE;**  
**XING, YUXIANG;**  
**ZHANG, LI y**  
**CHEN, ZHIQIANG**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 687 298 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**

Métodos y sistemas de adquisición de imágenes por TC

**Referencia con la solicitud relacionada**

5 Esta solicitud reivindica prioridad para la solicitud de patente china N.º 201310234787.3, presentada el 14 de junio de 2013, titulada "CT Imaging Method and System" (Método y sistema de adquisición de imágenes por TC), que se incorpora en el presente documento por referencia en su totalidad.

**Campo técnico**

Las realizaciones de la presente divulgación se refieren a radiografía, y particularmente a métodos y sistemas de adquisición de imágenes por TC (Tomografía Computarizada) utilizando información estructural previa.

10 **Antecedentes**

Los sistemas de adquisición de imágenes por TC con rayos X se aplican generalmente en diversos campos, entre los que se incluyen el servicio médico, la inspección de seguridad y la detección industrial sin pérdida. A lo largo de determinadas pistas se captura una serie de datos de proyección a través de fuentes de rayos y detectores y después se restaura a través de un algoritmo de reconstrucción de imágenes para obtener una distribución espacial de los coeficientes de atenuación lineal de alguna sección de un objeto. La reconstrucción de imágenes se refiere a un proceso de restauración de coeficientes de atenuación originales a partir de datos integrales lineales de coeficientes de atenuación lineales, que es un problema de inversión. Actualmente, se utiliza principalmente un algoritmo convencional de retroproyección de filtro (FBP, del inglés *Filter Back Projection*) en aplicaciones reales, y este es un algoritmo analítico basado en el procesamiento de señales continuas. La tecnología de reconstrucción iterativa también consigue un desarrollo rápido con una aceleración en el procesamiento informático. Comparado con el algoritmo analítico, el algoritmo iterativo puede utilizarse en condiciones más diversificadas, y conseguir un resultado de reconstrucción satisfactorio incluso con diversas pistas de exploración no estándar, datos de proyección incompletos o ángulos limitados.

25 Recientemente, uno de los puntos conflictivos en la investigación de adquisición de imágenes por TC es un método de reconstrucción de imágenes por TC basado en la detección compresiva. De acuerdo con la teoría de la detección compresiva, si se cumplen algunas condiciones y una señal medida presenta dispersión en alguna transformada, la posibilidad de que pueda reconstruirse con precisión una señal original solo con unas pocas mediciones es muy alta. Suponiendo que la señal original tenga  $n$  componentes, y que hay  $m$  datos de medición, ¿cómo puede reconstruirse la señal  $x^*$  original?. La información previa y una buena "matriz de medición" son esenciales. En este caso, información previa se refiere a la dispersión de una transformada  $\Psi$ . Se requiere que el número de componentes distintos de cero de la señal después de la transformada dispersa no sea mayor que el número de veces que se realiza una medición incoherente de la señal:

$$\|\Psi x^*\|_0 < m \tag{1}$$

35 La matriz de medición debe ser lo más aleatoria posible. Una matriz aleatoria gaussiana, por ejemplo, puede ser una matriz de medición que satisfaga el requisito de aleatoriedad.

La señal original puede obtenerse resolviendo un problema de minimización de norma cero restringido. La solución más escasa en la norma cero puede obtenerse a partir de un conjunto de todas las soluciones factibles que satisfacen las condiciones de medición de datos:

$$x^* = \arg \min \{ \|\Psi x\|_0 : Ax = b \} \tag{2}$$

40 Sin embargo, el problema de optimización de norma cero es difícil de resolver, y por tanto, para aproximar el problema anterior generalmente se utiliza 1-norma:

$$x^* = \arg \min \{ \|\Psi x\|_1 : Ax = b \} \tag{3}$$

45 A menudo se utiliza la Variación Total (TV, *Total Variation*) como transformada dispersa en la reconstrucción por TC y se refiere a la integración del módulo de gradiente de una señal. El método fundamental de reconstrucción limitada por TV es obtener una solución que minimice la variación total de un conjunto de todas las soluciones factibles que cumplan con la fidelidad de los datos de medición de los datos de proyección de TC:

$$\begin{aligned} & \min \|\nabla x\|_1 \\ & \text{s.t. } Ax = b \end{aligned} \quad (4)$$

El método de reconstrucción basado en la restricción de la minimización de la TV obtiene excelentes efectos en el muestro disperso, baja dosis y problemas de reconstrucción interna. Salvo la dispersión como información previa, la información de una imagen previa también puede utilizarse para mejorar la calidad de la imagen reconstruida. Por ejemplo, un método de reconstrucción basado en detección compresiva restringida de imagen previa (PICCS, *prior image constrained compress sensing*) utiliza similitud entre imágenes previas y diana para la reconstrucción. Cuando una imagen diferencial  $x_p - x$  entre la imagen previa  $x_p$  y la imagen diana  $x$  tiene una dispersión, o se vuelve dispersa a través de una transformada, la imagen previa puede utilizarse para mejorar los efectos de reconstrucción. El método PICCS se ha aplicado satisfactoriamente en la adquisición de imágenes dinámicas cardiacas, adquisición de imágenes de perfusión, TC de doble energía, y TC de brazo con forma de C. El método PICCS requiere una alta similitud entre la imagen previa y la diana, especialmente una aproximación numérica entre sí. Como tal, la imagen diferencial puede tener mejor dispersión. El método PICCS no puede aplicarse cuando las imágenes previas y diana tienen una gran diferencia numérica, tal como una TC de doble energía del orden de MeV-keV (megaelectronvoltios-kiloelectronvoltios).

El documento de TIMOTHY P SZCZYKUTOWICZ ET AL: "Dual energy CT using slow kVp switching acquisition and prior image constrained compressed sensing; Dual energy CT using slow kVp switching acquisition and PICCS", PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL GB, vol. 55, n.º 21, 12 de octubre de 2010, páginas 6411-6429, se refiere a un método que permite realizar tomografía computarizada de energía doble (DECT, *dual energy computed tomography*) utilizando una sola fuente de rayos x con una adquisición de datos de cambio baja del orden de KVp. En este artículo, todos los datos de proyección KVp bajos y altos adquiridos se utilizaron para generar una imagen previa utilizando un método de FBP convencional. Después, se utilizó el algoritmo PICCS para reconstruir imágenes KVp tanto altas como bajas para permitir la descomposición del material en el dominio de la imagen.

El documento US 2011/150183 A1 se refiere a una técnica para la generación de datos de rayos x de energía doble utilizando una velocidad de muestreo de datos comparable a la velocidad utilizada para la adquisición de imágenes de energía sencilla. De acuerdo con esta técnica, se empleó una velocidad de cambio KVp reducida en comparación con la adquisición de imágenes de energía doble convencional. En las imágenes generadas se obtuvo una resolución angular completa.

El documento de CHEN GUANG-HONG ET AL: "Temporal resolution improvement using PICCS in MDCT cardiac imaging", MEDICAL PHYSICS, AIP, MELVILLE, NY, US, vol. 36, n.º 6, 8 de mayo de 2009, páginas 2130- 2135, se refiere a detección compresiva restringida de imagen previa (PICCS). Utilizando este método, pueden reconstruirse imágenes de TC cardiacas con precisión utilizando los datos de proyección adquiridos en un intervalo angular de aproximadamente 120°, que es aproximadamente el 50 % del intervalo angular de exploración corta estándar (~240° para un exploración de tipo MDCT (siglas del inglés *Multiple Detector Computed Tomography*, tomografía computarizada con multidetector).

El documento de HENGYONG YU ET AL: "Compressed sensing based interior tomography", PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL GB, vol. 54, n.º 9, 7 de mayo de 2009, páginas 2791-2805, se refiere a un algoritmo de reconstrucción interior iterativo que minimiza la variación total de una imagen reconstruida y evalúa el comportamiento en simulación numérica.

#### 40 Sumario de la divulgación

En vistas a uno o más problemas con la tecnología convencional, se proporciona un método y un sistema de adquisición de imágenes por TC basado en información estructural previa.

En un aspecto de la presente divulgación, se proporciona un método de adquisición de imágenes por TC de acuerdo con la reivindicación 1.

45 En un aspecto adicional de la presente divulgación, se proporciona un sistema de adquisición de imágenes por TC de acuerdo con la reivindicación 8.

Con las realizaciones anteriores que utilizan información estructural previa del objeto representado como una restricción en la reconstrucción, es posible reducir drásticamente una cantidad de datos necesaria para la reconstrucción. Además, la presente divulgación puede obtener efectos satisfactorios incluso con problemas mal condicionados de ángulo limitado y reconstrucción interna.

#### Breve descripción de los dibujos

Las siguientes figuras ilustran implementaciones de la presente invención. Las figuras e implementaciones proporcionan algunas realizaciones de la presente invención de una manera no limitativa y no exclusiva, en las que:

Las Figs. 1A a 1B muestran ejemplos de adquisición de imágenes y de información estructural previa, respectivamente, relacionados con el método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación;

La Fig. 2 es un diagrama esquemático que representa una exploración por TC de ángulo limitado utilizada en el método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación;

5 La Fig. 3 es un diagrama esquemático que representa una exploración por TC de muestreo de ángulo disperso utilizada en el método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación;

La Fig. 4 es un diagrama esquemático que representa una exploración por TC de reconstrucción interna utilizada en el método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación;

10 La Fig. 5 es un diagrama esquemático que representa una exploración por TC con submuestreo detector utilizada en el método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación;

La Fig. 6 es un diagrama esquemático que representa datos de proyección incompletos relacionados con el método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación;

La Fig. 7 muestra un resultado de simulación del método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación en la condición de exploración por TC de ángulo disperso;

15 La Fig. 8 muestra un resultado de simulación del método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación en la condición de exploración por TC de ángulo limitado;

La Fig. 9 muestra un resultado de simulación del método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación en la condición de exploración por TC con submuestreo detector;

20 La Fig. 10 es un diagrama esquemático que representa un detector TC de energía doble en la condición de exploración TC de ángulo limitado de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

La Fig. 11 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema TC de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación;

La Fig. 12 es un diagrama esquemático que representa un detector TC de energía doble en la condición de submuestreo detector de acuerdo con otra realización de la presente divulgación;

25 La Fig. 13 es un diagrama esquemático que representa un detector TC de energía doble en la condición de reconstrucción interna de acuerdo con una realización adicional de la presente divulgación;

La Fig. 14 ilustra un flujograma de un método de adquisición de imágenes por TC de acuerdo con una realización de la presente divulgación; y

30 La Fig. 15 ilustra un flujograma de un método de adquisición de imágenes por TC de acuerdo con otra realización de la presente divulgación.

### Descripción detallada

A continuación, se detallarán realizaciones particulares de la presente invención. Debe tenerse en cuenta que las realizaciones descritas pretenden únicamente ilustrar y no limitar la presente invención. Para tener una comprensión clara y completa de la presente invención se ilustran numerosos detalles específicos. Para los expertos en la técnica es obvio que estos detalles específicos no son necesarios para la implementación de la presente invención. Se omite la descripción detallada de circuitos, materiales o métodos conocidos ya que podría dar lugar a confusiones en la presente invención.

A lo largo de la memoria descriptiva, la referencia a “una realización”, “realizaciones”, un ejemplo “o ejemplos” significa que los aspectos, estructuras o características particulares descritos en relación con dicha realización o ejemplo, están contenidas en al menos una realización de la presente invención. La frase “una realización”, “realizaciones”, “un ejemplo” o “ejemplos” en varios lugares a lo largo de la memoria descriptiva, no se refiere necesariamente a la misma realización o al mismo ejemplo. Además, los aspectos, estructuras o características particulares pueden estar contenidos en una o más realizaciones o ejemplos en cualquier combinación y/o subcombinación apropiada. Los expertos en la técnica apreciarán que, en el presente documento, el término “y/o” indica cualquiera o todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados.

En vista de los problemas con la tecnología convencional, las realizaciones de la presente invención proporcionan la reconstrucción de una imagen de un objeto a partir de datos de proyección completos o incompletos utilizando como restricción información estructural previa. Por ejemplo, la información estructural previa puede utilizarse para restringir la imagen durante el proceso de reconstrucción de TC, de tal manera que la reconstrucción puede implementarse con datos completos o incompletos garantizando la calidad de la imagen. En algunas realizaciones, la información estructural de una imagen puede referirse a información sobre límites y detalles que tienen una

diferencia de escala de grises obvia en la imagen. La información estructural se utiliza principalmente en la extracción y segmentación de bordes de imágenes. La Figura 1B muestra información estructural extraída de la imagen de la Figura 1A, por ejemplo, utilizando el operador de Laplace, operador de Candy, la transformada de gradiente discreto o umbralización adaptativa. En algunas realizaciones, la información estructural previa puede indicar una estructura que tiene una alta similitud con la de una imagen diana, sin importar si la imagen previa tiene un intervalo dinámico numérico similar al de la imagen diana.

En algunas realizaciones del método de adquisición de imágenes por TC, se explora un objeto por TC con un sistema TC de energía doble para obtener un primer conjunto completo de datos de proyección en un primer modo de exploración, y para obtener un segundo conjunto incompleto de datos de proyección en un segundo modo de exploración. Una primera imagen de coeficiente de atenuación del objeto se reconstruye a partir del primer conjunto de datos de proyección, y la información estructural previa del objeto se extrae de la primera imagen del coeficiente de atenuación. La información estructural previa indica la intensidad del borde. Después, se reconstruye una segunda imagen del coeficiente de atenuación del objeto a partir del segundo conjunto incompleto de datos de proyección utilizando como restricción la información estructural previa extraída. En estas realizaciones, la información estructural previa puede obtenerse utilizando una de las imágenes de baja energía o alta energía adquiridas en el sistema TC de energía doble, y después la información estructural previa puede utilizarse como restricción para reconstruir una imagen en cualquier otro nivel de energía. De esta manera, puede reconstruirse una imagen de alta calidad a partir de datos de proyección incompletos.

En algunas otras realizaciones del método de adquisición de imágenes por TC, la información estructural previa de un objeto se extrae de una primera imagen que refleja una estructura interna del objeto. La información estructural previa indica la intensidad del borde. El objeto se explora mediante TC con un sistema Tc para obtener un conjunto de datos de proyección. A continuación, se reconstruye una segunda imagen del objeto a partir del conjunto de datos de proyección utilizando como restricción la información estructural previa extraída. En estas realizaciones, la primera imagen puede ser una imagen adquirida a partir de un proceso de adquisición de imágenes por TC previo del objeto, o una imagen extraída a partir de imágenes seccionales similares, o una imagen generada artificialmente, tal como una imagen cianográfica realizada manualmente (por ejemplo, un diseño cianográfico asistido por ordenador "Computer-Assisted-Design blueprint). La imagen para extraer la información estructural previa puede ser cualquier imagen que pueda reflejar la estructura interna de un objeto.

En diversos campos, tales como la detección sin pérdida, el diagnóstico médico y la inspección de seguridad, pueden aplicarse soluciones de acuerdo con algunas realizaciones. Con algunas realizaciones de la presente divulgación que utilizan información estructural del objeto reconstruido como información previa, es posible reducir drásticamente una cantidad de datos de proyección requeridos para la reconstrucción de imágenes, sin ningún requisito sobre el intervalo dinámico numérico de la imagen previa. Los métodos de la presente divulgación pueden utilizarse para resolver problemas de calidad de reconstrucción de imágenes debido a datos incompletos, tales como el problema de exploración TC de ángulo limitado de la Figura 2, el problema de exploración TC de muestreo de ángulo disperso de la Figura 3, el problema de exploración TC de reconstrucción interna de la Figura 4, y el problema de exploración por TC con submuestreo detector de la Figura 5, y conseguir efectos satisfactorios. Los expertos en la técnica apreciarán que las realizaciones de la presente divulgación pueden aplicarse a diversos campos tales como el diagnóstico médico, la detección industrial sin pérdida y la inspección de seguridad.

Durante la reconstrucción de una imagen a partir de datos de proyección incompletos utilizando como restricción información estructural previa, puede utilizarse un método de cálculo iterativo, tal como el método de la Técnica de Reconstrucción Algebraica (ART, del inglés *Algebra Reconstruction Technique*). Si una imagen diana se representa como  $\mathbf{f} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ , los datos de proyección obtenidos por exploración TC se representan como

$\mathbf{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ , un proceso de proyección integral lineal se representa como  $\mathbf{H} = \{h_{ij}\}_{m \times n}$ , y una varianza de

ruido de los datos de proyección se representa como  $\sigma^2 = \{\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_m^2\}$ , el problema de reconstrucción mediante iteración estadística directa se convertirá en un problema de mínimos cuadrados ponderados con un peso que es el inverso de la varianza del ruido de los datos de proyección:

$$\min \|\mathbf{Hf} - \mathbf{p}\|_{\mathbf{W}} = \min (\mathbf{Hf} - \mathbf{p})^T \mathbf{W} (\mathbf{Hf} - \mathbf{p}) \quad (5)$$

"T" representa transposición. Una matriz ponderada  $\mathbf{W}$  refleja características de ruido de los datos de proyección y normalmente puede tomar:

$$\mathbf{W} = \text{diag}^{-1}(\sigma^2) = \text{diag} \left( \frac{1}{\sigma_1^2}, \frac{1}{\sigma_2^2}, \dots, \frac{1}{\sigma_m^2} \right) \quad (6)$$

Si el número de ecuaciones en el sistema de ecuaciones anterior es menor que el número de variables desconocidas, el sistema de ecuaciones no tiene una solución única. En este caso, es necesario añadir restricciones

adicionales para obtener una solución única. Si como restricción se utiliza la minimización de la variación total (TV), se obtendrá un problema de optimización de la siguiente manera:

$$\min TV(\mathbf{f}) = \min \|\nabla \mathbf{f}\|_1 \quad s.t. \quad \|\mathbf{H}\mathbf{f} - \mathbf{p}\|_{\mathbf{W}} \leq \varepsilon \quad (7)$$

5 Donde la variación total puede aproximarse calculando una suma de módulos de gradiente distintos de píxeles respectivos en la imagen:

$$TV(\mathbf{f}) = \|\nabla \mathbf{f}\|_1 = \sum_{s,t} \sqrt{(f_{s,t} - f_{s,t-1})^2 + (f_{s,t} - f_{s-1,t})^2} \quad (8)$$

10 El método de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación introduce el uso de información estructural previa como restricción. La información estructural de una imagen en este caso se refiere a información sobre límites y detalles que tienen diferencias de escala de grises obvias en la imagen. La información estructural extraída se utiliza principalmente en la extracción y segmentación del borde de la imagen, tal como la extracción del borde de imagen utilizando un umbral adaptativo.

15 Permitiendo que la información estructural previa de una imagen sea  $\mathbf{g} = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ , se genera una matriz ponderada a partir de la formación estructural previa como  $\mathbf{G} = \text{diag}(\mathbf{g}) = \text{diag}\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ . La magnitud del peso refleja la intensidad del borde. Un peso más grande representa una región más plana y, por tanto, la suavización de la TV es más fuerte; un peso más pequeño representa que la región es de borde y no debe ser suavizada por la TV. Como tal, el problema de optimización puede estar en la siguiente forma:

$$\min \|\mathbf{G}\nabla \mathbf{f}\|_1 + \lambda \|\nabla \mathbf{f}\|_1 = \min \|(\mathbf{G} + \lambda \mathbf{I})\nabla \mathbf{f}\|_1 \quad s.t. \quad \|\mathbf{H}\mathbf{f} - \mathbf{p}\|_{\mathbf{W}} \leq \varepsilon \quad (9)$$

20 En este caso,  $\varepsilon$  es una cantidad relacionada con un nivel global de ruido en los datos de proyección, y  $\lambda$  es para equilibrar la restricción de información estructural previa y la restricción TV. La información estructural previa es la restricción dominante cuando  $\lambda \leq 1$ , aunque la minimización de TV es la restricción dominante cuando  $\lambda > 1$ . La matriz ponderada  $\mathbf{W}$  refleja el ruido característico de los datos de proyección e  $\mathbf{I}$  es la matriz de identidad.

En una realización, el problema de la ecuación (9) puede resolverse principalmente en las siguientes etapas.

1) Extraer información estructural previa. La información estructural previa puede obtenerse a partir de una imagen previa a través de la extracción del borde, y después someterse a un preprocesamiento necesario (por ejemplo, suavizando, eliminando ruido, eliminando puntos aislados). Después, se calcula G.

2) Estimar una varianza de ruido a partir de datos de proyección, calcular  $\mathbf{W}$  y  $\varepsilon$  ( $\mathbf{W}$  puede ser una matriz de identidad si es imposible estimar el ruido) y seleccionar un peso  $\lambda$  para la restricción TV.

3) Establecer un valor inicial para la interacción como  $\mathbf{f}^0$ .

30 4) Realizar la actualización del elemento de fidelidad, por ejemplo, una ronda de actualización utilizando el algoritmo de reconstrucción iterativa ART:

$$\mathbf{f}_{fit}^{k+1} = \mathbf{f}_{fit}^k + w_{jj} \frac{p_j - \mathbf{H}_j \mathbf{f}_{fit}^k}{\|\mathbf{H}_j\|^2} \mathbf{H}_j^T \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

En otras realizaciones, para una ronda de actualización, puede utilizarse la técnica de reconstrucción algebraica simultánea (SART, *Simultaneous Algebra reconstruction Technique*).

35 5) Realizar una actualización con restricción no negativa para establecer todos los puntos que tienen un valor menor que cero en el resultado de la iteración ART en cero:

$$\mathbf{f}_{pos}^{k+1} = \max(\mathbf{0}, \mathbf{f}^{k+1}) \quad (11)$$

6) Realizar una actualización con restricción de información estructural previa para reducir el valor de TV ponderado de la imagen:

$$\mathbf{f}_{cons}^{k+1} = \mathbf{f}_{cons}^{k+1} + \alpha \nabla \left( \left\| (\mathbf{G} + \lambda \mathbf{I}) \nabla \mathbf{f}_{pos}^{k+1} \right\|_1 \right) \quad (12)$$

Donde "a" representa un tamaño de etapa de la disminución más rápida en la TV ponderada.

5 7) Dejar  $\mathbf{f}_{fit}^{k+1} = \mathbf{f}_{cons}^{k+1}$ , y realizar las etapas 4) ~ 6) de nuevo; y repetir la iteración hasta que se cumpla una condición de convergencia (por ejemplo,  $\left\| \mathbf{f}_{fit}^* - \mathbf{f}_{cons}^* \right\| \leq \varepsilon_{stop}$ , donde  $\varepsilon_{stop}$  representa un umbral para detener la iteración).

En la etapa 4),  $\mathbf{H}_j$  representa la línea jth de la matriz  $\mathbf{H}$ , y  $w_{jj}$  representa el elemento diagonal jth de la matriz  $\mathbf{W}$ . Además de la extracción del borde, la información estructural previa puede obtenerse de cualquier otra manera, tal como a partir de un diseño cianográfico asistido por ordenador.

10 Con las realizaciones del método anterior de la presente divulgación que utilizan información estructural previa del objeto representado como una restricción en la reconstrucción, es posible reducir drásticamente una cantidad de datos requerida para la reconstrucción. Adicionalmente, la presente divulgación puede conseguir efectos satisfactorios incluso con problemas mal condicionados de reconstrucción interna y ángulo limitado. Las realizaciones de la presente divulgación pueden proporcionar una disminución en el número de detectores, y por tanto una reducción de costes en la fabricación de sistemas de TC. Las realizaciones de la presente divulgación permiten estrechar la cobertura de ángulo para reducir un espesor de la capa a lo largo del eje z y mejorar la resolución temporal, y realizar imágenes locales para reducir la dosis de radiación y así tener una alta practicabilidad y una amplia gama de aplicaciones. Las Figuras 2 a 5 ilustran cuatro modos de exploración con TC en los que puede aplicarse el método de la presente divulgación. La Figura 6 muestra posiciones de muestreo reales en un dominio de proyección para los datos obtenidos en estos modos de exploración. La Fig. 7 muestra un resultado de simulación de reconstrucción con el método de la presente divulgación en el caso del modo de muestreo de ángulo disperso y la Figura 8 muestra un resultado de simulación de reconstrucción con el método de la presente divulgación en el caso del modo de exploración de ángulo limitado. La Fig. 9 muestra un resultado de simulación con el método y sistema de la presente divulgación en el caso del modo de exploración por TC con submuestreo detector.

La Figura 2 es un diagrama esquemático que representa una exploración por TC de ángulo limitado utilizada en el método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación.

30 Como se muestra en la Fig. 2, los rayos X emitidos a partir de una fuente de rayos 10 penetra en un objeto 40 en un campo de visión 45 y los recibe un detector 30. Los rayos X recibidos se convierten en una señal eléctrica, y adicionalmente en una señal digital indicativa de valor de atenuación. La señal digital se utiliza como datos de proyección para la reconstrucción en un ordenador. Si se conoce la información estructural previa del objeto, puede reconstruirse una imagen de alta calidad incluso cuando el objeto 40 se explora mediante TC a un ángulo limitado (por ejemplo, 130 grados).

35 La Fig. 3 es un diagrama esquemático que representa una exploración por TC de muestreo de ángulo disperso utilizada en un método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación.

40 Como se muestra en la Fig. 3, los rayos X emitidos a partir de una fuente de rayos 10 penetra en el objeto 40 en un campo de visión 45 y los recibe un detector 30. Los rayos X recibidos se convierten en una señal eléctrica, y adicionalmente en una señal digital indicativa de valor de atenuación. La señal digital se utiliza como datos de proyección para la reconstrucción en un ordenador. Si se conoce la información estructural previa del objeto, puede reconstruirse una imagen de alta calidad incluso cuando el objeto 40 se explora mediante TC a múltiples posiciones de rotación (por ejemplo, 130 grados). De esta manera, puede reconstruirse una imagen de alta calidad a partir de datos de proyección incompletos incluso si el objeto está bajo una exploración por TC de ángulo disperso.

La Fig. 4 es un diagrama esquemático que representa una exploración por TC de reconstrucción interna utilizada en un método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación.

45 Como se muestra en la Fig. 4, los rayos X emitidos a partir de la fuente de rayos 10 penetra en un objeto 40 en un campo de visión 45, y los recibe un detector 30. Los rayos X recibidos se convierten en una señal eléctrica, y adicionalmente en una señal digital indicativa de valor de atenuación. La señal digital se utiliza como datos de proyección para la reconstrucción en un ordenador. Si se conoce la información estructural previa del objeto, puede reconstruirse una imagen de alta calidad incluso cuando el objeto 40 se explora por TC en un modo de reconstrucción interna.

50 La Fig. 5 es un diagrama esquemático que representa una exploración por TC con submuestreo detector utilizada en un método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación.

Como se muestra en la Fig. 5, los rayos X emitidos a partir de la fuente de rayos 10 penetra en un objeto 40 en un campo de visión 45, y los recibe un detector 30. Los rayos X recibidos se convierten en una señal eléctrica y adicionalmente en una señal digital e indicativa de valor de atenuación. La señal digital se utiliza como datos de proyección para la reconstrucción en un ordenador. En este ejemplo, el detector 30 se dispone para el submuestreo, por ejemplo, separando unidades detectoras respectivas entre sí a través de una distancia predefinida. Si se conoce la información estructural previa del objeto, puede reconstruirse una imagen de alta calidad incluso cuando el objeto 40 se explora por TC en el estado de submuestreo detector.

La Figura 6 es un diagrama esquemático que representa datos de predicción incompletos relacionados con el método y sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación. Como se muestra en la Fig. 6, todos los datos de proyección obtenidos a partir de la exploración por TC de muestreo de ángulo disperso, la exploración por CT de ángulo limitado, la exploración por TC de submuestreo detector y la exploración por TC de reconstrucción interna, son incompletos. Conociendo la información estructural previa, puede reconstruirse una imagen de alta calidad incluso a partir de dichos datos de proyección incompletos.

El diagrama de la derecha de la Figura 7, muestra un resultado de simulación obtenido utilizando el método de la presente divulgación en la exploración por TC de muestreo de ángulo disperso, y el diagrama de la izquierda muestra un resultado de simulación obtenido utilizando un método de reconstrucción convencional. El diagrama de la derecha de la Figura 8 muestra un resultado de simulación obtenido utilizando el método de la presente divulgación en la exploración por TC de ángulo limitado, y el diagrama de la izquierda muestra un resultado de simulación obtenido utilizando el método de reconstrucción convencional. El diagrama de la derecha de la Figura 9 muestra un resultado de simulación obtenido utilizando el método de la presente divulgación en la exploración por TC de submuestreo detector y el diagrama de la izquierda muestra un resultado de simulación obtenido utilizando el método de reconstrucción convencional.

La Figura 10 es un diagrama esquemático que representa un detector de TC de energía doble en la condición de exploración de ángulo limitado de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

El sistema TC de energía doble incluye filas múltiples de detectores de baja energía 20, y de detectores de alta energía 30 dispuestos detrás de parte de las filas de detectores de baja energía. En un primer modo de exploración puede obtenerse un primer conjunto completo de datos de proyección. En particular, puede realizarse una exploración por TC helicoidal o circular de 360 grados sobre un objeto con rayos a un primer nivel de energía para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección. En un segundo modo de exploración puede obtenerse un segundo conjunto incompleto de datos de proyección. En particular, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección puede realizarse una exploración por TC de ángulo limitado sobre el objeto con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía. En el sistema TC helicoidal de energía doble de bajo coste, como se muestra en la Figura 10, hay múltiples filas de detectores que incluyen menos filas de detectores de alta energía que de detectores de baja energía, para reducir el coste del sistema. Por ejemplo, hay 3 filas de detectores de baja energía, y 1 fila de detectores de alta energía. Cuando los detectores de baja energía recopilan datos completos, los detectores de alta energía recopilan solo 1/3 de los datos completos, es decir, cubren solo un intervalo de ángulo limitado de 120 grados. El coeficiente de atenuación de baja energía resultante reconstruido a partir de los datos completos de baja energía puede utilizarse como una imagen previa a partir de la cual puede extraerse información estructural. Con el método de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación, la información estructural puede utilizarse para restringir un problema de reconstrucción de ángulo limitado a un nivel de alta energía, y después obtener un resultado de reconstrucción de coeficiente de atenuación de alta energía. La integral del efecto fotoeléctrico y la integral del efecto de Compton obtenidas a partir de la descomposición de los datos de energía doble, también son datos incompletos de ángulo limitado. El método descrito en la presente divulgación puede utilizarse para reconstruir el coeficiente fotoeléctrico y el coeficiente de Compton y adicionalmente para obtener información sobre el número atómico y la densidad electrónica del material.

En el sistema de adquisición de imágenes por TC de acuerdo con algunas realizaciones, la fuente de rayos 10 genera rayos X de energía doble. Los dispositivos de detección y recogida 20 y 30 reciben rayos X de energía doble que penetran en el objeto. El dispositivo de control controla la fuente de rayos y los dispositivos de detección y recogida para la exploración por TC del objeto para obtener un primer conjunto completo de datos de proyección en un primer modo de exploración, y para obtener un segundo conjunto incompleto de datos de proyección en un segundo modo de exploración. El dispositivo de reconstrucción se configura para reconstruir una primera imagen de coeficiente de atenuación del objeto a partir del primer conjunto de datos de proyección, para extraer, de la primera imagen de coeficiente de atenuación, información estructural previa del objeto indicando la intensidad del borde y reconstruir una segunda imagen de coeficiente de atenuación del objeto a partir del segundo conjunto incompleto de datos de proyección utilizando como una restricción la información estructural previa extraída.

La Fig. 11 es un diagrama en bloque esquemático que representa un dispositivo de TC de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación. El dispositivo de TC incluye una fuente de rayos X 10, un dispositivo y controlador de movimiento mecánico y un sistema de recogida de datos y detector.

La fuente de rayos X 10 puede ser, por ejemplo, un aparato de rayos X. Para la adquisición de imágenes, puede seleccionarse un tamaño de mancha focal adecuado para el aparato de rayos X dependiendo de una resolución. El

dispositivo y controlador de movimiento mecánico puede incluir una mesa 50, un estante para el aparato de rayos X y el detector, y un sistema de control. La mesa 50 puede ser trasladable para ajustar una posición de un centro de rotación, y el estante puede ser trasladable de tal manera que el aparato de rayos X y los detectores 20, 30 se alienan con el centro de rotación. La realización se describe de manera que la mesa gira, mientras que la pista de exploración circular o pista helicoidal del estante se fija. La mesa y el estante se mueven una con respecto al otro, y la presente realización también puede implementarse en el caso de que la mesa sea estática mientras que el estante gira.

El sistema de recogida de datos y detector 20 y 30 puede incluir detectores de rayos X de baja energía 20 y detectores de alta energía 30 dispuestos detrás de parte de los detectores de baja energía. Los componentes de recogida de datos pueden incluir un circuito de lectura, un circuito de activación de recogida, un circuito de transferencia de datos y similares.

El aparato de control y reconstrucción 60 puede incluir un controlador y un dispositivo de reconstrucción. El controlador se configura para controlar las operaciones del sistema de TC incluyendo la rotación mecánica, el control eléctrico, control de bloqueo de seguridad y similares. El dispositivo de reconstrucción se configura para la reconstrucción de imágenes a partir de los datos de proyección.

Aunque las realizaciones anteriores ilustran la situación de energía doble, la presente divulgación no se limita a esto, y la energía doble puede no aplicarse con conocimiento de información estructural previa. En el sistema de adquisición de imágenes por TC de la realización, la fuente de rayos genera rayos X. El dispositivo detector y de recogida recibe rayos X de energía doble que penetran en un objeto. El dispositivo de control controla la fuente de rayos y el dispositivo de recogida y detección para la exploración por TC del objeto para obtener un conjunto de datos de proyección. El dispositivo de reconstrucción extrae información estructural previa del objeto a partir de una primera imagen que refleja una estructura interna del objeto, en el que la información estructural previa indica intensidad de borde y reconstruye una segunda imagen del objeto a partir del conjunto de datos de proyección utilizando como restricción la información estructural previa extraída.

La Figura 12 muestra la implementación de otro sistema de TC de energía doble de bajo coste. El sistema de TC de energía doble puede incluir al menos una fila de detectores de baja energía, y una pluralidad de detectores de alta energía que se proporciona uniformemente detrás de parte de los detectores de baja energía. En un primer modo de exploración puede obtenerse un primer conjunto completo de datos de proyección. En particular, puede realizarse una exploración por TC helicoidal o circular de 360 grados en un objeto con rayos a un primer nivel de energía, para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección. En un segundo modo de exploración puede obtenerse un segundo conjunto incompleto de datos de proyección. En particular, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección, puede realizarse una exploración por TC de submuestreo detector en el objeto con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía. En el sistema puede haber filas de detectores sencillas o múltiples. La exploración puede realizarse a lo largo de una pista circular o helicoidal en el sistema. El número de unidades detectoras de baja energía puede cumplir con el requisito de recopilar datos completos de baja energía. El número de las unidades detectoras de alta energía puede reducirse, de manera que, por ejemplo, se proporciona una unidad detectora de alta energía por 10 unidades detectoras de baja energía. Como tal, el número de unidades detectoras de alta energía es solamente el 10 % de las unidades detectoras de baja energía, reduciendo por lo tanto el coste del sistema. Con dicha disposición de detectores, los datos de baja energía son completos y pueden utilizarse para reconstruir una imagen de alta calidad de coeficiente de atenuación de baja energía, a partir de la cual puede extraerse información estructural. Los datos de alta energía se submuestran, y el método de la presente divulgación puede utilizarse para resolver el problema de reconstrucción en la condición de submuestreo detector, para obtener un resultado de reconstrucción del coeficiente de atenuación de alta energía. La integral del efecto fotoeléctrico y la integral del efecto Compton obtenidas a partir de la descomposición de los datos de energía doble son también datos incompletos del mismo tipo que los datos de alta energía. El método descrito en la presente divulgación puede utilizarse para reconstruir el coeficiente fotoeléctrico y el coeficiente de Compton y obtener adicionalmente información sobre el número atómico y la densidad electrónica del material.

La Figura 13 muestra la implementación de un sistema adicional de TC de energía doble de bajo coste. El sistema de TC de energía doble puede incluir al menos una fila de detectores de baja energía, y una pluralidad de detectores de alta energía que se concentra y se proporciona detrás de parte de los detectores de baja energía. En un primer modo de exploración puede obtenerse un primer conjunto completo de datos de proyección. En particular, puede realizarse una exploración por TC helicoidal o circular de 360 grados en un objeto con rayos a un primer nivel de energía, para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección. En un segundo modo de exploración puede obtenerse un segundo conjunto incompleto de datos de proyección. En particular, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección, puede realizarse una exploración por TC de reconstrucción interna en el objeto con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía. En el sistema puede haber filas sencillas o múltiples de detectores. La exploración puede realizarse a lo largo de una pista circular o helicoidal en el sistema. El número de unidades detectoras de baja energía puede cumplir con el requisito de recopilar datos completos de baja energía. El número de unidades detectoras de alta energía puede reducirse, por ejemplo, eliminando parte de las unidades detectoras dispuestas cerca de los bordes o en los dos bordes, y manteniendo parte de las unidades detectoras cerca del centro o en el centro. En un ejemplo, las unidades detectoras de alta energía se proporcionan detrás de solo el 25 % de las unidades detectoras de baja energía que están cerca del

centro. Como tal, el número de unidades detectoras de alta energía es solo el 25 % de las unidades detectoras de baja energía, reduciendo por lo tanto el coste del sistema. Con dicha disposición de detectores, los datos de baja energía son completos y pueden utilizarse para reconstruir una imagen de alta calidad del coeficiente de atenuación de baja energía a partir del cual puede extraerse información estructural. Los datos de alta energía se truncan en ambos extremos, dando como resultado el problema de reconstrucción interna. El método de la presente divulgación puede utilizarse para resolver el problema de reconstrucción interna para obtener un resultado de reconstrucción de coeficiente de atenuación de alta energía. La integral del efecto fotoeléctrico y la integral del efecto de Compton obtenidas a partir de la descomposición de los datos de energía doble, también están truncadas en ambos extremos. El método descrito en la presente divulgación puede utilizarse para reconstruir el coeficiente fotoeléctrico y el coeficiente de Compton y obtener adicionalmente información sobre el número atómico y la densidad electrónica del material.

En las diversas realizaciones anteriores, parte de las unidades detectoras de alta energía puede reemplazarse con detectores fabricados de diferentes materiales cristalinos, y pueden añadirse láminas de filtro de diferentes materiales (tales como metales incluyendo Cu, Ti o Ta) entre los detectores de alta y baja energía. Por consiguiente, los detectores formados de diferentes materiales cristalinos y materiales de filtro, tienen diferentes respuestas espectrales, y es posible obtener datos que tengan dos o más espectros de sistema diferentes. Con dicha disposición de detectores, los datos de baja energía recogidos en el sistema son completos, mientras que los dos o más tipos de datos de alta energía son incompletos. Puede seleccionarse un tipo de los datos de alta energía para su uso con los datos de baja energía para la reconstrucción por el método de la presente divulgación. Todos los datos pueden utilizarse simultáneamente para la reconstrucción de los coeficientes de atenuación a tres o más niveles de energía.

La Figura 14 ilustra un flujograma de un método de adquisición de imágenes por TC de acuerdo con una realización de la presente divulgación. Como se muestra en la Fig. 14, en la etapa S141, un objeto se explora por TC mediante un sistema TC de energía doble para obtener un primer conjunto completo de datos de proyección en un primer modo de exploración y para obtener un segundo conjunto incompleto de datos de proyección en un segundo modo de exploración.

En la etapa S142, se reconstruye una primera imagen de coeficiente de atenuación del objeto a partir del primer conjunto de datos de proyección y a partir de la primera imagen de coeficiente de atenuación, se extrae información estructural previa del objeto que indica la intensidad de borde.

En la etapa S143, se reconstruye una segunda imagen de coeficiente de atenuación del objeto a partir del segundo conjunto incompleto de datos de proyección utilizando como restricción la información estructural previa extraída.

En algunas realizaciones, el sistema de TC de energía doble incluye múltiples filas de detectores de baja energía, y detectores de alta energía dispuestos detrás de parte de las filas de detectores de baja energía. En un primer modo de exploración puede obtenerse un primer conjunto completo de datos de proyección. En particular, para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección puede realizarse una exploración TC helicoidal o circular de 360 grados en un objeto con rayos a un primer nivel de energía. En un segundo modo de exploración puede obtenerse un segundo conjunto incompleto de datos de proyección. En particular, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección, puede realizarse una exploración TC de ángulo limitado en el objeto con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía.

En algunas realizaciones, el sistema de TC de energía doble incluye múltiples detectores de baja energía y múltiples detectores de alta energía dispuestos detrás de los detectores de baja energía. En un primer modo de exploración puede obtenerse un primer conjunto completo de datos de proyección. En particular, para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección puede realizarse una exploración CT helicoidal o circular de 360 grados en un objeto con rayos a un primer nivel de energía. En un segundo modo de exploración puede obtenerse un segundo conjunto incompleto de datos de proyección. En particular, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección, puede realizarse una exploración TC de muestreo de ángulo disperso en el objeto con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía.

En algunas realizaciones, el sistema de TC de energía doble puede incluir al menos una fila de detectores de baja energía y una pluralidad de detectores de alta energía que se proporcionan uniformemente detrás de parte de los detectores de baja energía. En un primer modo de exploración puede obtenerse un primer conjunto completo de datos de proyección. En particular, para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección, puede realizarse una exploración TC helicoidal o circular de 360 grados en un objeto con rayos a un primer nivel de energía. En un segundo modo de exploración puede obtenerse un segundo conjunto incompleto de datos de proyección. En particular, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección. En el objeto puede realizarse una exploración TC de submuestreo detector con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía.

En algunas realizaciones, el sistema de TC de energía doble puede incluir al menos una fila de detectores de baja energía y una pluralidad de detectores de alta energía que están concentrados y proporcionados detrás de parte de los detectores de baja energía. En un primer modo de exploración puede obtenerse un primer conjunto completo de

- datos de proyección. En particular, para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección, puede realizarse una exploración por TC helicoidal o circular de 360 grados centígrados en un objeto con rayos a un primer nivel de energía. En un segundo modo de exploración puede obtenerse un segundo conjunto incompleto de datos de proyección. En particular, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección, puede realizarse una exploración por TC de reconstrucción interna en el objeto con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía.
- En algunas realizaciones, la etapa de extraer información estructural previa del objeto a partir de la primera imagen del coeficiente de atenuación, puede incluir realizar extracción del borde de la primera imagen del coeficiente de atenuación para obtener la información estructural previa.
- La Figura 15 ilustra un flujograma de un método de adquisición de imágenes por TC de acuerdo con otra realización de la presente divulgación. Como se muestra en la Fig. 15, en la etapa S151, la información estructural previa de un objeto se extrae de una primera imagen que refleja una estructura interna del objeto. La información estructural previa indica la intensidad del borde.
- En la etapa S152, para obtener un conjunto de datos de proyección, el objeto se explora con TC mediante un sistema de TC.
- En la etapa S153, a partir del conjunto de datos proyectados, se reconstruye una segunda imagen del objeto utilizando como restricción la información estructural previa extraída.
- En algunas realizaciones, para obtener el conjunto de datos de proyección, el sistema de TC realiza una exploración por TC de ángulo limitado en el objeto.
- En algunas realizaciones, para obtener el conjunto de datos de proyección, el sistema de TC realiza una exploración por TC de muestreo de ángulo disperso en el objeto.
- En algunas realizaciones, para obtener el conjunto de datos de proyección, el sistema de TC realiza una exploración por TC de submuestreo detector en el objeto.
- En algunas realizaciones, para obtener el conjunto de datos de proyección, el sistema de TC realiza una exploración por TC de reconstrucción interna en el objeto.
- En algunas realizaciones, la etapa de extraer información estructural previa del objeto a partir de la primera imagen puede incluir realizar extracción del borde de la primera imagen para obtener la información estructural previa.
- Las soluciones de acuerdo con algunas realizaciones son aplicables en varios campos, tales como detección sin pérdida, diagnóstico médico e inspección de seguridad. Con algunas realizaciones de la presente divulgación que utilizan como información previa información estructural del objeto reconstruido, es posible reducir drásticamente una cantidad de datos de proyección necesarios para la reconstrucción de imágenes, sin ningún requisito sobre el intervalo dinámico numérico de la imagen previa. Los métodos de la presente divulgación pueden utilizarse para resolver el problema de calidad de reconstrucción de imágenes debido a datos incompletos, tales como el problema de exploración por TC de ángulo limitado, el problema de exploración por TC de muestreo de ángulo disperso, el problema de exploración por TC de reconstrucción interna y el problema de exploración por TC de submuestreo detector y conseguir efectos satisfactorios. Los expertos en la técnica apreciarán que las realizaciones de la presente divulgación pueden aplicarse en diversos campos, tales como diagnóstico médico, detección industrial sin pérdida e inspección de seguridad.
- Se han descrito con detalle diversas realizaciones del aparato y método para producir rayos X distribuidos, con referencia a diagramas de bloque, flujogramas y/o ejemplos. En el caso de que dichos diagramas de bloque, flujogramas y/o ejemplos incluyan una o más funciones y/u operaciones, los expertos en la materia apreciarán que cada función y/u operación en los diagramas de bloque, flujogramas y/o ejemplos, puede implementarse, de manera individual y/o colectiva, como diversos hardware, software, firmware o sustancialmente cualquier combinación de los mismos. En una realización, diversas partes de la materia objeto ilustrada en las realizaciones, tales como proceso de control, puede implementarse con un circuito integrado para aplicaciones específicas (ASIC, por sus siglas en inglés), una matriz de puertas programables en campo (FPGA, por sus siglas en inglés), un procesador de señal digital (DSP, por sus siglas en inglés) o cualquier otro formato integrado. Los expertos en la técnica apreciarán que algunos aspectos de las realizaciones desveladas en el presente documento, en parte o como un todo, pueden implementarse equivalentemente en un circuito integrado, como uno o más programas informáticos ejecutados en uno o más ordenadores (por ejemplo uno o más programas ejecutados en uno o más sistemas informáticos), como uno o más programas ejecutados en uno o más procesadores (por ejemplo uno o más programas ejecutados en uno o más microprocesadores) en firmware o sustancialmente en cualquier combinación de los mismos. Los expertos en la técnica pueden diseñar circuitos y/o software escrito y/o códigos de firma de acuerdo con la presente divulgación. Adicionalmente, los expertos en la técnica apreciarán que los procesos de control en la presente divulgación pueden distribuirse como diversas formas de productos programables. Para realizar la distribución, se utiliza cualquier tipo específico portador de señal, las realizaciones de ejemplo de la materia objeto de la presente divulgación son aplicables. Como ejemplos de medios portadores de señal se incluyen, pero sin limitación, medios grabables, tales

como disco flexible, disco duro, disco compacto (CD), disco versátil digital (DVD), cinta digital, memoria informatizada, y medio de tipo transmisión, tal como medio de comunicación digital y/o analógico (por ejemplo, cable de fibra óptica, guía de onda, enlace de comunicación por cable e inalámbrico).

5 La presente invención se ha descrito con referencia a diversas realizaciones ejemplares. Se apreciará que los términos utilizados en el presente documento se ofrecen con fines ilustrativos y que son ejemplares en lugar de limitantes. La presente invención puede llevarse a la práctica de diversas formas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de adquisición de imágenes por TC que comprende:

5 explorar un objeto mediante TC (S141) con un sistema de TC de energía doble, para obtener un primer conjunto completo de datos de proyección a un primer nivel de energía, y para obtener un segundo conjunto incompleto de datos de proyección a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía;  
 10 reconstruir (S142) una primera imagen del objeto a partir del primer conjunto de datos de proyección, y extraer, de la primera imagen, información estructural previa del objeto, indicando la intensidad de borde, la información estructural previa extraída describe límites; y  
 15 reconstruir (S143) una segunda imagen del objeto a partir del segundo conjunto incompleto de datos de proyección, utilizando como restricción la información estructural previa extraída.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que

15 el sistema de TC de energía doble comprende múltiples filas de detectores de baja energía, y detectores de alta energía dispuestos detrás de parte de las filas de detectores de baja energía;  
 comprendiendo dicha obtención de un primer conjunto completo de datos de proyección en un primer modo de exploración, realizar en el objeto una exploración por TC circular o helicoidal de 360 grados con rayos a un primer nivel de energía, para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección;  
 20 comprendiendo dicha obtención de un segundo conjunto incompleto de datos de proyección en un segundo modo de exploración, realizar en el objeto una exploración por TC de ángulo limitado con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que

25 el sistema de TC de energía doble comprende múltiples detectores de baja energía, y múltiples detectores de alta energía dispuestos detrás de los detectores de baja energía;  
 comprendiendo dicha obtención de un primer conjunto completo de datos de proyección en un primer modo de exploración, realizar en el objeto una exploración por TC circular o helicoidal de 360 grados con rayos a un primer nivel de energía, para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección;  
 30 comprendiendo dicha obtención de un segundo conjunto incompleto de datos de proyección en un segundo modo de exploración, realizar en el objeto una exploración por TC de muestreo de ángulo disperso con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección.

4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que

35 el sistema de TC de energía doble comprende al menos una fila de detectores de baja energía, y una pluralidad de detectores de alta energía, que se proporcionan uniformemente detrás de parte de los detectores de baja energía;  
 comprendiendo dicha obtención de un primer conjunto completo de datos de proyección en un primer modo de exploración, realizar en el objeto una exploración por TC circular o helicoidal de 360 grados con rayos a un primer nivel de energía, para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección;  
 40 comprendiendo dicha obtención de un segundo conjunto incompleto de datos de proyección en un segundo modo de exploración, realizar en el objeto una exploración por TC de submuestreo detector con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección.

5. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que

45 el sistema de TC de energía doble comprende al menos una fila de detectores de baja energía, y una pluralidad de detectores de alta energía, que están concentrados y proporcionados detrás de parte de los detectores de baja energía;  
 comprendiendo dicha obtención de un primer conjunto completo de datos de proyección en un primer modo de exploración, realizar en el objeto una exploración por TC helicoidal o circular de 360 grados con rayos a un primer nivel de energía, para obtener el primer conjunto completo de datos de proyección;  
 50 comprendiendo dicha obtención de un segundo conjunto incompleto de datos de proyección en un segundo modo de exploración, realizar en el objeto una exploración por TC de reconstrucción interna con rayos a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía, para obtener el segundo conjunto incompleto de datos de proyección.

6. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha extracción de información estructural previa del objeto a partir de la primera imagen, comprende realizar extracción de borde en la primera imagen de coeficiente de atenuación, para obtener la información estructural previa.

7. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha reconstrucción de una segunda imagen del objeto a

partir del segundo conjunto incompleto de datos de proyección comprende:

calcular la segunda imagen  $\mathbf{f}$  de acuerdo con una ecuación

$$\min \|\mathbf{G}\nabla\mathbf{f}\|_1 + \lambda \|\nabla\mathbf{f}\|_1 = \min \|\mathbf{G} + \lambda\mathbf{I}\nabla\mathbf{f}\|_1$$

$$s.t. \quad \|\mathbf{H}\mathbf{f} - \mathbf{p}\|_w \leq \varepsilon$$

en la que  $\varepsilon$  es una cantidad relacionada con un nivel global de ruido en el segundo conjunto de datos de proyección, y  $\lambda$  se utiliza para equilibrar una restricción de información estructural previa y una restricción de Variación Total (TV), la restricción de información estructural previa es dominante cuando  $\lambda \leq 1$ , mientras que la minimización de la

TV es una restricción dominante cuando  $\lambda > 1$ ; la segunda imagen se representa como  $\mathbf{f} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ , el segundo conjunto de datos de proyección obtenido mediante la exploración por TC se representa como  $\mathbf{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ , un proceso de proyección integral lineal se representa como  $\mathbf{H} = \{h_{ij}\}_{m \times n}$ , la información

estructural previa se presenta como  $\mathbf{g} = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ,  $\mathbf{W}$  es una matriz ponderada que refleja el ruido característico de los datos de proyección,  $\mathbf{I}$  es matriz de identidad y a partir de la información estructural previa se genera una matriz ponderada como  $\mathbf{G} = \text{diag}(\mathbf{g}) = \text{diag}\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ; una  $g_i$  más grande representa un borde más débil, mientras que una  $g_i$  más pequeña representa un borde más fuerte.

8. Un sistema de adquisición de imágenes por TC, que comprende:

- una fuente de rayos (10) configurada para generar rayos X de energía doble;
- un dispositivo de detección y recogida (20, 30) configurado para recibir rayos X de energía doble que penetran en un objeto;
- un dispositivo de control configurado para controlar la fuente de rayos (10) y el dispositivo de detección y recogida (20, 30) para explorar el objeto mediante TC, para obtener un primer conjunto completo de datos de proyección a un primer nivel de energía y para obtener un segundo conjunto incompleto de datos de proyección a un segundo nivel de energía diferente al del primer nivel de energía; y
- un dispositivo de reconstrucción configurado para reconstruir una primera imagen del objeto a partir del primer conjunto de datos de proyección, extraer, a partir de la primera imagen de coeficiente de atenuación, información estructural previa del objeto indicando la intensidad de borde, y
- reconstruir una segunda imagen del objeto a partir del segundo conjunto incompleto de datos de proyección, utilizando como restricción la información estructural previa extraída, en la que, la información estructural previa describe límites.



Fig. 1A

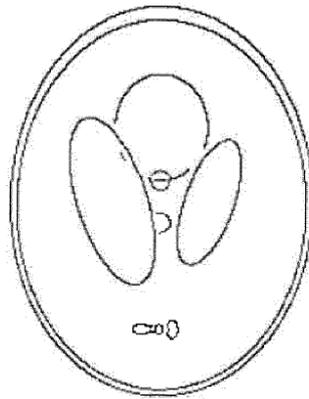


Fig. 1B

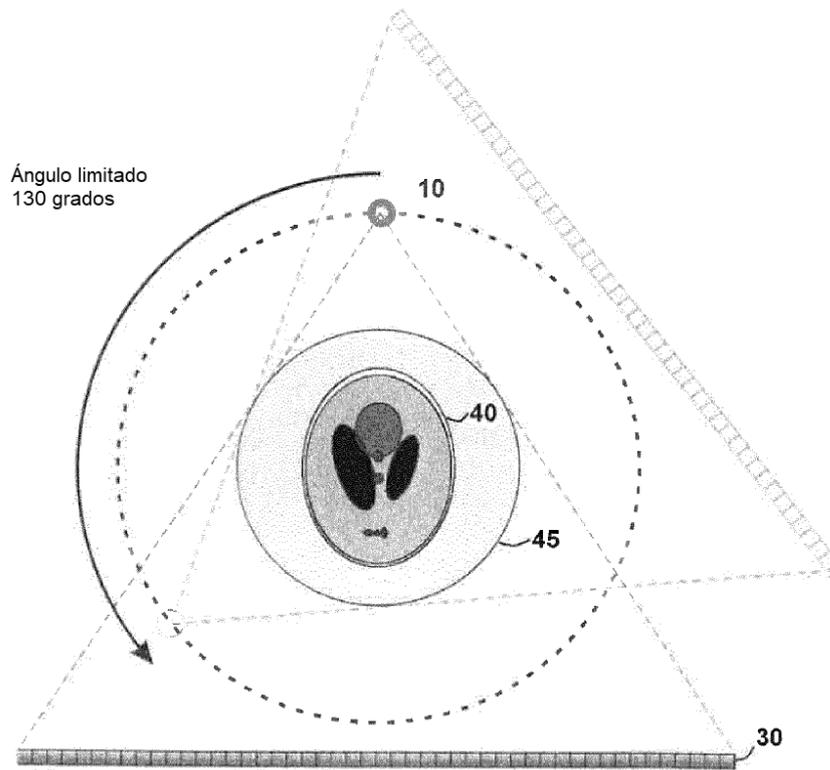


Fig. 2

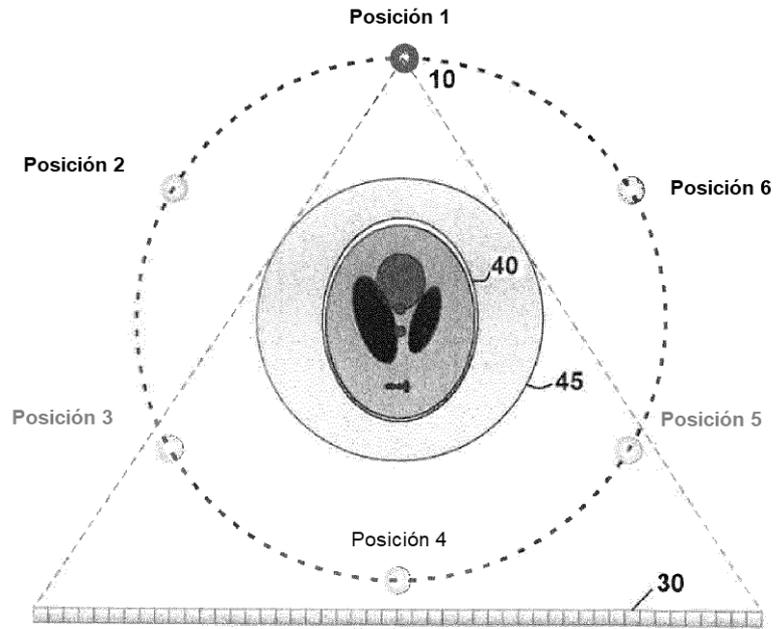


Fig. 3

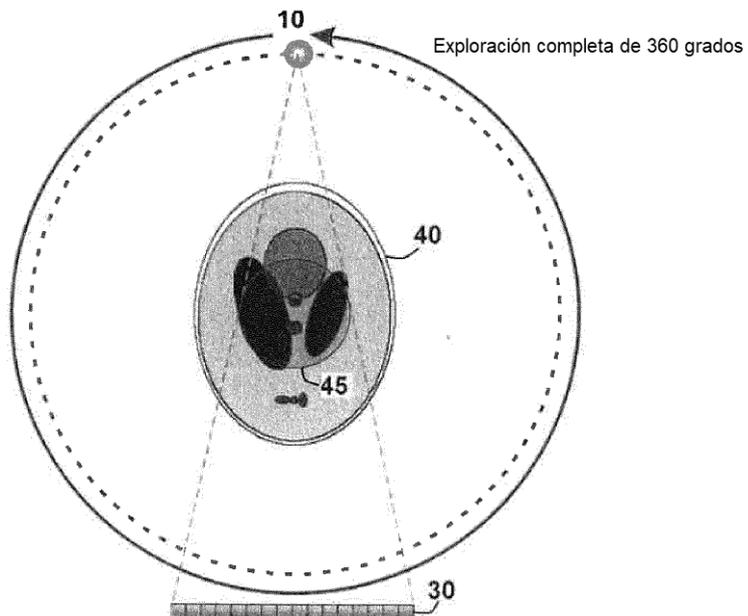


Fig. 4

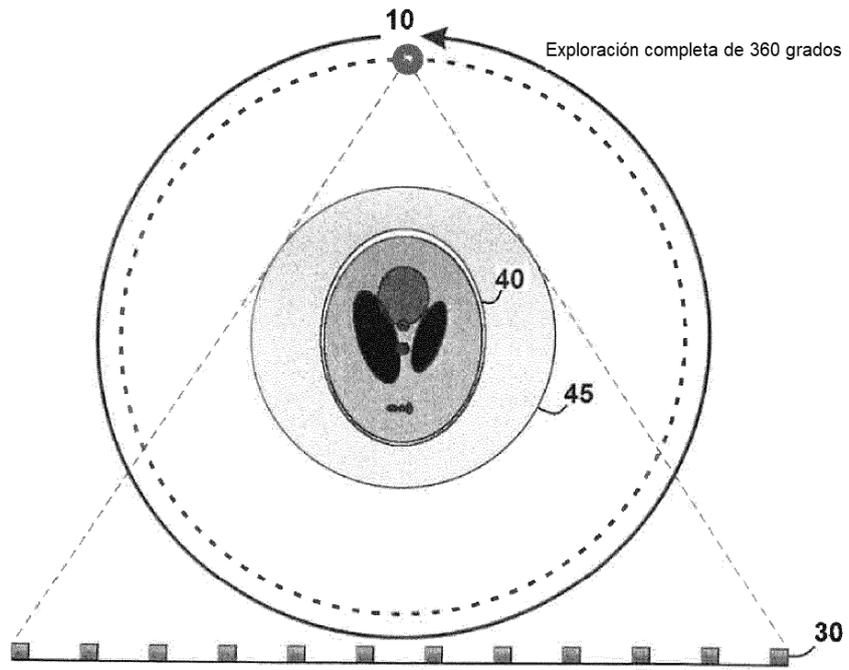


Fig. 5

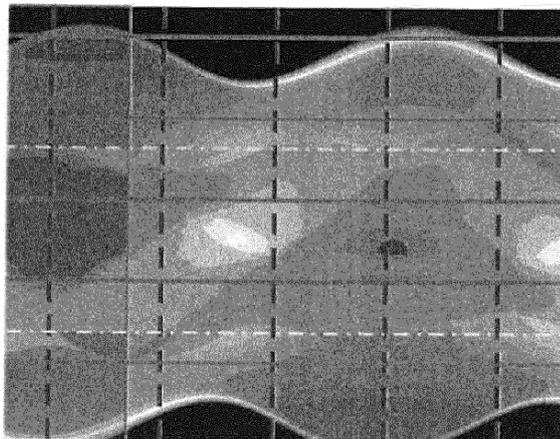
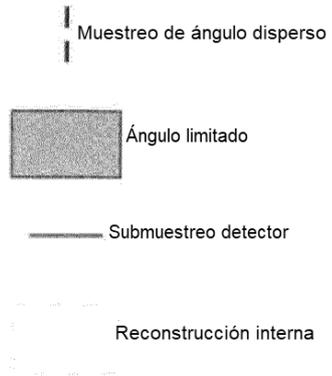
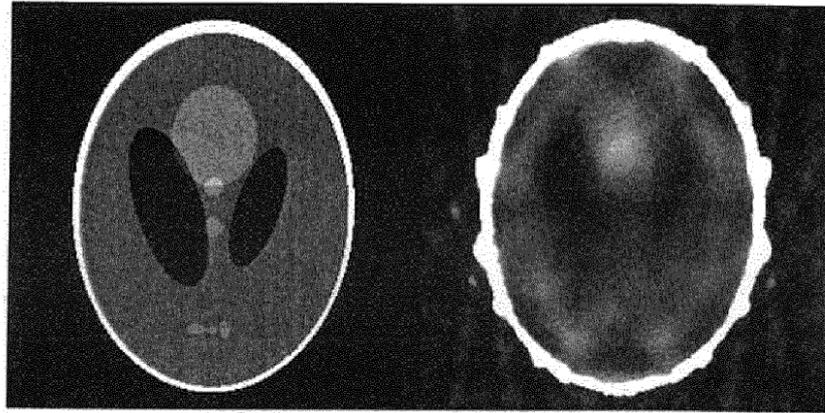
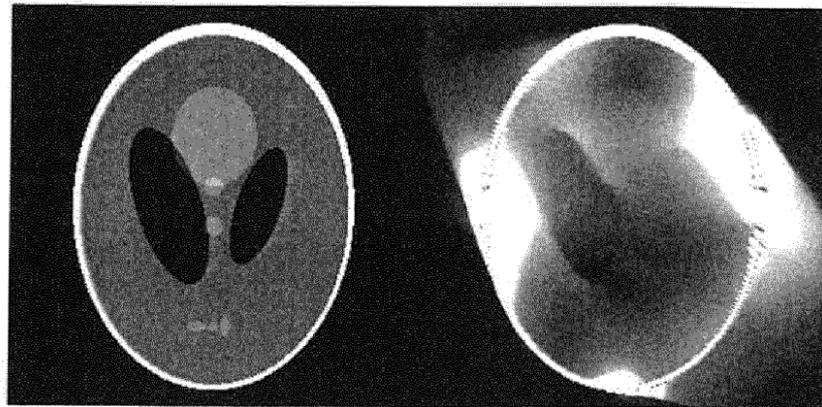


Fig. 6

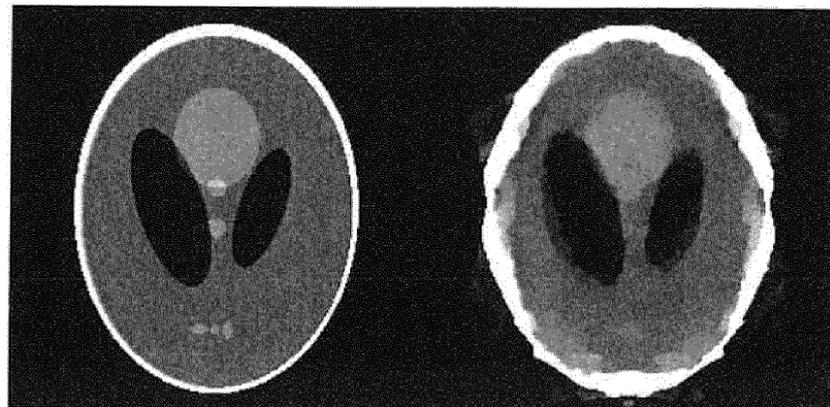




**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**

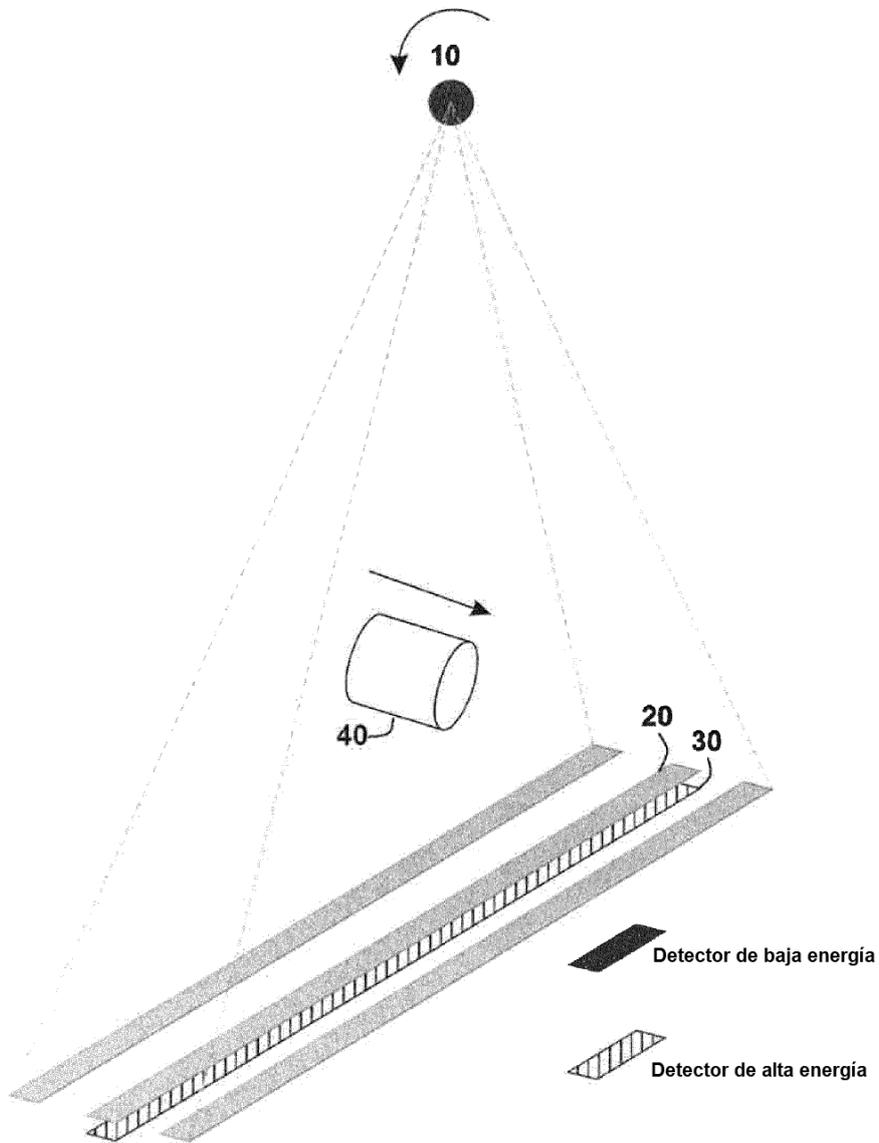


Fig. 10

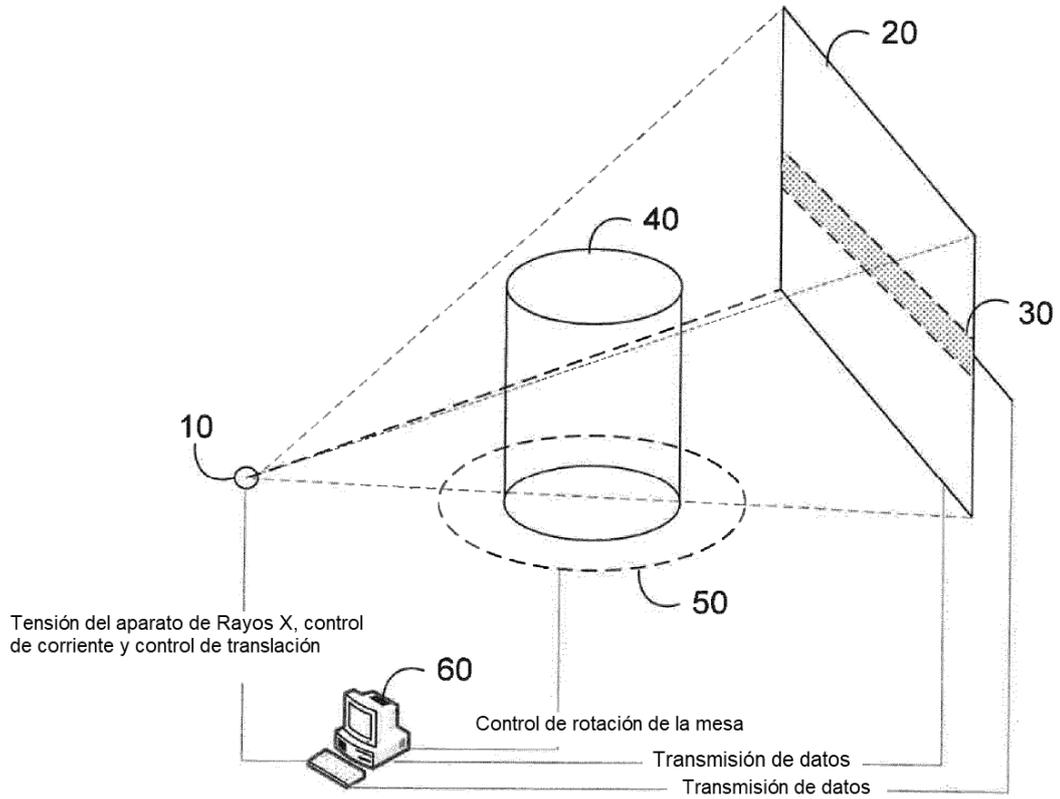


Fig. 11

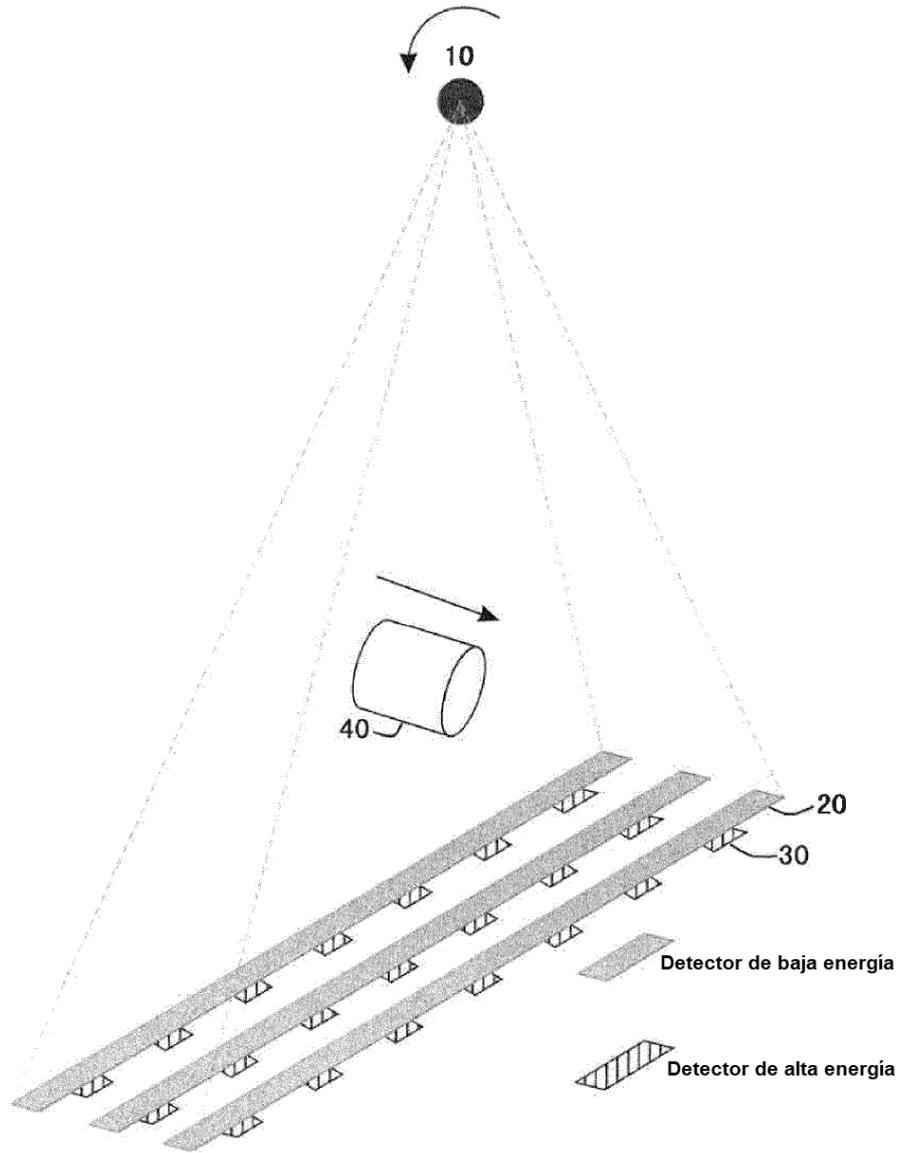


Fig. 12

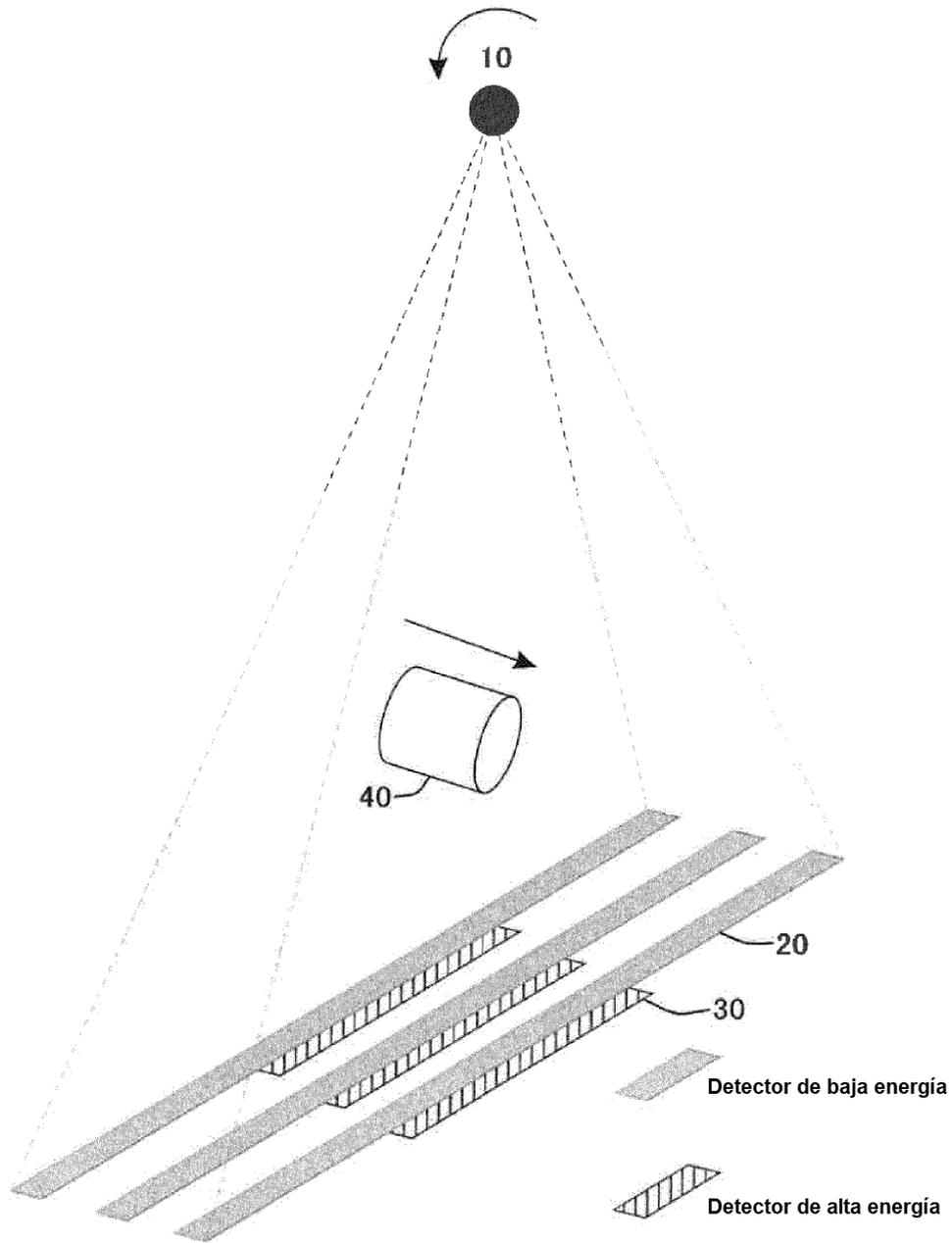


Fig. 13

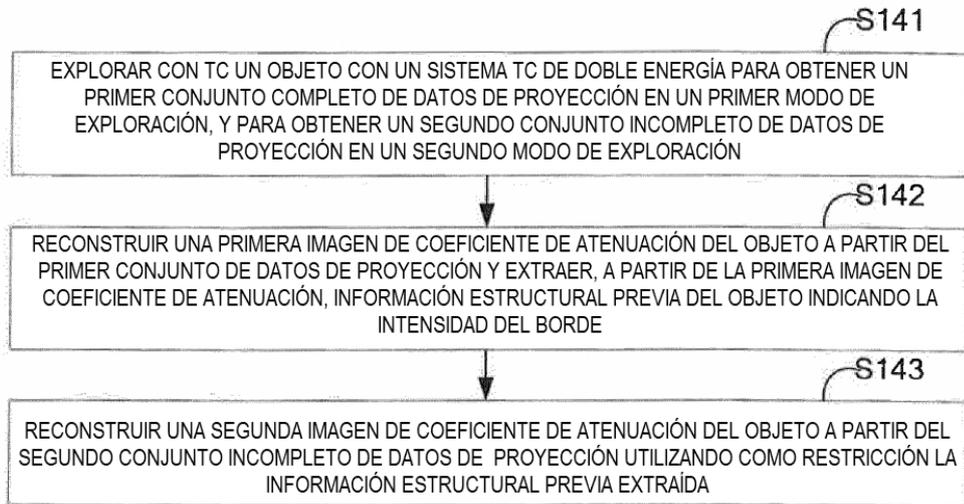


Fig. 14

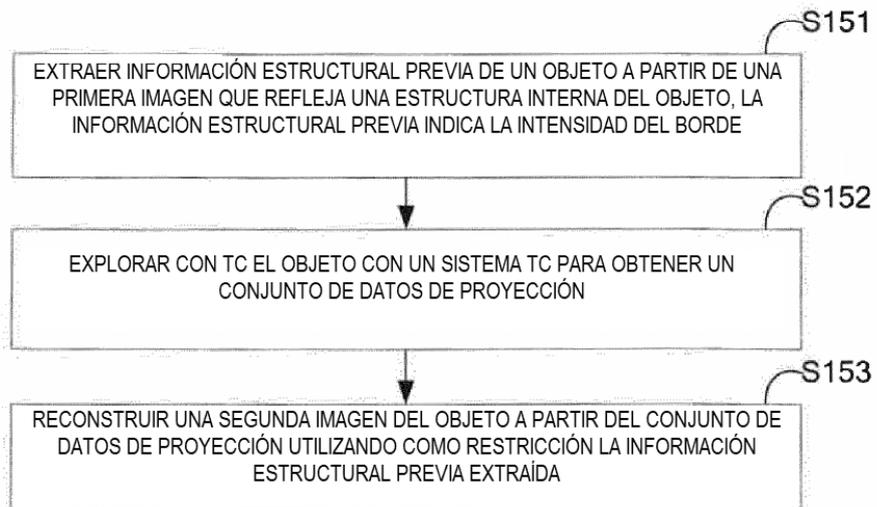


Fig. 15