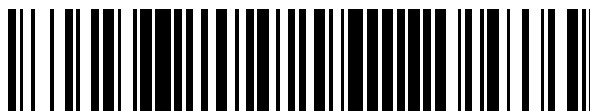


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 227**

51 Int. Cl.:

**G01T 1/164** (2006.01)

**G01T 7/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2008 E 08250858 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 1970731**

54 Título: **Método para calibrar el sistema de TC de energía dual y el método de reconstrucción de imágenes**

30 Prioridad:

**14.03.2007 CN 200710064391**

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

**24.07.2017**

73 Titular/es:

**TSINGHUA UNIVERSITY (50.0%)  
HAIDIAN DISTRICT  
BEIJING 100084, CN y  
NUCTECH COMPANY LIMITED (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ZHANG, LI;  
CHEN, ZHIQIANG;  
ZHANG, GUOWEI;  
CHENG, JIANPING;  
LI, YUANJING;  
LIU, YINONG;  
XING, YUXIANG;  
ZHAO, ZIRAN y  
XIAO, YONGSHUN**

74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

**ES 2 626 227 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).

**Método para calibrar el sistema de TC de energía dual y el método de reconstrucción de imágenes****Descripción**

5 Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

10 **[0001]** La presente invención se refiere a la tecnología de radiografía, en particular, a un método de reconstrucción de imágenes, el cual puede eliminar un artefacto ahuecamiento causado por endurecimiento del haz de rayos X.

2. Descripción de la técnica anterior

15 **[0002]** A medida que avanza la tecnología, la técnica de tomografía computarizada (TC) se ha aplicado a sistemas para el equipaje de los turistas specting in-. En la técnica de TC ampliamente utilizada, se utiliza una radiografía como fuente de rayos que genera rayos X de distribución continua de energía. Una imagen obtenida por el método de reconstrucción de imágenes convencional representa la distribución del coeficiente de atenuación de un objeto, que dará lugar a un artefacto de ahuecamiento si se ve afectado por el endurecimiento del haz de rayos X.

20 **[0003]** En el algoritmo existente de reconstrucción de imágenes TC de energía dual, las imágenes de coeficientes de atenuación de energía alta y baja para un objeto se adquieren en primer lugar usando un método de reconstrucción de TC convencional, y después se realiza el cálculo para obtener la densidad y las imágenes de número atómico. Tal método existente no puede eliminar el artefacto de cupping debido al endurecimiento de los rayos y, por lo tanto, da como resultado un resultado de cálculo inexacto, así como una precisión reducida en la identificación del material.

25 **[0004]** Un método y un sistema para el cálculo de las imágenes de número atómico efectivo en tomografía computarizada de energía múltiple se conoce a partir de US2005259781A1.

30 RESUMEN DE LA INVENCION

**[0005]** La presente invención se realiza para hacer frente a los problemas anteriores. Un objeto de la presente invención es proporcionar un método de reconstrucción de imágenes de tomografía computarizada de descomposición de material de base de doble energía. En la presente invención, se puede obtener una tabla de consulta de energía dual seleccionando materiales de base, fabricando un bloque en forma de escalón y bloques rectangulares que tienen una serie de grosores y valores de proyección de medición bajo diferentes combinaciones de espesor, para implementar la calibración del sistema. Además, después de la calibración del sistema de TC de energía dual utilizando dos tipos de materiales de base, se puede adoptar un algoritmo de reconstrucción de TC de energía dual para adquirir imágenes de número atómico y densidad de un objeto, así como sus imágenes de coeficiente de atenuación a cualquier nivel de energía.

45 **[0006]** De acuerdo con un aspecto de la presente invención, está previsto un procedimiento de reconstrucción de imágenes de tomografía computarizada de energía dual material de base de descomposición de acuerdo con la reivindicación 1, el cual comprende las etapas de seleccionar al menos dos materiales diferentes, detectando rayos de penetración de rayos de doble energía que penetran los al menos dos materiales diferentes bajo diferentes combinaciones de espesor para adquirir valores de proyección y crear una tabla de consulta en una forma de correspondencia entre las diferentes combinaciones de espesor y los valores de proyección.

50 **[0007]** Los rayos de energía dual comprenden rayos de energía baja y alta.

**[0008]** Los rayos de energía baja y alta son rayos X.

**[0009]** Preferiblemente, los al menos dos materiales diferentes comprenden carbono y aluminio.

55 **[0010]** Preferiblemente, el método de reconstrucción de imágenes comprende además una etapa de cálculo de la imagen de número atómico del objeto basado en la imagen de la distribución del coeficiente del material de base.

60 **[0011]** Preferiblemente, el método de reconstrucción de imagen comprende además una etapa de cálculo de la imagen de densidad característica del objeto basado en la imagen de la distribución de coeficiente de material de base.

**[0012]** Preferiblemente, el método de reconstrucción de imágenes comprende además la etapa de cálculo de la imagen de coeficiente de atenuación del objeto basado en la imagen de la distribución de coeficiente de material de base.

65 **[0013]** La tabla de búsqueda se crea mediante la selección de al menos dos materiales diferentes, detectando rayos

de penetración de los rayos de energía duales que penetran en los al menos dos materiales diferentes bajo diferentes combinaciones de espesor de adquirir valores de proyección, y la creación de una tabla de búsqueda en una forma de correspondencia entre las diferentes combinaciones de espesores y los valores de proyección.

5 **[0014]** En comparación con la técnica anterior, el método propuesto en las realizaciones de la presente invención tiene ventajas de procedimiento de calibración simple, alta precisión de cálculo y la invulnerabilidad a endurecimiento del haz de rayos X.

10 **[0015]** Las imágenes reconstruidas por el método de acuerdo con las realizaciones de la presente invención pueden servir de prueba en la determinación de propiedades de la sustancia en la inspección de seguridad con el fin de mejorar la precisión de la inspección de seguridad.

15 **[0016]** Resultados de la reconstrucción de la imagen obtenidos por el método de la presente invención tienen una precisión más alta, y el número y densidad de valores atómicos resultantes tienen cada uno un error dentro de 1% de acuerdo con resultados de la simulación.

**[0017]** Según la presente invención, es posible adquirir la imagen de coeficiente de atenuación del objeto en cualquier nivel de energía con ningún efecto de endurecimiento del espectro de rayos X.

## 20 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

**[0018]** Las ventajas y características de la presente invención anteriores serán evidentes de la siguiente descripción detallada en relación con los dibujos en los que:

25 FIG. 1 es un diagrama esquemático de un sistema de TC de energía dual de acuerdo con una realización de la presente invención;

30 FIG. 2 es un diagrama esquemático para explicar un método para calibrar un sistema TC de energía dual de acuerdo con una realización de la presente invención;

FIG. 3 es un diagrama de flujo que representa un método para calibrar un sistema TC de energía dual y un método de reconstrucción de imágenes de acuerdo con una realización de la presente invención;

35 FIG. 4 es un diagrama esquemático en sección transversal de una botella de vidrio orgánico llena de agua;

FIG. 5 muestra imágenes resultantes reconstruidas por el método de la técnica anterior y por el método de la presente invención, en las que la FIG. 5A es una imagen de coeficiente de atenuación de baja energía reconstruida por un método convencional, la FIG. 5B es la imagen del coeficiente de atenuación a 60keV obtenida por el método de reconstrucción de imágenes de la presente invención, y las ventanas grises de visualización para las imágenes de las FIGs. 5A y 5B son [0,12 0,21]; FIG. 5C es una imagen de densidad característica reconstruida por el método de la presente invención, con una ventana gris de visualización de [0,6 1,12]; FIG. 5C es una imagen de número atómico reconstruida por el método de la presente invención, con una ventana gris de visualización de [6 8]; Las FIGs. 5E y 5F indican respectivamente curvas de valores de píxeles extraídos a lo largo de las líneas centrales de las imágenes mostradas en las FIGs. 5A y 5B; Las FIGs. 5G y 5H indican respectivamente curvas de valores de píxeles extraídos a lo largo de las líneas centrales de las imágenes mostradas en las FIGs. 5C y 5D frente a una curva para una imagen real, en la que líneas sólidas denotan resultados de reconstrucción y líneas discontinuas denotan valores reales.

## 50 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FORMAS DE REALIZACIÓN PREFERIDAS

**[0019]** Ahora, se dará una descripción detallada de las formas de realización preferidas de la presente invención con referencia a las figuras, a lo largo de las que los signos de referencias denotan componente idéntico o similar, aunque se ilustra en las diferentes figuras. Para mayor claridad y concisión, se omitirá la descripción específica de cualquier función o estructura conocida incorporada, de lo contrario el objeto de la presente invención puede ser oscurecido.

### • Principio matemático para TC

60 **[0020]** Someter una distribución 2D  $u(x, y)$  a la línea de integración a lo largo de una dirección se traducirá en una función 1D  $p(t)$  a la que se hace referencia como la proyección de  $u(x, y)$  en un ángulo de  $\theta$ . Si se puede obtener la proyección  $p(t)$  a lo largo de todas las direcciones, la distribución 2D  $u(x, y)$  puede calcularse basándose en la transformación de Radon. El procedimiento de derivar una distribución 2D desde su proyección se llama reconstrucción, la cual actúa como el principio matemático para TC.

65 **[0021]** En la práctica, después de que una placa de rayos X y un detector se pasen alrededor de un objeto para un ciclo, se miden y se obtienen las proyecciones de la distribución de coeficiente de atenuación a lo largo de todas las

direcciones para alguna parte del objeto, y la distribución 2D de coeficientes de atenuación de la porción de objeto se puede reconstruir sobre la base del principio TC.

• Modelo de descomposición del material de base

5 **[0022]** Dentro de un intervalo de energía (<200keV) que participa en un sistema de inspección de seguridad de rayos X de pequeño tamaño, el coeficiente de atenuación lineal de un material se puede aproximar con la siguiente expresión analítica (1):

$$\mu(E) = a_1 f_p(E) + a_2 f_{KN}(E) \quad (1)$$

$$15 \quad a_1 = \frac{\rho Z}{M} Z^n \quad (2)$$

$$20 \quad a_2 = \frac{\rho Z}{M} \quad (3)$$

25 **[0023]** En donde  $f_p(E)$  representa la variación en sección transversal de efecto fotoeléctrico a través de diferentes niveles de energía,  $f_{KN}(E)$  representa la variación en sección transversal de dispersión Compton a través de diferentes niveles de energía, y cada uno de  $f_p(E)$  y  $f_{KN}(E)$  tiene una expresión analítica conocida. Además, las variables de  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  dependen del número atómico, número de masa y la densidad del material y se expresan como (2) y (3), respectivamente, denotando  $z$  el número atómico, denotando  $M$  el número de masa, denotando  $\rho$  la densidad ( $\text{g/cm}^3$ ), y  $n$  es una constante.

30 **[0024]** Dado que el coeficiente de atenuación lineal de cada material se puede determinar de forma única por los dos coeficientes,  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ , en la expresión (1), dos materiales de base, tales como el carbono y el aluminio, se pueden seleccionar de modo que represente el coeficiente de atenuación lineal de cualquier otro material con una combinación lineal de los coeficientes de atenuación lineal de estos materiales de base, como se ilustra en la expresión (4):

$$35 \quad \mu(E) = b_1 \mu_1(E) + b_2 \mu_2(E) \quad (4)$$

40 **[0025]** En la que  $\mu(E)$  indica el coeficiente de atenuación lineal de un material arbitrario de un objeto bajo inspección,  $\mu_1(E)$  y  $\mu_2(E)$  son los coeficientes de atenuación lineal del material de base seleccionado,  $b_1$  y  $b_2$  se denominan coeficientes de base de materiales.

45 **[0026]** Después de la expresión (5), la densidad de característica se define como un producto de la densidad y una relación entre el número atómico multiplicado por 2 y número de masa:

$$50 \quad \rho^* = \rho \frac{2Z}{M} \quad (5)$$

55 **[0027]** Dado que los números atómicos y densidades características del material de dos bases son ( $Z_1$ ), y ( $Z_2$ ), respectivamente, el número atómico y la densidad característica de cualquier otro material puede derivarse de lo expresiones anteriores (1) ~ (4), como se ilustra por las expresiones (6) y (7):

$$60 \quad \rho^* = b_1 \rho_1^* + b_2 \rho_2^* \quad (6)$$

$$65 \quad Z = \left( \frac{b_1 \rho_1^* Z_1^n + b_2 \rho_2^* Z_2^n}{b_1 \rho_1^* + b_2 \rho_2^*} \right)^{1/n} \quad (7)$$

• Modelo de proyección de material de base

5 **[0028]** El tubo de rayos X generalmente crea un espectro de energía como un espectro continuo, y la función de respuesta de energía del detector a los rayos X no es constante. Dado como el producto del espectro de energía y la función de respuesta de energía, y normalizándose como

$$10 \int_0^{E_m} S(E) dE = 1 \quad (8)$$

15 El valor de proyección a lo largo de una línea de proyección se expresa de la siguiente manera integral:

$$20 p = -\ln \frac{I}{I_0} = -\ln \int_0^{E_m} S(E) \exp\left(-\int_l \mu(E, x, y) dl\right) dE \quad (9)$$

25 en la que  $I_0$  y  $I$  representan los valores de lectura del detector antes y después de la atenuación de los rayos por el objeto, respectivamente,  $E_m$  representa la energía máxima de los rayos, y  $l$  representa la trayectoria por la que se desplazan los rayos.

30 **[0029]** La expresión (9) revela la relación entre el valor de la proyección  $p$  medido realmente por el sistema y la distribución 2D  $\mu(x, y)$ . Es obvio que, debido a la característica polienergética de los rayos X, la expresión (9) no representa la línea integral de  $dE_m(x, y)$  a lo largo de una línea y por lo tanto no puede satisfacer el principio de matemática para TC. Dado que el algoritmo de reconstrucción convencional descuida tal inconsistencia, la imagen reconstruida para  $\mu(x, y)$  contiene un artefacto de ahuecamiento referido como artefacto de endurecimiento del haz.

35 **[0030]** El método de TC de energía dual existente típico utiliza primero el algoritmo de reconstrucción convencional para adquirir dos conjuntos de  $\mu(x, y)$ , y después calcula la información tal como el número atómico y densidad. Tal método no puede eliminar el efecto impuesto por la característica polienergética de los rayos. Por el contrario, la presente invención aborda este problema con el concepto de descomposición del material de base.

40 **[0031]** La sustitución de un modelo de descomposición de material de base en la expresión (9) resulta en un valor de proyección basado en el coeficiente de material de base, que se expresa como:

$$45 p = -\ln \int_0^{E_m} S(E) \exp\left(-\int_l [\mu_1(E) b_1(x, y) + \mu_2(E) b_2(x, y)] dl\right) dE \quad (10)$$

50 **[0032]** La integración a lo largo de la trayectoria  $l$  en la expresión (10) puede escribirse en las expresiones (11) y (12):

$$55 \int b_1(x, y) dl = B_1 \quad (11)$$

$$55 \int b_2(x, y) dl = B_2 \quad (12)$$

60 **[0033]** De esta manera,  $B_1$  y  $B_2$  se denominan valores de proyección de los coeficientes de materiales de base de acuerdo con la definición de las expresiones (11) y (12). Supongamos que hemos adquirido valores completos del proyecto desde todos los ángulos para estos coeficientes de material de base, la distribución de los coeficientes de material de base  $b_1$  y  $b_2$  se pueden obtener de acuerdo con la teoría de la reconstrucción TC, y por lo tanto la distribución de número atómico y densidad característica del objeto así como el coeficiente de atenuación lineal en cualquier nivel de energía se pueden calcular a partir del modelo de descomposición del material de base.

65 • Cálculo de los valores de proyección del coeficiente de material de base

**[0034]** Después de haber adquirido los datos de proyección en dos niveles de energía diferentes, la TC de energía

dual obtiene los datos de proyección de energía dual de la siguiente manera:

$$p_1(B_1, B_2) = -\ln \int_0^{E_1} S_1(E) \exp[-B_1\mu_1(E) - B_2\mu_2(E)]dE \quad (13)$$

$$p_2(B_1, B_2) = -\ln \int_0^{E_2} S_2(E) \exp[-B_1\mu_1(E) - B_2\mu_2(E)]dE \quad (14)$$

**[0035]** Aunque, en teoría,  $(B_1, B_2)$  se puede encontrar a partir de las expresiones (13) y (14) después de la medición de  $(p_1, p_2)$ , ambas de las expresiones anteriores no se pueden resolver analíticamente ya que son ecuaciones de integración logarítmica. Además, la solución iterativa no lineal de uso frecuente requiere un cálculo enorme y tiene dificultades para encontrar un resultado estable.

**[0036]** El presente inventor se ha dado cuenta de que, después de que los rayos viajan a través del primer material de base de espesor  $d_1$  y el segundo material de base de espesor  $d_2$ , los datos de proyección de doble energía medidos tienen la forma de las siguientes expresiones (15) y (16):

$$p_1 = -\ln \int_0^{E_1} S_1(E) \exp[-d_1\mu_1(E) - d_2\mu_2(E)]dE \quad (15)$$

$$p_2 = -\ln \int_0^{E_2} S_2(E) \exp[-d_1\mu_1(E) - d_2\mu_2(E)]dE \quad (16)$$

**[0037]** Como se puede observar de la comparación entre (13) (14) y (15) (16), el par de valores de proyección  $(B_1, B_2)$  para los coeficientes de materiales de base será exactamente el mismo que la combinación de espesor  $(d_1, d_2)$  del material de base si el par medido de datos de proyección  $(p_1, p_2)$  es idéntico a  $\{p_1(B_1, B_2), p_2(B_1, B_2)\}$ .

**[0038]** Por lo tanto, mediante la medición de las proyecciones de doble energía de materiales conocidos con diferentes combinaciones de espesor, la correspondencia entre el par de datos de proyección de doble energía  $(p_1, p_2)$  y el par de valores de proyección  $(B_1, B_2)$  de los coeficientes del material de base pueden ser adquiridos, y así se puede crear la tabla de búsqueda.

**[0039]** Durante la reconstrucción de la imagen, el par de datos de proyección de doble energía  $(p_1, p_2)$  se mide mediante el escaneo del objeto con los rayos de doble energía. A continuación, la tabla de búsqueda se busca en el correspondiente par de valores de proyección  $(B_1, B_2)$  de los coeficientes de material de base sobre la base del par de datos de proyección de doble energía  $(p_1, p_2)$ . Alternativamente, si solamente un par aproximado de valores de proyección  $(B'_1, B'_2)$  de los coeficientes de material de base se encuentran, el par de valores de proyección por encima de  $(B_1, B_2)$  de la base de coeficientes de materiales se pueden adquirir por medio de interpolación lineal. Aparentemente, este cálculo es mucho más fácil que el de resolver una ecuación logarítmica.

**[0040]** FIG. 1 es un diagrama esquemático de un sistema de TC de energía dual de acuerdo con una realización de la presente invención. Como se muestra en la FIG. 1, una fuente de rayos 100 genera rayos X de energía dual que tienen una distribución de energía continua en sincronización predefinida bajo el control de un controlador 500. El objeto 200 se coloca sobre un mecanismo de cojinete 300 que puede girar uniformemente y levantarse hacia arriba y hacia abajo bajo el control del controlador 500. Un conjunto de detectores 400 está dispuesto en una posición opuesta a la fuente de rayos 100 y recibe los rayos penetrantes que han viajado a través del objeto 200 bajo el control del controlador 500 para obtener señales de detección para un primer nivel de energía y señales de detección para un segundo nivel de energía. Las señales detectadas por el conjunto de detectores 400 se convierten en señales digitales y se almacenan en un ordenador 600 para el procesamiento subsiguiente de la calibración o reconstrucción.

**[0041]** FIG. 2 es un diagrama esquemático para explicar un método para calibrar un sistema TC de energía dual de acuerdo con una realización de la presente invención. FIG. 2 muestra una estructura de dos capas utilizada por el conjunto de detectores, con un cristal 410 de menor energía que se coloca antes de un cristal más grueso 420 de alta energía, absorbiendo principalmente la parte de baja energía de los rayos X y ésta absorbiendo principalmente la porción de alta energía de los rayos X. Las señales detectadas por los cristales de baja energía y alta energía 410 y 420 se convierten en señales digitales mediante un circuito auxiliar, tal como un convertidor A/D. De esta manera, la matriz de detectores 400 puede emitir señales de alta y baja energía por separado.

**[0042]** FIG. 3 es un diagrama de flujo que representa un método para calibrar un sistema TC de energía dual y un método de reconstrucción de imágenes de acuerdo con una realización de la presente invención. La parte izquierda de la FIG. 3 ilustra el procedimiento de calibración del sistema TC de energía dual, y la parte derecha ilustra el detalle del método de reconstrucción de imagen.

**[0043]** Hay dos tipos de materiales comunes, tales como el carbono y el aluminio, se seleccionan como materiales de base X e Y en la FIG. 2 (S110). Uno de los materiales de base, por ejemplo, el carbono X, se forma en una forma escalonada, y el otro material de base, aluminio Y aquí, se utiliza para fabricar cuboides de varios espesores. Un par correspondiente de valores de proyección de energía baja y alta ( $p_1$ ,  $p_2$ ) se puede medir sobre la base de cada par de valores de espesor ( $d_1$ ,  $d_2$ ) para los materiales de base.

**[0044]** Con la disposición geométrica en la FIG. 2, el conjunto de detectores 400 puede medir y obtener valores de proyección de energía dual correspondientes a la combinación de cierto espesor del material de base Y y una serie de espesor del material de base X, respectivamente, mientras que los materiales de base pasan a través de la radiación de arriba hacia abajo. A continuación se cambia el espesor del material de base Y y se repite la medición anterior para obtener los valores de proyección de energía dual de X e Y para combinaciones respectivas de espesor. Todos los resultados de medición constituyen la correspondencia entre los valores de proyección de energía dual y las combinaciones de espesores para los materiales de base (S120).

**[0045]** En el proceso de inspección, el objeto se coloca primero en el mecanismo de soporte 300. Entonces, el controlador 500 controla la fuente de rayos 200 para emitir rayos X de doble energía, que irradian el objeto desde todos los ángulos, y los pares de los valores de proyección de energía dual son obtenidos por el conjunto de detectores 400 (S210).

**[0046]** A continuación, la tabla de consulta creada anteriormente se utiliza para calcular una combinación de espesor ( $d_1$ ,  $d_2$ ) correspondiente a cada uno de los pares de valores de proyección de doble energía, y por lo tanto un par de valores de proyección ( $B_1$ ,  $B_2$ ) de los coeficientes del material de base (S220). Posteriormente, una imagen de la distribución de los coeficientes de material de base  $b_1$  y  $b_2$  se puede adquirir de acuerdo con el algoritmo de reconstrucción TC (S230).

**[0047]** Además, la imagen obtenida de los coeficientes de material de base se utiliza para calcular el número atómico e imagen de densidad característica del objeto, así como su imagen de coeficiente de atenuación en cualquier nivel de energía (S240).

**[0048]** El siguiente experimento de simulación numérica se lleva a cabo para verificar el método de reconstrucción anteriormente. Dado que el rayo X tiene un voltaje alto de 140 kV y el conjunto de detectores utiliza cristal Csl, el espectro de energía y la función de respuesta de energía del detector se simulan primero a través del método de Monte Carlo y los valores de proyección de energía dual se calculan analíticamente con la expresión (9).

**[0049]** Por ejemplo, carbono y aluminio se eligen como materiales de base, con números atómicos siendo 6 y 13, siendo los números de masa 12.011 y 26.9815, siendo las densidades 1 g/cm<sup>3</sup> y 2,7 g/cm<sup>3</sup>, y siendo las densidades características 0,999084 g/cm<sup>3</sup> y 2,601783 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. El material de carbono tiene una serie de espesores de 0 a 10 cm con un intervalo de 1 cm, y el material de aluminio tiene una serie de espesor de 0 a 1 cm con un intervalo de 0,1 cm. Las expresiones (15) y (16) se adoptan para calcular los valores de proyección de energía dual para diferentes combinaciones de espesor. Aquí, cada uno de carbono y aluminio tiene 11 tipos de espesor, y por lo tanto se forma una mesa de consulta con un tamaño de 11 x 11.

**[0050]** FIG. 4 es un diagrama esquemático en sección transversal de una botella de vidrio orgánico llena de agua. La botella de vidrio orgánica llena de agua se utiliza como objeto, con su pared lateral que tiene un espesor de 5 mm, siendo el diámetro exterior de 160 mm y el diámetro interior de 150 mm. El vidrio orgánico tiene un número atómico de 6,56, la densidad de 0,8 g/cm<sup>3</sup> y la densidad característica de 0,863 g/cm<sup>3</sup>. El agua tiene número atómico de 7,51, la densidad de 1,0 g/cm<sup>3</sup> y la densidad característica de 1,11 g/cm<sup>3</sup>.

**[0051]** En la exploración TC, se utiliza exploración de haz paralela. El número de ángulos de proyección es 720, el número de detectores es 512, y el tamaño de una imagen reconstruida es 512x512.

**[0052]** FIG. 5 muestra las imágenes resultantes reconstruidas por el método de la técnica anterior y por el método de la presente invención, en las que la FIG. 5A es una imagen de coeficiente de atenuación de baja energía reconstruida por un método convencional, la FIG. 5B es la imagen del coeficiente de atenuación a 60keV obtenida por el método de reconstrucción de imágenes de la presente invención, y las ventanas grises de visualización para las imágenes de las FIGs. 5A y 5B son [0,12 0,21]; FIG. 5C es una imagen de densidad característica reconstruida por el método de la presente invención, con una ventana gris de visualización de [0,6 1,12]; FIG. 5C es una imagen de número atómico reconstruida por el método de la presente invención, con una ventana gris de visualización de [6 8]; Las FIGs. 5E y 5F indican respectivamente curvas de valores de píxeles extraídos a lo largo de las líneas centrales de las imágenes mostradas en las FIGs. 5A y 5B; FIGs. 5G y 5H indican respectivamente curvas de valores de píxeles extraídos a lo largo de las líneas centrales de las imágenes mostradas en las FIGs. 5C y 5D

frente a una curva para los valores reales, donde líneas sólidas denotan resultados de reconstrucción y líneas discontinuas denotan valores reales.

5 **[0053]** Como se puede observar de la comparación entre las FIGs. 5A y 5B, así como las FIGs. 5C y 5D, el artefacto de ahuecamiento debido al endurecimiento del haz de rayos X se puede eliminar de las imágenes de coeficiente de atenuación obtenidas mediante el método de la presente realización. Además, como se muestra en las FIGs. 5G y 5H, los resultados de la reconstrucción tienen poca diferencia con respecto a los valores reales, lo que sugiere que se puede lograr una mayor precisión mediante el procedimiento según la presente invención.

10 **[0054]** En resumen, el método de acuerdo con las realizaciones de la presente invención tiene una complejidad reducida. Para ser específico, se puede obtener una tabla de consulta de energía dual seleccionando material de base, fabricando un bloque en forma de escalón y bloques rectangulares que tienen una serie de grosores y valores de proyección de medición bajo diferentes combinaciones de espesor, para implementar la calibración del sistema.

15 **[0055]** Además, con el método de reconstrucción de imagen de acuerdo con las realizaciones de la presente invención, el resultado de reconstrucción obtenido tiene una alta precisión. Como puede verse en el resultado de la simulación, los valores de número atómico y densidad tienen un error dentro del 1%.

20 **[0056]** Además, con el método de la presente invención, es posible adquirir la imagen de coeficiente de atenuación del objeto en cualquier nivel de energía sin ningún efecto de endurecimiento del haz de rayos X.

25 **[0057]** La descripción anterior solamente pretende ilustrar las realizaciones de la presente invención aparte de limitar la presente invención. Para los expertos en la técnica, cualquier cambio o sustitución que pueda hacerse fácilmente dentro del alcance de la presente invención debería ser abarcada por el alcance de la presente invención. Por lo tanto, el alcance de la presente invención debe ser definido por las reivindicaciones.

30

35

40

45

50

55

60

65



**Reivindicaciones**

- 5           1. Un método de reconstrucción de imagen de tomografía computarizada de descomposición de material de base de energía dual, el método comprende las etapas de:
- 10                 escanear un objeto bajo inspección con rayos de doble energía para adquirir valores de proyección de doble energía; cálculo de los valores de proyección de los coeficientes de los materiales de base ( $B_1, B_2$ ) que corresponde a dichos valores de proyección de doble energía basados en una tabla de búsqueda pre-creada que indica la correspondencia entre diferentes combinaciones de grosor y valores de proyección de los coeficientes de los materiales de base ( $B_1, B_2$ );
- 15                 reconstrucción de una imagen de base de distribución de coeficiente de material ( $b_1, b_2$ ), basado en dichos valores de proyección de los coeficientes de los materiales de base ( $b_1, b_2$ ), donde dicha tabla de búsqueda pre-creada se crea mediante la selección de al menos dos materiales de base, detectando rayos de penetración de los rayos de doble energía que penetran dichos materiales de base bajo diferentes combinaciones de espesor ( $d_1, d_2$ ) para adquirir valores de proyección ( $p_1, p_2$ ); y
- 20                 la creación de la tabla de búsqueda pre-creada en una forma de correspondencia entre dichos diferentes combinaciones de espesor ( $d_1, d_2$ ) y dichos valores de proyección ( $p_1, p_2$ ), por lo que cuando dichos valores de proyección ( $p_1, p_2$ ) son iguales a los valores de proyección de doble energía, una combinación correspondiente de espesor ( $d_1, d_2$ ) es igual a los valores de proyección de los coeficientes de los materiales de base ( $B_1, B_2$ ) en los que dichos rayos de doble energía comprenden de los rayos de baja energía y de alta energía y dichos rayos de baja energía y alta energía son rayos X.
- 25           2. El método de reconstrucción de imágenes de la reivindicación 1, comprende además una etapa de cálculo de la imagen de número atómico de dicho objeto sobre la base de dicha imagen de diferente distribución de coeficientes de material.
- 30           3. El método de reconstrucción de imágenes de la reivindicación 1, comprende además la etapa de calcular la imagen de densidad característica de dicho objeto sobre la base de dicha imagen de diferente distribución de coeficientes de material.
- 35           4. El método de reconstrucción de imágenes de la reivindicación 1, comprende además la etapa de calcular la imagen de coeficiente de atenuación de dicho objeto sobre la base de dicha imagen de diferente distribución de coeficientes de material.
- 40           5. El método de la reivindicación 1, en el que los diferentes materiales comprenden carbono y aluminio.
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

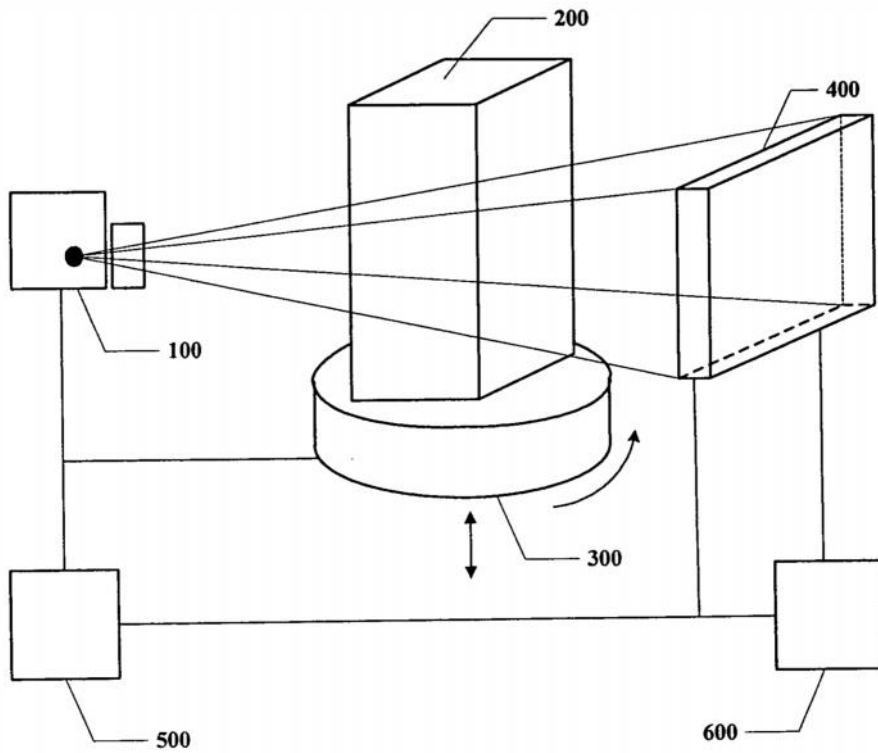


Fig. 1

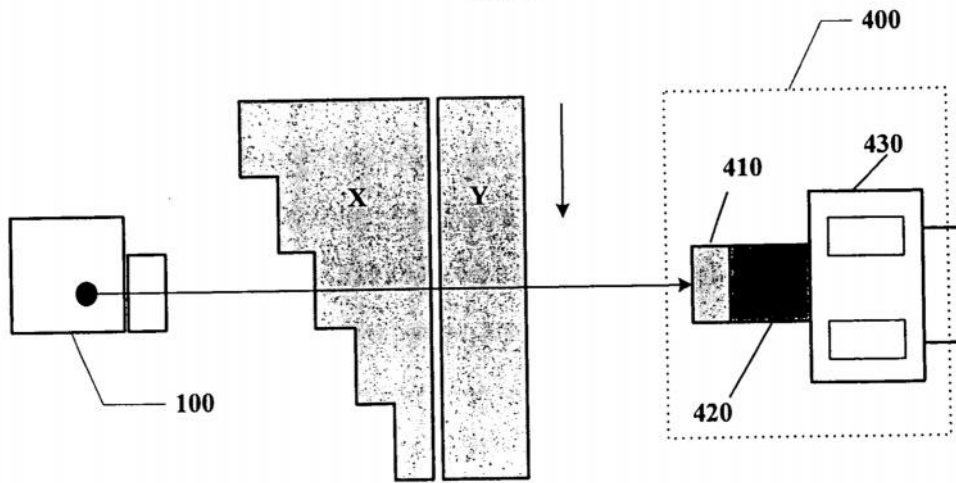


Fig. 2

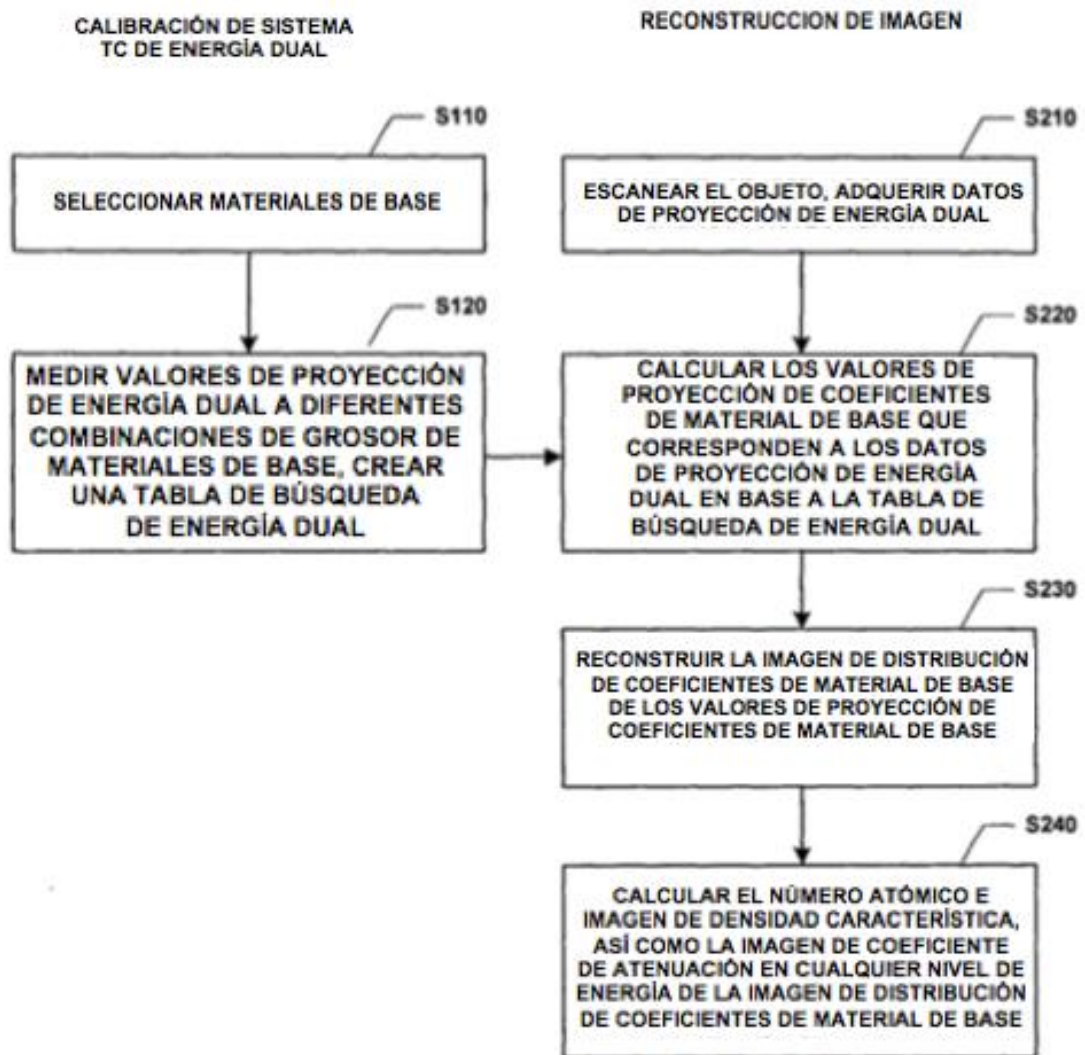


Fig. 3

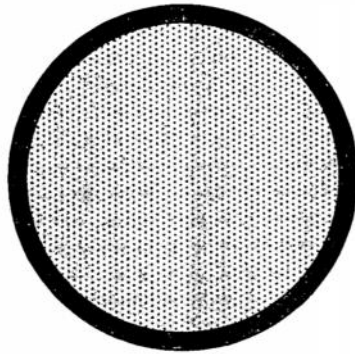


Fig. 4

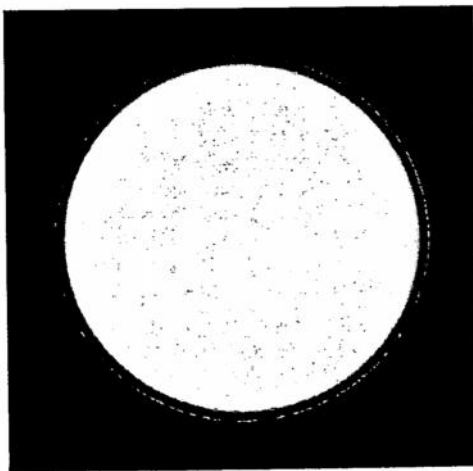


Fig. 5A

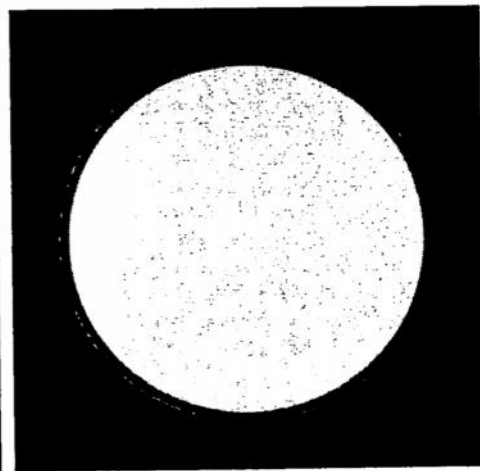


Fig. 5B

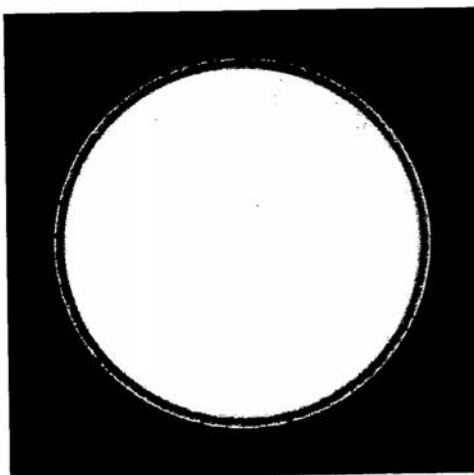


Fig. 5C

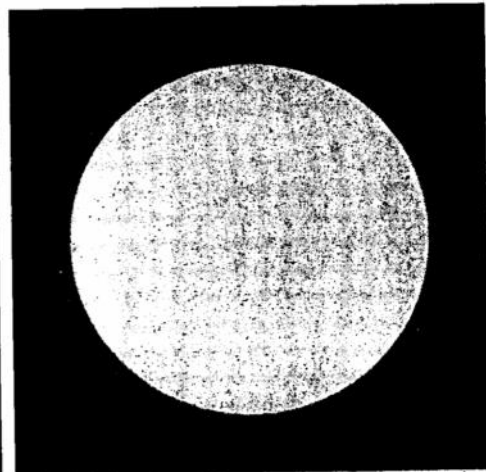


Fig. 5D

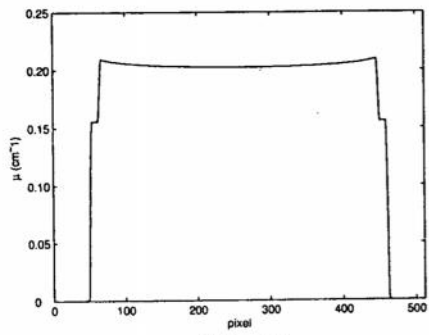


Fig. 5E

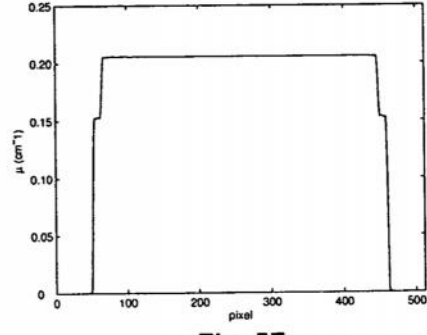


Fig. 5F

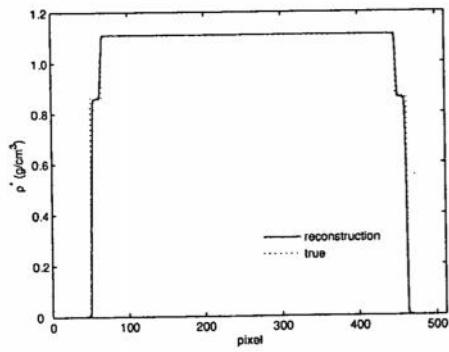


Fig. 5G

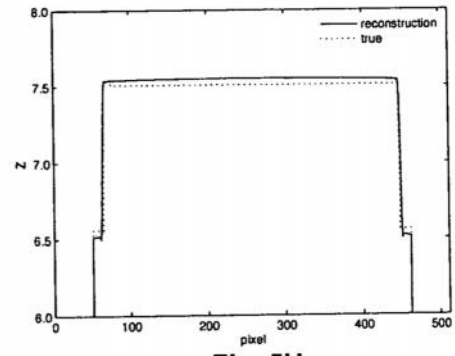


Fig. 5H