(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 897 650**

(51) Int. CI.:

G01T 1/29 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.05.2015 PCT/AU2015/000302**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **26.11.2015 WO15176115**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.05.2015 E 15796448 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.08.2021 EP 3146527**

(54) Título: **Detección de imágenes de rayos gamma**

(30) Prioridad:

22.05.2014 AU 2014901905

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.03.2022

(73) Titular/es:

AUSTRALIAN NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANISATION (100.0%)
New Illawarra Road Lucas Heights
New South Wales 2234, AU

(72) Inventor/es:

BOARDMAN, DAVID;
SARBUTT, ADAM;
FLYNN, ALISON y
PROKOPOVICH, DALE

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

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

Detección de imágenes de rayos gamma

Descripción

Campo de la invención

La invención se refiere a la detección de radiación y más particularmente a un dispositivo de detección de imágenes de rayos gamma o neutrones de detección comprimida que usa un solo detector y máscaras codificadas.

Antecedentes de la invención

La detección de imágenes de rayos gamma es una importante función de detección de radiación que puede proporcionar la ubicación y la identidad de los radionucleidos que emiten los rayos gamma. Las imágenes de rayos gamma se pueden usar en muchas aplicaciones, que incluyen, entre otras: desmantelamiento, descontaminación, monitoreo ambiental (es decir, estudios de sitios, estudios de minería), imágenes médicas (SPECT), astronomía y aplicaciones de seguridad nacional (es decir, búsqueda de radiología ilícita & material nuclear).

Las técnicas tradicionales de detección de imágenes de rayos gamma se basan en enfocar una imagen en conjuntos muy costosos de detectores o escanear en trama lentamente un solo detector a través del plano de la imagen. El costo de los conjuntos de detectores pixelados o las velocidades lentas de los sistemas de escaneo en trama son a menudo prohibitivos. A diferencia de los fotones ópticos, que se enfocan fácilmente, la naturaleza altamente penetrante de los fotones de los rayos gamma hace que sea muy difícil enfocarlos. Los sistemas de imágenes de rayos gamma que usan conjuntos de detectores pixelados suelen usar una óptica de abertura codificada plana, de orificios múltiples o de orificio único. Estos sistemas se usan para formar una imagen o una imagen codificada en el conjunto de detectores. El uso de óptica estenopeica (de orificio) y de abertura codificada ha existido durante décadas en aplicaciones médicas y de astronomía. Los campos de visión de estos tipos de sistemas de imágenes son de aproximadamente 30° - 40° en la dirección horizontal o vertical.

Los colimadores de modulación giratoria (CMG), introducidos por primera vez por Mertz en 1967, suelen usar dos máscaras con rendijas paralelas que recorren toda la longitud de la máscara. Cuando se giran las máscaras, la proyección de la máscara frontal parece orbitar la máscara trasera con respecto a la fuente. La rotación de las máscaras crea un patrón de conteo modulado en el detector que depende del número de fuentes, de la intensidad de la fuente, de la ubicación y del tamaño. El CMG tiene una serie de inconvenientes, que incluyen: un solo CMG tiene dificultades para obtener imágenes de fuentes extendidas, tiene un campo de visión pequeño, cuando se usa un solo CMG es imposible distinguir una fuente en el eje central de rotación. Véase, A Rotating Modulation Imager for the Orphan Source Search Problem, tesis doctoral, 2008

Las escenas de las que se van a formar imágenes en muchas aplicaciones de formación de imágenes de rayos gamma son de naturaleza escasa y normalmente requieren la detección de una o más fuentes puntuales Para el caso simple de una fuente de un solo punto que se va a muestrear en una imagen de 16 x 16, y suponiendo que el fondo sea cero, esto proporcionará 1 píxel distinto de cero y 255 píxeles cero. En lugar de tomar N (en este caso 256) mediciones, la mayoría de las cuales serán cero, la intuición dice que las estrategias más inteligentes deberían poder determinar la ubicación del píxel distinto de cero en mucho menos de N mediciones. Esta intuición ha sido probada recientemente a través del desarrollo de una nueva teoría de procesamiento de señales, conocida como Detección comprimida. La detección comprimida está permitiendo nuevas estrategias para la formación de imágenes. El estrategia de detección comprimida puede producir imágenes con una fracción de las mediciones (en comparación con las técnicas de imagen tradicionales) y permite realizar opciones de sistema de bajo costo (detector único). Recientemente se han desarrollado sistemas de imágenes de un solo píxel, basados en la detección comprimida, para longitudes de onda ópticas, infrarrojas y THz. Véase, R. G. Baraniuk y col, Method and Apparatus for Compressive Imaging Device, Patente de EE. UU. 8.199.244 B2, 2012.

Por ejemplo, se conoce un sistema de formación de imágenes de terahercios que usa un detector de un solo píxel en combinación con una serie de máscaras aleatorias para permitir la adquisición de imágenes de alta velocidad. W. L. Chan y col, A Single-Pixel Terahertz Imaging System Based on Compressed Sensing, Applied Physics Letters, Vol. 93, 2008. Todos estos sistemas de imágenes de un solo píxel usan algún tipo de lente para enfocar una imagen y a continuación usan mediciones de compresión aleatorias para muestrear el plano de la imagen. Sin embargo, debería ser posible realizar mediciones de compresión al muestrear el plano de la escena en lugar de formar una imagen y a continuación muestrear. Huang y col han adoptado este estrategia y describen un sistema de imágenes ópticas de un solo píxel que no requiere lentes. Usan un conjunto de abertura para muestrear aleatoriamente la escena y en ningún momento forman una imagen "tradicional". G. Huang y col, Lensless Imaging by Compressive Sensing, 2013. El documento US8519343 B1 describe un aparato de máscara para su uso en la detección comprimida de rayos gamma que comprende: una o más máscaras codificadas, teniendo cada una de las máscaras un cuerpo formado de un material que modula la intensidad de la radiación entrante; donde cada una de las una o más máscaras tiene una pluralidad de regiones de abertura de máscara que

permiten una mayor transmisión de la radiación con respecto a otras porciones de una o más máscaras codificadas, siendo la transmisión relativa suficiente para permitir la reconstrucción de las mediciones de detección comprimida. El artículo de G.K. Skinner, "Coded Mask Imagers: when to use them - and when not" publicado en New Astronomy Reviews, vol.48 (2004), muestra un aparato de máscara que tiene varias configuraciones geométricas.

La presente invención supera las deficiencias de las estrategias de formación de imágenes de rayos gamma anteriores diseñando un sistema en torno a los principios de la detección comprimida.

Resumen de la invención

Es un objetivo de la invención proporcionar un dispositivo de formación de imágenes de rayos gamma que tome menos mediciones que las técnicas de formación de imágenes de rayos gamma anteriores. Las imágenes de una escena se pueden producir con menos mediciones que el número de píxeles de la imagen.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un dispositivo de formación de imágenes de rayos gamma que tiene un campo de visión más grande que las técnicas de formación de imágenes de rayos gamma basadas en abertura anteriores.

Es un objetivo de la invención proporcionar un aparato de máscara que pueda muestrear aleatoriamente una escena en busca de rayos gamma. Estas proyecciones aleatorias de la escena se pueden usar para reconstruir imágenes.

Por consiguiente, se proporciona un aparato de máscara, como se reivindica en la reivindicación 1.

También se proporciona un procedimiento de detección de radiación, que comprende: realizar mediciones de detección comprimida con un sensor de radiación y un aparato de máscara de este tipo. Se proporciona además un procedimiento de desmantelamiento, descontaminación, monitoreo ambiental, imágenes médicas, astronomía o seguridad, que comprende dicho procedimiento de detección de radiación.

La invención también proporciona un generador de imágenes de radiación de detección comprimida, como se reivindica en la reivindicación 15.

Breve descripción de las figuras

Para que se comprenda mejor la invención, se hace ahora referencia a las siguientes figuras de los dibujos en los que:

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un detector individual, máscara y protector de 270 grados.

La Figura 2 es un diagrama esquemático del detector individual, la máscara y el protector de la Figura 1, que muestra protectores superior e inferior adicionales.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un detector individual y dos máscaras cilíndricas giratorias anidadas.

La Figura 4 es un diagrama esquemático de un detector individual y dos máscaras concéntricas que muestran la alineación y el estrechamiento de las aberturas.

La Figura 5 es un diagrama esquemático de dos máscaras concéntricas que muestran ranuras móviles como un sistema de aberturas.

La Figura 6 es un diagrama esquemático de una máscara que tiene elementos flotantes unidos a un sustrato.

La Figura 7 es un diagrama esquemático de un detector individual y dos máscaras hemisféricas concéntricas sobre un plano común.

Las Figuras 8 y 9 son diagramas esquemáticos de máscaras esféricas anidadas.

La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de operación de la invención.

La Figura 11 es un diagrama esquemático de una máscara codificada con elementos de bloqueo de rayos gamma y neutrones separados.

Las Figuras 3, 4, 7, 8 y 9 ilustran varias realizaciones que caen dentro del alcance de la invención reivindicada.

Disposición del generador de imágenes y detección

Como se muestra en las Figuras 1 y 2, un detector individual de rayos gamma 10 está ubicado en el centro de una máscara 11 que rodea o encierra el detector 10. El detector está ubicado en el centro de la máscara o máscaras, preferiblemente el detector ocupa un centro o eje de rotación de la máscara 11. Puede usarse una máscara cilíndrica o esférica 11. Aunque

se puede usar una posición de detector no central, la misma tendrá un campo de visión ligeramente diferente. Se puede usar más de un detector 12, 13 y estos detectores adicionales pueden estar en diferentes posiciones. El uso de varios detectores puede reducir el tiempo de obtención de imágenes.

Un protector de radiación 14 cilíndrico u otro opcional puede tener una abertura 15 arqueada para limitar el campo de visión a un arco definido por la abertura 15. La máscara 11 se puede indexar o girar mediante una plataforma giratoria accionada por un motor paso a paso 19 o accionada directamente por un motor paso a paso 20 o de otro modo para adaptarse a la máscara codificada o la metodología óptica que se esté empleando. Mediante el uso de motores paso a paso 20, engranajes 21 y un ordenador de control 22 que tiene, por ejemplo, funciones de visualización e impresión para generar una imagen a partir de los datos recopilados y procesados, la recopilación de datos y el movimiento/rotación coordinados de la máscara se pueden automatizar. El movimiento de la máscara puede ser en pasos discretos o en un movimiento continuo.

Como se muestra en la Figura 2, cuando se usa una máscara cilíndrica 11, la parte superior e inferior generalmente necesitan estar cubiertas por un protector 16, 17, de modo que la única radiación que llegue al detector sea a través de las aberturas abiertas 18 de la máscara 11 que no están protegidas de otra manera.

El generador de imágenes de rayos gamma de detección comprimida se puede usar junto con cualquier sensor 10, 12, 13 sensible a los rayos gamma. Los sistemas detectores de rayos gamma típicos basados en materiales como yoduro de sodio (NaI), yoduro de cesio (CsI), germanato de bismuto (BGO), telururo de cadmio (CdTe), telururo de cadmio y zinc (CZT), germanio de alta pureza (HPGe), yoduro de estroncio (SrI_2) y pueden ser usados CLYC. Se pueden usar detectores espectroscópicos que determinan la energía de cada fotón medido para identificar el radionúclido del que se está obteniendo la imagen. Los detectores no espectroscópicos que solo registran recuentos brutos proporcionarán información general sobre los puntos donde hay radiación. Otros equipos de detección de radiación, como medidores de tasa de dosis, podrían usarse como sensores y en este caso mapearían la dosis en el campo de visión.

[0020] La realización preferida de la invención usa un detector espectroscópico que mide la energía de cada fotón de rayos gamma detectado. Los valores de recuento de fotones de cualquier intervalo de energía o gama de intervalo de energía en particular se pueden usar como datos observados de un conjunto de mediciones. La reconstrucción de los datos de recuento de fotones observados para una región de interés pico determinada (por ejemplo, la línea ^{241}Am de 60 keV) proporcionará la ubicación de la línea ^{241}Am, siempre que el radionúclido esté presente. La reconstrucción de los datos de fotones observados para regiones de interés adicionales puede proporcionar la ubicación de radionucleidos adicionales.

Se puede usar un generador de imágenes de neutrones de detección comprimida junto con cualquier sensor o sensores sensibles a neutrones 10, 12, 13.

Los sensores de modalidad dual 10, 12, 13, que incluyen pero no se limitan a CLYC, pueden usarse para medir la modulación tanto de los rayos gamma como de los neutrones.

Se apreciará que las enseñanzas de esta invención se pueden aplicar a la radiación de cualquier longitud de onda (o de cualquier partícula) usando la máscara y el detector apropiados. Sin embargo, dichas enseñanzas no forman parte de la invención reivindicada.

Máscara y aberturas de máscara

La aberturas o aberturas del patrón de máscara se disponen preferiblemente en filas y columnas. La ubicación de las aberturas 18 del patrón de máscara puede, por ejemplo, producirse de forma aleatoria. Por ejemplo, en una máscara de posibles aberturas de 16 x 16 hay un total de 256 aberturas numeradas. Se usa un generador de números aleatorios para seleccionar al azar 128 de los números de abertura entre 1 y 256. Estos 128 números se configuran para ser las aberturas abiertas. Las 128 ubicaciones restantes (de los 256 números originales) se establecen como cero (cerradas). Esto proporciona un patrón de máscara que está abierto al 50 %. Para máscaras rotacionales, donde las columnas de la máscara son indexadas o giradas, la selección aleatoria de aberturas abiertas/cerradas se puede hacer para cada fila en lugar de para toda la máscara. Esto aseguraría que cada fila de máscara esté abierta al 50 % (por ejemplo) y evitaría situaciones en las que una fila tenga demasiadas o muy pocas aberturas abiertas, lo que podría afectar la reconstrucción de la imagen.

La geometría del sistema definirá la resolución espacial. El tamaño de la abertura debería ser preferiblemente igual o mayor que las dimensiones del detector. Por ejemplo, un sistema puede tener aberturas 18 con dimensiones de 0,5 cm x 0,5 cm y el área de la sección transversal del detector también debe ser de 0,5 cm x 0,5 cm o menos. Cuanto más lejos esté el detector de la máscara, mejor será la resolución espacial.

Se pueden usar detectores con dimensiones mayores que las de la abertura, sin embargo, para este caso habrá una mayor superposición entre los campos de visión de las aberturas adyacentes. Esta superposición (que es una degradación/borrosidad en la resolución espacial) se puede eliminar restaurando la función de respuesta de la máscara.

La forma de la sección transversal de la abertura preferida es cuadrada. El número preferido de aberturas es una potencia de 2 (es decir, 64, 128, 256, 512, 1024), aunque no es esencial. Se prefiere que haya una separación mínima o nula entre las aberturas de la máscara.

El grosor de la máscara dependerá de la aplicación. Para la formación de imágenes de fotones de alta energía (por ejemplo, los fotones de 1,3 MeV de ^{60}Co), un grosor total de la máscara de 2 cm de plomo atenuaría aproximadamente el 72 % de los fotones de 1,3 MeV.

Los materiales de la máscara están hechos de un material de cuerpo que puede modular suficientemente la intensidad de la radiación entrante. Para los rayos gamma de alta energía, los materiales normalmente tendrán un número atómico (Z) alto y una densidad alta, lo que absorbería (atenuaría) la radiación de rayos gamma. Los materiales típicos podrían incluir, entre otros, tungsteno, plomo, oro, tantalio, hafnio y sus aleaciones o compuestos (es decir, impresiones 3D, mezclando polvo de tungsteno con epoxi). Para fotones de rayos gamma de baja energía, materiales de Z de bajo a medio, como el acero, son suficientes para modular la intensidad de los fotones. En una realización preferida de la invención, el material de la máscara atenuará los fotones para modular la intensidad de los fotones. Otras realizaciones pueden usar otros mecanismos de interacción, como la dispersión de Compton, si muestran una modulación apreciable en la intensidad de los fotones.

Para obtener imágenes de la radiación de neutrones, el cuerpo de la máscara deberá modular la intensidad de los neutrones y, por lo tanto, los materiales de la máscara requerirán una sección transversal de interacción de neutrones alta. Los materiales del cuerpo de la máscara de neutrones pueden incluir, entre otros: hafnio, gadolinio, cadmio, materiales dopados con boro, materiales ricos en hidrógeno y sus combinaciones.

Las máscaras pueden diseñarse a partir de materiales que permitan la modulación de rayos gamma y neutrones. Un solo material como el hafnio puede ser adecuado para modular la intensidad de los rayos gamma y los neutrones. El uso de múltiples materiales, por ejemplo, una combinación de tungsteno y cadmio, puede ser adecuado para modular las intensidades tanto de los rayos gamma como de los neutrones. Las aberturas abiertas, para la máscara de rayos gamma, pueden consistir en algún material rico en hidrógeno que no influye en la modulación de la intensidad de los rayos gamma. Estas aberturas ricas en hidrógeno representarían a continuación las aberturas cerradas o regiones moduladoras de la máscara de neutrones. Por extensión, estos materiales de máscara podrían usarse para modular la intensidad de cualquier longitud de onda EM (es decir, óptica, infrarroja, THz, etc.) o cualquier partícula (es decir, electrones, protones, etc.).

Como se muestra en la Figura 11, una máscara codificada es capaz de modular tanto los rayos gamma como los neutrones por separado, es decir, algunas regiones de la máscara se usan para bloquear solo los rayos gamma y algunas regiones de la máscara solo se usan para bloquear los neutrones. En el ejemplo de la Figura 11, un subconjunto de regiones de máscara (representadas en negro sólido) se fabrica a partir de un material que modula únicamente los rayos gamma. Otro subconjunto de regiones de máscara 92 (representadas en blanco) modula solo los neutrones y no los rayos gamma. Las máscaras de este tipo se pueden fabricar de acuerdo con cualquiera de las técnicas y materiales, formas o configuraciones descritas o sugeridas por esta memoria descriptiva.

Las máscaras son múltiples y anidadas, circulares, arqueadas, hemisféricas o esféricas. Las mediciones consecutivas necesarias para la detección por máscara codificada requerirán un nuevo patrón de máscara obtenido mediante el uso de alguna forma de rotación de la máscara o máscaras.

La ventaja de las máscaras arqueadas, cilíndricas o esféricas es que son posibles grandes campos de visión (CDV). Las cámaras de rayos gamma de orificio/abertura codificada disponibles comercialmente actualmente tienen un CDV horizontal y vertical entre aproximadamente 30° y 40°. Una realización de máscara cilíndrica vertical tendría un CDV horizontal de 360°, una realización de máscara hemisférica tendría un CDV de 2π y una realización de máscara esférica tendría un CDV cercano a 4π. Otras realizaciones pueden incluir, pero no se limitan a: máscaras de forma elipsoide, cónica, cuboide o hexagonal.

En el caso de una realización de una sola máscara cilíndrica, la rotación de la máscara en una columna constituiría un nuevo patrón de máscara viendo el CDV deseado para una nueva medición. Para una realización de una sola máscara cilíndrica, se puede usar un protector de radiación para restringir el CDV y, por lo tanto, tener un gran número de columnas para permitir más mediciones (ver Figura 2). La desventaja de la estrategia de máscara cilíndrica única es que se requieren más columnas para realizar más mediciones, lo que aumenta el diámetro del cilindro y el tamaño físico de todo el sistema.

Como se muestra en la Figura 3, una estrategia que usa una máscara anidada dentro de una máscara (o una estrategia de máscara doble o múltiple), donde cada cuerpo de máscara 35, 36 puede moverse o ser indexado por el ordenador 22 de forma independiente, permite muchas más mediciones a partir del número de combinaciones posibles de los dos patrones de máscara. En una realización preferida de la invención, el estrategia de máscara dual consistiría en un cilindro dentro de un cilindro (ver Figura 3). Cada máscara se gira independientemente de la manera sugerida para una sola máscara en la Figura 2 alrededor de un eje de detección o eje de formación de imágenes a lo largo del cual se puede ubicar un detector. La gran cantidad de patrones de máscara (y por lo tanto de mediciones) permitiría un sistema más compacto (menos columnas totales en un cilindro) que podría obtener imágenes de un CDV de 360°. También se puede

hacer un argumento similar para los diseños de máscaras esféricas y hemisféricas duales. Para la estrategia de máscara doble, la fracción abierta combinada de la máscara puede aproximarse 50 %, pero habrá una variación en esto a medida que se roten las máscaras. Una máscara puede indexarse en ángulo de rotación para una revolución completa antes de que la otra máscara sea indexada por una sola columna, generando así un número de máscaras virtuales, siendo el número de columnas al cuadrado. En otras realizaciones, las máscaras se hacen girar en sentido contrario mediante una columna en una disposición alternante o no alternante. Cada máscara virtual se usa para una medición de radiación antes de que se genere la siguiente máscara. Cada máscara solo necesita girar en una dirección.

La forma en sección transversal o proyectada de las aberturas de la máscara puede incluir, pero no se limita a: cuadrada, rectangular, circular, triangular y hexagonal. Puede haber o no separación entre las aberturas de la máscara. En una realización preferida de la invención de un sistema de máscara única, la forma de la abertura de la máscara es cuadrada.

Como se muestra en la Figura 4, para una realización de máscara doble, las dimensiones y la orientación de la máscara interna 30 y externa 31 pueden ser diferentes, de modo que estén ahusadas 32 (pero alineadas en sus bordes) para producir el mismo CDV para ambas máscaras interior y exterior con respecto al detector 33. Las formas 3-dimensionales de estas aberturas 34 pueden incluir, pero no se limitan a, un prisma trapezoidal y un cono.

Como se muestra en la Figura 5, las aberturas abiertas pueden formarse mediante la superposición de estructuras abiertas continuas, en forma de líneas espirales 41 o alguna otra estructura en una máscara y otra forma tal como una hendidura vertical 43 en la otra máscara. La rotación de las máscaras 42, 44 entre sí produce una abertura codificada.

El patrón de máscara puede ser de diseño aleatorio, pseudoaleatorio, no aleatorio o determinista. Por lo general, se requerirá que el patrón de la máscara cumpla las condiciones definidas para que funcione la detección comprimida. En el procedimiento de reconstrucción se usará una representación del patrón de máscara, en forma de matriz. La matriz de detección usada en la reconstrucción puede ser una matriz circulante o de Toeplitz, que puede proporcionar un tiempo de cálculo más rápido. En una realización preferida de la invención, se genera un patrón de máscara pseudoaleatorio en el que cada elemento de máscara tiene la misma probabilidad de ser 1 (abierto - 100 % de transmisión) o 0 (cerrado - 0 % de transmisión). El porcentaje de transmisión para un elemento de máscara cerrado debe ser un valor menor que 100 %, por ejemplo, preferiblemente 0 % pero una transmisión del 50 % seguirá siendo suficiente para modular eficazmente la intensidad para reconstruir una imagen. El porcentaje de transmisión se relaciona con la naturaleza cada vez más penetrante de los rayos gamma de mayor energía. Por ejemplo, un elemento de máscara cerrado que consiste en 10 mm de plomo puede tener 0 % de transmisión para fotones de rayos gamma de 60 keV, pero su porcentaje de transmisión puede ser aproximadamente del 53 % para fotones de rayos gamma de 1332 keV. Habrá un punto en el que los porcentajes de transmisión de las aberturas abierta y cerrada estarán demasiado cerca para modular la intensidad del fotón lo suficiente como para reconstruir una imagen. Como ejemplo, porcentajes de transmisión del 100 % y 90 %, para aberturas abiertas y cerradas, respectivamente, pueden estar demasiado juntas para una modulación suficiente en la intensidad de fotones. Puede haber más de dos niveles de transmisión dentro de la máscara para una energía dada, por ejemplo, tres niveles de transmisión pueden ser 33 %, 66 % y 100 %. Otros niveles de transmisión pueden ser 25 %, 50 %, 75 % y 100 % o 16 %, 4 % y 100 %. En el último ejemplo, la proximidad de los dos estados de transmisión más bajos hará que los tres niveles de transmisión se parezcan a dos niveles, lo que potencialmente proporcionará tiempos de reconstrucción más rápidos, una reconstrucción de mayor calidad y pocas mediciones. Los niveles de transmisión pueden cubrir dos o más niveles entre 0 % y 100 %. Los valores de la matriz de detección pueden ser los valores de atenuación para energías de rayos gamma particulares. Se pueden usar diferentes valores de atenuación y, por lo tanto, diferentes matrices de detección para reconstrucciones a diferentes energías de rayos gamma.

Como se muestra en la Figura 6, el patrón de máscara para cualquier forma de máscara se puede generar de manera que la estructura de la máscara sea autoportante. Por ejemplo, los patrones de máscara con un conjunto de elementos 50 "cerrados" flotantes o sueltos se fijan, adhieren o unen a un sustrato 51 que no enmascara. Por tanto, los elementos de máscara 50 opacos a la radiación no necesitan estar unidos entre sí por el sustrato 51. Alternativamente, pueden seleccionarse patrones de máscara sin elementos 50 "cerrados" flotantes o sueltos, lo que no requeriría un sustrato 51, pero requeriría que los elementos 50 cerrados externos se unieran a una estructura común.

Como se muestra en las Figuras 7-9, la máscara o máscaras pueden ser hemisféricas, esféricas o una parte de una esfera, como un casquete, sobre cualquier plano secante dado u opcionalmente un segmento entre dos planos. La Figura 7 muestra dos máscaras anidadas y concéntricas en forma de casquetes esféricos, un casquete interior 61 y un casquete exterior 62, siendo ambos hemisferios con los bordes (o filas inferiores) de ambos en un plano común. Una o ambas máscaras 61, 62 se rotan en posiciones de muestreo de datos donde las columnas 63, 64 y las filas de ambas están alineadas o en registro cuando los datos se muestrean o adquieren. Ambas tienen el mismo número de columnas y filas. Cada fila ocupa una zona de una esfera entre dos planos paralelos. En un ejemplo, la máscara hemisférica interna 61 está indexada por una columna en una dirección y la máscara externa 62 está indexada o rotada por un ángulo definido por una sola columna en la dirección opuesta, consistente con la Figura 3. Tener ambas máscaras moviéndose simultáneamente ofrece mayor variabilidad en la que los elementos de la máscara están abiertos o cerrados en comparación con tener una máscara estacionaria y la otra en movimiento. Esta disposición permite la formación de imágenes de máscara codificada con un solo detector de todo el espacio por encima del plano que incluye los bordes 65, 66.

Las Figuras 8 y 9 ilustran el uso de dos máscaras u opcionalmente dos pares de máscaras anidadas 71, 72 que son esféricas y concéntricas. De esta manera, se pueden obtener imágenes de todo el espacio alrededor del detector o detectores centrales. Cada máscara esférica o emparejamiento de máscaras 71, 72 puede formarse a partir de 2 máscaras hemisféricas o emparejamientos de máscaras como se muestra en la Figura 7. Cada máscara en la disposición tendrá su propio sistema de accionamiento que comprende una plataforma giratoria o una disposición de motor paso a paso, accionada por el ordenador 22 del sistema. (Ver Figura 2).

Diseño geométrico de máscara

El diseño de la máscara dependerá de los requisitos de la aplicación de imágenes radiológicas en cuestión. La geometría del sistema influirá en el rendimiento del sistema, como la resolución espacial, el CDV y la sensibilidad. Los parámetros geométricos de importancia incluyen: las dimensiones del detector, la distancia entre el detector y la máscara, las dimensiones de la abertura (es decir, el grosor, la longitud y el ancho), la distancia entre la máscara y la fuente, el grosor del tabique, el número de aberturas de la máscara y el ángulo subtendido desde el centro del detector y dos aberturas de máscara vecinas. Por ejemplo, una abertura de máscara más pequeña proporcionará una resolución espacial más alta.

Algoritmo de reconstrucción

Existe una gran cantidad de algoritmos de reconstrucción que se han usado para la detección comprimida. Por ejemplo, existen procedimientos de proyección de gradiente, procedimientos iterativos de encogimiento/umbral y procedimientos de búsqueda por coincidencia. Véase, R. M. Willett, R. F. Marcia y J. M. Nichols, Compressed Sensing for Practical Optical Imaging Systems: a Tutorial, Optical Engineering Vol. 50(7), Julio 2011. Cualquiera de estos procedimientos o algún otro procedimiento apropiado puede usarse para reconstruir las mediciones de detección comprimida. La implementación de la detección comprimida ANSTO usó el algoritmo de Proyección de Gradiente para Reconstrucción Escasa (PGRE). Véase, Gradient Projection for Sparse Reconstruction: Application to Compressed Sensing and Other Inverse Problems, por M. A. Figueiredo, R. D. Nowak, S. J. Wright, Journal of Selected Topics in Signal Processing, diciembre 2007.

Fusión de imágenes

La imagen de rayos gamma que se genera después de las mediciones de detección comprimida puede superponerse con una imagen óptica que se registra en el mismo campo de visión. La imagen de neutrones puede superponerse con una imagen óptica. Las imágenes de radiación superpuestas con una imagen óptica ayudarán al usuario a visualizar la ubicación de las fuentes de radiación. Las imágenes de radiación pueden superponerse con imágenes en cualquier otra longitud de onda (es decir, infrarroja).

Procedimiento

Como se muestra en la Figura 10, una fuente emite radiación 80. Esa radiación 80 pasa a través de una máscara o máscaras 81 como se describió anteriormente. El ordenador 22 del sistema hace que el detector 10 funcione o tome una lectura de un detector operativo 82. A continuación, el detector transmite un valor medido 83 al ordenador 22. El ordenador guarda y usa el valor y el posicionamiento de la máscara o máscaras para compilar datos que serán reconstruidos en una imagen. A continuación, el ordenador hace que el motor o los motores que controlan la máscara o las máscaras giren o indexen hasta la siguiente posición de medición. La radiación pasa a continuación a través, en efecto, de una nueva máscara o de una nueva orientación de máscara 81 a medida que se repite el procedimiento.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a ejemplos específicos, los expertos en la técnica apreciarán que la invención puede realizarse de muchas otras formas.

Como se usa en esta invención, a menos que se especifique lo contrario, el uso de los adjetivos ordinales "primero", "segundo", "tercero", etc., para describir un objeto común, simplemente indica que se hace referencia a diferentes aspectos de objetos similares, y no pretenden implicar que los objetos así descritos deban estar en una secuencia determinada, ya sea temporal, espacialmente, en clasificación o de cualquier otra manera. La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a «una realización», o «realización» o «ejemplo» significa que una característica particular, estructura o función descrita en relación con la realización está incluida en al menos una realización de la presente invención. Por tanto, cuando aparecen frases como "en una realización" o «en un ejemplo» en varios lugares a lo largo de esta memoria descriptiva, no se refieren todas necesariamente a la misma realización o ejemplo. Además, las funciones, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier forma adecuada, como sería evidente para un experto en la materia a partir de esta descripción, en una o más realizaciones.

De manera similar, debe apreciarse que en la descripción de las realizaciones ejemplares de la invención, varias características de la invención a veces se agrupan en una sola realización, figura o descripción de la misma con el fin de simplificar la descripción y ayudar en la comprensión de uno o más de los diversos aspectos de la invención. Este procedimiento de descripción, sin embargo, no se debe interpretar como indicativo de una intención de que la invención reivindicada requiera más características de las que se describen expresamente en cada reivindicación. Por el contrario, tal como lo reflejan las reivindicaciones que se encuentran a continuación, los aspectos de la invención se encuentran en menos de la totalidad de las características de una realización descrita anteriormente. Todas las reivindicaciones que

siguen a la Descripción detallada se incorporan expresamente a esta Descripción detallada, y cada reivindicación se mantiene por sí sola como una realización separada de esta invención.

A menos que se indique específicamente lo contrario, como se desprende de las siguientes discusiones, se aprecia que a lo largo de las discusiones de la memoria descriptiva que usan términos como "procesamiento", "computación", "cálculo", "determinación" o similares, se refieren a la acción y/o procedimientos de un microprocesador, controlador o sistema informático, o dispositivos informáticos electrónicos similares o de procesamiento de señales, que manipula y/o transforma datos.

Además, aunque algunas realizaciones descritas en esta invención incluyen algunas pero no otras características incluidas en otras realizaciones, se pretende que las combinaciones de características de diferentes realizaciones estén dentro del alcance de la invención y formen diferentes realizaciones, como entenderán los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de máscara configurado para su uso en la detección de rayos gamma o radiación de neutrones entrantes, que comprende:

una pluralidad de máscaras codificadas (11; 30, 31; 42, 44; 51; 61, 62; 71, 72), cada una de las máscaras (11; 30, 31; 42, 44; 51; 61, 62; 71, 72) tiene un cuerpo formado de un material que modula la intensidad de la radiación entrante;

donde cada una de las máscaras codificadas (11; 30, 31; 42, 44; 51; 61, 62; 71, 72) tiene un patrón de máscara respectivo que comprende una pluralidad de regiones de aberturas de máscara (18; 34; 41, 43; 91, 92) que permiten una mayor transmisión de la radiación con respecto a otras porciones de las máscaras codificadas;

caracterizado porque

una o más de las máscaras codificadas (11; 30, 31; 42, 44; 51; 61, 62; 71, 72) están configuradas para girar de modo que al menos una de las máscaras codificadas (30; 42; 61; 71) está configurada para girar con respecto a otra de las máscaras codificadas (31; 44; 62; 72); y

dichas máscaras codificadas son cilíndricas (11; 30, 31; 42, 44), hemisféricas (61, 62), esféricas (71, 72) o parte de una esfera; y están anidadas.

2. El aparato de máscara de la reivindicación 1, donde:

las máscaras (61, 62) son hemisféricas y el aparato de máscara tiene un campo de visión de 2π.

3. El aparato de máscara de la reivindicación 1, donde las máscaras (71, 72) son esféricas y el aparato de máscara tiene un campo de visión de casi 4π.

4. El aparato de máscara de la reivindicación 1, donde las máscaras (11; 30, 31; 42, 44) son cilíndricas y proporcionan un campo de visión horizontal de 360°.

5. El aparato de máscara de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde:

cada una de las máscaras (11; 30, 31; 42, 44) tiene una parte superior e inferior y el aparato de máscara comprende además un protector de radiación (16, 17) que cubre la parte superior e inferior de las máscaras (11; 30, 31; 42, 44).

6. El aparato de máscara de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde:

la pluralidad de regiones de abertura de máscara (18; 34; 41, 43; 91, 92) de cada una de las máscaras (11; 30, 31; 42, 44; 51; 61, 62; 71, 72) son iguales en número a una potencia de dos.

7. El aparato de máscara de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde:

cada una de las máscaras (11; 30, 31; 42, 44; 51; 61, 62; 71, 72) es formada a partir de un material seleccionado de entre el grupo que consiste en: tungsteno, plomo, oro, tantalio, hafnio y sus aleaciones.

8. El aparato de máscara de la reivindicación 1, donde cada una de las máscaras (11; 30, 31; 42, 44; 51; 61, 62; 71, 72) está formada:

(i) de un material que modula la radiación de rayos gamma entrante; o

(ii) de un material que modula la radiación de neutrones entrante; o

(iii) de un material que modula tanto la radiación de rayos gamma entrante como los neutrones.

9. El aparato de máscara de la reivindicación 1, donde:

cada una de las máscaras (11; 30, 31; 42, 44; 51; 61, 62; 71, 72) está formada por un material que modula tanto la radiación de rayos gamma entrante como los neutrones; y

algunas de las regiones de aberturas de máscara (18; 34; 41, 43; 91, 92) son regiones de modulación de rayos gamma y algunas de las regiones de aberturas de máscara (18; 34; 41, 43; 91, 92) son regiones de modulación de neutrones .

10. El aparato de máscara de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde:

las máscaras (30, 31; 42, 44; 61, 62; 71, 72) son concéntricas.

11. El aparato de máscara de la reivindicación 1, que comprende además un protector de radiación (14) que rodea las máscaras (11; 30, 31; 42, 44; 61, 62; 71, 72); donde: el protector de radiación (14) tiene una abertura (15) que limita un campo de visión de un sensor de radiación (10; 12, 13; 33) ubicado dentro de las máscaras (11; 30, 31; 42, 44; 61, 62; 71, 72).

12. El aparato de máscara de la reivindicación 11, donde cada una de las máscaras (11; 30, 31; 42, 44; 61, 62; 71, 72) tiene una parte superior e inferior, y el aparato de máscara comprende además un protector de radiación adicional (16, 17) que cubre la parte superior e inferior de las máscaras (11; 30, 31; 42, 44; 61, 62; 71, 72).

13. Un procedimiento de detección de radiación, que comprende:

realizar mediciones de detección comprimida de rayos gamma o radiación de neutrones entrantes con un sensor de radiación (10; 12, 13; 33) y un aparato de máscara según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 .

14. Un procedimiento de desmantelamiento, descontaminación, monitoreo ambiental, imágenes médicas, astronomía o seguridad, que comprende un procedimiento de detección de radiación como se reivindica en la reivindicación 13.

15. Un generador de imágenes de radiación de detección comprimida, que comprende:

Un aparato de máscara según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12; y

al menos un sensor de radiación (10; 12, 13; 33) ubicado dentro del aparato de máscara;

donde el generador de imágenes está configurado para realizar mediciones de detección comprimida y para generar datos de imágenes de radiación a partir de las mediciones de detección comprimida.

16. Un generador de imágenes de radiación según se reivindica en la reivindicación 15, donde al menos un sensor de radiación (10; 12, 13; 33) comprende:

i) al menos un sensor de radiación de rayos gamma (10; 12, 13; 33), de manera que el generador de imágenes de radiación constituye un generador de imágenes de radiación de rayos gamma; o

ii) al menos un sensor de neutrones, de manera que el generador de imágenes de radiación constituye un generador de imágenes de radiación de neutrones; o

iii) al menos un sensor de modalidad dual (10; 12, 13; 33) que detecta tanto los rayos gamma como los neutrones.

17. Un generador de imágenes de radiación según se reivindica en la reivindicación 15, donde el generador de imágenes está configurado para superponer los datos de imagen de radiación y una imagen óptica o infrarroja correspondiente a un campo de visión común.

18. Un generador de imágenes de radiación según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17, que comprende además uno o más motores paso a paso (20).

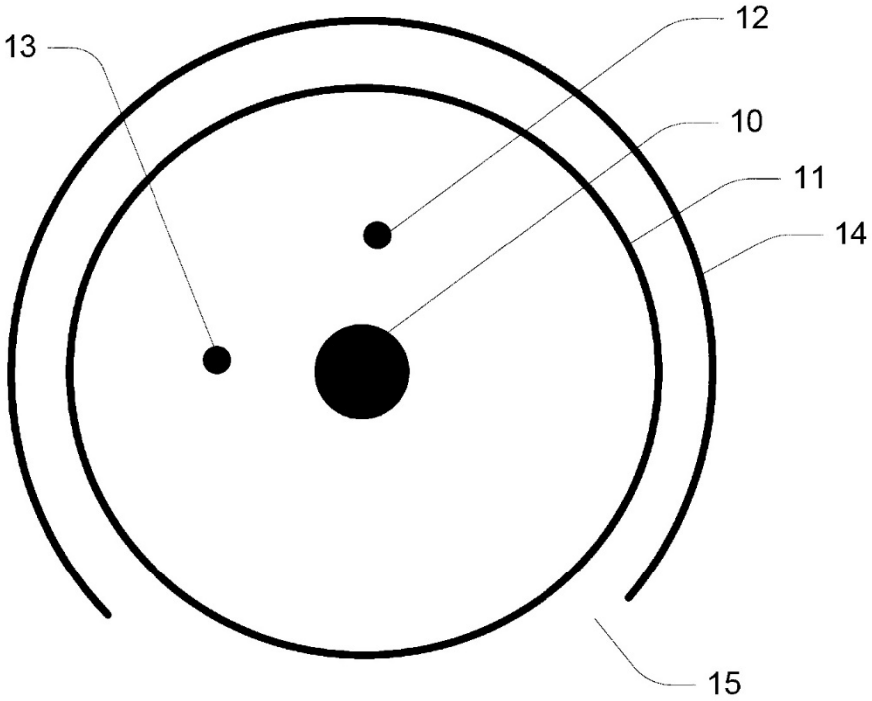

FIG. 1

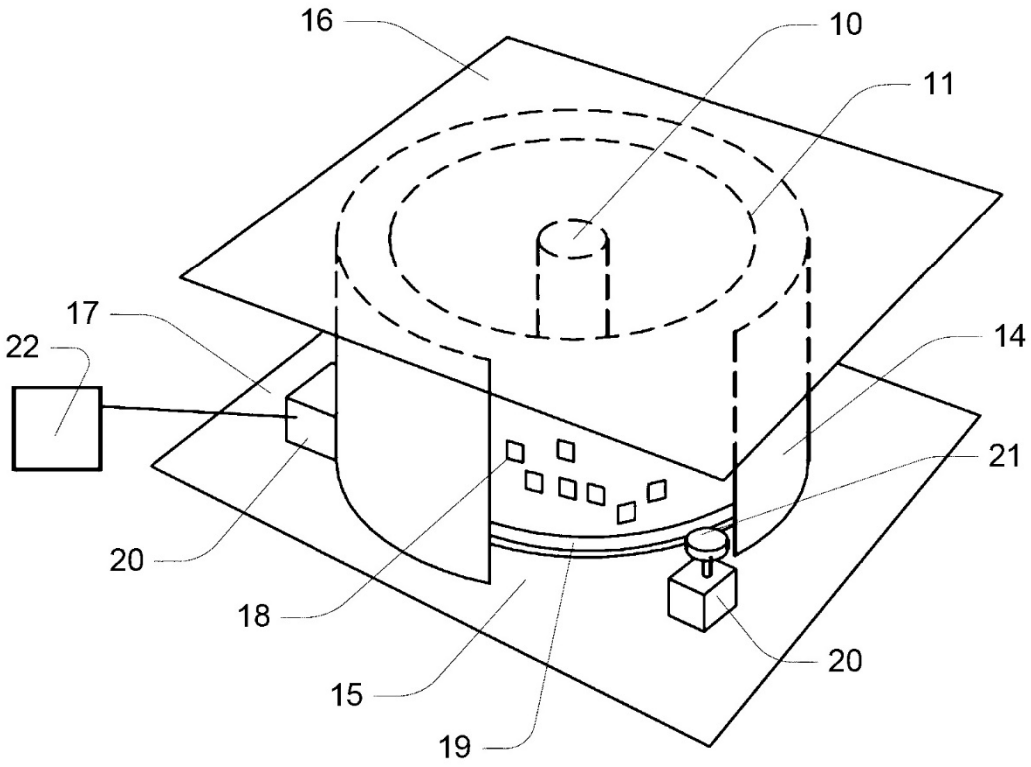

FIG. 2

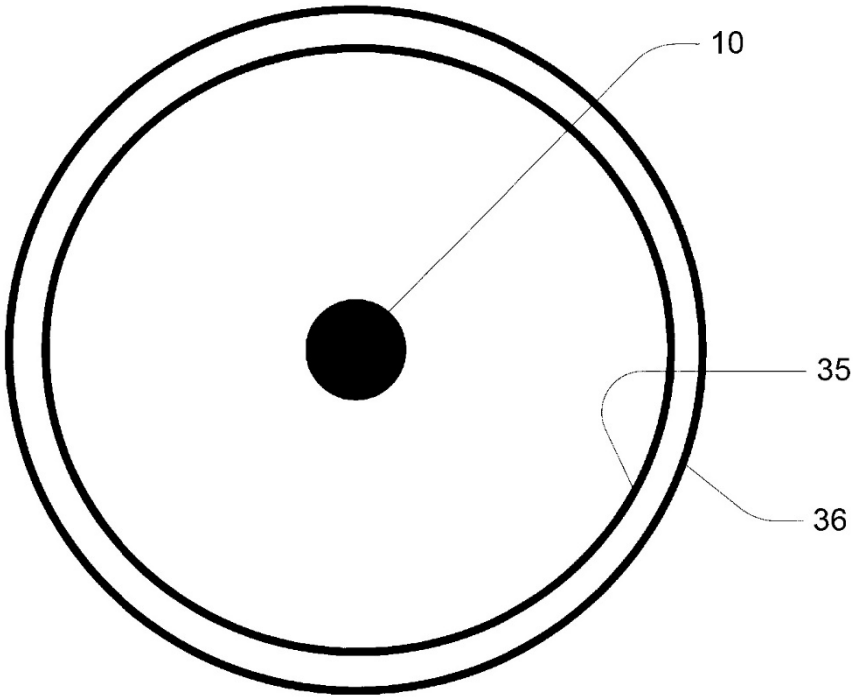

FIG. 3

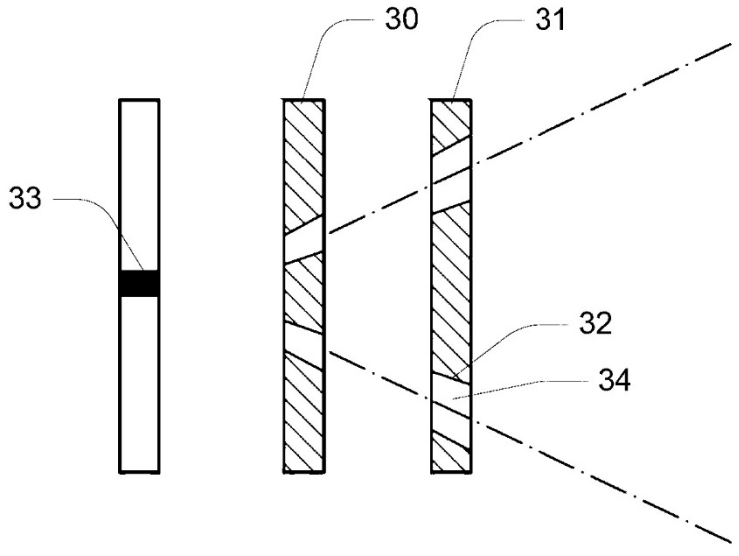

FIG. 4

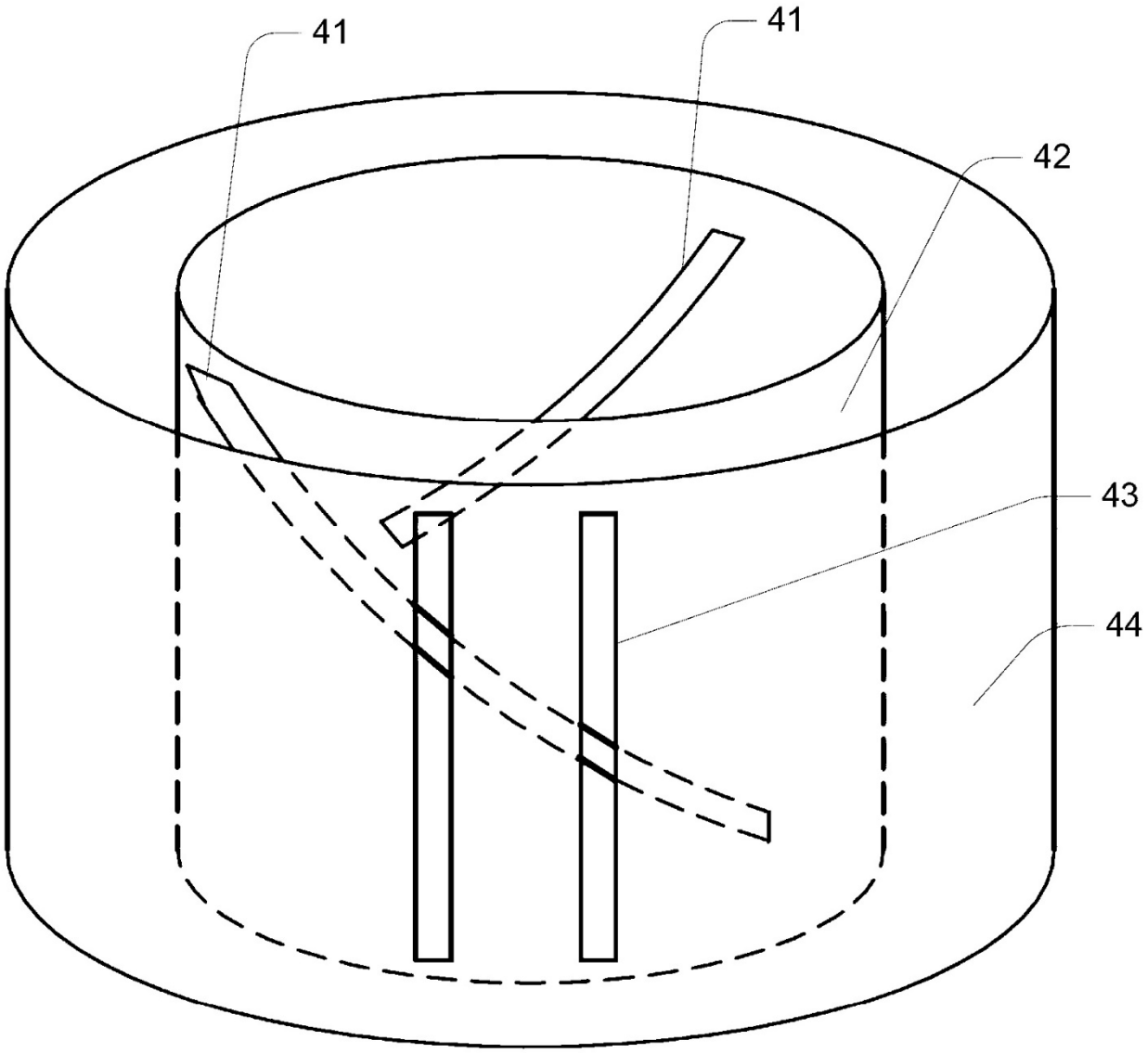

FIG. 5

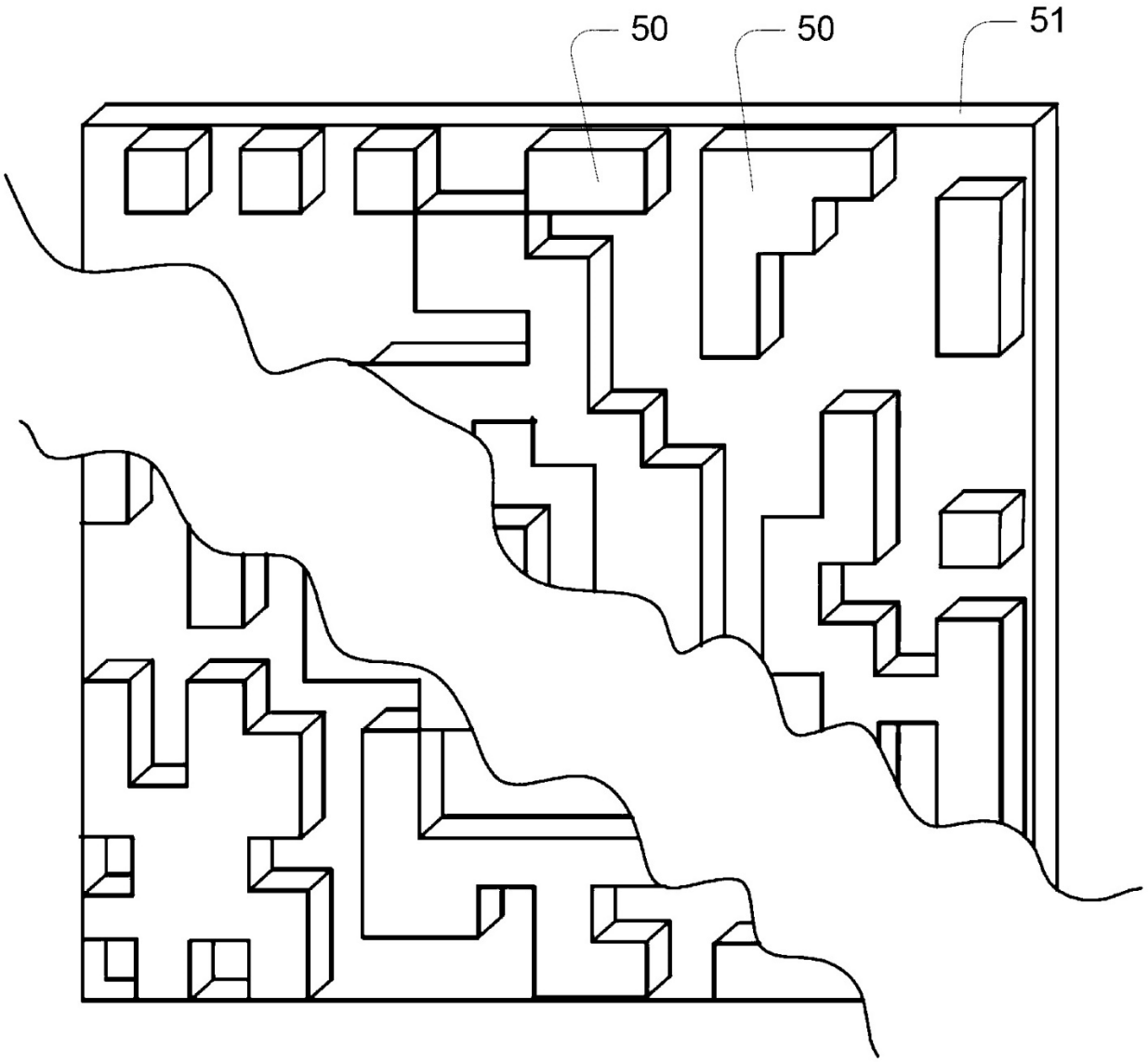

FIG. 6

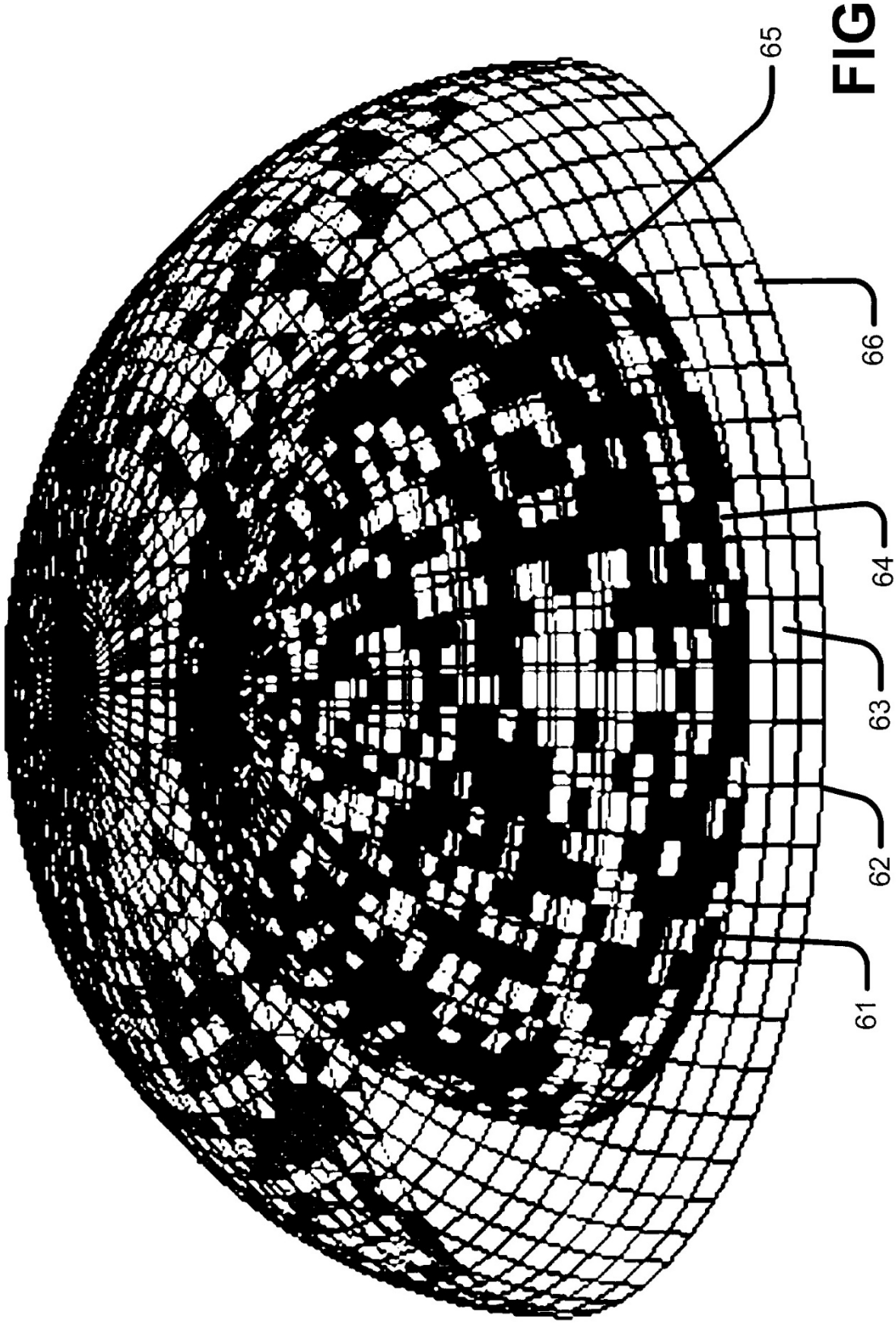

FIG. 7

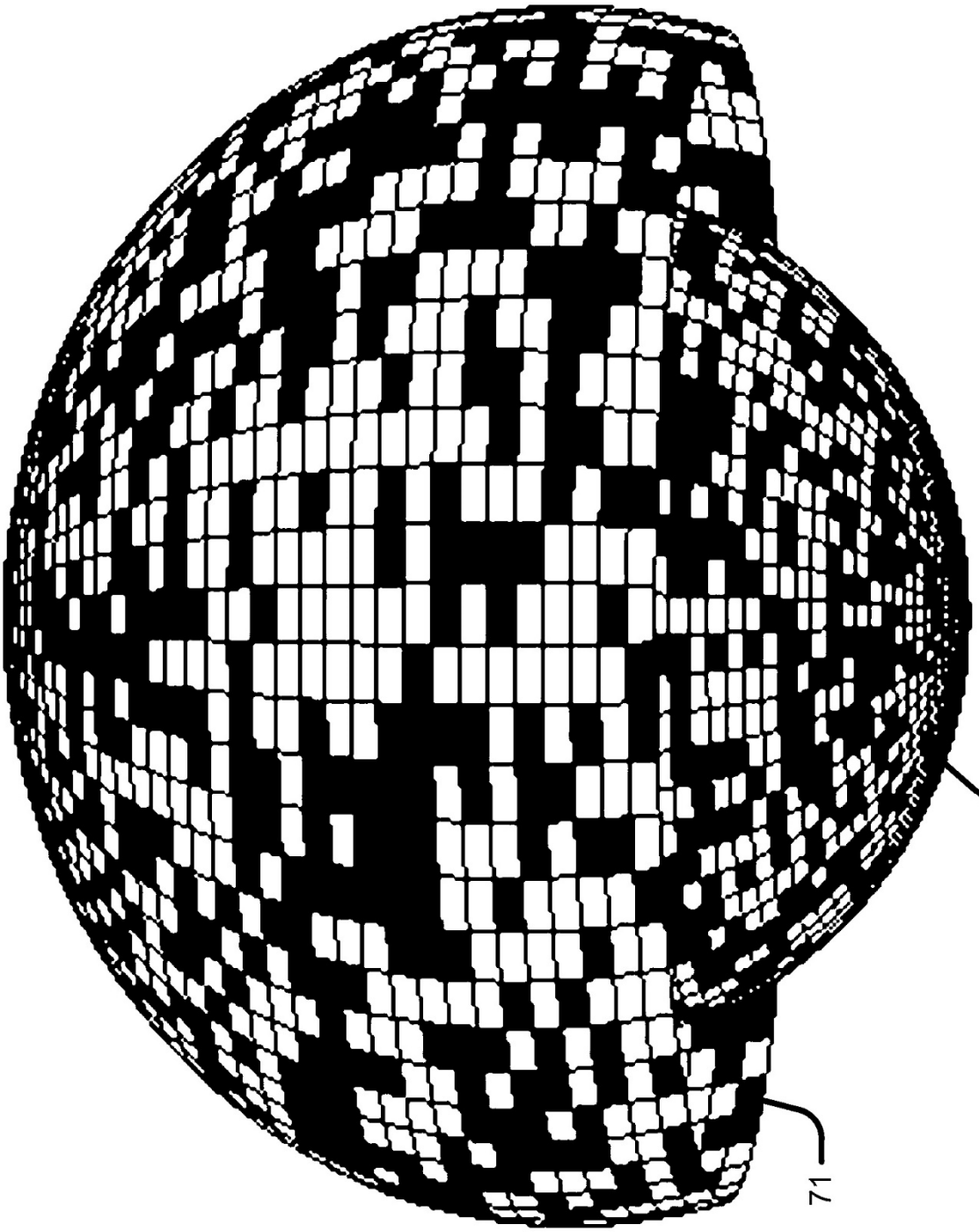

FIG. 8

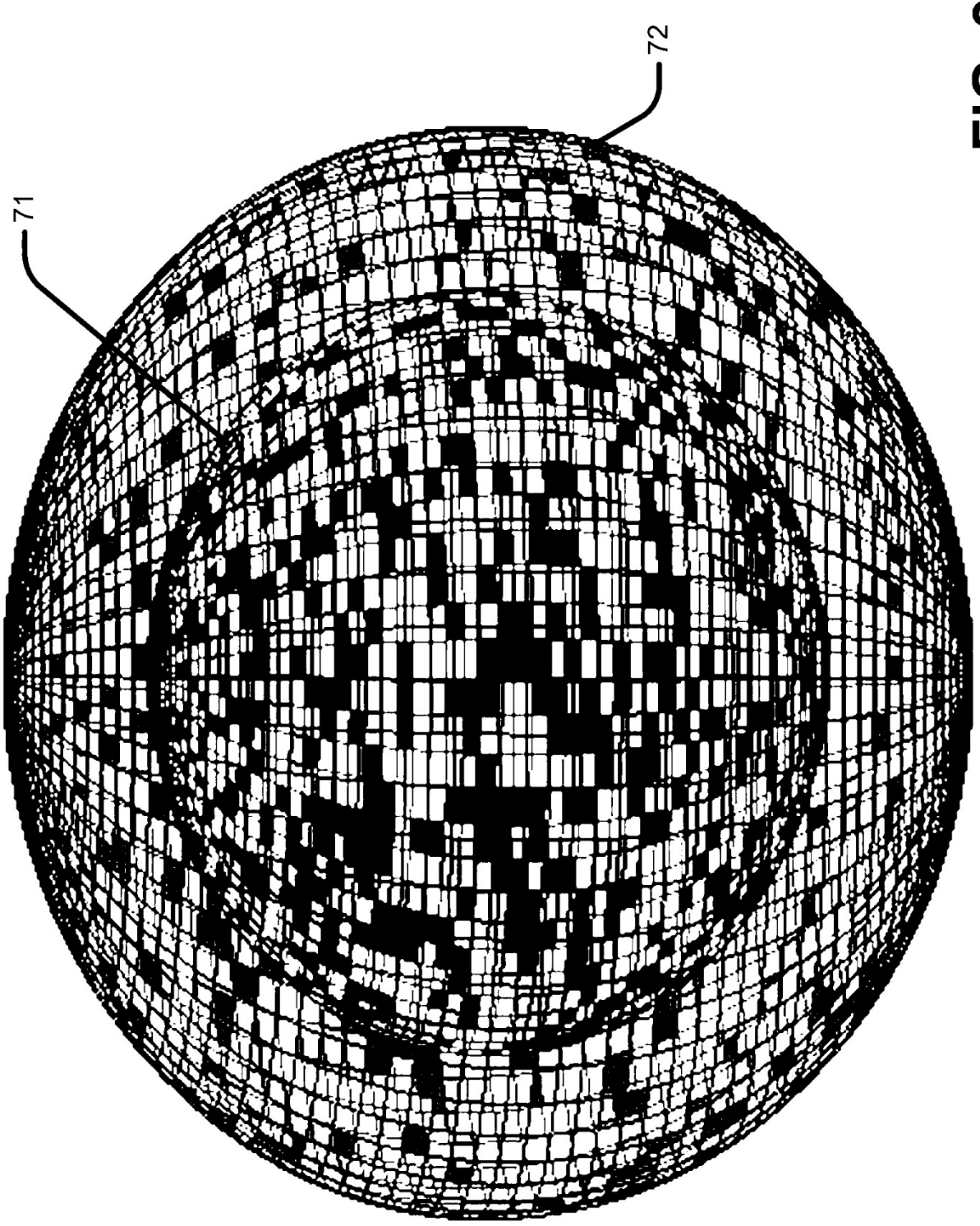

FIG. 9

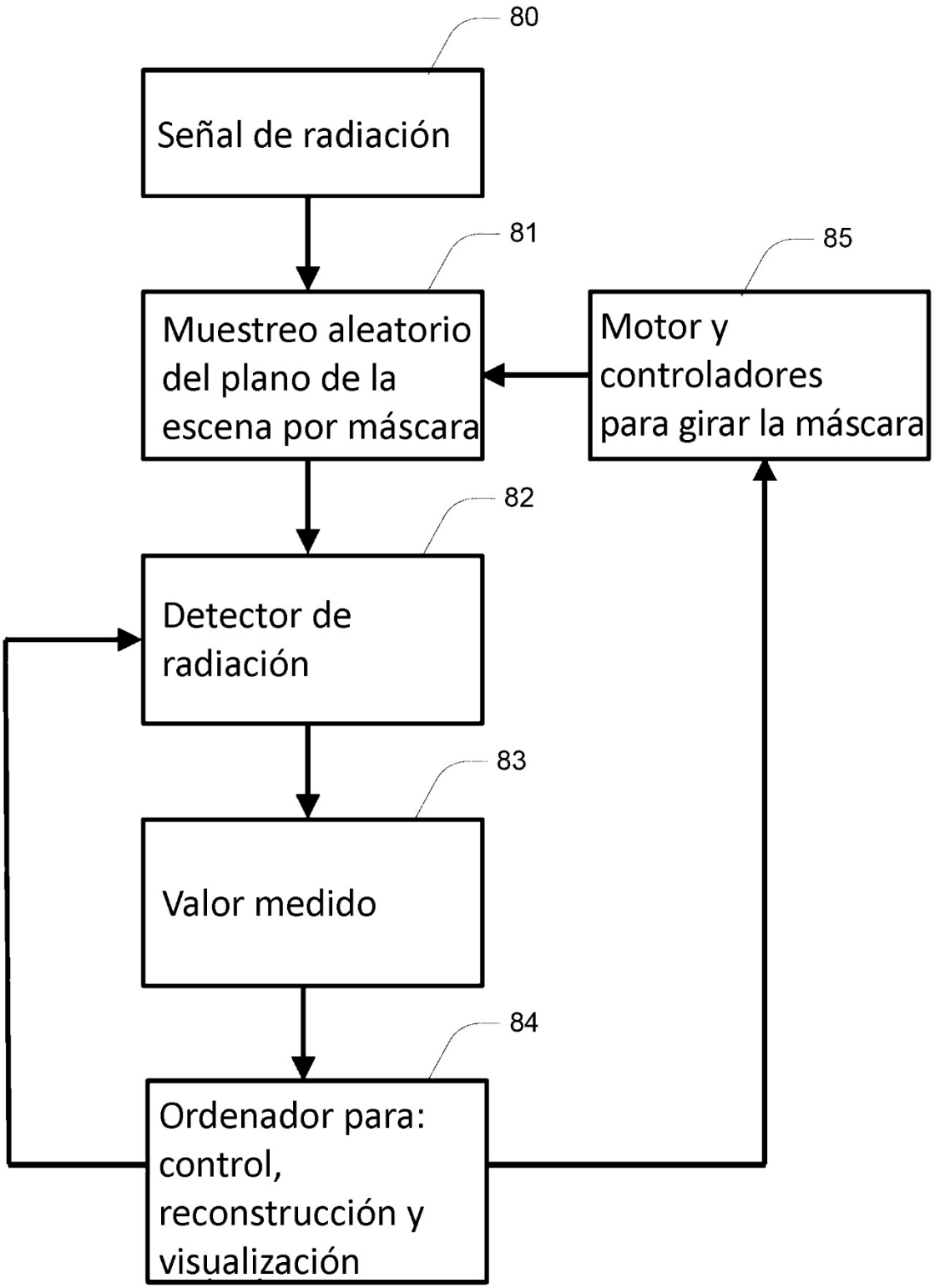
80
Señal de radiación
81
Muestreo aleatorio del plano de la escena por máscara
85
Motor y controladores para girar la máscara
82
Detector de radiación
83
Valor medido
84
Ordenador para: control, reconstrucción y visualización

FIG. 10

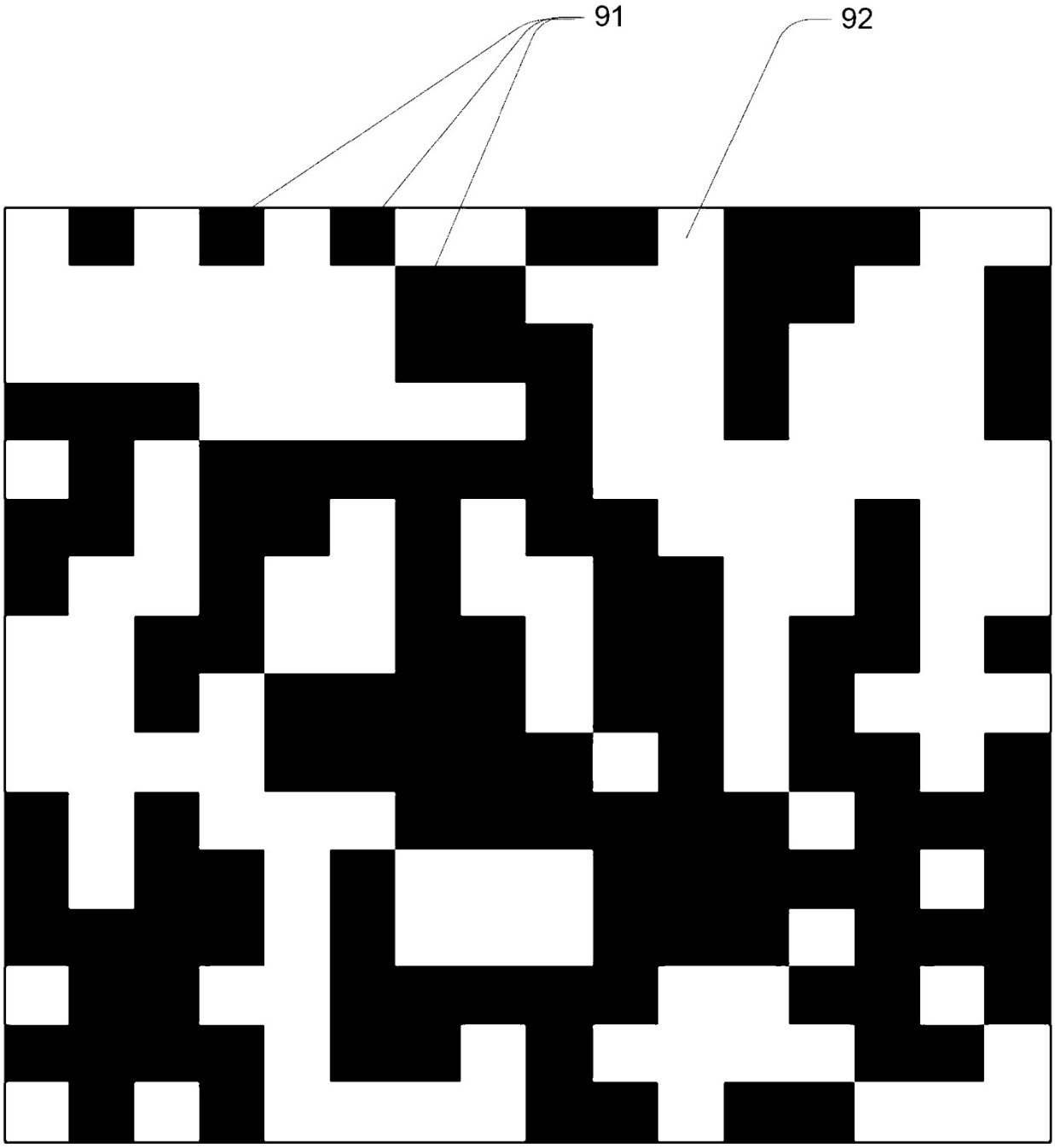

FIG. 11