

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 026 407**

51 Int. Cl.:

**G01N 23/04** (2008.01)

**G06T 5/70** (2014.01)

**G06T 5/60** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.04.2021 PCT/JP2021/015489**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.10.2021 WO21210618**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.04.2021 E 21788256 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2025 EP 4123297**

54 Título: **Procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas, modelo entrenado, módulo de procesamiento de imágenes radiográficas, programa de procesamiento de imágenes radiográficas y sistema de procesamiento de imágenes radiográficas**

30 Prioridad:  
**16.04.2020 JP 2020073578**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.06.2025**

73 Titular/es:  
**HAMAMATSU PHOTONICS K.K. (100.00%)  
1126-1, Ichino-cho Higashi-ku  
Hamamatsu-shi, Shizuoka 435-8558, JP**

72 Inventor/es:  
**SUYAMA TOSHIYASU y  
ONISHI TATSUYA**

74 Agente/Representante:  
**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 3 026 407 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**

5 Procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas, modelo entrenado, módulo de procesamiento de imágenes radiográficas, programa de procesamiento de imágenes radiográficas y sistema de procesamiento de imágenes radiográficas

**Campo Técnico**

10 Un aspecto de una realización se relaciona con un procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas, un módulo de procesamiento de imágenes radiográficas, un programa de procesamiento de imágenes radiográficas y un sistema de procesamiento de imágenes radiográficas.

**Técnica antecedente**

15 Desde hace mucho tiempo, se conoce un procedimiento para eliminar el ruido de datos de imagen utilizando un modelo entrenado mediante aprendizaje automático, como el aprendizaje profundo (véase, por ejemplo, la siguiente Literatura de Patente 1). De acuerdo con este procedimiento, el ruido de los datos de imagen se elimina automáticamente y, por lo tanto, es posible observar un objeto objetivo con gran precisión.

20 **Lista de citas**

**Literatura de Patentes**

[Literatura de Patente 1] Publicación de Patente Japonesa No Examinada No. 2019-91393

25 El documento de patente US 2012/224760 A1 enseña datos de imagen mejorados/reducción de dosis, en el que un procedimiento incluye generar datos de imagen mejorados en base a datos de imagen de dosis más baja y un umbral de calidad de imagen predeterminado, en el que una calidad de imagen de los datos de imagen mejorados es sustancialmente similar a una calidad de imagen de datos de imagen de dosis más alta, y un sistema incluye un potenciador de calidad de imagen (128) que genera datos de imagen mejorados en base a datos de imagen de dosis más baja y un umbral de calidad de imagen predeterminado, en el que una calidad de imagen de los datos de imagen mejorados es sustancialmente similar a una calidad de imagen de datos de imagen de dosis más alta.

35 En el documento de patente US 2019/035058 A1 se proporciona un procedimiento para procesar al menos una imagen de rayos X. Una varianza de ruido es dependiente de la señal. El procedimiento incluye aplicar una transformación de estabilización de varianza a datos de imagen de la al menos una imagen de rayos X para generar datos estabilizados de varianza. Al menos un parámetro de transformación de la transformación de estabilización de varianza es dependiente de una propiedad de la al menos una imagen de rayos X que depende de un dispositivo de adquisición de imágenes de rayos X y/o un parámetro de medición utilizado para registrar la al menos una imagen de rayos X. Se aplica un algoritmo de reducción de ruido a los datos estabilizados de varianza para generar datos con ruido reducido, y se aplica una transformación inversa de la transformación de estabilización de varianza a los datos con ruido reducido para generar una imagen de rayos X sin ruido.

45 El documento de patente WO 2018/098077 A1 divulga sistemas médicos de aprendizaje profundo y métodos para procedimientos médicos, y en particular se proporcionan procedimientos y un aparato para monitorizar y mejorar la operación del sistema de adquisición de imágenes. Un aparato de ejemplo incluye una primera red de aprendizaje profundo (DLN) desplegada que opera con un motor de adquisición para generar una configuración de dispositivo de adquisición de imágenes. El aparato de ejemplo incluye una segunda DLN desplegada que opera con un motor de reconstrucción basado en datos de imagen adquiridos. El aparato de ejemplo incluye un primer motor de evaluación con una tercera DLN desplegada. El motor de evaluación recibe la salida de al menos uno del motor de adquisición o del motor de reconstrucción para evaluar la operación del respectivo al menos uno del motor de adquisición o del motor de reconstrucción y para proporcionar retroalimentación al respectivo al menos uno del motor de adquisición o del motor de reconstrucción. La primera DLN desplegada y la segunda DLN desplegada se generan y despliegan a partir de la primera y la segunda DLNs de entrenamiento, respectivamente.

55 **Resumen de la Invención**

**Problema Técnico**

60 En el procedimiento de la técnica relacionada descrito anteriormente, el ruido puede no eliminarse lo suficiente en un caso en el que se utiliza como objetivo una imagen radiográfica generada mediante la transmisión de radiación, como rayos X, a través de un objeto objetivo. Por ejemplo, una relación entre la luminancia y el ruido en una imagen tiene una tendencia a fluctuar dependiendo de las condiciones de una fuente de radiación, como una fuente de rayos X, el tipo de filtro que se utiliza y similares, y el ruido tiende a ser difícil de eliminar de manera efectiva.

65

Por consiguiente, se ideó un aspecto de una realización en vista de dicho problema, y un objeto de la misma es proporcionar un procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas, un módulo de procesamiento de imágenes radiográficas, un programa de procesamiento de imágenes radiográficas y un sistema de procesamiento de imágenes radiográficas que permitan eliminar eficazmente el ruido de una imagen radiográfica.

5

**Solución al Problema**

De acuerdo con un aspecto de una realización, se proporciona un procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas que incluye: una etapa de adquirir una imagen radiográfica de un fantasma utilizando un sistema que irradia radiación a un objeto objetivo y captura una imagen de la radiación que pasa a través del objeto objetivo para adquirir una imagen radiográfica; una etapa de especificar características de imagen de la imagen radiográfica del fantasma; una etapa de seleccionar un modelo entrenado sobre la base de las características de imagen de una pluralidad de modelos entrenados construidos a través del aprendizaje automático de antemano utilizando datos de imagen; una etapa de adquirir una imagen radiográfica del objeto objetivo utilizando el sistema; y una etapa de ejecutar el procesamiento de imágenes para eliminar ruido de la imagen radiográfica del objeto objetivo utilizando el modelo entrenado seleccionado.

10

15

Un modelo entrenado puede ser tal que se construye a través del aprendizaje automático utilizando datos de imágenes y hace que un procesador ejecute el procesamiento de imágenes para eliminar el ruido de una imagen radiográfica del objeto objetivo.

20

Alternativamente, de acuerdo con otro aspecto de la realización, se proporciona un módulo de procesamiento de imágenes radiográficas que incluye: una unidad de adquisición configurada para adquirir imágenes radiográficas de un fantasma y un objeto objetivo utilizando un sistema que irradia radiación al objeto objetivo y captura una imagen de la radiación que pasa a través del objeto objetivo para adquirir una imagen radiográfica; una unidad de especificación configurada para especificar características de imagen de la imagen radiográfica del fantasma; una unidad de selección configurada para seleccionar un modelo entrenado sobre la base de las características de imagen de una pluralidad de modelos entrenados construidos a través del aprendizaje automático de antemano utilizando datos de imagen; y una unidad de procesamiento configurada para ejecutar el procesamiento de imágenes para eliminar ruido de la imagen radiográfica del objeto objetivo utilizando el modelo entrenado seleccionado.

25

30

Alternativamente, de acuerdo con otro aspecto de la realización, se proporciona un programa de procesamiento de imágenes radiográficas que hace que un procesador funcione como: una unidad de adquisición configurada para adquirir imágenes radiográficas de un fantasma y un objeto objetivo utilizando un sistema que irradia radiación al objeto objetivo y captura una imagen de la radiación que pasa a través del objeto objetivo para adquirir una imagen radiográfica; una unidad de especificación configurada para especificar características de imagen de la imagen radiográfica del fantasma; una unidad de selección configurada para seleccionar un modelo entrenado sobre la base de las características de imagen de una pluralidad de modelos entrenados construidos a través del aprendizaje automático de antemano utilizando datos de imagen; y una unidad de procesamiento configurada para ejecutar el procesamiento de imágenes para eliminar ruido de la imagen radiográfica del objeto objetivo utilizando el modelo entrenado seleccionado.

35

40

Alternativamente, de acuerdo con otro aspecto de la realización, se proporciona un sistema de procesamiento de imágenes radiográficas que incluye: el módulo de procesamiento de imágenes radiográficas anterior; una fuente configurada para irradiar radiación al objeto objetivo; y un dispositivo de adquisición de imágenes configurado para capturar una imagen de la radiación que pasa a través del objeto objetivo y adquirir la imagen radiográfica.

45

De acuerdo con uno u otros aspectos, se especifican las características de imagen de la imagen radiográfica del fantasma, y el modelo entrenado utilizado para la eliminación de ruido se selecciona de los modelos entrenados construidos de antemano sobre la base de las características de imagen. De este modo, dado que las características de imagen radiográfica que cambian dependiendo de las condiciones y similares de la fuente de radiación en el sistema se pueden estimar, y el modelo entrenado seleccionado de acuerdo con el resultado de la estimación se utiliza para la eliminación de ruido, es posible realizar la eliminación de ruido correspondiente a la relación entre la luminancia y el ruido en la imagen radiográfica. Como resultado, es posible eliminar eficazmente el ruido de la imagen radiográfica.

50

55

**Efectos Ventajosos de la Invención**

De acuerdo con esta realización, es posible eliminar eficazmente el ruido de una imagen radiográfica de un objeto objetivo.

60

65

**Breve Descripción de los Dibujos**

La Figura 1 es un diagrama esquemático de configuración de un dispositivo de adquisición de imágenes 1 de acuerdo con una realización.

5 La Figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra un ejemplo de una configuración de hardware de un dispositivo de control 20 de la Figura 1.

La Figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra una configuración funcional del dispositivo de control 20 de la Figura 1.

10 La Figura 4 es un diagrama que ilustra un ejemplo de datos de imagen que son datos de entrenamiento utilizados para construir modelos entrenados 206 de la Figura 3.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de creación de datos de imagen que son datos de entrenamiento utilizados para construir los modelos entrenados 206 de la Figura 3.

La Figura 6 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una imagen de transmisión de rayos X que será analizada por una unidad de especificación 202 de la Figura 3.

15 La Figura 7 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un gráfico característico de espesor y luminancia adquirido por la unidad de especificación 202 de la Figura 3.

La Figura 8 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un gráfico característico de luminancia y SNR adquirido por la unidad de especificación 202 de la Figura 3.

20 La Figura 9 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una imagen de transmisión de rayos X utilizada para la evaluación de la resolución en la unidad de especificación 202 de la Figura 3.

La Figura 10 es un diagrama que ilustra una función de selección de un modelo entrenado basado en características de imagen que es realizada por una unidad de selección 204 de la Figura 3.

La Figura 11 es una vista en perspectiva que ilustra un ejemplo de una estructura de un fantasma utilizado para la evaluación de una relación de luminancia a ruido que se realiza mediante la unidad de selección 204 de la Figura 3.

25 La Figura 12 es un diagrama que ilustra una imagen de transmisión de rayos X después de un proceso de eliminación de ruido obtenida para el fantasma de la Figura 11.

La Figura 13 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de procesamiento de observación utilizando el dispositivo de adquisición de imágenes 1.

30 La Figura 14 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una imagen de transmisión de rayos X adquirida por el dispositivo de adquisición de imágenes 1 antes y después del proceso de eliminación de ruido.

La Figura 15 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una imagen de transmisión de rayos X adquirida por el dispositivo de adquisición de imágenes 1 antes y después del proceso de eliminación de ruido.

35 La Figura 16 es una vista en planta que ilustra una forma de un fantasma utilizado en el dispositivo de adquisición de imágenes 1.

La Figura 17 es una vista en planta que ilustra una forma del fantasma utilizado en el dispositivo de adquisición de imágenes 1.

La Figura 18 es una vista en planta que ilustra una forma del fantasma utilizado en el dispositivo de adquisición de imágenes 1.

**Descripción de las realizaciones**

45 A continuación, se describirán en detalle realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos. Mientras tanto, en la descripción, los mismos elementos o elementos que tienen la misma función se denotan con los mismos signos de referencia, por lo que se omitirá la descripción duplicada.

Figura 1 es un diagrama de configuración de un dispositivo de adquisición de imágenes 1 que es un sistema de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con la presente realización. Como se muestra en la Figura 1, el dispositivo de adquisición de imágenes 1 es un dispositivo que irradia rayos X (radiación) a un objeto objetivo 50 que se transporta en una dirección de transporte TD y adquiere una imagen de transmisión de rayos X (imagen radiográfica) obtenida mediante la captura de una imagen del objeto objetivo F sobre la base de los rayos X que pasan a través del objeto objetivo F. El dispositivo de adquisición de imágenes 1 realiza una inspección de sustancias extrañas, una inspección de peso, una inspección de producto o similar en el objeto objetivo F utilizando una imagen de transmisión de rayos X, y los ejemplos de la aplicación incluyen inspección de alimentos, inspección de equipaje, inspección de sustrato, inspección de batería, inspección de material y similares. El dispositivo de adquisición de imágenes 1 está configurado para incluir una cinta transportadora (medio de transporte) 60, un irradiador de rayos X (fuente de radiación) 50, una cámara de detección de rayos X (dispositivo de adquisición de imágenes) 10, un dispositivo de control (módulo de procesamiento de imágenes radiográficas) 20, un dispositivo de visualización 30 y un dispositivo de entrada 40 para realizar diversas entradas. Mientras tanto, la imagen radiográfica en la realización de la presente invención no se limita a una imagen de rayos X, y también puede ser 60 una imagen causada por radiación electromagnética distinta de los rayos X, como los rayos  $\gamma$ .

La cinta transportadora 60 tiene una porción de cinta sobre la que se coloca el objeto objetivo F, y transporta el objeto objetivo F en la dirección de transporte TD a una velocidad de transporte predeterminada moviendo la porción de cinta en la dirección de transporte TD. La velocidad de transporte del objeto objetivo F es, por ejemplo, 65

48 m/min. La cinta transportadora 60 puede cambiar la velocidad de transporte según sea necesario a una velocidad de transporte tal como, por ejemplo, 24 m/min o 96 m/min. Además, la cinta transportadora 60 puede cambiar apropiadamente la posición de altura de la porción de cinta para cambiar una distancia entre el irradiador de rayos X 50 y el objeto objetivo F. Mientras tanto, los ejemplos del objeto objetivo F transportado por la cinta transportadora 60 incluyen productos alimenticios tales como carne, mariscos, productos agrícolas o confitería, productos de caucho tales como neumáticos, productos de resina, productos metálicos, materiales de recursos tales como minerales, desechos y varios productos tales como partes electrónicas o sustratos electrónicos. El irradiador de rayos X 50 es un dispositivo que irradia (emite) rayos X al objeto objetivo F como una fuente de rayos X. El irradiador de rayos X 50 es una fuente de luz puntual, y difunde e irradia los rayos X en un intervalo de ángulo predeterminado en una dirección de irradiación fija. El irradiador de rayos X 50 está dispuesto por encima de la cinta transportadora 60 a una distancia predeterminada de la cinta transportadora 60 de modo que la dirección de irradiación de los rayos X se dirige hacia la cinta transportadora 60 y los rayos X difundidos se extienden en toda la dirección de anchura del objeto objetivo F (una dirección que interseca la dirección de transporte TD). Además, el irradiador de rayos X 50 está configurado de tal manera que, en la dirección longitudinal del objeto objetivo F (una dirección paralela a la dirección de transporte TD), se establece un intervalo de división predeterminado en la dirección longitudinal como un intervalo de irradiación, y los rayos X son irradiados en toda la dirección longitudinal del objeto objetivo F por el objeto objetivo F que se transporta en la dirección de transporte TD por la cinta transportadora 60. El irradiador de rayos X 50 tiene un voltaje de tubo y una corriente de tubo establecidos por el dispositivo de control 20, e irradia rayos X que tienen una energía predeterminada y una dosis de radiación de acuerdo con el voltaje de tubo y la corriente de tubo establecidos hacia la cinta transportadora 60. Además, un filtro 51 que transmite una región de longitud de onda predeterminada de los rayos X está dispuesto en la proximidad del irradiador de rayos X 50 en el lado de la cinta transportadora 60. El filtro 51 no es necesariamente necesario y puede no estar presente.

La cámara de detección de rayos X 10 detecta rayos X que pasan a través del objeto objetivo F entre los rayos X irradiados al objeto objetivo F por el irradiador de rayos X 50, y emite una señal basada en los rayos X. La cámara de detección de rayos X 10 es una cámara de rayos X de doble línea en la que se disponen dos conjuntos de configuraciones para detectar rayos X. En el dispositivo de adquisición de imágenes 1 de acuerdo con la presente realización, cada imagen de transmisión de rayos X se genera sobre la base de los rayos X detectados en cada línea (una primera línea y una segunda línea) de la cámara de rayos X de doble línea. Al realizar un procesamiento promedio, un procesamiento de adición o similar en las dos imágenes de transmisión de rayos X generadas, se puede adquirir una imagen clara (de alta luminancia) con una dosis de rayos X menor que en un caso en el que se genera una imagen de transmisión de rayos X sobre la base de los rayos X detectados en una línea.

La cámara de detección de rayos X 10 incluye un filtro 19, centelleadores 11a y 11b, cámaras de barrido lineal 12a y 12b, una unidad de control de sensor 13, amplificadores 14a y 14b, convertidores AD 15a y 15b, circuitos de corrección 16a y 16b, interfaces de salida 17a y 17b, y una unidad de control de amplificador 18. El centelleador 11a, la cámara de barrido lineal 12a, el amplificador 14a, el convertidor AD 15a, el circuito de corrección 16a, y la interfaz de salida 17a están conectados eléctricamente entre sí, y tienen componentes relacionados con la primera línea. Además, el centelleador 11b, la cámara de barrido lineal 12b, el amplificador 14b, el convertidor AD 15b, el circuito de corrección 16b y la interfaz de salida 17b están conectados eléctricamente entre sí y tienen componentes relacionados con la segunda línea. La cámara de barrido lineal 12a de la primera línea y la cámara de barrido lineal 12b de la segunda línea están dispuestas una al lado de la otra en la dirección de transporte TD. Mientras tanto, a continuación, se describirán los componentes de la primera línea para representar componentes comunes a la primera línea y a la segunda línea.

El centelleador 11a está fijado a la cámara de barrido lineal 12a mediante adhesión o similar, y convierte los rayos X que pasan a través del objeto objetivo F en luz de centelleo. El centelleador 11a emite la luz de centelleo a la cámara de barrido lineal 12a. El filtro 19 transmite una región de longitud de onda predeterminada de los rayos X hacia el centelleador 11a. El filtro 19 no es necesariamente necesario y puede no estar presente.

La cámara de barrido lineal 12a detecta la luz de centelleo del centelleador 11a, convierte la luz detectada en carga eléctrica y la emite como señal de detección (señal eléctrica) al amplificador 14a. La cámara de barrido lineal 12a tiene una pluralidad de sensores lineales dispuestos en paralelo en una dirección que interseca la dirección de transporte TD. El sensor lineal es, por ejemplo, un sensor de imagen de dispositivo acoplado a carga (CCD), un sensor de imagen de semiconductor de óxido metálico complementario (CMOS) o similar, e incluye una pluralidad de fotodiodos.

La unidad de control de sensor 13 controla las cámaras de barrido lineal 12a y 12b para capturar imágenes repetidamente en un período de detección predeterminado de modo que las cámaras de barrido lineal 12a y 12b puedan capturar una imagen de rayos X que pasan a través de la misma región del objeto objetivo F. Como período de detección predeterminado, por ejemplo, se puede establecer un período común a las cámaras de barrido lineal 12a y 12b en función de la distancia entre las cámaras de barrido lineal 12a y 12b, la velocidad de la cinta transportadora 60, la distancia entre el irradiador de rayos X 50 y el objeto objetivo F en la cinta transportadora 60 (distancia de objeto de enfoque (FOD)), y la distancia entre el irradiador de rayos X 50 y las cámaras de barrido

lineal 12a y 12b (distancia de detector de enfoque (FDD)). Además, el período predeterminado puede establecerse individualmente sobre la base del ancho de píxel de un fotodiodo en una dirección perpendicular a la dirección de disposición de píxeles de los sensores de línea de las cámaras de barrido lineal 12a y 12b. En este caso, la desviación (tiempo de retardo) del período de detección entre las cámaras de barrido lineal 12a y 12b puede especificarse de acuerdo con la distancia entre las cámaras de barrido lineal 12a y 12b, la velocidad de la cinta transportadora 60, la distancia entre el irradiador de rayos X 50 y el objeto objetivo F en la cinta transportadora 60 (FOD), y la distancia entre el irradiador de rayos X 50 y las cámaras de barrido lineal 12a y 12b (FDD), y pueden establecerse períodos individuales para cada uno. El amplificador 14a amplifica la señal de detección a un factor de amplificación establecido predeterminado para generar una señal amplificada, y envía la señal amplificada al convertidor AD 15a. El factor de amplificación establecido es un factor de amplificación que se establece mediante la unidad de control de amplificador 18. La unidad de control de amplificador 18 establece el factor de amplificación establecido de los amplificadores 14a y 14b sobre la base de condiciones de adquisición de imágenes predeterminadas.

El convertidor AD 15a convierte la señal amplificada (señal de voltaje) emitida por el amplificador 14a en una señal digital y emite la señal convertida al circuito de corrección 16a. El circuito de corrección 16a realiza una corrección predeterminada, como la amplificación de la señal, en la señal digital y emite la señal digital corregida a la interfaz de salida 17a. La interfaz de salida 17a emite la señal digital al exterior de la cámara de detección de rayos X 10. En la Figura 1, el convertidor AD, el circuito de corrección y la interfaz de salida existen individualmente, pero pueden estar integrados en uno solo.

El dispositivo de control 20 es un ordenador, como por ejemplo un ordenador personal (PC). El dispositivo de control 20 genera una imagen de transmisión de rayos X basándose en la señal digital (señal amplificada) emitida por la cámara de detección de rayos X 10 (más específicamente, las interfaces de salida 17a y 17b). El dispositivo de control 20 genera una imagen de transmisión de rayos X realizando un procesamiento promedio o un procesamiento de adición en dos señales digitales emitidas por las interfaces de salida 17a y 17b. La imagen de transmisión de rayos X generada se emite al dispositivo de visualización 30 después de que se realiza un proceso de eliminación de ruido que se describirá más adelante, y se muestra mediante el dispositivo de visualización 30. Además, el dispositivo de control 20 controla el irradiador de rayos X 50, la unidad de control de amplificador 18 y la unidad de control de sensor 13. Mientras tanto, el dispositivo de control 20 de la presente realización es un dispositivo que se proporciona independientemente fuera de la cámara de detección de rayos X 10, pero puede estar integrado dentro de la cámara de detección de rayos X 10.

La Figura 2 muestra una configuración de hardware del dispositivo de control 20. Como se muestra en la Figura 2, el dispositivo de control 20 es un ordenador o similar que incluye físicamente una unidad central de procesamiento (CPU) 101 que es un procesador, una memoria de acceso aleatorio (RAM) 102 o una memoria de sólo lectura (ROM) 103 que es un medio de grabación, un módulo de comunicación 104, un módulo de entrada y salida 106, y similares, que están conectados eléctricamente entre sí. Mientras tanto, el dispositivo de control 20 puede incluir una pantalla, un teclado, un ratón, una pantalla de panel táctil, y similares como el dispositivo de entrada 40 y el dispositivo de visualización 30, o puede incluir un dispositivo de grabación de datos tal como una unidad de disco duro o una memoria de semiconductores. Además, el dispositivo de control 20 puede estar constituido por una pluralidad de ordenadores.

La Figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra una configuración funcional del dispositivo de control 20. El dispositivo de control 20 incluye una unidad de adquisición 201, una unidad de especificación 202, una unidad de selección 204 y una unidad de procesamiento 205. Cada unidad funcional del dispositivo de control 20 mostrado en la Figura 3 se realiza cargando un programa (un programa de procesamiento de imágenes radiográficas de la presente realización) en el hardware, tal como la CPU 101 y la RAM 102, para poner de ese modo en operación el módulo de comunicación 104, el módulo de entrada y salida 106 y similares bajo el control de la CPU 101 y leer y escribir datos en la RAM 102. La CPU 101 del dispositivo de control 20 hace que el dispositivo de control 20 funcione como cada unidad funcional en la Figura 3 ejecutando este programa informático y ejecuta secuencialmente el procesamiento correspondiente a un procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas que se describirá más adelante. Mientras tanto, la CPU puede ser una sola pieza de hardware, o puede implementarse en una lógica programable como un FPGA como un procesador de software. La RAM o la ROM también pueden ser una sola pieza de hardware, o pueden estar integradas en una lógica programable como un FPGA. Varios tipos de datos necesarios para ejecutar este programa informático y varios tipos de datos generados al ejecutar este programa de ordenador se almacenan en una memoria incorporada como la ROM 103 o la RAM 102, o un medio de almacenamiento como una unidad de disco duro.

Además, una pluralidad de modelos entrenados 206 que son cargados por la CPU 101 para hacer que la CPU 101 ejecute un proceso de eliminación de ruido para una imagen de transmisión de rayos X se almacenan de antemano en el dispositivo de control 20. Cada uno de la pluralidad de modelos entrenados 206 es un modelo de aprendizaje basado en aprendizaje automático construido de antemano utilizando datos de imagen como datos de entrenamiento. Los ejemplos de aprendizaje automático incluyen aprendizaje supervisado, aprendizaje profundo, aprendizaje de refuerzo, aprendizaje de red neuronal y similares. En la presente realización, la red neuronal

convolucional bidimensional descrita en el artículo "Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising (*"Más allá de un eliminador de ruido gaussiano: Aprendizaje residual de CNN profunda para la eliminación de ruido de imágenes"*)" escrito por Kai Zhang et al. se adopta como un ejemplo de un algoritmo de aprendizaje profundo. La pluralidad de modelos entrenados 206 puede ser generada por un ordenador externo o similar y descargada al dispositivo de control 20, o puede ser generada en el dispositivo de control 20.

Figura 4 muestra un ejemplo de datos de imagen que son datos de entrenamiento utilizados para construir modelos entrenados 206. Como datos de entrenamiento, se puede utilizar una imagen de transmisión de rayos X que tiene un patrón de varios espesores, varios materiales y varias resoluciones como objetivo de adquisición de imágenes. El ejemplo que se muestra en la Figura 4 es un ejemplo de una imagen de transmisión de rayos X generada para un pollo. Como datos de imagen, se puede utilizar una imagen de transmisión de rayos X realmente generada para una pluralidad de tipos de objetos objetivo utilizando el dispositivo de adquisición de imágenes 1, o se pueden utilizar datos de imagen generados por cálculo de simulación. La imagen de transmisión de rayos X se puede adquirir utilizando un dispositivo diferente del dispositivo de adquisición de imágenes 1. Además, la imagen de transmisión de rayos X y los datos de imagen generados por cálculo de simulación se pueden utilizar en combinación. Cada uno de la pluralidad de modelos entrenados 206 se construye de antemano utilizando datos de imagen obtenidos para rayos X transmitidos que tienen una energía media diferente y que tienen una distribución de ruido conocida. La energía promedio de los rayos X en los datos de imagen se establece en un valor diferente de antemano estableciendo las condiciones operativas del irradiador de rayos X (fuente de radiación) 50 del dispositivo de adquisición de imágenes 1, las condiciones de adquisición de imágenes del dispositivo de adquisición de imágenes 1, o similares, o estableciendo las condiciones operativas o las condiciones de adquisición de imágenes del irradiador de rayos X 50 durante el cálculo de simulación. Es decir, la pluralidad de modelos entrenados 206 se construyen a través del aprendizaje automático utilizando, como datos de entrenamiento, una imagen de entrenamiento que es una imagen de rayos X correspondiente a la energía promedio relacionada con los rayos X que pasan a través del objeto objetivo F calculada sobre la base de la información de condición que indica las condiciones operativas del irradiador de rayos X (fuente de radiación) 50 cuando se captura la imagen de transmisión de rayos X del objeto objetivo F, las condiciones de adquisición de imágenes de la cámara de detección de rayos X 10, o similares (etapa de construcción). Por ejemplo, en la presente realización, cada uno de la pluralidad de modelos entrenados 206 se construye utilizando múltiples cuadros (por ejemplo, 20.000 cuadros) de una pluralidad de tipos de datos de imagen en los que la energía promedio es de 10 keV, 20 keV, 30 keV, ... y se establecen valores en incrementos de 10 keV.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de creación de datos de imagen que son datos de entrenamiento utilizados para construir los modelos entrenados 206.

Los datos de imagen (también denominados datos de imagen de entrenamiento) que son datos de entrenamiento se crean mediante un ordenador en el siguiente procedimiento. En primer lugar, se crea una imagen de un cuerpo estructural que tiene una estructura predeterminada (imagen de estructura) (etapa S101). Por ejemplo, se puede crear una imagen de un cuerpo estructural que tiene una estructura predeterminada mediante un cálculo de simulación. Además, se puede adquirir una imagen de rayos X de una estructura, como un gráfico que tiene una estructura predeterminada, para crear una imagen de la estructura. A continuación, se calcula un valor sigma que es una desviación estándar de los valores de los píxeles para un píxel seleccionado de una pluralidad de píxeles que constituyen dicha imagen de estructura (etapa S102). A continuación, se establece una distribución normal (distribución de Poisson) que indica una distribución de ruido sobre la base del valor sigma obtenido en la etapa S102 (etapa S103). De esta manera, se pueden generar datos de entrenamiento para diversas condiciones de ruido estableciendo la distribución normal sobre la base del valor sigma. Posteriormente, se calcula un valor de ruido que se establece de forma aleatoria a lo largo de la distribución normal que se establece sobre la base del valor sigma en la etapa S103 (etapa S104). Además, el valor de ruido obtenido en la etapa S104 se suma al valor de píxel de un píxel para generar valores de píxel que constituyen los datos de imagen que son datos de entrenamiento (etapa S105). Los procesos de las etapas S102 a S105 se realizan para cada uno de una pluralidad de píxeles que constituyen la imagen de estructura (etapa S106), y se generan datos de imagen de entrenamiento que sirven como datos de entrenamiento (etapa S107). Además, en un caso en el que se requieren además los datos de imagen de entrenamiento, se determina que los procesos de las etapas S101 a S107 se realizan en otra imagen de estructura (etapa S108), y se generan otros datos de imagen de entrenamiento que sirven como datos de entrenamiento. Mientras tanto, la otra imagen de estructura puede ser una imagen de un cuerpo estructural que tiene la misma estructura, o puede ser una imagen de un cuerpo estructural que tiene otra estructura.

Mientras tanto, es necesario preparar una gran cantidad de datos de imagen que son datos de entrenamiento utilizados para construir el modelo entrenado 206. Además, la imagen de estructura es preferentemente una imagen con menos ruido, idealmente una imagen sin ruido. Por lo tanto, cuando se genera una imagen de estructura a través del cálculo de simulación, se pueden generar muchas imágenes sin ruido y, por lo tanto, es eficaz generar una imagen de estructura a través del cálculo de simulación.

A continuación, haciendo referencia nuevamente a la Figura 3, se describirán los detalles de la función de cada unidad funcional del dispositivo de control 20.

La unidad de adquisición 201 adquiere una imagen de transmisión de rayos X capturada mediante la radiación de rayos X a un fantasma y al objeto objetivo F utilizando el dispositivo de adquisición de imágenes 1. Como fantasma, se utiliza un elemento plano en forma de placa cuyo espesor y material son conocidos y en el que se conoce una relación entre la energía promedio de los rayos X y la transmitancia de los rayos X, o un fantasma que tiene un gráfico cuya imagen se captura a varias resoluciones. Es decir, la unidad de adquisición 201 adquiere una imagen de transmisión de rayos X del fantasma capturada utilizando el dispositivo de adquisición de imágenes 1 antes del procesamiento de observación del objeto objetivo F. La unidad de adquisición 201 adquiere una imagen de transmisión de rayos X del objeto objetivo F capturada utilizando el dispositivo de adquisición de imágenes 1 en un momento posterior a la selección del modelo entrenado 206 sobre la base de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma. Sin embargo, los tiempos de adquisición de las imágenes de transmisión de rayos X del fantasma y del objeto objetivo F no se limitan a lo anterior y pueden ser tiempos simultáneos o inversos.

La unidad de especificación 202 especifica las características de imagen de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma adquirida por la unidad de adquisición 201. Específicamente, la unidad de selección 204 especifica características de energía, características de ruido, características de resolución, características de frecuencia o similares como las características de imagen de la imagen de transmisión de rayos X.

Por ejemplo, en un caso en el que se utiliza como fantasma un elemento plano en forma de placa cuyo espesor y material se conocen, la unidad de especificación 202 compara la luminancia de la imagen de rayos X que pasa a través del fantasma con la luminancia de la imagen de rayos X que pasa a través del aire, y calcula la transmitancia de rayos X en un punto (o la transmitancia media de una pluralidad de puntos) en el fantasma. Por ejemplo, en un caso en el que la luminancia de la imagen de rayos X que pasa a través del fantasma es 5.550 y la luminancia de la imagen de rayos X que pasa a través del aire es 15.000, la transmitancia se calcula como del 37%. La unidad de especificación 202 especifica entonces la energía promedio (por ejemplo, 50 keV) de los rayos X transmitidos estimada a partir de la transmitancia del 37% como las características energéticas de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma.

Además, la unidad de especificación 202 puede analizar las características en una pluralidad de puntos del fantasma cuyo espesor o material cambia como las características energéticas de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma. La Figura 6 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una imagen de transmisión de rayos X que será analizada por la unidad de especificación 202. La Figura 6 es una imagen de transmisión de rayos X para un fantasma que tiene una forma en la que el espesor cambia de forma escalonada. La unidad de especificación 202 selecciona una pluralidad de regiones de medición (regiones de interés (ROI)) que tienen diferentes espesores a partir de dicha imagen de transmisión de rayos X, analiza el valor promedio de luminancia para cada una de la pluralidad de regiones de medición y adquiere un gráfico característico de espesor y luminancia como características energéticas. La Figura 7 muestra un ejemplo de un gráfico característico de espesor y luminancia adquirido por la unidad de especificación 202.

Además, la unidad de especificación 202 también puede analizar el valor de luminancia y el ruido para cada una de la pluralidad de regiones de medición como las características de ruido de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma, y adquirir un gráfico característico de una relación de luminancia a ruido como las características de ruido. Es decir, la unidad de especificación 202 selecciona una pluralidad de regiones de medición ROI que tienen diferentes espesores o materiales de la imagen de transmisión de rayos X, analiza la desviación estándar de los valores de luminancia de la pluralidad de regiones de medición ROI y el valor promedio de los valores de luminancia de las mismas, y adquiere un gráfico característico de luminancia y una relación SN (SNR) como las características de ruido. En este caso, la unidad de especificación 202 calcula la SNR para cada región de medición ROI utilizando  $SNR = (\text{valor promedio de los valores de luminancia}) / (\text{desviación estándar de los valores de luminancia})$ . Figura 8 muestra un ejemplo de un gráfico característico de luminancia y SNR adquirido por la unidad de especificación 202. En este caso, la unidad de especificación 202 puede adquirir un gráfico característico en el que el eje vertical es el ruido calculado a partir de la desviación estándar de los valores de luminancia, como las características del ruido, en lugar del gráfico característico anterior de luminancia y SNR.

Además, en un caso en el que se utiliza un fantasma que tiene un gráfico, la unidad de especificación 202 también puede adquirir la distribución de resoluciones en la imagen de transmisión de rayos X del fantasma como las características de resolución. Además, la unidad de especificación 202 también tiene una función de adquirir las características de resolución de una imagen después de que se realiza el proceso de eliminación de ruido aplicando una pluralidad de modelos entrenados 206 a la imagen de transmisión de rayos X del fantasma. La Figura 9 muestra un ejemplo de una imagen de transmisión de rayos X utilizada para la evaluación de la resolución. En esta imagen de transmisión de rayos X, se utiliza un gráfico cuya resolución cambia de forma escalonada en una dirección como objetivo de adquisición de imágenes. La resolución de la imagen de transmisión de rayos X se puede medir utilizando una función de transferencia de modulación (MTF) o una función de transferencia de contraste (CTF).

Con referencia nuevamente a la Figura 3, la unidad de selección 204 finalmente selecciona modelos entrenados 206 que se utilizarán para el proceso de eliminación de ruido de la imagen de transmisión de rayos X del objeto

objetivo F de la pluralidad de modelos entrenados 206 almacenados en el dispositivo de control 20 sobre la base de las características de imagen adquiridas por la unidad de especificación 202. Es decir, la unidad de selección 204 compara las características de imagen especificadas por la unidad de especificación 202 con las características de imagen especificadas a partir de los datos de imagen utilizados para construir la pluralidad de modelos entrenados 206, y selecciona un modelo entrenado 206 en el que ambos son similares entre sí.

Por ejemplo, la unidad de selección 204 selecciona un modelo entrenado 206 construido por los datos de imagen de energía promedio más cercanos al valor de la energía promedio de los rayos X transmitidos especificados por la unidad de especificación 202.

Además, la unidad de selección 204 adquiere un gráfico característico de espesor y luminancia para los datos de imagen utilizados para construir la pluralidad de modelos entrenados 206 de la misma manera que el procedimiento de especificación realizado por la unidad de especificación 202, y selecciona modelos entrenados 206 construidos por datos de imagen que tienen características más cercanas al gráfico característico de espesor y luminancia adquiridos para el fantasma como modelos entrenados finales 206. Sin embargo, las características de imagen de los datos de imagen utilizados para construir los modelos entrenados 206 pueden referirse a aquellas calculadas de antemano fuera del dispositivo de control 20. Al utilizar las características de imagen obtenidas al establecer una pluralidad de regiones de medición de esta manera, es posible seleccionar el mejor modelo entrenado para la eliminación de ruido de la imagen de transmisión de rayos X del objeto objetivo F. En particular, es posible estimar con precisión una diferencia en el espectro de rayos X o una diferencia en el efecto del filtro durante la medición de la imagen de transmisión de rayos X.

Además, la unidad de selección 204 puede seleccionar modelos entrenados 206 construidos a partir de datos de imagen que tienen las características de la relación de luminancia a ruido más cercanas a las características de la relación de luminancia a ruido adquiridas por la unidad de especificación 202 como los modelos entrenados finales 206. Sin embargo, las características de imagen de los datos de imagen utilizados para construir los modelos entrenados 206 pueden ser adquiridas por la unidad de selección 204 a partir de los datos de imagen, o pueden referirse a aquellas calculadas de antemano fuera del dispositivo de control 20. En este caso, la unidad de selección 204 puede seleccionar el modelo entrenado 206 utilizando las características de luminancia y ruido, como las características de ruido, en lugar de las características de la relación de luminancia a ruido. Al utilizar tales características de luminancia y ruido, es posible especificar un factor de ruido dominante (tal como ruido de disparo o ruido de lectura) a partir de la pendiente del gráfico en la región de cada cantidad de señal con respecto a cada cantidad de señal detectada por la cámara de detección de rayos X 10, y seleccionar modelos entrenados 206 sobre la base del resultado de la especificación.

La Figura 10 es un diagrama que ilustra una función de selección de un modelo entrenado en base a características de imagen que es realizada por la unidad de selección 204. En la Figura 10, la parte (a) muestra gráficos característicos  $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_3$  de luminancia y relación señal/ruido de datos de imagen utilizados para construir la pluralidad de modelos entrenados 206, y la parte (b) muestra un gráfico característico  $G_T$  de luminancia y relación señal/ruido de la imagen de transmisión de rayos X obtenida mediante la captura de una imagen del fantasma además de estos gráficos característicos  $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_3$ . En un caso en el que tales gráficos característicos  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  y  $G_T$  son el objetivo, la unidad de selección 204 funciona de manera que selecciona modelos entrenados 206 construidos por datos de imagen del gráfico característico  $G_2$  más cercanos a las características del gráfico característico  $G_1$ . En el momento de la selección, la unidad de selección 204 calcula un error de relación señal-ruido (SNR) para cada valor de luminancia a intervalos regulares entre cada uno de los gráficos característicos  $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_3$  y el gráfico característico  $G_T$ , calcula el error cuadrático medio (RMSE) de estos errores y selecciona los modelos entrenados 206 correspondientes a los gráficos característicos  $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_3$  que tienen el error cuadrático medio más pequeño. Además, incluso en un caso en el que la selección se realiza utilizando las características de energía, la unidad de selección 204 puede seleccionar los modelos entrenados 206 de la misma manera.

La unidad de selección 204 también puede seleccionar modelos entrenados 206 utilizados para generar una imagen que tenga características relativamente excelentes sobre la base de las características de una imagen después de que se aplican una pluralidad de modelos entrenados a la imagen de transmisión de rayos X del fantasma y se ejecuta el proceso de eliminación de ruido.

Por ejemplo, la unidad de selección 204 utiliza la imagen de transmisión de rayos X obtenida mediante la captura de una imagen del fantasma que tiene gráficos de varias resoluciones para aplicar una pluralidad de modelos entrenados 206 a la imagen y evaluar las características de resolución de la imagen resultante después de la eliminación de ruido. La unidad de selección 204 selecciona entonces el modelo entrenado 206 utilizado para una imagen que tiene el cambio más pequeño en la resolución de cada distribución antes y después del proceso de eliminación de ruido.

Además de la evaluación del cambio de resolución mencionado anteriormente, la unidad de selección 204 puede evaluar las características de la relación luminancia/ruido de la imagen después de la eliminación del ruido y seleccionar el modelo entrenado 206 utilizado para generar una imagen que tenga las características más altas.

La Figura 11 muestra un ejemplo de la estructura del fantasma utilizado para la evaluación de la relación luminancia/ruido. Por ejemplo, como fantasma, se puede utilizar un fantasma en el que las sustancias extrañas P2 que tienen diversos materiales y diversos tamaños están dispersas en un miembro P1 cuyo espesor cambia de forma escalonada en una dirección. La Figura 12 muestra una imagen de transmisión de rayos X obtenida para el fantasma de la Figura 11 después del proceso de eliminación de ruido. La unidad de selección 204 selecciona una región de imagen R1 que contiene una imagen de la sustancia extraña P2 en la imagen de transmisión de rayos X y una región de imagen R2 que no contiene una imagen de la sustancia extraña P2 en la proximidad de la región R1, y calcula el valor mínimo  $L_{MIN}$  de luminancia en la región de imagen R1, el valor promedio  $L_{AVE}$  de luminancia en la región de imagen R2, y la desviación estándar  $L_{SD}$  de luminancia en la región de imagen R2. La unidad de selección 204 calcula la relación de luminancia a ruido CNR utilizando la siguiente expresión:

$$CNR = (L_{AVE} - L_{MIN})/L_{SD}$$

Además, la unidad de selección 204 calcula la relación de luminancia a ruido CNR para cada una de las imágenes de transmisión de rayos X después de la aplicación de la pluralidad de modelos entrenados 206, y selecciona los modelos entrenados 206 utilizados para generar una imagen de transmisión de rayos X que tenga la relación de luminancia a ruido CNR más alta.

Como alternativa, la unidad de selección 204 puede realizar el cálculo utilizando la siguiente expresión sobre la base del valor promedio  $L_{AVE\_R1}$  de luminancia en la región de imagen R1, el valor promedio  $L_{AVE\_R2}$  de luminancia en la región de imagen R2 y la desviación estándar  $L_{SD}$  de luminancia en la región de imagen R2.

$$CNR = (L_{AVE\_R1} - L_{MIN\_R2})/L_{SD}$$

La unidad de procesamiento 205 aplica los modelos entrenados 206 seleccionados por la unidad de selección 204 a la imagen de transmisión de rayos X adquirida para el objeto objetivo F, y genera una imagen de salida ejecutando un procesamiento de imágenes para eliminar el ruido. A continuación, la unidad de procesamiento 205 envía la imagen de salida generada al dispositivo de visualización 30 o similar.

A continuación, se describirá un procedimiento de observación de la imagen de transmisión de rayos X del objeto objetivo F utilizando el dispositivo de adquisición de imágenes 1 de acuerdo con la presente realización, es decir, un flujo del procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con la presente realización. La Figura 13 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de procesamiento de observación utilizando el dispositivo de adquisición de imágenes 1.

En primer lugar, un operador (usuario) del dispositivo de adquisición de imágenes 1 establece las condiciones de adquisición de imágenes en el dispositivo de adquisición de imágenes 1, como el voltaje de tubo del irradiador de rayos X 50 o la ganancia en la cámara de detección de rayos X 10 (etapa S1). A continuación, se establece un fantasma en el dispositivo de adquisición de imágenes 1 y el dispositivo de control 20 adquiere una imagen de transmisión de rayos X para el fantasma (etapa S2). En este caso, se pueden adquirir secuencialmente imágenes de transmisión de rayos X de una pluralidad de tipos de fantasmas.

Por consiguiente, el dispositivo de control 20 especifica las características de imagen (características de energía, características de ruido y características de resolución) de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma (etapa S3). Además, el dispositivo de control 20 aplica una pluralidad de modelos entrenados 206 a la imagen de transmisión de rayos X del fantasma, y especifica las características de imagen (tales como las características de resolución o el valor de la relación de luminancia a ruido) de cada imagen de transmisión de rayos X después de la aplicación de la pluralidad de modelos entrenados 206 (etapa S4).

A continuación, el dispositivo de control 20 selecciona el modelo entrenado 206 basándose en el resultado de la comparación entre las características energéticas de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma y las características energéticas de los datos de imagen utilizados para construir el modelo entrenado 206, y el grado de cambio en las características de resolución de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma antes y después de la aplicación del modelo entrenado (etapa S5). En este caso, el modelo entrenado 206 puede seleccionarse basándose en el resultado de la comparación entre las características de ruido de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma y las características de ruido de los datos de imagen utilizados para construir el modelo entrenado 206, y el estado de cambio en las características de resolución de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma antes y después de la aplicación del modelo entrenado. Además, en la etapa S5, un modelo entrenado 206 que tenga la relación de luminancia a ruido CNR más alta después de la aplicación del modelo entrenado de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma puede seleccionarse en lugar del proceso anterior.

Además, en el dispositivo de adquisición de imágenes 1, el objeto objetivo F se configura para capturar una imagen

del objeto objetivo F, y de este modo se adquiere una imagen de transmisión de rayos X del objeto objetivo F (etapa S7). A continuación, el dispositivo de control 20 aplica el modelo entrenado 206 finalmente seleccionado a la imagen de transmisión de rayos X del objeto objetivo F, y de este modo se ejecuta el proceso de eliminación de ruido para la imagen de transmisión de rayos X (etapa S8). Finalmente, el dispositivo de control 20 emite una imagen de salida que es una imagen de transmisión de rayos X que ha sido sometida al proceso de eliminación de ruido al dispositivo de visualización 30 (etapa S9).

De acuerdo con el dispositivo de adquisición de imágenes 1 descrito anteriormente, se especifican las características de imagen de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma, y se selecciona un modelo entrenado utilizado para la eliminación de ruido a partir de los modelos entrenados construidos de antemano sobre la base de las características de imagen. De este modo, dado que las características de imagen de transmisión de rayos X que cambian en función de las condiciones operativas y similares del irradiador de rayos X 50 en el dispositivo de adquisición de imágenes 1 se pueden estimar, y el modelo entrenado 206 seleccionado de acuerdo con el resultado de la estimación se utiliza para la eliminación de ruido, es posible realizar la eliminación de ruido correspondiente a la relación entre la luminancia y el ruido en la imagen de transmisión de rayos X. Como resultado, es posible eliminar eficazmente el ruido de la imagen de transmisión de rayos X.

En general, una imagen de transmisión de rayos X contiene ruido derivado de la generación de rayos X. También es concebible aumentar la dosis de rayos X para mejorar la relación SN de la imagen de transmisión de rayos X. Sin embargo, en ese caso, existe un problema en el sentido de que el aumento de la dosis de rayos X aumenta la exposición de un sensor, acorta la vida útil del sensor y acorta la vida útil de la fuente de rayos X y, por lo tanto, es difícil lograr tanto una mejora en la relación SN como un aumento de la vida útil. En la presente realización, no es necesario aumentar la dosis de rayos X y, por lo tanto, es posible lograr tanto una mejora en la relación SN como un aumento de la vida útil.

En la presente realización, en la selección del modelo entrenado, se comparan entre sí las características de imagen de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma y las características de imagen de los datos de imagen utilizados para construir el modelo entrenado. De este modo, dado que se selecciona el modelo entrenado 206 construido a partir de los datos de imagen correspondientes a las características de imagen de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma, es posible eliminar eficazmente el ruido de la imagen de transmisión de rayos X del objeto objetivo F.

Además, en la presente realización, el modelo entrenado se selecciona utilizando las características de imagen de una imagen en la que se aplican una pluralidad de modelos entrenados 206 a la imagen de transmisión de rayos X del fantasma. En este caso, dado que el modelo entrenado 206 se selecciona sobre la base de las características de imagen de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma a la que se aplican realmente una pluralidad de modelos entrenados 206, es posible eliminar eficazmente el ruido de la imagen de transmisión de rayos X del objeto objetivo F.

En particular, en la presente realización, se utilizan características de energía o características de ruido como características de imagen. En este caso, se selecciona el modelo entrenado 206 construido a partir de una imagen que tiene características similares a las características de energía o características de ruido de la imagen de transmisión de rayos X del fantasma que cambia dependiendo de las condiciones de adquisición de imágenes del dispositivo de adquisición de imágenes 1. Como resultado, es posible eliminar el ruido de la imagen de transmisión de rayos X del objeto objetivo F correspondiente a un cambio en las condiciones del dispositivo de adquisición de imágenes 1.

En la presente realización, también se utilizan como características de imagen las características de resolución o la relación luminancia/ruido. De acuerdo con dicha configuración, se aplica el modelo entrenado seleccionado 206 y, de este modo, es posible obtener una imagen de transmisión de rayos X que tiene buenas características de resolución o relación luminancia/ruido. Como resultado, es posible eliminar el ruido de la imagen de transmisión de rayos X del objeto objetivo correspondiente a un cambio en las condiciones del dispositivo de adquisición de imágenes 1.

Las Figuras 14 y 15 muestran ejemplos de imágenes de transmisión de rayos X adquiridas por el dispositivo de adquisición de imágenes 1 antes y después del proceso de eliminación de ruido. Las Figuras 14 y 15 muestran una imagen de queso al que se añaden sustancias extrañas como metal o vidrio y una imagen de pollo en la que quedan huesos de varios tamaños, respectivamente, y muestran una imagen antes del procesamiento de ruido en el lado izquierdo y una imagen después del procesamiento de ruido en el lado derecho, respectivamente. De esta manera, de acuerdo con la presente realización, se puede entender que la eliminación de ruido se realiza de manera efectiva en varios objetos objetivo.

Hasta ahora, aunque se han descrito varias realizaciones de la presente invención, la presente invención no se limita a las realizaciones anteriores y puede modificarse o aplicarse a otras sin cambiar la esencia descrita en cada reivindicación.

Por ejemplo, aunque la cámara de detección de rayos X 10 se ha descrito como una cámara de rayos X de doble línea, la cámara no se limita a ello, y puede ser una cámara de rayos X de una sola línea, una cámara de rayos X de energía dual, una cámara de rayos X de barrido con integración de retardo de tiempo (TDI), una cámara de rayos X de múltiples líneas que tiene una pluralidad de dos o más líneas, una cámara de rayos X bidimensional, un sensor de panel plano de rayos X, uno de rayos X I.I., una cámara de rayos X de tipo conversión directa (a-Se, Si, CdTe, CdZnTe, TlBr, Pbl2, o similares) que no utiliza un centelleador, o una cámara de tipo observación que utiliza una lente óptica con un centelleador basado en acoplamiento de lentes. Además, la cámara de detección de rayos X 10 puede ser un tubo de cámara sensible a la radiación o un sensor puntual sensible a la radiación.

Además, el dispositivo de adquisición de imágenes 1 no se limita a la realización anterior, y puede ser un sistema de procesamiento de imágenes radiográficas, como un dispositivo de tomografía computarizada (CT) que captura una imagen del objeto objetivo F en un estado estacionario. Además, el dispositivo de adquisición de imágenes puede ser un sistema de procesamiento de imágenes radiográficas que captura una imagen del objeto objetivo F mientras gira el objeto objetivo.

Además, en el dispositivo de adquisición de imágenes 1 de la realización anterior, se pueden utilizar varios tipos de fantasmas. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 16, se puede utilizar un fantasma en el que los elementos P11, P12, P13 y P14 en forma de placa plana fabricados con materiales diferentes están dispuestos de forma bidimensional. Además, como se muestra en la Figura 17, se puede utilizar una forma en la que los elementos que tienen una forma cuyo espesor cambia de forma unidimensional escalonada, es decir, los elementos P21, P22 y P23 en forma de placa plana cuyos materiales son diferentes entre sí están dispuestos uno al lado del otro. Una parte de un fantasma puede tener una forma de abertura o corte de modo que el objeto objetivo F o aquel similar al objeto objetivo F se pueda visualizar durante la captura de una imagen del fantasma. El objeto objetivo F se puede visualizar durante la captura de una imagen del fantasma, y se puede seleccionar un modelo entrenado combinando una imagen transmitida del objeto objetivo con una imagen transmitida del fantasma. Además, como se muestra en las partes (a) a (c) de la Figura 18, se puede utilizar un fantasma que tenga un gráfico dispuesto de manera que la línea límite mire en una dirección paralela, una dirección diagonal o una dirección vertical con respecto a la dirección de transporte TD de la cinta transportadora 60.

En la realización descrita anteriormente, es preferente que la etapa de selección incluya la selección del modelo entrenado comparando las características de imagen con las características de imagen especificadas a partir de los datos de imagen. En la realización anterior, es preferente que la unidad de selección seleccione el modelo entrenado comparando las características de imagen con las características de imagen especificadas a partir de los datos de imagen. De este modo, dado que se selecciona el modelo entrenado construido a partir de los datos de imagen correspondientes a las características de imagen de la imagen radiográfica del fantasma, es posible eliminar eficazmente el ruido de la imagen radiográfica del objeto objetivo.

Además, es preferente que la etapa de especificación incluya especificar características de imagen de una pluralidad de imágenes obtenidas como resultado de la aplicación de la pluralidad de modelos entrenados a la imagen radiográfica del fantasma, y que la etapa de selección incluya seleccionar el modelo entrenado sobre la base de las características de imagen de la pluralidad de imágenes. Además, también es preferente que la unidad de especificación especifique características de imagen de una pluralidad de imágenes obtenidas como resultado de aplicar la pluralidad de modelos entrenados a la imagen radiográfica del fantasma, y que la unidad de selección seleccione el modelo entrenado sobre la base de las características de imagen de la pluralidad de imágenes. En este caso, dado que el modelo entrenado se selecciona sobre la base de las características de imagen de la imagen radiográfica del fantasma a la que se aplican realmente una pluralidad de modelos entrenados, es posible eliminar eficazmente el ruido de la imagen radiográfica del objeto objetivo.

Además, es preferente que las características de imagen sean al menos una de las características de energía, características de ruido y características de frecuencia, y que la etapa de selección incluya la selección del modelo entrenado construido a partir de datos de imagen cuyas características de imagen sean similares a las características de imagen. Además, es preferente que las características de imagen sean al menos una de las características de energía, características de ruido y características de frecuencia, y que la unidad de selección seleccione el modelo entrenado construido a partir de datos de imagen cuyas características de imagen sean similares a las características de imagen. En este caso, se selecciona el modelo entrenado construido a partir de una imagen que tiene características similares a al menos una de las características de energía, características de ruido y características de frecuencia de la imagen radiográfica del fantasma que cambia dependiendo del sistema. Como resultado, es posible eliminar el ruido de la imagen radiográfica del objeto objetivo correspondiente a un cambio en las condiciones del sistema.

Además, también es preferente que las características de imagen sean características de resolución o una relación de luminancia a ruido, y que la etapa de selección incluya además la selección del modelo entrenado utilizado para generar una imagen que tenga características de resolución o relación de luminancia a ruido relativamente excelentes. Además, también es preferente que las características de imagen sean características de resolución o una relación de luminancia a ruido, y que la unidad de selección seleccione el modelo entrenado utilizado para

5 generar una imagen que tenga características de resolución o relación de luminancia a ruido relativamente excelentes. De acuerdo con dicha configuración, se aplica el modelo entrenado seleccionado, y de este modo es posible obtener una imagen radiográfica que tenga buenas características de resolución o una relación de luminancia a ruido. Como resultado, es posible eliminar el ruido de la imagen radiográfica del objeto objetivo correspondiente a un cambio en las condiciones del sistema.

10 La realización utiliza un procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas, un modelo entrenado, un módulo de procesamiento de imágenes radiográficas, un programa de procesamiento de imágenes radiográficas y un sistema de procesamiento de imágenes radiográficas, lo que permite eliminar de manera efectiva el ruido en una imagen radiográfica.

**Lista de Signos de Referencia**

15	10	Cámara de detección de rayos X (dispositivo de adquisición de imágenes)
	20	Dispositivo de control (módulo de procesamiento de imágenes radiográficas)
	201	Unidad de adquisición
	202	Unidad de especificación
	204	Unidad de selección
	205	Unidad de procesamiento
20	206	Modelo entrenado
	F	Objeto objetivo
	TD	Dirección de transporte

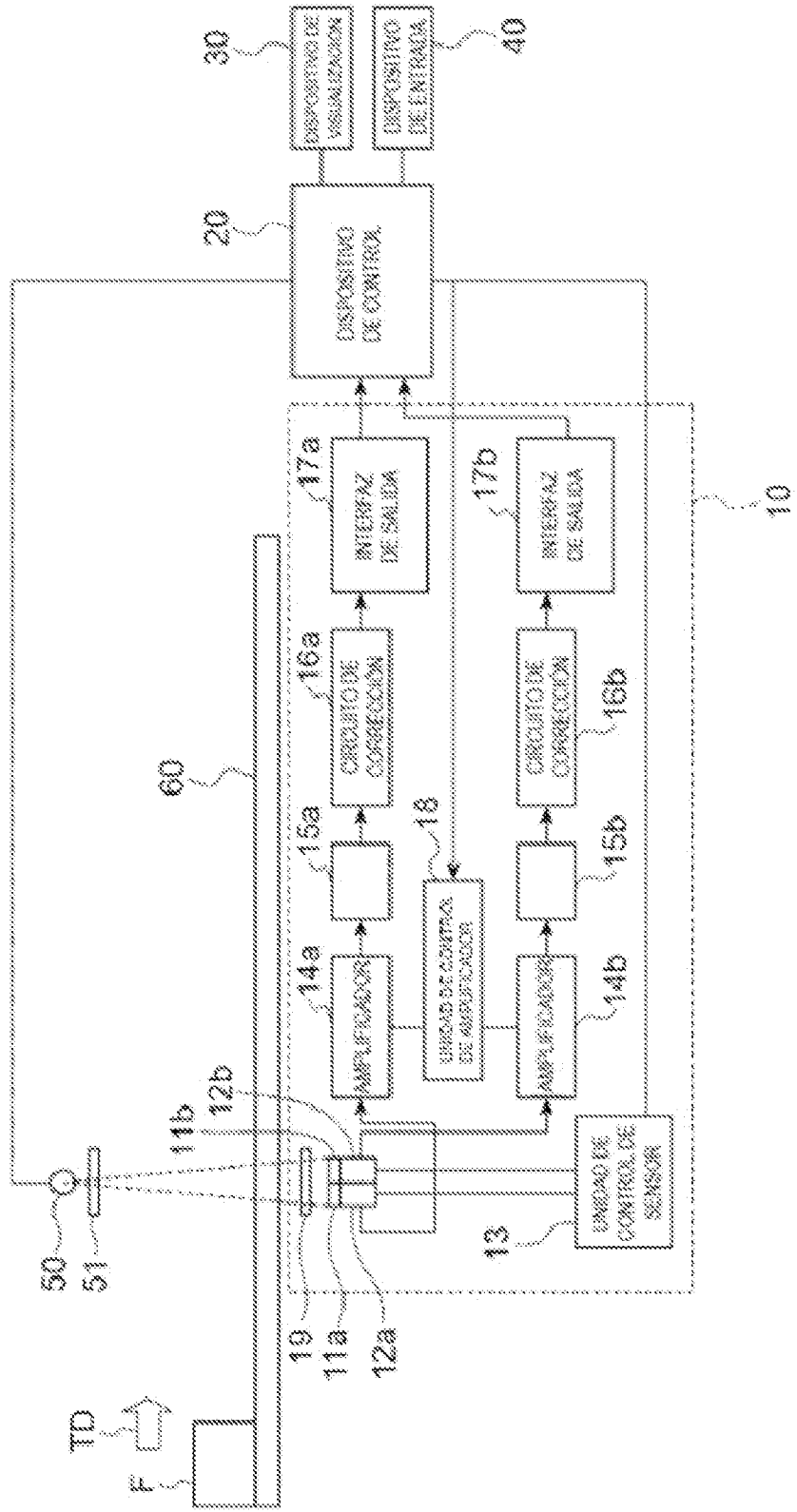
**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas que comprende:
  - 5 una etapa de adquisición (S2) de una imagen radiográfica de un fantasma utilizando un sistema que irradia radiación a un objeto objetivo y captura una imagen de la radiación que pasa a través del objeto objetivo para adquirir una imagen radiográfica;
  - una etapa de especificación (S3) de características de imagen de la imagen radiográfica del fantasma;
  - 10 una etapa de selección (S5) de un modelo entrenado sobre la base de las características de imagen a partir de una pluralidad de modelos entrenados construidos mediante aprendizaje automático de antemano utilizando datos de imagen;
  - una etapa de adquisición (S7) de una imagen radiográfica del objeto objetivo utilizando el sistema; y
  - una etapa de ejecución (S8) de procesamiento de imágenes para eliminar el ruido de la imagen radiográfica del objeto objetivo utilizando el modelo entrenado seleccionado.
- 15 2. El procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa de selección (S5) incluye seleccionar el modelo entrenado comparando las características de imagen con las características de imagen especificadas a partir de los datos de imagen.
- 20 3. El procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa de especificación (S3) incluye especificar características de imagen de una pluralidad de imágenes obtenidas como resultado de la aplicación de la pluralidad de modelos entrenados a la imagen radiográfica del fantasma, y
- 25 la etapa de selección (S5) incluye seleccionar el modelo entrenado sobre la base de las características de imagen de la pluralidad de imágenes.
4. El procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con la reivindicación 2, en el que las características de imagen son al menos una de características de energía, características de ruido y características de frecuencia, y
- 30 la etapa de selección (S5) incluye seleccionar el modelo entrenado construido a partir de datos de imagen cuyas características de imagen son similares a las características de imagen.
5. El procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con la reivindicación 3, en el que las características de imagen son características de resolución o una relación de luminancia a ruido, y
- 35 la etapa de selección (S5) incluye seleccionar el modelo entrenado utilizado para generar una imagen que tenga características de resolución o relación de luminancia a ruido relativamente excelentes.
6. El procedimiento de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el aprendizaje automático es aprendizaje profundo.
- 40 7. Un módulo de procesamiento de imágenes radiográficas que comprende:
  - una unidad de adquisición (201) configurada para adquirir imágenes radiográficas de un fantasma y un objeto objetivo (F) utilizando un sistema que irradia radiación al objeto objetivo (F) y captura una imagen
  - 45 de la radiación que pasa a través del objeto objetivo para adquirir una imagen radiográfica;
  - una unidad de especificación (202) configurada para especificar características de imagen de la imagen radiográfica del fantasma;
  - una unidad de selección (204) configurada para seleccionar un modelo entrenado sobre la base de las características de imagen a partir de una pluralidad de modelos entrenados construidos mediante
  - 50 aprendizaje automático de antemano utilizando datos de imagen; y
  - una unidad de procesamiento (205) configurada para ejecutar el procesamiento de imágenes para eliminar ruido de la imagen radiográfica del objeto objetivo utilizando el modelo entrenado seleccionado.
8. El módulo de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la unidad de selección (204) está configurada para seleccionar el modelo entrenado comparando las características de imagen con las características de imagen especificadas a partir de los datos de imagen.
- 55 9. El módulo de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la unidad de especificación (202) está configurada para especificar características de imagen de una pluralidad de imágenes obtenidas como resultado de la aplicación de la pluralidad de modelos entrenados a la imagen radiográfica del fantasma, y
- 60 la unidad de selección (204) está configurada para seleccionar el modelo entrenado sobre la base de las características de imagen de la pluralidad de imágenes.

65

- 5
10. El módulo de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con la reivindicación 8, en el que las características de imagen son al menos una de características de energía, características de ruido y características de frecuencia, y la unidad de selección (204) está configurada para seleccionar el modelo entrenado construido a partir de datos de imagen cuyas características de imagen son similares a las características de imagen.
- 10
11. El módulo de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con la reivindicación 9, en el que las características de imagen son características de resolución o una relación de luminancia a ruido, y la unidad de selección (204) está configurada para seleccionar el modelo entrenado utilizado para generar una imagen que tenga características de resolución o relación de luminancia a ruido relativamente excelentes.
- 15
12. El módulo de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el aprendizaje automático es aprendizaje profundo.
- 20
13. Un programa de procesamiento de imágenes radiográficas que hace que un procesador funcione como:  
una unidad de adquisición (201) configurada para adquirir imágenes radiográficas de un fantasma y un objeto objetivo utilizando un sistema que irradia radiación al objeto objetivo y captura una imagen de la radiación que pasa a través del objeto objetivo para adquirir una imagen radiográfica;  
una unidad de especificación (202) configurada para especificar características de imagen de la imagen radiográfica del fantasma;  
una unidad de selección (204) configurada para seleccionar un modelo entrenado sobre la base de las características de imagen a partir de una pluralidad de modelos entrenados construidos mediante aprendizaje automático de antemano utilizando datos de imagen; y  
25 una unidad de procesamiento (205) configurada para ejecutar el procesamiento de imágenes para eliminar ruido de la imagen radiográfica del objeto objetivo utilizando el modelo entrenado seleccionado.
- 30
14. Un sistema de procesamiento de imágenes radiográficas que comprende:  
el módulo de procesamiento de imágenes radiográficas de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12;  
una fuente configurada para irradiar radiación al objeto objetivo; y  
un dispositivo de adquisición de imágenes (10) configurado para capturar una imagen de la radiación que pasa a través del objeto objetivo (F) y adquirir la imagen radiográfica.

Fig.1



**Fig.2**

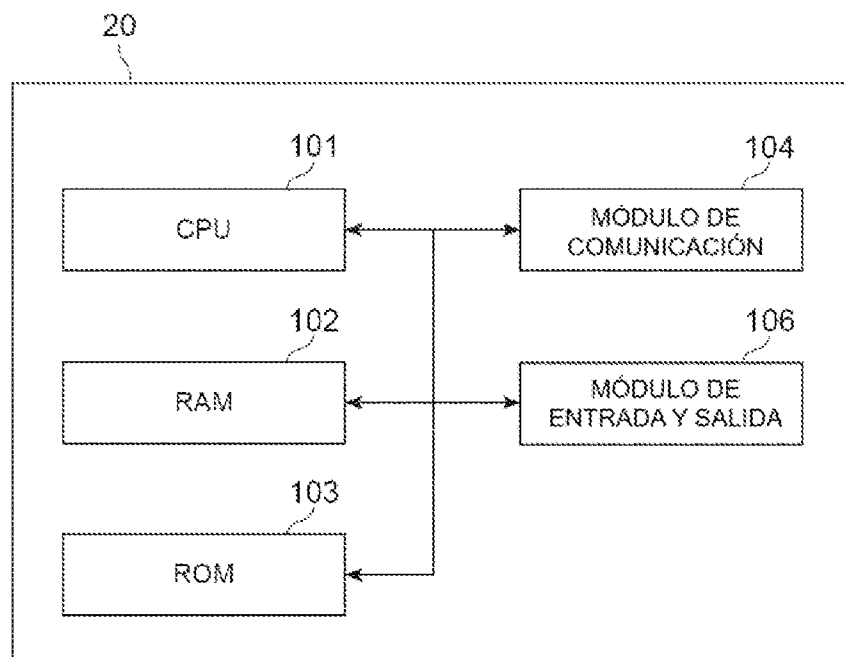
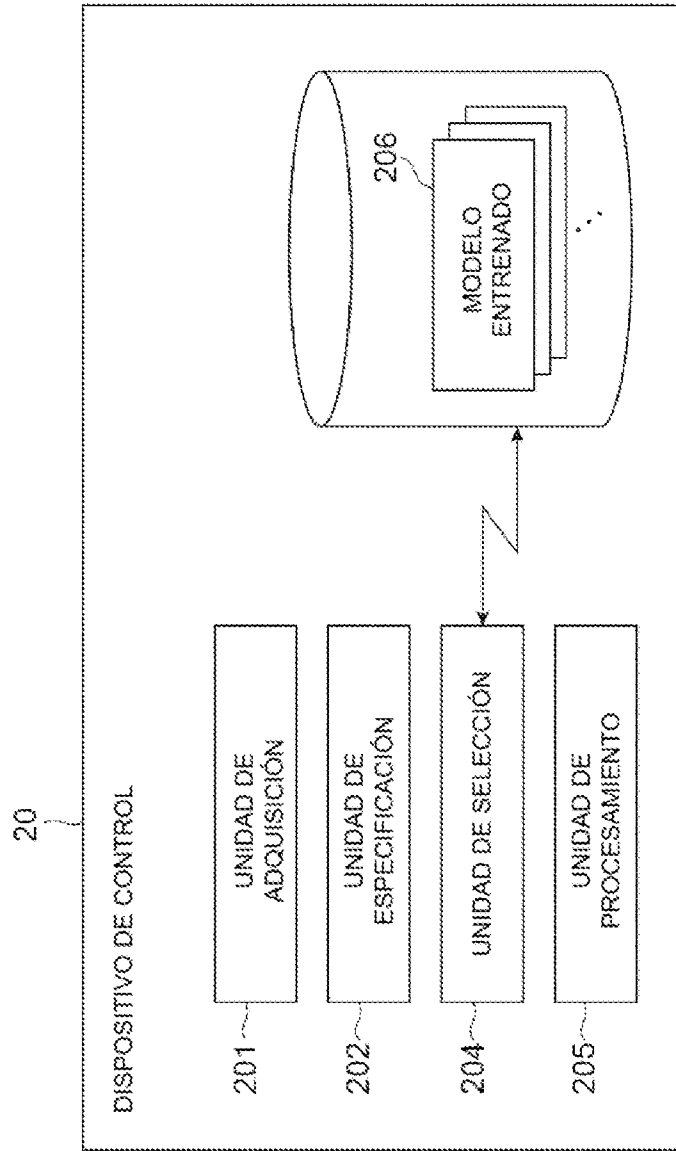


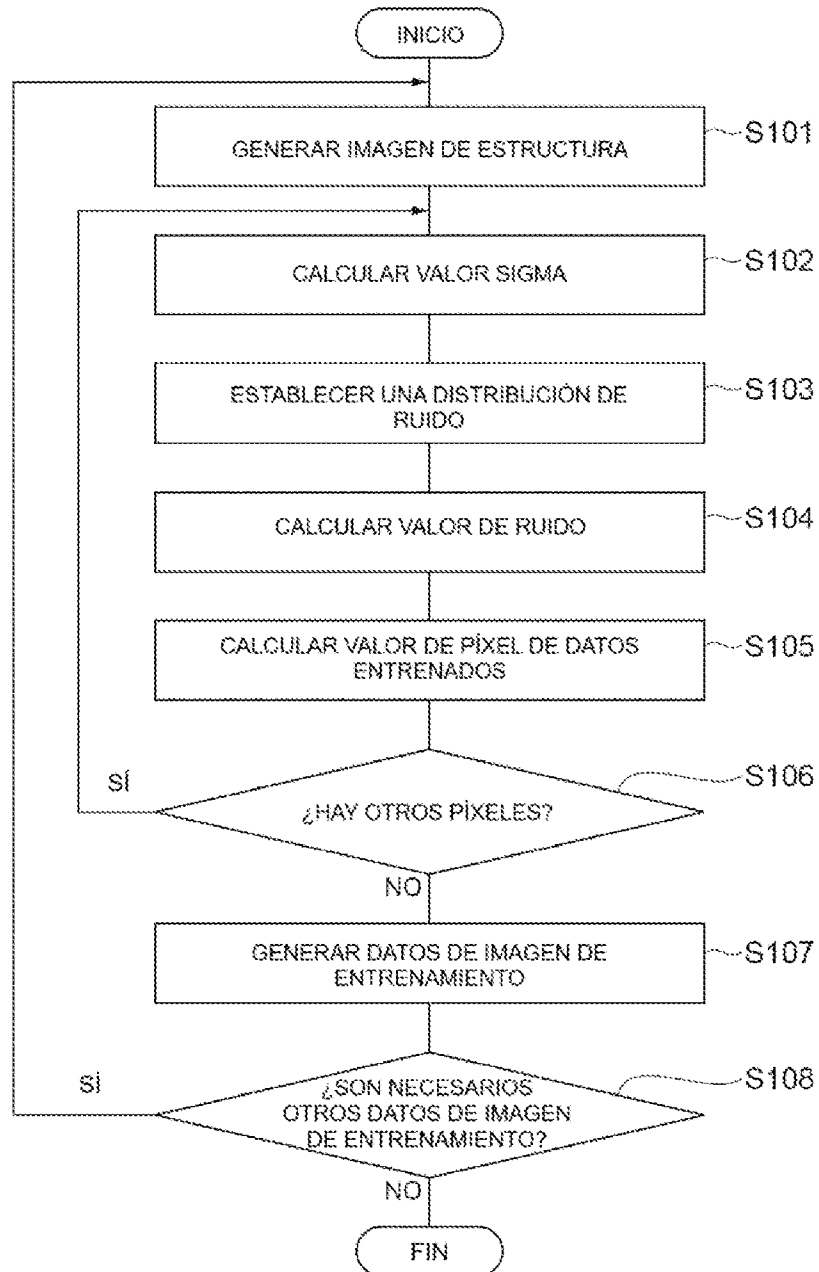
Fig.3

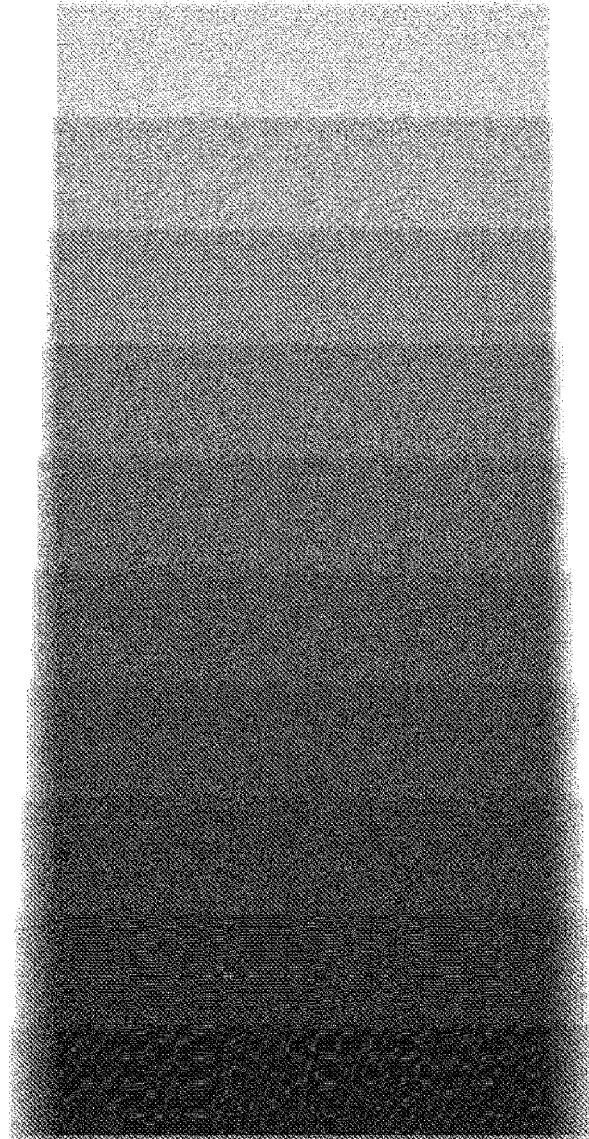


**Fig.4**



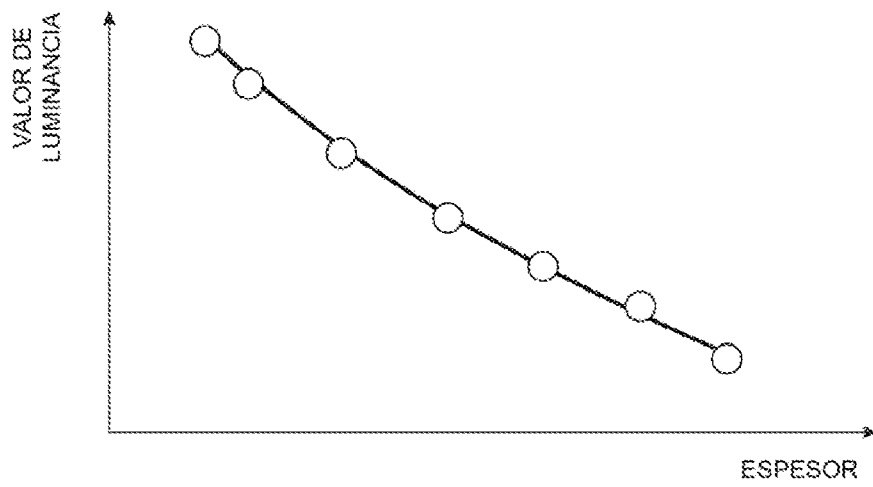
Fig.5



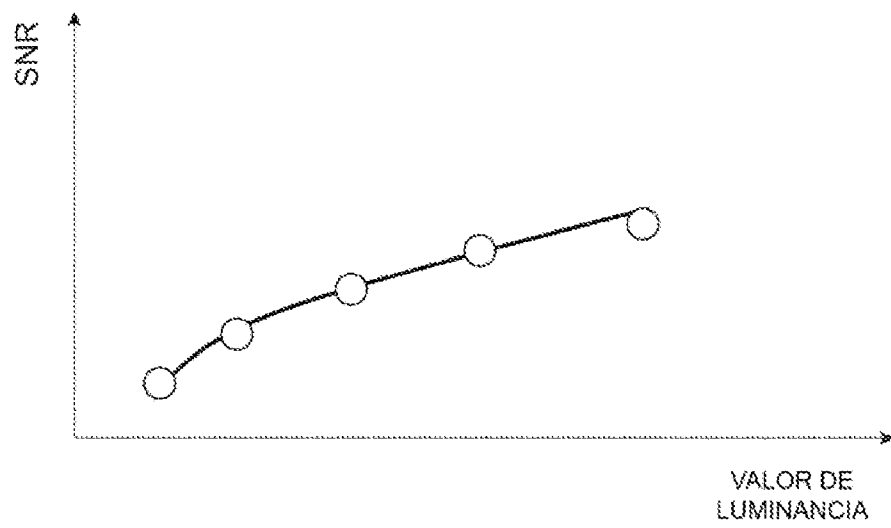


**Fig.6**

**Fig.7**



**Fig.8**



***Fig.9***

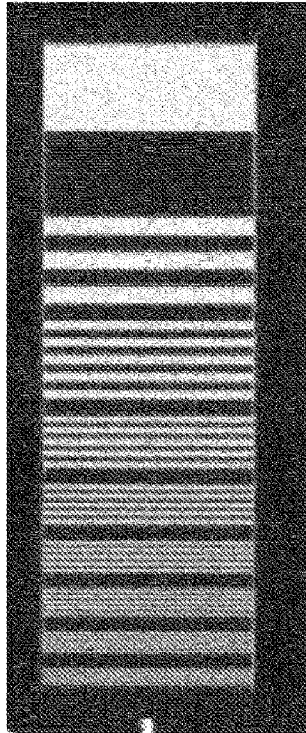
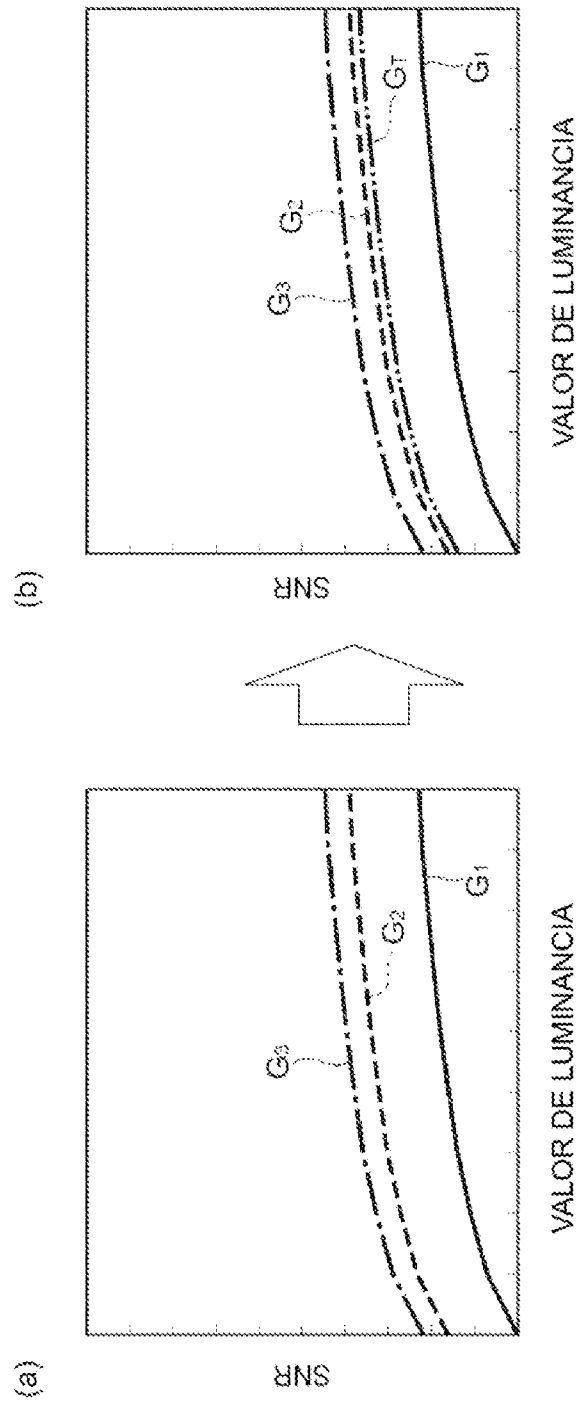
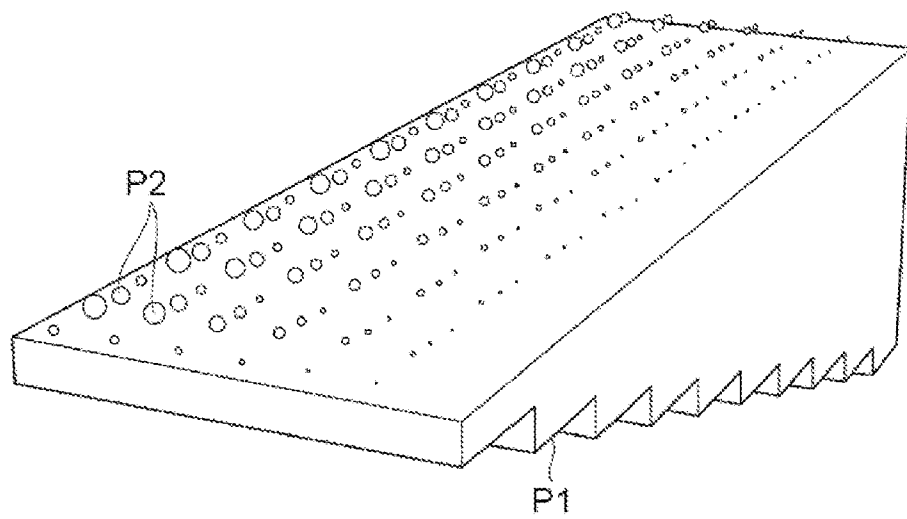


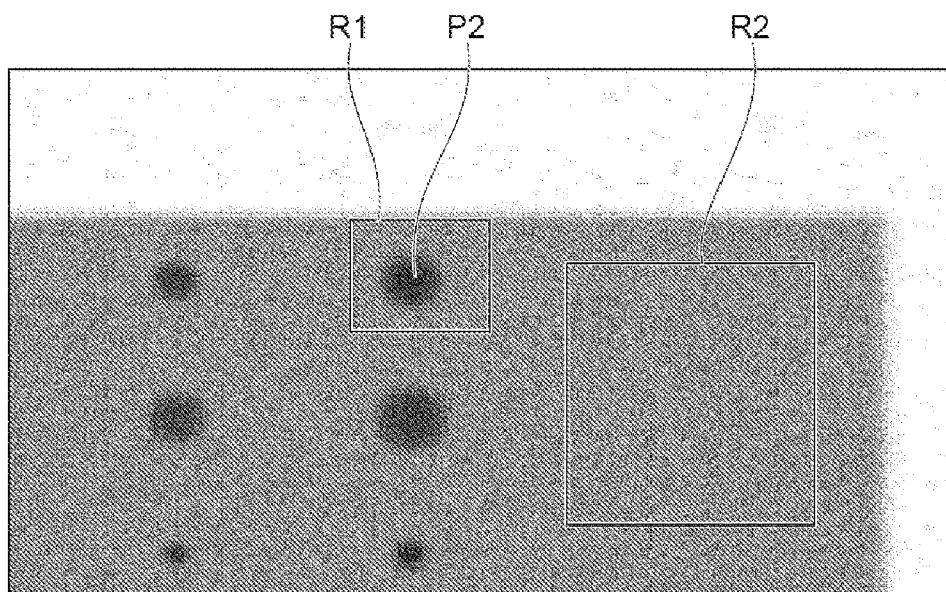
Fig.10



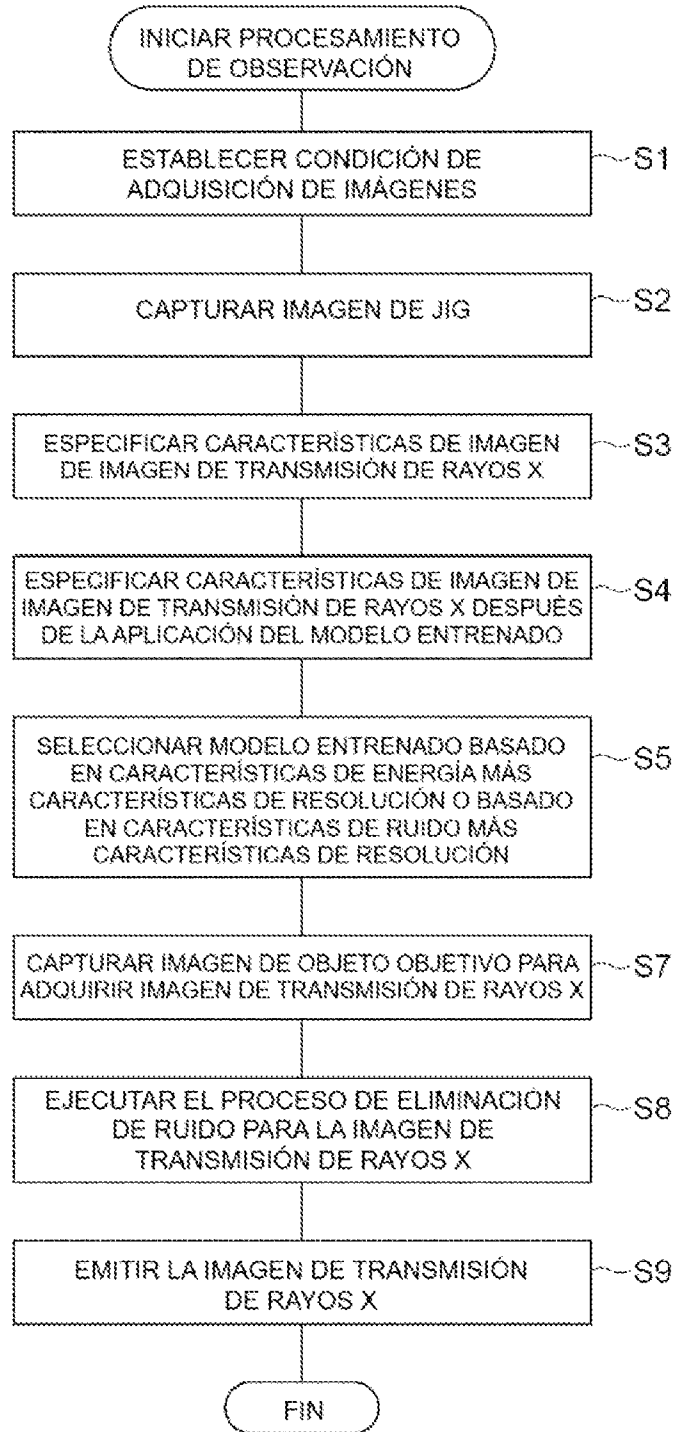
**Fig.11**



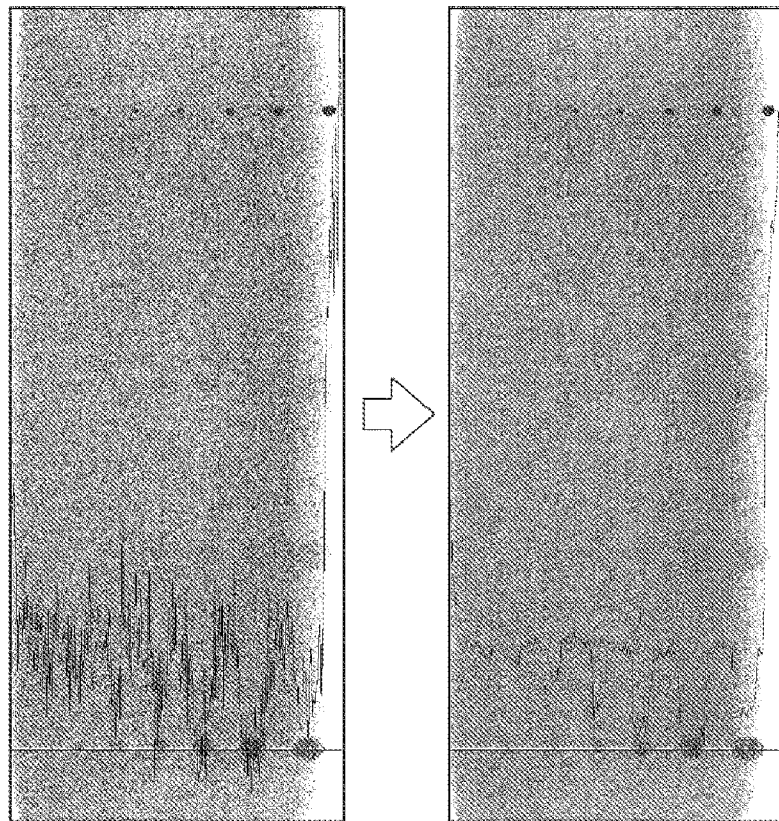
**Fig.12**

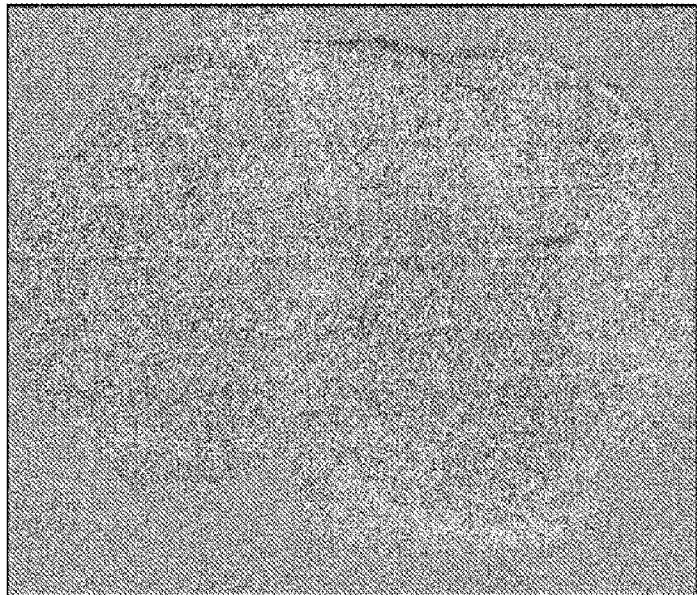
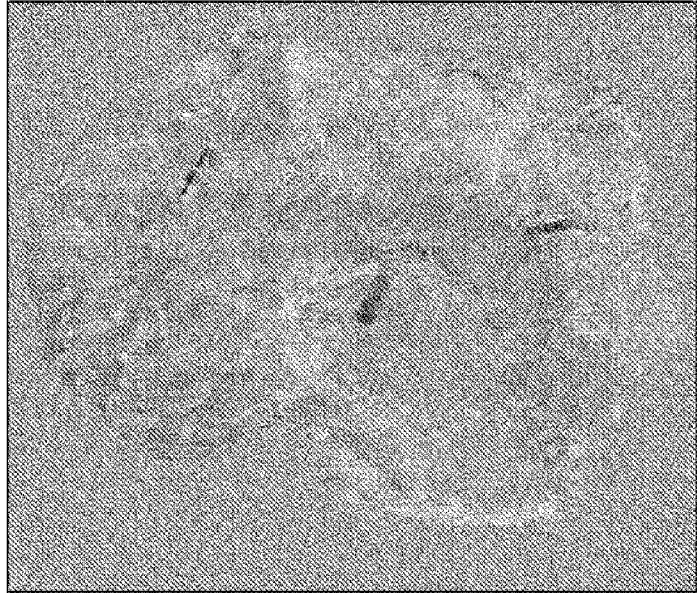


**Fig.13**



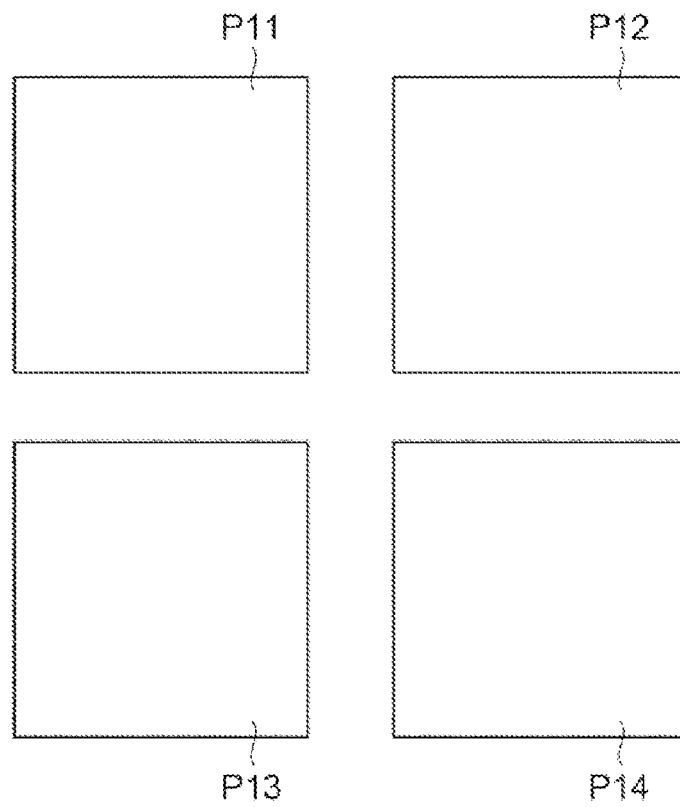
**Fig.14**



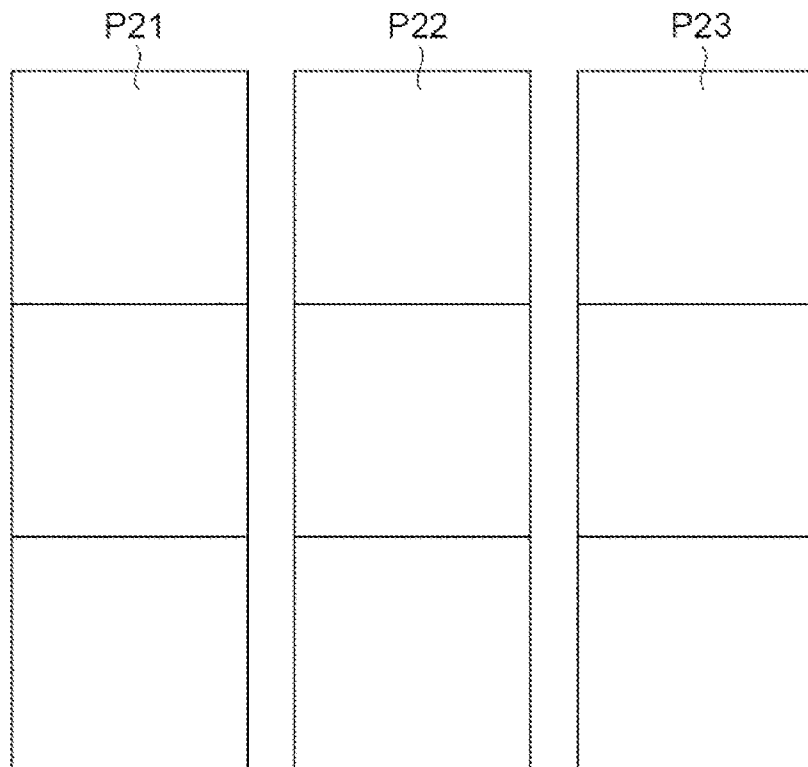


**Fig.15**

**Fig.16**



**Fig.17**



**Fig.18**

