

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 195**

51 Int. Cl.:

**G01B 11/25** (2006.01)

**G01B 11/30** (2006.01)

**G06T 7/521** (2007.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.05.2015 PCT/EP2015/059994**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.11.2015 WO15169873**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.05.2015 E 15719497 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018 EP 3140611**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de reconstrucción tridimensional de una escena por análisis de imagen**

30 Prioridad:

**07.05.2014 FR 1454153**

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

**16.10.2018**

73 Titular/es:

**FRAMATOME (100.0%)  
1 Place Jean Millier, Tour Areva  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**CAULIER, YANNICK**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 686 195 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

Dispositivo y procedimiento de reconstrucción tridimensional de una escena por análisis de imagen

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de la reconstrucción tridimensional de una escena a partir de una o varias imágenes de la escena tomadas con la ayuda de un aparato de toma de imagen y análisis de las imágenes tomadas por medio de un dispositivo de análisis.
- [0002]** La reconstrucción tridimensional de una escena por análisis de imagen encuentra unas aplicaciones en la industria, especialmente para determinar el relieve tridimensional de una pieza o de una superficie situada en un lugar difícilmente accesible, como por ejemplo en un reactor nuclear, especialmente en un generador de vapor del reactor nuclear. Permite controlar especialmente el estado de superficie de un cordón de soldadura realizado entre dos piezas o medir la rugosidad de una superficie.
- 10 **[0003]** En una imagen tomada por un aparato de toma de imagen, unos elementos situados en una zona de nitidez parecen netos mientras que unos elementos situados fuera de la zona de nitidez parecen borrosos. La zona de nitidez es una parte del espacio comprendida entre un plano neto delantero y un plano neto trasero, paralelos y separados por una distancia llamada profundidad de campo. El plano neto delantero y el plano neto trasero están situados a ambos lados de un plano de nitidez máxima.
- 15 **[0004]** Es posible determinar una reconstrucción tridimensional de una escena por análisis de la falta de nitidez óptica en una imagen.
- [0005]** En un procedimiento de reconstrucción tridimensional llamado DFF («Depth From Focus» en inglés), varias imágenes de una escena son tomadas con un aparato de toma de imagen, desplazando cada vez el plano de nitidez máximo a lo largo del eje de toma de imagen entre las imágenes, sin desplazar los elementos de la escena entre las tomas de imagen. Combinando a continuación las regiones netas de las diferentes imágenes capturadas, es posible reconstruir plano por plano el relieve tridimensional de la escena.
- 20 **[0006]** En otro procedimiento de reconstrucción tridimensional llamado DFD («Depth From Defocus» en inglés), el relieve de la escena se reconstruye por análisis del nivel de falta de nitidez óptica en las imágenes. En cada imagen, cuanto más elevado presenta una zona un nivel de falta de nitidez, más es desplazada en profundidad con respecto a la zona de nitidez. Conociendo los parámetros ópticos del aparato de toma de imágenes, es posible determinar la profundidad del punto de la escena asociado a cada píxel de la imagen.
- 25 **[0007]** El nivel de falta de nitidez óptica en una imagen se mide por ejemplo midiendo el contraste en la imagen. Un contraste reducido indica una región borrosa de la imagen mientras que un contraste elevado indica una región neta de la imagen.
- 30 **[0008]** Es posible proyectar en la escena un motivo luminoso texturado que aumenta el contraste para mejorar la precisión del análisis de la falta de nitidez óptica en las imágenes capturadas. El motivo luminoso comprende por ejemplo unas líneas paralelas, unas franjas o un damero.
- 35 **[0009]** No obstante, esto no es del todo satisfactorio en términos de precisión, por ejemplo para la reconstrucción tridimensional de superficies de reducida rugosidad.
- [0010]** Los documentos FR2292213A1 y US20100201811A1 divulgan respectivamente un procedimiento de visualización de líneas de nivel y un dispositivo de reconstrucción tridimensional que utiliza el fenómeno de Moiré.
- 40 **[0011]** El documento US201201339564A1 divulga un dispositivo de reconstrucción tridimensional de un objeto donde unos sistemas de franjas son proyectados sucesivamente sobre el objeto.
- [0012]** Uno de los objetivos de la presente invención es proponer un dispositivo de reconstrucción tridimensional de una escena por análisis de imágenes tomadas con la ayuda de un aparato de toma de imagen, que sea fácil de utilizar y posea una precisión satisfactoria.
- 45 **[0013]** A tal efecto, la invención propone un dispositivo de reconstrucción tridimensional de una escena por análisis de imagen según la reivindicación 1. Unas características opcionales del dispositivo de reconstrucción tridimensional son definidas en las reivindicaciones 2 y 3.

**[0014]** La invención se refiere igualmente a un procedimiento de reconstrucción tridimensional de una escena por análisis de imagen según la reivindicación 4. Unas características opcionales del procedimiento de reconstrucción tridimensional son definidas en las reivindicaciones 5 y 6.

5

**[0015]** La invención y sus ventajas se comprenderán mejor con la lectura de la descripción que aparece a continuación, dada únicamente a título de ejemplo y realizada en referencia a los dibujos anexos, en los que:

- la Figura 1 es una vista esquemática de cara de un dispositivo de reconstrucción tridimensional de una escena por análisis de imagen; y
- la Figura 2 es una representación esquemática de motivos luminosos proyectados por el dispositivo de reconstrucción tridimensional, antes y después de la superposición.

**[0016]** El dispositivo de reconstrucción tridimensional 2 de la figura 1 está adaptado para reconstruir el relieve tridimensional de una escena por análisis de imagen de la escena.

**[0017]** El dispositivo de reconstrucción tridimensional 2 comprende un aparato de toma de imagen 4 numérica, por ejemplo un aparato foto-numérico o una cámara numérica, para tomar unas imágenes numéricas de la escena.

20

**[0018]** El aparato de toma de imagen 4 comprende un objetivo 6 para focalizar la luz de la escena sobre un sensor 8 matricial. El sensor 8 iluminado por la luz de la escena captura una imagen 10 matricial de la escena. La imagen 10 matricial está formada por una matriz de píxeles, estando asociados a cada píxel unos parámetros (intensidad luminosa para cada color elemental para una imagen en color o nivel de gris para una imagen en blanco y negro). Cada píxel de la imagen corresponde a un punto de la escena.

25

**[0019]** El aparato de toma de imagen 4 presenta un eje de toma de imagen X, correspondiente al eje óptico de su objetivo 6.

**[0020]** El aparato de toma de imagen 4 posee un plano de nitidez máximo Pmax contenido en una zona de nitidez que es una parte del espacio delimitado entre un plano neto delantero P1 y un plano neto trasero P2 situados a ambos lados del plano de nitidez máximo Pmax.

30

**[0021]** El plano de nitidez máximo Pmax, el plano neto delantero P1 y el plano neto trasero P2 son perpendiculares al eje de toma de imagen X y paralelos entre sí. La distancia entre el plano neto delantero P1 y el plano neto trasero P2 tomada según el eje de toma de imagen X es la profundidad de campo.

35

**[0022]** El aparato de toma de imagen 4 toma unas imágenes en las que los elementos de la escena incluidos en la zona de nitidez son netos y los elementos de la escena fuera de zona de nitidez son borrosos.

40

**[0023]** La distancia del plano de nitidez máximo Pmax al aparato de toma de imagen 4 y la profundidad de campo van en función de los parámetros del aparato de toma de imagen 4 (focal, apertura de diafragma...). Los parámetros del aparato de toma de imagen 4 son regulables o fijos.

**[0024]** De preferencia, para la reconstrucción tridimensional, los parámetros del aparato de toma de imagen 4 son seleccionados o regulados de tal manera que la profundidad de campo es reducida, por ejemplo inferior a la profundidad de la escena que se va a reconstruir. A título de ejemplo, unas pruebas han mostrado que es posible reconstruir con una resolución en profundidad de 1/10 mm una escena de aproximadamente 40 mm de profundidad con una profundidad de campos del orden de 20 mm. Unas profundidades de campos más importantes pueden ser consideradas también, en el caso en que la textura de la superficie permita determinar el máximo de la curva de contraste.

50

**[0025]** El aparato de toma de imagen 4 comprende un dispositivo de análisis 12 electrónico apropiado para analizar las imágenes capturadas por el aparato de toma de imagen 4 para realizar una reconstrucción tridimensional de la escena por análisis de las imágenes capturadas.

55

**[0026]** El dispositivo de análisis 12 comprende un procesador y una memoria donde se almacena una aplicación informática que contiene unas instrucciones informáticas ejecutables por el procesador para calcular automáticamente una reconstrucción tridimensional de la escena por análisis de imagen.

- [0027]** El dispositivo de reconstrucción tridimensional 2 comprende un dispositivo de proyección 14 para proyectar sobre la escena un primer motivo luminoso 16 y un segundo motivo luminoso 18 texturados y complementarios, proyectados de manera que formen unas imágenes elementales netas en un plano de proyección 5 PP situado en la zona de nitidez del aparato de toma de imagen 4, de forma que forme una imagen combinada uniforme en el plano de proyección PP. Según la invención, como se ilustra, el plano de proyección PP está casi fusionado con el plano de nitidez máximo Pmax.
- [0028]** El dispositivo de proyección 14 está configurado para proyectar un primer haz 15 luminoso de proyección del primer motivo luminoso 16 y un segundo haz 17 de proyección del segundo motivo luminoso 18 según respectivamente un primer eje de proyección A1 y un segundo eje de proyección A2 que forma un ángulo no nulo entre sí. El primer haz 15 y el segundo haz 17 se cruzan.
- [0029]** Al menos un eje de proyección A1, A2 es distinto del eje de toma de imagen X y forma un ángulo no nulo con este último. En el ejemplo ilustrado, cada eje de proyección A1, A2 es distinto del eje de toma de imagen X y forma un ángulo no nulo con este último. El eje de toma de imagen X forma aquí la bisectriz entre los ejes de proyección A1, A2. Los ejes de proyección A1, A2 son concurrentes con el eje de toma de imagen X.
- [0030]** Tal como se ilustra en la Figura 1, el dispositivo de proyección 14 comprende un primer proyector 20 para proyectar el primer motivo luminoso 16 y un segundo proyector 22 para proyectar el segundo motivo luminoso 18.
- [0031]** Tal como se ilustra en la Figura 2, cada motivo luminoso 16, 18 es texturado y posee unas zonas luminosas y unas zonas oscuras. Los motivos luminosos 16 y 18 están formados aquí cada uno por franjas luminosas, es decir una pluralidad de bandas rectilíneas paralelas alternativamente luminosas y oscuras. Los motivos luminosos 16, 18 son aquí en blanco y negro.
- [0032]** Los motivos luminosos 16, 18 son complementarios, de tal modo que superponiéndolos en el plano de proyección PP donde los motivos luminosos son netos, de ello resulta una imagen combinada 24 uniforme con una intensidad luminosa homogénea. Los motivos luminosos 16, 18 complementarios son superpuestos de forma que una zona oscura de un motivo luminoso se superpone a una zona luminosa del otro motivo luminoso.
- [0033]** Debido al ángulo no nulo entre los ejes de proyección A1, A2, en cuanto un punto de la escena está situado fuera del plano de proyección, se sitúa, en función de su posición y de su profundidad:
- en una zona de luminosidad intermedia, correspondiente a la intersección de una zona oscura de uno de los motivos luminosos 16, 18 con una zona luminosa del otro de los motivos luminosos 16, 18 y donde los motivos luminosos no son netos y la intensidad luminosa se disminuye;
  - en una zona de intensidad luminosa elevada, correspondiente a la intersección de dos zonas luminosas de los motivos luminosos 16, 18 y donde la intensidad luminosa es más elevada que en el plano de proyección PP; y/o
  - en una zona de intensidad luminosa reducida, correspondiente a la intersección de dos zonas oscuras de los dos motivos luminosos 16, 18 y donde la intensidad luminosa es más reducida que en el plano de proyección PP.
- [0034]** La intensidad luminosa de un punto de la escena situado fuera del plano de proyección PP es diferente (inferior o superior) de la de un punto de la escena situado en el plano de proyección PP. La intensidad luminosa de cada píxel de una imagen tomada por el aparato de imagen 4 es por tanto indicativa de la profundidad del punto correspondiente de la escena.
- [0035]** La homogeneidad de la intensidad en la imagen varía en función de la profundidad de la escena. Cuanto más se aleja una región de la escena del plano de proyección, más reducida es la homogeneidad de la intensidad en una zona correspondiente de la imagen. Cuanto más próxima está una región de la escena del plano de proyección, más elevada es la homogeneidad de la intensidad en una zona correspondiente de la imagen.
- [0036]** El dispositivo de análisis de imagen 12 está programado para recorrer cada imagen tomada por el aparato de imagen 4 de manera que se detecten las variaciones de homogeneidad de intensidad, de manera que se determine la posición de los puntos de la escena con respecto al plano de proyección y/o se mida la profundidad de los puntos de la escena correspondiente a cada píxel. Esto permite calcular una reconstrucción tridimensional de la escena.

**[0037]** En un modo de realización, el aparato de toma de imagen 4 suministra unas imágenes en blanco y negro. Una imagen en blanco y negro asocia un nivel de gris a cada píxel, representativo de la intensidad luminosa de este píxel. En este caso, el dispositivo de análisis de imagen 12 está programado para analizar la intensidad luminosa en tal imagen basándose en el nivel de gris de la imagen.

5

**[0038]** En un modo de realización, el aparato de toma de imagen 4 suministra unas imágenes en color. Una imagen en color comprende tres imágenes de intensidad asociada cada una a un color respectivo, asociando cada imagen de intensidad asociada a un color a cada píxel de la imagen una intensidad luminosa en este color. Los tres colores son por ejemplo los tres colores elementales (verde, amarillo, azul). En este caso, el dispositivo de análisis de imagen 12 está programado para analizar la intensidad luminosa en una imagen capturada analizando la intensidad luminosa en cada una de las tres imágenes de intensidad combinando después los análisis, por ejemplo sumando para cada píxel las intensidades luminosas de las tres imágenes de intensidad.

10

**[0039]** El dispositivo de análisis de imagen 12 suministra por ejemplo en salida una reconstrucción tridimensional en la forma de un mapa de profundidad de la escena, que asocia una profundidad a cada píxel de una imagen de la escena tomadas por el aparato de toma de imagen.

15

**[0040]** El dispositivo de análisis de imagen 12 está programado para calcular una reconstrucción tridimensional de la escena en función de la profundidad asociada a cada punto de la escena. Según la invención, el dispositivo de reconstrucción tridimensional 2 está programado para tomar una serie de imágenes de la escena desplazando conjuntamente el plano de nitidez máxima Pmax y el plano de proyección PP entre cada toma de vistas, estando el dispositivo de análisis de imagen 12 programado para calcular la reconstrucción tridimensional de la escena plano por plano, por ejemplo determinando para cada imagen los elementos netos situados en el plano de proyección PP. Para desplazar el plano de nitidez máxima Pmax y el plano de proyección PP, el aparato de toma de imagen 4 es regulable y/o desplazable según su eje de toma de imagen X, y/o el dispositivo de proyección 14 es regulable y/o desplazable a lo largo del eje de toma de imagen X.

20

25

**[0041]** En un modo de realización, el dispositivo de análisis de imagen 12 está programado para calcular la posición de cada punto de la escena con respecto al plano de proyección PP, por ejemplo en función de una variación de nitidez del punto entre unas imágenes de una serie de imágenes tomadas desplazando el plano de proyección PP (y conjuntamente el plano de nitidez máxima) entre las tomas de vista. Si la nitidez de un punto de la escena aumenta entre dos tomas de vista, el plano de proyección PP se aproxima a este punto de la escena. Si la nitidez de un punto de la escena disminuye entre dos tomas de vista, el plano de proyección PP se aleja de este punto de la escena. La posición del punto de la escena se deduce de la variación de nitidez de este punto de la escena y del sentido de desplazamiento del plano de proyección PP entre las tomas de vista.

30

35

**[0042]** En un modo de realización, el dispositivo de análisis de imagen 12 está programado para determinar una reconstrucción tridimensional de la escena en función de la posición de los puntos de la escena con respecto al plano de proyección PP, determinada por ejemplo a partir de una variación de nitidez del punto en una serie de imágenes (por ejemplo, dos imágenes) entre las que el plano de proyección PP (y conjuntamente el plano de nitidez máxima Pmax) se ha desplazado y en función de la profundidad de cada punto de la escena determinada a partir de una detección de las variaciones de homogeneidad de intensidad en al menos una imagen.

40

**[0043]** La escena está formada aquí por una superficie 22 de un objeto 24 que se desea examinar.

45

**[0044]** En funcionamiento, el objeto 24 está dispuesto en el campo de visión del aparato de toma de imagen 4, estando la superficie 22 que se va a examinar orientada hacia el aparato de toma de imagen 4. El dispositivo de proyección 14 proyecta los motivos luminosos 16, 18 en la superficie 22 que se va a examinar. Los motivos luminosos 16, 18 se superponen en el plano de proyección PP situado en la zona de nitidez P1 – P2 del aparato de toma de imagen 4 formando una iluminación de intensidad luminosa homogénea en el plano de proyección PP. El aparato de toma de imagen 4 toma al menos una imagen 10 de la escena y suministra la imagen al dispositivo de análisis 12 que reconstruye la escena en tres dimensiones a partir de la o cada imagen, por ejemplo calculando una profundidad para cada píxel de una imagen tomada por el aparato de toma de imagen 4.

50

**[0045]** Gracias a la invención, es posible proceder a una reconstrucción tridimensional de una escena con una precisión satisfactoria. En particular, es posible reconstruir en tres dimensiones una superficie que presenta una rugosidad reducida.

55

**[0046]** En efecto, la medida de la profundidad por análisis del flujo óptico en una imagen está basada

generalmente en una medida de contraste, que es una medida relativa. Para la medida de la rugosidad de una superficie, el nivel de flujo medido en una imagen de la superficie depende así de la rugosidad de la superficie y si una superficie presenta una rugosidad reducida, las diferencias de nivel de flujo son reducidas entre las regiones de la imagen y la precisión de medida es reducida.

5

**[0047]** En cambio, la proyección de motivos luminosos complementarios superpuestos permite aplicar una medida de profundidad basada en la variación de la homogeneidad de la intensidad que no depende de la rugosidad global de la superficie, y que permite una medida de profundidad precisa, incluso para una superficie de rugosidad reducida.

10

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo de reconstrucción tridimensional de una escena por análisis de imagen, que comprende un aparato de toma de imagen (4) para capturar unas imágenes de la escena, un dispositivo de análisis (12) para  
 5 calcular una reconstrucción tridimensional de la escena a partir de al menos una imagen (10) de la escena tomadas por el aparato de toma de imagen (4) y un dispositivo de proyección (14) para proyectar un primer motivo luminoso y un segundo motivo luminoso complementarios en la escena examinada, estando el primer motivo luminoso y el segundo motivo luminoso proyectados según unos ejes de proyección (A1; A2) distintos que forman un ángulo no nulo entre ellos, de manera que se superpongan formando una imagen uniforme de intensidad homogénea en un  
 10 plano de proyección casi fusionado con un plano de nitidez máxima del aparato de toma de imagen (4), donde el dispositivo de reconstrucción tridimensional está programado para capturar una serie de imágenes (10) de la escena desplazando conjuntamente el plano de nitidez máxima y el plano de proyección con respecto a la escena entre las tomas de vista, estando el dispositivo de análisis (12) programado para calcular una reconstrucción tridimensional de la escena plano por plano a partir de la serie de imágenes (10), a partir de una medida de la variación de la  
 15 homogeneidad de la intensidad luminosa en cada imagen (10) de la escena.

2. Dispositivo de reconstrucción tridimensional según la reivindicación 1, donde el primer motivo luminoso y el segundo motivo luminoso comprenden cada uno unas zonas luminosas y unas zonas oscuras que forman un motivo geométrico, especialmente unas franjas luminosas.  
 20

3. Dispositivo de reconstrucción tridimensional según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, donde el dispositivo de análisis (12) está programado para calcular, a partir de al menos una imagen (10) de la escena, la posición de cada punto de la escena relativamente al plano de proyección y/o para calcular, a partir de al menos una imagen (10) de la escena, una medida de la profundidad de cada punto de la escena en función de la variación de la  
 25 homogeneidad de la intensidad entre los diferentes puntos de la escena.

4. Procedimiento de reconstrucción tridimensional de una escena por análisis de imagen, que comprende las etapas de:

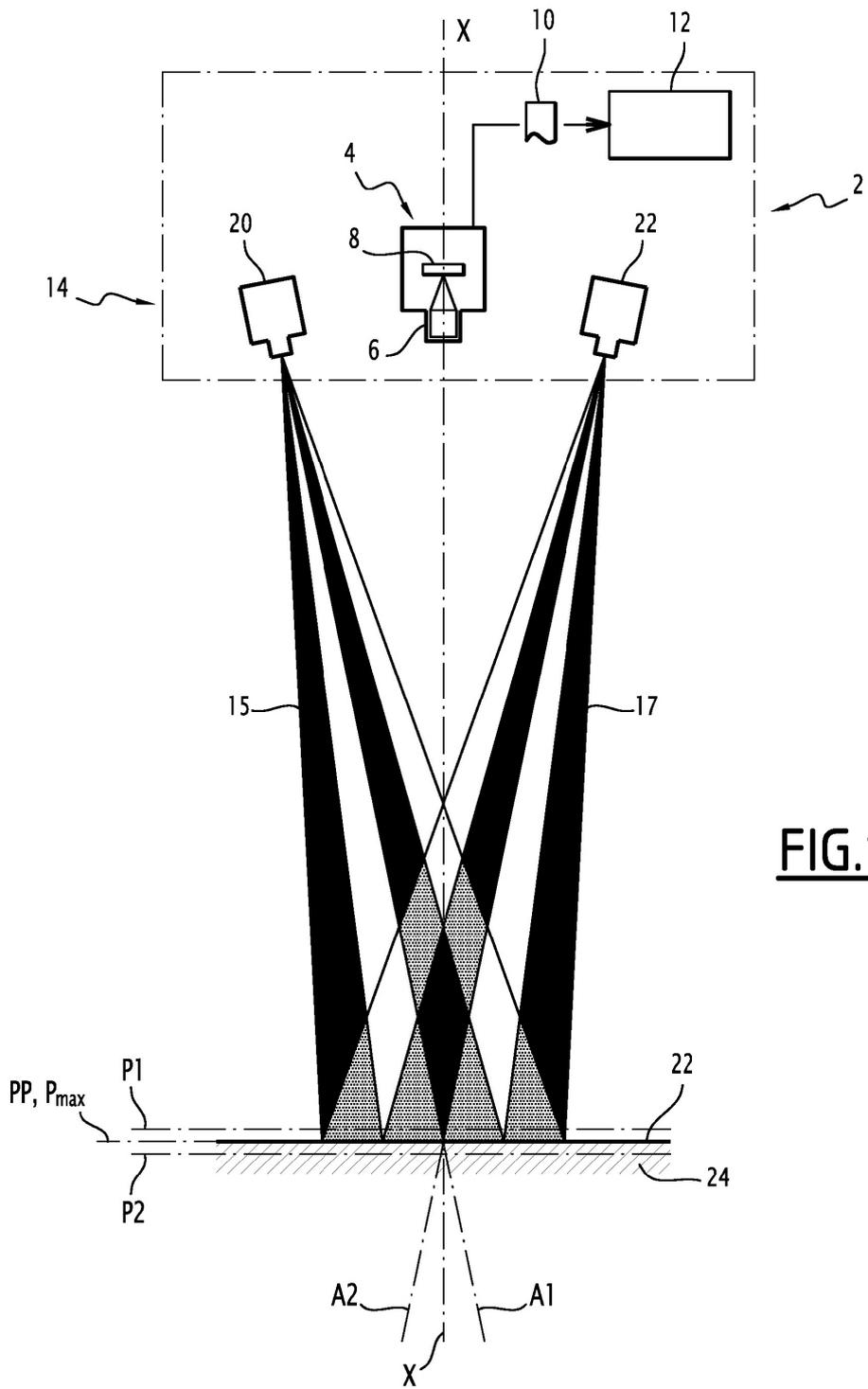
30 - proyectar un primer motivo luminoso y un segundo motivo luminoso complementarios en la escena examinada, estando el primer motivo luminoso y el segundo motivo luminoso proyectados según unos ejes de proyección (A1; A2) distintos que forman un ángulo no nulo entre ellos, de manera que se superpongan formando una imagen proyectada uniforme de intensidad homogénea en un plano de proyección casi fusionado con un plano de nitidez máximo de un aparato de toma de imagen (4);  
 35 - capturar al menos una imagen de la escena examinada; después

- calcular una reconstrucción tridimensional de la escena por análisis de la imagen capturada,

40 donde la etapa de captura de imagen comprende la captura de una serie de imágenes (10) de la escena desplazando conjuntamente el plano de nitidez máxima y el plano de proyección con respecto a la escena entre las tomas de vista, comprendiendo la etapa de cálculo de una reconstrucción tridimensional el cálculo de la reconstrucción tridimensional de la escena plano por plano a partir de la serie de imágenes (10), a partir de una medida de la variación de la homogeneidad de la intensidad luminosa en cada imagen (10) de la escena.

5. Procedimiento de reconstrucción tridimensional según la reivindicación 4, donde el primer motivo y el  
 45 segundo motivo comprenden cada uno unas zonas luminosas y unas zonas oscuras que forman un motivo geométrico, especialmente unas franjas luminosas.

6. Procedimiento de reconstrucción tridimensional según la reivindicación 4 o la reivindicación 5, donde la etapa de cálculo de una reconstrucción tridimensional comprende el cálculo, a partir de al menos una imagen (10)  
 50 de la escena, de la posición de cada punto de la escena relativamente al plano de proyección y/o el cálculo, a partir de al menos una imagen capturada, de una medida de la profundidad de cada punto de la escena en función de la variación de la homogeneidad de la intensidad entre los diferentes puntos de la escena.



**FIG. 1**

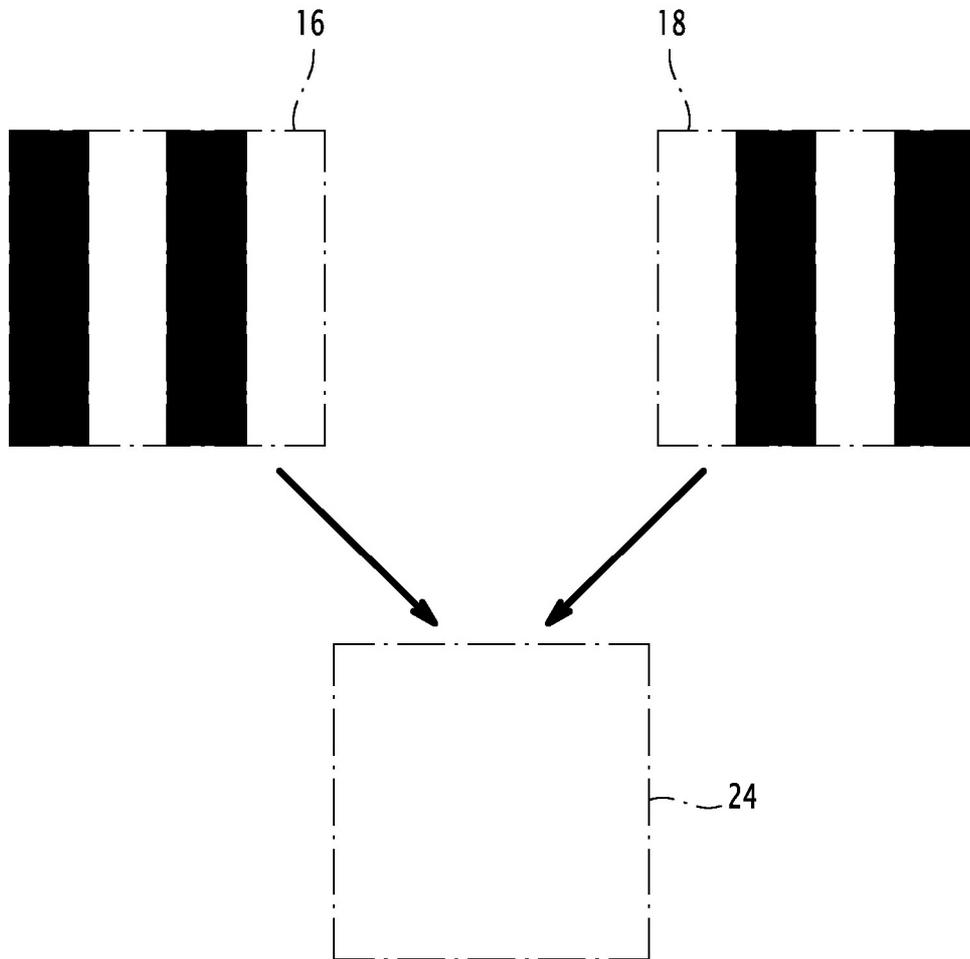


FIG.2