

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 713 857**

51 Int. Cl.:

G06T 7/246 (2007.01)

G06T 7/285 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.11.2006 PCT/US2006/060724**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.05.2007 WO07056768**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.11.2006 E 06827924 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 1952354**

54 Título: **Determinación del movimiento de una cámara**

30 Prioridad:

09.11.2005 US 270135

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

24.05.2019

73 Titular/es:

**3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY
(100.0%)
3M Center, P.O.Box 33427
St. Paul, MN 55133-3427, US**

72 Inventor/es:

**ROHALY, JANOS;
ZHANG, TONG y
WEEKS, STEVEN, V.**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 713 857 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

Determinación del movimiento de una cámara

5 **Antecedentes**

1. Campo de la invención.

10 Esta invención se refiere a la determinación del movimiento de una cámara, y más concretamente, a la determinación del movimiento de una cámara en un sistema de generación de imágenes tridimensionales.

2. Descripción de la técnica relacionada.

15 La captura de imágenes tridimensionales ofrece desde hace tiempo grandes posibilidades como técnica de adquisición de datos para una amplia gama de sistemas de modelado que incluyen sistemas de diseño asistidos por ordenador, sistemas de animación digital, sistemas de generación de imágenes médicas, diseño gráfico y sistemas de arte gráfico, y similares.

20 Una técnica general para capturar datos tridimensionales reconstruye una nube de puntos tridimensional global utilizando imágenes secuenciales desde una cámara en movimiento, lo que agrava el problema complementario de determinar el movimiento de la cámara de imagen a imagen. Un enfoque común para la recuperación del movimiento de la cámara para estas secuencias de imágenes emplea una factorización en correspondencias de puntos establecidas entre imágenes bidimensionales. Sin embargo, esta técnica es exigente desde un punto de vista computacional porque la correspondencia de puntos debe mantenerse en un número de imágenes secuenciales. Esto plantea dificultades adicionales en entornos de generación de imágenes reales en donde se pueden obstruir determinados puntos o quedar completamente fuera del plano de imagen.

30 Otra técnica general para capturar datos tridimensionales emplea un hardware de cámara que puede capturar directamente una nube de puntos tridimensional triangulando puntos correspondientes en conjuntos de imágenes bidimensionales de un dispositivo estereoscópico o de múltiples orificios. Para estas cámaras tridimensionales, el movimiento de una cámara se puede determinar utilizando el registro tridimensional de nubes de puntos tridimensionales secuenciales. Sin embargo, las técnicas de registro típicas, tales como el método de iterative closest point (punto más cercano iterativo - "ICP"), no ofrecen buenos resultados con superficies difíciles de registrar, tales como regiones planas. Además, las soluciones iterativas son, en general, poco adecuadas para aplicaciones de generación de imágenes a tiempo real debido a que requieren varios cálculos sucesivos, frecuentemente, con conjuntos de datos grandes.

35 Sigue existiendo una necesidad de una técnica sólida y eficiente para determinar el movimiento de una cámara que sea adecuada para su uso en aplicaciones tales como la captura de imágenes tridimensionales a tiempo real.

40 US-6 950 550 B1 describe una técnica de trazado del movimiento de un objeto. Una vez que se introduce una imagen estereográfica, se selecciona el punto de trazado correspondiente a la silueta de un objeto curvo observado por la imagen estereográfica sobre la base de la información sobre la posición actual del objeto, utilizando un modelo geométrico tridimensional, los puntos correspondientes en la silueta correspondientes a los respectivos puntos de trazado se muestrean de la imagen estereográfica y se miden sus coordenadas tridimensionales. Después, a partir del grupo de las coordenadas tridimensionales de los puntos de trazado y los puntos correspondientes, se determinan la posición/postura del objeto en cuestión y el error de medición.

45 US-2002/0006217 A1 describe métodos para un registro de fotogramas tridimensionales para crear modelos virtuales tridimensionales de objetos.

50 **Sumario**

Se proporcionan un método, un programa informático y un sistema como se describen en las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones.

55 El movimiento de una cámara se determina en un sistema de captura de imágenes tridimensionales utilizando una combinación de datos de imágenes bidimensionales y datos de nubes de puntos tridimensionales proporcionados por un sistema de cámara estereoscópico, de múltiples orificios o similar. Más específicamente, una transformación rígida de datos de nubes de puntos entre dos nubes de puntos tridimensionales puede parametrizarse más eficazmente utilizando una correspondencia de puntos establecida entre píxeles bidimensionales en imágenes de origen para las nubes de puntos tridimensionales.

60 En un aspecto, un método descrito en la presente memoria incluye recibir un primer conjunto de imágenes, incluyendo el primer conjunto de imágenes una primera pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una primera posición; recibir un segundo conjunto de imágenes, incluyendo el segundo conjunto de imágenes una segunda pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una segunda posición; obtener una primera nube de puntos del primer conjunto de imágenes; identificar un número de píxeles

correspondientes entre un número de píxeles de una de la primera pluralidad de vistas bidimensionales y un número de píxeles de una de la segunda pluralidad de vistas bidimensionales; obtener una segunda nube de puntos del número de píxeles correspondientes del segundo conjunto de imágenes; y determinar un movimiento desde la primera posición hasta la segunda posición utilizando la primera nube de puntos y la segunda nube de puntos.

5 Determinar el movimiento puede incluir determinar una transformación rígida desde la primera nube de puntos hasta la segunda nube de puntos. La primera nube de puntos puede obtenerse de una cantidad de píxeles del primer conjunto de imágenes usando el emparejamiento estereográfico. El movimiento puede incluir un cambio en al menos una de una posición o una orientación. La primera nube de puntos puede incluir un subconjunto de puntos del primer conjunto de imágenes. El método puede incluir, además, obtener el subconjunto de puntos de una malla dispersa de píxeles dentro del primer conjunto de imágenes. La segunda nube de puntos puede incluir un subconjunto de puntos del segundo conjunto de imágenes. Cuando el objeto fotografiado es sustancialmente mayor que el plano de imagen del primer conjunto de imágenes, el método incluye además la repetición de las etapas explicadas anteriormente del método para una pluralidad de imágenes tridimensionales consecutivas, para lo cual se construye una nube de puntos global para el objeto fotografiado. Si uno de la pluralidad de movimientos consecutivos no puede determinarse directamente de los datos de las nubes de puntos de las vistas consecutivas, el método incluye, además, recuperar el uno de la pluralidad de movimientos consecutivos a través de una transformación inversa de uno o más movimientos siguientes consecutivos para una o más nubes de puntos siguientes consecutivas. El método puede incluir complementar la primera nube de puntos con uno o más puntos adicionales del primer conjunto de imágenes que tenga uno o más puntos correspondientes adicionales en el segundo conjunto de imágenes. El método puede incluir complementar la segunda nube de puntos con uno o más puntos adicionales del segundo conjunto de imágenes que tenga uno o más puntos correspondientes adicionales en el primer conjunto de imágenes. El primer conjunto de imágenes y el segundo conjunto de imágenes pueden obtenerse de una cámara de múltiples orificios.

25 Identificar uno o más píxeles correspondientes puede incluir identificar los píxeles correspondientes entre vistas bidimensionales desde un orificio central de la cámara de múltiples orificios. El primer conjunto de imágenes y el segundo conjunto de imágenes pueden obtenerse de un sistema de cámara que incluya una pluralidad de cámaras en una relación fija entre sí.

30 El objeto fotografiado puede incluir una parte del cuerpo. La parte del cuerpo puede incluir una nariz o una oreja. El objeto fotografiado puede incluir uno o más dientes. El objeto fotografiado puede incluir un modelo de uno o más dientes. El objeto fotografiado puede incluir un modelo físico de un objeto para usar en un proceso de animación digital.

35 En otro aspecto, un programa informático descrito en la presente memoria incluye un código informático que, al ser ejecutado en un ordenador, realiza las siguientes etapas: recibir un primer conjunto de imágenes, incluyendo el primer conjunto de imágenes una primera pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una primera posición; recibir un segundo conjunto de imágenes, incluyendo el segundo conjunto de imágenes una segunda pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una segunda posición; obtener una primera nube de puntos del primer conjunto de imágenes; identificar un número de píxeles correspondientes entre un número de píxeles de una de la primera pluralidad de vistas bidimensionales y un número de píxeles de una de la segunda pluralidad de vistas bidimensionales; obtener una segunda nube de puntos del número de píxeles correspondientes del segundo conjunto de imágenes; y determinar un movimiento desde la primera posición hasta la segunda posición utilizando la primera nube de puntos y la segunda nube de puntos.

45 Determinar el movimiento puede incluir determinar una transformación rígida desde la primera nube de puntos hasta la segunda nube de puntos. La primera nube de puntos puede obtenerse de una cantidad de píxeles del primer conjunto de imágenes usando el emparejamiento estereográfico. El movimiento puede incluir un cambio en al menos una de una posición o una orientación. La primera nube de puntos puede incluir un subconjunto de puntos del primer conjunto de imágenes. El código informático puede incluir, además, un código para obtener el subconjunto de puntos de una malla dispersa de píxeles dentro del primer conjunto de imágenes. La segunda nube de puntos puede incluir un subconjunto de puntos del segundo conjunto de imágenes. Cuando el objeto fotografiado es sustancialmente mayor que el plano de imagen del primer conjunto de imágenes, el código informático incluye, además, la repetición de una pluralidad de imágenes tridimensionales consecutivas, para lo cual se construye una nube de puntos global para el objeto fotografiado. Si uno de la pluralidad de movimientos consecutivos no puede determinarse directamente de los datos de las nubes de puntos de las vistas consecutivas, el código informático incluye, además, un código para recuperar el uno de la pluralidad de movimientos consecutivos a través de una transformación inversa de uno o más movimientos siguientes consecutivos para una o más nubes de puntos siguientes consecutivas. El código informático puede incluir un código para complementar la primera nube de puntos con uno o más puntos adicionales del primer conjunto de imágenes que tenga uno o más puntos correspondientes adicionales en el segundo conjunto de imágenes. El código informático puede incluir un código para complementar la segunda nube de puntos con uno o más puntos adicionales del segundo conjunto de imágenes que tenga uno o más puntos correspondientes adicionales en el primer conjunto de imágenes. El primer conjunto de imágenes y el segundo conjunto de imágenes pueden obtenerse de una cámara de múltiples orificios.

65 Identificar uno o más píxeles correspondientes puede incluir identificar los píxeles correspondientes entre vistas bidimensionales desde un orificio central de la cámara de múltiples orificios. El primer conjunto de imágenes y el

segundo conjunto de imágenes pueden obtenerse de un sistema de cámara que incluya una pluralidad de cámaras en una relación fija entre sí.

5 El objeto fotografiado puede incluir una parte del cuerpo. La parte del cuerpo puede incluir una nariz o una oreja. El objeto fotografiado puede incluir uno o más dientes. El objeto fotografiado puede incluir un modelo de uno o más dientes. El objeto fotografiado puede incluir un modelo físico de un objeto para usar en un proceso de animación digital.

10 En otro aspecto, un sistema descrito en la presente memoria puede incluir una cámara y un procesador. La cámara puede configurarse para capturar un primer conjunto de imágenes que incluya una primera pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una primera posición y un segundo conjunto de imágenes que incluya una segunda pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una segunda posición. El procesador puede estar acoplado comunicado con la cámara; el procesador se configura para obtener una primera nube de puntos del primer conjunto de imágenes; identificar un número de píxeles correspondientes entre un número de píxeles de una de la primera pluralidad de vistas bidimensionales y un número de píxeles de una de la segunda pluralidad de vistas bidimensionales; y obtener una segunda nube de puntos del número de píxeles correspondientes del segundo conjunto de imágenes, configurado el procesador además para determinar un movimiento desde la primera posición hasta la segunda posición usando la primera nube de puntos y la segunda nube de puntos.

20 Determinar el movimiento puede incluir determinar una transformación rígida desde la primera nube de puntos hasta la segunda nube de puntos. La primera nube de puntos puede obtenerse de una cantidad de píxeles del primer conjunto de imágenes usando el emparejamiento estereográfico. El movimiento puede incluir un cambio en al menos una de una posición o una orientación. El primer punto puede incluir un subconjunto de puntos del primer conjunto de imágenes. El procesador puede configurarse para obtener el subconjunto de puntos de una malla dispersa de píxeles dentro del primer conjunto de imágenes. La segunda nube de puntos puede incluir un subconjunto de puntos del segundo conjunto de imágenes. Cuando el objeto fotografiado es sustancialmente mayor que un plano de imagen del primer conjunto de imágenes, el procesador se configura para obtener una pluralidad de nubes de puntos adicionales y determinar una pluralidad de movimientos consecutivos a partir de estas, para lo cual se construye una nube de puntos global para el objeto fotografiado. Si uno de la pluralidad de movimientos consecutivos no puede determinarse directamente de los datos de las nubes de puntos de las vistas consecutivas, el procesador recupera el uno de la pluralidad de movimientos consecutivos a través de una transformación inversa de uno o más movimientos siguientes consecutivos para una o más nubes de puntos siguientes consecutivas. El procesador puede configurarse para complementar la primera nube de puntos con uno o más puntos adicionales del primer conjunto de imágenes que tenga uno o más puntos correspondientes adicionales en el segundo conjunto de imágenes. El procesador puede configurarse para complementar la segunda nube de puntos con uno o más puntos adicionales del segundo conjunto de imágenes que tenga uno o más puntos correspondientes adicionales en el primer conjunto de imágenes.

35 La cámara puede ser una cámara de múltiples orificios. Identificar uno o más píxeles correspondientes puede incluir identificar los píxeles correspondientes entre vistas bidimensionales desde un orificio central de la cámara de múltiples orificios. La cámara puede incluir una pluralidad de cámaras en una relación fija entre sí.

40 El objeto fotografiado puede incluir una parte del cuerpo. La parte del cuerpo puede incluir una nariz o una oreja. El objeto fotografiado puede incluir uno o más dientes. El objeto fotografiado puede incluir un modelo de uno o más dientes. El objeto fotografiado puede incluir un modelo físico de un objeto para usar en un proceso de animación digital.

45 En otro aspecto, un método descrito en la presente memoria incluye determinar un movimiento de una cámara desde una primera posición hasta una segunda posición usando una transformación rígida de una nube de puntos desde la primera posición a una nube de puntos desde la segunda posición, comprendiendo la nube de puntos desde la segunda posición puntos seleccionados utilizando una correspondencia de datos de imágenes bidimensionales desde la primera posición y la segunda posición.

50 En otro aspecto, un sistema descrito en la presente memoria incluye primeros medios receptores para recibir un primer conjunto de imágenes, incluyendo el primer conjunto de imágenes una primera pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una primera posición; segundos medios receptores para recibir un segundo conjunto de imágenes, incluyendo el segundo conjunto de imágenes una segunda pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una segunda posición; medios de obtención para obtener una primera nube de puntos del primer conjunto de imágenes; primeros medios identificadores para identificar un número de píxeles correspondientes entre un número de píxeles de una de la primera pluralidad de vistas bidimensionales y un número de píxeles de una de la segunda pluralidad de vistas bidimensionales; segundos medios de obtención para obtener una segunda nube de puntos del número de píxeles correspondientes del segundo conjunto de imágenes; y medios de determinación del movimiento para determinar un movimiento desde la primera posición hasta la segunda posición utilizando la primera nube de puntos y la segunda nube de puntos.

60 Se deducirán otras características de la invención, su naturaleza y varias ventajas a partir de los dibujos adjuntos y la siguiente descripción detallada de determinadas realizaciones preferidas.

65

Breve descripción de las figuras

La invención y la siguiente descripción detallada de algunas de sus realizaciones pueden entenderse con referencia a las siguientes figuras.

5

La Fig. 1 muestra un sistema de captura de imágenes.

La Fig. 2 ilustra una secuencia de imágenes capturadas desde una cámara en movimiento.

10

Las Figs. 3A y 3B muestran un diagrama de flujo de un proceso para determinar el movimiento de la cámara.

La Fig. 4 ilustra un mecanismo de recuperación de fallos.

15

La Fig. 5 ilustra una técnica de registro mejorada.

Descripción detallada

A continuación se describe una técnica para reconstruir una nube de puntos tridimensional global mediante el uso de determinaciones de movimiento de una cámara para una serie de imágenes de un sistema de cámara estereoscópico o de múltiples orificios. Sin embargo, se apreciará que los conceptos inventivos descritos en la presente memoria no se limitan a tales aplicaciones y puede emplearse de forma útil en cualquier sistema de formación de imágenes, para luz visible u otras, en el que se disponga de datos de imágenes bidimensionales y tridimensionales para usarlos en una reconstrucción. Por lo tanto, estas técnicas pueden emplearse, por ejemplo, con un sistema fotográfico en movimiento con varias cámaras, un microscopio estereoscópico o cualquier otro sistema de formación de imágenes donde se puedan obtener datos tridimensionales derivadas de imágenes bidimensionales. Asimismo, aunque la siguiente explicación se centra en una cámara que se mueve con respecto a un objeto para obtener sus imágenes, las técnicas descritas en la presente memoria son igualmente aplicables a una cámara fija que capture imágenes secuenciales de uno o más objetos en movimiento. En estos usos, el problema analítico se puede establecer con mayor precisión como la determinación del movimiento del objeto por medio de una cámara fija, aunque tales usos son conceptualmente similares, si no idénticos. En términos más generales, tanto la cámara como el objeto fotografiado pueden moverse con relación a un armazón externo de referencia, sin cambiar el problema de determinar el movimiento relativo entre la cámara y el objeto fotografiado y la aplicabilidad de las técnicas descritas en la presente memoria. Un experto en la técnica deduciría todas estas variaciones y realizaciones alternativas que están previstas para el experto en la técnica en el alcance de esta descripción.

En la siguiente descripción, el término “imagen” generalmente se refiere a un conjunto bidimensional de píxeles que forman una vista bidimensional de un objeto fotografiado dentro de un plano de imagen. El término “nube de puntos” se refiere, generalmente, a un conjunto tridimensional de puntos que forman una vista tridimensional del objeto fotografiado reconstruido a partir de varias vistas bidimensionales. En un sistema de captura de imágenes tridimensionales también se pueden registrar y combinar varias de estas nubes de puntos en una nube de puntos global construida a partir de imágenes capturadas por una cámara en movimiento. Por lo tanto, se entenderá que los píxeles se refieren, en general, a datos bidimensionales y los puntos se refieren, en general, a datos tridimensionales, a menos que se indique específicamente otro significado o sea obvio por el contexto.

La Fig. 1 muestra un sistema de captura de imágenes. En general, el sistema 100 puede incluir una cámara 102 que captura imágenes de un objeto fotografiado 104 dentro de un plano 106 de imagen y envía las imágenes a un ordenador 108.

La cámara 102 puede ser cualquier cámara o sistema de cámara adecuado para capturar imágenes de las que pueda recuperarse una nube de puntos tridimensional. Por ejemplo, la cámara 102 puede emplear un sistema de múltiples orificios como se describe, por ejemplo, en la patente US- 20040155975 a nombre de Hart y col., cuyo contenido íntegro se incorpora como referencia en la presente memoria. Si bien Hart describe un sistema de múltiples orificios, se apreciará que puede emplearse de manera similar cualquier sistema de múltiples orificios adecuado para reconstruir una nube de puntos tridimensionales de varias imágenes bidimensionales. En una realización de múltiples orificios, la cámara 102 puede incluir una pluralidad de orificios que incluyen un orificio central situado a lo largo de un eje óptico central de una lente y cualquier hardware de formación de imágenes asociado. La cámara 102 también puede incluir, de forma adicional o alternativa, una configuración estereoscópica u otra configuración de varias cámaras en la que un número de cámaras se mantengan en una relación fija entre sí para obtener imágenes bidimensionales de un objeto desde varias perspectivas ligeramente diferentes. La cámara 102 puede incluir un procesamiento adecuado para obtener una nube de puntos tridimensionales de las imágenes de la cámara de múltiples orificios o de varias cámaras o las imágenes bidimensionales pueden transmitirse a un procesador externo tal como el procesador 108 descrito a continuación.

Aunque no se muestra en la Fig.1, se apreciará que puede emplearse de forma útil una cantidad de sistemas de iluminación complementarios durante la captura de imágenes. Por ejemplo, se puede mejorar la iluminación ambiental con uno o más focos que iluminen el objeto fotografiado 104 para acelerar la captación de imágenes y mejorar la

65

profundidad de campo. La cámara 102 puede, de forma adicional o alternativa, incluir una luz estroboscópica, flash u otra fuente de luz para complementar la iluminación del objeto fotografiado 104 durante la captación de imágenes.

5 El objeto fotografiado 104 puede ser cualquier objeto, colección de objetos, parte de un objeto u otro objeto. Por ejemplo, en una aplicación de formación de imágenes dentales, el objeto fotografiado 104 puede incluir un diente, un cuadrante de los dientes o una colección completa de dientes de los que se desee una impresión dental virtual. Por el contrario, el objeto fotografiado 104 puede incluir una prótesis dental, tal como una funda, una corona, o cualquier otra parte de un diente, para probar si encaja dentro de una impresión dental virtual capturada previamente. El objeto fotografiado 104 puede incluir un modelo dental, tales como un vaciado en yeso, cera, una impresión o una impresión negativa de un diente, 10 dientes, tejido blando, o alguna combinación de estos. En algunos casos, puede aplicarse un agente de texturización sobre las superficies del objeto fotografiado 104 para mejorar la captura de puntos tridimensionales. En otras realizaciones, el objeto fotografiado 104 puede ser una cabeza humana, o una parte de esta, de la que se desee un modelo tridimensional para un ajuste personalizado de una prótesis auditiva, gafas de vista, gafas de protección o similar. En otras realizaciones, el objeto fotografiado 104 puede ser un modelo físico de un objeto para usar en la animación digital, tal como un modelo físico en miniatura para usar en un proceso de animación digital tridimensional. De los ejemplos anteriores, resultará evidente que un sistema que use las técnicas descritas en la presente memoria puede adaptarse de forma conveniente a una amplia gama de aplicaciones para la captación de imágenes tridimensionales de alta resolución y relativamente poco alcance. Sin embargo, el experto en la técnica apreciará que se pueden realizar adaptaciones adecuadas a la cámara 102 para una variedad de otras aplicaciones de formación de imágenes tridimensionales basadas en sistemas de múltiples orificios o múltiples cámaras, y todas estas variaciones están previstas en el alcance de esta descripción.

El plano 106 de imagen puede incluir un campo de visión bidimensional de la cámara 102. Aunque se ilustra como un rectángulo, se apreciará que el plano 106 de imagen puede, por ejemplo, formar un cuadrado, un círculo o cualquier otra geometría proporcionada por la cámara 102. En general, la cámara 102 tendrá una profundidad de campo de captación de imágenes dentro del plano 106 de imagen determinada por la estructura física de la cámara 102 y las condiciones ambientales, tales como la luz ambiente.

El ordenador 108 puede ser, por ejemplo, un ordenador personal u otro dispositivo de procesamiento. En una realización, el ordenador 108 incluye un ordenador personal con un procesador central dual Opteron de 2,8 GHz, 2 gigabytes de memoria de acceso aleatorio, una placa base TYAN Thunder K8WE y un disco duro de 250 gigabytes y 10.000 rpm. Este sistema puede operarse para capturar aproximadamente 1500 puntos por conjunto de imágenes en tiempo real utilizando las técnicas descritas en la presente memoria y almacenar una nube de puntos global de más de un millón de puntos. Más generalmente, las capacidades de procesamiento del ordenador 108 pueden variar según el tamaño del objeto fotografiado 104, la velocidad de captación de imágenes y la resolución espacial deseada de los puntos tridimensionales. El ordenador 108 también puede incluir dispositivos periféricos tales como un teclado, un monitor y un ratón para la interacción del usuario con el sistema 100 de cámara.

Las comunicaciones entre el ordenador 108 y la cámara 102 pueden usar cualquier enlace de comunicaciones adecuado incluidos, por ejemplo, una conexión por cable o una conexión inalámbrica basada, por ejemplo, en el estándar IEEE 802,11 (también conocido como Ethernet inalámbrica), BlueTooth, o cualquier otro estándar inalámbrico que use, p. ej., radiofrecuencia, infrarrojos u otro medio de comunicación inalámbrica. En la formación de imágenes médicas u otras aplicaciones sensibles, puede protegerse la transmisión inalámbrica de imágenes de la cámara 102 al ordenador 108. El ordenador 108 puede generar señales de control a la cámara 102 que, además de las órdenes de captación de imágenes, puede incluir controles convencionales de una cámara, tal como enfoque o zoom.

La Fig. 2 ilustra una secuencia de imágenes capturadas desde una cámara en movimiento. En la secuencia 200, una cámara 202 que puede incluir, por ejemplo, cualquiera de las cámaras 102 descritas anteriormente, puede capturar una imagen de un objeto fotografiado 204, que puede ser, por ejemplo, cualquiera de los objetos fotografiados 104 descritos anteriormente, desde varias posiciones diferentes 206a-206e. Aunque en la secuencia 200 de la Fig. 2 se muestran cinco posiciones de la cámara, se apreciará que se pueden usar más o menos posiciones de la cámara coherentes con los principios descritos en la presente memoria. En cada posición 206, la cámara 202 captura un conjunto de imágenes:

$$IS_n \{ \mathbf{x}_i = (x_i, y_i)^T \mid i = 1, \Lambda, N_n \} \quad [\text{Ec. 1}]$$

55 de dos imágenes bidimensionales de las cuales una nube de puntos:

$$PC_n \{ \mathbf{X}_i = (X_i, Y_i, Z_i)^T \mid i = 1, \Lambda, N_n \} \quad [\text{Ec. 2}]$$

se puede calcular. En general, las nubes de puntos tridimensionales capturadas a partir de la secuencia 200 pueden combinarse en una nube de puntos global utilizando las técnicas descritas a continuación. También debería entenderse que, en algunas realizaciones, la cámara puede permanecer fija cuando el objeto fotografiado se mueve. En tales casos, se determina el movimiento del objeto fotografiado en vez del movimiento de la cámara 202.

Las Figs. 3A y 3B muestran un diagrama de flujo de un proceso para determinar el movimiento de la cámara. El proceso 300 puede utilizarse con los sistemas de cámara descritos de forma general anteriormente.

El proceso 300 puede comenzar 302 al recibir un primer conjunto de imágenes (IS_1) desde una cámara en una primera posición 304. El término posición, tal como se utiliza en la presente memoria, incluye las coordenadas tridimensionales así como la orientación rotatoria de una cámara. Es obvio que la "posición" a partir de la cual la cámara captura un primer conjunto de imágenes en una secuencia es algo arbitraria, por lo que se puede asignar cualquier valor conveniente a la primera posición con respecto a, por ejemplo, la segunda posición captada más tarde, el objeto fotografiado del que se estén formando imágenes, o algún otro punto de referencia, o la primera posición puede estar en el origen con rotación cero en todos los ejes.

Como se muestra en la etapa 306, la cámara puede recibir después un segundo conjunto de imágenes (IS_2) desde una segunda posición. La cámara puede moverse desde la primera posición hasta la segunda posición mediante cualquier procedimiento automático, semiautomático o manual. Por ejemplo, la cámara puede ser un dispositivo de formación de imágenes manual que se mueva a mano a lo largo y/o alrededor de un objeto fotografiado mientras se capturan conjuntos de imágenes. La captura de imágenes se puede activar, por ejemplo, a intervalos regulares, a intervalos irregulares (tal como al completar el procesamiento de un conjunto de imágenes anterior), o a intervalos activados manualmente o usando algún otro mecanismo de activación.

Como se muestra en la etapa 308, se puede calcular una primera nube de puntos (PC_1) a partir del conjunto de imágenes (IS_1). Se pueden utilizar varias técnicas para calcular los valores de los puntos tridimensionales a partir del conjunto de imágenes. Por ejemplo, las técnicas de emparejamiento estereoscópico incluyen las medidas probabilísticas de similitud de imagen, tal como información mutua o correlación de intensidades de píxeles. Otros tipos de obtenciones adecuadas incluyen, por ejemplo, flujo óptico utilizando gradientes espaciales y/o temporales. Como se mencionó anteriormente, en una configuración de cámara estereoscópica, el conjunto de imágenes incluye, de forma típica, dos imágenes. Sin embargo, se pueden incluir tres o más imágenes en un conjunto de imágenes usando una configuración de cámara de múltiples orificios, tal como una cámara de tres o cuatro orificios, o sistemas de cámara similares. También debe apreciarse que la primera nube de puntos no necesita incluir todos o incluso la mayoría de los puntos que podrían recuperarse del conjunto de imágenes. La nube de puntos puede, por ejemplo, calcularse a partir de una malla dispersa del conjunto de imágenes (con relación a la densidad de píxeles del conjunto de imágenes original). Esta disposición puede ser especialmente adecuada para acelerar el procesamiento en aplicaciones de formación de imágenes en tiempo real. La malla dispersa se puede obtener de cualquier subconjunto de píxeles en el conjunto de imágenes. Las cuadrículas rectangulares regulares, por ejemplo, son especialmente adecuadas para los métodos jerárquicos que utilizan submuestreo de imágenes. Sin embargo, se pueden usar otras mallas, tales como triangular, cuadrada o similares, para seleccionar píxeles separados de forma regular o irregular en el conjunto de imágenes para la obtención de una nube de puntos.

Como se muestra en la etapa 310, a continuación se puede establecer la correspondencia entre píxeles del primer conjunto de imágenes (IS_1) y píxeles del segundo conjunto de imágenes (IS_2). Para reducir la complejidad del cálculo, se puede establecer la correspondencia de forma ventajosa para un subconjunto de píxeles, que puede ser más específicamente el subconjunto o malla de píxeles descritos anteriormente. La correspondencia puede establecerse usando, por ejemplo, un emparejamiento de imágenes basado en la correlación. También se conocen otras técnicas, tales como el flujo óptico, y pueden emplearse adecuadamente, sobre todo cuando el movimiento relativo entre imágenes consecutivas es pequeño. En una realización que utiliza una cámara de múltiples orificios que incluye un orificio centrado en el eje óptico de la cámara, puede utilizarse la imagen alineada con el eje de cada conjunto de imágenes para la correspondencia.

Cuando los datos de la fuente son adecuadamente densos, la correspondencia pueden asumirse de manera fiable para puntos seleccionados utilizando, por ejemplo, las mallas indicadas anteriormente. Sin embargo, se apreciará que pueden eliminarse puntos de la primera nube de puntos (PC_1) cuando no se pueda establecer ninguna correspondencia o existan otras razones cuantitativas, cualitativas o normalizadas para dudar de la exactitud o el valor de tales puntos. Más generalmente, se pueden realizar muchas variaciones y modificaciones a la generación de la nube de puntos, ya sea mediante el procesamiento de datos de píxeles bidimensionales o la selección de puntos tridimensionales obtenidos de aquellos, sin apartarse del alcance de esta descripción.

Como se muestra en la etapa 312, se puede obtener una segunda nube de puntos (PC_2) de píxeles del segundo conjunto de imágenes (IS_2), generalmente utilizando las técnicas anteriormente descritas con referencia a la etapa 308. Se observará que la nube de puntos puede obtenerse solo para un subconjunto de píxeles del segundo conjunto de imágenes que tenga píxeles correspondientes en el primer conjunto de imágenes, es decir, un subconjunto de píxeles para el cual haya puntos correspondientes en la primera nube de puntos. Esta técnica permite, de forma ventajosa, procesos posteriores de registro o transformación que se deben realizar en puntos de datos comunes entre fotogramas para nubes de puntos tridimensionales consecutivas. En otras realizaciones, se puede obtener una nube de puntos completa (p. ej., una nube de puntos que incluya puntos adicionales que no tengan píxeles correspondientes) de los datos de la cámara en la segunda posición o, expresado de manera diferente, la segunda nube de puntos puede obtenerse independientemente de la(s) etapa(s) de correspondencia indicada(s) anteriormente. Esto puede incluir, por ejemplo, la recuperación de todos los píxeles en el segundo conjunto de imágenes independientemente de la correspondencia entre el primer y el segundo

conjunto de imágenes, lo que puede, por ejemplo, permitir la generación paralela de la primera y segunda nubes de puntos. En dichas realizaciones, una segunda nube de puntos (PC_2) usada para el procesamiento posterior puede seleccionarse de la nube de puntos completa basándose en la correspondencia de los píxeles descrita anteriormente.

5 Como se muestra en la etapa 316, se puede determinar un movimiento desde la primera posición de la cámara hasta la segunda posición de la cámara. Como con otras etapas descritas en la presente memoria, se pueden emplear varias técnicas. En una realización, se puede calcular una transformación rígida que incluya una matriz (\mathbf{R}) de rotación tridimensional y un vector (\mathbf{t}) de traslación tridimensional para N puntos correspondientes de la primera y la segunda nube de puntos minimizando los errores residuales de ajuste, como se caracterizada por la ecuación:

10

$$\arg \min_{\mathbf{R}, \mathbf{t}} \sum_{i=1}^N \|\mathbf{R}\mathbf{X}_i + \mathbf{t} - \mathbf{X}_i'\|^2 \quad [\text{Ec. 3}]$$

De forma alternativa, cuando se pueda obtener una medida de confianza para cada punto correspondiente, se puede emplear una formulación ponderada para la transformación rígida, donde cada punto, i , se pondera de forma separada con un factor de ponderación, w_i .

15

$$\arg \min_{\mathbf{R}, \mathbf{t}} \sum_{i=1}^N \|w_i (\mathbf{R}\mathbf{X}_i + \mathbf{t} - \mathbf{X}_i')\|^2 \quad [\text{Ec. 4}]$$

La expresión en la Ec. 3 o Ec. 4 tiene una solución de forma cerrada usando, por ejemplo, una descomposición de valores singular (tal como se describe en K. S. Arun, T. S. Huang y S. D. Blostein, Least-squares fitting of two 3-D point sets, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 9, 5ª edición, págs. 698 – 700, 1987) incorporado en su totalidad como referencia en la presente memoria) o una descomposición de valor propio-vector propio (como se describe en Berthold K. P. Horn, Hugh M. Hilden, y Shahriar Negahdaripour, Closed-form solution of absolute orientation using orthonormal matrices. Journal of the Optical Society of America, 5(7):1127–1135, 1988, incorporado en su totalidad como referencia en la presente memoria). Más generalmente, la transformación rígida puede basarse en la minimización de una función de error, tal como un ajuste del error cuadrático medio mínimo o un ajuste del error cuadrático medio mínimo robusto de los datos de nube de puntos para dos nubes de puntos. El movimiento de la cámara desde la primera posición hasta la segunda posición es la inversa de esta transformación. Se apreciará que, en general, se requieren múltiples puntos para obtener la transformación rígida mencionada anteriormente y, más especialmente, al menos tres puntos no colineales. Como una ventaja significativa, este enfoque permite el cálculo de una transformación rígida usando puntos que se sabe que están presentes en ambas nubes de puntos.

20

25

30

Como se muestra en la etapa 318, se puede determinar si se deben capturar conjuntos de imágenes adicionales para, p. ej., PC_3, PC_4, \dots . Esta determinación puede controlarse, por ejemplo, por la entrada del usuario al ordenador descrita anteriormente, tal como la selección de un botón de “captación final” o similar, o puede controlarse automáticamente según, p. ej., los límites de la capacidad de memoria, una duración de grabación predeterminada o cualquier otro criterio adecuado. Si no hay que captar conjuntos de imágenes adicionales, el proceso 300 puede terminar 320.

35

Si se van a captar más conjuntos de imágenes, el proceso 300 puede pasar a la etapa 322 donde se puede recibir un conjunto de imágenes siguiente desde una posición siguiente, como se ha descrito, en general, anteriormente. Como se muestra en la etapa 324, las correspondencias de los píxeles puede establecerse entre los conjuntos de imágenes actuales y anteriores, de nuevo como se ha descrito, en general, anteriormente. Como se muestra en la etapa 326, se puede obtener una nube de puntos para el siguiente conjunto de imágenes usando las correspondencias establecidas en la etapa 324, de nuevo como se ha descrito, en general, anteriormente. Como se muestra en la etapa 328, el movimiento entre posiciones consecutivas puede determinarse utilizando datos de nubes de puntos de posiciones consecutivas, de nuevo como se ha descrito anteriormente.

40

45

Como se muestra en la etapa 330, se puede determinar si se deben capturar conjuntos de imágenes adicionales para, p. ej., nubes de puntos adicionales. Esta determinación puede controlarse, por ejemplo, por la entrada del usuario al ordenador descrita anteriormente, tal como la selección de un botón de “captación final” o similar, o puede controlarse automáticamente según, p. ej., los límites de la capacidad de memoria, una duración de grabación predeterminada o cualquier otro criterio adecuado. Si se van a captar conjuntos de imágenes adicionales, el proceso 300 puede volver a la etapa 322, en donde puede capturarse un conjunto de imágenes siguientes consecutivas, y así sucesivamente. Por consiguiente el proceso puede repetirse para cualquier número de conjuntos de imágenes consecutivas, en función de las limitaciones de procesamiento y almacenamiento del equipo y la cámara.

50

55

Si no hay que captar conjuntos de imágenes adicionales, el proceso 300 puede pasar al final 332. Toda la secuencia de imágenes y/o trayectoria de la cámara se puede almacenar en el ordenador u otro dispositivo de almacenamiento adecuado, tal como almacenamiento vinculado a una red, dispositivo de almacenamiento masivo externo o similar. Además, se puede formar una nube de puntos global concatenando datos de pares de conjuntos de imágenes

60

secuenciales, y la nube de puntos global puede almacenarse además o en lugar de la trayectoria de la cámara, el conjunto de imágenes y o los datos de nubes de puntos para los datos de varias posiciones de la cámara.

Se apreciará que las etapas anteriores pueden variarse, por ejemplo, utilizando técnicas de flujo óptico para determinar la correspondencia entre los píxeles en conjuntos de imágenes adyacentes, y que el orden de las etapas puede cambiarse, tal como obteniendo la primera nube de puntos antes de adquirir el segundo conjunto de imágenes. De forma adicional, se pueden añadir u omitir algunas etapas o se pueden combinar múltiples etapas. De manera similar, en algunos entornos informáticos, algunas etapas pueden realizarse en paralelo o algunas etapas pueden distribuirse entre más de un proceso o procesador. Asimismo, como se ha indicado anteriormente, en algunas realizaciones la cámara puede permanecer en una posición fija y se puede determinar el movimiento de uno o más objetos fotografiados que se mueven dentro del plano de imagen.

En otras realizaciones, se puede obtener una primera nube de puntos y una segunda nube de puntos del primer y segundo conjunto de imágenes antes de cualquier procesamiento entre fotogramas. También se pueden obtener ventajas de procesamiento significativas realizando etapas de cálculo de registro o transformación posteriores en un subconjunto de puntos correspondientes, determinado utilizando, por ejemplo, las mallas descritas anteriormente, junto con un análisis de datos de píxeles bidimensionales de los que se obtienen las nubes de puntos. Por lo tanto, en una realización, un método descrito en la presente memoria puede incluir obtener una primera nube de puntos de un primer conjunto de imágenes, obtener una segunda nube de puntos de un segundo conjunto de imágenes e identificar un número de puntos correspondientes entre la primera nube de puntos y la segunda la nube de puntos empleando datos bidimensionales del primer y segundo conjunto de imágenes. El procesamiento posterior, tal como calcular una transformación rígida, obtener de esta el movimiento de la cámara, o registrar las nubes de puntos entre sí, puede realizarse en los puntos correspondientes. En diversas aplicaciones, las nubes de puntos pueden recortarse explícitamente para que contengan solamente los puntos correspondientes, o se pueden llevar a cabo las etapas de procesamiento posteriores para un subconjunto identificado de puntos dentro de la(s) nube(s) de puntos. Por lo tanto, se apreciará que el procesamiento de puntos correspondientes en un número de nubes de puntos se puede abordar mecánicamente de varias maneras.

En otras realizaciones, la correspondencia entre los píxeles en datos de imágenes bidimensionales puede determinarse antes de la generación de cualquier dato de nube de puntos para cada lugar de la cámara.

Un experto en la técnica reconocería todas estas variaciones congruentes con las reivindicaciones que siguen a esta descripción y que están previstas en el alcance de esta descripción.

Se apreciará que el proceso anterior se puede realizar en el hardware, software o cualquier combinación de estos adecuada para las técnicas de formación de imágenes tridimensionales descritas en la presente memoria. El proceso puede realizarse en uno o más microprocesadores, microcontroladores, microcontroladores integrados, procesadores de señales digitales programables u otro dispositivo programable, junto con memoria interna y/o externa. El proceso puede, de forma adicional o alternativa, incluir un circuito integrado específico de una aplicación, una matriz de puertas programable, una lógica de matrices programables, o cualquier otro dispositivo que pueda configurarse para procesar señales electrónicas. Se apreciará además que el proceso puede realizarse como código ejecutable por ordenador creado usando un lenguaje de programación estructurado como C, un lenguaje de programación orientado a un objeto como C++, o cualquier otro lenguaje de programación de nivel superior o nivel inferior (incluidos los lenguajes ensambladores, lenguajes de descripción del hardware y lenguajes y tecnologías de programación de bases de datos) que pueden almacenarse, compilarse o interpretarse para que se ejecute uno de los dispositivos antes mencionados, así como combinaciones heterogéneas de procesadores, arquitecturas de procesadores o combinaciones de diferentes hardwares y softwares. Al mismo tiempo, el procesamiento puede distribuirse a través de la cámara y/o el ordenador de varias maneras, o se puede integrar toda la funcionalidad en un dispositivo de captura de imágenes independiente dedicado. Todas estas permutaciones y combinaciones están previstas en el alcance de la presente descripción.

El método descrito anteriormente puede complementarse con técnicas o etapas de procesamiento adicionales, tales como el mecanismo de recuperación de fallos y las técnicas de transformación directa e inversa descritas a continuación.

La Fig. 4 ilustra un mecanismo de recuperación de fallos. En una serie de imágenes consecutivas, 402, 404, 406 que representan nubes de puntos de un número de posiciones de cámara, cada nube de puntos puede estar relacionada con su nube de puntos secuencial adyacente mediante una transformación directa, T_1 , T_2 . A veces, puede ser que una transformación directa no recupere con exactitud el movimiento de la cámara para nubes de puntos correspondientes. Por lo tanto, en el ejemplo de la Fig. 4, la segunda transformación T_2 puede no recuperar el movimiento de la cámara desde la segunda imagen consecutiva 404 hasta la tercera imagen consecutiva 406. En tales casos, el movimiento de la cámara entre fotogramas adyacentes puede recuperarse siempre que se pueda obtener una tercera transformación rígida T_3 de la primera posición de la cámara hasta la tercera posición de la cámara. En tales casos, la primera transformación directa puede calcularse como el producto interno de la inversa de la primera transformación directa T_1 y la tercera transformación T_3 :

$$T_2 = T_1^{-1} \cdot T_3 \quad [\text{Ec. 5}]$$

5 En una aplicación más general de este enfoque de recuperación de errores se pueden reducir los fotogramas, por ejemplo, para aumentar la velocidad de procesamiento, sin pérdida de datos del movimiento de la cámara o de las nubes de puntos, siempre que se puedan calcular las transformaciones rígidas para extender las imágenes reducidas. Por lo tanto, en una realización, la velocidad de procesamiento puede mejorarse reduciendo los fotogramas en cualquier proporción adecuada que continúe permitiendo la recuperación del movimiento de la cámara a través del resto de fotogramas.

10 La Fig. 5 ilustra una técnica de registro mejorada. En esta técnica, las nubes de puntos, PC_1 y PC_2 , pueden complementarse tras el registro con puntos correspondientes adicionales de los conjuntos de imágenes. Es decir, una vez que una transformación rígida está caracterizada entre puntos correspondientes (indicados como "x" en la Fig. 5) en las nubes 502, 504 de puntos, los puntos correspondientes adicionales (indicados como "o" en la Fig. 5) pueden recuperarse con relativamente poco cálculo. Como se muestra en la Fig. 5, los puntos correspondientes, x, entre la primera nube de puntos y la segunda nube de puntos pueden relacionarse a través de una transformación 506, T, r . Además de confirmar el registro a través de una transformación inversa 510, los puntos correspondientes adicionales, o, pueden recuperarse en la operación inversa y pueden usarse para complementar las nubes de puntos.

15 Si bien la invención se ha descrito en relación con ciertas realizaciones preferidas, el experto en la técnica reconocerá otras realizaciones y todas estas variaciones, modificaciones y sustituciones están previstas en el alcance de esta descripción. Por lo tanto, la invención se entenderá con referencia a las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES:

1. Un método que comprende:

5 recibir un primer conjunto de imágenes, incluyendo el primer conjunto de imágenes una primera pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una primera posición; recibir un segundo conjunto de imágenes, incluyendo el segundo conjunto de imágenes una segunda pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una segunda posición;
 10 obtener una primera nube de puntos del primer conjunto de imágenes; identificar un número de píxeles correspondientes entre un número de píxeles de una de la primera pluralidad de vistas bidimensionales y un número de píxeles de una de la segunda pluralidad de vistas bidimensionales;
 15 obtener una segunda nube de puntos del número de píxeles correspondientes del segundo conjunto de imágenes; y determinar un movimiento desde la primera posición hasta la segunda posición utilizando la primera nube de puntos y la segunda nube de puntos,

20 en donde, cuando el objeto fotografiado es sustancialmente mayor que un plano de imagen del primer conjunto de imágenes, el método además comprende la repetición de las etapas anteriores para una pluralidad de conjuntos de imágenes consecutivas, para lo cual se construye una nube de puntos global para el objeto fotografiado, y en donde, cuando uno de una pluralidad de movimientos consecutivos no puede determinarse directamente de los datos de las nubes de puntos de las vistas consecutivas, el método además comprende recuperar el uno de la pluralidad de movimientos consecutivos a través de una transformación inversa de uno o más movimientos siguientes consecutivos para una o más nubes de puntos siguientes consecutivas.

2. El método de la reivindicación 1 en donde determinar el movimiento incluye la ponderación de uno o más puntos de las nubes de puntos según la confianza.

3. El método de la reivindicación 1 en donde la primera nube de puntos incluye un subconjunto de puntos reconstruidos a partir del primer conjunto de imágenes, comprendiendo además el método obtener el subconjunto de puntos de una malla dispersa de píxeles dentro del primer conjunto de imágenes.

4. El método de la reivindicación 1 que además comprende complementar la primera nube de puntos con uno o más puntos adicionales del primer conjunto de imágenes que tenga uno o más puntos correspondientes adicionales en el segundo conjunto de imágenes.

5. Un programa informático incorporado en un medio legible por ordenador que comprende un código informático que, al ser ejecutado en un ordenador, hace que el ordenador realice el método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

6. Un sistema que comprende:

45 una cámara configurada para capturar un primer conjunto de imágenes que incluye una primera pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una primera posición y un segundo conjunto de imágenes que incluye una segunda pluralidad de vistas bidimensionales de un objeto fotografiado desde una segunda posición; y un procesador acoplado comunicado con la cámara, configurado el procesador para obtener una primera nube de puntos del primer conjunto de imágenes, identificar un número de píxeles correspondientes entre un número de píxeles de una de la primera pluralidad de vistas bidimensionales y un número de píxeles de una de la segunda pluralidad de vistas bidimensionales, y obtener una segunda nube de puntos del número de píxeles a partir del número de píxeles correspondientes del segundo conjunto de imágenes, siendo el número de píxeles correspondientes del segundo conjunto de imágenes un subconjunto de píxeles del segundo conjunto de imágenes, configurado el procesador además para determinar un movimiento desde la primera posición hasta la segunda posición usando la primera nube de puntos y la segunda nube de puntos,

60 en donde, cuando el objeto fotografiado es sustancialmente mayor que un plano de imagen del primer conjunto de imágenes, la cámara captura una pluralidad adicional de conjuntos de imágenes consecutivas y el procesador se configura para obtener una pluralidad de nubes de puntos adicionales y determinar una pluralidad de movimientos consecutivos a partir de estas, para lo cual se construye una nube de puntos global para el objeto fotografiado, y en donde, cuando uno de la pluralidad de movimientos consecutivos no puede determinarse directamente de los datos de las nubes de puntos de los conjuntos de imágenes consecutivas, configurado el procesador además,

para recuperar uno de la pluralidad de movimientos consecutivos a través de una transformación inversa de uno o más movimientos siguientes consecutivos para una o más nubes de puntos siguientes consecutivas.

- 5
7. El sistema de la reivindicación 6 en donde el procesador se configura además para complementar la primera nube de puntos con uno o más puntos adicionales del primer conjunto de imágenes que tenga uno o más puntos correspondientes adicionales en el segundo conjunto de imágenes.
- 10
8. El sistema de la reivindicación 6 en donde el procesador se configura además para complementar la segunda nube de puntos con uno o más puntos adicionales del segundo conjunto de imágenes que tenga uno o más puntos correspondientes adicionales en el primer conjunto de imágenes.
9. El sistema de la reivindicación 6 en donde la cámara incluye una pluralidad de cámaras en una relación fija entre sí.

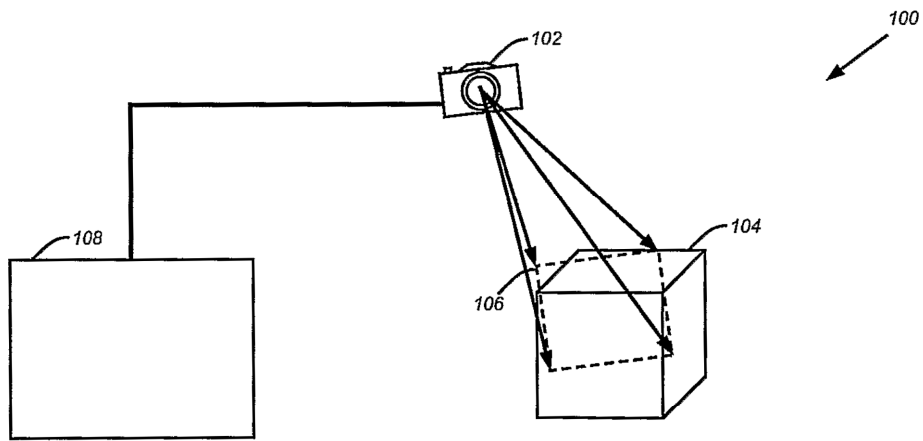


Fig. 1

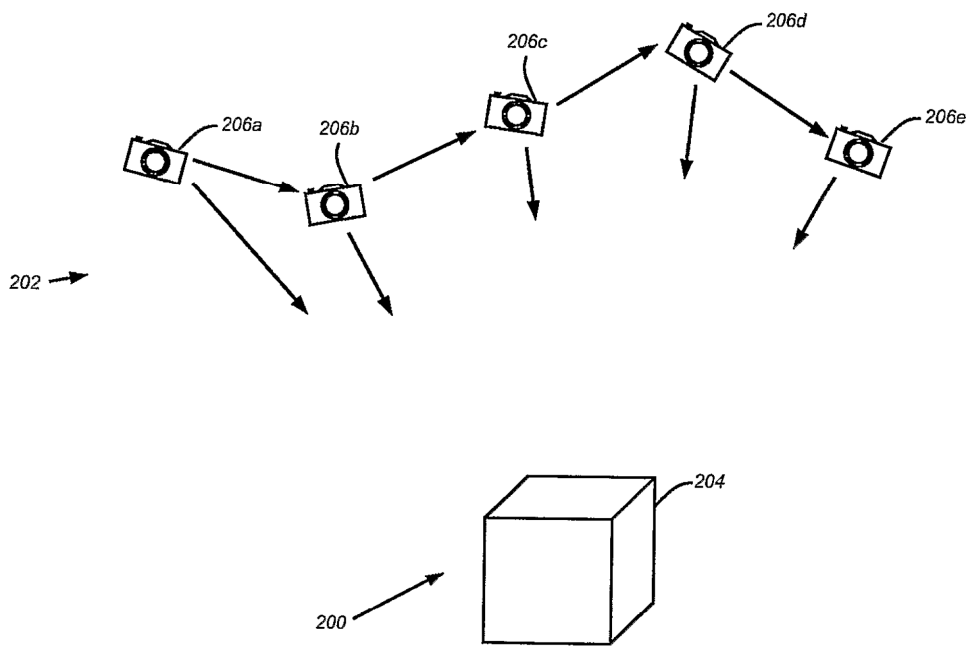


Fig. 2

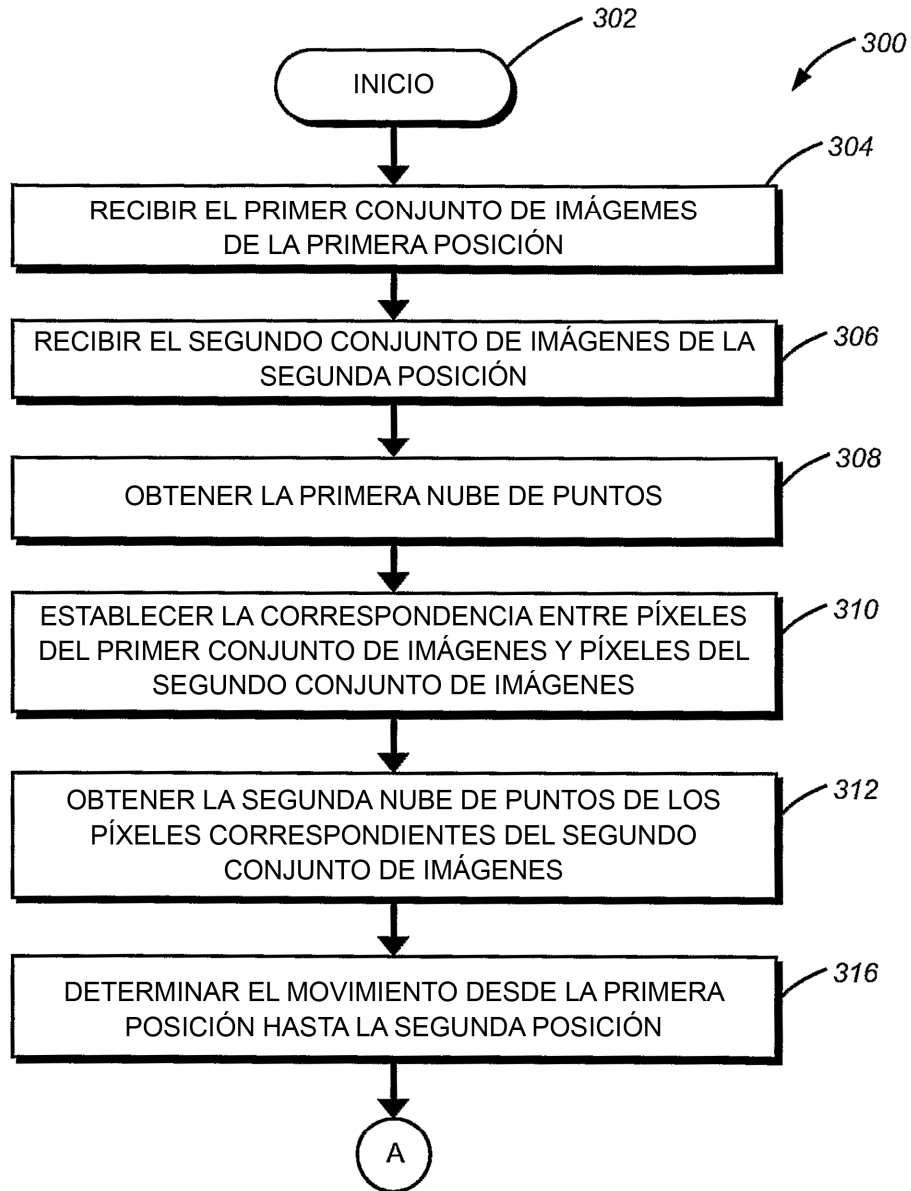


Fig. 3A

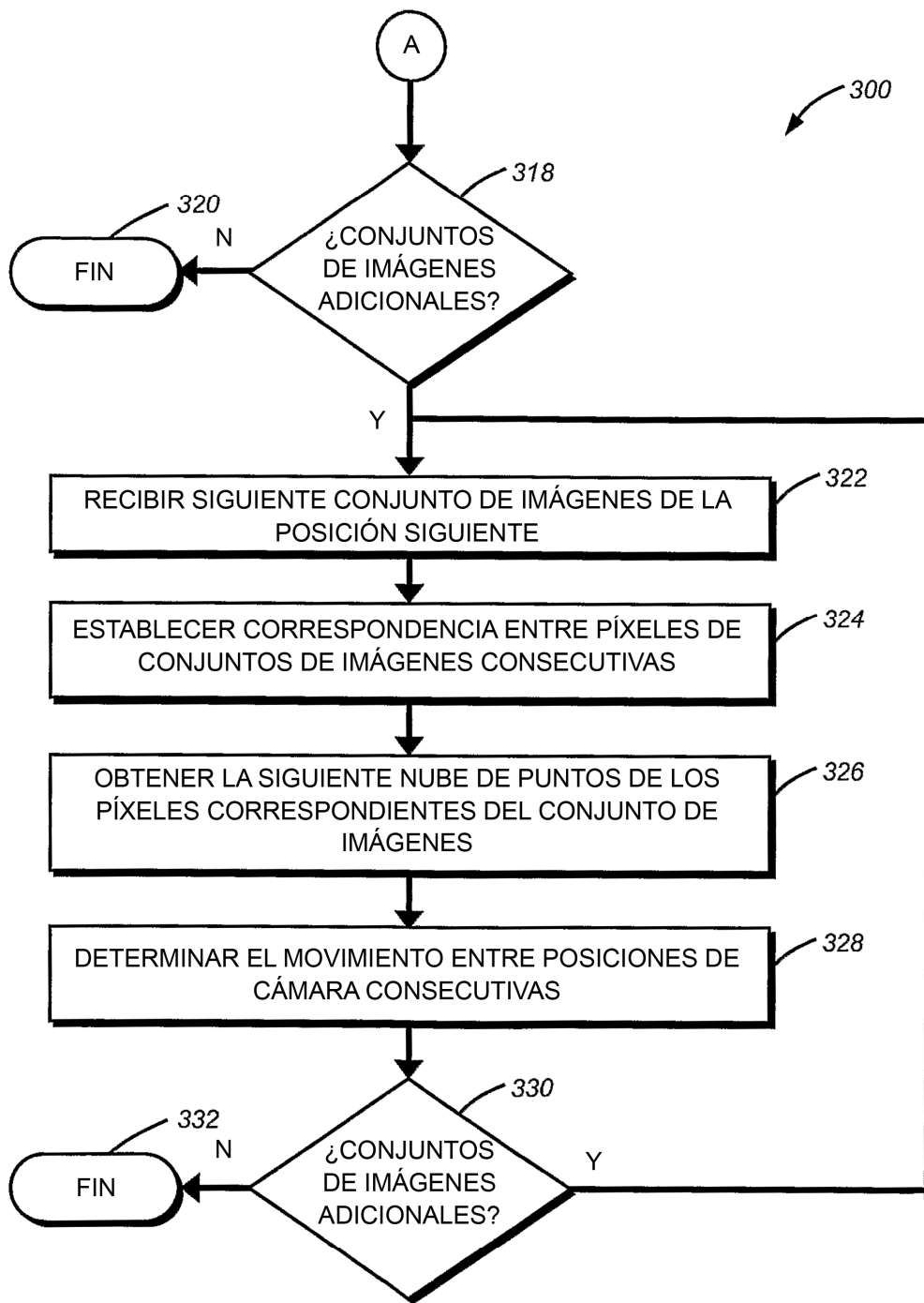


Fig. 3B

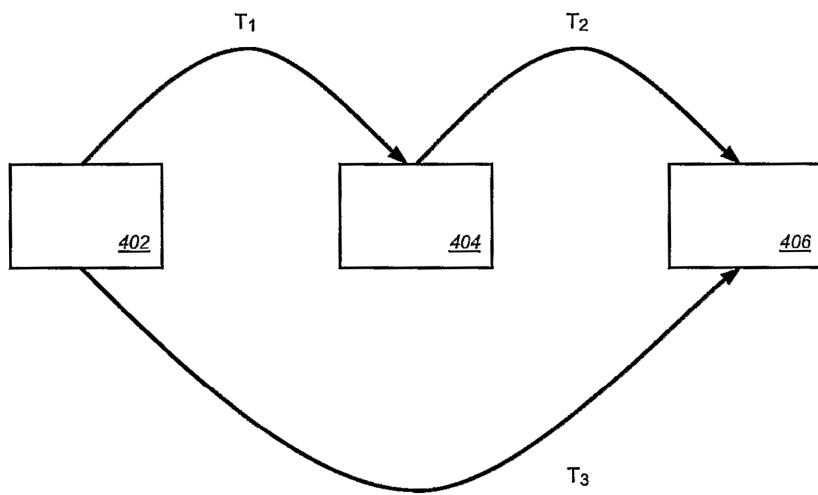


Fig. 4

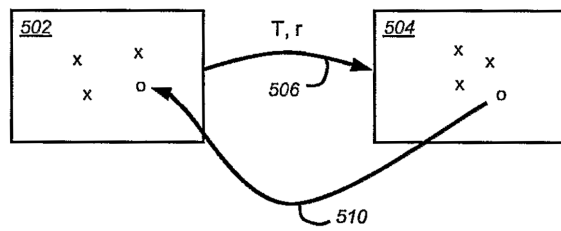


Fig. 5