

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 781 181**

51 Int. Cl.:

H04N 5/232 (2006.01)

H04N 5/262 (2006.01)

H04N 5/225 (2006.01)

H04N 13/232 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2016 PCT/US2016/064001**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.06.2017 WO17112371**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2016 E 16816071 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019 EP 3395059**

54 Título: **Procedimiento y aparato para la cámara computacional de Scheimpflug**

30 Prioridad:

21.12.2015 US 201562270509 P
01.03.2016 US 201615057961

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.08.2020

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 Morehouse Drive
San Diego, CA 92121-1714, US

72 Inventor/es:

GEORGIEV, TODOR GEORGIEV y
BATTULA, THARUN

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 781 181 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

Procedimiento y aparato para la cámara computacional de Scheimpflug

5 CAMPO

[0001] Los presentes modos de realización se refieren a dispositivos de formación de imágenes y, en particular, a procedimientos y aparatos para enfocar planos inclinados de imágenes.

10 ANTECEDENTES

[0002] La integración de la tecnología de procesamiento digital con dispositivos y sistemas de formación de imágenes ha permitido productos fotográficos más potentes y fáciles de usar. Por ejemplo, la capacidad de controlar digitalmente la velocidad de obturación de un dispositivo de formación de imágenes, la apertura y la sensibilidad del sensor ha proporcionado una calidad de imagen mejorada en una variedad de entornos de formación de imágenes sin la necesidad de que un fotógrafo determine y establezca manualmente estos parámetros para cada entorno.

[0003] En la fotografía tradicional, se manipula una cámara para enfocar un área determinada de un entorno. Después de capturar una imagen del entorno, las porciones de la imagen están enfocadas o desenfocadas, dependiendo de la orientación y ubicación de las porciones en relación a la cámara. Muchas áreas que no están enfocadas no pueden enfocarse debido a la orientación relativa del área con respecto a los diversos componentes ópticos de la cámara. En los sistemas de cámara existentes, para enfocar áreas que inicialmente no están enfocadas, los elementos de hardware de la cámara (por ejemplo, el sistema de lentes) deben manipularse para una nueva posición de enfoque. En consecuencia, el usuario de una cámara puede capturar múltiples imágenes de un entorno, manipulando los elementos de hardware con cada imagen, solo para capturar (enfocar) una sola imagen buscada de un entorno, o de uno o más objetos en un área determinada de una escena. Sería ventajoso su uso en sistemas de cámara, en términos de efectos fotográficos, para permitir una capacidad computacional para enfocar un plano inclinado después de capturar la escena objetivo y obtener la flexibilidad que las técnicas de inclinación-desplazamiento de Scheimpflug ofrecen a la fotografía.

[0004] La solicitud de patente US-2010/128145 A1 divulga una cámara de campo de luz que permite reenfocar un vídeo de manera que el plano focal esté inclinado, es decir, no paralelo al plano de imagen. La operación de reenfoque se realiza como procesamiento posterior.

[0005] La solicitud no patentada "Flexible Depth of Field Photography [Fotografía de profundidad de campo flexible]" de Kuthirummal S. y otros divulga una cámara que puede capturar imágenes con profundidad de campo inclinada sin inclinar el detector de imagen, de acuerdo con el principio de Scheimpflug.

40 BREVE DESCRIPCIÓN

[0006] La invención está definida por la materia objeto de acuerdo con las reivindicaciones independientes 1 y 13. Otros aspectos de la invención se definen de acuerdo con las reivindicaciones dependientes. Las referencias a los modos de realización que no se hallan dentro del alcance de las reivindicaciones se deben interpretar como ejemplos útiles para comprender la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0007] Los aspectos divulgados se describirán a continuación en el presente documento junto con los dibujos adjuntos, proporcionados para ilustrar y no para limitar los aspectos divulgados, en los que designaciones similares indican elementos similares.

La Figura 1 es un diagrama de bloques esquemático de un ejemplo de una cámara conectada a un sistema de procesamiento de imágenes de acuerdo con algunos modos de realización.

Las Figuras 2A-B ilustran ciertos aspectos a modo de ejemplo de una cámara plenóptica que realiza un desplazamiento en la profundidad de enfoque.

La Figura 3 es un diagrama de bloques esquemático de un ejemplo de una cámara plenóptica que enfoca una imagen en un plano inclinado de la imagen de acuerdo con un modo de realización.

La Figura 4 es una representación esquemática de la determinación del desplazamientos para puntos a lo largo de un plano inclinado de la imagen de la Figura 3.

65 La Figura 5 ilustra una parametrización geométrica a modo de ejemplo de un plano de imagen no paralelo.

Las Figuras 6A-D ilustran una transformación de rotación usando ángulos de Euler.

Las Figuras 7A-C son diagramas de flujo de un ejemplo de un procedimiento para mostrar una imagen enfocada en un plano inclinado de la imagen de acuerdo con algunos modos de realización.

5

La Figura 8 es un diagrama de flujo de un ejemplo de un procedimiento para determinar las coordenadas de una superposición rectangular sobre una imagen indicativa de un plano inclinado de la imagen de acuerdo con algunos modos de realización.

10

Las Figuras 9A-9D ilustran un plano rectangular de foco superpuesto en una escena visualizada.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

15

[0008] En la siguiente descripción, se dan detalles específicos para proporcionar una comprensión exhaustiva de los ejemplos. Sin embargo, un experto en la técnica entenderá que pueden llevarse a la práctica los ejemplos sin estos detalles específicos. Por ejemplo, los componentes/dispositivos eléctricos pueden mostrarse en diagramas de bloques con el fin de no complicar los ejemplos con detalles innecesarios. En otros casos, dichos componentes, otras estructuras y técnicas se pueden mostrar en detalle para explicar mejor los ejemplos.

20

[0009] Los modos de realización divulgados en el presente documento describen dispositivos de formación de imágenes (que también pueden denominarse un sistema de formación de imágenes) que proporcionan funcionalidad de inclinación-desplazamiento mientras los elementos ópticos del dispositivo de formación de imágenes están en una orientación paralela entre sí. Una ventaja no limitativa de los modos de realización divulgados en el presente documento es que los dispositivos de formación de imágenes pueden configurarse para enfocar cualquier plano de imagen independientemente de la orientación y posición con respecto a los componentes ópticos.

25

30

[0010] Cabe señalar que el término "paralelo" u otras variaciones de la palabra paralelo, como se usa en el presente documento, puede indicar elementos que están alineados para ser paralelos. Sin embargo, se entenderá que alineado para ser paralelo puede no limitarse a ser exacta o perfectamente paralelo, y puede entenderse que incluye ligeras variaciones en la orientación de los elementos con respecto a otros elementos del sistema. Por ejemplo, alineado para ser paralelo puede abarcar un ángulo de dos, tres o más grados desde el paralelo exacto. La cantidad de variación desde el paralelo exacto depende de las propiedades ópticas de los elementos ópticos del sistema de cámara, y se permiten variaciones de tal manera que los dispositivos de formación de imágenes divulgados en el presente documento sean capaces de operar para su propósito previsto.

35

40

[0011] Como se usa en el presente documento, los términos "inclinado" y "no paralelo" u otras variaciones de estas palabras se usan de modo intercambiable para indicar una orientación de un plano con respecto a otro plano. Por ejemplo, un primer plano puede estar orientado verticalmente, y un segundo plano puede estar orientado con algún ángulo de inclinación con respecto al primer plano, de modo que los dos planos estén en un estado no paralelo entre sí. Se entenderá que la inclinación angular necesaria para ser no paralela puede ser cualquier ángulo de manera que los dos planos no sean paralelos como se usa el término en el presente documento. Además, un plano puede estar inclinado o ser no paralelo en múltiples direcciones, por ejemplo, un primer plano puede ser no paralelo con respecto a un segundo plano tanto en una primera como en una segunda dirección en un plano de coordenadas cartesianas (por ejemplo, el plano puede inclinarse a lo largo de una dirección X, Y o Z).

45

50

[0012] Los modos de realización descritos en el presente documento incluyen procedimientos, aparatos y medios legibles por ordenador configurados para renderizar o mostrar una imagen enfocada en un plano de imagen después de capturar datos de imagen de una escena objetivo a través del procesamiento posterior a la captura. En algunos modos de realización, el procedimiento, el aparato y los medios legibles por ordenador pueden aplicarse a una cámara plenóptica de resolución completa (también denominada cámara de radiancia o cámara de campo de luz) o a componentes de la cámara. Si bien los modos de realización divulgados en el presente documento se ilustran con respecto a cámaras plenópticas, se entenderá que los procedimientos y aparatos para enfocar una imagen después de capturar una escena como se divulga en el presente documento pueden aplicarse a cualquier sistema de cámara o cualquier dato de imagen adquirido de una escena real. Estos procedimientos y aparatos proporcionan mejoras sobre los modos de realización comerciales existentes en las capacidades de captura y enfoque de imágenes usando datos de imágenes adquiridos de una escena. En algunos modos de realización, los sistemas y procedimientos de cámara divulgados en el presente documento pueden ser parte de un teléfono celular u otro dispositivo móvil y, por lo tanto, estar dimensionados para caber dentro de un paquete compacto. En otros modos de realización, los sistemas de cámara pueden ser un dispositivo de formación de imágenes independiente.

55

60

65

[0013] En la fotografía tradicional, se manipula una cámara para enfocar un área determinada de una escena objetivo antes de tomar una fotografía. Después de capturar una imagen de la escena objetivo, partes de la imagen están enfocadas o desenfocadas. Algunas partes que no están enfocadas no pueden enfocarse, por ejemplo, una superficie de la escena objetivo que está inclinada con un ángulo respecto al dispositivo de formación de imágenes.

Para enfocar áreas que no están enfocadas, los elementos de hardware de la cámara (por ejemplo, el sistema de lentes) deben manipularse para una nueva posición de enfoque. Por el contrario, una cámara de campo de luz, o cámara plenóptica, usa elementos ópticos especiales y fotosensores para capturar un campo de luz de una escena. Las cámaras plenópticas son capaces de capturar, en una sola imagen, la radiancia de múltiples rayos de luz de una escena, por ejemplo, en múltiples puntos en el espacio. Por ejemplo, las cámaras plenópticas miden no solo la radiancia de la luz en una ubicación en el fotosensor, sino que también determinan cuánta luz llega al fotosensor con cada rayo de luz. Con una cámara plenóptica, dado que se captura el color, la dirección y la intensidad de los múltiples rayos de luz de la escena, el enfoque se puede realizar utilizando un software después de capturar la imagen. La manipulación de la posición de enfoque después de capturar una imagen permite al usuario modificar qué área de la imagen está enfocada en cualquier momento sin volver a capturar una imagen de una escena.

[0014] En muchas cámaras plenópticas, la luz entra en una lente principal (objetivo) y pasa a través de una matriz de microlentes antes de ser capturada por un fotosensor. La lente del objetivo puede incluir una sola lente o puede comprender múltiples elementos ópticos configurados para recoger la luz de la escena y enfocar la luz en un fotosensor. Cada microlente de la matriz de microlentes puede tener un tamaño relativamente pequeño, por ejemplo 100 μm , y una profundidad de enfoque relativamente grande. Esto permite que la cámara capture todas las partes de una escena objetivo al capturar numerosas imágenes pequeñas, o microimágenes, desde puntos de vista ligeramente diferentes usando cada una de las microlentes de la matriz de microlentes. Por ejemplo, el uso de una matriz de microlentes permite que el fotosensor mida no solo la cantidad total de luz incidente en el fotosensor, sino también la cantidad de luz que llega a lo largo de cada rayo de luz incidente en el fotosensor (por ejemplo, mide los datos del campo de luz).

[0015] En algunas implementaciones, una vez que el fotosensor mide los datos del campo de luz para determinar la cantidad de luz en el fotosensor y la dirección de cada rayo de luz en función de la cantidad de luz para cada rayo, el software implementado en un sistema de procesamiento de imágenes puede ser configurado para extraer y manipular los datos del campo de luz para producir una imagen a la profundidad de enfoque deseada de la escena durante el procesamiento posterior. Por ejemplo, los datos del campo de luz proporcionan la cantidad de luz que viaja con cada rayo que cruza el fotosensor. Esto puede considerarse capturar o generar una distribución de iluminación direccional que llega a cada elemento sensor de luz de un fotosensor. Luego, se pueden aplicar técnicas de trazado de rayos a los datos del campo de luz para calcular el trazado de un rayo de luz determinado para determinar dónde habría terminado el rayo si el dispositivo de formación de imágenes se hubiera configurado en la disposición deseada (por ejemplo, si el dispositivo de formación de imágenes hubiera sido posicionado para enfocarse en una profundidad de enfoque u orientación dada).

[0016] En algunas implementaciones, las cámaras plenópticas usan matrices de microlentes para capturar los datos del campo de luz en 4D de la escena objetivo de interés. La radiancia en 4D adquirida, como imagen integral (por ejemplo, datos de campo de luz como imagen), puede procesarse para la reconstrucción de escenas en 3D o para sintetizar el efecto de profundidad de enfoque dinámico (DoF). Existen numerosas aplicaciones para esta tecnología de cámara emergente, desde el entretenimiento hasta la recuperación en profundidad para aplicaciones industriales y científicas. Algunas cámaras de campo de luz pueden capturar 20 vistas diferentes de una escena con un sensor de 10 megapíxeles (Adobe®, San José, CA). Sin embargo, las imágenes renderizadas de 700 \times 700 píxeles pueden tener artefactos visibles en los límites de oclusión. La cámara de campo de luz Lytro® (lytro.com) utiliza un sensor de 11 megapíxeles para adquirir la radiancia.

[0017] Las cámaras convencionales tienen un plano de imagen que es paralelo a un plano de la lente. Por lo tanto, las cámaras convencionales enfocan una escena en el plano de imagen que es paralelo al sensor. Mientras que una cámara de Scheimpflug incluye hardware dispuesto de tal manera que un plano de imagen está inclinado con respecto al plano de la lente del objetivo y, por lo tanto, también está inclinado con respecto al sensor. Las cámaras de Scheimpflug se pueden configurar para enfocar una escena objetivo en planos inclinados, por ejemplo, en un plano paralelo al eje óptico convencional de la cámara y perpendicular al plano de imagen convencional. Sería ventajoso usarlo en un sistema de cámara, en términos de efectos fotográficos, para permitir una capacidad computacional para enfocar en un plano inclinado después de capturar la escena objetivo y obtener la flexibilidad que las técnicas de inclinación-desplazamiento de Scheimpflug ofrecen a la fotografía.

[0018] En una implementación, la fotografía de Scheimpflug facilita enfocar la cámara en un plano inclinado o desplazado. En una implementación, un plano de la lente está inclinado con relación al plano de imagen. La capacidad de enfocar en un plano inclinado se ha perdido en las cámaras digitales de hoy en día, ya que el plano de imagen y el plano de la lente son paralelos y fijos en las cámaras convencionales. Los modos de realización divulgados en el presente documento describen cámaras que proporcionan funcionalidad de inclinación-desplazamiento mientras que los elementos ópticos de la cámara están en una orientación sustancialmente paralela, permitiendo así que las cámaras digitales enfoquen cualquier plano. En un modo de realización, la funcionalidad de inclinación-desplazamiento se ve facilitada por los principios de Scheimpflug. Esto se hace computacionalmente a partir de datos de imagen. Por ejemplo, usando cámaras plenópticas, construidas con una matriz de microlentes, o usando una matriz de cámaras, se capturan datos del campo de luz, por ejemplo, la radiancia completa de la escena objetivo. Los datos del campo de luz incluyen datos espaciales y datos angulares de toda la escena objetivo capturada en el fotosensor de la cámara. Una ventaja no limitativa de las cámaras

divulgadas en el presente documento es que los cálculos de enfoque se realizan en una etapa posterior, después de capturar la imagen y los datos del campo de luz de la escena objetivo. Los modos de realización divulgados en el presente documento cubren procedimientos y dispositivos para renderizar una imagen final en un plano de imagen orientado en cualquier ángulo en el espacio 3D con respecto a la lente del objetivo en base a los datos del campo de luz de la escena objetivo. La imagen final enfoca cualquier plano inclinado después de capturar la escena en el sensor. Dicha funcionalidad amplía los procedimientos de renderizado de la cámara plenóptica existentes, que solo enfocan planos paralelos al plano de la lente.

[0019] En algunos modos de realización, el renderizado posterior a la captura de una imagen enfocada en un plano inclinado de la imagen se ha implementado para una configuración de cámara plenóptica. En una implementación, la configuración de una cámara plenóptica incluye una lente del objetivo posicionada a cierta distancia del sensor, de modo que la escena objetivo se enfoca en el plano de imagen de la lente de la cámara objetiva, y una matriz de microlentes ubicada a cierta distancia entre el plano de imagen y el sensor. En este modo de realización, se forma una imagen de la lente del objetivo en el plano de imagen entre la lente del objetivo y la matriz de microlentes. La imagen de la lente del objetivo se captura y se vuelve a formar una imagen en el sensor como múltiples microimágenes virtuales de la matriz de microlentes. En esta configuración, el sensor puede colocarse a una distancia detrás de la matriz de microlentes. En algunos modos de realización, las distancias entre los diversos elementos y las distancias focales de la lente del objetivo y las microlentes de la matriz de microlentes satisfacen la ecuación de la lente y construyen un sistema de retransmisión con la lente principal de la cámara. Una ventaja no limitativa de este modo de realización es que estas configuraciones desacoplan la resolución de la cámara plenóptica del número de microlentes que forman la matriz de microlentes, y hace que el muestreo de radiancia sea más flexible. El fotógrafo tiene libertad para variar la resolución mientras toma la foto: La resolución espacial de estas cámaras plenópticas puede estar relacionada con la distancia entre la matriz de microlentes y el sensor dividida por la distancia desde la lente del objetivo a la matriz de microlentes, y puede variarse moviendo la matriz de microlentes en relación con el sensor.

[0020] Otra ventaja no limitativa de las cámaras plenópticas divulgadas en el presente documento es que capturar los datos de formación de imágenes mejora las capacidades de procesamiento. Por ejemplo, la aplicación de estas cámaras puede resolver muchos de los problemas a los que se enfrentan los fotógrafos que usan cámaras digitales convencionales. El renderizado de imágenes reenocadas y vistas en 3D son solo dos capacidades de ejemplo, pero hay muchas otras, incluyendo HDR y formación de imágenes multiespectrales, superresolución y mucho más.

[0021] Otro aspecto de los modos de realización divulgados en el presente documento incluye una interfaz de usuario (IU), que se puede incorporar en los dispositivos de formación de imágenes capaces de utilizar datos de imagen para procesar posteriormente el enfoque de la imagen en cualquier plano de imagen para su uso en otras aplicaciones en el dispositivo que están relacionadas con funcionalidades 3D, por ejemplo, juegos, estéreo o microscopía. En algunos modos de realización, la IU puede ser capaz de mostrar un rectángulo en una imagen visualizada como un cuadrilátero indicativo del plano inclinado de la imagen sobre el que se enfoca la imagen. Una ventaja no limitante de la IU es la visualización añadida para los usuarios del dispositivo de formación de imágenes para ayudar a manipular y ajustar el plano de imagen para enfocar la imagen mostrada.

[0022] La Figura 1 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un modo de realización de un dispositivo de formación de imágenes 100 que incluye una cámara plenóptica 110 acoplada a un sistema de procesamiento de imágenes 140. El sistema de procesamiento de imágenes 140 está en comunicación con la cámara plenóptica 110 y está configurado para recibir y procesar imágenes capturadas por la cámara plenóptica 110. En algunos modos de realización, la cámara plenóptica 110 puede comprender al menos un elemento óptico usado dentro de un sistema de cámara, en el que el sistema de cámara (no mostrado en esta figura) está configurado para capturar una imagen de una escena objetivo 105 tal como se ve por la cámara plenóptica 110. El sistema de procesamiento de imágenes 140 puede incluir los componentes usados para manipular, procesar o guardar la imagen capturada.

[0023] La cámara plenóptica 110 incluye componentes que están configurados para recibir, guiar y detectar la luz de una escena objetivo 105 ubicada en un plano del objeto 104. Como se ilustra en la Figura 1, la cámara plenóptica incluye una lente del objetivo 112, una matriz de microlentes 125 y un fotosensor 130. La lente del objetivo 112 se coloca y se expone para recibir luz (por ejemplo, rayos de luz 106) de la escena objetivo 105 que puede incluir al menos un objeto de interés ubicado en algún lugar de la escena objetivo 105 (por ejemplo, una escena u objeto en el campo de visión de la cámara plenóptica 110). Se entenderá que aunque la lente del objetivo 112 se ilustra como un elemento óptico único en la Figura 1, la lente del objetivo puede comprender uno o más elementos ópticos, no limitados solo a lentes (por ejemplo, la lente del objetivo puede comprender una o más lentes, elementos refractivos, elementos dispersivos, elementos reflejados y/o elementos directores).

[0024] La luz recibida en la lente del objetivo se propaga a través de la lente del objetivo 112, y se propaga aún más a través de un plano 120 de la imagen de la lente del objetivo antes de incidir en la matriz de microlentes 125. En el modo de realización ilustrado, la matriz de microlentes 125 puede incluir una matriz bidimensional de microlentes individuales 126a-n, donde cada una de las microlentes 126a-n de la matriz de microlentes 125 puede ser del mismo tamaño y forma. La matriz de microlentes 125 puede comprender suficientes microlentes 126a-n y

estar posicionada de tal manera que las áreas activas del fotosensor 130 reciban al menos una porción de la imagen formada por la luz que se propaga a través de la lente del objetivo 112. El fotosensor 130 puede comprender múltiples elementos sensores de luz configurados para detectar luz incidente y generar datos de imagen de salida basados en la luz detectada. La matriz de microlentes 125 puede formarse sobre o a partir de un sustrato (u oblea) que tenga un cierto espesor, y después de la formación, el espesor de la matriz de microlentes 125 puede ser igual o sustancialmente igual al espesor de la oblea formada a partir de ella o sobre la misma. Si bien se representa en la Figura 1 como una pila bidimensional de microlentes, se entenderá que la matriz de microlentes puede ser un conjunto o matriz planos de microlentes.

[0025] El plano 120 de la imagen de la lente del objetivo es un plano ubicado donde atraviesan los rayos de luz 106 de la escena objetivo 105 que se propagan a través de la lente del objetivo 112, formando dichos rayos una imagen 122 de la escena objetivo en el plano 120 de la imagen. La escena objetivo 105 puede estar reflejando radiación (por ejemplo, luz) o emitiendo radiación (por ejemplo, luz) o puede estar reflejando y emitiendo luz. En algunos modos de realización, la pluralidad de microlentes 126a-n en la matriz de microlentes 125 puede enfocarse para enfocar la luz en el plano 120 de la imagen de la lente del objetivo de la lente del objetivo 112 y el fotosensor 130. Es decir, la matriz de microlentes 125 puede tener una distancia focal, en la dirección del plano 120 de la imagen de la lente del objetivo, siendo la distancia focal igual o sustancialmente igual a la distancia entre la matriz de microlentes 125 y el plano de imagen 120 del lente del objetivo 112. Si bien puede que no haya ninguna estructura físicamente ubicada en el plano 120 de la imagen de la lente del objetivo, el plano 120 de la imagen de la lente del objetivo puede considerarse como una ubicación plana en el espacio que tiene una imagen "en el aire" de la escena creada por la luz que se propaga a través de la lente del objetivo 112. La matriz de microlentes 125 puede configurarse para enfocar la luz en el fotosensor 130. La luz recibida de la lente del objetivo 112 se propaga a través de la matriz de microlentes 125 y luego sobre el fotosensor 130. El fotosensor 130 puede estar ubicado a una distancia menor o igual a f desde la matriz de microlentes 125, donde f se refiere a la distancia focal de las microlentes 126a-n de la matriz de microlentes 125 en la dirección del fotosensor 130, donde se enfoca la luz que se propaga a través de la matriz de microlentes 125. Las distancias entre el fotosensor 130 y la matriz de microlentes 125 pueden variar según el diseño óptico del dispositivo de formación de imágenes 100. Estas distancias pueden variar para lograr una función de transferencia de modulación (MTF) por encima de la frecuencia de Nyquist.

[0026] En funcionamiento, cada microlente 126a-n de la matriz de microlentes 125 puede recibir luz que representa o corresponde a una porción (por ejemplo, área o región) de una imagen. La luz que representa la porción de la imagen puede propagarse a través de la matriz de microlentes 125 y ser redirigida por la matriz de microlentes 125 para ser guiada a una región correspondiente del fotosensor 130. Por lo tanto, cada microlente 126a-n de la matriz de microlentes 125 y su región correspondiente del fotosensor 130 puede funcionar de manera similar a una cámara pequeña que captura una imagen pequeña (o microimagen 135a-n) de una imagen 122 en el plano de imagen 120, y donde la compilación de microimágenes 135a-n capturadas por cada una de las microlentes 126a-n de la matriz de microlentes 125 captura la imagen 122 en el plano 120 de la imagen de la lente del objetivo. Al enfocar las microlentes 126a-n de la matriz de microlentes 125 en la imagen 122 producida por la lente del objetivo 112 en el plano 120 de la imagen de la lente del objetivo, la cámara plenóptica 110 puede configurarse para capturar datos de campo de luz en 4D, por ejemplo, datos espaciales y angulares de radiancia de la escena objetivo 105. Los datos del campo de luz en 4D pueden incluir información de posición y dirección de la radiancia de la escena objetivo 105 junto con datos de radiancia o intensidad de la escena objetivo 105. Esto puede permitir que la cámara plenóptica 110 genere imágenes de alta resolución a partir de los datos de campo de luz capturados que superan la resolución de imágenes de cámaras anteriores y que cumplen los requisitos y deseos de la fotografía moderna.

[0027] Todavía haciendo referencia a la Figura 1, el sistema de procesamiento de imágenes 140 está en comunicación electrónica con el fotosensor 130 para recibir y guardar información de la luz recibida en cada píxel del fotosensor 130 y la luz que se propaga a través de cada microlente 126a-n en la matriz de microlentes 125 resultante en microimágenes 135a-n. En algunos modos de realización, el fotosensor 130 puede comprender una pluralidad de píxeles (por ejemplo, un fotosensor de megapíxeles, etc.), y uno o más píxeles de la pluralidad de píxeles pueden capturar partes de la escena objetivo de cada microlente 126a-n de la matriz de microlentes 125. Después de que las microimágenes 135a-n de la escena objetivo 105 se capturan en el fotosensor 130, el sistema de procesamiento de imágenes 140 puede calcular una profundidad para cada píxel en la matriz o de otro modo renderiza imágenes de alta resolución a partir de los datos recogidos por el fotosensor 130.

[0028] Como se muestra en la Figura 1, la distancia "a" indica la distancia entre el plano 120 de la imagen de la lente del objetivo y la matriz de microlentes 125. La distancia "b" representa la distancia entre la matriz de microlentes 125 y el fotosensor 130. Una distancia f indica la distancia focal de las microlentes 126a-n de la matriz de microlentes 125, teniendo cada una de las microlentes 126a-n de la matriz de microlentes 125 las mismas dimensiones. Como se analizó anteriormente, dado que el fotosensor 130 está ubicado a la distancia focal f o menos de la matriz de microlentes 125, la distancia focal de la matriz de microlentes 125 está en la dirección del fotosensor 130. La distancia b es menor o igual que f . En algunos modos de realización, se ajustan las distancias a y b (ajustando en consecuencia la posición de la matriz de microlentes 125). La matriz de microlentes 125 se puede mover y/o ajustar cuidadosamente con respecto a las posiciones entre el plano 120 de la imagen de la lente del objetivo y el fotosensor 130. La distancia a también puede denominarse paso, y puede ajustarse mediante un

mecanismo de ajuste 160 como se analiza a continuación. Por ejemplo, el espesor del sustrato de la matriz de microlentes (o la oblea) podría ajustarse para manipular la distancia a o b, de tal manera que la matriz de microlentes 125 pudiera moverse más cerca del fotosensor 130 según sea necesario para lograr un rendimiento de diseño óptimo.

5

[0029] La Figura 1 también ilustra un ejemplo de un modo de realización de una cámara plenóptica 110 que incluye varios componentes que pueden integrarse en la cámara (que pueden corresponder al dispositivo de formación de imágenes 100). La cámara, en algunos modos de realización, puede comprender dos porciones generales: óptica 113 y sistema de procesamiento de imágenes 140. La óptica 113 puede incluir uno o más de los componentes ópticos de la cámara. Por ejemplo, la óptica 113 puede incluir un obturador (no mostrado), la lente del objetivo 112, la matriz de microlentes 125 y el fotosensor 130. El sistema de procesamiento de imágenes 140 puede incluir una variedad de componentes, por ejemplo, el fotosensor 130 (cuando no está incluido en la óptica 113), un control de obturador 145, un visor/pantalla 150, controles 155, un mecanismo de ajuste 160, una interfaz de entrada/salida (E/S) 165, un procesador 170, una memoria 175, un módulo de procesamiento de datos 180, un módulo de renderizado 190 y una fuente de alimentación 185. En algunos modos de realización, se pueden incluir componentes adicionales o menos que los enumerados en el presente documento en el dispositivo de formación de imágenes 100. Los componentes del sistema de procesamiento de imágenes 140 pueden estar acoplados entre sí y/o en comunicación entre sí según sea necesario para realizar su funcionalidad asociada. En algunos modos de realización, uno o más componentes descritos anteriormente pueden estar en una o más de la óptica 113 y el sistema de procesamiento de imágenes 140. Además, o de forma alternativa, uno o más componentes de la óptica 113 pueden integrarse en el sistema de procesamiento de imágenes 140, o viceversa.

10

15

20

25

30

35

[0030] En algunos modos de realización, uno o más componentes de la óptica 113 pueden estar en una ubicación fija de modo que puedan no moverse en relación con los otros componentes de la óptica 113. Por ejemplo, una posición de una o más de la lente del objetivo 112 y la matriz de microlentes 125 puede fijarse en relación con uno o más de los otros componentes. En algunos modos de realización, uno o más de los componentes de la óptica 113 pueden ser móviles en relación con uno o más de los otros componentes. Por ejemplo, la lente del objetivo 112 puede configurarse para que sea móvil en una dirección hacia la matriz de microlentes 125 o alejándose de la misma, por ejemplo, para enfocar. La matriz de microlentes 125 puede estar configurada para moverse hacia la lente del objetivo 112 o alejándose de ella, y/o puede configurarse para moverse lateralmente (en relación con el trayecto óptico de la luz desde la lente del objetivo 112 al fotosensor 130), por ejemplo, para alinear las microlentes 126a-n de la matriz de microlentes con la lente del objetivo 112 y/o el fotosensor 130. En algunos modos de realización, el fotosensor 130 puede comprender una o más de películas convencionales, un dispositivo de carga acoplada (CCD), un semiconductor de óxido de metal complementario (CMOS) o similares.

40

45

50

[0031] En algunos modos de realización, la imagen capturada en el fotosensor 130 puede ser procesada por el sistema de procesamiento de imágenes. Por ejemplo, el módulo de procesamiento de datos 180 puede usar un procedimiento de renderizado de campo de luz de resolución completa (u otros algoritmos de procesamiento de imagen para la aplicación a imágenes capturadas por una cámara plenóptica) para generar imágenes de alta resolución de la imagen capturada y reenfocar la imagen en un plano inclinado de la imagen de acuerdo con los procedimientos divulgados en el presente documento. En algunos modos de realización, el módulo de procesamiento de datos 180 puede implementarse usando hardware, software o una combinación de los mismos. En algunos modos de realización, los datos de imagen capturada pueden almacenarse en una memoria 175 para su posterior renderizado por un módulo de renderizado 190 configurado para generar imágenes de procesamiento posterior basadas en procedimientos de renderizado de campo de luz de resolución completa (o similares) como se divulga en el presente documento. En algunos modos de realización, el módulo de renderizado 190 puede configurarse como parte del sistema de procesamiento de imágenes, mientras que en otros modos de realización el módulo de renderizado puede ser un dispositivo separado o un sistema informático. En algunos modos de realización, las imágenes de procesamiento posterior generadas a partir de los datos de imagen capturados pueden almacenarse en la memoria 175.

55

60

65

[0032] El obturador de la cámara plenóptica 110 puede ubicarse delante o detrás de la lente del objetivo 112. El obturador puede configurarse para controlar cuándo se permite que la luz pase al fotosensor 130, y cuánta luz se pasa al fotosensor 130. Por ejemplo, cuando el obturador está cerrado, no puede pasar luz desde el exterior de la óptica 113 al fotosensor 130. Cuando se abre el obturador, la luz puede pasar a través de la lente del objetivo 112 hacia y a través de las matrices de microlentes 125 y hacia el fotosensor 130. El procesador 170 puede configurarse para recibir una entrada del control de obturador 145 y controlar la apertura y cierre del obturador en base al control de obturador 145. El visor/pantalla 150 puede configurarse para mostrar al usuario del dispositivo de formación de imágenes 100 una vista previa de la imagen que capturará el dispositivo de formación de imágenes 100 si se activa en una dirección dada. En algunos modos de realización, el visor/pantalla 150 se puede configurar para permitir al usuario ver y seleccionar opciones (por ejemplo, a través de un menú o interfaz similar) del dispositivo de formación de imágenes 100 o para ver y modificar imágenes que ya han sido capturadas por el dispositivo de formación de imágenes 100 y han sido almacenadas en la memoria 175. En una implementación, el visor/pantalla 150 puede ser una pantalla configurada para mostrar un rectángulo superpuesto sobre la imagen capturada representativo de un plano inclinado de la imagen usado para enfocar la imagen capturada en el plano inclinado de la imagen. En algunos modos de realización, el dispositivo de formación de imágenes 100 puede utilizar la fuente de alimentación

185 para proporcionar energía a los componentes del dispositivo de formación de imágenes 100. En algunos modos de realización, la fuente de alimentación 185 puede comprender una batería (por ejemplo, una batería recargable o reemplazable) o un conector a un dispositivo de alimentación externo. La memoria 175 puede configurarse para almacenar imágenes capturadas por la óptica 113 y procesadas por el módulo de procesamiento de datos 180. En algunos modos de realización, la memoria 175 puede configurarse para almacenar configuraciones y ajustes según lo introducido por los controles y el mecanismo de ajuste 160. En algunos modos de realización, la memoria 175 puede ser extraíble o una combinación de memoria extraíble y permanente. En algunos modos de realización, la memoria puede ser toda permanente.

[0033] En algunos modos de realización, la interfaz de E/S 165 del dispositivo de formación de imágenes 100 puede configurarse para permitir la conexión de la cámara a uno o más dispositivos externos, tales como un ordenador o un monitor de vídeo. Por ejemplo, la interfaz de E/S 165 puede incluir un conector de USB, un conector de HDMI o similar. En algunos modos de realización, la interfaz de E/S 165 puede configurarse para transferir información entre el dispositivo de formación de imágenes 100 y el dispositivo externo conectado. En algunos modos de realización, la interfaz de E/S 165 puede configurarse para transferir información de forma inalámbrica (por ejemplo, por infrarrojos o Wi-Fi). En algunos modos de realización, los controles 155 descritos anteriormente pueden configurarse para controlar uno o más aspectos de la cámara, incluidos los ajustes asociados con la óptica 113 (por ejemplo, velocidad de obturación, zoom, número f, etc.), navegar por las opciones y menús de la cámara, ver y/o modificar imágenes capturadas a través del módulo de procesamiento de datos 180, o renderizar una imagen reenfozada en un plano inclinado de la imagen después de capturar una imagen a través del módulo de procesamiento de datos 180 y/o el módulo de renderizado 190. En algunos modos de realización, el mecanismo de ajuste 160 puede configurarse para ajustar una ubicación relativa de uno o más de los componentes de la óptica 113. Por ejemplo, el mecanismo de ajuste 160 puede configurarse para ajustar una distancia entre la matriz de microlentes 125 y la lente del objetivo 112 o el fotosensor 130. Además, o de forma alternativa, el mecanismo de ajuste 160 puede configurarse para ajustar una distancia entre la matriz de microlentes 125 y el fotosensor 130.

[0034] Las Figuras 2A-B ilustran un ejemplo de una disposición de cámara plenóptica. La Figura 2A ilustra el plano de imagen 120, el fotosensor 130 y una porción de la matriz de microlentes 125 de la Figura 1.

[0035] La Figura 2B ilustra un fotosensor virtual ubicado en un plano de imagen virtual 136 renderizado por el sistema de procesamiento de imágenes 140 de la Figura 1. La Figura 2B ilustra un punto virtual 132 que es una reconstrucción de una imagen enfocada en el punto focal 121. Como se describió anteriormente con respecto a la Figura 1, una escena objetivo 105 puede estar ubicada en un plano del objeto 104 y. La cámara plenóptica 110 está configurada para recibir rayos de luz 106 desde la escena objetivo 105 en el plano de imagen 120, como se describió anteriormente con respecto a la Figura 1.

[0036] Refiriéndose nuevamente a la Figura 2A, los rayos de luz entran en la cámara plenóptica 110 y se enfocan en el punto focal 121 en el plano de imagen 120. Los rayos de luz 106 continúan hacia la matriz de microlentes 125. En el modo de realización ilustrado en el presente documento, el fotosensor 130 está configurado para ser sustancialmente paralelo al plano de la lente del objetivo de la lente del objetivo 112. En algunos modos de realización, la matriz de microlentes 125 puede ser sustancialmente paralela al fotosensor 130 y/o al plano de la lente del objetivo de la lente del objetivo 112. Como se describió anteriormente, cada microlente, por ejemplo, las microlentes 126a-c, de la matriz de microlentes 125 enfoca la luz en el fotosensor 130. En algunos modos de realización, el fotosensor 130 puede ser sustancialmente paralelo a la matriz de microlentes 125, al plano de imagen 120 y/o al plano de la lente del objetivo de la lente del objetivo 112. El fotosensor 130 es capaz de capturar los datos del campo de luz de la imagen.

[0037] La Figura 2B ilustra un trayecto de rayos virtual 107 trazado desde el fotosensor 130 hasta el plano de imagen renderizada virtual 136 y renderizada en el mismo para determinar una imagen para un dispositivo de formación de imágenes configurado para tener un plano de imagen real en la misma posición que el plano de imagen virtual 136. Por ejemplo, los puntos de datos que representan las microimágenes 135a-c de la Figura 2A capturadas en el fotosensor 130 pueden ser utilizados por el sistema de procesamiento de imágenes 140 para calcular un trayecto de rayos virtual 107 basándose en los datos del campo de luz, el trayecto de rayos virtual 107 puede incluir los puntos de datos 131a-c y pueden incluir múltiples puntos de datos a lo largo de cada trayecto de rayos virtual 107. El trayecto de rayos virtual 107 puede extrapolarse a cualquier plano de imagen renderizado y puede renderizarse una imagen, por ejemplo, los rayos de luz virtuales 107 se enfocan en el punto virtual 132. En el punto virtual 132, se forma una imagen para los puntos de datos que representan las microimágenes 135a-c capturadas por el fotosensor 130. En algunos modos de realización, el plano de imagen virtual 136 puede ser paralelo al fotosensor 130 como se ilustra en la Figura 2B. En consecuencia, el punto virtual 132 es una reconstrucción de una imagen capturada en el punto focal 121. Sin embargo, se entenderá que es posible cualquier orientación del plano de imagen virtual 136 (por ejemplo, cualquier ángulo de inclinación en un espacio tridimensional con respecto al fotosensor 130). En un modo de realización, los puntos de datos que representan las microimágenes 135a-c pueden ser capturados por el fotosensor 130 y los datos de campo de luz asociados con puntos que representan las microimágenes 135a-c pueden almacenarse en la memoria 175 de la Figura 1. El módulo de procesamiento de datos 180, el procesador 170 y la memoria 175 pueden configurarse colectivamente para renderizar una imagen en el plano de imagen virtual 136.

[0038] La Figura 3 ilustra un ejemplo de una cámara plenóptica 310 que está configurada para utilizar ciertos procedimientos de enfoque, por ejemplo, de acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento. La cámara plenóptica 310 puede ser similar a la cámara plenóptica 110 y estar configurada para incluir las capacidades de la cámara de Scheimpflug. Por ejemplo, una cámara plenóptica 310 puede ser capaz de renderizar una imagen de una escena objetivo que está enfocada en uno o más planos de objetos inclinados (por ejemplo, los planos de objeto inclinados 304a y 304b). Por ejemplo, un plano de la escena objetivo (por ejemplo, el plano del objeto inclinado 304a) capturado por la cámara no necesita ser paralelo a la lente del objetivo 312, por lo tanto, el plano inclinado de la imagen 321a tampoco necesita ser paralelo a la lente del objetivo 312. En algunos modos de realización, una cámara plenóptica 310 puede facilitar la captura de los datos del campo de luz a través de una matriz de microlentes 325, y una imagen 322a puede enfocarse a cualquier plano de imagen no paralelo (por ejemplo, el plano inclinado de la imagen 321a) después de que las microimágenes 335a y 335b y los datos del campo de luz sean capturados por el fotosensor 330. La distancia entre la matriz de microlentes 325 y el fotosensor 330 se ilustra como la distancia b . La distancia b se puede ajustar, por ejemplo, de una manera sustancialmente similar a la descrita anteriormente con respecto al mecanismo de ajuste 160 de la Figura 1. En algunos modos de realización, la profundidad de la imagen 322a puede ajustarse después de capturar también la imagen.

[0039] La Figura 3 muestra una cámara plenóptica 310 a modo de ejemplo que utiliza elementos ópticos que son sustancialmente similares a los descritos en referencia a las Figuras 1 y 2A-B para enfocar una imagen en un plano de imagen no paralelo. Como se muestra en la Figura 3, una imagen puede renderizarse volviendo a enfocar una imagen en un plano inclinado de la imagen (por ejemplo, los planos de la imagen inclinados 321a y 321b), sin embargo, los diversos componentes físicos de la cámara permanecen sustancialmente paralelos. Como se ilustra en la Figura 3, la distancia a_1 y a_2 definen la distancia desde la matriz de microlentes 325 y el punto en el que el plano inclinado de la imagen 321a y 321b corta el eje óptico 395. La Figura 3 muestra una sola escena que tiene dos planos del objeto diferentes (por ejemplo, el plano del objeto inclinado 304a y el plano del objeto inclinado 304b). Sin embargo, se entenderá que una escena puede incluir muchos planos del objeto diferentes, posiblemente un número infinito de planos del objeto. Cada plano del objeto puede representar un plano en el que la cámara intenta enfocar. Por ejemplo, la escena objetivo 305a está asociada con el plano del objeto inclinado 304a, mientras que la escena objetivo 305b está asociada con el plano del objeto inclinado 304b. La cámara plenóptica 310 de la Figura 3 puede ser sustancialmente similar a la cámara plenóptica 110 de la Figura 1, e incluye la capacidad de enfocar una imagen en cualquier plano independientemente de la orientación con respecto a la lente del objetivo.

[0040] Refiriéndose a la escena objetivo 305a, la Figura 3 ilustra los rayos de luz 306 que representan dos rayos de luz a modo de ejemplo a medida que los rayos de luz 306 se propagan a través de la cámara plenóptica 310 originándose en la escena objetivo 305a. Los rayos de luz 306 se enfocan en el plano inclinado de la imagen 321a, el plano inclinado de la imagen 320a no es paralelo y está inclinado con respecto a los componentes ópticos de la cámara plenóptica 310, para formar la imagen 322a. La distancia b puede ser sustancialmente igual a la distancia focal de una o más de las microlentes de la matriz de microlentes 325. Sin embargo, la distancia b no necesita ser igual a la distancia focal de las microlentes, son posibles otras disposiciones basadas en las características buscadas del dispositivo de formación de imágenes 300.

[0041] El plano de imagen no paralelo o inclinado 321a y el plano de la lente del objetivo 315 se cortan en un único punto, en lo sucesivo denominado la intersección de Scheimpflug 308a. El plano del objeto inclinado 304a también corta el plano de la lente del objetivo 315 en el mismo punto de intersección. La Figura 3 también ilustra una intersección de Scheimpflug 308b relacionada con la escena objetivo 305b a través de una relación similar a la descrita anteriormente con respecto a la escena objetivo 305a.

[0042] La Figura 4 ilustra una formación de imagen óptica para un plano del objeto inclinado en una escena objetivo. La Figura 4 representa una representación esquemática de la cámara plenóptica 310 para ilustrar la relación geométrica del plano inclinado de la imagen 321a y el plano del objeto inclinado 304a con respecto al plano de imagen 320 para nosotros en el procedimiento de renderizado de una imagen reenfocada en un plano inclinado de la imagen. En un modo de realización, el plano del objeto inclinado 304a, el plano de la lente del objetivo 315 y el plano inclinado de la imagen 321a formados dentro de la cámara plenóptica 310 se cortan en una intersección de Scheimpflug 308a, como se describió anteriormente con respecto a la Figura 3. La intersección de Scheimpflug 308a y los ángulos respectivos del plano del objeto inclinado 304a y el plano inclinado de la imagen 321a en relación con el plano de imagen 320 definen las bases usadas para determinar una perspectiva o transformación rotacional. Por ejemplo, el plano inclinado de la imagen 321a puede definir una base del plano inclinado de la imagen 405. El plano del objeto inclinado 304a puede definir una base del plano del objeto inclinado 410. El plano de imagen 320 puede definir una base fija 420 respecto a la cual se determinan relativamente la base de plano inclinado de la imagen 405 y la base de plano del objeto inclinado 410.

[0043] La Figura 4 también es una representación esquemática de la determinación de ubicaciones relativas de píxeles de cualquier punto seleccionado a lo largo del plano inclinado de la imagen 321a en un espacio bidimensional. La Figura 4 puede ser una representación esquemática ampliada de la matriz de microlentes 325 y el fotosensor 330 de la Figura 3. La Figura 4 representa una imagen 322a que tiene un plano inclinado de la imagen

321a, estando inclinado el plano inclinado de la imagen 321a con respecto al fotosensor 330. Como se ilustra en la Figura 4, un plano inclinado de la imagen a modo de ejemplo para reenfocar la imagen puede tener una base del plano inclinado de la imagen 405, en el que la base del plano inclinado de la imagen está inclinada con respecto a la base fija 420 en el mismo ángulo que el plano inclinado de la imagen 321a. En un modo de realización, una lente del objetivo 312 puede formar una imagen en 2D de una escena objetivo 305a en 2D usando una matriz de microlentes 325. En otros modos de realización, descritos en el presente documento, la imagen puede ser una imagen en 3D de una escena objetivo en 3D. La matriz de microlentes 325 puede ser sustancialmente similar a las matrices de microlentes 125 de la Figura 1.

[0044] La imagen en 2D 322a puede incluir múltiples puntos que componen la imagen 322a a lo largo del plano inclinado de la imagen 321a. La imagen puede comprender un número infinito de puntos de luz enfocada desde la escena objetivo. Para cualquier punto dado, los datos del campo de luz pueden obtenerse trazando rayos de luz del punto dado desde el plano de imagen a través de las diversas microlentes de la matriz de microlentes 325. Cada punto de la imagen 322a trazado a través de la matriz de microlentes 325 crea una microimagen correspondiente a cada microlente. Por ejemplo, la luz que traza el rayo desde el punto 323 a través de las microlentes 326a, 326b y 326c produce microimágenes (por ejemplo, la microimagen 331a). En algunos modos de realización, el número de microimágenes es el mismo que el número de microlentes, en el que cada microimagen corresponde o está asociada con una microlente particular.

[0045] Una vez que se captura una microimagen 331s en el fotosensor 330, el sistema de procesamiento de imágenes se puede configurar para determinar, a través del cálculo, una posición relativa de píxeles de la microimagen 331a en el fotosensor 330. Los datos del campo de luz pueden comprender la posición de píxel relativa determinada y los valores de intensidad de luz capturados por cada píxel del fotosensor 330. En algunos modos de realización, la posición relativa del píxel incluye datos espaciales y angulares de cada rayo de luz recibido por el fotosensor que genera la microimagen.

[0046] En algunos modos de realización, para enfocar una imagen en cualquier plano de imagen, el módulo de procesamiento de datos 180 de la Figura 1 puede configurarse, con la memoria 175 que almacena los datos del campo de luz y el procesador 170, para calcular los valores de desplazamiento. En una implementación, para enfocar en un plano inclinado de la imagen, las posiciones relativas de los píxeles se calculan trazando un rayo de luz desde cada píxel en el plano inclinado de la imagen hasta las microimágenes y determinando un valor de desplazamiento y la intensidad de los píxeles se calcula a partir de los datos de radiancia capturados por el fotosensor. Las posiciones relativas de los píxeles se pueden establecer a partir del trazado de un rayo de luz seleccionado a través de la cámara plenóptica 310. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 4, los desplazamientos para cualquier punto dado (por ejemplo, el punto 323) del plano inclinado de la imagen 321a se pueden calcular en base a la posición de píxeles dada con respecto al plano de imagen 320. Por ejemplo, para el punto 323, se puede calcular un valor de desplazamiento basado en las microimágenes generadas por la matriz de microlentes 325 y capturadas por el fotosensor 330. Los valores de desplazamiento para el punto 323 se pueden combinar con valores de intensidad para el punto dado para generar los datos de campo de luz en el fotosensor 330. La imagen final, que se enfoca en el plano inclinado de la imagen 321a, se renderiza a continuación mediante el módulo de renderizado 190 de la Figura 1 utilizando los datos del campo de luz para todos los puntos a lo largo del plano inclinado de la imagen 321a de acuerdo con la descripción anterior para la Figura 2.

[0047] La disposición geométrica para determinar los desplazamientos se ilustra adicionalmente en la Figura 4. La Figura 4 ilustra que el fotosensor 330 está a una distancia b de la matriz de microlentes 325 y el plano inclinado de la imagen 321a corta el eje óptico 395 a una distancia a de la matriz de microlentes 325. El punto de intersección del plano inclinado de la imagen 321a y el eje óptico 395 se establece como el origen de la geometría (por ejemplo, un punto de (0, 0, 0) en un plano de coordenadas X, Y, Z). El punto 323 como coordenadas de (x, y, z). Como se muestra en la Figura 4, las microlentes de la matriz de microlentes tienen un tamaño de μ . En algunos modos de realización, el tamaño es un diámetro de una microlente, donde las microlentes son circulares. Se entenderá que otras formas son posibles.

[0048] La geometría mostrada en la Figura 4 puede ser utilizada por el módulo de procesamiento de datos 180 y/o el procesador 170 para determinar los valores de desplazamiento (por ejemplo, la distancia a la que un punto 323 está desplazado desde el punto en el plano de imagen 320). Por ejemplo, la microimagen 331a se forma trazando rayos de luz desde el punto 323 a través de la microlente 326a y hasta el fotosensor 330. El desplazamiento del punto 323 puede determinarse usando el principio de triángulos similares:

$$\frac{\Delta\eta_i}{b} = \frac{Y_i - Y}{a + Z} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde $\Delta\eta_i$ es la altura de la microimagen 331a determinada por el fotosensor 330, b es la distancia entre la microlente 326a y el fotosensor 330, Y_i es la distancia desde el centro de la microlente 326a al eje óptico, Y es el valor de la coordenada Y de la ubicación del punto 323, a es la distancia como se describió anteriormente, y Z es el valor de la coordenada Z de la ubicación del punto 323. De la ec. 1 el desplazamiento del punto 323 desde el

plano de imagen 320 puede calcularse en un plano 2D. Si bien la descripción anterior hacía referencia a un solo punto, se entenderá que se puede realizar el mismo proceso para cada punto de la imagen 322a a lo largo del plano inclinado de la imagen 321a, del cual puede haber un número infinito de puntos. Una vez que se calculan los valores de desplazamiento de cada punto, los puntos de desplazamiento pueden introducirse como datos de posición relativa y combinarse con datos de intensidad para proporcionar datos del campo de luz a la memoria 175. A partir de lo cual, el módulo de renderizado 190 puede configurarse para renderizar una imagen a lo largo del plano inclinado de la imagen 321a.

[0049] El mismo proceso puede realizarse para cualquier plano inclinado de la imagen. Por ejemplo, para los desplazamientos relativos en 3D desde el centro de las microlentes se puede establecer un enfoque similar. Sin embargo, la aplicación de la ecuación para determinar los desplazamientos en 3D es la siguiente:

$$\frac{(\xi_i, \eta_i)}{b} = \frac{(X_i, Y_i) - (X, Y)}{a + Z} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde ξ_i, η_i son valores de desplazamiento en las direcciones X e Y, respectivamente, desde el centro de la i -ésima microlente usando la i -ésima microimagen que tiene coordenadas X_i e Y_i .

[0050] El plano inclinado de la imagen que está enfocado y que se busca renderizar puede expresarse mediante dos parámetros. Estos dos parámetros representan el vector normal de los planos en coordenadas esféricas. Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 5, el ángulo ϕ representa una dirección en la que el plano está inclinado a lo largo de un eje de rotación de control (por ejemplo, el eje Z en la Figura 5) y el ángulo θ representa la cantidad de inclinación para la dirección elegida (por ejemplo, la rotación del plano desde el paralelo al eje Z que se muestra en la Figura 5).

[0051] El dispositivo de formación de imágenes 100 de la Figura 1 puede configurarse para renderizar píxeles en función del plano inclinado de la imagen, y las coordenadas de los puntos de una imagen se designan con respecto a la base del plano inclinado. En consecuencia, la radiancia capturada desde el plano inclinado de la imagen y el plano de la lente del objetivo se encuentran en diferentes bases, por ejemplo, la base del plano inclinado de la imagen puede tener algún ángulo con respecto a la base de la lente del objetivo (por ejemplo, el plano inclinado de la imagen y el plano del sensor de la Figura 4). Por lo tanto, el sistema de cámara se puede configurar para determinar y establecer una relación entre estas dos bases en función del ángulo relativo entre ambas bases. Por ejemplo, los planos x, y y z de la Figura 6 representan la base del plano inclinado de la imagen y los planos X, Y y Z de la Figura 6 representan la base del plano de la lente del objetivo. La relación de X, Y y Z con respecto a x, y y z puede establecerse utilizando ángulos de Euler con una cantidad conocida de inclinación.

[0052] La Figura 6 ilustra una disposición a modo de ejemplo que usa ángulos de Euler con ángulos de rotación ($\phi, \theta, -\phi$), para la secuencia del eje de rotaciones (z, y', z'') que corresponde a un ángulo de inclinación de la representación del plano de imagen mencionado.

[0053] A partir de los ángulos de Euler ilustrados en la Figura 6, se puede obtener una matriz de transformación de la rotación correspondiente, representada por el número R:

$$R = R_{z''}(-\phi) * R_{y'}(\theta) * R_z(\phi) \quad \text{Ec. 3}$$

[0054] Esta matriz de transformación de rotación se puede evaluar de la siguiente manera:

$$R = \begin{pmatrix} \cos \theta \cos^2 \phi + \sin^2 \phi & \cos \phi \sin \phi (\cos \theta - 1) & -\cos \phi \sin \theta \\ \cos \phi \sin \phi (\cos \theta - 1) & \cos \theta \sin^2 \phi + \cos^2 \phi & -\sin \phi \sin \theta \\ \sin \theta \cos \phi & \sin \theta \sin \phi & \cos \theta \end{pmatrix} \quad \text{Ec. 4}$$

[0055] La transformación de rotación se puede escribir como $v = R * W$, donde:

$$v = (x, y, z)^T \text{ y } W = (X, Y, Z)^T \quad \text{Ec. 5}$$

[0056] Donde T indica la transposición de las funciones v y W. Por ejemplo, las filas se transponen a columnas.

$$W = R^{-1} * v = (R_{z''}(-\phi) * R_{y'}(\theta) * R_z(\phi))^{-1} * v \\ = (R_{z''}(-\phi) * R_{y'}(-\theta) * R_z(\phi)) * v \quad \text{Ec. 7}$$

[0057] En el modo de realización descrito en el presente documento, la matriz inversa de la ec. 7 puede determinarse sustituyendo $-\theta$ en lugar de θ en la ec. 7. En algunos modos de realización, esto puede interpretarse como una transformación a la base original y puede obtenerse a partir de una base inclinada inclinando un ángulo negativo con el mismo eje de inclinación.

[0058] Usando las ecuaciones anteriores, se pueden sustituir los siguientes valores. Para un punto en el plano de imagen de $z = 0$, Z en la base original se puede determinar por:

$$Z = (x \operatorname{sen}(-\theta) \cos \varphi + y \operatorname{sen}(-\theta) \operatorname{sen} \varphi + 0 * \cos \theta) \quad \text{Ec. 8}$$

[0059] En consecuencia, la ec. 2 se puede obtener de la siguiente manera:

$$\frac{(\xi_i, \eta_i)}{b} = \frac{b * (X_i, Y_i) - (X, Y)}{a - (x \operatorname{sen} \theta \cos \varphi + y \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \varphi)} \quad \text{Ec. 9}$$

[0060] Los valores del numerador pueden sustituirse de la ec. 4, que da como resultado:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta \cos^2 \varphi + \operatorname{sen}^2 \varphi & \cos \varphi \operatorname{sen} \varphi (\cos \theta - 1) \\ \cos \varphi \operatorname{sen} \varphi (\cos \theta - 1) & \cos \theta \operatorname{sen}^2 \varphi + \cos^2 \varphi \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad \text{Ec. 10}$$

[0061] En algunos modos de realización, el valor de a , por ejemplo, la distancia desde un plano de imagen no inclinado a la matriz de microlentes, puede ser variable de acuerdo con el mecanismo de ajuste 160 de la Figura 1 basado en la interacción del usuario. En consecuencia, para una configuración con microlentes que tienen un tamaño de μ , la ecuación de disparidad es:

$$\frac{b}{a} = \frac{\text{Paso}}{\mu} \quad \text{Ec. 11}$$

donde *Paso* es la disparidad de un punto visto desde dos microlentes adyacentes.

[0062] Aplicando la ec. 11, las posiciones finales de un punto en las microimágenes se pueden calcular como

$$\xi_i = \frac{\text{Paso} * (X_i - ((\cos \theta \cos^2 \varphi + \operatorname{sen}^2 \varphi) * x + (\cos \varphi \operatorname{sen} \varphi (\cos \theta - 1)) * y))}{\mu \left(1 - \frac{(x \operatorname{sen} \theta \cos \varphi + y \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \varphi) \text{Paso}}{\mu b} \right)} \quad \text{Ec. 12}$$

$$\eta_i = \frac{\text{Paso} * (Y_i - ((\cos \varphi \operatorname{sen} \varphi (\cos \theta - 1)) * x + (\cos \theta \operatorname{sen}^2 \varphi + \cos^2 \varphi) * y))}{\mu \left(1 - \frac{(x \operatorname{sen} \theta \cos \varphi + y \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \varphi) \text{Paso}}{\mu b} \right)} \quad \text{Ec. 13}$$

[0063] Las Figuras 7A-C son diagramas de flujo de un procedimiento 700 para visualizar una imagen enfocada en un plano inclinado de la imagen de acuerdo con un modo de realización. El procedimiento 700 puede realizarse mediante el dispositivo de formación de imágenes 100 de la Figura 1 y/o el dispositivo de formación de imágenes 300 de las Figuras 3 y 4. En algunos modos de realización, el procedimiento de visualización de una imagen enfocada en un plano inclinado de la imagen puede ser realizado por la cámara plenóptica 110 o 310 de las Figuras 1, 3 y 4 en comunicación con cualquiera de los módulos del sistema de procesamiento de imágenes 140. El procedimiento puede implementarse como una solución de software mediante la memoria 175 o implementarse en otra parte del dispositivo de formación de imágenes 100 o 300, por ejemplo, uno o más procesadores ejecutados por un dispositivo lógico en el procesador 170.

[0064] El procedimiento 700 comienza en un bloque de inicio 705 y luego se mueve al bloque 710, donde el dispositivo de formación de imágenes recibe luz de una escena mediante una lente del objetivo y enfoca la luz en un plano de imagen. La lente del objetivo puede comprender uno o más elementos ópticos para enfocar una imagen en el plano de imagen, por ejemplo, el plano de imagen 120 de la Figura 1 o el plano de imagen 320 de la Figura 3. En algunos modos de realización, la lente del objetivo tiene un plano de la lente del objetivo y la escena puede tener un plano del objeto que está inclinado con relación al plano de la lente del objetivo. En un modo de realización, la luz de la escena se recibe y enfoca cuando el usuario opera un dispositivo de entrada para iniciar la toma de una fotografía o la grabación de una escena. En un modo de realización, el plano de la lente del objetivo y el plano de imagen son paralelos.

[0065] Después de que el dispositivo de formación de imágenes recibe la luz de la escena, el procedimiento 700 se mueve al bloque 720, donde la luz que se propaga a través de la lente del objetivo se recibe en un sensor. En un modo de realización, el sensor está ubicado en un plano del sensor e incluye una pluralidad de elementos

sensores de luz configurados para medir y detectar la luz incidente sobre el mismo. En un modo de realización, el plano del sensor es paralelo al plano de la lente del objetivo.

5 **[0066]** Después de que el sensor recibe la luz a través de la lente del objetivo, el procedimiento 700 se mueve al bloque 730, donde los elementos sensores de luz generan datos de imagen basados en la luz recibida en el sensor. En un modo de realización, los datos de imagen se generan como resultado de la luz de la escena que pasa a través de la lente del objetivo y a través de un elemento óptico configurado para producir datos de campo de luz. Por ejemplo, una matriz de microlentes 125 de la Figura 1 o una matriz de microlentes de la Figura 3 puede estar dispuesta entre el sensor y la lente del objetivo para producir una pluralidad de microimágenes como se describió anteriormente. Cada microimagen puede ser recibida por los elementos sensores de luz del sensor, que pueden configurarse para generar una radiancia o cantidad de luz para cada microimagen, así como datos espaciales y angulares para cada microimagen en función de la cantidad de luz para cada rayo incidente en los elementos sensores de luz.

15 **[0067]** Después de que se generan los datos de imagen, el procedimiento 700 se mueve al bloque 740 donde se recibe un parámetro de inclinación. El parámetro de inclinación puede ser indicativo de una orientación de un plano de imagen inclinado o no paralelo seleccionado. El plano inclinado de la imagen tiene una orientación relativa al plano de la lente del objetivo de tal manera que existe un ángulo entre el plano inclinado de la imagen y el plano de la lente del objetivo. Como tal, los dos planos no son paralelos. En un modo de realización, el usuario puede operar los controles 155 de la Figura 1 para manipular el sistema de formación de imágenes 100 para seleccionar un parámetro de inclinación. El parámetro de inclinación puede almacenarse en la memoria 175 y recuperarse mediante el procesador 170. El parámetro de inclinación puede entonces ser recibido por el módulo de procesamiento de datos 180 para su uso en el procedimiento 700 como se detalla en el presente documento y se explica anteriormente con respecto a las Figuras 3-6.

25 **[0068]** Después de que se recibe el parámetro de inclinación, el procedimiento 700 se mueve al bloque del subprocedimiento 750, donde los datos de imagen se convierten en datos de imagen relativos basándose en el parámetro de inclinación recibido. En algunos modos de realización, los datos de imagen relativos son indicativos de una segunda imagen enfocada a lo largo del plano inclinado de la imagen que está relacionado con el parámetro de inclinación. En algunos modos de realización, la conversión de los datos de imagen en datos de imagen relativos se realiza de una manera sustancialmente similar a la descrita anteriormente con respecto a las Figuras 3-6. Por ejemplo, el módulo de procesamiento de datos 180 puede utilizar datos de imagen, parámetros de inclinación y la relación geométrica de los diversos planos para determinar una posición relativa de un punto de la segunda imagen. Este proceso se lleva a cabo en cada punto que compone los datos de imagen para producir múltiples puntos que conforman los segundos datos de imagen, a partir de los cuales la colección de puntos puede producir una trama en una grabación o una fotografía. El subprocedimiento del bloque de procedimientos 750 se explicará más adelante con respecto a las Figuras 7B y 7C.

35 **[0069]** Después de que los datos de imagen se convierten en segundos datos de imagen, el procedimiento 700 se mueve al bloque 760, donde se muestra la segunda imagen. La segunda imagen se muestra basándose en los segundos datos de imagen, y es una imagen de la escena enfocada en el plano inclinado de la imagen. Los segundos datos de imagen pueden ser convertidos por el módulo de procesamiento de datos 180, transmitidos a la memoria 175, recuperados por el módulo de renderizado 190 para que los datos de imagen puedan ser organizados y luego proporcionados para su visualización 150. La pantalla 150 puede configurarse para proporcionar una imagen visual al usuario de la escena según es producida por los segundos datos de imagen.

40 **[0070]** La Figura 7B es un diagrama de flujo del subprocedimiento 750 que se realiza para múltiples puntos que componen los datos de imagen, que comienza en el bloque de inicio 751 y luego se mueve al bloque 752. En el bloque 752, el dispositivo de formación de imágenes identifica un punto a lo largo del plano inclinado de la imagen. Por ejemplo, el módulo de procesamiento de datos 180 selecciona un punto que se encuentra en el plano inclinado de la imagen seleccionado.

45 **[0071]** Después de identificar y seleccionar un punto dado, el subprocedimiento 750 se mueve al bloque 753, donde los elementos sensores de luz miden los valores de radiancia de los rayos de luz emitidos desde el punto identificado. Por ejemplo, se pueden producir microimágenes en los elementos sensores de luz a partir de un elemento óptico (por ejemplo, una matriz de microlentes). Los elementos sensores de luz pueden configurarse para medir el valor de radiancia y almacenar ese valor como parte de los datos de imagen.

50 **[0072]** Después de medir el valor de radiancia, el subprocedimiento 750 se mueve al bloque de procedimiento 754, donde se determinan los datos direccionales para el punto identificado basándose en el parámetro de inclinación. El subprocedimiento 754 se explicará con más detalle a continuación con respecto a la Figura 7C. En algunos modos de realización, los datos direccionales se determinan como se explicó anteriormente con respecto a las Figuras 3-6 usando las transformaciones de perspectiva o rotacionales para determinar las coordenadas del punto en las diversas bases del plano de imagen fijas e inclinadas. Después de determinar los datos direccionales, el procedimiento 750 termina en el bloque final 755. El subprocedimiento 750 puede volver al procedimiento 700 y continuar al bloque 760.

[0073] La Figura 7C es un diagrama de flujo del subprocedimiento 754 para determinar datos direccionales basados en el parámetro de inclinación, que comienza en el bloque de inicio 755. El subprocedimiento 754 luego se mueve al bloque 756, donde se determina un desplazamiento para el punto identificado en función del parámetro de inclinación. Por ejemplo, el desplazamiento para el punto puede determinarse a partir de microimágenes producidas por un elemento óptico (por ejemplo, la matriz de microlentes 125 o 25 de las Figuras 1 y 3, respectivamente). En otro modo de realización, el desplazamiento puede obtenerse geoméricamente en base a la orientación del plano inclinado de la imagen con relación al plano de imagen. La obtención del desplazamiento puede ser sustancialmente similar a la manera descrita anteriormente con respecto a las Figuras 3-6.

[0074] Después de determinar el desplazamiento del punto, el subprocedimiento 754 se mueve al bloque 757 donde el desplazamiento está asociado con al menos un valor de radiancia del punto para el que se determina el desplazamiento. El módulo de procesamiento de datos 180 y/o el módulo de renderizado 190 pueden configurarse para asociar el valor de radiancia y los puntos de datos de desplazamiento para crear los segundos datos de imagen. Después de asociar el valor de desplazamiento y de radiancia, el subprocedimiento 754 termina en el bloque final 758. El subprocedimiento 754 puede volver al procedimiento 700 y continuar al bloque 760.

[0075] En una implementación de los dispositivos y procedimientos de formación de imágenes divulgados en el presente documento, se incluye una interfaz de usuario (IU), que se puede incorporar en otras aplicaciones relacionadas con funcionalidades 3D (por ejemplo, videojuegos, estéreo o microscopía). En un modo de realización, la IU puede mostrarse en el visor/pantalla tal como la pantalla 150 de la Figura 1, y el contenido visualizado puede ser determinado y renderizado por el procesador 170 y/o el módulo de procesamiento de datos 180 de la Figura 1. Por ejemplo, el módulo de procesamiento de datos 180 puede configurarse para determinar posiciones relativas de píxeles a partir de los datos de campo de luz, la pantalla 150 puede configurarse para renderizar los valores de radiancia de cada píxel en una posición de píxel relativa para renderizar la imagen reenfocada. En un modo de realización, la IU puede configurarse para determinar un rectángulo que se renderizará en la pantalla y superponer el rectángulo en el plano que está enfocado en la escena. A este respecto, después de reenfocar la imagen capturada, el rectángulo puede colocarse en alguna perspectiva con respecto al plano del sensor, por lo que se muestra como un cuadrilátero (después de una transformación de perspectiva). En algunos modos de realización, el rectángulo se coloca de acuerdo con la orientación del plano de imagen, por ejemplo, el rectángulo se puede colocar en base a la orientación de un plano inclinado de la imagen con respecto a la lente del objetivo. Como tal, el rectángulo puede ser indicativo de un plano de imagen actual que está enfocado.

[0076] En un modo de realización, la escena capturada incluye datos de campo de luz como se detalla anteriormente. La escena se enfoca de acuerdo con un plano de imagen dado, que puede estar en cualquier orientación con respecto al plano de la lente del objetivo. El plano de imagen podría ser paralelo al plano de la lente, inclinado en relación con el plano de la lente de acuerdo con el principio de Scheimpflug, o enfocado en el infinito (por ejemplo, el horizonte lejano parecería enfocado).

[0077] Como se describió anteriormente con respecto a las Figuras 4-6, la perspectiva o la matriz de transformación de rotación (ver Ec. 4) se calcula en función de la relación geométrica de la lente del objetivo y el plano de imagen que se busca enfocar, creando así un campo de luz dentro de la cámara. Cuando se captura una escena real como una imagen en el campo de luz (por ejemplo, en el plano de imagen), la imagen se enfoca en un plano de imagen y la cámara la muestra. El plano de imagen correspondiente a la imagen mostrada corresponde a un plano real en la escena capturada. En algunos modos de realización, para un atractivo visual, la cámara puede configurarse para mostrar un plano de imagen virtual que corresponde al plano de imagen enfocado mientras que el resto de la imagen capturada está desenfocada. El plano de imagen virtual puede representarse como un rectángulo que tiene la transformación de perspectiva aplicada al mismo, de acuerdo con esto, y el rectángulo puede ilustrarse como un cuadrilátero en el espacio en 2D.

[0078] Con los controles de inclinación de Scheimpflug descritos anteriormente, puede ser difícil visualizar un plano inclinado que esté enfocado en la imagen mostrada. El plano inclinado de la imagen puede coincidir con un plano real o un plano rectangular en la escena, el plano de imagen puede verse obstaculizado por algún objeto en la escena, o puede no haber ningún objeto en el plano que esté enfocado.

[0079] En algunos modos de realización, para la visualización de la imagen, la cámara supone un rectángulo fijo virtual en la escena. El plano rectangular se puede representar en la imagen obtenida y mostrada por la cámara usando la transformación de rotación (ver la Ec. 4). La transformación de rotación se puede obtener en base al ángulo de inclinación u orientación geométrica de un plano de imagen dado en relación con el plano de la lente del objetivo, como se ha detallado anteriormente con respecto a las Figuras 4-6. Este rectángulo también se puede superponer en una imagen enfocada, donde el plano de enfoque puede estar relacionado con cualquier orientación del plano de imagen, con un cierto nivel de transparencia para permitir la visualización sin inhibiciones de la escena capturada mientras se visualiza el rectángulo superpuesto. El tamaño del rectángulo puede ser indicativo de la profundidad de enfoque en la imagen. Por ejemplo, un rectángulo más grande puede indicar que el plano de imagen enfocado está más cerca del dispositivo de formación de imágenes. Un tamaño de rectángulo más pequeño puede indicar que el plano de imagen enfocado está más alejado del dispositivo de formación de imágenes. Un tamaño

de rectángulo de cero puede indicar que el plano de imagen enfocado está en el infinito. La cámara puede ajustar el rectángulo superpuesto a una forma distorsionada cuando el plano de imagen está inclinado con relación al plano de la lente (por ejemplo, un cuadrilátero que representa el plano de imagen, como se muestra a continuación en las Figuras 8-11). Si el plano de imagen está inclinado horizontal o verticalmente, se conserva uno de los paralelismos en una dirección no inclinada y el rectángulo forma una imagen como un trapecio.

[0080] Debido al elemento óptico de la cámara, el plano de imagen renderizada se puede correlacionar con diferentes planos de la imagen colocados entre la lente del objetivo y el sensor con cualquier orientación. Estos planos de la imagen y rectángulos superpuestos pueden determinarse según el principio de Scheimpflug. Por ejemplo, los ángulos entre el plano de imagen y la lente del objetivo se pueden estimar con base en el principio de Scheimpflug.

[0081] Con referencia a la Figura 4, se ilustra una vista esquemática de la cámara plenóptica 310 para una formación de imagen óptica de un plano inclinado del objeto 304a en una escena objetivo. El plano inclinado del objeto 304a, el plano de la lente del objetivo 315 y el plano inclinado de la imagen 321a formados dentro de la cámara plenóptica 310 se cortan en una intersección de Scheimpflug 308a. Por ejemplo, un rectángulo en el plano inclinado del objeto 304a se puede representar con dos pares de líneas paralelas o cuatro puntos. Los puntos pueden tener coordenadas en la base 410 del plano inclinado del objeto (por ejemplo, la base $x'y'z'$). Como se muestra en la Figura 4, para un punto dado p' en la base 410 del plano inclinado del objeto $x'y'z'$, el dispositivo de formación de imágenes puede configurarse para determinar una imagen correspondiente formada por la lente del objetivo 312 en la base 405 del plano inclinado de la imagen (por ejemplo, x, y, z) definiendo un punto p . Debe tenerse en cuenta que el renderizado de la imagen actual ocurre en la base del plano inclinado de la imagen x, y, z 405.

[0082] La Figura 8 es un diagrama de flujo de un procedimiento para determinar las coordenadas de una imagen formada en la base del plano de imagen por la lente del objetivo de una escena objetivo en la base del plano del objeto. Por ejemplo, un punto dado (por ejemplo, p') en el plano inclinado del objeto 304a, la lente principal forma un punto correspondiente (por ejemplo, p) en el plano inclinado de la imagen 321a. El procedimiento 800 es un procedimiento a modo de ejemplo para determinar las coordenadas del punto p en el plano de imagen en base a las coordenadas conocidas del punto p' en el plano del objeto. El procedimiento 800 puede llevarse a cabo por el dispositivo de formación de imágenes 100 de la Figura 1. En algunos modos de realización, el procedimiento 800 puede ser realizado por componentes de la óptica 113 en comunicación con cualquiera de los componentes del sistema de procesamiento de imágenes 140. El procedimiento puede implementarse como una solución de software mediante la memoria 175 o implementarse en otro lugar mediante el sistema de procesamiento de imágenes 140, por ejemplo, uno o más procesadores ejecutados por un dispositivo lógico en el procesador 170. En algunos modos de realización, el procedimiento 800 puede realizarse después de determinar un plano inclinado de la imagen y una imagen reenfozada se visualiza en la pantalla 150.

[0083] El procedimiento comienza en el bloque 810 y pasa al bloque 820. En el bloque 820, el procedimiento 800 selecciona un punto (por ejemplo, el punto p') a lo largo del plano inclinado del objeto 304a. En algunos modos de realización, el punto puede tener al menos un punto que forma un rectángulo para superponerse en una imagen formada en el plano inclinado de la imagen 321a. Después de seleccionar el punto p' , el proceso pasa al bloque 820, donde se determina el ángulo del plano del objeto. En un modo de realización, el plano del objeto puede tener un ángulo de inclinación de $\psi - \theta$, donde el plano inclinado de la imagen dado tiene un ángulo de inclinación θ como se ilustra en la Figura 4.

[0084] Después de determinar el ángulo del plano del objeto, el procedimiento pasa al bloque 830, donde la base se convierte para el punto seleccionado p' , desde la base del plano inclinado del objeto 410 a la base fija 420. Esto produce un punto P que tiene coordenadas definidas en la base fija 420. Después de determinar el punto P en la base fija 420, el procedimiento 800 pasa al bloque 840 donde el dispositivo de formación de imágenes determina el punto P . El punto P , que tiene coordenadas en la base fija 420, es un punto a lo largo del plano de imagen correspondiente al punto P' que resulta de un trazado de rayos desde el objeto objetivo a través de la lente del objetivo 312 de la Figura 4, y sobre el plano inclinado de la imagen 321a. En un modo de realización, el punto P se determina a través de una transformación de lente basada en las características físicas de la lente del objetivo 312.

[0085] Después de determinar las coordenadas del punto P en la base fija 840, el procedimiento 800 avanza al bloque 850, donde las coordenadas del punto P se convierten de la base fija 420 a la base del plano inclinado de la imagen 405. La conversión entre la base fija a la base del plano de imagen determina que un punto p tenga una posición en la base del plano inclinado de la imagen 405 definida por coordenadas en la base del plano inclinado de la imagen 405. En algunos modos de realización, las coordenadas del punto p definen la ubicación del punto p' en la imagen mostrada en la pantalla 150 de la Figura 1. En algunos modos de realización, el procedimiento descrito en referencia a la Figura 8 puede realizarse para cualquier número de puntos a lo largo del plano del objeto y puede usarse para definir cualquier forma que se superpondrá en la imagen visualizada. Una vez que el procedimiento 800 convierte las coordenadas del punto P de la base fija a la base del plano de imagen, el procedimiento 800 termina en el bloque 860.

[0086] Una descripción a modo de ejemplo del procedimiento 800 se describe a continuación con respecto a la Figura 4. Por ejemplo, cuando un plano inclinado de la imagen 321a está inclinado un ángulo ϕ , el plano inclinado del objeto 304a correspondiente puede inclinarse en una dirección relacionada geoméricamente. La relación geométrica se ilustra en la Figura 4 en el plano determinado por ϕ . Usando el principio de Scheimpflug con la geometría de la Figura 4, las tangentes de los ángulos θ y $(\psi - \theta)$ se muestran proporcionales entre sí. Por ejemplo,

$$\frac{\tan(\theta)}{\tan(\psi - \theta)} = \frac{v}{u} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde $\psi - \theta$ es el ángulo definido en la intersección de Scheimpflug 308a entre el plano de la lente del objetivo 315 y el plano inclinado del objeto 304a. El ángulo ψ es el ángulo entre el plano inclinado del objeto 304a y el plano inclinado de la imagen 321a, θ es el ángulo definido entre el plano de la lente del objetivo 315 y el plano inclinado de la imagen 321a, v es la distancia entre el punto en el que el plano inclinado de la imagen 321a corta el eje óptico 395 y el plano de la lente del objetivo 315, y u es la distancia entre la intersección del plano inclinado de la imagen 321a y el eje óptico 395 y el plano de la lente del objetivo 315. Donde la relación $\psi - \theta$ se puede calcular para un uso posterior.

[0087] Para la conversión de coordenadas entre las diferentes bases, se puede usar el enfoque de ángulo de Euler, como se ha detallado anteriormente con respecto a las Figuras 5-7C, y las fórmulas se pueden obtener de manera similar. Por lo tanto, para un punto p' , la conversión de base de $x'y'z'$ a XYZ, por un ángulo de inclinación negativo $\psi - \theta$, con una dirección de inclinación de ϕ , y una inclinación con respecto al punto $(0,0, (u + v))$ como el origen es:

$$P' = ((Rz''(-\phi) * Ry'((\psi - \theta)) * Rz(\phi)) * p') + (0,0, (u + v)) \quad \text{Ec. 15}$$

[0088] Del análisis anterior, el plano inclinado de la imagen 321a se forma como $(a, b, c) * (X, Y, Z)^T = 0$ (por ejemplo, el plano normal es $n = (a, b, c)$ donde $a = \sin(-\theta)\cos\phi$, $b = \sin(-\theta)\sin\phi$, $c = \cos\theta$). En consecuencia, el punto de la imagen P puede determinarse (por ejemplo, el bloque 840 de la Figura 8) intersecando un rayo 303 que pasa por el centro de la lente del objetivo 312 en $(0,0, v)$ y el punto P' (por ejemplo, el punto del plano del objeto).

[0089] A continuación, la ecuación paramétrica de rayos se puede escribir como:

$$(0,0, v) + s * ((Rz''(-\phi) * Ry'((\psi - \theta)) * Rz(\phi)) * p') + (0,0, u) \quad \text{Ec. 16}$$

[0090] Y, al resolver la ecuación paramétrica en el bloque 840 de la Figura 8, las coordenadas del punto de intersección P pueden calcularse para ser:

$$X_i = \frac{x' * c v}{ax' + by' + cz'} \quad \text{Ec. 17}$$

$$Y_i = \frac{y' * c v}{ax' + by' + cz'} \quad \text{Ec. 18}$$

$$Z_i = v - \frac{z' * c v}{ax' + by' + cz'} \quad \text{Ec. 19}$$

[0091] Dado que estas ecuaciones se resuelven en la base fija (X, Y, Z) 420, para encontrar la posición de píxeles correspondiente en la pantalla (por ejemplo, la pantalla 150) de la imagen renderizada, en el bloque 850 la base fija 420 se convierte a la base del plano inclinado de la imagen 405. La base del plano inclinado de la imagen 405 puede definirse por una inclinación θ en la dirección ϕ . La relación anterior de Euler establecida en la ec. 3 se puede reutilizar, lo que proporciona lo siguiente:

$$p = (Rz''(-\phi) * Ry'(\theta) * Rz(\phi)) * P \quad \text{Ec. 20}$$

[0092] Por lo tanto, usando el procedimiento 800 como se ha descrito anteriormente, comenzando con un punto dado en un plano inclinado del objeto, se puede determinar y mostrar una imagen correspondiente en una imagen enfocada en un plano inclinado de la imagen. En algunos modos de realización, las cuatro esquinas de un rectángulo correspondiente al plano inclinado de la imagen pueden determinarse aplicando la transformación rotacional a los puntos seleccionados a lo largo del plano inclinado del objeto para convertir los puntos entre bases inclinadas en base a la relación geométrica como se detalla en el presente documento.

- 5 [0093] En algunos modos de realización, el valor de la distancia entre la imagen formada y el elemento óptico puede controlarse mediante el paso en el mecanismo de ajuste 160 de la Figura 1. Dado que la distancia desde la lente del objetivo al elemento óptico se fija para cada configuración y captura de imagen (por ejemplo, una distancia D), la distancia de imagen formada por la lente del objetivo se puede determinar mediante $u + a = D$. Es posible que se necesiten realizar cálculos adecuados al calcular distancias y conversiones de milímetro a píxel. Por ejemplo, las imágenes pueden estar en unidades de píxel y las distancias pueden estar en unidades de milímetro, por lo tanto, los píxeles de la imagen sin procesar pueden estar en diferentes unidades y puede ser necesario tener el cuidado adecuado para convertir entre las diferentes unidades.
- 10 [0094] Las Figuras 9A-D ilustran el plano rectangular superpuesto en una escena visualizada. Se muestra un modo de realización de un dispositivo de formación de imágenes que tiene una ventana de visualización 900 que muestra una escena objetivo a través de imágenes capturadas 905a (Figura 9A), 905b (Figura 9B), 905c (Figura 9C) y 905d (Figura 9D), cada una representando la misma escena enfocada en varios planos inclinados de la imagen. En un modo de realización, el plano inclinado de la imagen está representado por un trapecio transparente o parcialmente transparente 930a-d. El trapecio representa el plano rectangular superpuesto en las imágenes 905a-d. La ventana de visualización 900 puede estar en una pantalla 150 o desde un dispositivo como el dispositivo de formación de imágenes 100 de la Figura 1, que incluye una cámara de vídeo, teléfono móvil, tableta, ordenador, etc.
- 15 [0095] Las Figuras 9A-9D ilustran una gaviota 920 encaramada sobre una barandilla 910 con un poste 940 al lado de la gaviota 920. Además, incluida en cada imagen, pero solo representado en la Figura 9D, una segunda gaviota 950 está encaramada en la barandilla 910 más lejos del dispositivo de formación de imágenes utilizado para capturar o grabar la imagen 905. En algunos modos de realización, la ventana de visualización 900 puede mostrar imágenes capturadas o grabadas por el dispositivo de formación de imágenes, donde la imagen capturada o grabada está enfocada a lo largo de un plano de imagen representado por el trapecio 930a-d. Por ejemplo, la Figura 9A ilustra una imagen capturada o grabada donde la imagen está enfocada a lo largo de un plano de imagen representado por el trapecio 930a, de modo que las patas de la gaviota 920 y una región de agua inclinada están enfocadas. La Figura 9B ilustra una imagen capturada o grabada en la que la imagen está enfocada a lo largo de un plano de imagen representado por el trapecio 930b, donde el plano de imagen está inclinado solo a lo largo del eje de rotación Y. La Figura 9C ilustra una imagen capturada o grabada en la que la imagen está enfocada a lo largo de un plano de imagen representado por el trapecio 930c, donde el plano de imagen está inclinado solo a lo largo del eje de rotación X de modo que la cola de la gaviota 920 y la parte inferior del poste 940 estén enfocados. La Figura 9D ilustra una imagen capturada o grabada donde la imagen está enfocada a lo largo de un plano de imagen representado por el trapecio 930d, donde el plano de imagen está posicionado efectivamente a una distancia del dispositivo de formación de imágenes (por ejemplo, un pequeño trapecio 930d) e inclinado de tal manera que solo la barandilla 910 está enfocada a la vez que permite que la gaviota 950 se vea en un extremo lejano de la barandilla de madera.
- 20 [0096] Las implementaciones divulgadas en el presente documento proporcionan sistemas, procedimientos y aparatos para alinear activa y óptimamente un sistema óptico durante el ensamblaje. Un experto en la técnica reconocerá que estos modos de realización pueden implementarse en hardware, software, firmware o en cualquier combinación de los mismos.
- 25 [0097] Los expertos en la técnica apreciarán, además, que los diversos bloques lógicos, módulos, circuitos y etapas de proceso ilustrativos descritos en relación con las implementaciones divulgadas en el presente documento pueden implementarse como hardware electrónico, software informático o combinaciones de ambos. Para ilustrar claramente esta intercambiabilidad de hardware y software, anteriormente se han descrito, en general, diversos componentes, bloques, módulos, circuitos y etapas ilustrativos, en lo que respecta a su funcionalidad. Que dicha funcionalidad se implemente como hardware o software depende de la aplicación particular y de las restricciones de diseño impuestas en el sistema general. Los expertos en la técnica pueden implementar la funcionalidad descrita de formas distintas para cada aplicación particular, pero no debería interpretarse que dichas decisiones de implementación suponen apartarse del alcance de la presente invención. Un experto en la técnica reconocerá que una porción, o una parte, puede comprender algo menos o igual que un todo. Por ejemplo, una porción de una colección de píxeles puede referirse a una subcolección de esos píxeles.
- 30 [0098] En algunos modos de realización, los circuitos, los procesos y los sistemas analizados anteriormente pueden utilizarse en un dispositivo de comunicación inalámbrica. El dispositivo de comunicación inalámbrica puede ser un tipo de dispositivo electrónico usado para comunicarse de forma inalámbrica con otros dispositivos electrónicos. Entre los ejemplos de dispositivos de comunicación inalámbrica se incluyen teléfonos celulares, teléfonos inteligentes, asistentes digitales personales (PDA), lectores electrónicos, sistemas de juegos, reproductores de música, netbooks, módems inalámbricos, ordenadores portátiles, dispositivos de tableta, etc.
- 35 [0099] El dispositivo de comunicación inalámbrica puede incluir uno o más sensores de imagen, dos o más procesadores de señales de imagen, una memoria que incluye instrucciones o módulos para llevar a cabo el proceso analizado anteriormente. El dispositivo también puede tener datos, un procesador que carga instrucciones y/o datos de la memoria, uno o más dispositivos de entrada, uno o más dispositivos de salida tales como un

dispositivo de visualización y una interfaz/fuente de alimentación. El dispositivo de comunicación inalámbrica puede incluir adicionalmente un transmisor y un receptor. El transmisor y el receptor se pueden denominar conjuntamente un transceptor. El transceptor puede estar acoplado a una o más antenas para transmitir y/o recibir señales inalámbricas.

5

[0100] Las funciones descritas en el presente documento se pueden almacenar como una o más instrucciones en un medio legible por procesador o legible por ordenador. La expresión "medio legible por ordenador" se refiere a cualquier medio disponible al que se pueda acceder mediante un ordenador o un procesador. A modo de ejemplo, y no de limitación, dicho medio puede comprender RAM, ROM, EEPROM, memoria flash, CD-ROM u otro almacenamiento en disco óptico, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que se pueda usar para almacenar un código de programa deseado en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que se pueda acceder mediante un ordenador. Los discos, como se usan en el presente documento, incluyen el disco compacto (CD), el disco láser, el disco óptico, el disco versátil digital (DVD), el disco flexible y el disco Blu-ray®, donde algunos discos reproducen normalmente los datos de forma magnética, mientras que otros discos reproducen los datos de forma óptica con láseres. Cabe destacar que un medio legible por ordenador puede ser tangible y no transitorio. La expresión "producto de programa informático" se refiere a un dispositivo o procesador de computación junto con un código o instrucciones (por ejemplo, un "programa") que puede ejecutarse, procesarse o computarse mediante el dispositivo o procesador de computación. Como se usa en el presente documento, el término "código" puede referirse a software, instrucciones, código o datos que son ejecutables por un dispositivo o procesador de computación.

10

15

20

[0101] Los procedimientos divulgados en el presente documento comprenden una o más etapas o acciones para lograr el procedimiento descrito. Las etapas y/o acciones de procedimiento se pueden intercambiar entre sí sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. En otras palabras, a menos que se requiera un orden específico de etapas o acciones para un funcionamiento apropiado del procedimiento que se describe, el orden y/o el uso de las etapas y/o acciones específicas se puede modificar sin apartarse del alcance de las reivindicaciones.

25

[0102] Habría que señalar que los términos "acoplar", "acoplamiento", "acoplado" u otras variaciones de la palabra acoplar, como se usa en el presente documento, pueden indicar bien una conexión indirecta o bien una conexión directa. Por ejemplo, si un primer componente está "acoplado" a un segundo componente, el primer componente puede estar indirectamente conectado al segundo componente o conectado directamente al segundo componente. Como se usa en el presente documento, el término "pluralidad" denota dos o más. Por ejemplo, una pluralidad de componentes indica dos o más componentes.

30

[0103] El término "determinación" engloba una amplia variedad de acciones y, por lo tanto, "determinación" puede incluir el cálculo, la computación, el procesamiento, la obtención, la investigación, la consulta (por ejemplo, la consulta en una tabla, en una base de datos o en otra estructura de datos), la constatación y similares. Además, "determinación" puede incluir la recepción (por ejemplo, la recepción de información), el acceso, (por ejemplo, el acceso a datos de una memoria) y similares. Así mismo, "determinación" puede incluir la resolución, la selección, la elección, el establecimiento y similares.

35

40

[0104] La expresión "en base a" no significa "únicamente en base a", a menos que se especifique expresamente lo contrario. En otras palabras, la frase "en base a" describe tanto "únicamente en base a" y "al menos en base a".

45

[0105] En la descripción anterior, se dan detalles específicos para proporcionar una comprensión exhaustiva de los ejemplos. Sin embargo, un experto en la técnica entenderá que pueden llevarse a la práctica los ejemplos sin estos detalles específicos. Por ejemplo, los componentes/dispositivos eléctricos pueden mostrarse en diagramas de bloques con el fin de no oscurecer los ejemplos con detalles innecesarios. En otros casos, dichos componentes, otras estructuras y técnicas se pueden mostrar en detalle para explicar mejor los ejemplos.

50

[0106] Los títulos se incluyen en el presente documento para referencia y para facilitar la localización de diversas secciones. Estos títulos no pretenden limitar el alcance de los conceptos descritos con respecto a los mismos. Dichos conceptos pueden tener aplicabilidad a lo largo de toda la memoria descriptiva.

55

[0107] Además, se observa también que los ejemplos pueden describirse como un proceso, que se representa como un organigrama, un diagrama de flujo, un diagrama de estados finitos, un diagrama estructural o un diagrama de bloques. Aunque un diagrama de flujo puede describir las operaciones como un proceso secuencial, muchas de las operaciones pueden realizarse en paralelo o simultáneamente, y el proceso puede repetirse. Además, el orden de las operaciones se puede reorganizar. Un proceso termina cuando se acaban sus operaciones. Un proceso puede corresponder a un procedimiento, una función, un proceso, una subrutina, un subprograma, etc. Cuando un proceso se corresponde con una función de software, su finalización corresponde al retorno de la función a la función de llamada o a la función principal.

60

[0108] La descripción anterior de las implementaciones divulgadas se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica realice o use la presente invención. Diversas modificaciones de estas implementaciones

65

resultarán inmediatamente evidentes para los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en el presente documento pueden aplicarse a otras implementaciones sin apartarse del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de formación de imágenes que comprende:

5 una lente del objetivo colocada en un plano de la lente del objetivo, la lente del objetivo configurada para enfocar la luz recibida de una escena en un plano de imagen;

10 un sensor posicionado para recibir luz que se propaga a través de la lente del objetivo, teniendo el sensor una pluralidad de elementos sensores de luz dispuestos en una superficie del sensor en un plano del sensor, los elementos sensores de luz configurados para generar datos de imagen basándose en la luz recibida en el sensor, siendo el plano del sensor paralelo al plano de la lente del objetivo;

15 un elemento óptico posicionado para recibir luz que se propaga a través de la lente del objetivo y dispuesto entre el sensor y la lente del objetivo, el elemento óptico configurado para producir microimágenes de la escena en los elementos sensores de luz;

un procesador operativamente acoplado al sensor;

20 un componente de memoria, operativamente acoplado al procesador, el procesador y el componente de memoria configurados colectivamente para:

recibir los datos de imagen generados por los elementos sensores de luz, los datos de imagen indicativos de una primera imagen enfocada en el plano de imagen por la lente del objetivo,

25 recibir un parámetro de inclinación indicativo de una orientación de un plano de formación de imágenes seleccionado inclinado con relación al plano de la lente del objetivo, y

30 convertir los datos de imagen recibidos en datos de imagen relativos indicativos de una segunda imagen enfocada a lo largo de un plano de imagen no paralelo inclinado con relación al plano de imagen, el plano de imagen no paralelo basado en los parámetros de inclinación recibidos, para cada punto de una pluralidad de puntos a lo largo del plano de imagen no paralelo, mediante:

identificar un punto a lo largo de la imagen no paralela;

35 medir valores de radiancia en los elementos sensores de luz de los rayos de luz emitidos desde el punto; y

determinar datos direccionales basados en los valores de radiancia y el parámetro de inclinación para cada microimagen del punto mediante:

40 calcular un desplazamiento de punto obtenido geoméricamente basado en la orientación del plano inclinado de la imagen con relación al plano de imagen; y

45 asociar el desplazamiento con al menos un valor de radiancia de la microimagen usada para calcular el desplazamiento; y

una pantalla en comunicación de datos con el procesador, la pantalla configurada para recibir la segunda imagen del procesador y mostrar la segunda imagen.

50 **2.** El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que el parámetro de inclinación se basa en el ángulo entre el plano de imagen no paralelo y el plano de imagen.

3. El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que el elemento óptico comprende al menos uno entre:

55 una matriz de microlentes que comprende una pluralidad de microlentes, cada microlente configurada para producir una microimagen de la escena; y

60 una pluralidad de cámaras dispuestas en una matriz y configuradas para producir una pluralidad de microimágenes de la escena en el sensor.

4. El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que el procesador y el componente de memoria están configurados adicionalmente para determinar una posición relativa de cada microimagen en el sensor, en el que los datos de imagen incluyen la posición relativa y el valor de radiancia capturado en cada elemento sensor de luz.

65

5. El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que el plano de imagen se coloca en un punto focal de la lente del objetivo y es paralelo al plano de la lente del objetivo.
- 5 6. El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que los datos de imagen comprenden datos de radiancia y datos espaciales y angulares de la escena en base a la luz recibida por los elementos sensores de luz.
- 10 7. El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que el plano de imagen no paralelo y el plano de la lente del objetivo se cortan en un punto de intersección.
- 15 8. El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 3, en el que el plano de imagen no paralelo corta el plano de imagen no paralelo y el plano de la lente del objetivo.
- 20 9. El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que el procesador y el componente de memoria están configurados, además, de manera colectiva, para calcular las posiciones relativas de los datos de imagen en un trayecto de rayo de luz desde un punto a lo largo del plano de imagen no paralelo a la microimagen capturada por el elemento óptico, representando la microimagen una microimagen del punto.
- 25 10. El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que el procesador y el componente de memoria están configurados adicionalmente de manera colectiva para generar una superposición cuadrilátera en la segunda imagen mostrada indicativa del plano de formación de imágenes seleccionado que comprende los parámetros de inclinación.
- 30 11. El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 10, en el que la superposición cuadrilátera se basa en una transformación proyectiva obtenida de la relación geométrica entre el plano de formación de imágenes seleccionado y el plano de la lente del objetivo.
- 35 12. El aparato de formación de imágenes según la reivindicación 1, que comprende, además, una cámara plenóptica.
- 40 13. Un procedimiento para mostrar una imagen de una escena, comprendiendo el procedimiento:
- 45 recibir luz de una escena mediante una lente del objetivo y enfocar la luz en un plano de imagen, teniendo la lente del objetivo un plano de la lente del objetivo;
- 50 recibir luz que se propaga a través de la lente del objetivo en un sensor, teniendo el sensor una pluralidad de elementos sensores de luz dispuestos en un plano sensor;
- 55 recibir luz que se propaga a través de la lente del objetivo mediante un elemento óptico dispuesto entre el sensor y la lente del objetivo, la luz se propaga a través del elemento óptico produciendo microimágenes de la escena en los elementos sensores de luz;
- 60 generar datos de imagen mediante la pluralidad de elementos sensores de luz basados en la luz recibida en el sensor;
- 65 recibir los datos de imagen generados por los elementos sensores de luz, los datos de imagen indicativos de una primera imagen enfocada en el plano de imagen por la lente del objetivo,
- recibir un parámetro de inclinación indicativo de una orientación de un plano de formación de imágenes seleccionado inclinado con relación al plano de la lente del objetivo;
- convertir los datos de imagen recibidos en datos de imagen relativos indicativos de una segunda imagen enfocada a lo largo de un plano de imagen no paralelo inclinado con relación al plano de imagen, el plano de imagen no paralelo basado en el parámetro de inclinación recibido, para cada punto de una pluralidad de puntos a lo largo del plano de imagen no paralelo, mediante:
- identificar un punto a lo largo de la imagen no paralela;
- medir valores de radiancia en los elementos sensores de luz de los rayos de luz emitidos desde el punto; y
- determinar datos direccionales basados en los valores de radiancia y el parámetro de inclinación para cada microimagen del punto mediante:
- calcular un desplazamiento de punto obtenido geoméricamente basado en la orientación del plano inclinado de la imagen con relación al plano de imagen; y

asociar el desplazamiento con al menos un valor de radiancia de la microimagen usada para calcular el desplazamiento; y

recibir la segunda imagen en una pantalla y mostrar la segunda imagen.

5

14. El procedimiento según la reivindicación 13, en el que el parámetro se basa en el ángulo entre el plano de imagen no paralelo y el plano de imagen.

10

15. El procedimiento según la reivindicación 14, que comprende, además, generar una superposición cuadrilátera en la segunda imagen mostrada indicativa del plano de formación de imágenes seleccionado que comprende uno o dos parámetros de inclinación, en el que la superposición cuadrilátera se basa en una transformación proyectiva de un rectángulo distorsionado en el plano de imagen no paralelo, en el que la transformación proyectiva se obtiene de la relación geométrica entre el plano de formación de imágenes seleccionado y el plano de la lente del objetivo.

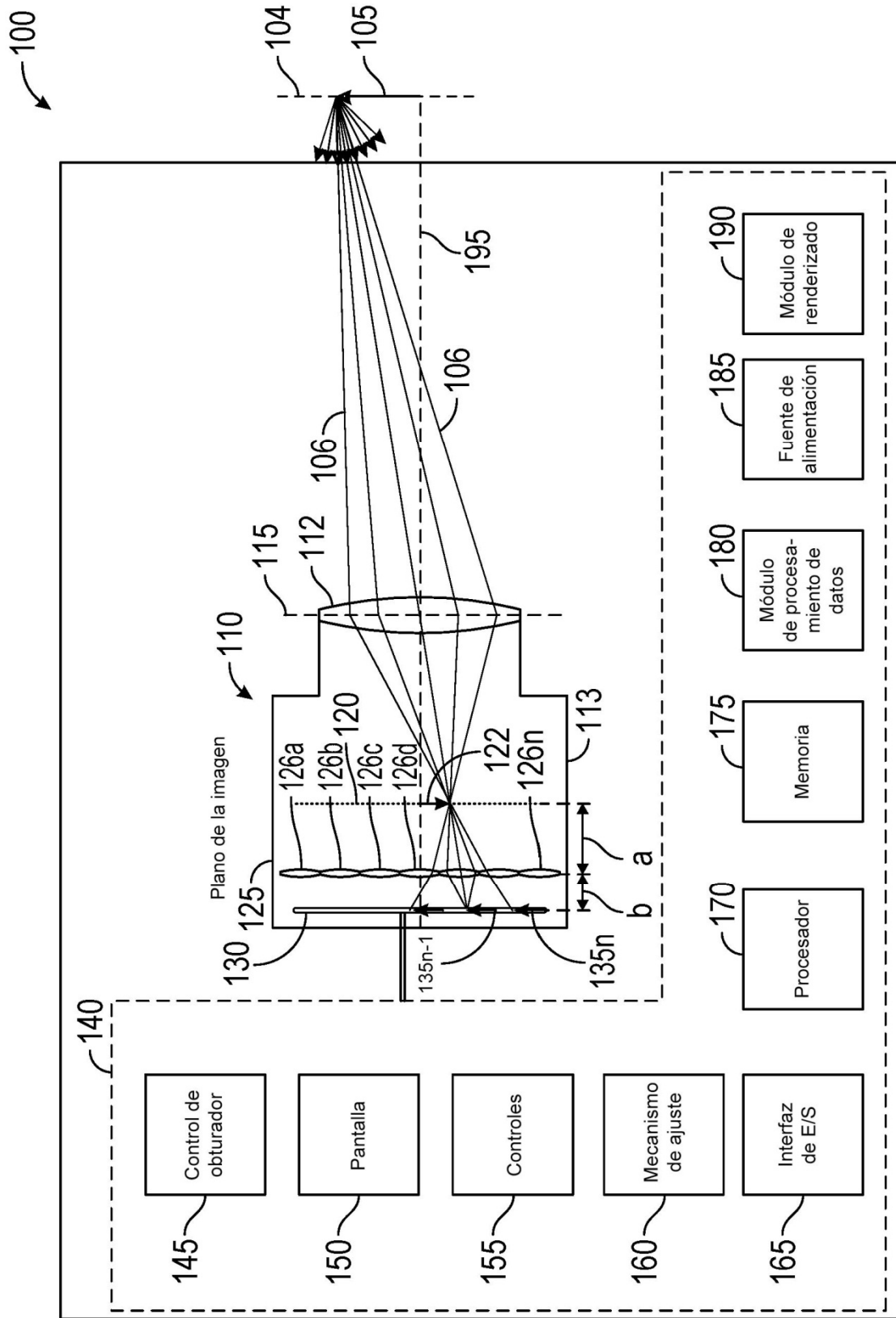


FIG. 1

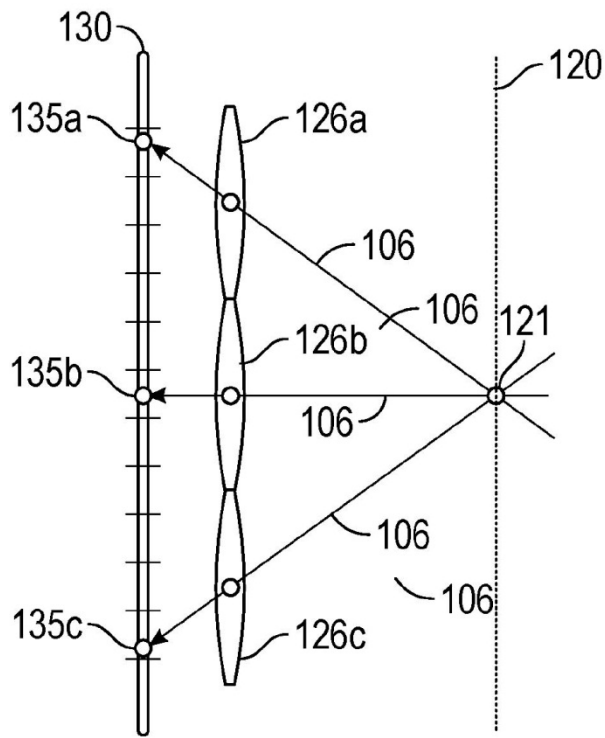


FIG. 2A

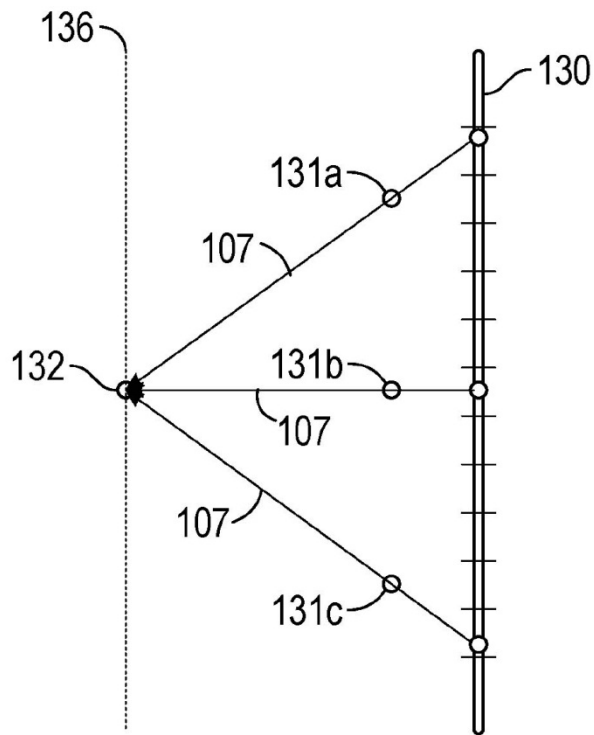


FIG. 2B

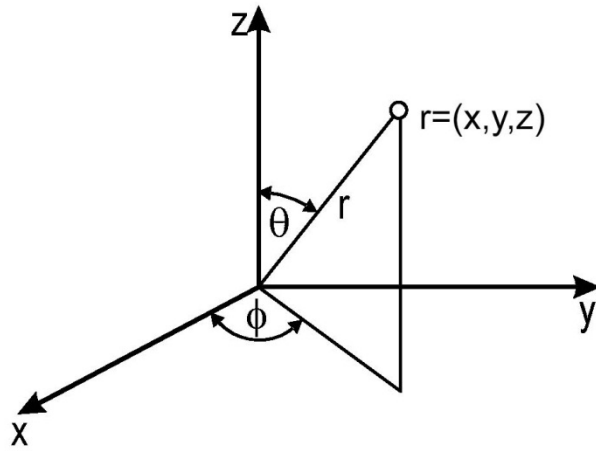


FIG. 5

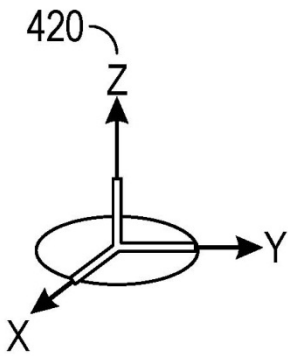


FIG. 6A

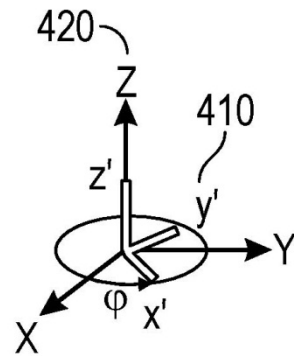


FIG. 6B

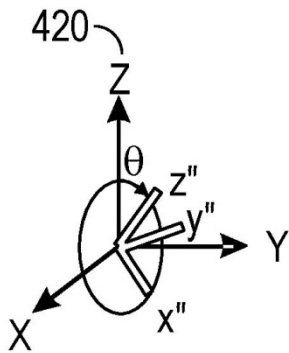


FIG. 6C

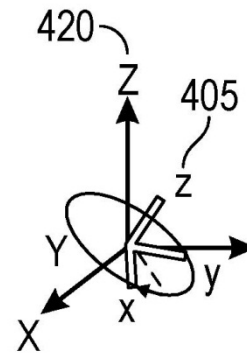


FIG. 6D

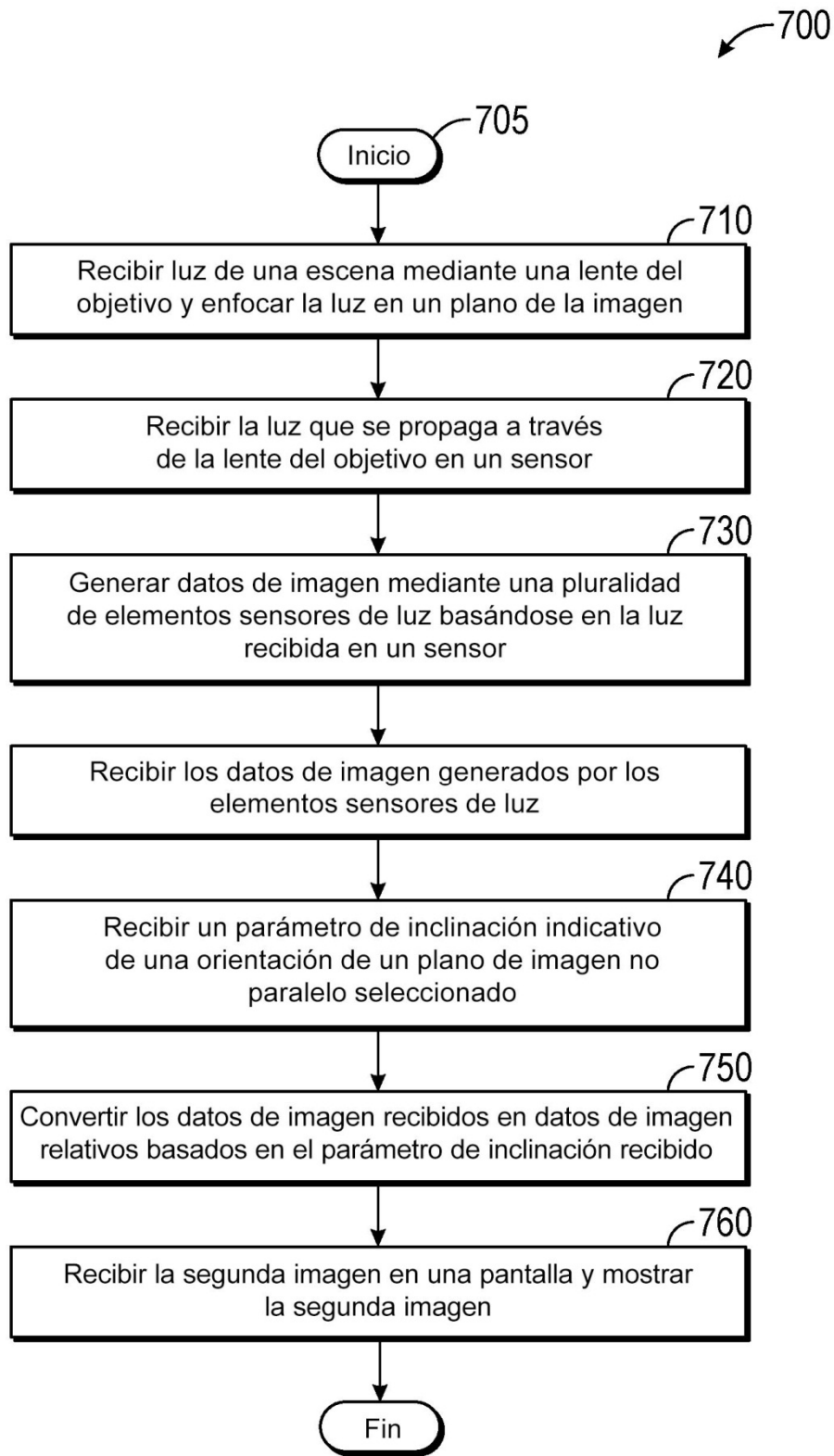


FIG. 7A

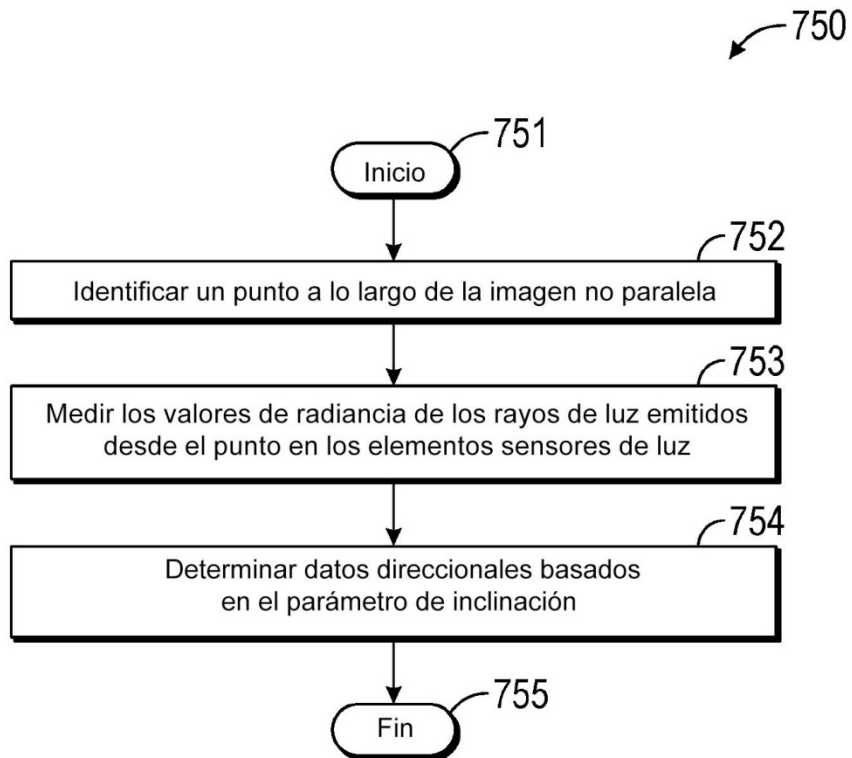


FIG. 7B

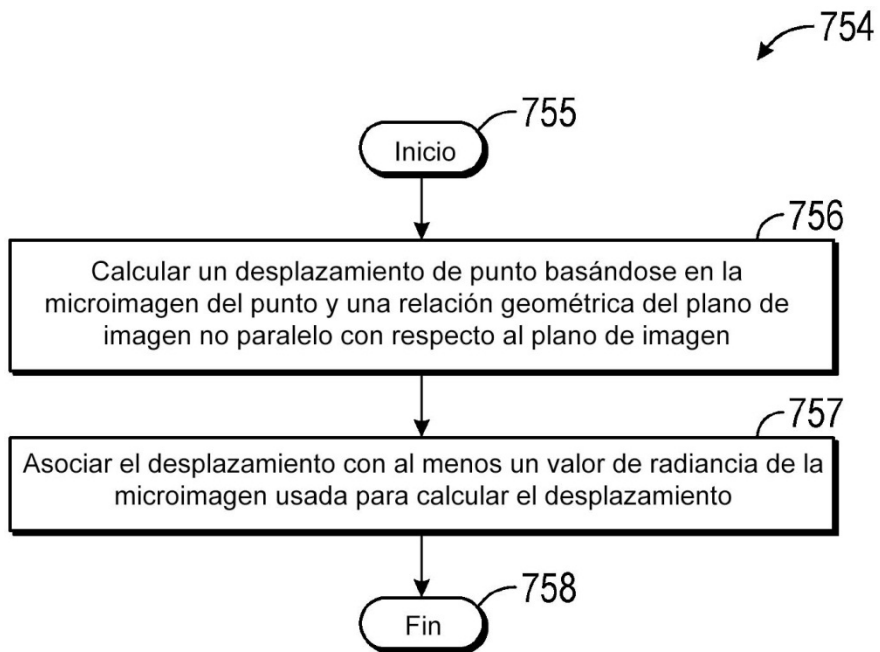


FIG. 7C

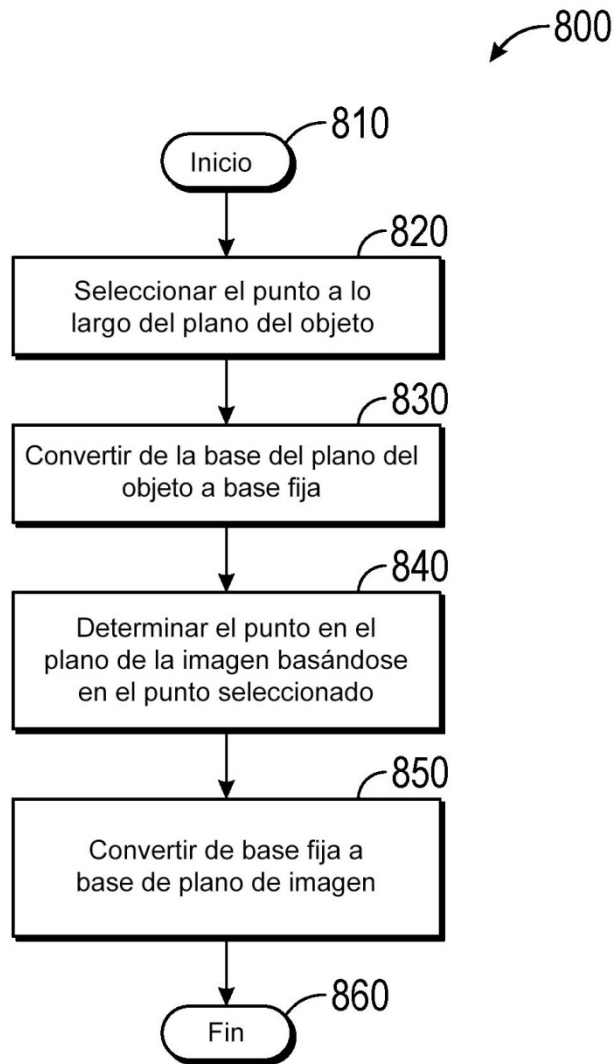


FIG. 8

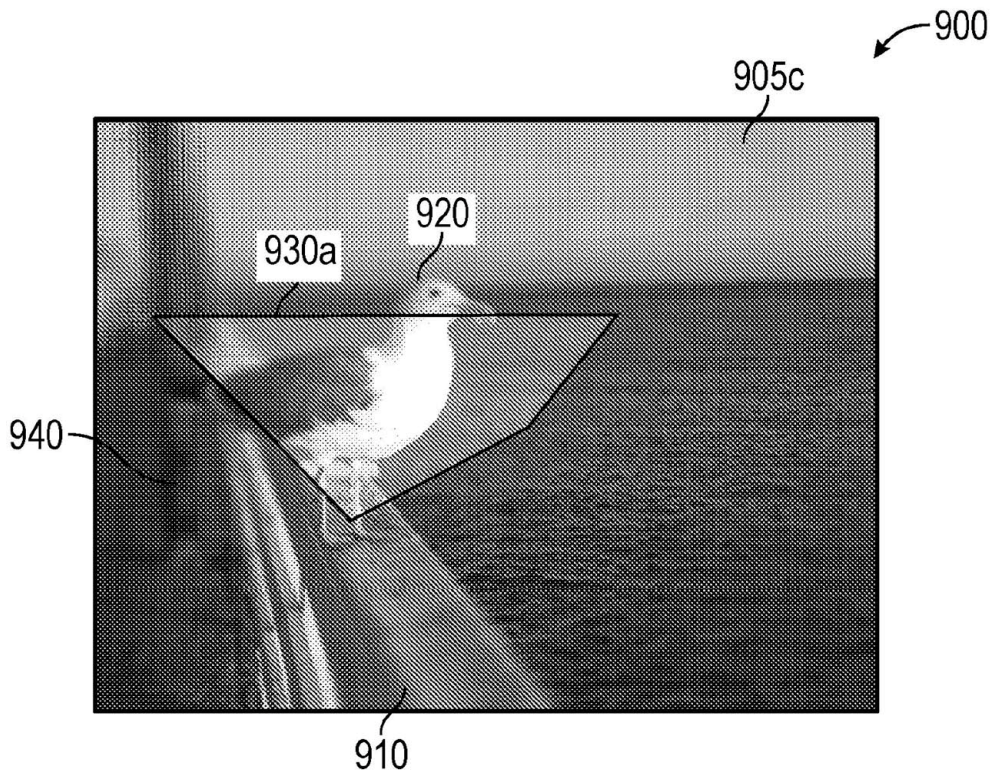


FIG. 9A

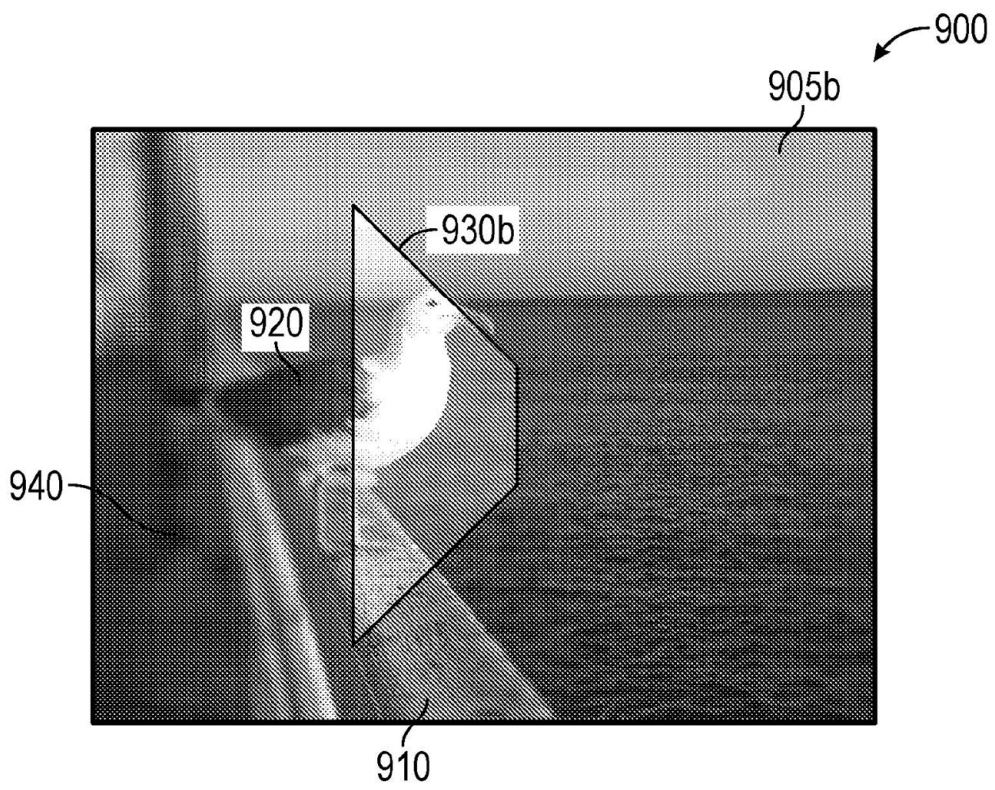


FIG. 9B

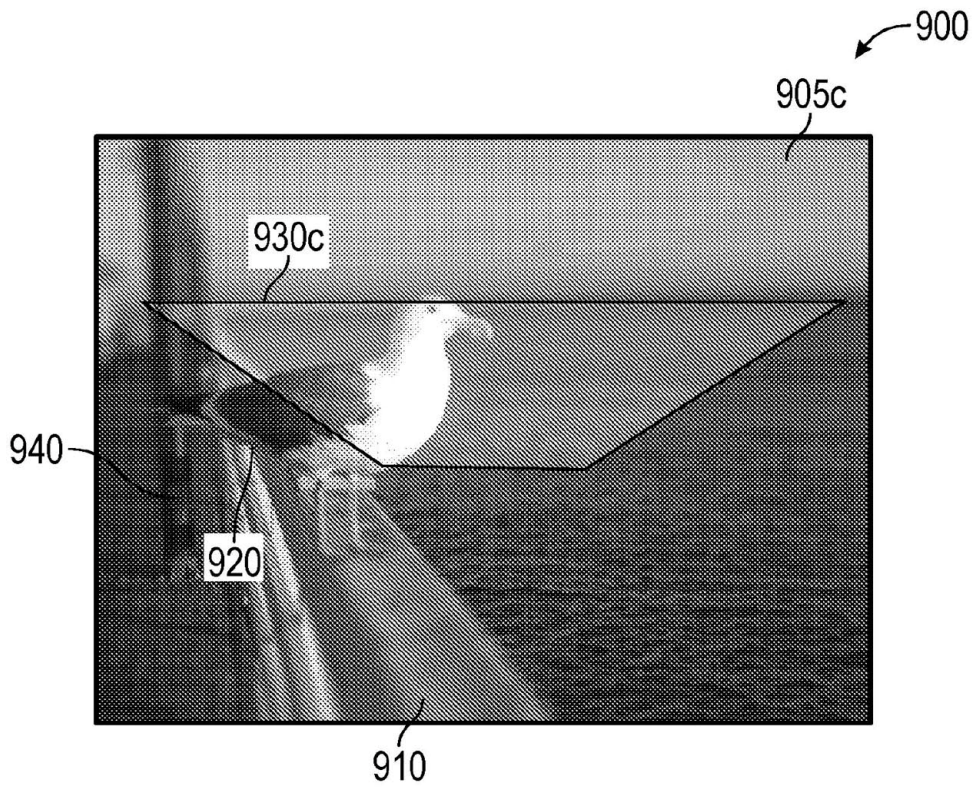


FIG. 9C

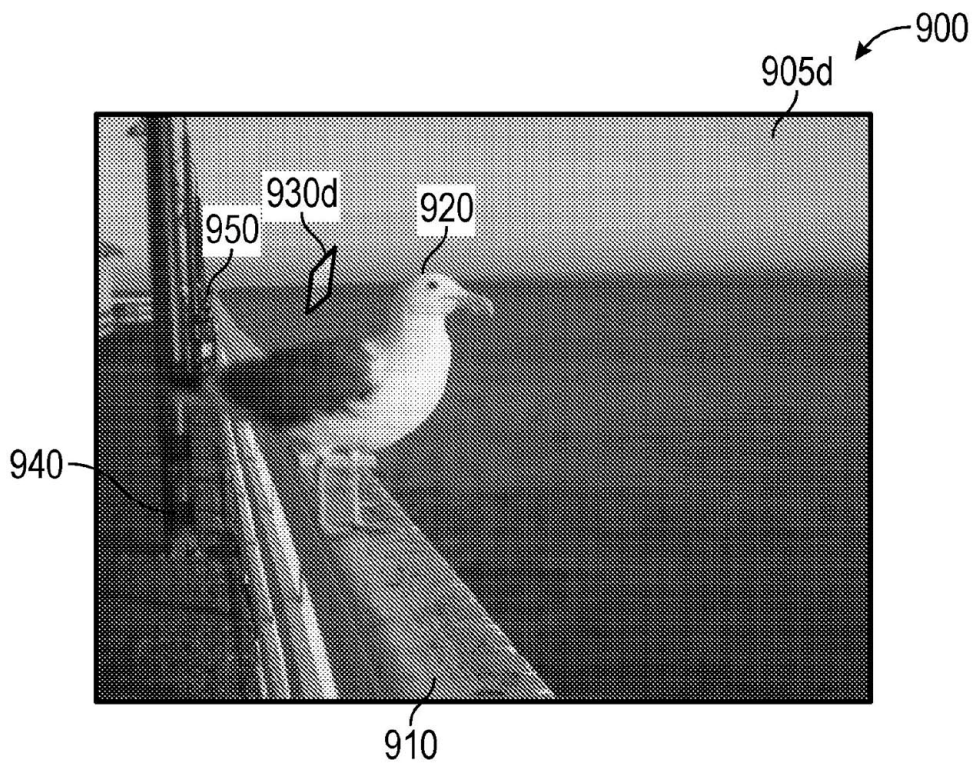


FIG. 9D