

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 083**

51 Int. Cl.:

<b>G01S 3/789</b>	(2006.01)
<b>G01S 17/89</b>	(2006.01)
<b>G03B 17/17</b>	(2006.01)
<b>G01C 11/02</b>	(2006.01)
<b>G03B 15/00</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.10.2015 PCT/AU2015/000606**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **14.04.2016 WO16054681**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.10.2015 E 15849653 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 3204786**

54 Título: **Un sistema de cámara aérea**

30 Prioridad:

**08.10.2014 AU 2014904018**  
**14.04.2015 AU 2015901332**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.08.2020**

73 Titular/es:

**SPOOKFISH INNOVATIONS PTY LTD. (100.0%)**  
**5 Turner Avenue Technology Park**  
**Bentley, Western Australia 6102, AU**

72 Inventor/es:

**COPE, SIMON y**  
**VON BERTOUCHE, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 778 083 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**

Un sistema de cámara aérea

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un sistema de cámara aérea para capturar imágenes terrestres desde un avión de reconocimiento.

**10 Antecedentes de la invención**

Se conoce proporcionar un sistema de cámara aérea que se dispone para capturar imágenes terrestres desde un avión de reconocimiento. Habitualmente, el sistema de cámara aérea se monta en una porción de la parte inferior del avión de reconocimiento y se capturan imágenes terrestres a medida que el avión de reconocimiento se mueve a lo largo de líneas de vuelo definidas. El sistema se dispone para capturar múltiples imágenes para cada característica terrestre, que habilita una solución fotogramétrica, tal como un proceso de ajuste de agrupamiento, a aplicar a las imágenes capturadas para determinar una solución de mejor caso para información de orientación interior y exterior asociada con cada cámara usada y las imágenes capturadas por cada cámara. La solución producida por el proceso de ajuste de agrupamiento puede usarse a continuación para producir fotomapas nadir y/u oblicuos.

Para mejorar la solución fotogramétrica producida por el proceso de ajuste de agrupamiento, debe aumentarse el número de imágenes tomadas para cada característica terrestre, y habitualmente esto se consigue capturando imágenes más frecuentemente, de modo que se aumenta el solapamiento entre imágenes capturadas sucesivamente, y asegurando que existe suficiente solapamiento entre líneas de vuelo adyacentes.

Para producir una buena solución fotogramétrica, se requiere generalmente una redundancia de aproximadamente 10, pero con una longitud focal asociada relativamente larga para cada imagen y solapamientos de imagen relativamente grandes, la relación de distancia entre ubicaciones de cámara en captura de imágenes y distancia a objetivo (la relación "base a altura") es relativamente pequeña, lo cual afecta a la precisión de la solución fotogramétrica.

La productividad de un sistema de cámara aérea se determina de acuerdo con la cantidad de área terrestre capturada por hora en una solución dada. Por lo tanto, ya que los costes de vuelo se determinan esencialmente en una tasa por hora, si un sistema captura más área terrestre por hora, entonces el coste por unidad de área disminuye.

La productividad en relación con el área terrestre capturada por hora a una resolución definida puede aumentarse potencialmente volando más rápido, volando más alto y/o usando un campo de visión (FoV) más amplio.

Sin embargo, volar un avión de reconocimiento más rápido provoca un desenfoque de movimiento a velocidades más altas. Un nivel aceptable de desenfoque de movimiento es habitualmente del 50 % de 1 píxel, y se determina mediante:

$$\text{Desenfoque} = \text{velocidad de avión} * \text{velocidad de obturador}$$

Para un avión que viaja a 75 m/s con una velocidad de obturador de 1/2000 s, el desenfoque de movimiento es:

$$\text{Desenfoque} = 75 * 1/2000 = 0,0375 \text{ m (3,75 cm)}$$

Por lo tanto, si se desea capturar imágenes a una resolución de 7,5 cm, el avión de reconocimiento no puede viajar más rápido de 75 m/s si tiene que mantenerse el desenfoque en un nivel aceptable. La velocidad del avión puede aumentarse, sin embargo, sin afectar excesivamente la resolución usando compensación de movimiento de avance (FMC).

FMC se implementa habitualmente usando o bien un CCD de transferencia ortogonal o bien con un soporte de cámara de compensación de movimiento que mueve físicamente la cámara durante la exposición para mantener la imagen relativamente estable en el sensor durante la exposición.

Volar más alto provoca que se cubra una mayor área de tierra, aunque aumentar el área de tierra cubierta mientras que se mantiene el mismo campo de visión provoca que la resolución se degrade a no ser que se usen lentes de mayor longitud focal y un sensor de mayor resolución.

Mientras que lentes de mayor longitud focal mantienen la resolución, el FoV es más estrecho, lo cual anula el aumento en altitud. Los sensores de mayor resolución están limitados por la tecnología disponible y la calidad de imagen habitualmente se degrada a medida que aumenta la resolución de sensor porque el área de recogida de luz es más pequeña. Los sensores de mayor resolución tienen también habitualmente menores tasas de caudal de

datos. Por ejemplo, sensores de 14 bits de 250 megapíxeles (MP) pueden tener una tasa de lectura de datos tan baja como 232 MB/s, mientras que un sensor de menos de 20 MP puede tener tasas de lectura de datos que exceden 1 GB/s. Los sensores de mayor resolución son también habitualmente más caros.

- 5 Usar un FoV más amplio permite una franja más amplia de terreno a fotografiar, pero se produce una distorsión de perspectiva en la medida que 50° - 60° se considera generalmente como un límite superior para FoV.

10 Puede conseguirse un aumento efectivo en FoV usando múltiples sensores dispuestos en una red contigua para crear un FoV de sistema total más amplio, aunque una disposición de este tipo se restringe generalmente mediante empaquetamiento.

15 El documento US 2013/0142500 se refiere a un sistema de reconocimiento aéreo que comprende una unidad óptica para adquirir rayos de luz de una porción de terreno, una unidad de cardán para realizar un movimiento de exploración perpendicular a la trayectoria hacia delante y atrás de una respectiva línea de visión formada entre dicha unidad óptica y el terreno por debajo del avión, un primer espejo de exploración posterior y un segundo espejo longitudinal a la trayectoria.

20 El documento US 5 668 593 divulga un sistema de cámara de fotogramas escalonados electro-óptico en el que se generan fotogramas solapantes sucesivos de imágenes de escenas mediante una matriz de imágenes electro-óptica.

### Sumario de la invención

25 Se divulga un sistema de cámara aérea que comprende:

al menos una cámara dispuesta para capturar una pluralidad de imágenes sucesivas, incluyendo la al menos una cámara al menos un respectivo sensor de imagen, y siendo el campo de visión de la cámara movable perpendicular a la trayectoria en relación con una región del terreno; y un conjunto de estabilización asociado con cada cámara;

30 el sistema dispuesto para controlar la al menos una cámara para capturar imágenes sucesivas a intervalos definidos a medida que el campo de visión de la cámara se mueve perpendicular a la trayectoria en relación con una región del terreno;

35 caracterizado por que el conjunto de estabilización incluye al menos dos espejos de dirección que son movibles de forma controlable para trasladar el eje óptico de la cámara en relación con el al menos un sensor de imagen en sincronización con captura de imágenes para efectuar estabilización perpendicular a la trayectoria de una imagen en el al menos un sensor de imagen durante captura de imágenes a medida que el campo de visión de la cámara se mueve perpendicular a la trayectoria en relación con una región del terreno; y

40 por que el conjunto de estabilización comprende un primer espejo de dirección rotado por una primera cantidad de rotación y un segundo espejo de dirección rotado por una segunda cantidad de rotación, siendo la primera y segunda cantidades de rotación de tal forma que la dirección de propagación de un rayo de luz dirigido por el primer y segundo espejos de dirección antes de la rotación del primer y segundo espejos de dirección es sustancialmente paralela a la dirección de propagación de un rayo de luz dirigido por el primer y segundo espejos de dirección después de la rotación del primer y segundo espejos de dirección.

45 En una realización, la al menos una cámara se puede rotar de tal forma que el campo de visión de la cámara se puede mover en una dirección sustancialmente transversal a través de una región del terreno.

50 En una realización, el sistema se dispone para usar una posición y/u orientación detectadas del avión de reconocimiento para determinar si modificar la posición de rotación de la al menos una cámara para proporcionar al menos una compensación parcial por los cambios a la posición y/u orientación del avión de reconocimiento.

En una realización, la al menos una cámara se monta en un tubo de cámara y el sistema se dispone para controlar rotación del tubo de cámara.

55 En una realización, el sistema comprende al menos una cámara ortogonal dispuesta para capturar imágenes representativas de un área terrestre sustancialmente directamente debajo del avión de reconocimiento.

60 En una realización, el sistema comprende al menos una cámara oblicua dispuesta para capturar imágenes oblicuas representativas de un área terrestre que no está ubicada sustancialmente directamente debajo del avión de reconocimiento. En una realización, el sistema comprende al menos una cámara oblicua trasera dispuesta de tal forma que el campo de visión de la cámara oblicua trasera se dirige hacia atrás del avión de reconocimiento, y al menos una cámara oblicua delantera dispuesta de tal forma que el campo de visión de la cámara oblicua delantera se dirige hacia delante del avión de reconocimiento.

65 En una realización, cada cámara oblicua se monta de tal forma que el campo de visión de cada cámara oblicua pasa a través de una región del terreno que incluye múltiples diferentes franjas oblicuas que se extienden en diferentes

direcciones a medida que la al menos una cámara oblicua rota.

5 En una realización, cada cámara tiene un espejo de dirección asociado dispuesto para dirigir luz en un conjunto de lente. El sistema se dispone para rotar el espejo de dirección alrededor de un eje generalmente transversal a la dirección de movimiento del avión de reconocimiento para proporcionar al menos una compensación parcial por el movimiento de avance del avión de reconocimiento. El espejo de dirección se rota de tal forma que el espejo de dirección se mueve a una velocidad sustancialmente correspondiente a la velocidad instantánea del avión de reconocimiento.

10 En una realización, el espejo de dirección se dispone para rotar en una primera dirección correspondiente a la dirección de movimiento del avión de reconocimiento desde una posición inicial definida hasta una posición final definida para compensar al menos parcialmente el movimiento de avance del avión de reconocimiento, a continuación para rotar en una segunda dirección opuesta para traer de vuelta el espejo de dirección a la posición inicial definida.

15 En una realización, el sistema se dispone para usar una orientación detectada del avión de reconocimiento para determinar si modificar la posición de rotación del espejo de dirección para proporcionar una compensación al menos parcial para cambios a la orientación del avión de reconocimiento.

20 En una realización, la forma de cada huella de cobertura terrestre es controlable controlando cuándo iniciar y detener captura de imágenes a medida que la respectiva al menos una cámara rota.

25 En una realización, el primer espejo de dirección y el segundo espejo de dirección se disponen de tal forma que la longitud de la trayectoria óptica entre un punto de referencia en un rayo incidente en el primer espejo de dirección y un sensor es sustancialmente la misma antes de la rotación del primer y segundo espejos de dirección como después de la rotación del primer y segundo espejos de dirección.

30 En una realización, el conjunto de estabilización comprende un espejo fijo en una trayectoria óptica entre el primer y segundo espejos de dirección.

En una realización, el conjunto de estabilización comprende un conjunto de espejo común, incluyendo el conjunto de espejo común el primer espejo de dirección y el segundo espejo de dirección dispuestos de forma fija relativos entre sí, siendo el conjunto de espejo común movable para efectuar movimiento del primer y segundo espejos de dirección.

### 35 **Breve descripción de los dibujos**

La presente invención se describirá ahora, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

40 La Figura 1 es una representación esquemática de un avión de reconocimiento que incorpora un sistema de cámara aérea de acuerdo con una realización de la presente invención;

La Figura 2 es una vista en perspectiva diagramática de un sistema de cámara aérea de acuerdo con una realización de la presente invención;

45 La Figura 3 es una vista en perspectiva diagramática de un sistema de cámara aérea empaquetado alternativamente de acuerdo con una realización de la presente invención;

La Figura 4 es una vista en sección transversal diagramática de un conjunto de tubo de cámara del sistema de cámara aérea mostrado en la Figura 2 o la Figura 3;

La Figura 5 es una vista en sección transversal diagramática de un conjunto de cojinete del conjunto de tubo de cámara mostrado en la Figura 4;

50 La Figura 6 es una vista en perspectiva diagramática de un conjunto de cámara del conjunto de tubo de cámara mostrado en la Figura 4;

La Figura 7 es un gráfico de movimiento de tubo de cámara que ilustra movimiento de rotación durante el uso de un tubo de cámara del conjunto de tubo de cámara mostrado en la Figura 4;

55 La Figura 8 es un gráfico de movimiento de tubo de cámara que ilustra movimiento de rotación alternativo durante el uso de un tubo de cámara del conjunto de tubo de cámara mostrado en la Figura 4;

La Figura 9 es una representación esquemática de una huella de cobertura terrestre que ilustra regiones del terreno que se cubren por un conjunto de cámara ortogonal y conjuntos de cámara oblicua;

La Figura 10 es una representación esquemática de una huella de cobertura terrestre alternativa que ilustra regiones del terreno que se cubren por un conjunto de cámara ortogonal y conjuntos de cámara oblicua;

60 La Figura 11 es una representación esquemática de una huella de cobertura terrestre alternativa que ilustra regiones del terreno que se cubren por un conjunto de cámara ortogonal y conjuntos de cámara oblicua;

La Figura 12 es una representación esquemática de una huella de cobertura terrestre alternativa que ilustra regiones del terreno que se cubren por un conjunto de cámara ortogonal y conjuntos de cámara oblicua; y

65 La Figura 13 es un diagrama de bloques que ilustra componentes operativos de un sistema de cámara aérea de acuerdo con una realización de la presente invención;

La Figura 14 es una vista en perspectiva diagramática de un conjunto de cámara alternativo de acuerdo con una

realización de la invención, el conjunto de cámara que incluye un conjunto de estabilización;

La Figura 15 es una vista en sección transversal diagramática tomada a lo largo de la línea A-A en la Figura 16 de un alojamiento de estabilización del conjunto de cámara mostrado en la Figura 14, el alojamiento de estabilización fijado a un conjunto de lente del conjunto de cámara;

5 La Figura 16 es una vista final en sección transversal diagramática del alojamiento de estabilización mostrado en la Figura 15;

La Figura 17 es una vista esquemática del conjunto de estabilización mostrado en la Figura 15 y que ilustra trayectorias de propagación de rayos de luz que pasan a través del conjunto de estabilización mostrado en la Figura 14;

10 La Figura 18 es un gráfico que ilustra movimiento de un tubo de cámara y espejo de dirección rápido del conjunto de cámara mostrado en la Figura 14, y movimiento de una imagen en un sensor de imagen del conjunto de cámara mostrado en la Figura 14;

La Figura 19 es una vista esquemática de un conjunto de estabilización alternativo y que ilustra trayectorias de propagación de rayos de luz que pasan a través del conjunto de estabilización alternativo;

15 La Figura 20 es una vista esquemática de un conjunto de estabilización alternativo adicional y que ilustra trayectorias de propagación de rayos de luz que pasan a través del conjunto de estabilización alternativo adicional;

La Figura 21 es una vista en perspectiva diagramática de un conjunto de cámara alternativo adicional que incluye el conjunto de estabilización mostrado en la Figura 20;

20 La Figura 22 es una vista esquemática de un conjunto de estabilización alternativo adicional y que ilustra trayectorias de propagación de rayos de luz que pasan a través del conjunto de estabilización;

La Figura 23 es una vista en perspectiva diagramática de un conjunto de cámara alternativo adicional que incluye el conjunto de estabilización mostrado en la Figura 22;

25 La Figura 24 es un diagrama de bloques que ilustra componentes operativos de un sistema de cámara aérea que incluye un conjunto de cámara alternativo;

La Figura 25 es una vista esquemática de un conjunto de estabilización longitudinal a la trayectoria alternativo y que ilustra trayectorias de propagación de rayos de luz que pasan a través del conjunto de estabilización alternativo;

30 La Figura 26 es una vista en perspectiva diagramática de un conjunto de cámara alternativo que incluye el conjunto de estabilización de la Figura 14 y que también incluye el conjunto de estabilización longitudinal a la trayectoria alternativo de la Figura 25;

La Figura 27 es una vista esquemática del conjunto de cámara alternativo mostrado en la Figura 26 y que ilustra trayectorias de propagación de rayos de luz que pasan a través del conjunto de cámara mostrado en la Figura 26;

35 La Figura 28 es una vista en perspectiva diagramática del sistema de cámara aérea alternativo de acuerdo con una realización adicional de la invención, incluyendo el sistema de cámara aérea varios conjuntos de cámara;

La Figura 29 es una representación esquemática de un avión de reconocimiento que incorpora el sistema de cámara aérea mostrado en la Figura 25;

40 La Figura 30 es una vista en perspectiva diagramática de un conjunto de cámara alternativo que incluye un conjunto de estabilización alternativo

La Figura 31 es una representación esquemática del avión de reconocimiento mostrado en la Figura 29 y que ilustra los respectivos alcances de exploración de los conjuntos de cámara del conjunto de tubo de cámara mostrado en la Figura 28; y

45 La Figura 32 es una vista en planta diagramática de los respectivos alcances de exploración mostrados en la Figura 30.

### Descripción de una realización de la invención

50 Haciendo referencia a la Figura 1 de los dibujos, se muestra un avión de reconocimiento 10 con el sistema de cámara aérea 12 montado.

El sistema de cámara aérea 12 incluye al menos un conjunto de tubo de cámara 14 dispuesto para rotar alrededor de un respectivo eje central longitudinal. Los conjuntos de tubo de cámara 14 pueden empaquetarse de cualquier forma adecuada, como se muestra en las Figuras 2 y 3. La Figura 2 muestra un par de conjuntos de tubo de cámara 14 dispuestos adyacentemente, y la Figura 3 muestra un conjunto de vaina de carga 16 que incluye dos conjuntos de tubo de cámara 14.

60 Haciendo referencia a la Figura 4, se muestra una vista en sección transversal de un conjunto de tubo de cámara 14. La Figura 5 muestra una vista ampliada de una porción de extremo del conjunto de tubo de cámara 14.

En este ejemplo, el conjunto de tubo de cámara 14 incluye un tubo de cámara 18 dispuesto para rotar alrededor de un eje central longitudinal 19, en este ejemplo en relación con un mamparo de árbol 20 montado en relación con el avión de reconocimiento 10.

65 El tubo de cámara 18 se conecta a una estructura en anillo 22 y la estructura en anillo 22 se fija a un árbol 24 que se acopla con un cojinete circular 26 dispuesto para facilitar rotación del árbol 24 alrededor del eje longitudinal central

19. La rotación del tubo de cámara 18 se efectúa por un motor, en este ejemplo un servomotor 28, y el servomotor 28 se controla de tal forma que se controla la posición de rotación del tubo de cámara 18 en relación con el mamparo de árbol 20. En este ejemplo, el servomotor 28 incluye un codificador rotatorio (no mostrado) que mide la posición instantánea de un rotor del servomotor y, de este modo, la posición de rotación del tubo de cámara 18 en relación con el mamparo de árbol 20. El servomotor 28 se controla usando una unidad de medición inercial (IMU) 29 dispuesta para determinar información de navegación asociada con el avión de reconocimiento 10, tal como información de velocidad y aceleración, e información de referencia de actitud que incluye información indicativa de cambios en balanceo, guiñada y cabeceo del avión de reconocimiento 10.
- 5
- 10 En este ejemplo, el tubo de cámara 18 incluye un conjunto de cámara ortogonal 30 y al menos un conjunto de cámara oblicua, en este ejemplo un conjunto de cámara oblicua trasera 32 y un conjunto de cámara oblicua frontal 34. Sin embargo, se entenderá que puede proporcionarse cualquier número de conjuntos de cámara ortogonal y oblicua.
- 15 El conjunto de cámara ortogonal 30 se dispone de tal forma que generalmente el campo de visión se dirige verticalmente hacia abajo para capturar imágenes en detalle del terreno directamente debajo del avión de reconocimiento 10. Las imágenes en detalle se usan para producir imágenes ortogonales de alta resolución con solapamiento entre fotogramas de aproximadamente el 70 % hacia delante y 2 % lateral, y solapamiento lateral de aproximadamente el 70 % entre las huellas de cobertura terrestre de líneas de vuelo adyacentes.
- 20 Esta disposición proporciona una redundancia relativamente alta para las imágenes capturadas por el conjunto de cámara ortogonal 30.
- 25 Además, como consecuencia del barrido de cámara la relación de base a altura puede mejorado para las imágenes ortogonales porque imágenes de la misma característica terrestre se tomarán desde diferentes líneas de vuelo.
- Los conjuntos de cámara oblicua trasera y frontal 32, 34 se disponen de tal forma que el campo de visión se dirige respectivamente hacia atrás en un ángulo de aproximadamente 20° de la vertical y hacia delante en un ángulo de aproximadamente 20° de la vertical, correspondiente a un ángulo de visión de aproximadamente 40°.
- 30 En la Figura 6 se muestra la estructura de cada uno de los conjuntos de cámara ortogonal, oblicua trasera y oblicua frontal 30, 32, 34.
- 35 El ejemplo mostrado en la Figura 6 es un conjunto de cámara ortogonal 30 que incluye un conjunto de lente 36, un conjunto de sensor 38 y un conjunto de espejo de dirección 40. El conjunto de espejo de dirección 40 se monta para colocarse a un ángulo descendente nominal de aproximadamente 45° de modo que la luz del terreno directamente debajo del avión de reconocimiento 10 se dirige hacia el conjunto de lente 36 y se enfoca, a su vez, por el conjunto de lente 36 al conjunto de sensor 38.
- 40 En este ejemplo, cada sensor en el conjunto de sensor 38 tiene una resolución de aproximadamente 5  $\mu\text{m}$ , dimensiones de píxeles de aproximadamente 5000x3883 y es capaz de capturar aproximadamente 10 fotogramas por segundo, aunque se entenderá que se prevén otras variaciones de sensor. El sensor puede ser un sensor CMOS con obturador de LCD y, en este ejemplo, pueden proporcionarse 2 sensores en el conjunto de sensor 38.
- 45 En este ejemplo, el conjunto de lente 36 del conjunto de cámara ortogonal 30 tiene una longitud focal de aproximadamente 376 mm, aunque se prevén otras longitudes focales, tal como 1800 mm.
- En este ejemplo, la longitud focal del conjunto de lente 36 de cada conjunto de cámara oblicua es un 40 % mayor que la longitud focal del conjunto de lente 36 del conjunto de cámara ortogonal 30. Los conjuntos de cámara oblicua 32, 34 consiguen una resolución similar al conjunto de cámara ortogonal 30 y resultan en una redundancia de sistema combinada de 21 con líneas de base largas y, de este modo, una solución de geometría fuerte.
- 50 El conjunto de espejo de dirección 40 en este ejemplo incluye un espejo de dirección 42 y un accionador de dirección 44 dispuesto para rotar de forma controlable el espejo de dirección 42 alrededor de un eje generalmente transversal 45. El accionador de dirección 44 puede incluir un mecanismo piezoeléctrico rotatorio.
- 55 El conjunto de lente 36, el conjunto de sensor 38 y el conjunto de espejo de dirección 40 se montan en una base 46 de modo que el conjunto de lente 36, el conjunto de sensor 38 y el conjunto de espejo de dirección 40 se orientan y colocan correctamente relativos entre sí. Se dispone un panel transparente 48 en la base 46 debajo del espejo de dirección 42 para evitar el ingreso de material en el espacio adyacente el espejo de dirección 42 y el conjunto de lente 36.
- 60 El conjunto de espejo de dirección 40 opera para rotar el espejo de dirección 42 a una tasa correspondiente a la velocidad instantánea del avión de reconocimiento 10 y, de esta manera, proporciona un grado de compensación para desenfoque de imagen provocado por el movimiento de avance del avión de reconocimiento 10.
- 65

Esto se consigue efectuando una rotación parcial del espejo de dirección 42 en una dirección para compensar al menos parcialmente el desenfoque provocado por el movimiento de avance del avión de reconocimiento 10, seguido por un movimiento de rotación rápido del espejo de dirección 42 en una dirección de rotación opuesta para traer el espejo de dirección 42 de vuelta a una posición inicial.

5 Por ejemplo, a una velocidad del aire de 150 m/s a una altura de vuelo de 3048 m, la velocidad angular a la que rotar el espejo de dirección se determina mediante:

$$V_a = \tan^{-1} (150/3048) = 2,817 \text{ }^\circ/\text{s}$$

10 Aunque la rotación del espejo de dirección 42 de esta manera resulta en algo de distorsión geométrica de un fotograma de imagen capturado, el efecto es sustancialmente menor de 1 píxel ya que el movimiento durante cada exposición es muy bajo, determinado por:

15 Rotación de cámara (Ca) = velocidad angular \* velocidad de obturador

$$C_a = 2,817 * 1/2000 = 0,001^\circ$$

20 Se entenderá que a medida que el avión se mueve hacia delante, se capturan una pluralidad de imágenes 'perpendiculares a la trayectoria', es decir, en una dirección perpendicular a la dirección de movimiento del avión de reconocimiento 10, rotando el tubo de cámara 18 alrededor del eje central 19, capturando imágenes periódicamente a medida que el tubo de cámara 18 rota y retrayendo repetitivamente el tubo de cámara 18 de vuelta a una posición de rotación inicial.

25 Mientras que la exploración de los conjuntos de cámara 30, 32, 34 de esta manera habilita que se capturen múltiples imágenes en un campo de visión relativamente bajo con una lente de longitud focal relativamente alta y, de este modo, resolución relativamente alta, la rotación del tubo de cámara 18 provoca un desenfoque de imagen significativo.

30 Por ejemplo, rotar un tubo de cámara 18 a una tasa de exploración de 3 segundos, con la exploración cubriendo una anchura de una franja de 2 km, tiene un desenfoque de imagen durante una exposición de 1/2000 s como se indica a continuación:

La velocidad de rotación del tubo de cámara se determina mediante:

$$35 \quad V = 2000 / 3 = 666,67 \text{ m/s}$$

y dado que:

40 Desenfoque = velocidad \* velocidad de obturador

el consiguiente desenfoque como resultado de la rotación del tubo de cámara 18 es:

$$45 \quad \text{Desenfoque} = 666,67 * 100 * 1/2000 = 33,33 \text{ m}$$

A una resolución de 7,5 cm, 33,33 m es igual a 444,4 píxeles de desenfoque.

50 Para compensar al menos parcialmente el desenfoque debido a exploración perpendicular a la trayectoria, en la presente realización el sistema se dispone para reducir la velocidad angular del tubo de cámara 18 durante la exposición para reducir desenfoque de movimiento a menos del 50 % de 1 píxel. El sistema puede disponerse para detener el movimiento de rotación del tubo de cámara 18 en sincronización con la captura de imágenes o, como alternativa, para reducir suficientemente el movimiento de rotación del tubo de cámara 18 para habilitar que se produzca la captura de imágenes con un desenfoque de movimiento menor del 50 % de 1 píxel. Ralentizar la rotación sin detener la rotación reduce significativamente las aceleraciones experimentadas por el sistema, que a su vez reduce consumo de potencia, hace que el sistema sea más fácil de controlar, y reduce esfuerzo mecánico en componentes de sistema.

55 En la Figura 7 se muestra un gráfico de movimiento de tubo de cámara 50 que ilustra movimiento de rotación durante el uso de un tubo de cámara del conjunto de tubo de cámara 30, 32, 34.

60 El gráfico de movimiento 50 incluye un gráfico de posición de tubo de cámara 52 indicativo de la posición de rotación del tubo de cámara 18 durante una exploración completa del tubo de cámara 18. Como se muestra, el tubo de cámara 18 rota entre una posición inicial de rotación de aproximadamente  $-35^\circ$  a una posición final de rotación de aproximadamente  $+35^\circ$  de una manera escalonada en un periodo de aproximadamente 3 s, a continuación rota de vuelta a la posición inicial en aproximadamente 0,5 s. Como se muestra mediante un gráfico de velocidad de rotación de tubo de cámara 54, la velocidad de rotación del tubo de cámara 18 oscila repetidamente entre cero y

aproximadamente 50 °/s, correspondiendo respectivamente a porciones planas 56 y porciones inclinadas 58 en el gráfico de posición de tubo de cámara 52. Se apreciará que el sistema 12 se dispone para controlar el conjunto de sensor 38 para capturar una imagen en momentos sincronizados con las porciones planas 56.

- 5 El desenfoque de imagen también se ve afectado por el movimiento del avión de reconocimiento 10, incluyendo balanceo instantáneo del avión de reconocimiento 10.

10 La velocidad de rotación del espejo de dirección 42 y/o la velocidad de rotación del tubo de cámara 18 pueden ajustarse para tener en cuenta la tasa de fotogramas del sensor o sensores del conjunto de sensor 38, el solapamiento de fotogramas requerido, el campo de visión efectivo del sensor o sensores y movimiento instantáneo del avión de reconocimiento 10 incluyendo balanceo instantáneo del avión de reconocimiento 10.

15 Para este propósito, en el presente ejemplo el sistema incluye un Sistema de Navegación Inercial (INS) dispuesto para determinar la posición y orientación del avión de reconocimiento en tiempo real y para usar la información de posición y orientación determinada para estimar parámetros de compensación de movimiento adecuados para el accionador de dirección 44 y/o el servomotor 28. El INS incluye la IMU 29 y un dispositivo de entrada de posición, tal como un GPS.

20 En este ejemplo, la información de posición y orientación asociada con el avión de reconocimiento 10, información indicativa de la posición de rotación del tubo de cámara 18 derivada a partir de los codificadores de posición/rotación del servomotor 28 e información indicativa de la posición de rotación del espejo de dirección 42 se usan para determinar una solución de orientación exterior inicial (posición y orientación) de cada imagen capturada.

25 En la Figura 8 se muestra un gráfico de movimiento de tubo de cámara 60 alternativo. El gráfico de movimiento 60 incluye un gráfico de posición de tubo de cámara 62 y un gráfico de velocidad de rotación de tubo de cámara 64. La velocidad de rotación del tubo de cámara 18 oscila repetidamente entre unos pocos grados/s y aproximadamente 42 °/s, correspondiendo respectivamente a porciones planas 66 y porciones inclinadas 68 en el gráfico de posición de tubo de cámara 62. Mantener la velocidad de rotación del tubo de cámara 18 por encima de cero puede reducir el consumo de potencia, mejora la controlabilidad de rotación del tubo de cámara 18 y reduce el esfuerzo mecánico. Se apreciará que como con el gráfico de movimiento de tubo de cámara 50 mostrado en la Figura 7, en una disposición de acuerdo con el gráfico de movimiento de tubo de cámara 60 mostrado en la Figura 8, el sistema 12 se dispone para controlar el conjunto de sensor 38 para capturar una imagen en momentos sincronizados con las porciones planas 66.

35 Se entenderá que a medida que el tubo de cámara 18 rota, los conjuntos de cámara oblicua trasera y frontal 32, 34 capturan imágenes oblicuas en regiones frontales y traseras, con el movimiento de rotación del tubo de cámara 18 y el ángulo de visión de los conjuntos de cámara oblicua trasera y frontal 32, 34 provocando que el campo de visión de cámara explore una región terrestre a través de una trayectoria generalmente parabólica.

40 Se entenderá que las regiones terrestres cubiertas por los conjuntos de cámara ortogonal y oblicua 30, 32, 34 son personalizables hasta cierta medida modificando cuándo se capturan imágenes durante la rotación del tubo de cámara 18.

45 En la Figura 9 se muestra un ejemplo de huella de cobertura terrestre 70 que ilustra regiones del terreno que se cubren por un conjunto de cámara ortogonal 30 y conjuntos de cámara oblicua 32, 34. Como se muestra, se capturan imágenes usando los conjuntos de cámara ortogonal 30 y oblicua 32, 34 durante un barrido entero del tubo de cámara 18 y a través de una trayectoria de vuelo de avión de reconocimiento actual 72 y primera y segunda trayectorias de vuelo adyacentes 74, 76 en una región de cobertura terrestre ortogonal 78, una región de cobertura terrestre oblicua frontal 80 y una región de cobertura terrestre oblicua trasera 82.

50 En una huella de cobertura terrestre alternativa 90 mostrada en la Figura 10, se capturan imágenes usando los conjuntos de cámara oblicua 32, 34 durante un barrido entero del tubo de cámara 18 y a través de una trayectoria de vuelo de avión de reconocimiento actual 72 y primera y segunda trayectorias de vuelo adyacentes 74, 76. También se capturan imágenes usando el conjunto de cámara ortogonal 30, pero únicamente a medida que el tubo de cámara 18 barre a través de la trayectoria de vuelo actual 72. En el ejemplo mostrado en la Figura 10, se cubren una región de cobertura terrestre ortogonal 92, una región de cobertura terrestre oblicua frontal 94 y una región de cobertura terrestre oblicua trasera 96.

60 Se apreciará que las regiones de cobertura terrestre 92, 94, 96 pueden conseguirse modificando cuándo se capturan imágenes por el conjunto de cámara ortogonal 30 durante rotación de un tubo de cámara 18 de tal forma que se capturan imágenes únicamente durante un margen más estrecho de posiciones de rotación de tubo de cámara que cubre la trayectoria de vuelo actual 72. Como alternativa, por ejemplo, las regiones de cobertura terrestre 92, 94, 96 pueden conseguirse usando diferentes tubos de cámara 18 para los conjuntos de cámara ortogonal y oblicua 30, 32, 34 y controlando apropiadamente el tubo de cámara 18 asociado con el conjunto de cámara ortogonal de modo que el tubo de cámara ortogonal barre a través de un margen rotacional más pequeño centrado en la trayectoria de vuelo actual 72.

- En una huella de cobertura terrestre alternativa 100 adicional mostrada en la Figura 11, se capturan imágenes usando el conjunto de cámara ortogonal 30 únicamente a medida que el tubo de cámara 18 barre a través de la trayectoria de vuelo actual 72, y se capturan imágenes usando los conjuntos de cámara 32, 34 únicamente a medida que el tubo de cámara 18 barre a través de trayectorias de vuelo adyacentes 74, 76. En el ejemplo mostrado en la Figura 11, se cubren una región de cobertura terrestre ortogonal 102, una primera región de cobertura terrestre oblicua frontal 104, una segunda región de cobertura terrestre oblicua frontal 106, una primera región de cobertura terrestre oblicua trasera 108 y una segunda región de cobertura terrestre oblicua trasera 110.
- Se apreciará que las regiones de cobertura terrestre ortogonal y oblicua ilustradas pueden conseguirse modificando cuándo se capturan imágenes por el conjunto de cámara ortogonal 30 durante rotación de un tubo de cámara 18 de tal forma que se capturan imágenes por el conjunto de cámara ortogonal 30 únicamente durante un margen más estrecho de posiciones de rotación de tubo de cámara centradas en la trayectoria de vuelo actual 72, y modificando cuándo se capturan imágenes por los conjuntos de cámara oblicua 32, 34 durante rotación del tubo de cámara 18 de tal forma que se capturan imágenes por los conjuntos de cámara oblicua 32, 34 únicamente durante un margen de posiciones de rotación de tubo de cámara centradas en cada una de las trayectorias de vuelo adyacentes 74, 76.
- Como alternativa, por ejemplo, las regiones de cobertura terrestre 102, 104, 106, 108, 110 pueden conseguirse usando diferentes tubos de cámara 18 para los conjuntos de cámara ortogonal y oblicua 30, 32, 34.
- En una huella de cobertura terrestre alternativa 112 adicional mostrada en la Figura 12, se capturan imágenes usando el conjunto de cámara ortogonal 30 a medida que el tubo de cámara 18 barre a través de la trayectoria de vuelo actual 72 y trayectorias de vuelo adyacentes 74, 76, y se capturan imágenes usando los conjuntos de cámara oblicua 32, 34 únicamente a medida que el tubo de cámara 18 barre a través de trayectorias de vuelo adyacentes 74, 76. En el ejemplo mostrado en la Figura 12, se definen una región de cobertura terrestre ortogonal 114, una primera región de cobertura terrestre oblicua frontal 116, una segunda región de cobertura terrestre oblicua frontal 118, una primera región de cobertura terrestre oblicua trasera 120 y una segunda región de cobertura terrestre oblicua trasera 122.
- Se apreciará que las regiones de cobertura terrestre ortogonal y oblicua ilustradas pueden conseguirse modificando cuándo se capturan imágenes por los conjuntos de cámara oblicua 32, 34 durante rotación de un tubo de cámara 18 de tal forma que se capturan imágenes por los conjuntos de cámara oblicua 32, 34 durante rotación del tubo de cámara 18 únicamente durante un margen más estrecho de posiciones de rotación de tubo de cámara centradas en cada una de las trayectorias de vuelo adyacentes 74, 76.
- Como alternativa, por ejemplo, las regiones de cobertura terrestre 114, 116, 118, 120, 122 pueden conseguirse usando diferentes tubos de cámara 18 para los conjuntos de cámara ortogonal y oblicua 30, 32, 34.
- Se entenderá que montando dos conjuntos de cámara oblicua 32, 34 en el tubo de cámara rotatorio 18, es posible obtener imágenes oblicuas en 4 direcciones. La franja oblicua definida por cada uno de los conjuntos de cámara oblicua 32, 34 forma un arco a través de 3 líneas de vuelo, oscilando el ángulo de visión de una franja oblicua entre aproximadamente 41-46°. Como una franja oblicua tiene una línea de base larga, añade una fuerza considerable a la solución geométrica, mejorando significativamente la precisión.
- Se entenderá también que usando imágenes producidas tanto por cámara o cámaras ortogonales como la cámara o cámaras oblicuas es un proceso de procesamiento de imágenes fotogramétrico, se consigue una buena solución de ajuste de agrupamiento.
- Haciendo referencia a la Figura 13, se muestra un diagrama de bloques 130 que ilustra componentes operativos del sistema de cámara aérea 12. Características análogas o similares se indican con números de referencia análogos.
- El sistema incluye una unidad de control 132 dispuesta para controlar y coordinar operaciones en el sistema y en particular para recibir datos de configuración 134, datos de altitud 136 indicativos de la altitud actual (H) del avión de reconocimiento, datos de velocidad respecto al terreno 138 indicativos de la velocidad respecto al terreno  $V_g$  del avión de reconocimiento y datos de posición 140 indicativos de la posición y orientación del avión de reconocimiento 10, y para usar los datos recibidos para derivar parámetros de control para el servomotor 28 y de este modo el tubo de cámara 18 y parámetros de control para el accionador de dirección 44 y de este modo el espejo de dirección 42.
- La unidad de control 132 puede implementarse de cualquier forma adecuada, y en este ejemplo la unidad de control 132 se implementa usando un controlador de lógica programable (PLC) o un dispositivo informático personal provisto de software apropiado e interfaces para implementar la funcionalidad deseada.
- Los datos de configuración 134 en este ejemplo incluyen datos indicativos de una altura de referencia ( $H_{ref}$ ) correspondiente al nivel del terreno, un ángulo frontal de fotograma (FF) indicativo del ángulo entre fotogramas de imagen capturados consecutivos, un ángulo lateral de fotograma (FS), un ángulo de barrido (S) que define el margen de movimiento de rotación del tubo de cámara 18 y una altura de altitud de disparo  $H_t$  que define la altitud a la que el

sistema de cámara aérea 12 comenzará a capturar imágenes.

5 Usando los datos de configuración 134, la unidad de control 132 calcula los valores derivados 142 indicativos del número de fotogramas de imagen (N) a capturar durante cada exploración de tubo de cámara y el ángulo inicial (SA) de cada exploración.

El ángulo inicial se define por:

$$10 \quad SA = FS \cdot (N-1) / 2$$

La unidad de control 132 usa los datos de entrada para calcular datos de control de ciclo 144, incluyendo un tiempo de ciclo de fotogramas ( $T_c$ ):

$$15 \quad T_c = FF \cdot (H - H_{ref}) / V_g$$

Los datos de control de ciclo 144 también incluyen una etapa de tiempo de fotograma ( $T_f$ ) indicativa de la cantidad del tiempo entre la captura de fotogramas de imagen sucesivos:

$$20 \quad T_f = T_d / (N \cdot 1,25)$$

Los datos de control de ciclo 144 también incluyen un valor de tasa de fotogramas (FR):

$$FR = 1 / T_f$$

25 Los datos de control de ciclo 144 se usan para controlar el movimiento de rotación del tubo de cámara 18 y señales de control apropiadas basadas en los datos de control de ciclo 144 se envían al servomotor 28. Los datos de control de ciclo 144 también se usan para controlar movimiento de rotación del espejo de dirección 44 y señales de control apropiadas basadas en los datos de control de ciclo 144 se envían al accionador de dirección 44.

30 Las señales de control generadas por la unidad de control 132 y usadas por el servomotor 28 y el espejo de dirección 44 se producen basándose en los cálculos anteriores, y teniendo en cuenta movimiento del avión de reconocimiento en cabeceo, balanceo y guiñada usando los datos de posición 140.

35 En este ejemplo, el sistema 130 se dispone de tal forma que la adquisición de imágenes no puede comenzar hasta que se recibe una orden de autorización 146 desde un operador.

En este ejemplo, datos de registro indicativos de los parámetros y ajustes usados para una operación de captura de imágenes se almacenan en una base de datos de registros 150.

40 En este ejemplo, datos de fotograma de imagen indicativos de imágenes capturadas por el sistema 130 se almacenan en un dispositivo de almacenamiento de datos de imagen 152 ubicado en el avión de reconocimiento.

En este ejemplo, el sistema 130 también incluye un visualizador 154 que proporciona información de estado para un piloto del avión de reconocimiento 10.

45 En las realizaciones anteriormente descritas, para compensar al menos parcialmente el desenfoque debido a exploración perpendicular a la trayectoria, el sistema se dispone para reducir la velocidad angular de un tubo de cámara 18 durante exposición para reducir desenfoque de movimiento a menos del 50 % de 1 píxel.

50 En las Figuras 14 a 23 se muestran disposiciones alternativas para compensar al menos parcialmente el desenfoque debido a exploración perpendicular a la trayectoria.

En la Figura 14, se muestra un conjunto de cámara alternativo 160 que incluye un conjunto de estabilización 162 dispuesto para compensar al menos parcialmente el desenfoque de exploración perpendicular a la trayectoria. Características análogas o similares se indican con números de referencia análogos.

60 El conjunto de estabilización 162 incluye un espejo plegable primario 166 que recibe luz desde el conjunto de lente 36 y refleja la luz a 90° hacia un primer espejo de dirección rápido 168. El primer espejo de dirección rápido 168 refleja la luz a aproximadamente 90° hacia un segundo espejo de dirección rápido 170, que a continuación refleja la luz a aproximadamente 90° hacia el conjunto de sensor 38.

65 En este ejemplo, cada uno del primer y segundo espejos de dirección 168, 170 es un espejo articulado ópticamente plano con recubrimiento frontal montado en un accionador que es capaz de rotar rápidamente un espejo móvil, usando en esta realización un mecanismo piezoeléctrico rotatorio. Sincronizando el movimiento de rotación de los espejos articulados con movimiento de rotación del conjunto de lente 36, es posible estabilizar de forma efectiva una imagen en el sensor del conjunto de sensor 38 y reducir de este modo desenfoque de la imagen.

Como se muestra en las Figuras 15 y 16, el conjunto de estabilización 162 se dispone en un alojamiento de estabilización 172 que se fija al conjunto de lente 36, disponiéndose los componentes del conjunto de estabilización 162 de tal forma que la luz que pasa a través de la óptica 174 del conjunto de lente 36 se dirige al espejo plegable  
5 primario 166 y posteriormente a través del primer y segundo espejos de dirección 168, 170 al conjunto de sensor 38.

Haciendo referencia a la Figura 17, el primer espejo de dirección rápido 168 incluye un primer espejo móvil 176 que es capaz de pivotar alrededor de una primera conexión de pivote 178 entre una primera posición 180 mostrada en líneas continuas y una segunda posición 182 mostrada en líneas discontinuas. De manera similar, el segundo  
10 espejo de dirección rápido 170 incluye un segundo espejo móvil 184 que es capaz de pivotar alrededor de una segunda conexión de pivote 186 entre una primera posición 188 mostrada en líneas continuas y una segunda posición 190 mostrada en líneas discontinuas.

La Figura 17 muestra un rayo incidente 192 de ejemplo que incide en el primer espejo móvil 176 del primer espejo de dirección rápido 168 y posteriormente se refleja por el primer espejo de dirección rápido 168 en el segundo  
15 espejo móvil 184 del segundo espejo de dirección rápido 170, y por el segundo espejo móvil 184 en el conjunto de sensor 38.

Cuando tanto el primer como el segundo espejos móviles 176, 184 se disponen en la primera posición, el rayo incidente de luz 192 impacta el primer espejo móvil 176 a aproximadamente  $45^\circ$  a la normal de la superficie, y un primer rayo reflejado 194 viaja a aproximadamente  $90^\circ$  del rayo incidente 192 hacia el segundo espejo móvil 184. El primer rayo reflejado 194 impacta el segundo espejo móvil 184 a aproximadamente  $45^\circ$  a la normal de la  
20 superficie, y el primer rayo reflejado 194 a continuación viaja hacia el conjunto de sensor 38 en una dirección aproximadamente paralela al rayo incidente 192.

Si el primer espejo móvil 176 se rota ligeramente alrededor de la primera conexión de pivote 178 mediante el primer espejo de dirección rápido 168, en este ejemplo por  $1^\circ$ , para aumentar el ángulo de incidencia del rayo incidente 192 a  $46^\circ$ , se produce un segundo rayo reflejado 196 que viaja a  $92^\circ$  del rayo incidente 192 hacia el  
25 segundo espejo móvil 184.

Si el segundo espejo móvil 184 se rota ligeramente alrededor de la segunda conexión de pivote 186 por el segundo espejo de dirección rápido 170 y por la misma cantidad de rotación, en este ejemplo por  $1^\circ$ , el segundo rayo reflejado 196 a continuación viaja hacia el conjunto de sensor 38 en una dirección aproximadamente paralela al  
30 rayo incidente 192, pero trasladado en relación con el primer rayo reflejado 194.

Se entenderá que ya que el primer y segundo rayos reflejados 194, 196 que impactan el conjunto de sensor 38 son paralelos y están espaciados entre sí, se deduce que rotando el primer y segundo espejos móviles 176, 184 por el mismo ángulo, pero en direcciones opuestas en relación con sus ángulos de referencia, se traslada una  
35 imagen en el conjunto de sensor 38 sin rotación de la imagen.

Se entenderá también que la longitud de la trayectoria óptica desde un punto de referencia en el rayo incidente de luz 192 a lo largo del primer rayo reflejado 194 hasta el conjunto de sensor 38 es aproximadamente la misma que la longitud de la trayectoria óptica desde el punto de referencia en el rayo incidente de luz 192 a lo largo del segundo  
40 rayo reflejado 196 hasta el conjunto de sensor 38. Como consecuencia, el enfoque de la imagen en el conjunto de sensor 38 permanece aproximadamente el mismo independientemente de la posición de rotación del primer y segundo espejos móviles 176, 184.

Ya que la longitud de la trayectoria óptica puede mantenerse sustancialmente constante, y la imagen en el conjunto de sensor 38 trasladarse sin rotación de la imagen en el conjunto de sensor, sincronizando el movimiento de rotación del primer y segundo espejos móviles 176, 184, es posible mantener una imagen sustancialmente estacionaria en  
50 el conjunto de sensor 38 durante la duración de una exposición, incluso aunque el conjunto de cámara 160 esté rotando alrededor de un eje longitudinal paralelo a la dirección de movimiento del avión 10.

En la Figura 18 se muestra un diagrama 200 que ilustra movimiento de rotación durante el uso de un tubo de cámara 18 que puede incluir múltiples conjuntos de tubo de cámara 160.  
55

El diagrama 200 incluye un gráfico de posición de tubo de cámara 202 indicativo de la posición de rotación del tubo de cámara 18 durante parte de una exploración del tubo de cámara 18. El gráfico de posición de tubo de cámara 202 muestra una rotación del tubo de cámara 18 entre aproximadamente  $0^\circ$  y aproximadamente  $+2^\circ$ . En este ejemplo, se supone que el tubo de cámara 18 está rotando alrededor de su eje longitudinal a una tasa que es aproximadamente  
60 constante, tal como  $10^\circ/\text{s}$ .

En este ejemplo, se desea exponer una imagen en el conjunto de sensor 38 cada 40 ms, requiriéndose que la imagen permanezca sustancialmente estacionaria en el conjunto de sensor 38 durante aproximadamente 10 ms. Para conseguir esto, el primer y segundo espejos móviles 176, 184 se rotan juntos durante el tiempo de exposición a una tasa controlada basándose en la velocidad de rotación del tubo de cámara 18, de modo que la longitud de  
65

trayectoria óptica permanece sustancialmente constante y los rayos que impactan el conjunto de sensor se trasladan a una velocidad correspondiente a la velocidad de rotación del tubo de cámara 18. Durante un tiempo de exposición de 10 ms y una tasa de rotación de tubo de 10 grados por segundo con una lente de longitud focal de 600 mm, el eje óptico puede necesitar trasladarse una distancia típica de 4 mm a través de la superficie del sensor. Suponiendo un  
 5 espaciado entre los dos espejos de dirección rápidos de 200 mm, esto requiere un margen de rotación de movimiento de los espejos de dirección rápidos de 0,66 grados. La tasa de rotación de los espejos de dirección rápidos puede ser de aproximadamente 60 grados por segundo durante la exposición y la tasa de retorno puede ser de habitualmente el 50 % de esta.

10 El diagrama 200 incluye un gráfico de posición de espejo de dirección rápido 204 que ilustra movimiento de rotación del primer y segundo espejos móviles 176, 184. Como se muestra, el gráfico de posición de espejo de dirección rápido 204 incluye porciones de inclinación plana 208 y porciones de inclinación pronunciada 210. Las porciones de inclinación pronunciada 210 corresponden al movimiento del primer y segundo espejos móviles 176, 184 en una primera dirección de rotación desde una posición inicial hasta una posición final durante exposición, y las porciones  
 15 de inclinación plana 208 corresponden al movimiento del primer y segundo espejos móviles 176, 184 de vuelta a la posición inicial desde la posición final antes del comienzo de una exposición posterior.

El diagrama 200 también incluye un gráfico de posición de imagen 206 que ilustra el movimiento de imágenes en el conjunto de sensor 38 a medida que el tubo de cámara 18 rota y el primer y segundo espejos móviles 176, 184 rotan en sincronización con los tiempos de exposición y a una velocidad basándose en la rotación del tubo de cámara 18. Como se muestra, el gráfico de posición de imagen 206 incluye porciones inclinadas 212 y porciones planas 214. Las porciones inclinadas 212 corresponden al movimiento del tubo de cámara 18 fuera de tiempos de exposición, y las porciones planas 214 corresponden al movimiento del primer y segundo espejos móviles 176, 184 durante exposición y la presencia de una imagen sustancialmente estable en el conjunto de sensor 38.  
 20

25 En la Figura 19 se muestra un conjunto de estabilización alternativo 220. Características análogas o similares se indican con números de referencia análogos.

Además del primer y segundo espejos de dirección 168, 170, el conjunto de estabilización 220 también incluye un  
 30 espejo plegable intermedio fijo 222 dispuesto en la trayectoria óptica entre el primer y segundo espejos de dirección 168, 170. El espejo plegable intermedio 222 tiene el efecto de aumentar la longitud de trayectoria óptica entre el primer y segundo espejos de dirección 168, 170, aumentando de este modo la distancia de translación de una imagen en el conjunto de sensor 38 para una cantidad particular de rotación de los espejos de dirección rápidos 168, 170. Como se muestra en la Figura 19, la rotación del primer y segundo espejos de dirección 168, 170 efectúa la translación de un segundo rayo reflejado 226 en relación con un primer rayo reflejado 224 mientras que mantiene el primer y segundo rayos reflejados 224, 226 paralelos.  
 35

En la Figura 20 se muestra un conjunto de estabilización alternativo adicional 230. Características análogas o similares se indican con números de referencia análogos.  
 40

Con esta disposición, se proporciona un conjunto de espejo común de dirección rápido 232 que incluye primer y segundo espejos de dirección 234, 236, estando el conjunto de espejo común 232 montado para rotar alrededor de una conexión de pivote 238 entre una primera posición 240 mostrada en líneas continuas y una segunda posición 242 mostrada en líneas discontinuas.  
 45

En la Figura 21 se muestra un conjunto de cámara alternativo 250 que incluye el conjunto de estabilización alternativo 230.

Como con los conjuntos de estabilización mostrados en las Figuras 17 y 19, el movimiento de rotación del conjunto de espejo común 232, por ejemplo, usando un accionador piezoeléctrico 254, provoca movimiento de rotación del primer y segundo espejos de dirección 234, 236 y translación de rayos de luz en el conjunto de sensor 38 sin rotación de la imagen y sin afectar al enfoque de la imagen en el conjunto de sensor 38.  
 50

En la Figura 22 se muestra un conjunto de estabilización alternativo adicional 260. Características análogas o similares se indican con números de referencia análogos.  
 55

Con esta disposición, se proporciona únicamente un espejo de dirección rápido 168 en la trayectoria óptica entre el conjunto de lente 36 y el conjunto de sensor 38. Como se muestra en la Figura 22 mediante el primer y segundo rayos reflejados 262, 264, la rotación del espejo móvil 176 del espejo de dirección rápido 168 provoca translación de la imagen en el conjunto de sensor 38, pero con rotación del eje óptico y un pequeño cambio en longitud de trayectoria óptica. La rotación de la imagen y un cambio en longitud de trayectoria óptica pueden tolerarse si el grado de rotación y cambio en longitud de trayectoria óptica son pequeños.  
 60

Esta realización se prevé, por lo tanto, únicamente si el movimiento de rotación del espejo móvil 176 necesita ser únicamente pequeño para compensar el movimiento de una imagen en el sensor y habilitar exposición de una imagen sustancialmente estable en el sensor durante una cantidad de tiempo suficiente para la captura de  
 65

imágenes.

En la Figura 23 se muestra un conjunto de cámara alternativo 268 que incluye el conjunto de estabilización alternativo 260.

5 Haciendo referencia a la Figura 24, se muestra un diagrama de bloques 270 que ilustra componentes operativos de un sistema de cámara aérea 12 que incluye un conjunto de cámara alternativo provisto de un conjunto de estabilización 162, 220, 252, 260. Características análogas o similares se indican con números de referencia análogos.

10 El sistema opera de una manera similar a las realizaciones descritas en relación con la Figuras 1 a 13 y en particular descritas con referencia al diagrama de bloques en la Figura 13.

15 La unidad de control 132 se dispone para controlar y coordinar operaciones en el sistema y en particular para recibir datos de configuración 134, datos de altitud 136 indicativos de la altitud actual (H) del avión de reconocimiento, datos de velocidad respecto al terreno 138 indicativos de la velocidad respecto al terreno  $V_g$  del avión de reconocimiento y datos de posición 140 indicativos de la posición y orientación del avión de reconocimiento 10, y para usar los datos recibidos para derivar parámetros de control para el servomotor 28 y de este modo el tubo de cámara 18 y parámetros de control para el accionador de dirección 44 y de este modo el espejo de dirección 42.

20 Como con las realizaciones descritas en relación con la Figuras 1 a 13, los datos de configuración 134 incluyen datos indicativos de una altura de referencia ( $H_{ref}$ ) correspondiente al nivel del terreno, un ángulo frontal de fotograma (FF) indicativo del ángulo entre fotogramas de imagen capturados consecutivos, un ángulo lateral de fotograma (FS), un ángulo de barrido (S) que define el margen de movimiento de rotación del tubo de cámara 18, y una altura de altitud de disparo  $H_i$  que define la altitud a la que el sistema de cámara aérea 12 comenzará a capturar imágenes.

30 Como con las realizaciones descritas en relación con la Figuras 1 a 13, usando los datos de configuración 134, la unidad de control 132 calcula los valores derivados 142 indicativos del número de fotogramas de imagen (N) para capturar durante cada exploración de tubo de cámara, y el ángulo inicial (SA) de cada exploración.

35 La unidad de control 132 usa los datos de entrada para calcular datos de control de ciclo 144, incluyendo un tiempo de ciclo de fotogramas ( $T_c$ ). Los datos de control de ciclo 144 también incluyen una etapa de tiempo de fotograma ( $T_f$ ) indicativa de la cantidad del tiempo entre la captura de fotogramas de imagen sucesivos y un valor de tasa de fotogramas (FR). Los datos de control de ciclo 144 se usan para controlar el movimiento de rotación del tubo de cámara 18 y señales de control apropiadas basadas en los datos de control de ciclo 144 se envían al servomotor 28. Los datos de control de ciclo 144 también se usan para controlar movimiento de rotación del espejo de dirección 44 y señales de control apropiadas basadas en los datos de control de ciclo 144 se envían al accionador de dirección 44.

40 Las señales de control generadas por la unidad de control 132 y usadas por el servomotor 28 y el espejo de dirección 44 se producen basándose en los cálculos anteriores, y teniendo en cuenta movimiento del avión de reconocimiento en cabeceo, balanceo y guiñada usando los datos de posición 140.

45 La unidad de control 132 también produce señales de control para el o cada espejo de dirección rápido 168, 170 para rotar el o cada espejo móvil 176, 184 en sincronización con captura de imágenes y por una cantidad y velocidad de modo que se dispone una imagen sustancialmente estable en el conjunto de sensor 38 durante una cantidad de tiempo suficiente para efectuar una captura de imágenes.

50 Detener el movimiento de rotación del tubo para cada captura de imágenes sin el uso de los espejos de estabilización permite que cada sensor capture una tasa máxima de aproximadamente 20 fotogramas por segundo. Una combinación representativa de lentes de longitud focal de 600 mm montadas en un avión operando a 7.620 metros (25.000 pies) y a una velocidad de 450 km/h proporciona aproximadamente imágenes con resolución de 5 cm. La tasa de fotogramas máxima se limita por una vibración inducida en el sistema de cámara mediante el movimiento de rotación de parada-arranque que puede limitar la vida útil de las lentes y sensores.

55 Usar los espejos de dirección rápidos de estabilización y una rotación de tubo constante permite que se capture una tasa máxima de aproximadamente 100 fotogramas por segundo. Usar lentes de longitud focal de 1.800 mm montadas en un avión que opera a 10.668 metros (35.000 pies) y a una velocidad de 600 km/h proporciona aproximadamente imágenes con resolución de 4 cm. La ventaja de este sistema es el aumento de tasa de fotogramas máxima que es posible porque se induce una vibración insignificante en el sistema de cámara mediante los movimientos oscilatorios de los espejos de dirección rápidos de relativamente baja masa. La tasa de fotogramas más alta también permite el uso de lentes de mayor longitud focal y velocidad de avance de avión más rápida resultando en una ventaja de productividad significativa.

65 Se apreciará que el presente sistema de cámara aérea 12 tiene alta redundancia y geometría fuerte, habilitando que se consiga una buena solución durante un proceso de ajuste de agrupamiento de un proceso de procesamiento de imagen fotogramétrico.

5 Ya que numerosos parámetros de control del sistema son dinámicos, tales como control de compensación de movimiento de avance, control de compensación de movimiento perpendicular a la trayectoria y control de temporización de captura de imágenes, el sistema es capaz de compensar fallos de hardware, tal como fallo de un sensor en una configuración de múltiples sensores, aunque con rendimiento potencialmente degradado.

Se apreciará que el presente sistema de cámara aérea aumenta significativamente la productividad y mejora la precisión potencial sobre sistemas conocidos hasta ahora.

10 En particular, el sistema captura simultáneamente una región de cobertura terrestre nadir y 4 regiones de cobertura terrestre oblicuas usando solo 3 sensores, tiene un alto nivel de solapamiento entre imágenes adyacentes y una redundancia consecuente de 21, y líneas de base oblicuas largas que resultan en geometría fuerte.

15 El presente sistema también tiene un diseño compacto y habilita que se consiga una alta productividad ya que se capturan un gran número de imágenes rotando el tubo de cámara 18.

20 El sistema también tiene compensación de movimiento en ambas direcciones longitudinal y perpendicular a la trayectoria que habilita que se capturen imágenes de resolución alta desde una altitud más alta que con sistemas aéreos de captura de imágenes conocidos hasta ahora.

25 Haciendo referencia a la Figura 25, se proporciona una disposición alternativa 300 para compensar al menos parcialmente el desenfoque de imagen provocado por el movimiento de avance del avión de reconocimiento. En el presente ejemplo, la disposición alternativa 300 se describe en relación con la realización mostrada en las Figuras 1 a 13 aunque se entenderá que la disposición alternativa es aplicable a otras realizaciones. Características análogas o similares se indican con números de referencia análogos.

30 Con esta variación, en lugar de proporcionar un espejo de dirección 42 dispuesto antes del conjunto de lente 36 que rota a una velocidad basándose en la velocidad del avión de reconocimiento, se proporciona un espejo de dirección fijo 302 para dirigir la luz desde el terreno debajo del avión de reconocimiento hacia el conjunto de lente 36, y se proporcionan primer y segundo espejos de dirección rápidos 304, 306. De una manera similar a la operación del primer y segundo espejos de dirección 168, 170 en la realización mostrada en la Figura 14, los espejos de dirección rápidos 304, 306 rotan en sincronización entre sí para trasladar el eje de lente en el sensor 38 y proporcionan de este modo estabilización al menos parcial de una imagen en el sensor 38 en una dirección longitudinal a la trayectoria.

35 Se entenderá que la velocidad de rotación del primer y segundo espejos de dirección 304, 306 depende de la velocidad del avión de reconocimiento.

40 Haciendo referencia a las Figuras 26 y 27, se proporciona una disposición alternativa 320 para compensar al menos parcialmente el desenfoque de imagen provocado por el movimiento de avance del avión de reconocimiento y movimiento perpendicular a la trayectoria de un conjunto de cámara. En este ejemplo, la disposición alternativa 320 se describe en relación con la realización mostrada en Figuras 14 a 18 aunque se entenderá que la disposición alternativa 320 es aplicable a otras realizaciones. Características análogas o similares se indican con números de referencia análogos.

45 Esta variación incluye la disposición de estabilización longitudinal a la trayectoria mostrada en la Figura 25 aplicada a un conjunto de cámara 160 que usa un par de espejos de dirección rápidos para compensar al menos parcialmente el movimiento perpendicular a la trayectoria del conjunto de cámara rotatorio 160. Con esta variación, por lo tanto, se proporciona un espejo de dirección fijo 302 para dirigir la luz desde el terreno debajo del avión de reconocimiento hacia el conjunto de lente 36, y se proporcionan el tercer y cuarto espejos de dirección rápidos 322, 324 para compensar al menos parcialmente un movimiento longitudinal a la trayectoria del avión de reconocimiento, además del primer y segundo espejos de dirección rápidos 168, 170 que compensan al menos parcialmente el movimiento perpendicular a la trayectoria del conjunto de cámara 160.

50 Haciendo referencia a la Figura 28, se proporciona un sistema de cámara aérea alternativo adicional 330. Características análogas o similares se indican con números de referencia análogos.

55 El sistema de cámara alternativo 330 incluye varios conjuntos de cámara 332 orientados de tal forma que el eje longitudinal central del conjunto de lente 36 de cada conjunto de cámara 332 se extiende generalmente perpendicular a la dirección de movimiento del avión de reconocimiento. En este ejemplo, los conjuntos de cámara 332 se empaquetan de tal forma que 3 conjuntos de cámara 332 se orientan en una primera dirección y 3 conjuntos de cámara se orientan en una segunda dirección opuesta a la primera dirección. En la Figura 29 se muestra un avión de reconocimiento 334 que incluye el empaquetamiento 336 adecuado para los conjuntos de cámara.

60 Cada conjunto de cámara 332 se muestra en más detalle en la Figura 30 e incluye un espejo de dirección primario 338 que es capaz de rotar durante el uso alrededor de un eje generalmente paralelo a la dirección de movimiento del

avión 334 a través de un margen de 45° a 135° en relación con el eje longitudinal central 340 de conjunto de lente.

Cada conjunto de cámara 332 también incluye primer y segundo espejos de dirección rápidos 342, 344, un conjunto de lente 36 y un sensor 38.

5 Cada conjunto de cámara 332 se dispone para rotar alrededor de su respectivo eje central 340 como se indica mediante la flecha 346 a una velocidad dependiente de la velocidad del avión de reconocimiento 334. El movimiento de rotación del conjunto de cámara 332 es similar al movimiento de rotación del espejo de dirección 42 descrito en relación con las realizaciones mostradas en las Figuras 6 y 14 en las que el espejo de dirección 42 rota en una primera dirección correspondiente a la velocidad instantánea del avión de reconocimiento, a continuación rota rápidamente en una dirección opuesta. De esta manera, se apreciará que se proporciona al menos una compensación parcial por el desenfoque de imagen provocado por movimiento de avance del avión de reconocimiento 334.

10 15 Durante un reconocimiento, se capturan imágenes perpendiculares a la trayectoria rotando el espejo de dirección primario 338, capturando imágenes periódicamente a medida que el espejo de dirección primario 338 rota y rotando repetidamente el espejo de dirección primario 338 de vuelta a una posición de rotación de inicio.

20 Se apreciará que el movimiento de rotación del espejo de dirección primario 338 consigue de esta manera un efecto similar al movimiento de rotación del conjunto de cámara 30, 160 alrededor de un eje paralelo a la dirección de movimiento del avión de reconocimiento descrito en relación con las realizaciones mostradas en las Figuras 6 y 14.

25 Como con la realización mostrada en la Figura 14, se consigue al menos una compensación parcial por el desenfoque de imagen provocado por el movimiento perpendicular a la trayectoria usando el primer y segundo espejos de dirección 342, 344 sincronizando el movimiento de rotación del primer y segundo espejos de dirección 342, 344 con rotación del espejo de dirección primario durante el tiempo de exposición, y manteniendo sustancialmente de este modo una imagen estacionaria en el conjunto de sensor 38 durante exposición.

30 Como se muestra en las Figuras 31 y 32, en este ejemplo cada conjunto de cámara 332 se configura de modo que difiere el campo de visión de los conjuntos de cámara, por ejemplo ubicando y configurando los conjuntos de cámara de tal forma que los conjuntos de cámara 332 cubren respectivas regiones 350 que juntas cubren un área contigua del terreno debajo del avión de reconocimiento 334.

35 Por ejemplo, como se muestra en la Figura 32, las regiones 350 pueden disponerse en un patrón de tal forma que los conjuntos de cámara cubren regiones en un patrón que tiene 2 regiones de anchura (en una dirección transversal a la dirección de movimiento del avión de reconocimiento) y 3 regiones de largo (en una dirección paralela a la dirección de movimiento del avión de reconocimiento), o como alternativa 3 regiones de anchura y 2 regiones de largo.

40 Modificaciones y variaciones, como serían evidentes para un experto, se consideran que están dentro del alcance de las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de cámara aérea (160) que comprende:

5 al menos una cámara (30) dispuesta para capturar una pluralidad de imágenes sucesivas, incluyendo la al menos una cámara (30) al menos un respectivo sensor de imagen (38), y siendo el campo de visión de la cámara (30) movable perpendicular a la trayectoria en relación con una región del terreno; y un conjunto de estabilización (162) asociado con cada cámara (30);  
 10 el sistema (160) dispuesto para controlar la al menos una cámara (30) para capturar imágenes sucesivas a intervalos definidos a medida que el campo de visión de la cámara (30) se mueve perpendicular a la trayectoria en relación con una región del terreno;  
 caracterizado por que el conjunto de estabilización (162) incluye al menos dos espejos de dirección (168, 170) que son movibles de forma controlable para trasladar el eje óptico de la cámara (30) en relación con el al menos un sensor de imagen (38) en sincronización con captura de imágenes para efectuar estabilización perpendicular  
 15 a la trayectoria de una imagen en el al menos un sensor de imagen (38) durante captura de imágenes a medida que el campo de visión de la cámara (30) se mueve perpendicular a la trayectoria en relación con una región del terreno; y  
 por que el conjunto de estabilización (162) comprende un primer espejo de dirección (168) rotado por una primera cantidad de rotación y un segundo espejo de dirección (170) rotado por una segunda cantidad de rotación, siendo la primera y segunda cantidades de rotación de tal forma que la dirección de propagación de un rayo de luz (194) dirigido por el primer y segundo espejos de dirección (168, 170) antes de la rotación del primer y segundo espejos de dirección (168, 170) es sustancialmente paralela a la dirección de propagación de un rayo de luz (196) dirigido por el primer y segundo espejos de dirección (168, 170) después de la rotación del primer y segundo espejos de dirección (168, 170).

25 2. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el primer espejo de dirección (168) y el segundo espejo de dirección (170) se disponen de tal forma que la longitud de la trayectoria óptica entre un punto de referencia en un rayo incidente en el primer espejo de dirección (168) y un sensor (38) es sustancialmente la misma antes de la rotación del primer y segundo espejos de dirección (168, 170) como después de la rotación del primer y segundo espejos de dirección (168, 170).

30 3. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, caracterizado por que el conjunto de estabilización (162) comprende un espejo fijo (222) en una trayectoria óptica entre el primer y segundo espejos de dirección (168, 170).

35 4. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el conjunto de estabilización (162) comprende un conjunto de espejo común (232), incluyendo el conjunto de espejo común (232) el primer espejo de dirección (234) y el segundo espejo de dirección (236) dispuestos de forma fija relativos entre sí, siendo el conjunto de espejo común (232) movable para efectuar movimiento del primer y segundo espejos de dirección (168, 170).

45 5. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la al menos una cámara (30) se puede rotar de tal forma que el campo de visión de la cámara (30) se puede mover en una dirección sustancialmente transversal a través de una región del terreno.

50 6. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por que el sistema se dispone para usar una posición y/u orientación detectadas de un avión de reconocimiento (10) para determinar si modificar la posición de rotación de la al menos una cámara (30) para proporcionar al menos una compensación parcial por los cambios a la posición y/u orientación del avión de reconocimiento (10).

7. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con una cualquiera de la reivindicación 5 o la reivindicación 6, caracterizado por que la al menos una cámara (30) se monta en un tubo de cámara (18) y el sistema se dispone para controlar la rotación del tubo de cámara (18).

55 8. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el sistema comprende al menos una cámara ortogonal (30) dispuesta para capturar imágenes representativas de un área terrestre sustancialmente directamente debajo del avión de reconocimiento.

60 9. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el sistema comprende al menos una cámara oblicua (32, 34) dispuesta para capturar imágenes oblicuas representativas de un área terrestre que no está ubicada sustancialmente directamente debajo de un avión de reconocimiento (10).

65 10. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por que el sistema comprende al menos una cámara oblicua trasera (32) dispuesta de tal forma que el campo de visión de la cámara oblicua trasera (32) se dirige hacia atrás del avión de reconocimiento (10), y al menos una cámara oblicua delantera

(34) dispuesta de tal forma que el campo de visión de la cámara oblicua delantera (34) se dirige hacia delante del avión de reconocimiento.

- 5 11. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con la reivindicación 9 o la reivindicación 10, caracterizado por que cada cámara oblicua (32, 34) se monta de tal forma que el campo de visión de cada cámara oblicua pasa a través de una región del terreno que incluye múltiples diferentes franjas oblicuas (80, 82) que se extienden en diferentes direcciones a medida que la al menos una cámara oblicua rota (32, 34).
- 10 12. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que cada cámara tiene un espejo de dirección asociado (42) dispuesto para dirigir luz en un conjunto de lente (36), en el que el sistema se dispone para rotar el espejo de dirección (42) alrededor de un eje generalmente transversal a la dirección de movimiento del avión de reconocimiento (10) para proporcionar al menos una compensación parcial por el movimiento de avance del avión de reconocimiento, y en el que el espejo de dirección (42) se rota de tal forma que el espejo de dirección se mueve a una velocidad sustancialmente correspondiente a la velocidad instantánea del avión de reconocimiento (10).
- 15 13. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por que el espejo de dirección (42) se dispone para rotar en una primera dirección correspondiente a la dirección de movimiento del avión de reconocimiento (10) desde una posición inicial definida hasta una posición final definida para compensar al menos parcialmente el movimiento de avance del avión de reconocimiento (10), a continuación para rotar en una segunda dirección opuesta para traer de vuelta el espejo de dirección (42) a la posición inicial definida.
- 20 14. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con la reivindicación 12 o la reivindicación 13, caracterizado por que el sistema se dispone para usar una orientación detectada del avión de reconocimiento (10) para determinar si modificar la posición de rotación del espejo de dirección (42) para proporcionar al menos una compensación parcial por los cambios a la orientación del avión de reconocimiento.
- 25 15. Un sistema de cámara aérea (160) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la forma de cada huella de cobertura terrestre es controlable controlando cuándo iniciar y detener captura de imágenes a medida que la respectiva al menos una cámara (30, 32, 34) rota.
- 30

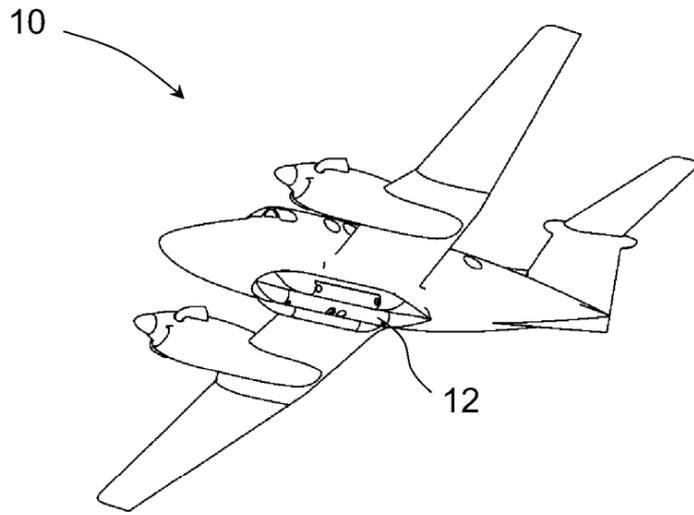


Fig. 1

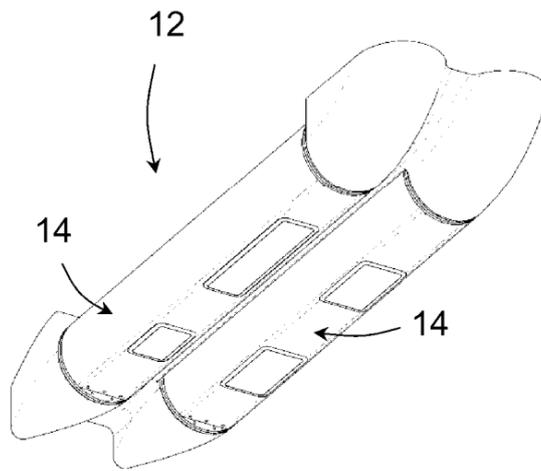


Fig. 2



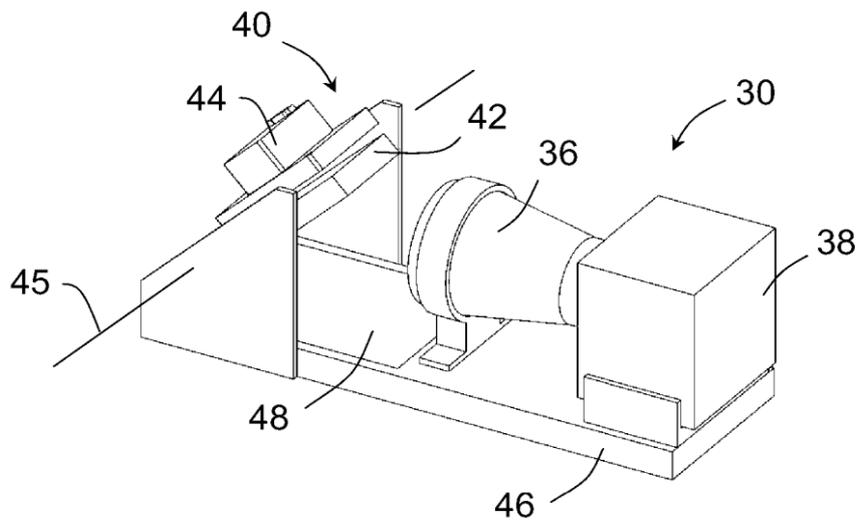


Fig. 6

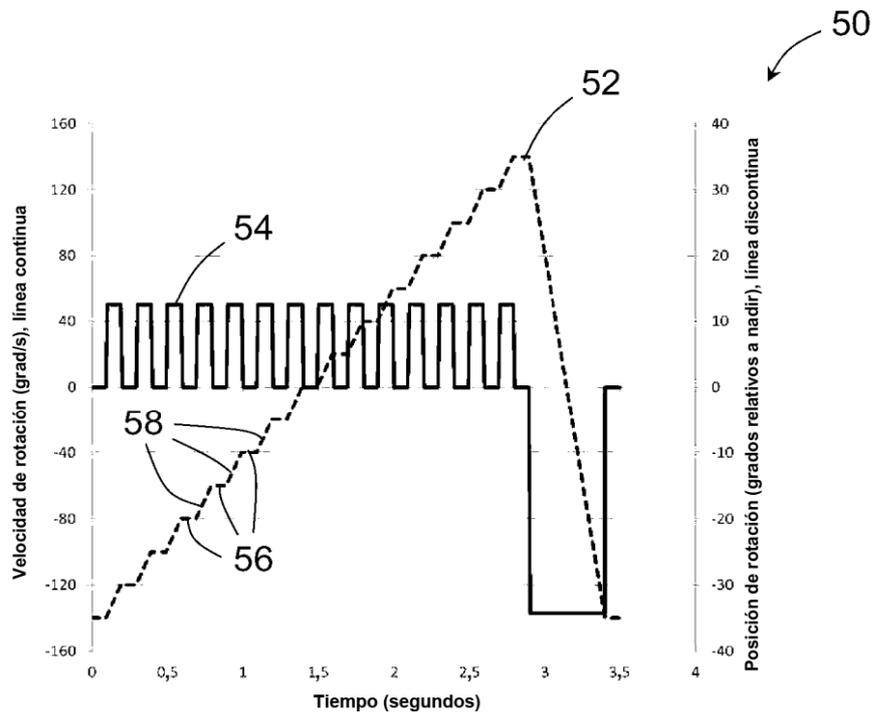


Fig. 7

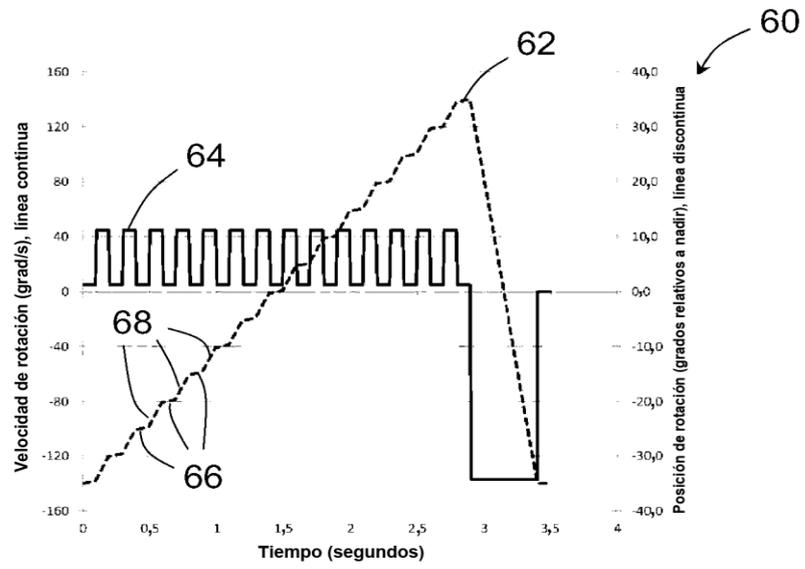


Fig. 8

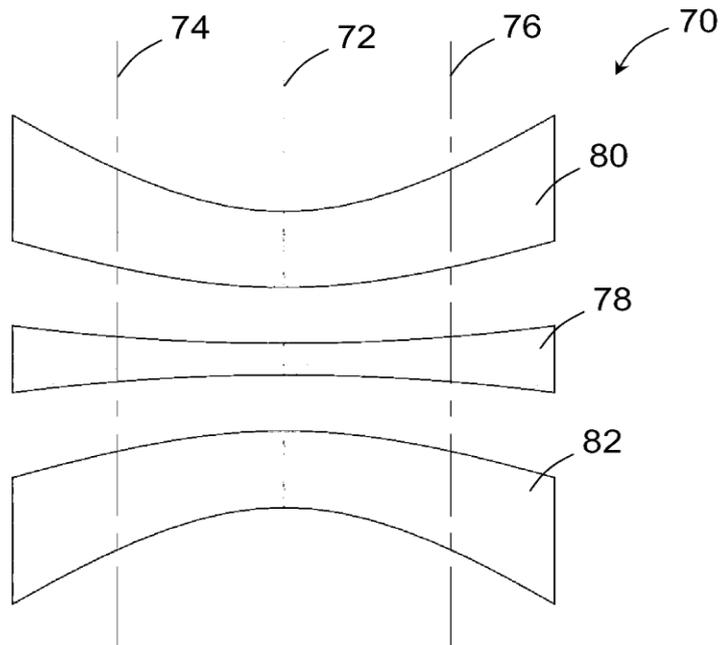


Fig. 9

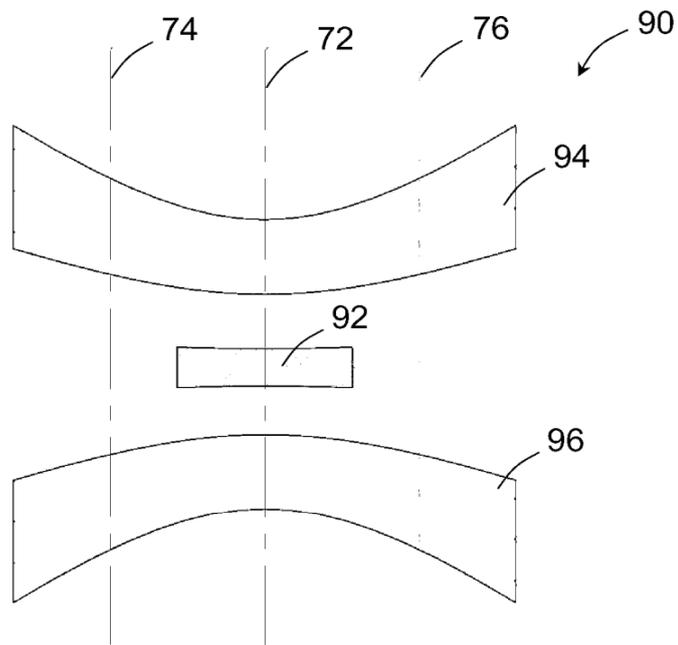


Fig. 10

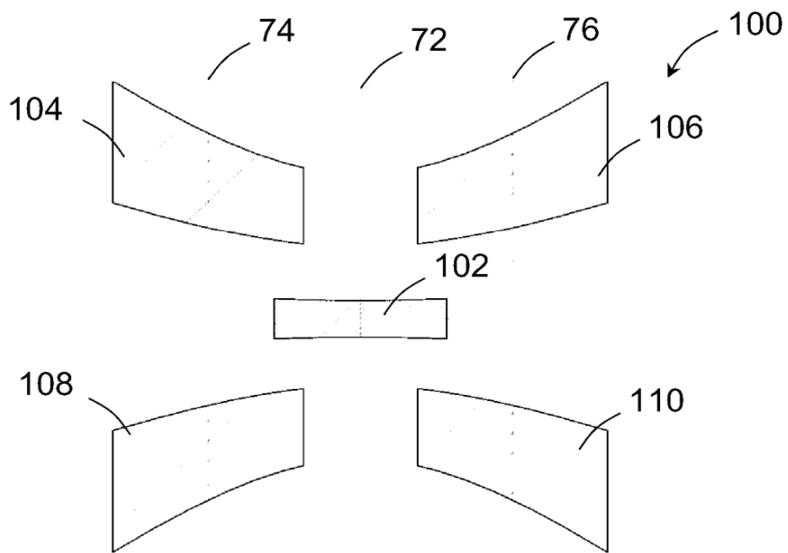


Fig. 11

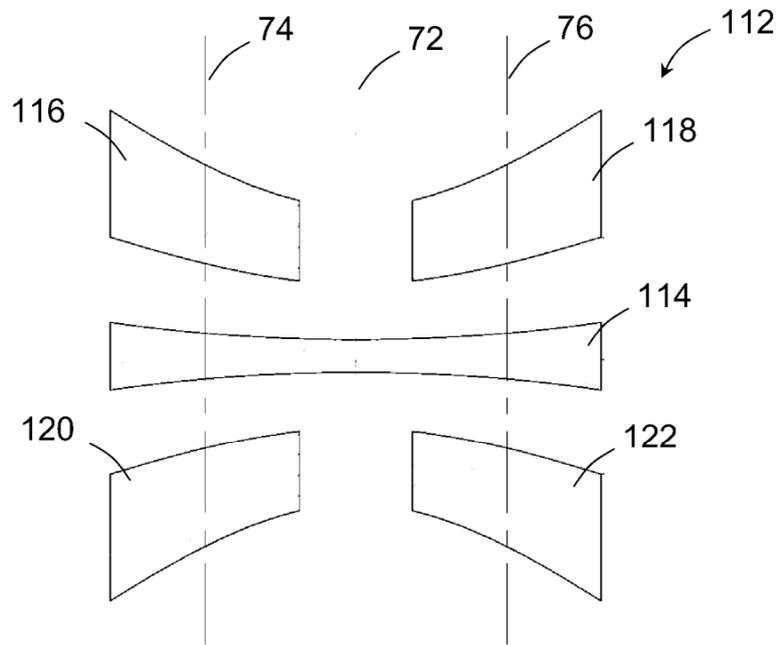


Fig. 12

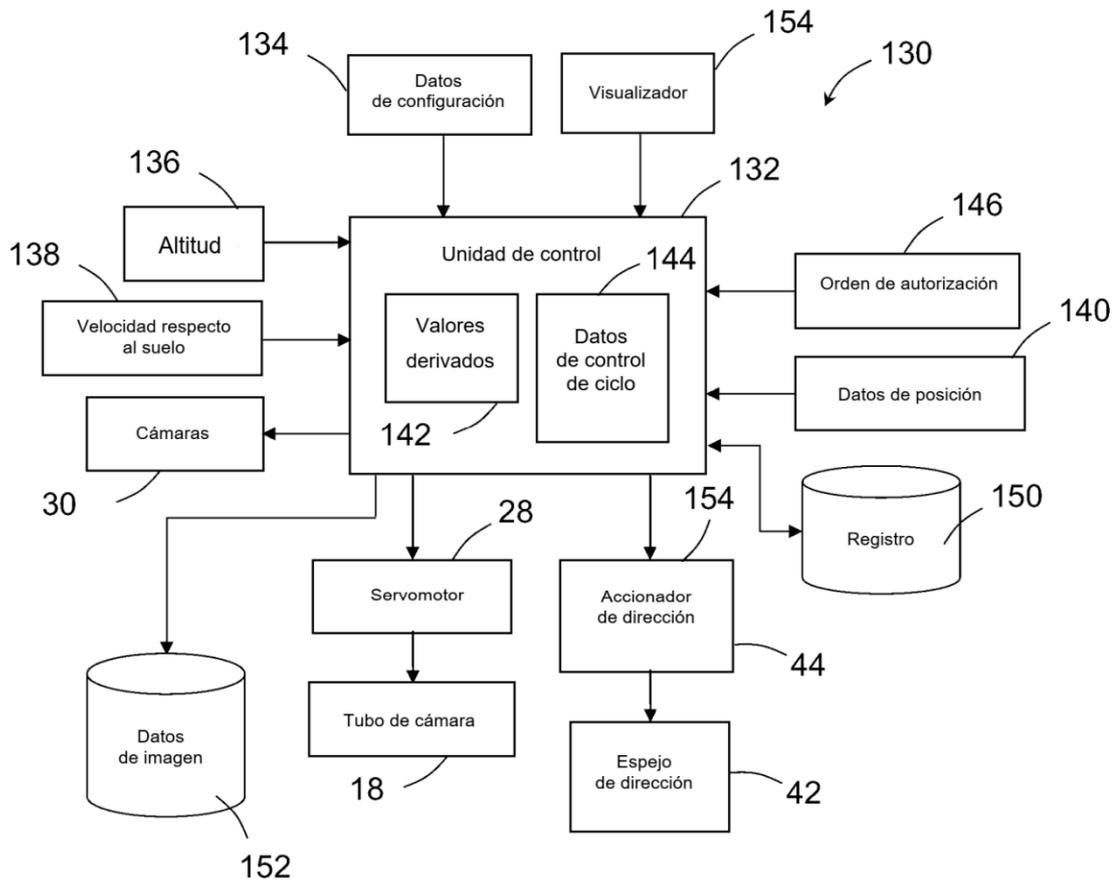


Fig. 13

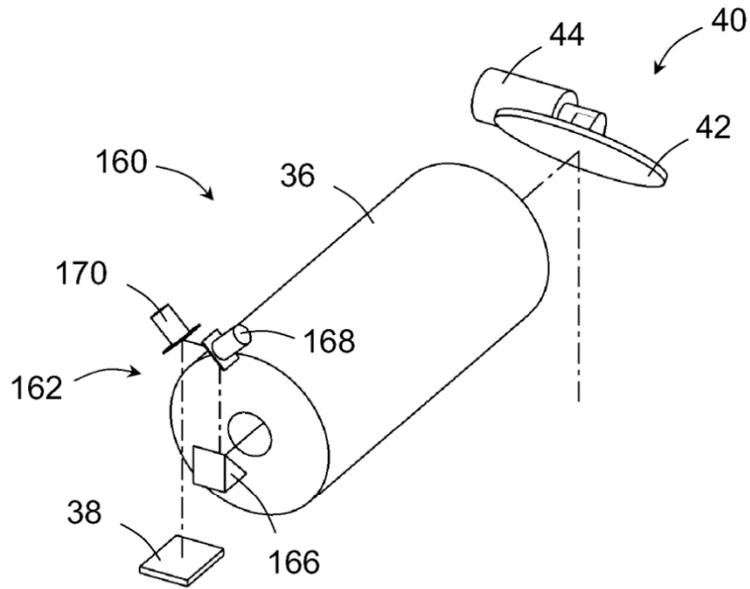


Fig. 14

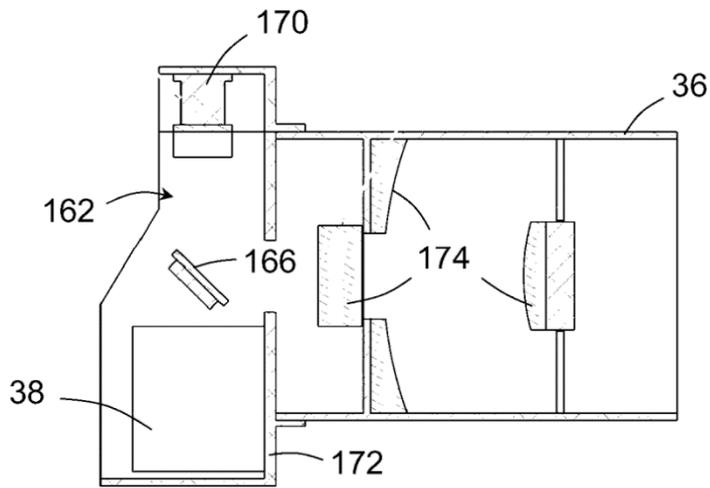


Fig. 15

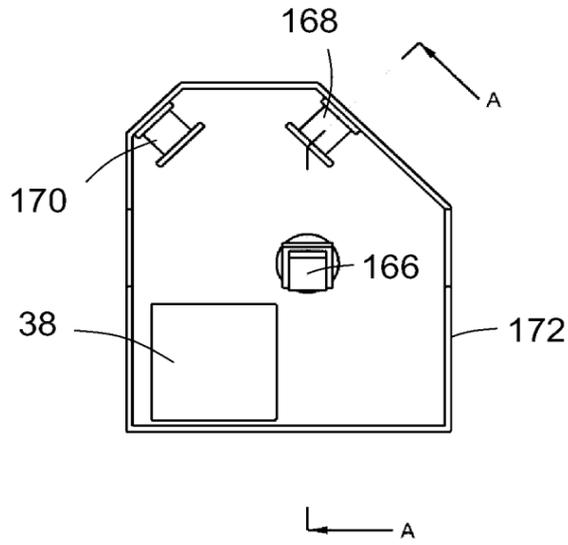


Fig. 16

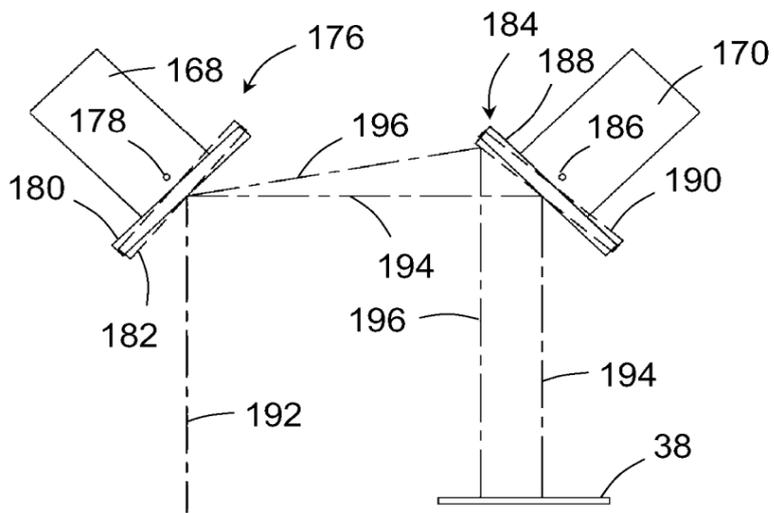


Fig. 17

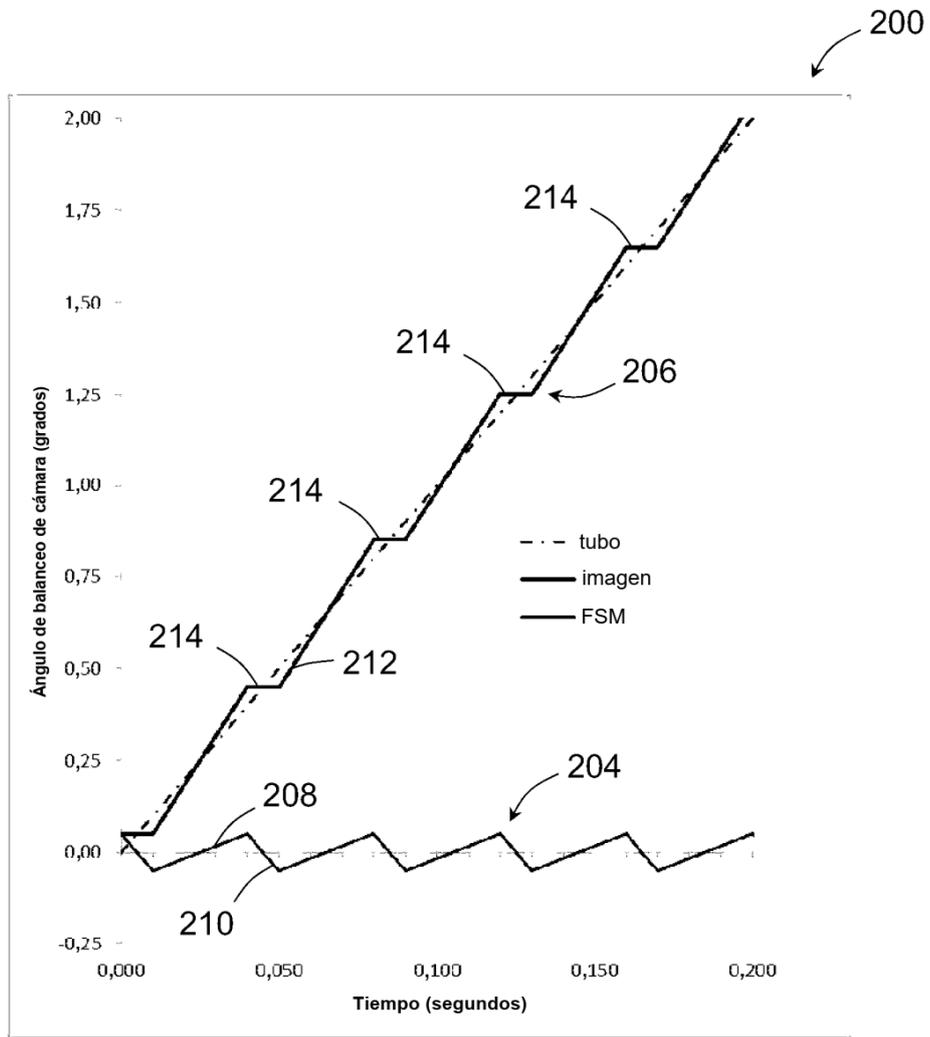


Fig. 18

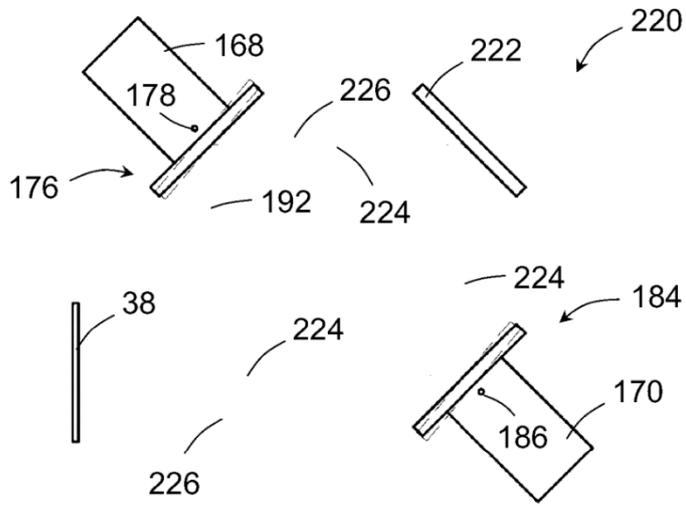


Fig. 19

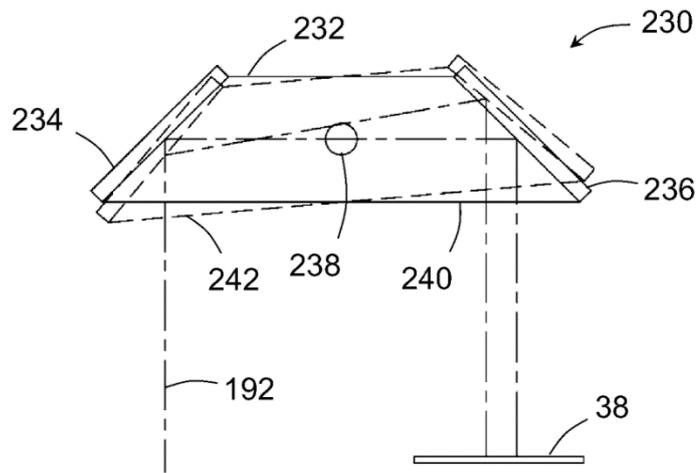


Fig. 20

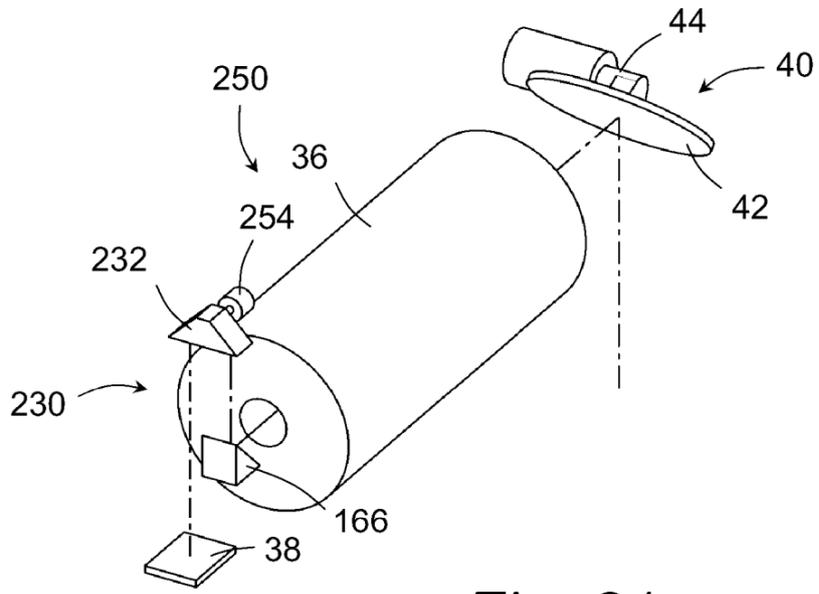


Fig. 21

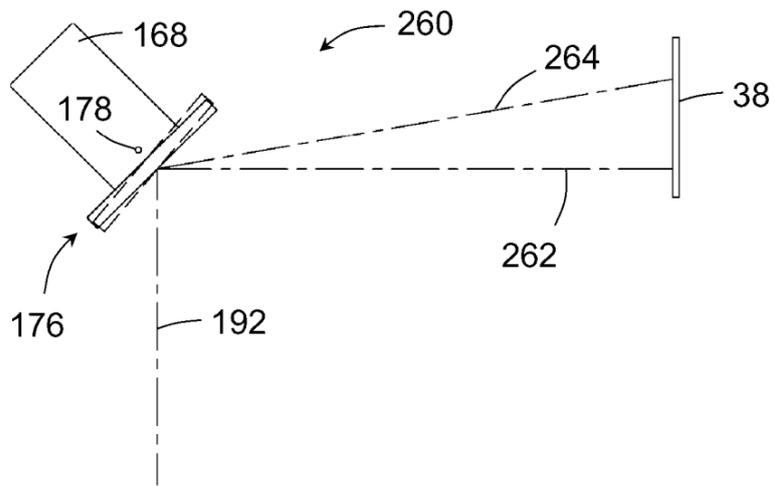


Fig. 22

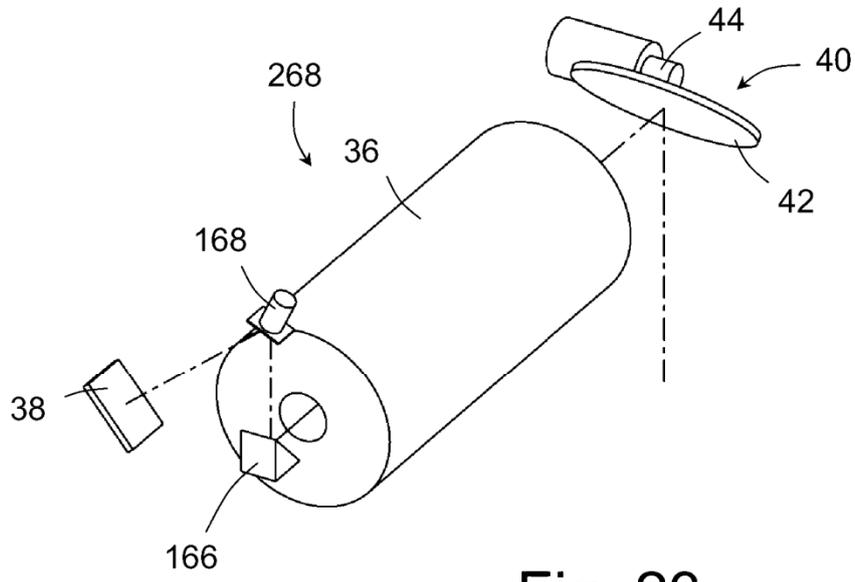


Fig. 23

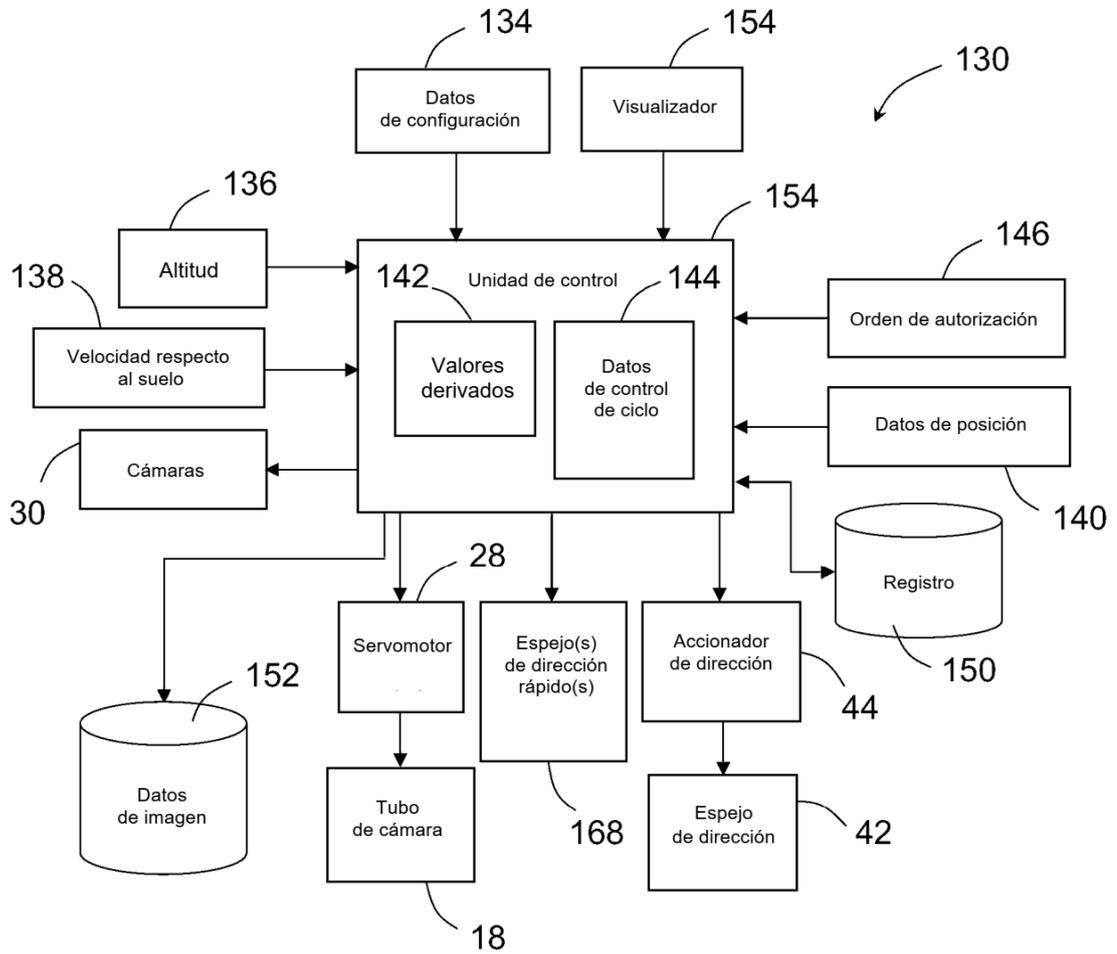
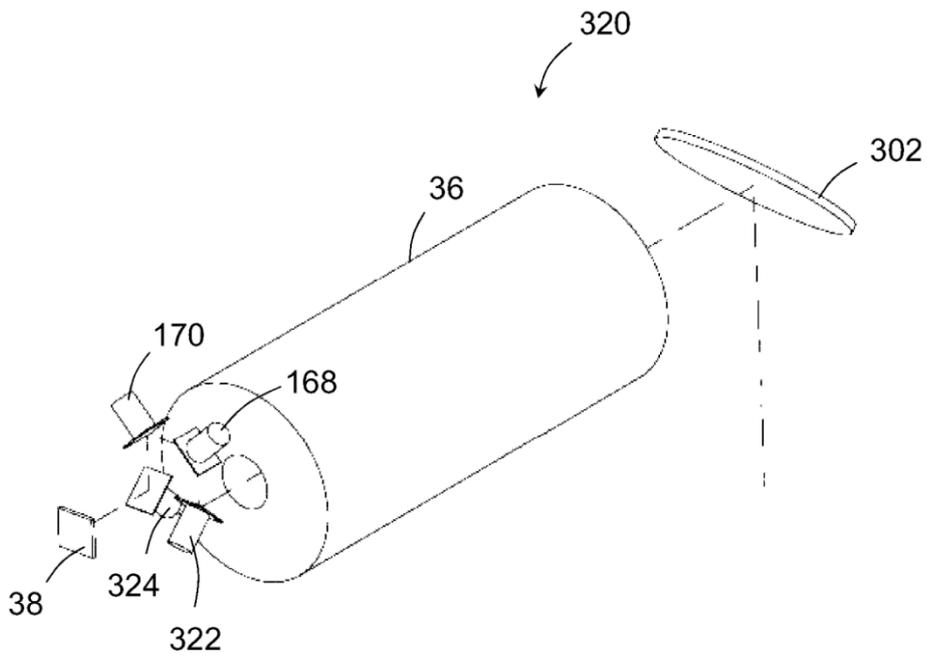
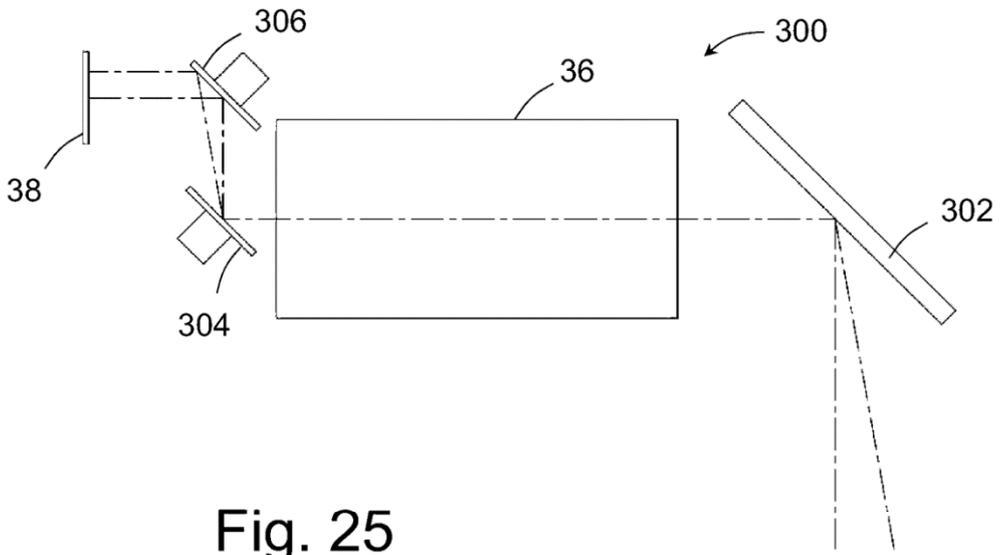


Fig. 24



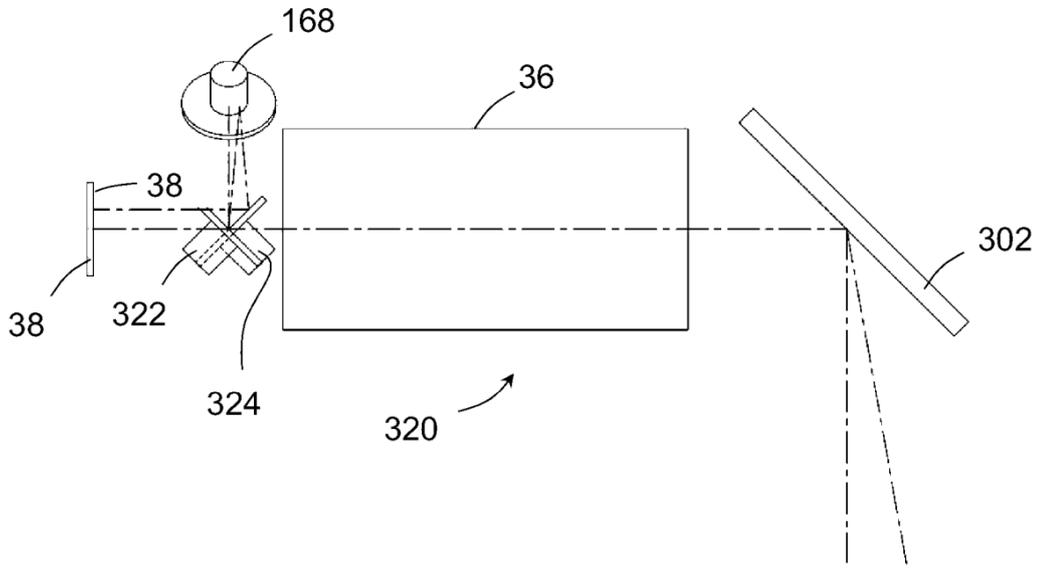


Fig. 27

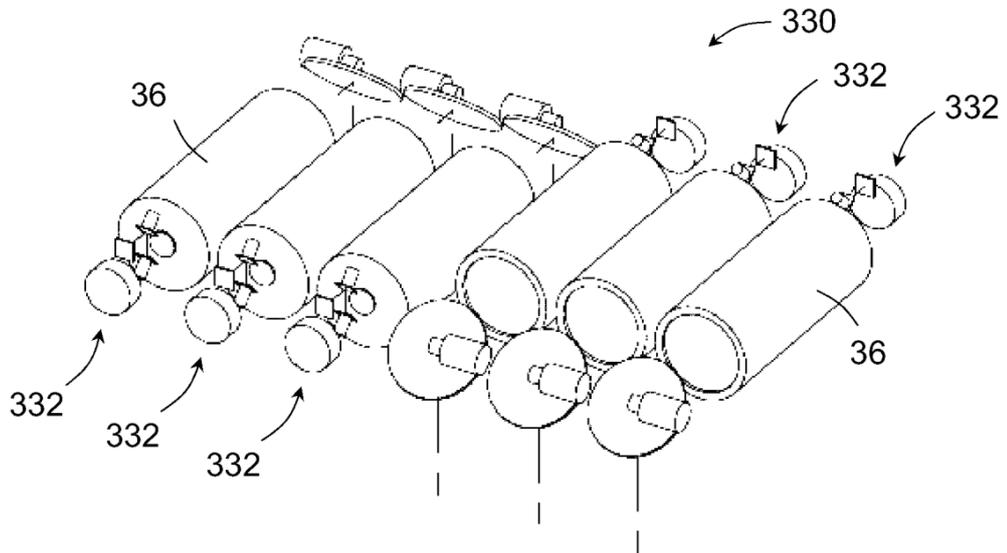


Fig. 28

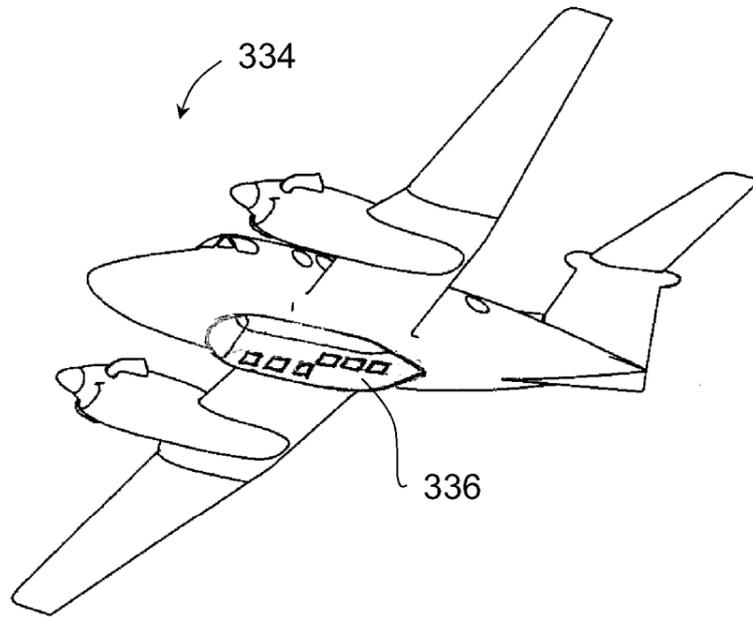


Fig. 29

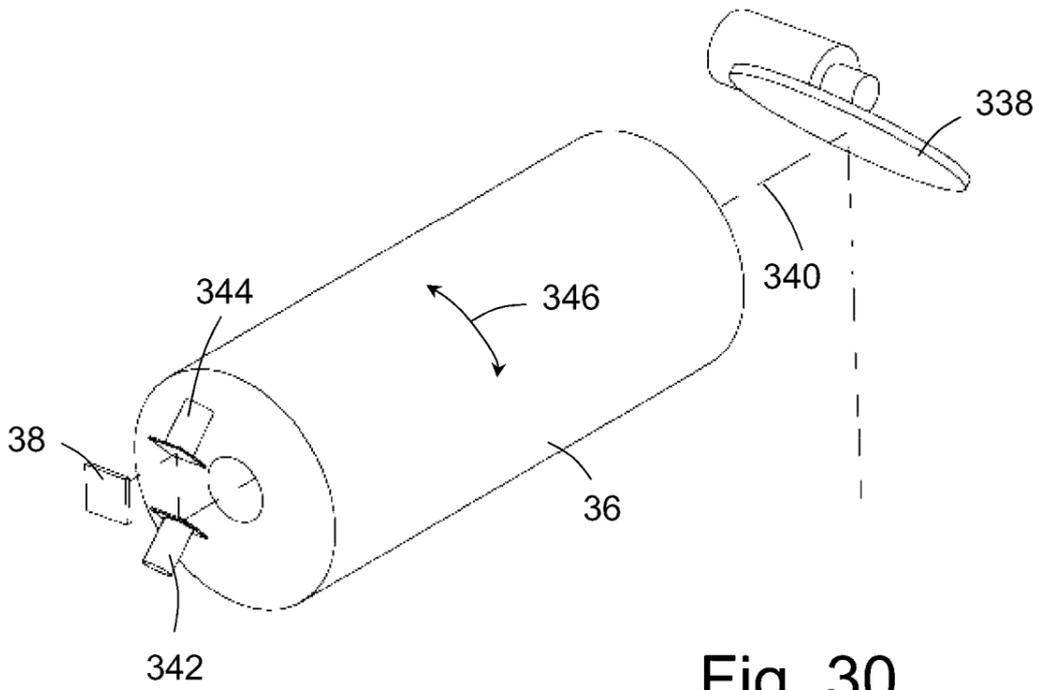


Fig. 30

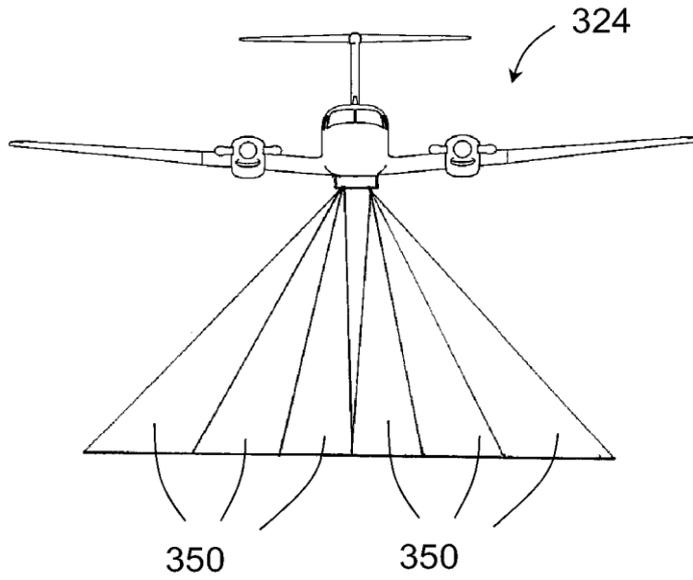


Fig. 31

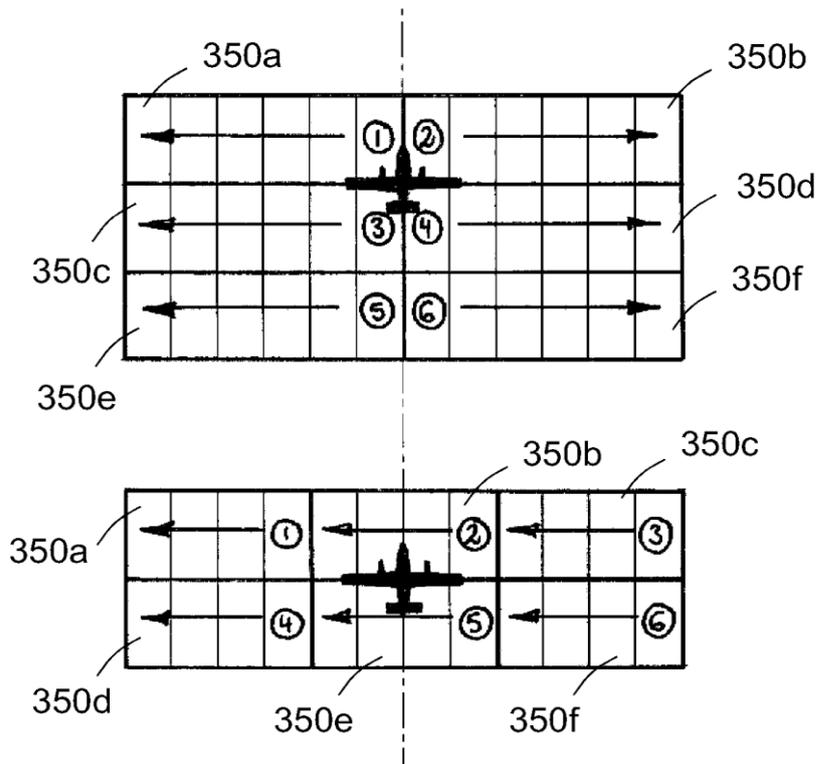


Fig. 32