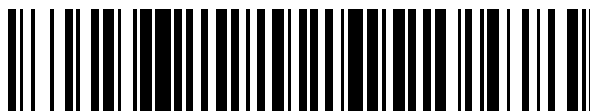


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 722 000**

51 Int. Cl.:

G03B 37/00 (2006.01)

G01C 11/02 (2006.01)

B64D 47/08 (2006.01)

G03B 37/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.12.2014** **PCT/AU2014/050402**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2015** **WO15192164**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2014** **E 14895459 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.01.2019** **EP 3158291**

54 Título: **Sistemas de cámara aérea de área amplia**

30 Prioridad:

20.06.2014 US 201414310523

05.09.2014 US 201414478380

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

06.08.2019

73 Titular/es:

NEARMAP AUSTRALIA PTY LTD (100.0%)
Tower One International Towers Sydney, Level 4,
100 Barangaroo Avenue
Sydney, NSW 2000, AU

72 Inventor/es:

LAPSTUN, PAUL;
TARLINTON, MARK HAROLD y
BLEADS, DAVID ARNOLD

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 722 000 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

Sistemas de cámara aérea de área amplia

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a sistemas de cámaras aéreas eficientes y a métodos eficientes para crear fotomosaicos a partir de fotografías aéreas.

10 ANTECEDENTES

Los fotomosaicos georreferenciados con precisión de las ortofotos se están convirtiendo en alternativas populares a los mapas pictóricos tradicionales porque pueden crearse automáticamente a partir de fotos aéreas, y porque muestran detalles útiles reales sobre el suelo.

15 La creación de fotomosaicos precisos a partir de fotografías aéreas está bien descrita en la bibliografía. Véase, por ejemplo, Elements of Photogrammetry with Application in GIS, Cuarta Edición (Wolf et al.), y el Manual of Photogrammetry, Sexta Edición (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)).

20 La creación de un fotomosaico requiere la captura sistemática de fotografías aéreas superpuestas del área de interés, tanto para asegurar una cobertura completa del área de interés, como para asegurar que haya suficiente redundancia en las imágenes para permitir un ajuste preciso de paquetes, ortorrectificación y alineación de las fotografías.

25 El ajuste de paquetes es el proceso mediante el cual se refinan las estimaciones redundantes de los puntos del suelo y las posturas de la cámara. El ajuste de paquetes moderno se describe en detalle en "Bundle Adjustment - A Modern Synthesis" (Triggs et al.).

30 El ajuste de paquetes puede operar en las posiciones de los puntos de suelo identificados manualmente o, cada vez más, en las posiciones de las características de terreno identificadas automáticamente que se combinan automáticamente entre las fotografías superpuestas.

35 Las fotografías aéreas superpuestas se capturan típicamente pilotando un avión de reconocimiento en un patrón en forma serpenteante sobre el área de interés. El avión de reconocimiento lleva un sistema de cámara aérea, y el patrón de vuelo serpenteante asegura que las fotografías capturadas por el sistema de cámara se superpongan tanto a lo largo de las líneas de vuelo dentro del patrón de vuelo como entre las líneas de vuelo adyacentes.

40 La redundancia suficiente para un ajuste de paquetes preciso típicamente dicta la elección de una superposición longitudinal (de avance) de al menos el 60 %, es decir, entre fotografías sucesivas a lo largo de una línea de vuelo, y una superposición lateral de, al menos, el 40 %, es decir, entre fotografías en líneas de vuelo adyacentes. Esto a menudo se conoce como superposición 60/40.

45 La superposición elegida determina tanto el tiempo de vuelo requerido como el número de fotografías capturadas (y posteriormente procesadas). Por lo tanto, una alta superposición es costosa, tanto en términos de tiempo de vuelo como de procesamiento, y las elecciones prácticas de superposición representan un compromiso entre el coste y la precisión en fotomosaico.

50 El uso de un sistema de cámara de resolución múltiple proporciona una forma potente de reducir la superposición sin comprometer excesivamente la precisión. La captura y el procesamiento de fotografías aéreas de resolución múltiple se describen en las patentes de Estados Unidos N.º 8.497.905 y 8.675.068 (Nixon). Los conjuntos de fotografías de resolución múltiple permiten que la precisión en fotomosaico se derive de la superposición entre las fotografías de vista general de resolución inferior, mientras que el detalle en fotomosaico se deriva de las fotos de detalle de mayor resolución.

55 Las patentes de Estados Unidos N.º 8.497.905 y 8.675.068 (Nixon) describen una góndola de cámara externa que se puede fijar a una aeronave pequeña. Una góndola externa tiene dos desventajas clave: el góndola es altamente específico de la aeronave, y el espacio dentro de la góndola es limitado. Una góndola específica para la aeronave limita la elección de la aeronave y, por lo tanto, limita los parámetros operativos tal como el intervalo de altitud y, a la inversa, requiere un esfuerzo significativo de diseño, prueba y certificación para adaptarse a diferentes aeronaves. El espacio restringido dentro de la góndola limita el tamaño y, por lo tanto, la distancia focal de las lentes de la cámara, lo que a su vez limita el rango de altitudes operativas para una resolución de imagen del objetivo particular.

60 La solicitud de patente de Estados Unidos, Publicación N.º 2012/0200703, describe un sistema para proporcionar una imagen de vídeo estabilizada con línea de visión continuamente desplazable y controlable y un campo visual ajustable para su uso en un vehículo aéreo no tripulado. El documento US 6.366.734 describe un método de compensación de movimiento de avance en una cámara de reconocimiento aéreo. La solicitud de patente de Estados Unidos, Publicación N.º 2009/0015674 describe un sistema de imágenes ópticas para un vehículo aéreo no tripulado.

RESUMEN DE LA INVENCION

La invención se define en la reivindicación independiente 1. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes adjuntas.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

Las realizaciones de ejemplo son evidentes a partir de la siguiente descripción, que se proporciona solo a modo de ejemplo, de al menos una realización preferida pero no limitativa, descrita en relación con las figuras adjuntas.

La Figura 1 muestra una vista frontal de la unidad HyperCamera V5-300, es decir, orientada hacia delante hacia la parte delantera del avión.

La Figura 2 muestra una vista posterior de la unidad de cámara.

La Figura 3 muestra una vista superior de la unidad de cámara.

La Figura 4 muestra una vista inferior de la unidad de cámara.

La Figura 5 muestra una vista en despiece ordenado de la unidad de cámara.

La Figura 6 muestra una vista en despiece ordenado de las cámaras y el soporte central de la unidad de cámara, con el campo visual de cada cámara.

La Figura 7 muestra la unidad de la cámara desde abajo, con sus campos visuales combinados pasando a través de la abertura de un orificio de cámara de aeronave.

La Figura 8 muestra el campo visual de vista general y los cinco campos visuales de detalle de superposición de la unidad de cámara.

La Figura 9 muestra la placa adaptadora de la HyperCamera montada en los rieles del asiento en el suelo de una aeronave.

La Figura 10 muestra una vista en despiece ordenado de la unidad de cámara, la placa adaptadora, y los rieles del asiento en el suelo de una aeronave.

La Figura 11 muestra una vista en despiece ordenado de las cámaras y el soporte central de una versión de mayor angular de la unidad de cámara.

La Figura 12 muestra el campo visual de vista general y los cinco campos visuales de detalle de superposición de la unidad HyperCamera V5-180.

La Figura 13 muestra una vista en planta de la HyperCamera instalada en una aeronave Cessna 208.

La Figura 14 muestra una vista en planta detallada de la HyperCamera V5-300 instalada en una aeronave Cessna 208.

La Figura 15 muestra una elevación frontal de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V5-300, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes.

La Figura 16 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V5-300, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes.

La Figura 17 muestra los campos visuales superpuestos de tres tomas sucesivas.

La Figura 18 muestra los campos visuales superpuestos de tomas en líneas de vuelo adyacentes.

La Figura 19 muestra los campos visuales de detalle agregados de superposición de una sucesión de tomas en tres líneas de vuelo adyacentes.

La Figura 20 muestra un diagrama de bloques de un sistema de alimentación y control para la HyperCamera.

La Figura 21 muestra un flujo de proceso fotogramétrico para crear de manera eficiente un fotomosaico a partir de fotografías de HyperCamera de múltiple resolución.

La Figura 22 muestra una tabla de la distancia de muestreo del suelo (GSD) en función de la altitud y la distancia focal de la cámara entre 100 mm y 600 mm.

5 La Figura 23 muestra una tabla de la distancia de muestreo del suelo (GSD) en función de la altitud y la distancia focal de la cámara entre 700 mm y 1200 mm.

10 Las Figuras 24A, 24B y 24C muestran el campo visual de vista general y los campos visuales de detalles superpuestos de las cámaras HyperCamera V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de 12.000 pies.

10 Las Figuras 25A, 25B y 25C muestran el campo visual de superposición de tres tomas sucesivas de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900 respectivamente, a una altitud de 12.000 pies.

15 Las Figuras 26A, 26B y 26C muestran el campo visual de superposición de tomas en líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900 respectivamente, a una altitud de 12.000 pies.

20 La Figura 27 muestra una elevación frontal de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V10-600, que consiste en dos unidades HyperCamera V5-600, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes.

20 La Figura 28 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V10-600 que comprende dos unidades de cámara V5-600 instaladas en la cabina de la aeronave, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

25 La Figura 29 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V10-600 que comprende dos unidades de cámara V5-600 instaladas en una góndola de carga montada en bodega Cessna 208 estándar, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

30 La Figura 30 muestra una elevación frontal de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V15-900 que comprende tres unidades de cámara V5-900, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes. La línea discontinua muestra la división entre los cambios visuales de la unidad de cámaras.

35 La Figura 31 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V15-900 que comprende tres unidades de cámara V5-900 instaladas en la cabina de la aeronave, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

40 La Figura 32 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V15-900, que comprende tres unidades de cámara V5-900 instaladas en una góndola de carga montada en bodega de un Cessna 208 estándar, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

45 Las Figuras 33A, 33B y 33C muestran dos huellas de superposición de dos líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300,

V10-600 y V15-900 respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 24.000 pies. La cuadrícula discontinua en las figuras tiene un espaciado de 1 km.

50 Las Figuras 34A, 34B y 34C muestran dos huellas de superposición de dos líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900 respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 36.000 pies. La cuadrícula discontinua en las figuras tiene un espaciado de 1 km.

55 La Figura 35A y la Figura 35B muestran las elevaciones frontal y lateral respectivamente de una aeronave Cessna 208 que lleva cinco HyperCameras instaladas en la cabina de la aeronave: una V10-600 vertical, una R10-600 oblicua derecha, una L10-600 oblicua izquierda, una F10-600 oblicua frontal, y una B10-600 oblicua posterior, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada una.

60 La Figura 36 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva cinco HyperCameras instaladas en una góndola de carga montada en bodega de un Cessna 208 estándar: una V10-600 vertical, una R10-600 oblicua derecha, una L10-600 oblicua izquierda, una F10-600 oblicua frontal, y una B10-600 oblicua posterior, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada una.

La Figura 37 muestra una vista inferior de la unidad de cámara con una disposición alternativa de las cámaras.

65 La Figura 38 muestra una unidad de cámara implementada como una matriz de cámaras y sus ejes ópticos respectivos.

La Figura 39 muestra una unidad de cámara implementada como una sola cámara de multiplexación en el tiempo a través de un espejo orientable para producir múltiples trayectorias ópticas.

5 La Figura 40 muestra una configuración alternativa de una unidad de cámara implementada como una sola cámara de multiplexación en el tiempo a través de un espejo orientable para producir múltiples trayectorias ópticas.

10 La Figura 41 muestra una unidad de cámara implementada como una sola cámara de multiplexación en el tiempo a través de un espejo orientable para producir múltiples trayectorias ópticas, con un espejo orientable para la compensación de movimiento angular (AMC).

15 La Figura 42 muestra un diagrama y una ecuación relacionados con el cálculo del campo visual y la resolución de una cámara.

La Figura 43 muestra un diagrama y ecuaciones relacionadas con el cálculo del campo visual de una matriz de cámaras.

20 La Figura 44 muestra un diagrama y ecuaciones relacionadas con el cálculo de la resolución de las cámaras inclinadas.

LISTA DE NÚMEROS DE REFERENCIA

- 100 Unidad de cámara.
- 25 110 Cuerpo de cámara de detalle.
- 112 Cuerpo de cámara de vista general.
- 30 114 Lente de cámara de detalle.
- 116 Lente de cámara de vista general.
- 118 Lente de cámara de propósito especial (por ejemplo, NIR). 120 Marco.
- 35 122 Soporte central de marco.
- 124 Soporte lateral de marco.
- 40 126 Soporte posterior de marco.
- 128 Soporte frontal de marco.
- 130 Bloque de punto de montaje.
- 45 132 Punto de montaje.
- 134 Perno de montaje.
- 50 140 Soporte para cámara de detalle.
- 142 Soporte para cámara de vista general.
- 144 Abrazadera para lente de cámara de detalle.
- 55 146 Abrazadera para lente de cámara de vista general.
- 150 Caja de distribución de alimentación y control.
- 60 160 Campo visual de detalle.
- 162 Campo visual de detalle lateral.
- 164 Campo visual de detalle longitudinal.
- 65 170 Campo visual de vista general.

	172 Campo visual de vista general lateral.
	174 Campo visual de vista general longitudinal.
5	180 Campo visual de detalle agregado.
	182 Campo visual de detalle agregado lateral.
10	190 Campo visual de vista general agregado.
	192 Campo visual de vista general agregado lateral. 194 Campo visual de 30 grados nominal.
	196 Cuadrícula de un km.
15	200 Placa adaptadora.
	202 Sujeción de riel de asiento.
20	210 Suelo de aeronave.
	212 Orificio de cámara.
	214 Riel de asiento.
25	216 Abertura de placa adaptadora.
	220 Dirección de vuelo.
30	222 Trayectoria de vuelo.
	224 Posición de toma.
	230 Aeronave de reconocimiento aéreo.
35	232 Góndola montada en bodega de aeronave de reconocimiento aéreo. 250 Ángulo de campo visual (beta).
	252 Distancia focal (f).
40	254 Altitud por encima del nivel del suelo (a).
	256 Ancho de sensor de imagen (s).
	258 Ancho de barrido (w).
45	260 Densidad de píxeles de sensor de imagen (p).
	262 Distancia de muestreo del suelo (GSD) (g).
50	270 Ángulo de campo visual agregado (gamma).
	272 Superposición de cámara angular (omega).
	278 Ancho de barrido agregado (w(N)).
55	280 Ángulo de inclinación de cámara (theta).
	282 GSD de cámara inclinada (g(theta)).
60	284 Campo visual de cámara inclinada.
	286 Cámara inclinada con GSD de plano focal inclinada (h(theta)).
	288 Cámara inclinada con campo visual de plano focal inclinada. 300 Ordenador.
65	302 Pantalla de piloto.

	304 Receptor del sistema global de navegación por satélite (GNSS).
5	306 304 Unidad de medición inercial (IMU).
	308 Convertidores analógico-digital (ADC).
	310 Unidad de control de cámara (CCU).
10	320 Unidad de batería.
	322 Alimentación auxiliar de aeronave.
	324 Unidad de potencia en tierra (GPU).
15	326 Convertidores CC-CC.
	330 Unidad(s) de compensación de movimiento angular (AMC). 400 Fotografías de detalle.
20	402 Fotografías de vista general.
	404 Fotomosaico 410 Etapa de características de coincidencia.
	412 Etapa de resolución de postura y posiciones.
25	414 Etapa de ortorrectificación.
	416 Etapa de combinación.
30	510 Campo visual de detalle oblicuo derecho.
	512 Campo visual de detalle oblicuo lateral derecho.
	514 Campo visual de detalle oblicuo longitudinal derecho. 520 Campo visual de vista general oblicuo derecho.
35	522 Campo visual de vista general oblicuo lateral derecho.
	524 Campo visual de vista general oblicuo longitudinal derecho. 530 Campo visual de detalle oblicuo izquierdo.
40	532 Campo visual de detalle oblicuo lateral izquierdo.
	534 Campo visual de detalle oblicuo longitudinal izquierdo.
	540 Campo visual de vista general oblicuo izquierdo.
45	542 Campo visual de vista general oblicuo lateral izquierdo.
	544 Campo visual de vista general oblicuo longitudinal izquierdo. 550 Campo visual de detalle oblicuo frontal.
50	552 Campo visual de detalle oblicuo lateral frontal.
	554 Campo visual de detalle oblicuo longitudinal frontal. 560 Campo visual de vista general oblicuo frontal.
	562 Campo visual de vista general oblicuo lateral frontal.
55	564 Campo visual de vista general oblicuo longitudinal frontal. 570 Campo visual de detalle oblicuo posterior.
	572 Campo visual de detalle oblicuo lateral posterior.
60	574 Campo visual de detalle oblicuo longitudinal posterior. 580 Campo visual de vista general oblicuo posterior.
	582 Campo visual de vista general oblicuo lateral posterior.
	584 Campo visual de vista general oblicuo longitudinal posterior. 600 Cámara.
65	602 Eje óptimo de cámara.

604 Espejo de multiplexación orientable.

606 Espejo fijo.

5

608 Espejo de compensación de movimiento orientable.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

10 Los siguientes modos, dados a modo de ejemplo solamente, se describen con el fin de proporcionar una comprensión más precisa de la materia objeto de una realización o realizaciones preferidas.

HyperCamera™ es una gama de sistemas de cámaras aéreas de resolución múltiple adecuados para el despliegue en una amplia gama de aeronaves, grandes y pequeñas. Los sistemas de cámaras son modulares, y están diseñados para instalarse sobre uno o más orificios de cámara estándar, según corresponda, como se suele proporcionar a través del piso de una aeronave de reconocimiento o una cápsula aérea.

20 Cada modelo de HyperCamera se define por su dirección de apunte (P), el número de cámaras (N) en su conjunto y la distancia focal (f) de las cámaras, y se identifica con el designador PN-f. Por ejemplo, un HyperCamera vertical de cinco cámaras de 300 mm se denomina modelo V5-300.

25 El nivel de detalle capturado por una cámara aérea se caracteriza típicamente por la distancia de muestreo del suelo (GSD), es decir, la distancia entre los centros de los píxeles adyacentes cuando se proyectan sobre el suelo dentro del campo visual de la cámara.

La GSD se determina por la distancia focal (252) de la lente de la cámara, la altitud sobre el nivel del suelo (254) y la densidad de píxeles (260) del sensor de imagen, según EQ 1 en la Figura 42.

30 La eficiencia de la imagen aérea se caracteriza típicamente por el área capturada por unidad de tiempo (por ejemplo, kilómetros cuadrados por hora). Esto es proporcional a la velocidad de la aeronave y al ancho del campo visual (FOV) del sistema de cámara aérea, conocido como el ancho de barrido.

35 El ancho de barrido (258) de una sola cámara se determina por la distancia focal (252) de la lente de la cámara, la altitud sobre el nivel del suelo (254) y el tamaño lateral (256) del sensor de imagen, según EQ 2 en la Figura 42. Duplicar la altitud duplica el ancho de barrido.

40 El campo visual lateral (250) de una sola cámara se determina por la distancia focal (252) de la lente de la cámara y el tamaño lateral (256) del sensor de imagen, según EQ 4 en la Figura 42. La duplicación de la distancia focal reduce a la mitad aproximadamente el campo visual.

45 El campo visual lateral (270) de una matriz de cámaras se determina por el campo visual de cada cámara (250), el número de cámaras, y su superposición angular (272), según EQ 7 en la Figura 43. Duplicar el número de cámaras duplica aproximadamente el campo visual. El ancho de barrido (278) del conjunto de cámaras se da por EQ 8 en la Figura 43.

El campo visual práctico de un sistema de cámara aérea está limitado por el nivel aceptable de oblicuidad en las imágenes aéreas, por ejemplo, la cantidad de edificios que pueden inclinarse cuando se capturan en el borde del campo visual. El campo visual práctico usualmente se limita a 50 grados o menos.

50 Dado un límite en el campo visual práctico, se puede lograr una mayor eficiencia de captura (y, por lo tanto, un menor coste de captura) volando a mayor velocidad y/o a mayor altitud. Volar a una altitud más alta requiere distancias focales mayores para mantener la misma GSD. Dado que cada cámara tiene un campo visual individual más estrecho, esto a su vez requiere un mayor número de cámaras para mantener el campo visual de vista general.

55 La gama HyperCamera incluye modelos adecuados a una diversidad de altitudes operativas, y admite una gama de GSD y eficiencias de captura. Dependiendo de la velocidad y la altitud del objetivo, se puede instalar un sistema HyperCamera en cualquier aeronave adecuada para imágenes aéreas. A modo de ejemplo, esto incluye (pero sin limitación) aeronaves de pistón tal como Cessna 210, aeronaves turbopropulsadas, tal como Cessna 208, y aeronaves de turborreacción (jet) tal como Cessna Citation, que permite obtener imágenes aéreas desde bajas altitudes a altitudes en exceso de 40.000 pies, a velocidades que van desde menos de 100 nudos a 400 nudos.

60 La aeronave puede estar sin presión o presurizada, y cada orificio de la cámara puede estar abierto o contener una ventana de vidrio óptico según sea apropiado. Cada orificio de la cámara puede estar opcionalmente protegido por una puerta que puede cerrarse cuando la HyperCamera no está en funcionamiento.

65

En una realización preferida, como se ilustra en las Figuras 1 a 5, una HyperCamera V5-300 comprende una unidad de cámara 100 que incorpora cinco cámaras de detalle 110 y una cámara de vista general relativamente de mayor angular 112. Cada cámara de detalle 110 tiene una lente de detalle 114, y la cámara de vista general 112 tiene una lente de vista general 116.

La lente de vista general 116 se caracteriza por tener significativamente un mayor angular que la lente de detalle 114. Aunque puede ser una verdadera lente de gran angular, también puede ser una lente normal o incluso un teleobjetivo siempre que sea significativamente más ancho que la lente de detalle 114. Asimismo, si bien la lente de detalle 114 puede ser un verdadero teleobjetivo, también puede ser una lente normal o incluso una lente de gran angular siempre que sea significativamente más estrecha que la lente de vista general 116.

Las cámaras 110 y 112 son preferiblemente cámaras digitales SLR (DSLR) de uso comercial (COTS). El uso de cámaras COTS permite que el sistema se adapte fácilmente a las cámaras más recientes y mejores disponibles. Como alternativa o adicionalmente, para proporcionar características de imagen no disponibles en las cámaras COTS, tales como imágenes RGB sin mosaicos, imágenes multispectrales y compensación de movimiento de avance, también se pueden utilizar diseños de cámara dedicados.

Las cámaras COTS de alta resolución están disponibles con recuentos de píxeles típicos que van desde 24Mpíxeles a 36Mpíxeles, de proveedores tales como Nikon y Canon. La cámara DSLR Nikon D800 de 36Mpíxeles es una opción particularmente buena para el sistema actual.

Las cámaras DSLR ofrecen una amplia gama de lentes de alta calidad, lo que permite que el sistema se configure fácilmente para operar a diferentes altitudes y resoluciones.

El sistema se adapta fácilmente a una mezcla de cámaras. Por ejemplo, se puede emplear una cámara relativamente más costosa con un mayor número de píxeles como cámara de vista general. Se espera que las cámaras DSLR de 70Mpíxeles estén disponibles en un futuro próximo, y una cámara de 70Mpíxeles sería una buena opción para la cámara de vista general.

En la realización preferida, las lentes de detalle 114 de las cámaras de detalle 110 tienen todas la misma distancia focal, y las cámaras de detalle 110 tienen todas el mismo tamaño de píxel. Por lo tanto, la unidad de cámara 100 incorpora dos resoluciones de cámara distintas: vista general y detalle. Esto se extiende fácilmente a varias resoluciones mayores que dos mediante el uso de lentes de detalle 114 con diferentes distancias focales, y/o el uso de cámaras de detalle 110 con diferentes tamaños de píxel. La unidad de cámara 100 también puede incorporar múltiples cámaras de vista general con diferentes resoluciones.

Cada lente de detalle 114 y la lente de vista general 116 puede ser una lente de enfoque fijo enfocada en el infinito o una lente de enfoque variable. En este último caso, la cámara correspondiente 110 y/o 112 incorpora un mecanismo de autoenfoque.

Cada cámara de detalle 110 está atornillada a un soporte de cámara 140, que a su vez está atornillada a un soporte central 122. Cada lente de cámara de detalle 114 está asegurada además por una abrazadera 144 que está atornillada al soporte de cámara de detalle 140.

La cámara de vista general está atornillada a un soporte de cámara 142, que a su vez está atornillado al soporte central 122. La lente de cámara de vista general 116 está asegurada adicionalmente mediante una abrazadera 146 que está atornillada al soporte de cámara de vista general 142.

Los soportes de cámara 140 y 142 aíslan gran parte de la estructura de la unidad de cámara 100 de las características específicas de modelos de cámara individuales y tamaños de lentes.

El soporte central 122 está unido a un par de soportes laterales 124a y 124b, y cada soporte lateral 124 está unido a su vez a un soporte trasero 126 y un soporte frontal 128 para formar un marco rígido 120.

Cada soporte lateral 124 está unido al bloque de punto de montaje 130 a través de un conjunto de cuatro pernos, y el bloque de punto de montaje 130 a su vez está unido al soporte trasero 126 o soporte frontal 128, según corresponda, a través de un conjunto adicional de cuatro pernos. Los bloques de punto de montaje 130 proporcionan de este modo el mecanismo de unión entre los soportes laterales 124 y los soportes trasero y frontal 126 y 128.

Cada uno de los soportes laterales 124 y los soportes trasero y frontal 126 y 128 tienen un perfil en sección transversal en forma de C para minimizar el peso maximizando al mismo tiempo la rigidez, mientras que el soporte central 122 está embolsado para minimizar el peso al mismo tiempo que se maximiza la rigidez.

Cada bloque de punto de montaje 130 es sólido y sirve para el propósito adicional de proporcionar un punto de unión entre la unidad de cámara 100 y una aeronave de reconocimiento, como se describe a continuación.

Todas las piezas están hechas de aluminio ligero, excepto las sujeciones que están hechas de acero.

El soporte trasero 126 y el soporte frontal 128 sostienen tres cajas de distribución de alimentación y control 150. Cada caja 150 distribuye señales de alimentación y control a un par de cámaras. Para mayor claridad, el cableado de alimentación y control entre las cajas 150 y las cámaras 110 y 112 se omite en las figuras.

En la realización preferida, cada cámara de detalle 110 tiene una lente 114 con una distancia focal de 300 mm adecuada para imágenes de alta resolución a altitudes relativamente altas. Por ejemplo, cuando se usa una cámara Nikon D800 de 36Mpíxeles (que tiene 4,88 μ m píxeles), una lente de 300 mm permite una distancia de muestreo del suelo (GSD) de 30 cm a 60.000 pies, 20 cm a 40.000 pies, 10 cm a 20.000 pies, 8 cm a 16.000 pies, 6 cm a 12.000 pies, 4 cm a 8.000 pies, 2 cm a 4.000 pies, 1 cm a 2.000 pies, etc.

Suponiendo que las cámaras de detalle 110 y la cámara de vista general 112 tienen recuentos de píxeles y tamaños de píxel similares, la cámara de vista general 112 idealmente tiene una lente 116 con una distancia focal que es entre 4 y 8 veces más corta que la distancia focal de la lente de detalle 114, como se analiza más adelante. Es decir, para una lente de detalle de 300 mm 114, las distancias focales adecuadas para la lente de vista general 116 varían de aproximada 40 mm a 75 mm. Para fines ilustrativos, el presente sistema utiliza una lente de vista general de 50 mm 116.

La Figura 6 muestra el campo visual lateral de 6,90 grados 162 de cada una de las cinco cámaras de detalle 110 con lentes de 300 mm 114, y el campo visual lateral de 39,60 grados de la cámara de vista general 112 con una lente de 50 mm 116.

En esta memoria descriptiva, la dirección lateral es la dirección perpendicular a la dirección de vuelo 220, y la dirección longitudinal es la dirección paralela a la dirección de vuelo 220.

Como se muestra, las cámaras de detalle están separadas lateralmente en ángulos de 6 grados, es decir, ligeramente menores que sus campos visuales de 6,90 grados 162, de manera que los campos visuales 162 se superponen ligeramente.

Utilizando las cámaras Nikon D800 de 36Mpíxeles, las cinco cámaras de detalle 110 tienen un campo visual agregado con un recuento de píxeles de aproximadamente 160Mpíxeles, es decir, excluyendo la superposición.

Los teleobjetivos existentes adecuados para su uso como lentes de detalle 114 están disponibles en una diversidad de distancias focales, incluyendo típicamente 85 mm, 105 mm, 135 mm, 180 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm, 600 mm, 700 mm, y 800 mm.

A 20.000 pies, una lente de 400 mm en una cámara Nikon D800 permite una GSD de 7,4 cm, una lente de 600 mm permite una GSD de 5,0 cm, y una lente de 800 mm permite una GSD de 3,7 cm.

Las lentes normales y de gran angular existentes adecuadas para su uso como una lente de vista general 116 están disponibles en una diversidad de distancias focales, incluyendo típicamente 10,5 mm, 14 mm, 16 mm, 18 mm, 20 mm, 21 mm, 24 mm, 28 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm y 70 mm.

La unidad de cámara 100 se adapta fácilmente a diferentes modelos y tamaños de cámaras 110 (y 112) y lentes 114 (y 116) a través de diferentes soportes de cámara 140 (y 142) y abrazaderas 144 (y 146). Para lentes extremadamente largas se puede usar un soporte central más alto 122.

Como se muestra en la Figura 6 y la Figura 7, las cámaras de detalle forman un ángulo hacia dentro de manera que sus campos visuales 162 se crucen directamente debajo de la unidad de cámara 100, creando una cintura de diámetro mínimo donde los campos visuales pasan a través del orificio de cámara 212. Esto hace que la unidad de cámara 100 sea compatible con orificios de cámara estándar de 20 pulgadas, así como los orificios de la cámara tan pequeños como aproximadamente 17 pulgadas.

La Figura 8 muestra la proyección de los campos visuales tridimensionales 160 y 170 de las cámaras de detalle 110 y la cámara de vista general 112 sobre un plano del suelo. Muestra cómo el campo visual de detalle 160 se superpone en una dirección perpendicular a la dirección del vuelo 220.

La Figura 9 muestra una placa adaptadora 200 que se fija a los rieles de asiento 214 de una aeronave, un Cessna 208 en este caso, a través de las sujeciones de riel de asiento estándar 202. La placa adaptadora tiene una abertura 216 que expone un orificio de cámara 212 a través del suelo 210 de la aeronave.

La Figura 10 shows una vista en despiece ordenado de la unidad de cámara 100, una placa adaptadora 200, y el suelo de aeronave 210. La placa adaptadora 200 está diseñada para fijar la unidad de cámara 100 a una aeronave en particular, y aísla el diseño de la unidad cámara 100 de las características específicas de la aeronave. Se ha diseñado una placa adaptadora diferente para cada variación de fijación de aeronave, por ejemplo, debido a las diferentes

separaciones de riel de asiento, o debido a que la instalación del orificio de cámara de la aeronave incluye sus propios puntos de montaje.

Los cuatro puntos de montaje 132 están atornillados a la placa adaptadora, correspondiendo cada punto de montaje 132 a un rebaje en la base de su bloque de punto de montaje correspondiente 134. Un perno de montaje 143 fija firmemente cada bloque de punto de montaje 134 a su punto de montaje correspondiente 132, fijando de este modo la unidad de cámara 100 a la placa adaptadora 200.

La placa adaptadora 200 permite que la unidad de cámara 100 se instale fácilmente y posteriormente se retire de una aeronave a través de la instalación y retirada de los cuatro pernos de montaje 143. La placa adaptadora 200 generalmente se instala y retira fácilmente de una aeronave, sin requerir ninguna modificación en la aeronave (suponiendo que ya se haya instalado un orificio de cámara adecuado). La instalación de la góndola de cámara externa es generalmente una operación mucho más complicada.

La Figura 11 muestra una unidad HyperCamera V5-180 100 que utiliza lentes más cortas de 180 mm 114 para las cámaras de detalle 110, y una lente de 28 mm correspondiente 116 para la cámara de vista general 112.

Cuando se usa una cámara Nikon D800 de 36Mpíxeles (que tiene 4,88 μ m píxeles), una lente de 180 mm permite una distancia de muestreo del suelo (GSD) de 9,9 cm a 12.000 pies, 8,3 cm a 10.000 pies, 6,6 cm a 8.000 pies, 5 cm a 6.000 pies, 3,3 cm a 4.000 pies, etc.

La Figura 11 muestra el campo visual lateral de 11,40 grados 162 de cada una de las cinco cámaras de detalle 110 con lentes de 180 mm 114, y el campo visual lateral de 65,50 grados de la cámara de vista general 112 con una lente de 28 mm 116.

Como se muestra, las cámaras de detalle están separadas lateralmente en ángulos de 10,50 grados, es decir, ligeramente menores que sus campos visuales de 11,40 grados 162, de manera que los campos visuales 162 se superponen ligeramente.

La Figura 12 muestra la proyección de los campos visuales tridimensionales 160 y 170 de las cámaras de detalle 110 y la cámara de vista general 112 de la Figura 10 sobre un plano del suelo. Muestra cómo el campo visual de detalle 160 se superpone en una dirección perpendicular a la dirección del vuelo 220, y cómo los campos visuales más amplios asociados con las lentes más cortas conducen a una altitud de vuelo inferior para la misma huella en el suelo, es decir, en comparación a la Figura 8.

La Figura 13 y la Figura 14 muestran vistas en planta de una aeronave de reconocimiento Cessna 208 230 que lleva una unidad de cámara 100 instalada centralmente sobre el orificio de cámara. Las figuras también muestran una unidad de control de cámara 310 (CCU) y una unidad de batería 320 utilizadas para controlar y alimentar la unidad de cámara 100. Estas se describen con más detalle a continuación. Para mayor claridad, se omite el cableado que conecta la CCU 310, la unidad de batería 320 y la unidad de cámara 100.

La Figura 15 muestra una elevación frontal de la aeronave de reconocimiento Cessna 208 230 que lleva una HyperCamera, muestra el campo visual de vista general lateral 172 de la unidad de cámara 100, y el campo visual de detalle lateral agregado 182 de la unidad de cámara 100. El campo visual de detalle lateral agregado 182 es el agregado de los cinco campos visuales de detalle laterales de superposición individuales 162.

La Figura 16 muestra una elevación lateral de la aeronave de reconocimiento Cessna 208 230 que lleva una HyperCamera, y muestra el campo visual de vista general longitudinal 174 de la unidad de cámara 100, y el campo visual de detalle longitudinal 164 de la unidad de cámara 100.

La Figura 17 muestra los campos visuales de vista general de superposición 170 y los campos visuales de detalle agregados 180 de tres tomas sucesivas en la dirección del vuelo 220. El campo visual de detalle agregado 180 es el agregado de los cinco campos visuales de detalle de superposición individuales 160. A la velocidad de disparo de la cámara ilustrada en la figura (es decir, como se implica por la superposición longitudinal), los campos visuales de detalle agregados 180 se superponen en aproximadamente un 20 % longitudinalmente, mientras que los campos visuales de vista general 170 se superponen en aproximadamente un 85 % longitudinalmente.

La Figura 18 muestra los campos visuales de vista general de superposición 170 y campos visuales de detalle agregados 180 de dos tomas de líneas de vuelo adyacentes, es decir, volando en direcciones opuestas 220. En el espaciado de la línea de vuelo que se ilustra en la figura, los campos visuales de detalle agregados 180 se superponen entre el 20 % y el 25 % lateralmente, mientras que los campos visuales de vista general 170 se superponen aproximadamente un 40 % lateralmente.

Asumiendo que las cámaras de detalle 110 y la cámara de vista general 112 tienen recuentos de píxeles y tamaños de píxel similares, el tamaño del campo visual de vista general lateral 172 y el tamaño del campo visual de detalle lateral agregado 182 son similares cuando la relación de la distancia focal de la lente de cámara de detalle 114 con

respecto a la distancia focal de la lente de la cámara de vista general 116 es aproximadamente 6, y se pueden elegir combinaciones de lentes útiles con relaciones de distancia focal entre aproximadamente 4 y 8.

La Figura 19 muestra la superposición de campos visuales de detalle agregados 180 de una sucesión de tomas a lo largo de tres líneas de vuelo adyacentes que son parte de una trayectoria de vuelo serpenteante típica 222, es decir, un subconjunto de líneas de vuelo que constituirán un reconocimiento de gran área típico. Para mayor claridad, se omiten los campos visuales de vista general correspondientes 170. La Figura también muestra la posición de disparo 224 correspondiente a cada campo visual de detalle agregado 180, es decir, la posición del avión de reconocimiento 230.

Como ya se señaló, los levantamientos aéreos de resolución única tradicionales se operan típicamente con una superposición de 60/40, es decir, un 60 % de superposición de avance (o longitudinal), y un 40 % de superposición lateral. Con la HyperCamera de resolución múltiple operada como se muestra en las Figuras 17 a 19, las fotografías de vista general se capturan con una superposición de 85/40, y las fotografías de detalle se capturan con una superposición solamente de 20/20 como máximo.

En comparación con un sistema de cámara aérea de resolución única tradicional y un recuento de píxeles de detalle agregado comparable (por ejemplo, 160Mpíxeles), la HyperCamera es entre 2 y 3 veces más eficiente, como se detalla a continuación, con respecto tanto al tiempo de vuelo de reconocimiento reducido como a las menos fotografías a procesar. La HyperCamera también tiene una mayor eficiencia que muchos sistemas de cámara aérea debido a su alto recuento de píxeles (detalle) en solitario.

Como alternativa a la captura de fotografías tanto de vista general como de detalle, la HyperCamera se puede usar para capturar solo fotografías de detalle, con una mayor superposición (por ejemplo, 60/40 en lugar de 20/20), para permitir la creación de un fotomosaico con mayor precisión espacial, pero a mayor coste de captura y procesamiento. En este caso, la cámara de vista general 112 puede omitirse.

Para analizar la eficiencia relativa de una HyperCamera de resolución múltiple, se asume una configuración de HyperCamera de resolución múltiple con una superposición lateral del X%, una superposición longitudinal del Y%, N cámaras de detalle 110, y M cámaras de vista general 112, y para comparación, una configuración de HyperCamera de resolución única con superposición lateral del A%, superposición longitudinal del B%, N cámaras de detalle y ninguna cámara de vista general. Suponiendo que X sea más pequeño que A, la mejora en la eficiencia lateral, como se refleja en un mayor espaciado de línea de vuelo y menor tiempo de vuelo y menos fotografías de detalle capturadas, viene dada por $(1-X)/(1-A)$. Asimismo, suponiendo que Y sea más pequeño que B, la mejora en la eficiencia longitudinal, como se refleja en un mayor espaciado de disparo y un tiempo de vuelo más corto y menos fotografías de detalle capturadas, viene dada por $(1-Y)/(1-B)$. La mejora de vista general en la eficiencia viene dada por $(1-X)(1-Y)/(1-A)(1-B)$. Esto debe descontarse por la sobrecarga de la captura de fotografías de vista general, es decir, multiplicado por un factor de $(N/(N+M))$. Para $X/Y=20/20$, $A/B=60/40$, $N=5$, y $M=1$, la mejora de eficiencia neta es 2,2.

La mayor eficiencia se debe al coste de realizar algunos cálculos fotogramétricos a la resolución más baja de la cámara de vista general 112 en lugar de a la resolución más alta de las cámaras de detalle 110. Sin embargo, esto se compensa, al menos parcialmente, por la mayor superposición entre las fotografías de vista general que en la práctica tradicional.

La Figura 20 muestra un diagrama de bloques de un sistema de alimentación y control para la unidad de cámara 100. Las cámaras de detalle 110 y la cámara de vista general 112 son controladas por un ordenador 300 a través de un conjunto de convertidores analógico-digital 308 (ADC).

El ordenador 300 utiliza uno o más receptores del sistema global de navegación por satélite (GNSS) 304 para controlar la posición y la velocidad de la aeronave de reconocimiento 230 en tiempo real. El receptor o receptores GNSS pueden ser compatibles con una diversidad de sistemas de navegación por satélite basados en el espacio, incluido el sistema de posicionamiento global (GPS), GLONASS, Galileo y BeiDou.

El ordenador 300 proporciona señales de disparo de tiempo preciso a las cámaras 110 y 112 a través de los ADC 308, para activar la exposición de la cámara, de acuerdo con un plan de vuelo almacenado y la posición y velocidad en tiempo real de la aeronave. Si una cámara 110 y/o 112 incorpora un mecanismo de enfoque automático, entonces el ordenador 300 también proporciona una señal de enfoque a cada una de estas cámaras para activar el enfoque automático antes de la exposición.

El ordenador 300 dispara la cámara de vista general 112 y las cámaras de detalle 110 a la misma velocidad. Como alternativa, el ordenador 300 puede disparar la cámara de vista general 112 a una velocidad diferente a la de las cámaras de detalle 110, es decir, ya sea una velocidad más alta o más baja, para lograr una superposición diferente entre las fotografías de vista general sucesivas, es decir, una superposición más alta o una superposición más baja, independiente de la superposición entre fotografías de detalle sucesivas. El ordenador 300 puede disparar las cámaras simultáneamente, o puede escalonar la sincronización del disparo, por ejemplo, para lograr una alineación diferente de las fotografías longitudinalmente, o para reducir el consumo máximo de energía.

El plan de vuelo describe cada línea de vuelo que constituye el reconocimiento, y la velocidad de disparo nominal de la cámara a lo largo de cada línea de vuelo requerida para asegurar que se mantenga la superposición necesaria entre tomas sucesivas. La velocidad de disparo es sensible a la elevación del terreno debajo de la aeronave, es decir, cuanto más alto es el terreno, más alta debe ser la velocidad de disparo. Se ajusta por el ordenador 300 según la velocidad real en tierra de la aeronave, que puede variar de su velocidad nominal debido al viento y el manejo del piloto de la aeronave.

El ordenador 300 también utiliza el plan de vuelo y la posición GNSS en tiempo real para guiar al piloto a lo largo de cada línea de vuelo a través de una pantalla de piloto 302.

Como se muestra en la Figura 20, los datos de posición del receptor GNSS se aumentan opcionalmente con información de orientación (alabeo, cabeceo y guiñada) desde una unidad de medición inercial 306 (IMU). Esto permite que el ordenador 300 proporcione retroinformación mejorada al piloto sobre cuánto está siguiendo el piloto el plan de vuelo, y permite un procesamiento más preciso de las fotos. En ausencia de la IMU 306, el receptor GNSS se conecta directamente al ordenador 300.

Cada cámara 110 y 112 almacena sus tomas localmente, por ejemplo, en una memoria flash extraíble. Esto elimina la necesidad de almacenamiento centralizado en el sistema HyperCamera, y la necesidad de un canal de comunicación de datos de gran ancho de banda entre las cámaras y el almacenamiento centralizado.

La posición GNSS de cada toma puede entregarse a cada cámara 110 y 112, para permitir que la cámara etiquete cada foto con su posición GNSS.

Una o más unidades opcionales de compensación de movimiento angular (AMC) 330, que responden a la orientación indicada por la IMU 306, corrigen la orientación de las cámaras de manera que mantengan una dirección de apunte consistente en el tiempo, a pesar del alabeo, cabeceo o guiñada de la aeronave durante el vuelo. Esto asegura que las fotografías capturadas se puedan usar para crear un fotomosaico sin espacios, al tiempo que permite que la superposición entre tomas sucesivas y entre líneas de vuelo adyacentes se minimice.

La AMC 330 puede consistir en una plataforma con dos o tres ejes de rotación (es decir, alabeo y cabeceo, o alabeo, cabeceo y guiñada) sobre los que se monta la unidad HyperCamera 100. Las plataformas AMC disponibles comercialmente incluyen la serie PAV de Leica Geosystems.

Como alternativa, la AMC 330 puede comprender uno o más mecanismos de orientación de haz en la trayectoria óptica de cada cámara (o grupo de cámaras), por lo que la dirección de apunte de las cámaras se corrige mediante la orientación de haz.

La compensación del movimiento angular se vuelve cada vez más importante a medida que aumenta la altitud de vuelo y/o disminuye la GSD.

El desenfoque de movimiento debido al movimiento de avance de la aeronave es igual a la velocidad de la aeronave multiplicada por el tiempo de exposición de la cámara. Una vez que el desenfoque de movimiento se convierte en una fracción significativa de (o supera) la GSD, se vuelve útil para proporcionar un mecanismo de compensación de movimiento de avance (FMC) para reducir o eliminar el desenfoque de movimiento. La FMC se puede proporcionar de varias formas, incluyendo la traslación o la rotación del eje óptico de la cámara (moviendo el sensor de imagen, un espejo intermedio, o la propia cámara), o por la integración de retardo de tiempo (TDI) de líneas adyacentes de píxeles en el sensor de imagen.

El ordenador 300 almacena la posición GNSS de cada toma. Ésta se utiliza durante el procesamiento posterior de las fotografías para producir un fotomosaico preciso. El ordenador 300 también almacena la orientación de cada toma si la IMU 306 está presente, y almacena la orientación corregida de cada toma si está presente una AMC 330, basándose en la información de corrección de la AMC.

Las cámaras 110 y 112 son alimentadas por una unidad de batería 320. La unidad de batería 320 proporciona una tensión más alta que la tensión requerida por todos los componentes conectados, por ejemplo, entre 24 V y 28 V, y el requisito de tensión de cada componente conectado se proporciona a través de un convertidor CC-CC 326. Por ejemplo, una cámara Nikon D800 requiere menos de 10 V. Los convertidores CC-CC 326 adicionales también proporcionan las tensiones adecuadas para alimentar el ordenador 300, la pantalla de piloto 302, el receptor GNSS 304 y la IMU 306. Para mayor claridad, estas conexiones de alimentación se omiten en la Figura 20.

La unidad de batería 320 contiene dos baterías de 12 V o 14 V o una sola batería de 24 V o 28 V. Contiene un circuito de carga que permite que se cargue por goteo desde una aeronave con una fuente de alimentación auxiliar adecuada 322, lo que le permite permanecer cargada en todo momento. También se puede cargar en el suelo desde una unidad de potencia de tierra 324 (GPU).

Los ADC 308 y los convertidores CC-CC 326 pueden alojarse en una unidad de control de cámara 310 (CCU). Esta también puede incluir una interfaz USB para permitir que el ordenador 300 controle los ADC.

Los convertidores CC-CC 326 que proporcionan energía a las cámaras 110 y 112 pueden ubicarse en la CCU 310 o más cerca de las cámaras en las cajas de distribución 150.

Las fotografías capturadas por la HyperCamera están diseñadas para unirse a la perfección en un fotomosaico, y la Figura 21 muestra un flujo de proceso fotogramétrico para crear eficientemente un fotomosaico a partir de fotografías de HyperCamera de resolución múltiple. El proceso funciona en las fotografías de detalle 400 capturadas por las cámaras de detalle 110, y en las fotografías de vista general 402 capturadas por las cámaras de vista general 112.

El proceso consta de cuatro etapas principales: (1) las características se detectan automáticamente en cada una de las fotografías 400 y 402 y se combinan entre las fotografías (etapa 410); el ajuste de paquetes se utiliza para refinar iterativamente las estimaciones iniciales de la posición tridimensional del mundo real de cada característica, así como la postura de la cámara (posición y orientación tridimensional) y la calibración de la cámara (distancia focal y distorsión radial) asociadas con cada foto (en la etapa 412); cada foto de detalle 400 está ortorrectificada de acuerdo con la postura de la cámara y los datos de elevación del terreno (en la etapa 414); y las fotografías ortorrectificadas (ortofotos) se mezclan para formar el fotomosaico final 404 (en la etapa 416).

Los datos de elevación (utilizados en la etapa 414) pueden derivarse de las posiciones de características tridimensionales (refinadas durante la etapa 412); y/o puede derivarse de una densa coincidencia estéreo de múltiples vistas entre las fotografías (véase, por ejemplo, la Patente de Estados Unidos N.º 8.331.615 (Furukawa)); y/o se puede obtener de otra fuente, tal como un reconocimiento LIDAR del área de interés. Los datos de elevación pueden estar en la forma de un modelo de elevación digital (DEM) vectorial o ráster, o en forma de una nube de puntos tridimensional, o en forma de un modelo geométrico tridimensional. Puede incluir características de la superficie tales como vegetación y edificios, o pueden describir la tierra desnuda,

La precisión del fotomosaico 404 se deriva de la alta superposición entre las fotografías de vista general de baja resolución 402, mientras que el detalle en el fotomosaico 404 se deriva de las fotografías de detalle de mayor resolución 400.

Como alternativa, como se señaló anteriormente, se puede realizar un reconocimiento con una mayor superposición entre las fotografías de detalle 400, y el fotomosaico se puede crear a partir de las fotografías de detalle 400 solamente.

El fotomosaico se almacena típicamente como una pirámide de imagen, es decir, dentro de la cual se calculan previamente diferentes niveles de zoom (binarios) para un acceso rápido a cualquier nivel de zoom. Los niveles de zoom más bajos en la pirámide se generan a partir de niveles de zoom más altos mediante el filtro de paso bajo y el submuestreo, por lo que la pirámide completa puede generarse a partir del fotomosaico de resolución de detalle. Como alternativa, se pueden generar niveles de zoom inferiores a partir de un fotomosaico creado a partir de las fotografías de vista general 402, en cuyo caso las fotografías de vista general 402 también se ortorrectifican y se combinan como se describe anteriormente para las fotografías de detalle 400.

Una estimación inicial de la postura de la cámara de cada foto, posteriormente refinada por el proceso de ajuste de paquetes (en la etapa 412), se deriva de la posición GNSS de cada foto, así como su orientación derivada de IMU, si está disponible.

Los datos del terreno utilizados para ortorrectificar (en la etapa 414) las fotografías de detalle 400 pueden basarse en las posiciones de las características 3D obtenidas a partir del ajuste de paquetes (en la etapa 412), o pueden ser datos del terreno procedentes de otros lugares (tal como de un reconocimiento aéreo LiDAR).

Las características del suelo detectadas automáticamente pueden aumentarse con puntos de tierra identificados manualmente, cada uno de los cuales puede tener una posición precisa del mundo real reconocido (y después se denomina punto de control de tierra).

Las HyperCameras V5-300 y V5-180 son dos modelos de la gama HyperCamera. Incluso se logra una mayor eficiencia al operar altitudes más altas con distancias focales mayores, y las configuraciones adicionales de HyperCamera se describen a continuación.

La Figura 22 representa en forma de tabla la GSD en función de la altitud de vuelo sobre el suelo (en pies) y la distancia focal del objetivo de 100 mm a 600 mm (en aumentos de 100 mm). También representa en forma de tabla el ancho de barrido (en km) de los campos visuales de 30 grados y 45 grados en función de la altitud. Además, representa en forma de tabla el número de cámaras de detalle requeridas para cubrir estos campos visuales en función de la distancia focal.

La Figura 23 además representa en forma de tabla la GSD en función de la distancia focal de 700 mm a 1200 mm.

De las tablas en las Figuras 22 y 23, es instructivo comparar las características de las configuraciones HyperCamera V5-300, V10-600 y V15-900. Cada configuración tiene aproximadamente el mismo campo visual lateral de 30 grados, pero suponiendo una GSD de 5 cm, los anchos de barrido correspondientes son 1,6 km, 3,3 km y 4,9 km respectivamente (correspondientes a altitudes de vuelo de 10.000, 20.000 y 30.000 pies respectivamente). De manera crucial, la eficiencia de captura relativa es entonces 1x, 2x y 3x respectivamente (suponiendo la misma velocidad de la aeronave).

Se puede realizar una HyperCamera V10-600 de 30 grados utilizando dos unidades HyperCamera V5-600 de 15 grados en tándem, cada unidad montada en una placa adaptadora en forma de cuña 200 que induce la inclinación lateral requerida de 7,5 grados.

Se puede realizar una HyperCamera V15-600 de 45 grados usando tres unidades HyperCamera V5-600 de 15 grados en tándem, la unidad central montada plana, y cada una de las dos unidades exteriores montadas en una placa adaptadora en forma de cuña 200 que induce la inclinación lateral requerida de 15 grados.

Se puede realizar una HyperCamera V15-900 de 30 grados usando tres unidades HyperCamera V5-900 de 10 grados en tándem, la unidad central montada plana, y cada una de las dos unidades exteriores montadas en una placa adaptadora en forma de cuña 200 que induce la inclinación lateral requerida de 10 grados.

Como alternativa o adicionalmente, para utilizar una forma de cuña para inducir la inclinación lateral requerida, la placa adaptadora 200 puede comprender uno o más mecanismos de ajuste de inclinación gruesos y/o finos para permitir que la inclinación de la unidad de cámara 100 se ajuste tanto nominalmente, así como para compensar las variaciones en la inclinación del suelo de la aeronave. Los mecanismos de inclinación pueden comprender una o más calzas, uno o más tornillos de desviación, o similares.

El ajuste de inclinación también se puede proporcionar a través del mecanismo de compensación de alabeo de la unidad de compensación de movimiento angular (AMC) 330, si está presente, ajustando el alabeo nominal preestablecido de la unidad de cámara 100.

Las Figuras 24A, 24B y 24C muestran las huellas de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900 respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 16.000 pies.

La cuadrícula discontinua en las figuras tiene un espaciado de 1 km. Las figuras muestran el mismo ancho de barrido, pero con GSD creciente.

Las Figuras 25A, 25B y 25C muestran tres huellas de superposición sucesivas de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900 respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 16.000 pies. Con el fin de garantizar una adecuada superposición longitudinal, la velocidad de disparo aumenta al aumentar la resolución.

Las Figuras 26A, 26B y 26C muestran dos huellas de superposición de dos líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900 respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 16.000 pies.

La Figura 27 muestra una elevación frontal de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V10-600 que comprende dos unidades de cámara V5-600, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes. La línea discontinua muestra la división entre los cambios visuales de la unidad de cámaras.

La Figura 28 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V10-600 que comprende dos unidades de cámara V5-600 instaladas en la cabina de la aeronave, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

La Figura 29 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V10-600 que comprende dos unidades de cámara V5-600 instaladas en una góndola de carga montada en bodega Cessna 208 estándar, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

La Figura 30 muestra una elevación frontal de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V15-900 que comprende tres unidades de cámara V5-900, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes. La línea discontinua muestra la división entre los cambios visuales de la unidad de cámaras.

La Figura 31 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V15-900 que comprende tres unidades de cámara V5-900 instaladas en la cabina de la aeronave, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

La Figura 32 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva una HyperCamera V15-900, que comprende tres unidades de cámara V5-900 instaladas en una góndola de carga montada en bodega de un Cessna 208 estándar, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

Las Figuras 33A, 33B y 33C muestran dos huellas de superposición de dos líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900 respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 24.000 pies. La cuadrícula discontinua en las figuras tiene un espaciado de 1 km.

- 5 Las Figuras 34A, 34B y 34C muestran dos huellas de superposición de dos líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900 respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 36.000 pies. La cuadrícula discontinua en las figuras tiene un espaciado de 1 km.

10 En general, un modelo particular de HyperCamera puede realizarse utilizando varias unidades de cámara 100 idénticas más pequeñas, cada una montada en el ángulo lateral requerido. Como se muestra en las Figuras 27 a 32, las unidades de cámara individuales 100 pueden montarse a lo largo del eje longitudinal de la aeronave. El disparo de cada unidad de cámara 100 se puede escalonar para tener en cuenta su posición longitudinal y la velocidad de la aeronave, o los desfases longitudinales entre fotografías de diferentes unidades de cámara se pueden tener en cuenta durante el procesamiento posterior.

15 El diseño de la HyperCamera es, por lo tanto, modular y adecuado para la implementación junto con uno o más orificios de cámara estándar.

20 Se puede realizar una HyperCamera oblicua, es decir, con una dirección de apunte diferente a la vertical (y típicamente con una dirección de apunte de 45 grados), utilizando una o más unidades de cámara verticales 100 montadas en el ángulo oblicuo requerido, por ejemplo, a través de una placa adaptadora inclinada 200, o utilizando una o más unidades de cámara oblicuas 100, cada una comprendiendo una matriz de cámaras montadas en el ángulo oblicuo requerido dentro de un marco orientado verticalmente.

25 Las fotografías aéreas oblicuas tienen varios usos. Se pueden utilizar para producir un fotomosaico georreferenciado oblicuo para proporcionar un complemento útil a un fotomosaico vertical. Se pueden usar junto con fotografías verticales durante el ajuste de paquetes fotogramétricos (como se describe anteriormente en relación con la Figura 21) para lograr una mayor precisión, incluida una mayor precisión en los datos de elevación. Y se pueden usar para texturizar un modelo de elevación o un modelo tridimensional completo del área de interés, para soportar la visualización e interacción tridimensional.

30 La Figura 35A y 35B muestran las elevaciones frontal y lateral respectivamente de una aeronave Cessna 208 que lleva cinco HyperCameras instaladas en la cabina de la aeronave: una V10-600 vertical, una R10-600 oblicua derecha, una L10-600 oblicua izquierda, una F10-600 oblicua frontal, y una B10-600 oblicua posterior, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada una.

35 La GSD oblicua (282) de una cámara inclinada en un ángulo (280) con respecto a la vertical viene dado por EQ 9 en la Figura 44. La GSD vertical (262) se aumenta en un factor del cuadrado de la secante del ángulo de inclinación. El primer término secante se debe a la mayor distancia de visión inducida por la inclinación, mientras que el segundo término secante se debe al acortamiento inducido por la inclinación del suelo. Por lo tanto, una cámara inclinada debe tener una distancia focal mayor correspondiente para coincidir con la GSD de una cámara vertical.

40 Para una inclinación de 45 grados, la GSD vertical se aumenta en un factor de dos, lo que implica que una cámara oblicua de 45 grados debe tener el doble de la distancia focal de una cámara vertical para que coincida con la GSD de la cámara vertical. Sin embargo, en la práctica, no existe un requisito estricto para coincidir con las GSD de las cámaras verticales y oblicuas, y se puede utilizar cualquier distancia focal adecuada para las cámaras oblicuas.

45 Si el sensor de imagen de la cámara está inclinado para estar paralelo al suelo, el segundo término secante desaparece. La GSD oblicua (286) viene dada por EQ 10 en la Figura 44. Para una inclinación de 45 grados, la GSD vertical (262) se aumenta solo en un factor de la raíz cuadrada de dos, lo que implica que una cámara oblicua de sensor inclinado 45 grados debe tener 1,4 veces la distancia focal de una cámara vertical para que coincida con la GSD de la cámara vertical.

50 Sin embargo, la GSD más pequeña en las superficies horizontales va acompañada por una GSD más grande en las superficies verticales, tal como los laterales de los edificios. Esto, a su vez, puede motivar una estrategia de captura de fotografías oblicuas en múltiples pases, con cada paso optimizado para una orientación de superficie particular a través de la inclinación del sensor de imagen.

55 La Figura 36 muestra una elevación lateral de una aeronave Cessna 208 que lleva cinco HyperCameras instaladas en una góndola de carga montada en bodega de un Cessna 208 estándar: una V10-600 vertical, una R10-900 oblicua derecha, una L10-900 oblicua izquierda, una F10-900 oblicua frontal, y una B10-900 oblicua posterior, y los campos visuales de vista general y de detalle agregados resultantes de cada una. Cada HyperCameras oblicua tiene un ángulo de apunte de 45 grados.

Más generalmente, se puede utilizar la inclinación del sensor de imagen de cualquier cámara sin nadir para que esté (más) paralela al suelo para reducir el acortamiento de la perspectiva en las fotografías capturadas por la cámara y así mejorar la GSD.

- 5 Cada HyperCamera oblicua de 900 mm tiene una GSD un 33 % mayor que la HyperCamera vertical de 600 mm. Una HyperCamera oblicua de 1200 mm tendría la misma GSD que la HyperCamera vertical de 600 mm. Una HyperCamera oblicua con sensor inclinado de 850 mm también tendría la misma GSD que la HyperCamera vertical de 600 mm.

10 La Figura 37 muestra una vista inferior de la unidad de cámara 100 donde las cámaras de detalle están dispuestas en un patrón "X" alternativo para proporcionar más espacio para lentes de detalle mayores 114, es decir, para alojar los diámetros más grandes de lentes mayores. Esta disposición también proporciona espacio para una segunda cámara de resolución inferior (es decir, con una lente más corta) que se puede utilizar para una segunda cámara de vista general o para una cámara espectral dedicada, tal como una cámara de infrarrojo cercano (NIR). La inclusión de una segunda cámara de vista general permite que ambas cámaras tengan una mayor distancia focal y, por lo tanto, proporcionen una mayor resolución y, por lo tanto, una precisión fotogramétrica. La inclusión de una cámara de infrarrojo cercano permite incluir una banda de infrarrojo cercano en el fotomosaico, que a su vez admite aplicaciones tal como la identificación de vegetación.

20 A medida que aumenta la distancia focal de las lentes de detalle 114, el tamaño y el peso de un diseño de lente puramente refractivo (dióptrico) se vuelve significativo. Se puede realizar una lente más ligera y físicamente más corta con la misma distancia focal larga utilizando un diseño reflectante, es decir, utilizando espejos curvos para enfocar, ya sea utilizando espejos en solitario (catóptricos) o junto con elementos refractivos correctivos (catadióptricos). Los telescopios astronómicos, que se caracterizan por largas distancias focales y aberturas grandes, suelen utilizar diseños reflectantes. Los diseños modernos convencionales incluyen el Schmidt-Cassegrain, que combina espejos primarios y secundarios esféricos con una placa de corrección Schmidt, y el Ritchey-Chretien, que utiliza espejos primarios y secundarios hiperbólicos.

25 Por lo tanto, se pueden usar lentes de detalle reflectantes 114 para reducir significativamente el tamaño y el peso de la unidad de cámara 100, y esto es particularmente beneficioso para distancias focales más largas, tal como 900 mm y más larga.

30 La Figura 38 muestra una unidad de cámara 100 implementada como una matriz de cámaras 600, dispuestas en un ventilador, y el eje óptico 602 de cada cámara. Esto representa figurativamente cualquiera de las matrices de cámaras en la descripción, detalle o descripción general anterior, y proporciona el contexto para la siguiente descripción. Cada cámara 600 consiste en un cuerpo de cámara (por ejemplo, 110 o 112) y una lente de cámara (por ejemplo, 114 o 116),

35 La Figura 39 muestra una unidad de cámara 100 implementada como una sola cámara 600 de multiplexación en el tiempo a través de un espejo orientable 604 para producir múltiples trayectorias ópticas. Esto permite utilizar una sola cámara para implementar una matriz de cámaras que utilizan multiplexación en el tiempo, y, por lo tanto, reduce el número de cámaras físicas necesarias para implementar una HyperCamera, lo que a su vez reduce el tamaño, el peso y el coste de cada unidad de cámara 100. Como alternativa a un espejo orientable 604, se puede utilizar cualquier mecanismo de orientación de haz adecuado

40 La Figura 40 muestra una configuración alternativa de una unidad de cámara 100 implementada como una sola cámara 600 de multiplexación en el tiempo a través de un espejo orientable para producir múltiples trayectorias ópticas. La adición de un espejo fijo 606 permite que la cámara 600 se monte verticalmente, lo que permite que la unidad de cámara 100 tenga una huella más pequeña.

45 La Figura 41 muestra una unidad de cámara 100 implementada como una sola cámara 600 de multiplexación en el tiempo a través de un espejo orientable para producir múltiples trayectorias ópticas, con un espejo orientable adicional 608 que proporciona compensación de movimiento angular (AMC). Esto implementa la unidad AMC 330 impulsada por IMU. Como alternativa a un espejo orientable 608, se puede utilizar cualquier mecanismo de orientación de haz adecuado

50 El espejo orientable 608 puede usarse adicionalmente o como alternativa, para implementar un mecanismo de compensación de movimiento de avance (FMC). En el modo FMC, el espejo se inclina suavemente hacia atrás durante la exposición para coincidir con el movimiento de avance de la aeronave, y se inclina hacia delante de nuevo entre las exposiciones. La inclinación del espejo 608 se puede accionar directamente, o se puede oscilar a una velocidad adecuada para proporcionar FMC, con la exposición de la cámara sincronizada con la fase hacia atrás de la oscilación. La AMC y la FMC también pueden proporcionarse por espejos separados en cascada.

55 La presente invención se ha descrito con referencia a una serie de realizaciones preferidas. Un experto en la técnica apreciará que existen varias realizaciones alternativas de la presente invención, y que el alcance de la invención solo está limitado por las reivindicaciones adjuntas.

A lo largo de esta memoria descriptiva y de las siguientes reivindicaciones, a menos que el contexto requiera lo contrario, se entenderá que la palabra "comprende", y las variaciones tales como "comprende" o "que comprende" implican la inclusión de un integrante o etapa o grupo de integrantes o etapas indicados, pero no la exclusión de ningún otro integrante o etapa o grupo de integrantes o etapas.

5 La referencia en esta memoria descriptiva a cualquier publicación anterior (o información derivada de ésta), o a cualquier asunto que se conozca, no es, y no debe tomarse como un reconocimiento o admisión, o cualquier forma de sugerencia, de que la anterior publicación (o información derivada de ésta) o materia conocida, forme parte del

10 conocimiento general común en el campo de trabajo al que se refiere esta memoria descriptiva.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema para capturar imágenes aéreas del suelo, estando el sistema estando **caracterizado por:**
- al menos una unidad de cámara (100), comprendiendo la al menos una unidad de cámara (100) al menos una cámara de detalle (600) montada de manera que su trayectoria óptica esté orientada sustancialmente verticalmente hacia abajo;
- 10 un primer espejo orientable (604), montado en la trayectoria óptica de al menos una cámara de detalle (600), estando el ángulo de dirección del primer espejo orientable (604) dispuesto para variar con el tiempo a fin de multiplexar en el tiempo un eje óptico posterior (602a - 602e) de la al menos una cámara de detalle (600), proporcionando de este modo un campo visual agregado (160a - 160e) de la al menos una cámara de detalle (600) que es más extenso que el campo visual (160a) sin la multiplexación en el tiempo; un segundo espejo orientable (608) montado en la trayectoria óptica de la al menos una cámara de detalle (600), estando el segundo espejo orientable (608) alineado de manera que compense, al menos parcialmente, la curvatura de la trayectoria óptica de la al menos una cámara de detalle (600) por el primer espejo orientable (604), asegurando de este modo que el eje óptico (602) de la al menos una cámara de detalle (600) posterior a los dos espejos (604, 608) esté orientado sustancialmente verticalmente hacia abajo; una unidad de medición inercial (IMU) (306) configurada para medir el movimiento angular de la aeronave (230); y una unidad de compensación de movimiento angular (AMC) (330), que responde a la medida informada por la IMU (306), proporcionando señales de control al segundo espejo orientable (608) para compensar el movimiento angular de la aeronave (230), garantizando de este modo que la al menos una cámara de detalle (600) apunte en una dirección consistente en el tiempo.
2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la al menos una unidad de cámara (100) se puede fijar, por encima de un orificio de cámara (212), al menos a uno de: un suelo (210) de una aeronave (230) y un suelo (210) de una góndola (232) transportada por una aeronave (230), proporcionando de este modo al menos una cámara de detalle (600) con una vista del suelo debajo de la aeronave (230) a través del orificio de cámara (212).
3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, que comprende una pluralidad de unidades de cámara (100a - 100c), estando cada unidad de cámara (100a - 100c) montada en un ángulo diferente de manera que los campos visuales extendidos (162, 172) de las unidades de cámara (100a - 100c) se superpongan en la dirección horizontal perpendicular a la dirección de vuelo (220) para formar un campo visual ampliado más grande (182, 192).
4. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la al menos una unidad de cámara (100) comprende al menos una cámara de vista general (112), teniendo la al menos una cámara de detalle (600, 110) una distancia focal mayor que la distancia focal de la al menos una cámara de vista general (112).
5. El sistema de la reivindicación 4, en el que la relación de la distancia focal de la al menos una cámara de detalle (110, 600) con respecto a la distancia focal de la al menos una cámara de vista general (112) está entre 4 y 8.
- 45 6. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la al menos una cámara de detalle (110, 600) tiene una lente (114) seleccionada del grupo que comprende: una lente dióptrica, una lente catóptrica y una lente catadióptrica.
7. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además un ordenador (300) configurado para activar automáticamente la exposición de la al menos una cámara de detalle (110, 600) durante el vuelo de acuerdo con un plan de vuelo almacenado y la posición en tiempo real de la aeronave (230).
8. El sistema de la reivindicación 7, que comprende además al menos un receptor del sistema global de navegación por satélite (GNSS) (304), estando el ordenador (300) configurado para recibir y almacenar datos de posición del al menos un receptor GNSS (304) en tiempo real.
9. El sistema de la reivindicación 7, en el que el ordenador (300) está configurado para recibir y almacenar datos de orientación de la IMU (306) en tiempo real.
- 60 10. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que comprende además al menos un mecanismo de compensación de movimiento de avance (FMC), estando el al menos un mecanismo FMC configurado para corregir el efecto, en la al menos una cámara de detalle (110, 600), del movimiento de avance de la aeronave (230), para reducir de este modo el desenfoque de movimiento en las fotografías capturadas por la al menos una cámara de detalle (110, 600).

- 5 11. El sistema de la reivindicación 10, en el que la FMC se proporciona a través de un mecanismo seleccionado del grupo que comprende: trasladar el sensor de imagen de la al menos una cámara de detalle (110, 600), girar el sensor de imagen de la al menos una cámara de detalle (110, 600), trasladar la al menos una cámara de detalle (110, 600), girar la al menos una cámara de detalle (110, 600), girar un espejo (608) en la trayectoria óptica de la al menos una cámara de detalle (110, 600), y la integración retardada en el tiempo de las líneas de píxeles adyacentes en el sensor de imagen de la al menos una cámara de detalle (110, 600).
- 10 12. El sistema de la reivindicación 10, en el que la FMC se proporciona a través de un espejo orientable en la trayectoria óptica de la al menos una cámara de detalle (600), estando el espejo orientable inclinado suavemente hacia atrás durante la exposición de cada fotografía para coincidir con el movimiento de avance de la aeronave (230), y inclinándose hacia delante entre exposiciones sucesivas.
- 15 13. El sistema de la reivindicación 12, en el que el espejo orientable se oscila hacia atrás y hacia delante y la exposición de la al menos una cámara de detalle (600) se sincroniza con la fase hacia atrás de la oscilación.
- 20 14. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que la dirección de apunte de la al menos una unidad de cámara (100), con respecto al nadir, se selecciona del grupo que comprende: cero grados y 45 grados.
- 25 15. El sistema de la reivindicación 3, en el que la dirección de apunte de cada unidad de cámara (100), con respecto al nadir, se selecciona del grupo que comprende: cero grados y 45 grados.
16. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, en el que el sensor de imagen de al menos una cámara de detalle (110, 600) está inclinado para reducir la perspectiva de acortamiento en fotografías capturadas por la al menos una cámara de detalle (110, 600).
17. El sistema de la reivindicación 12, en el que el espejo orientable es el segundo espejo orientable (608).

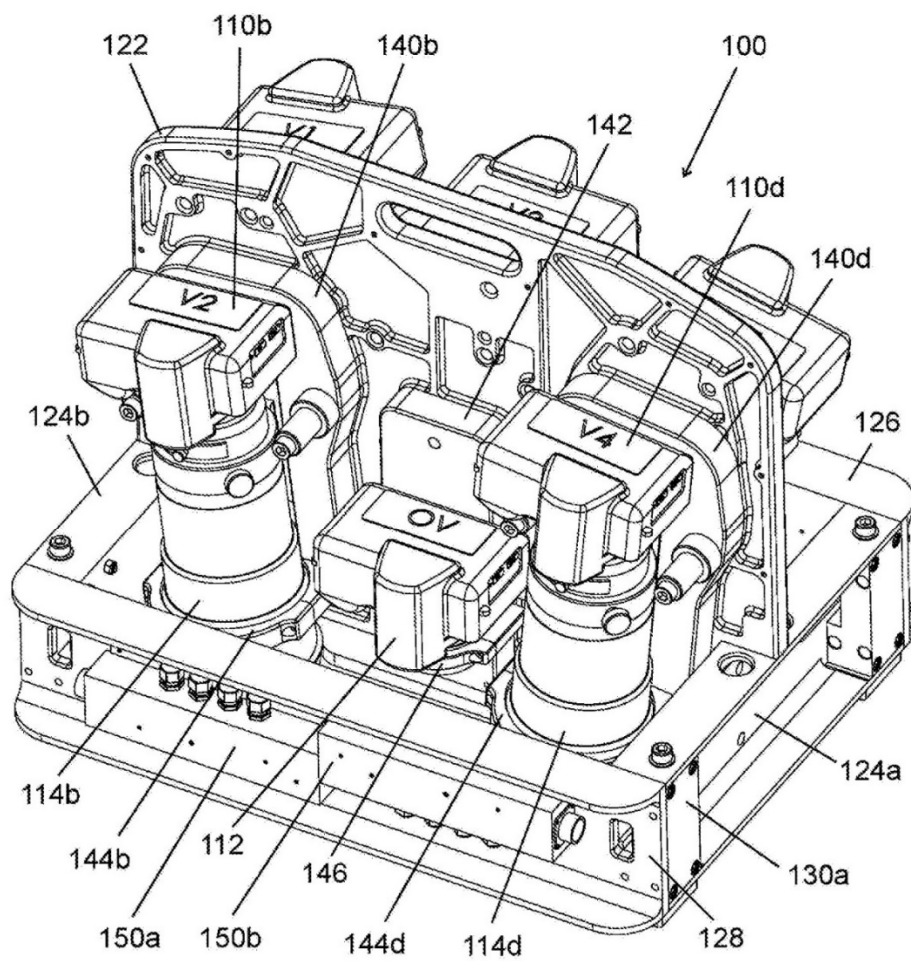


Fig. 1

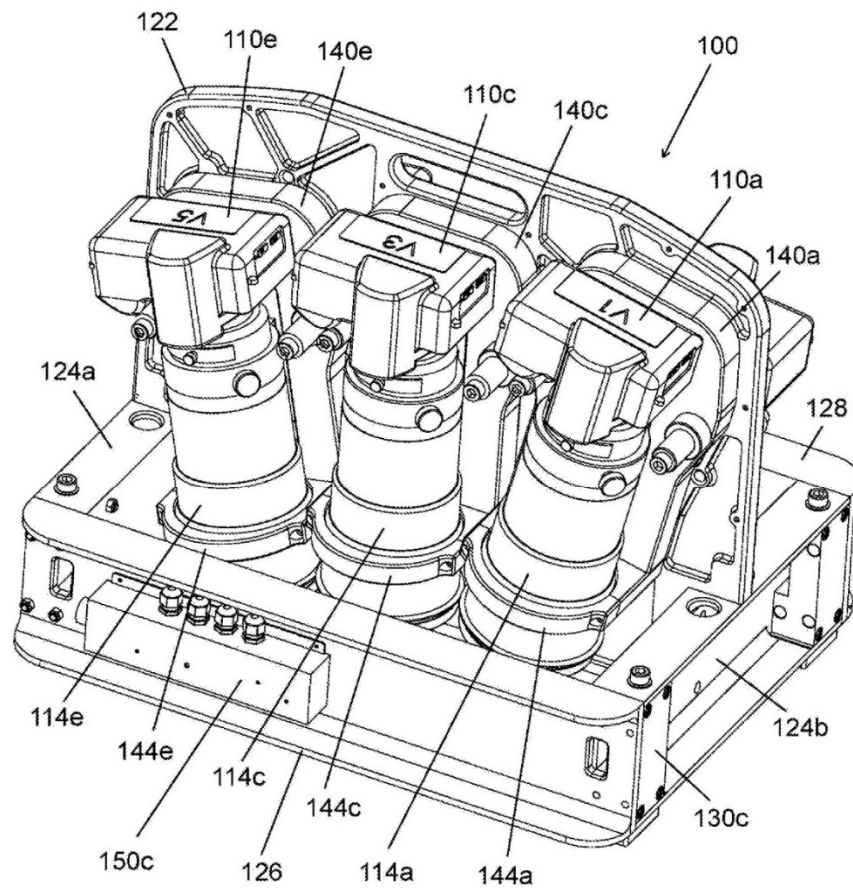


Fig. 2

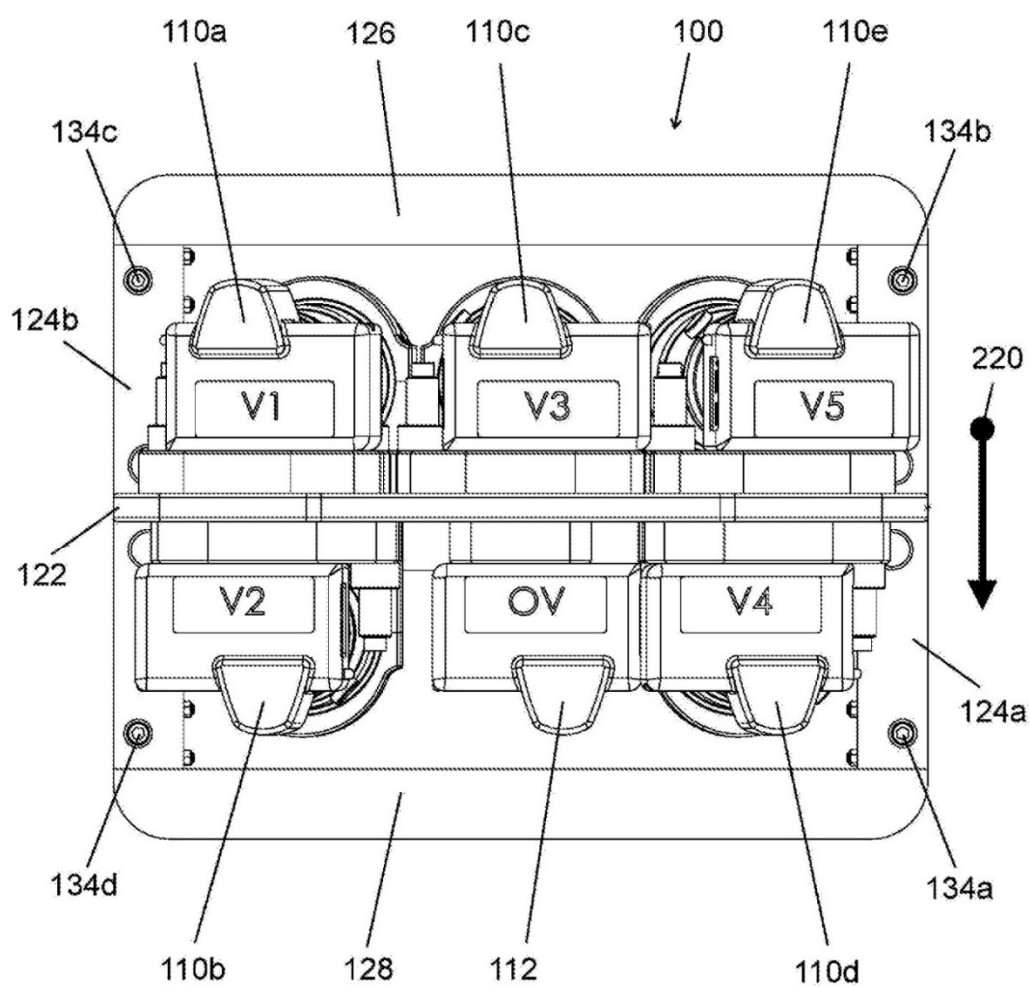


Fig. 3

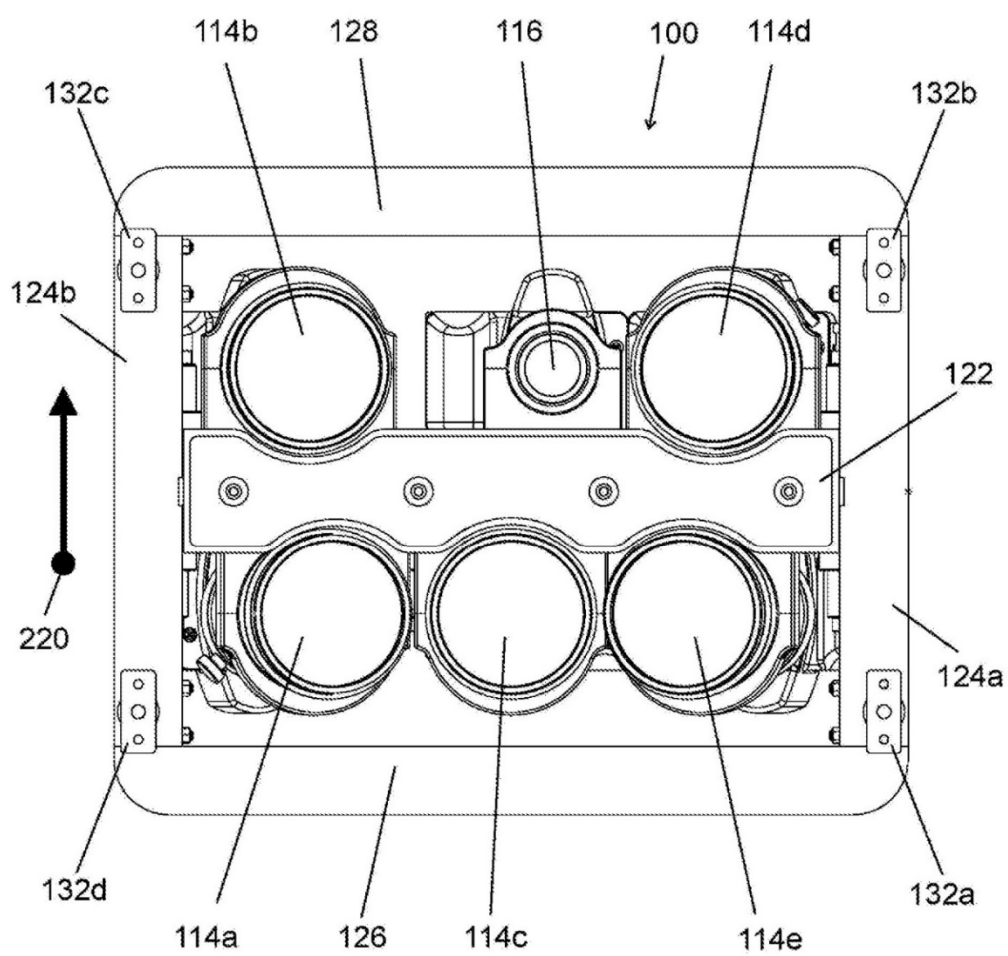


Fig. 4

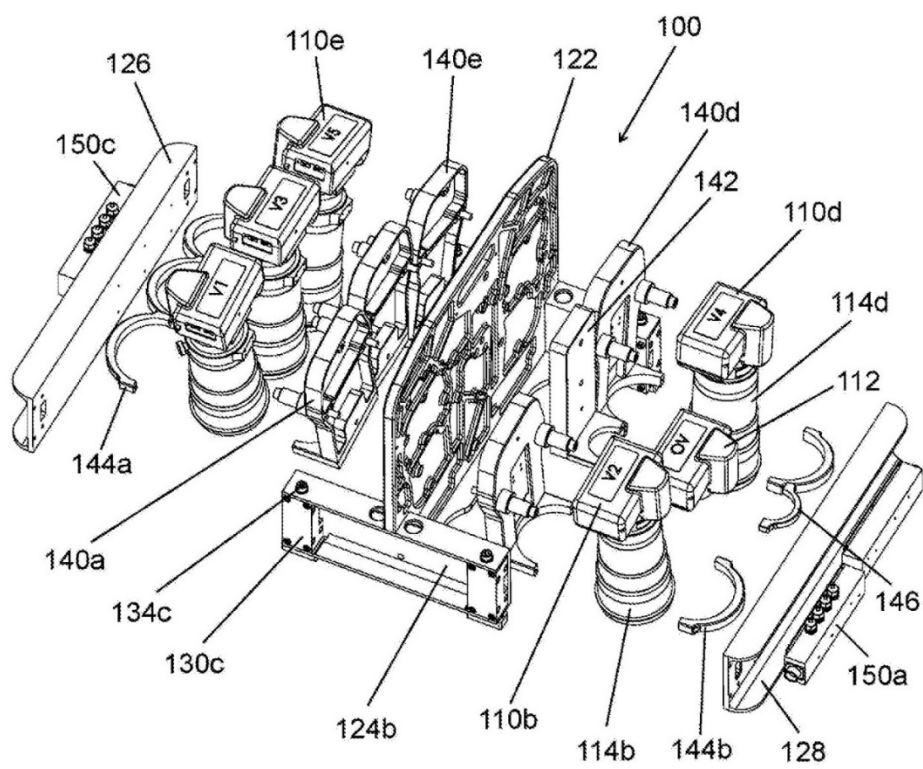


Fig. 5

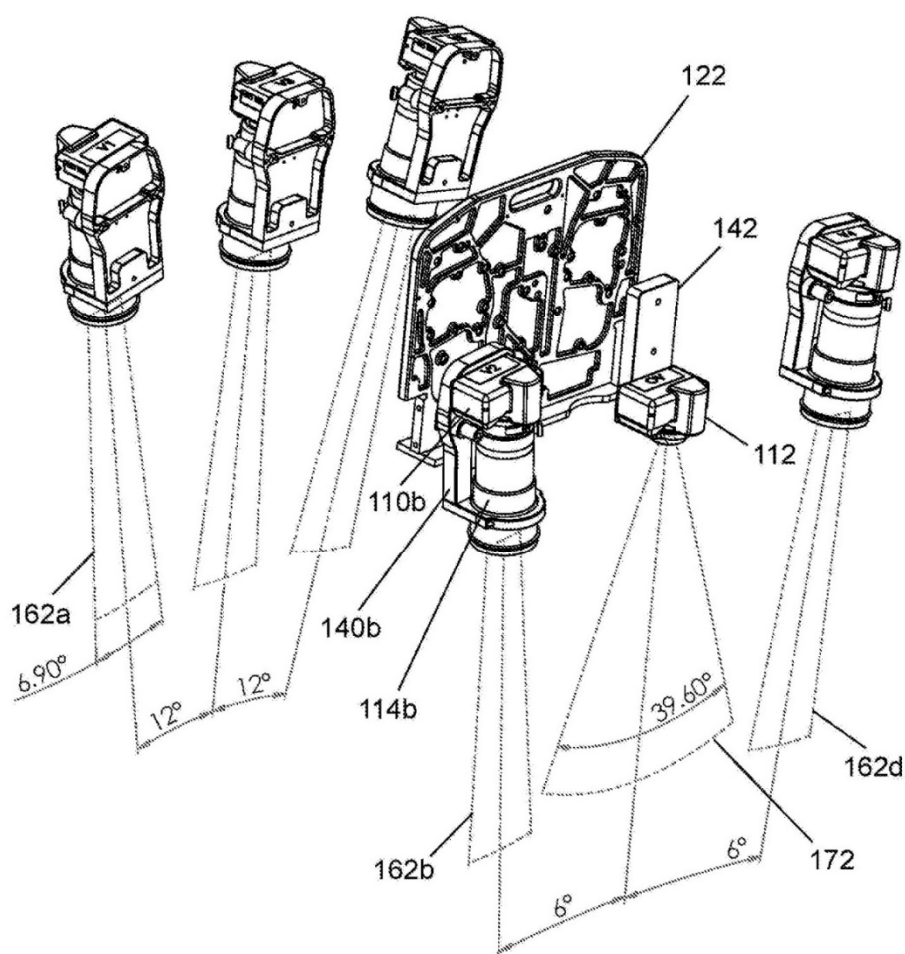


Fig. 6

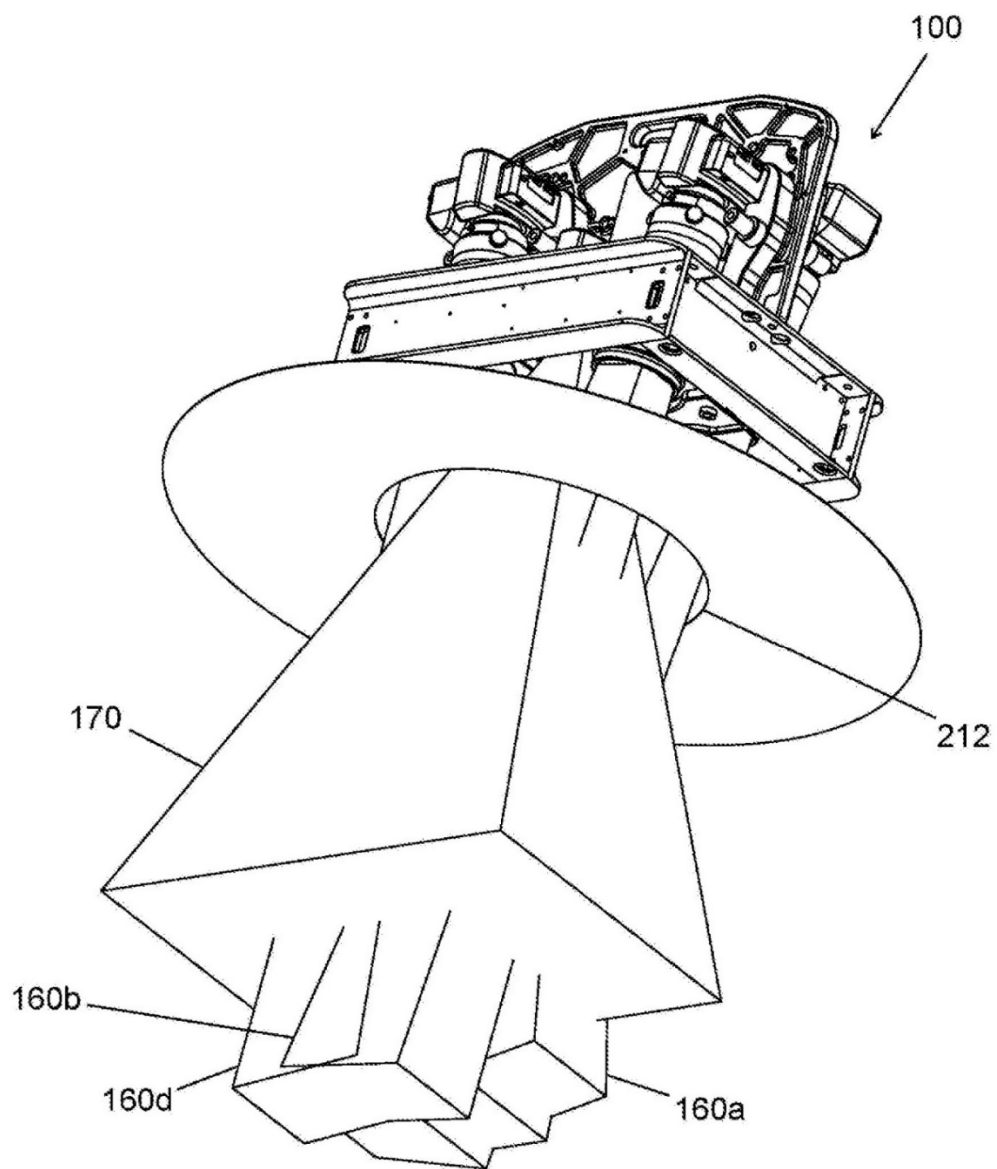


Fig. 7

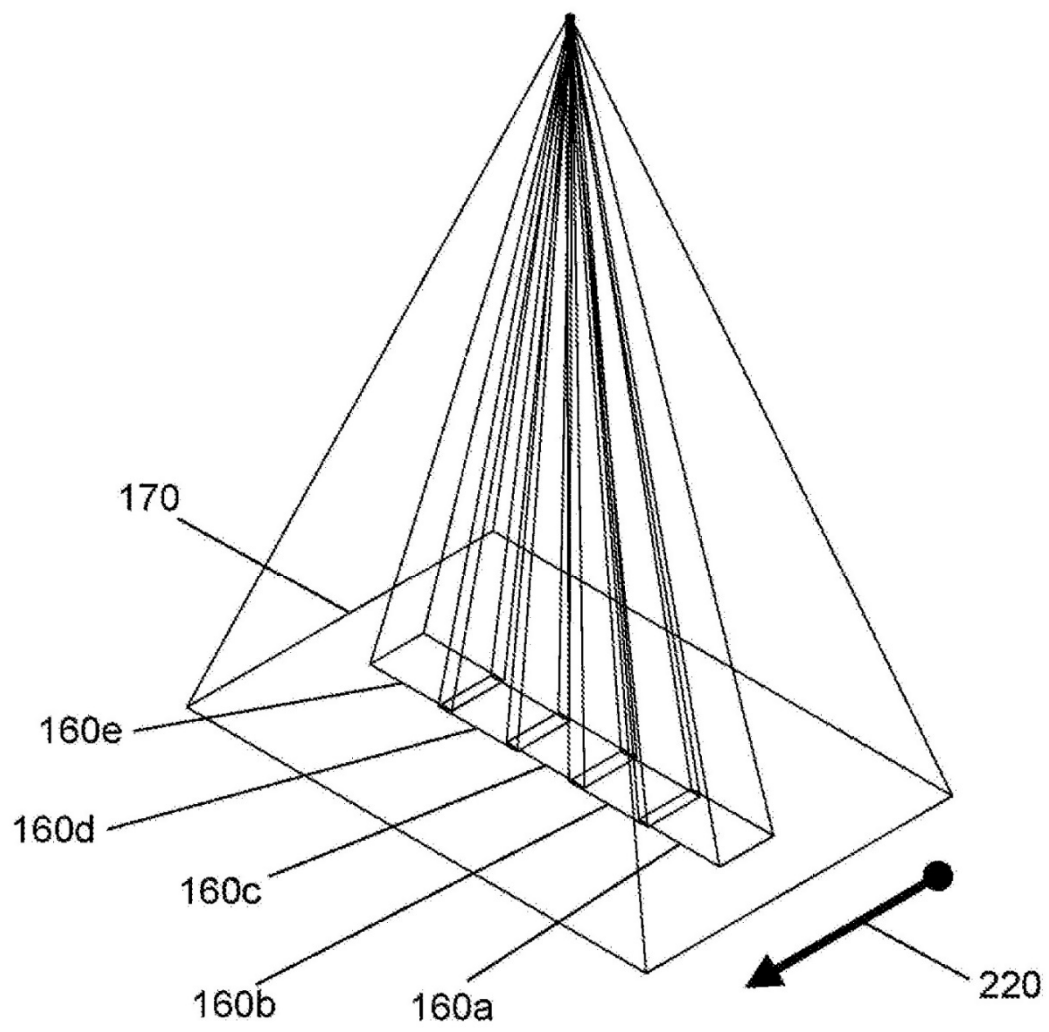


Fig. 8

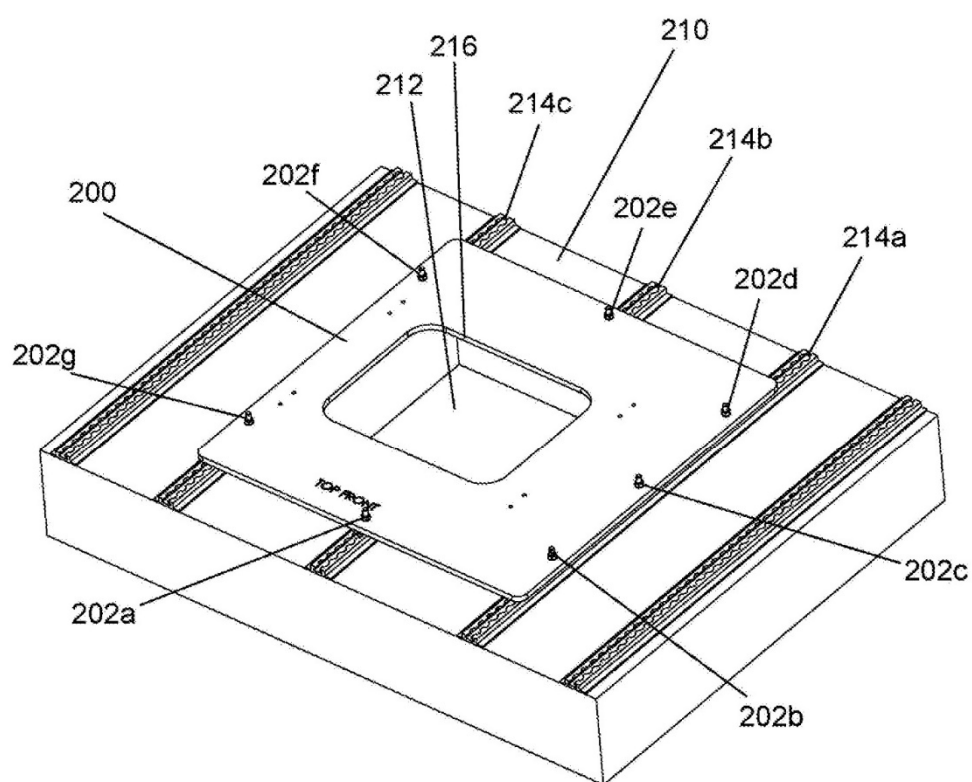


Fig. 9

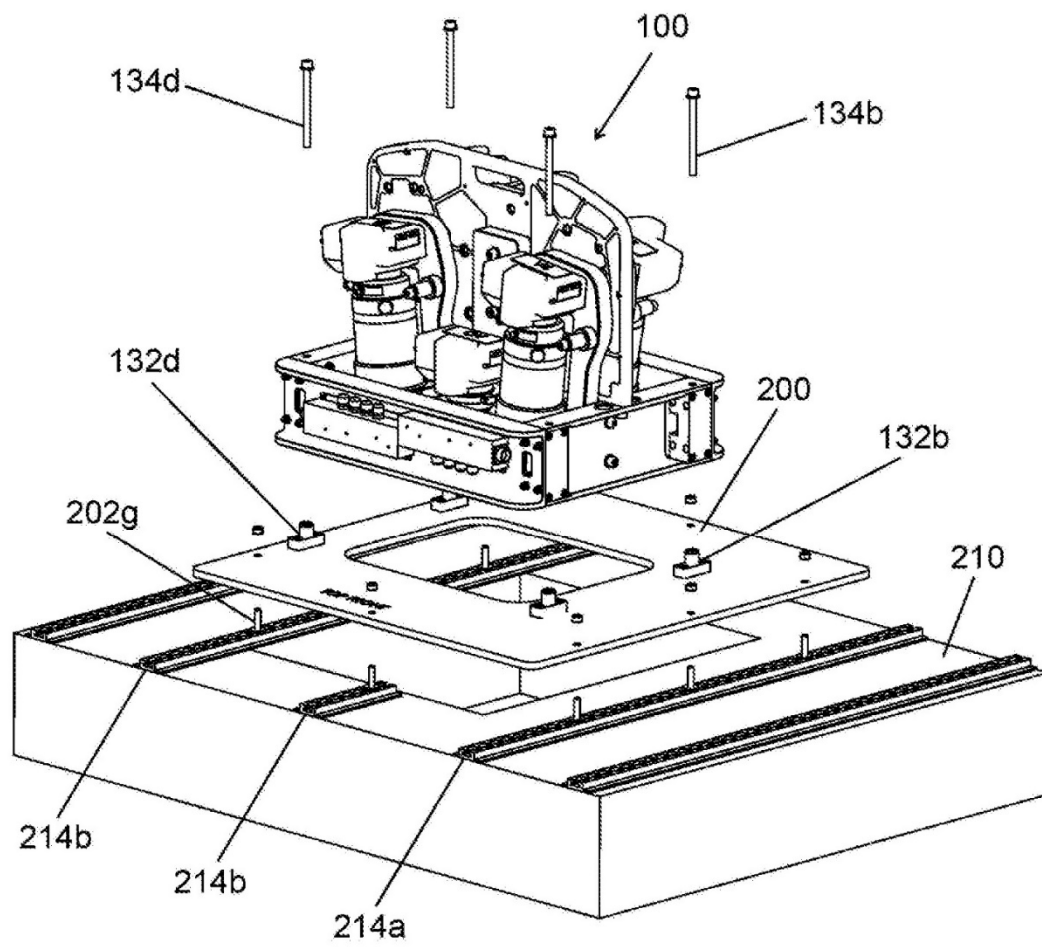


Fig. 10

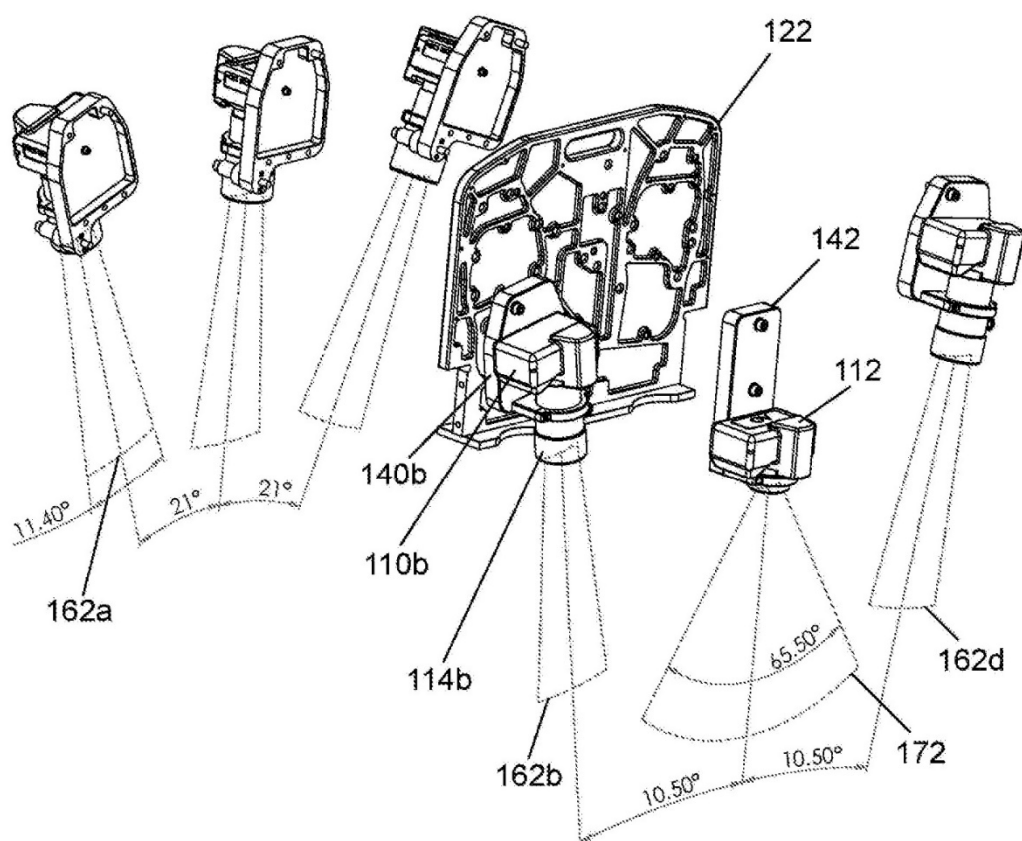


Fig. 11

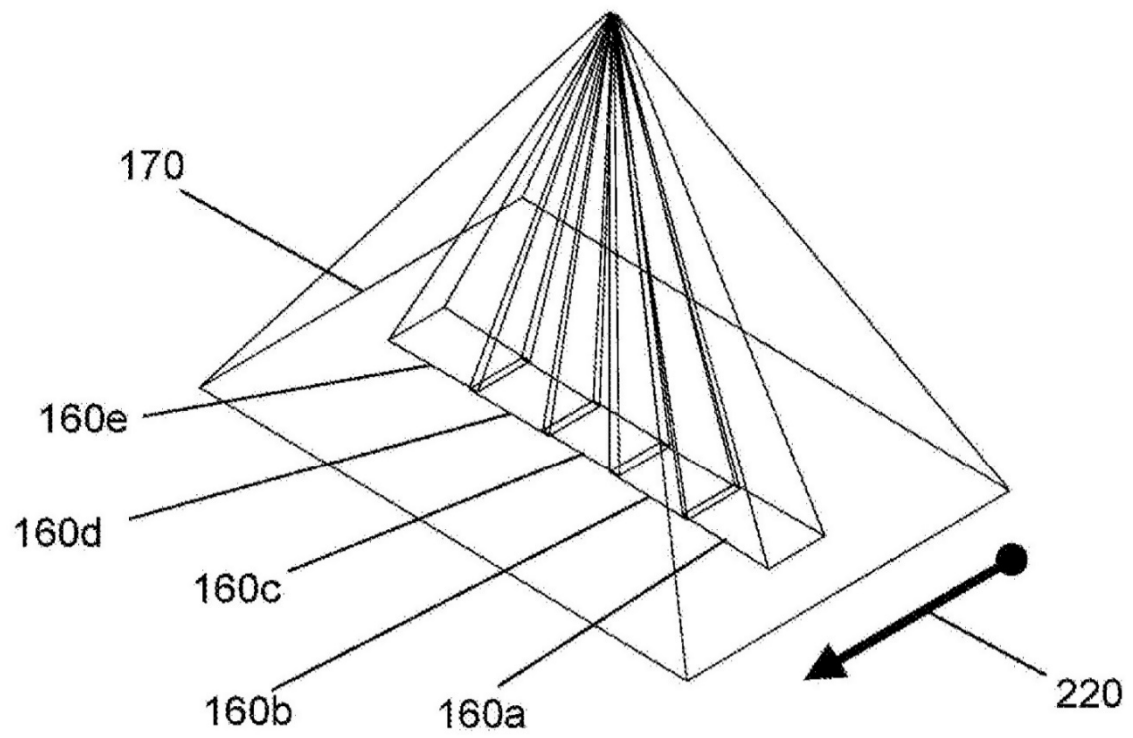


Fig. 12

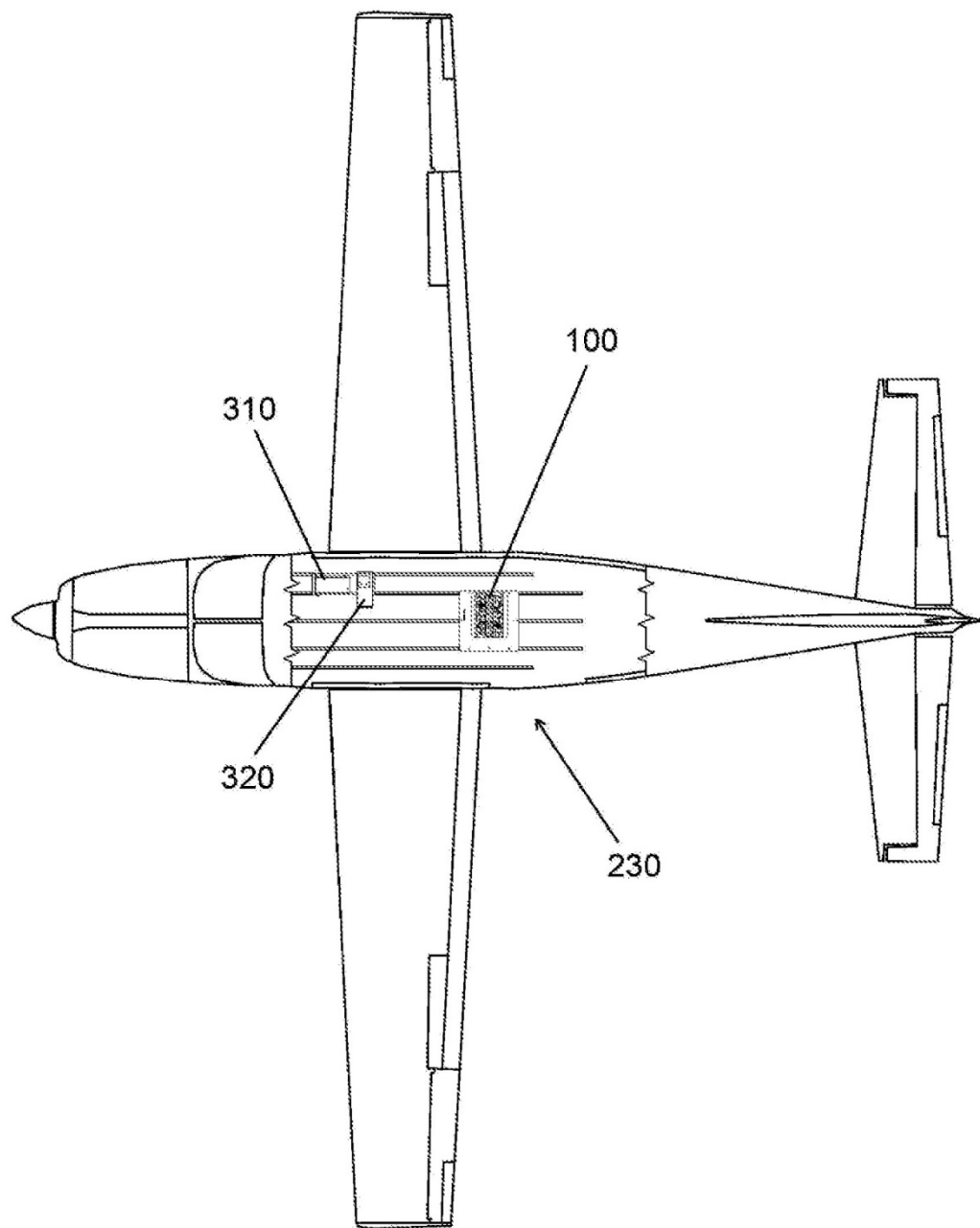


Fig. 13

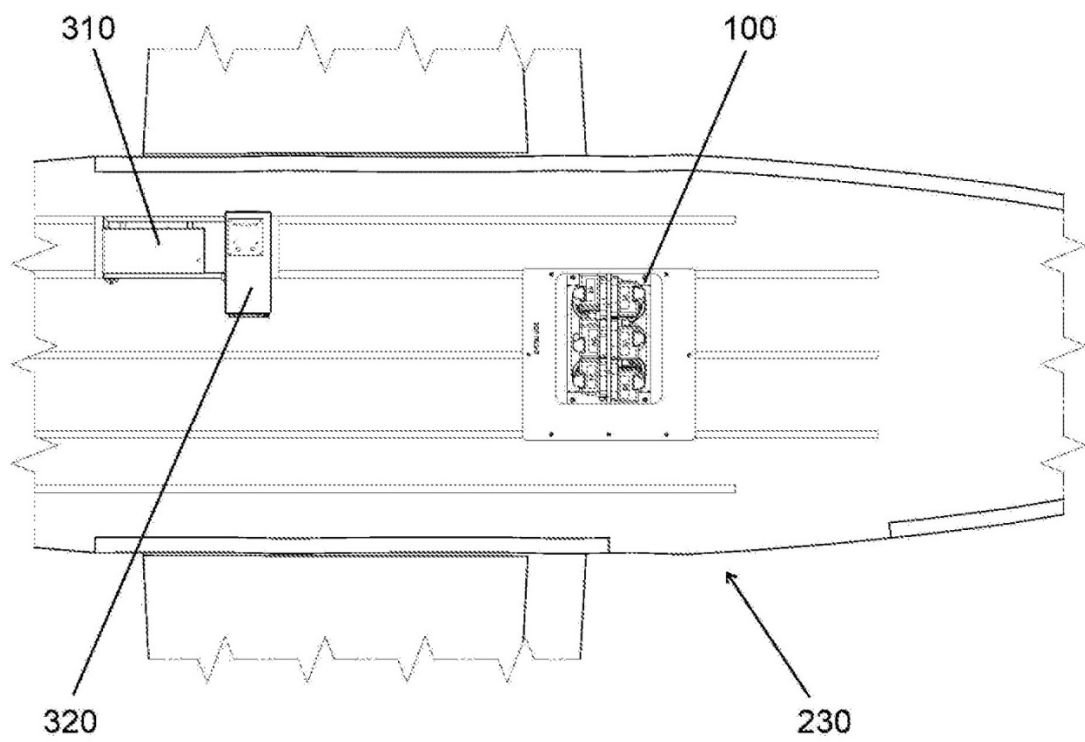


Fig. 14

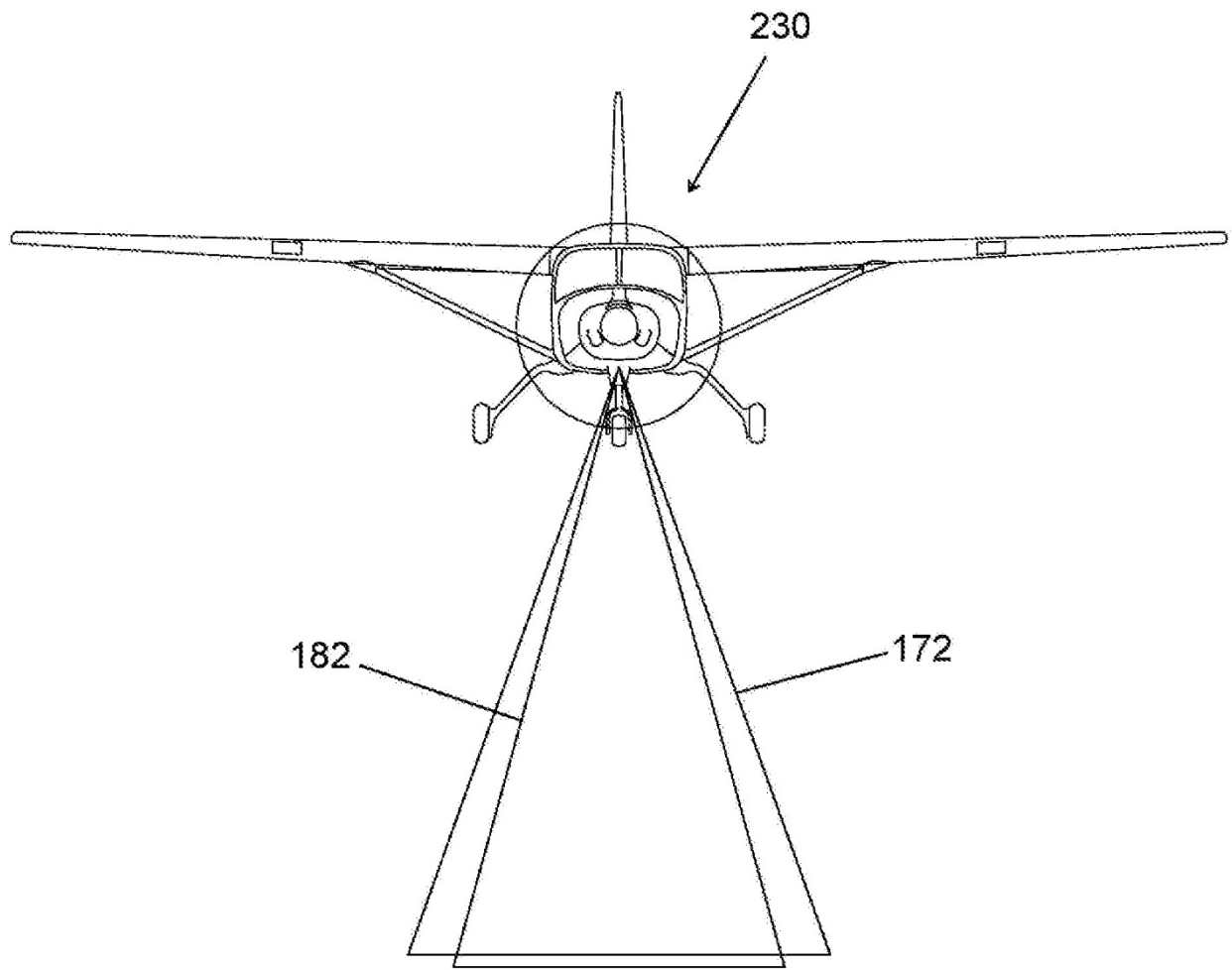


Fig. 15

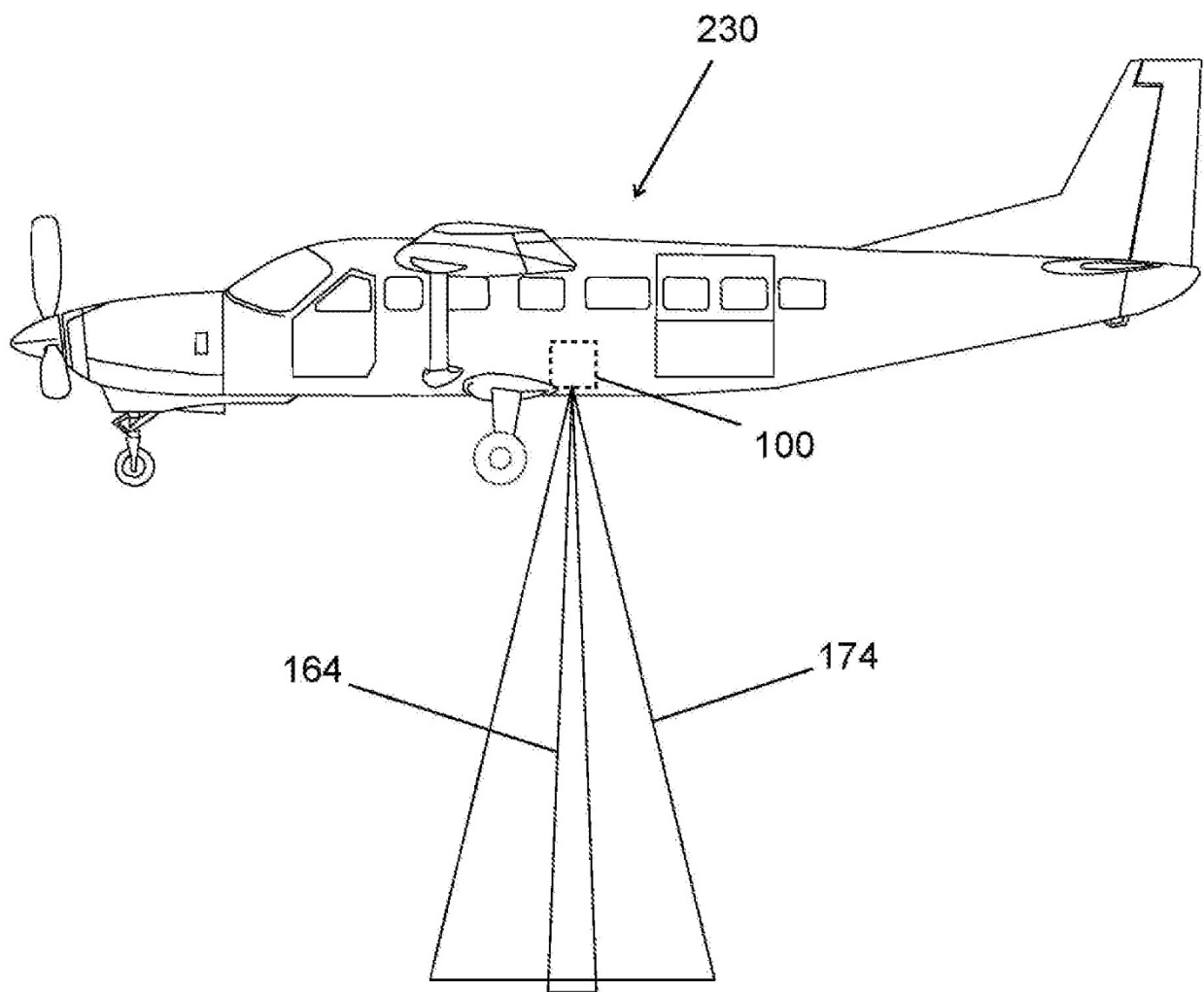


Fig. 16

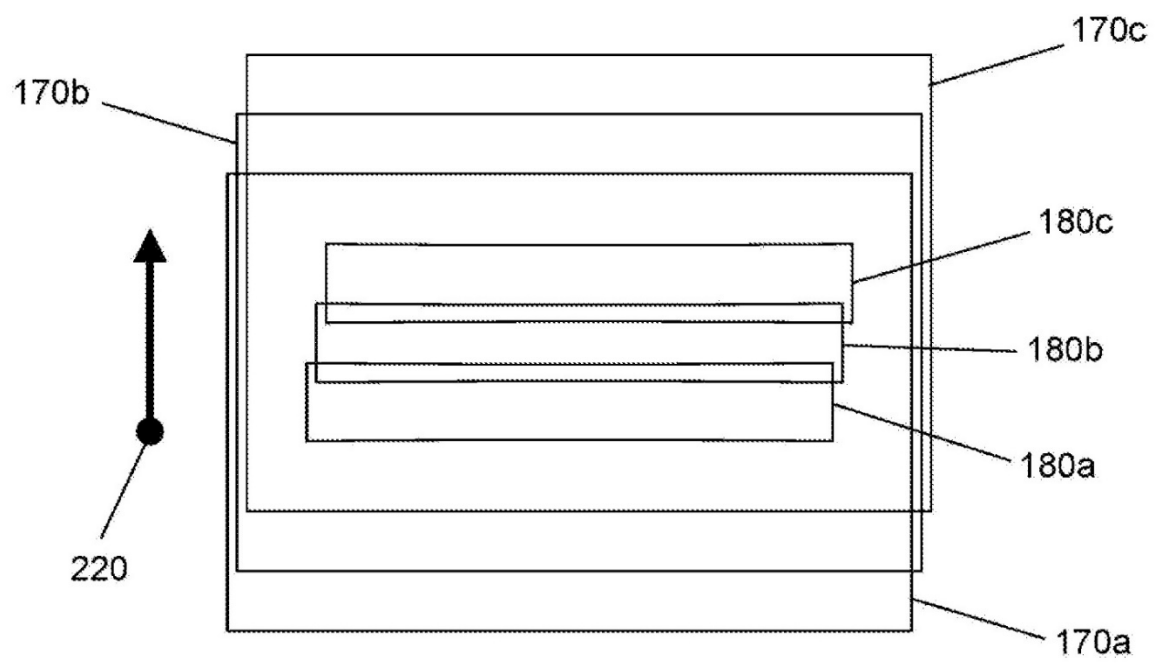


Fig. 17

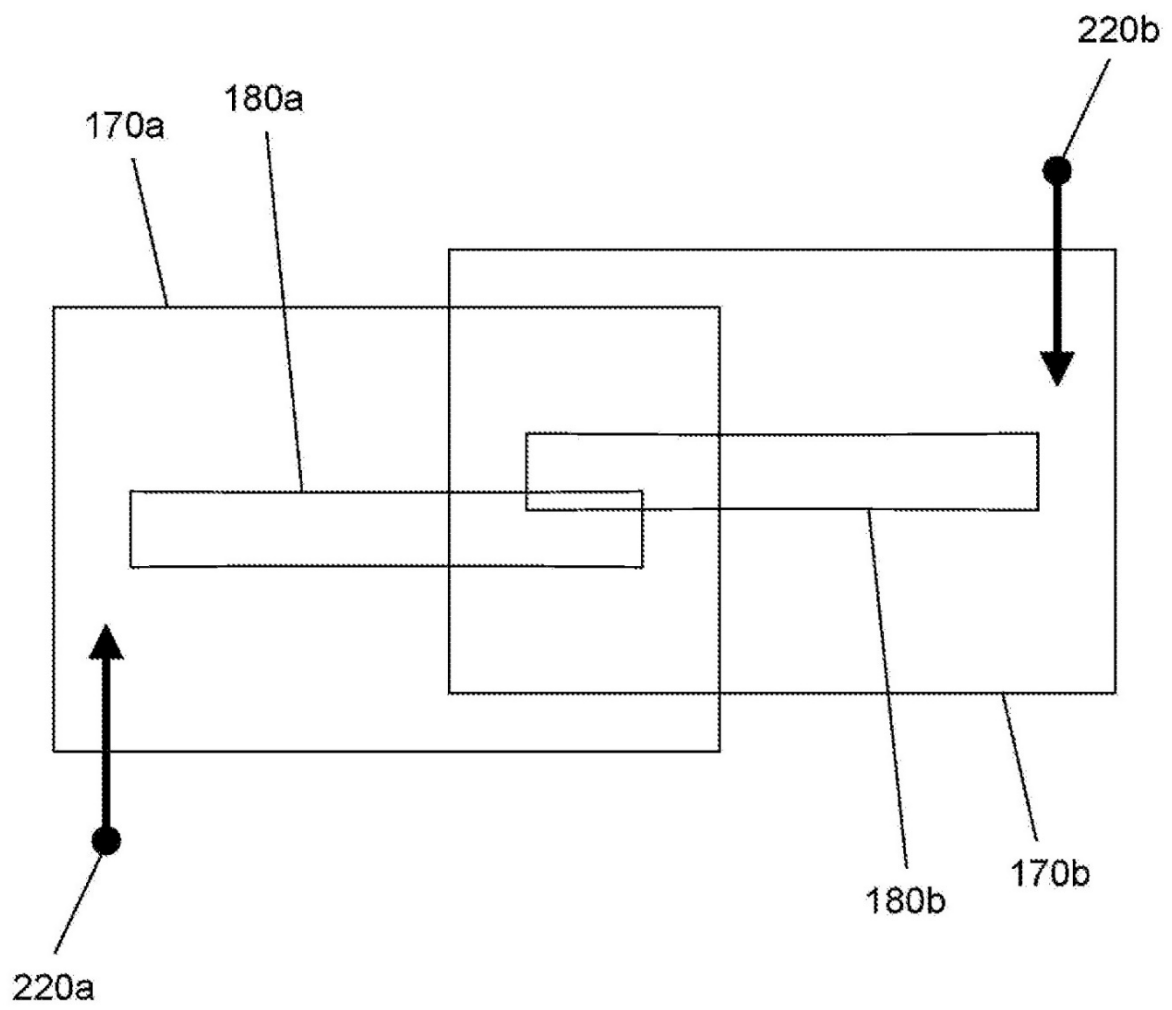


Fig. 18

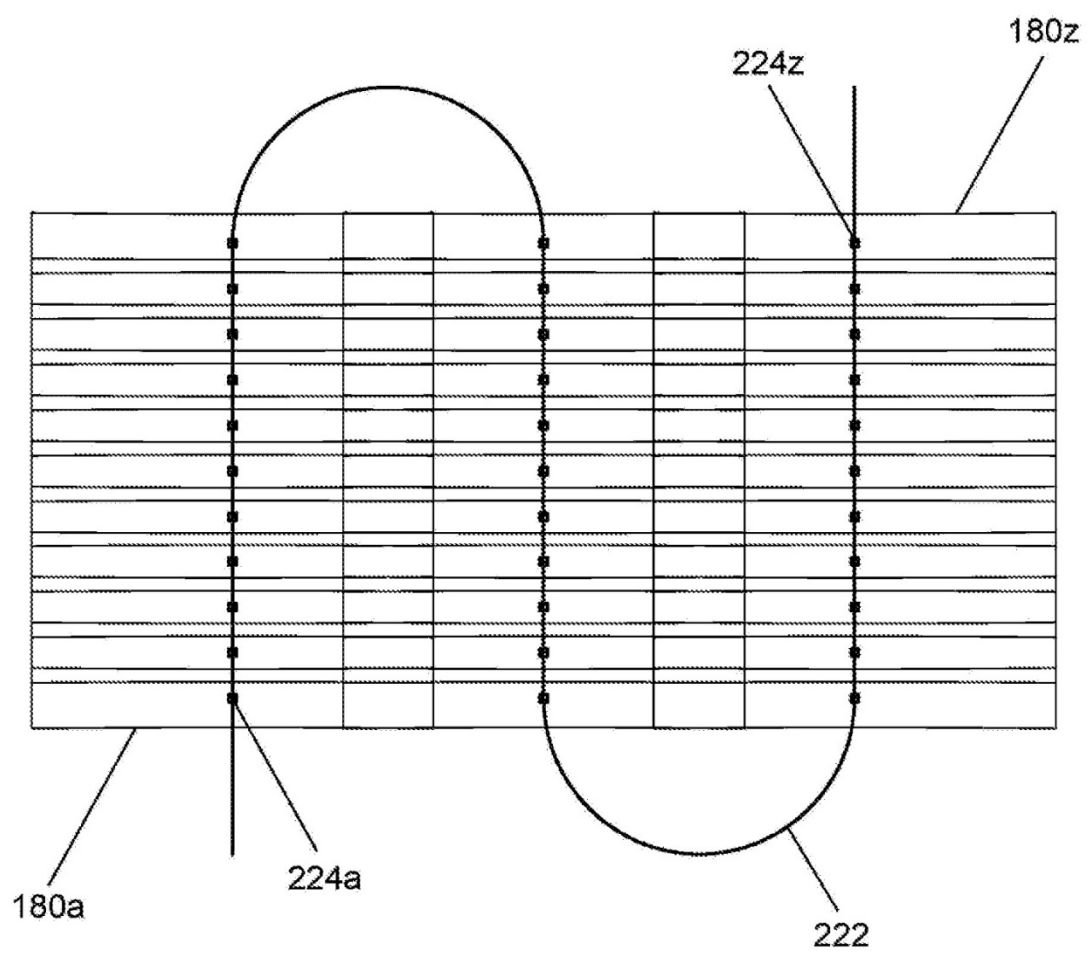


Fig. 19

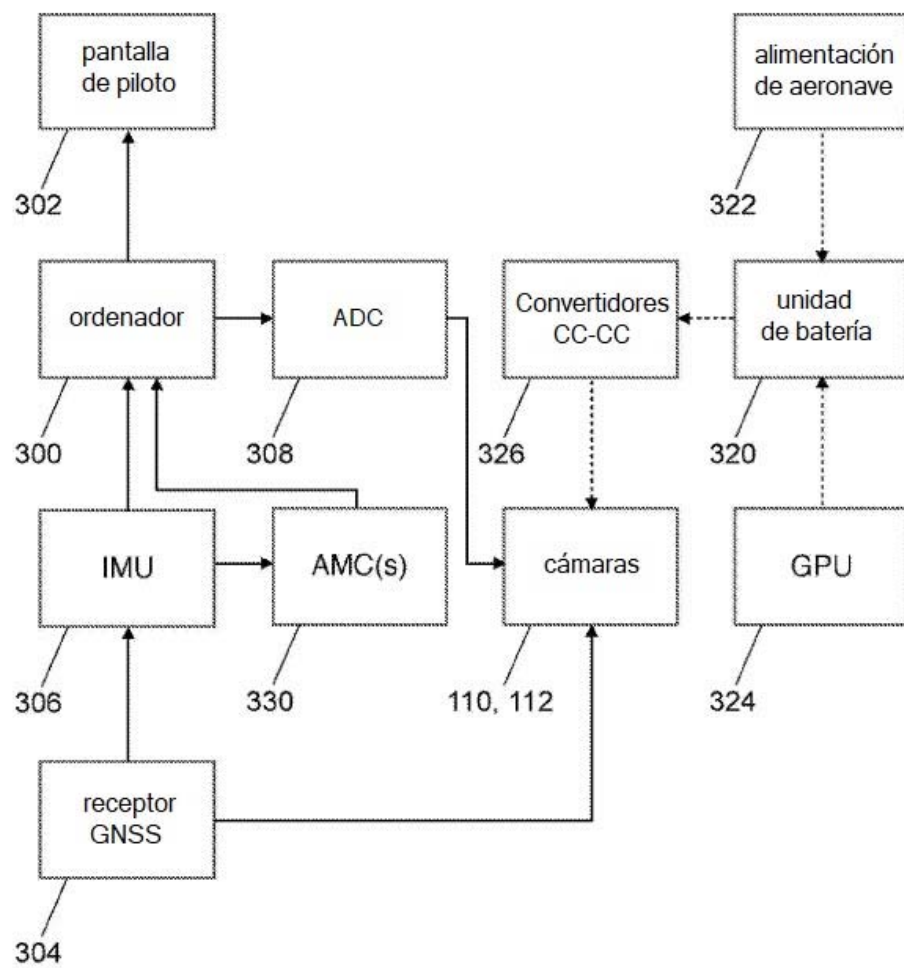


Fig. 20

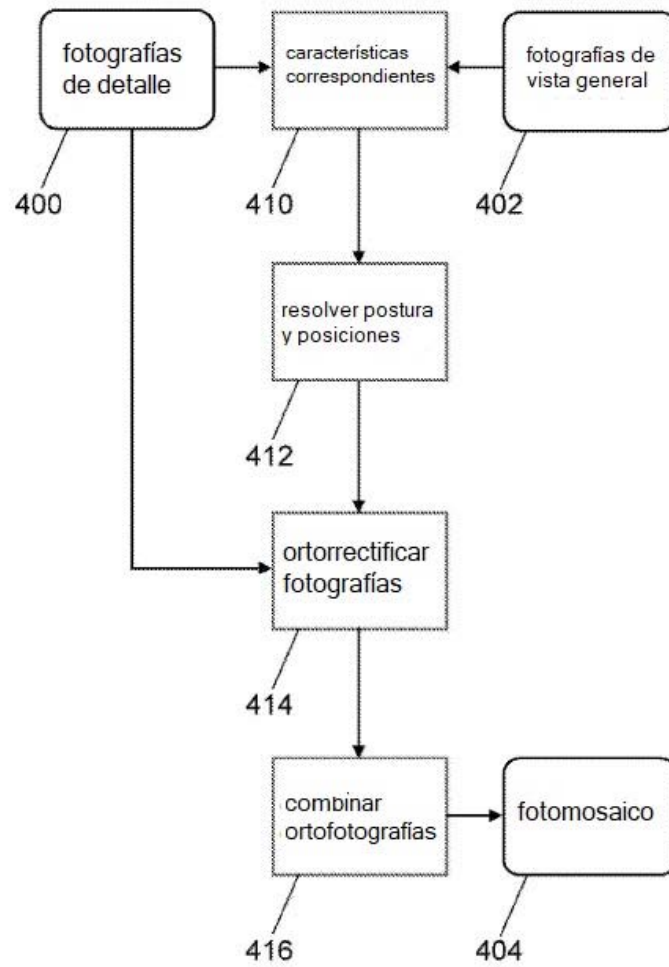


Fig. 21

altitud	distancia focal						30° de barrido	45° de barrido
	100mm	200mm	300mm	400mm	500mm	600mm		
2 000'	3.0cm	1.5cm	1.0cm	0.7cm	0.6cm	0.5cm	0.3km	0.5km
4 000'	6.0cm	3.0cm	2.0cm	1.5cm	1.2cm	1.0cm	0.7km	1.0km
6 000'	8.9cm	4.5cm	3.0cm	2.2cm	1.8cm	1.5cm	1.0km	1.5km
8 000'	11.9cm	6.0cm	4.0cm	3.0cm	2.4cm	2.0cm	1.3km	2.0km
10 000'	14.9cm	7.4cm	5.0cm	3.7cm	3.0cm	2.5cm	1.6km	2.5km
12 000'	17.9cm	8.9cm	6.0cm	4.5cm	3.6cm	3.0cm	2.0km	3.0km
14 000'	20.8cm	10.4cm	6.9cm	5.2cm	4.2cm	3.5cm	2.3km	3.5km
16 000'	23.8cm	11.9cm	7.9cm	6.0cm	4.8cm	4.0cm	2.6km	4.0km
18 000'	26.8cm	13.4cm	8.9cm	6.7cm	5.4cm	4.5cm	2.9km	4.5km
20 000'	29.8cm	14.9cm	9.9cm	7.4cm	6.0cm	5.0cm	3.3km	5.1km
22 000'	32.7cm	16.4cm	10.9cm	8.2cm	6.5cm	5.5cm	3.6km	5.6km
24 000'	35.7cm	17.9cm	11.9cm	8.9cm	7.1cm	6.0cm	3.9km	6.1km
26 000'	38.7cm	19.3cm	12.9cm	9.7cm	7.7cm	6.4cm	4.2km	6.6km
28 000'	41.7cm	20.8cm	13.9cm	10.4cm	8.3cm	6.9cm	4.6km	7.1km
30 000'	44.6cm	22.3cm	14.9cm	11.2cm	8.9cm	7.4cm	4.9km	7.6km
32 000'	47.6cm	23.8cm	15.9cm	11.9cm	9.5cm	7.9cm	5.2km	8.1km
34 000'	50.6cm	25.3cm	16.9cm	12.6cm	10.1cm	8.4cm	5.6km	8.6km
36 000'	53.6cm	26.8cm	17.9cm	13.4cm	10.7cm	8.9cm	5.9km	9.1km
38 000'	56.5cm	28.3cm	18.8cm	14.1cm	11.3cm	9.4cm	6.2km	9.6km
40 000'	59.5cm	29.8cm	19.8cm	14.9cm	11.9cm	9.9cm	6.5km	10.1km
42 000'	62.5cm	31.2cm	20.8cm	15.6cm	12.5cm	10.4cm	6.9km	10.6km
44 000'	65.5cm	32.7cm	21.8cm	16.4cm	13.1cm	10.9cm	7.2km	11.1km
46 000'	68.4cm	34.2cm	22.8cm	17.1cm	13.7cm	11.4cm	7.5km	11.6km
48 000'	71.4cm	35.7cm	23.8cm	17.9cm	14.3cm	11.9cm	7.8km	12.1km
50 000'	74.4cm	37.2cm	24.8cm	18.6cm	14.9cm	12.4cm	8.2km	12.6km
52 000'	77.4cm	38.7cm	25.8cm	19.3cm	15.5cm	12.9cm	8.5km	13.1km
54 000'	80.3cm	40.2cm	26.8cm	20.1cm	16.1cm	13.4cm	8.8km	13.6km
56 000'	83.3cm	41.7cm	27.8cm	20.8cm	16.7cm	13.9cm	9.1km	14.1km
58 000'	86.3cm	43.1cm	28.8cm	21.6cm	17.3cm	14.4cm	9.5km	14.6km
60 000'	89.3cm	44.6cm	29.8cm	22.3cm	17.9cm	14.9cm	9.8km	15.2km

13.7°	6.9°	4.6°	3.4°	2.7°	2.3°	FOV longitudinal FOV lateral superposición lateral espaciado lateral
20.4°	10.3°	6.9°	5.1°	4.1°	3.4°	
0.9°	0.9°	0.9°	0.6°	0.5°	0.4°	
19.5°	9.4°	6.0°	4.5°	3.6°	3.0°	
2	4	5	7	9	10	recuento de cámaras a 30°
39.8°	38.3°	30.8°	32.1°	32.9°	30.4°	FOV real
3	5	8	10	13	15	45° camera count
59.3°	47.7°	48.8°	45.6°	47.3°	45.4°	FOV real

Fig. 22

altitud	distancia focal						30° de barido 45° de barido	
	700mm	800mm	900mm	1000mm	1100mm	1200mm		
2 000'	0.4cm	0.4cm	0.3cm	0.3cm	0.3cm	0.2cm	0.3km	0.5km
4 000'	0.9cm	0.7cm	0.7cm	0.6cm	0.5cm	0.5cm	0.7km	1.0km
6 000'	1.3cm	1.1cm	1.0cm	0.9cm	0.8cm	0.7cm	1.0km	1.5km
8 000'	1.7cm	1.5cm	1.3cm	1.2cm	1.1cm	1.0cm	1.3km	2.0km
10 000'	2.1cm	1.9cm	1.7cm	1.5cm	1.4cm	1.2cm	1.6km	2.5km
12 000'	2.6cm	2.2cm	2.0cm	1.8cm	1.6cm	1.5cm	2.0km	3.0km
14 000'	3.0cm	2.6cm	2.3cm	2.1cm	1.9cm	1.7cm	2.3km	3.5km
16 000'	3.4cm	3.0cm	2.6cm	2.4cm	2.2cm	2.0cm	2.6km	4.0km
18 000'	3.8cm	3.3cm	3.0cm	2.7cm	2.4cm	2.2cm	2.9km	4.5km
20 000'	4.3cm	3.7cm	3.3cm	3.0cm	2.7cm	2.5cm	3.3km	5.1km
22 000'	4.7cm	4.1cm	3.6cm	3.3cm	3.0cm	2.7cm	3.6km	5.6km
24 000'	5.1cm	4.5cm	4.0cm	3.6cm	3.2cm	3.0cm	3.9km	6.1km
26 000'	5.5cm	4.8cm	4.3cm	3.9cm	3.5cm	3.2cm	4.2km	6.6km
28 000'	6.0cm	5.2cm	4.6cm	4.2cm	3.8cm	3.5cm	4.6km	7.1km
30 000'	6.4cm	5.6cm	5.0cm	4.5cm	4.1cm	3.7cm	4.9km	7.6km
32 000'	6.8cm	6.0cm	5.3cm	4.8cm	4.3cm	4.0cm	5.2km	8.1km
34 000'	7.2cm	6.3cm	5.6cm	5.1cm	4.6cm	4.2cm	5.6km	8.6km
36 000'	7.7cm	6.7cm	6.0cm	5.4cm	4.9cm	4.5cm	5.9km	9.1km
38 000'	8.1cm	7.1cm	6.3cm	5.7cm	5.1cm	4.7cm	6.2km	9.6km
40 000'	8.5cm	7.4cm	6.6cm	6.0cm	5.4cm	5.0cm	6.5km	10.1km
42 000'	8.9cm	7.8cm	6.9cm	6.2cm	5.7cm	5.2cm	6.9km	10.6km
44 000'	9.4cm	8.2cm	7.3cm	6.5cm	6.0cm	5.5cm	7.2km	11.1km
46 000'	9.8cm	8.6cm	7.6cm	6.8cm	6.2cm	5.7cm	7.5km	11.6km
48 000'	10.2cm	8.9cm	7.9cm	7.1cm	6.5cm	6.0cm	7.8km	12.1km
50 000'	10.6cm	9.3cm	8.3cm	7.4cm	6.8cm	6.2cm	8.2km	12.6km
52 000'	11.1cm	9.7cm	8.6cm	7.7cm	7.0cm	6.4cm	8.5km	13.1km
54 000'	11.5cm	10.0cm	8.9cm	8.0cm	7.3cm	6.7cm	8.8km	13.6km
56 000'	11.9cm	10.4cm	9.3cm	8.3cm	7.6cm	6.9cm	9.1km	14.1km
58 000'	12.3cm	10.8cm	9.6cm	8.6cm	7.8cm	7.2cm	9.5km	14.6km
60 000'	12.8cm	11.2cm	9.9cm	8.9cm	8.1cm	7.4cm	9.8km	15.2km
							2.0°	1.7°
							2.9°	2.6°
							0.4°	0.3°
							2.6°	2.3°
							1.5°	1.4°
							2.3°	2.1°
							1.9°	1.7°
							0.3°	0.3°
							1.6°	1.4°
							FOV longitudinal	
							FOV lateral	
							superposición lateral	
							espaciado lateral	
							12	14
							15	17
							19	21
							31.2°	31.8°
							30.1°	30.2°
							30.1°	30.0°
							FOV real	
							18	20
							23	26
							29	32
							46.7°	45.3°
							46.0°	45.8°
							45.6°	
							FOV real	

Fig. 23

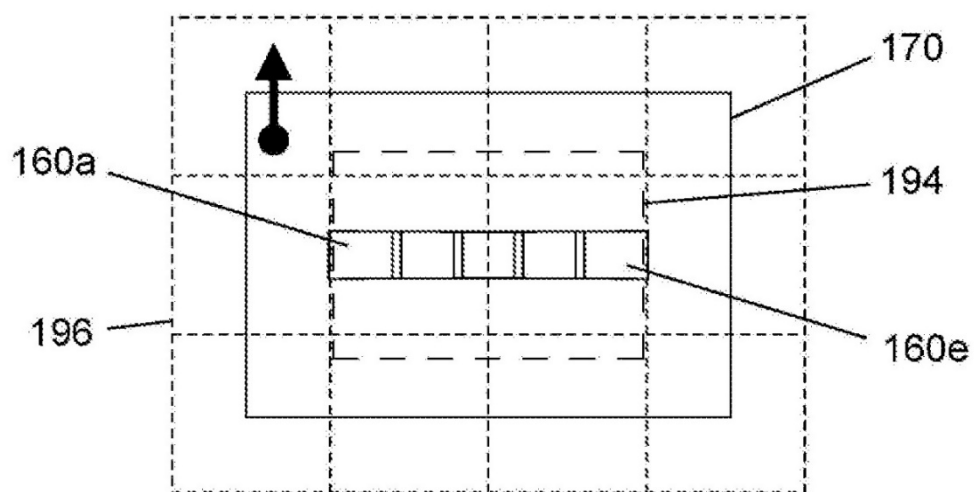


Fig. 24A

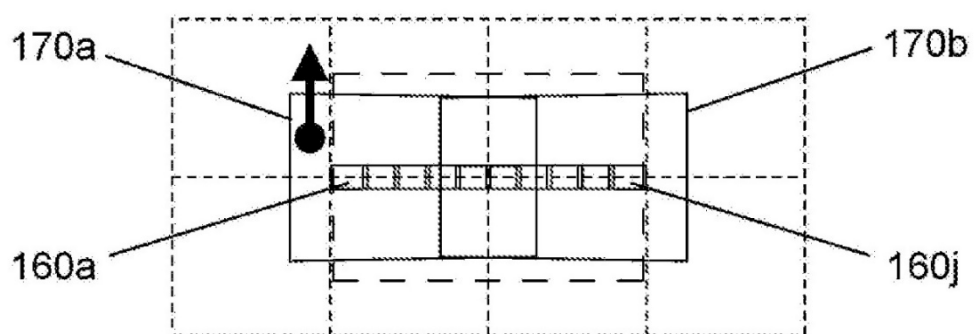


Fig. 24B

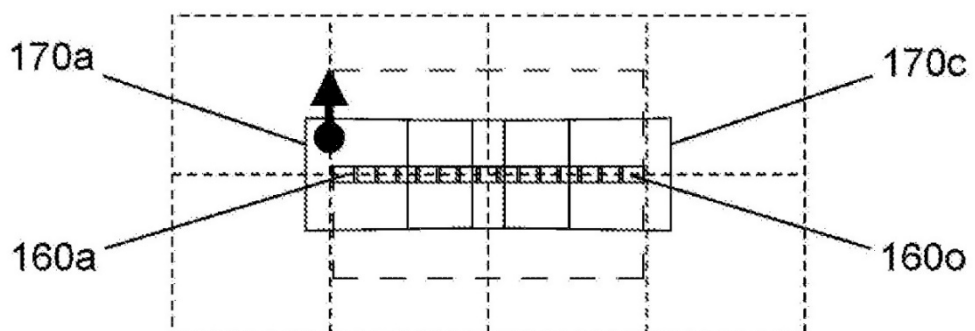


Fig. 24C

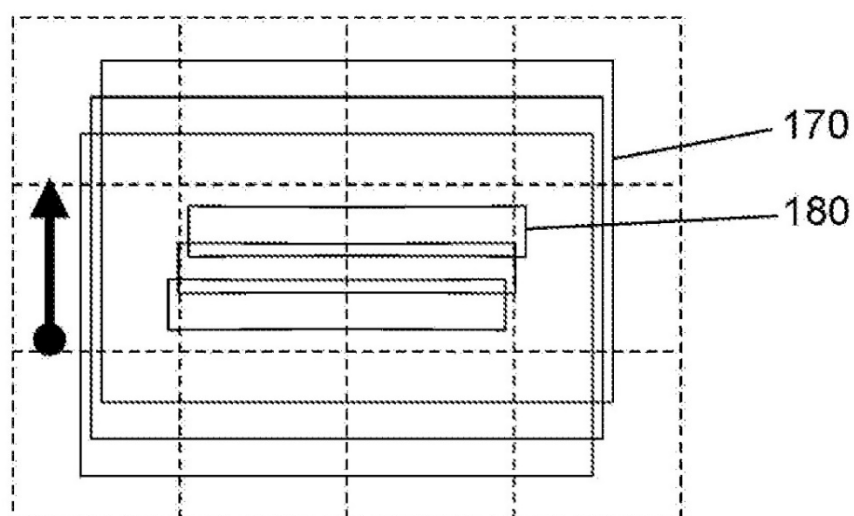


Fig. 25A

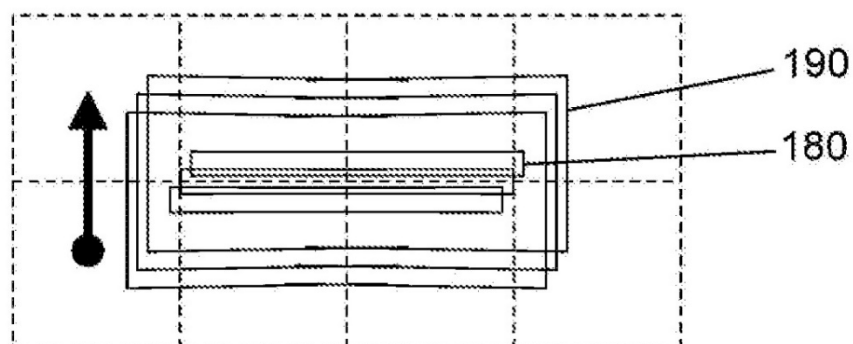


Fig. 25B

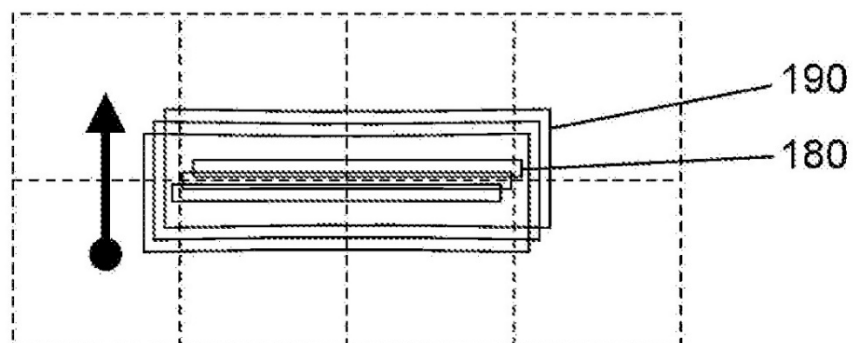


Fig. 25C

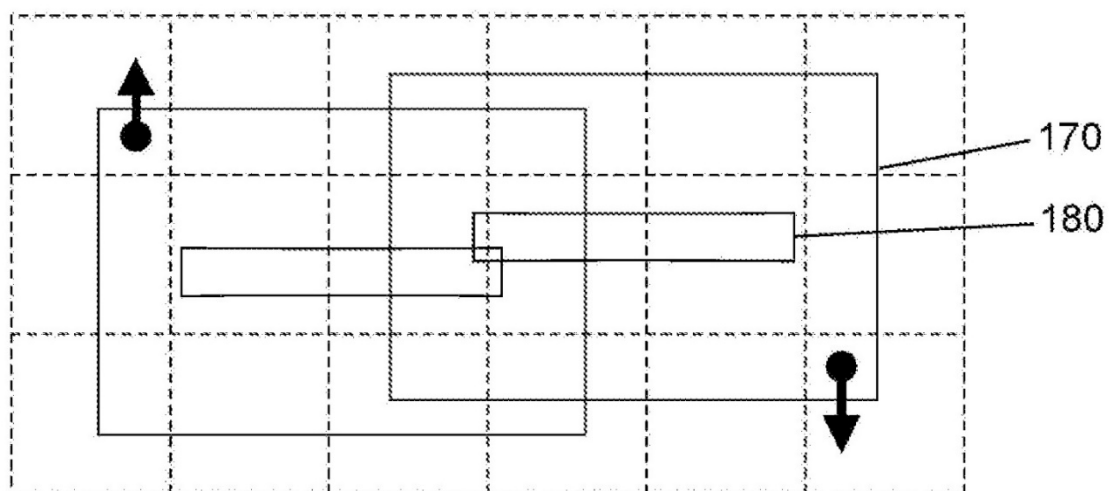


Fig. 26A

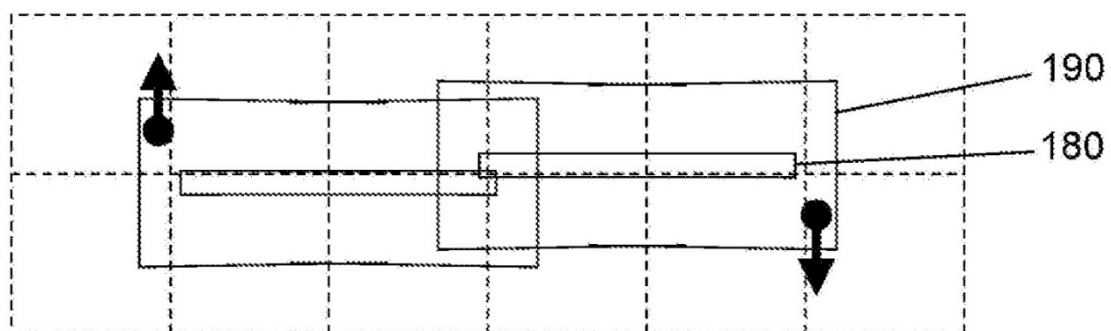


Fig. 26B

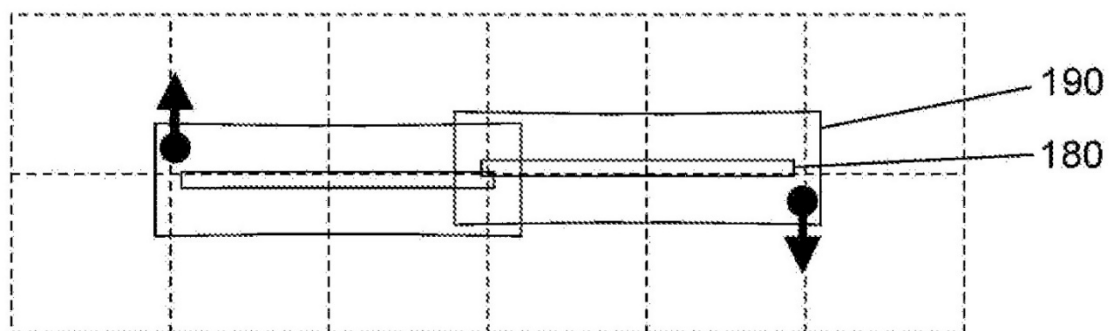


Fig. 26C

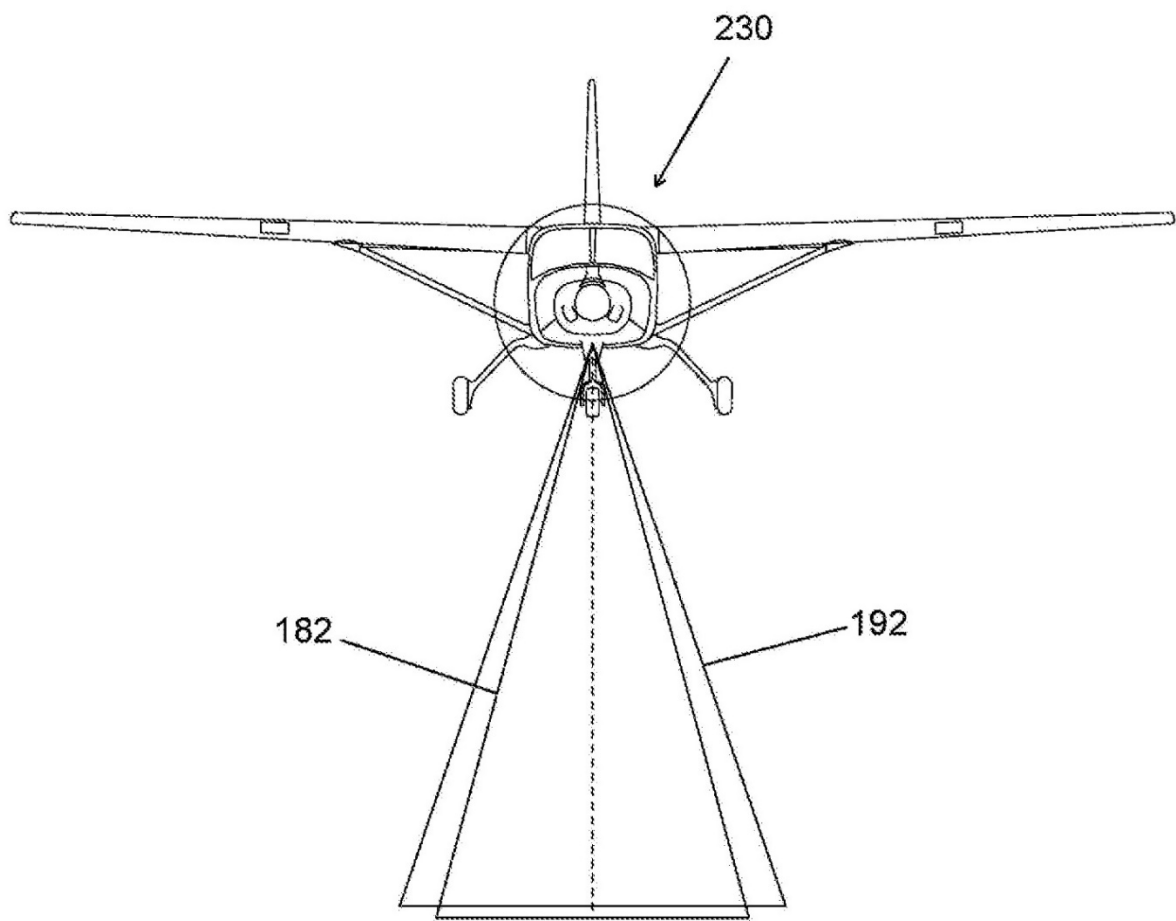


Fig. 27

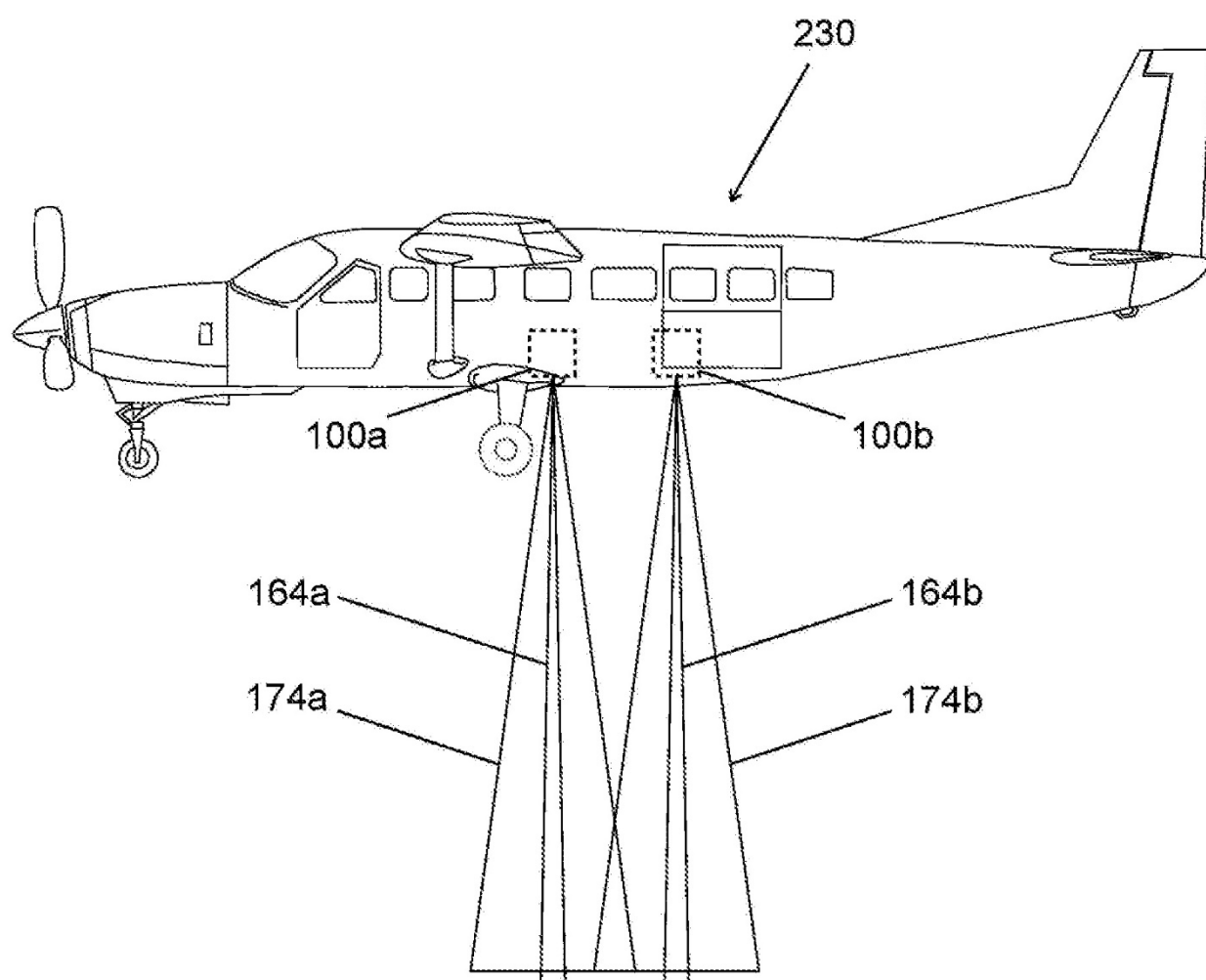


Fig. 28

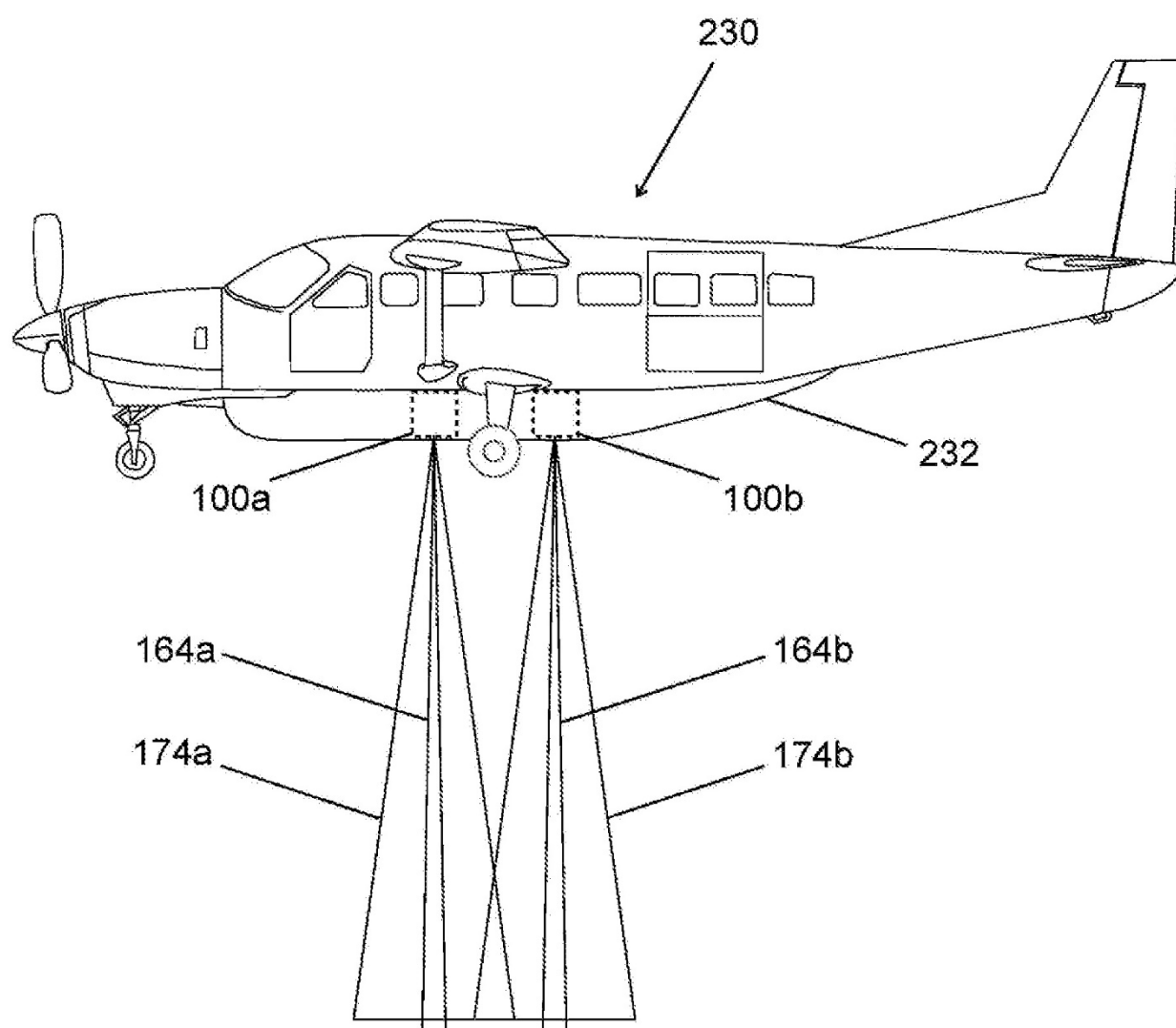


Fig. 29

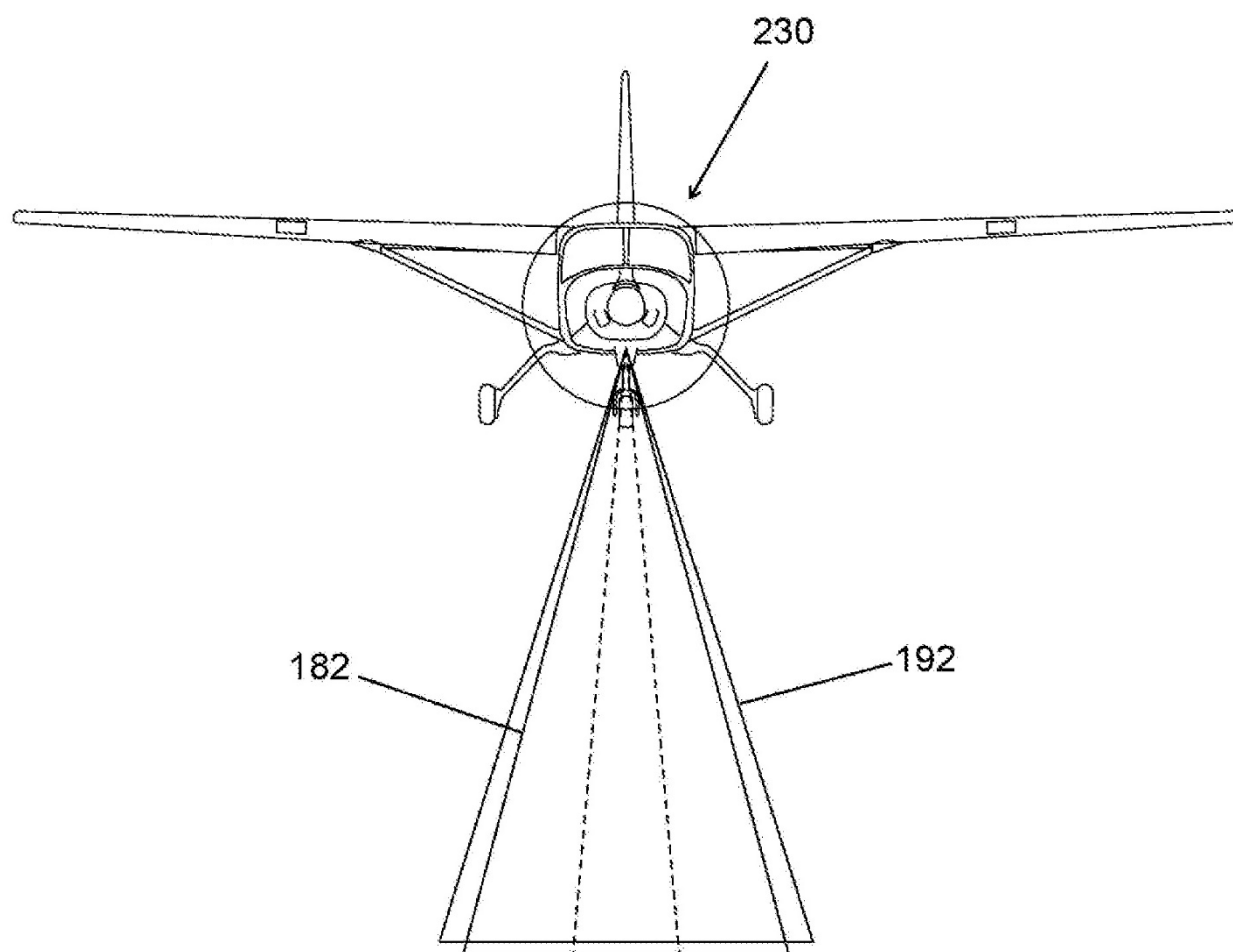


Fig. 30

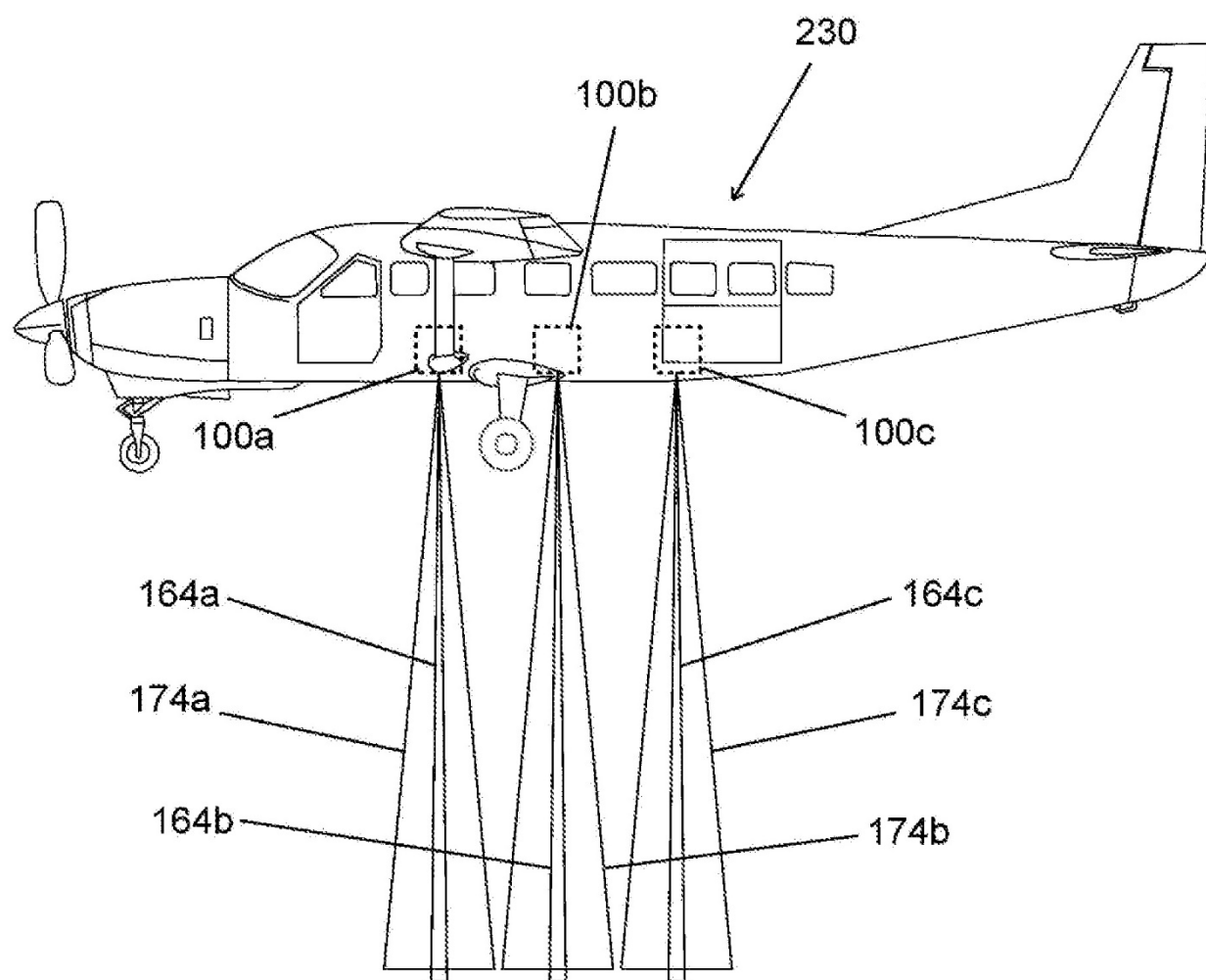


Fig. 31

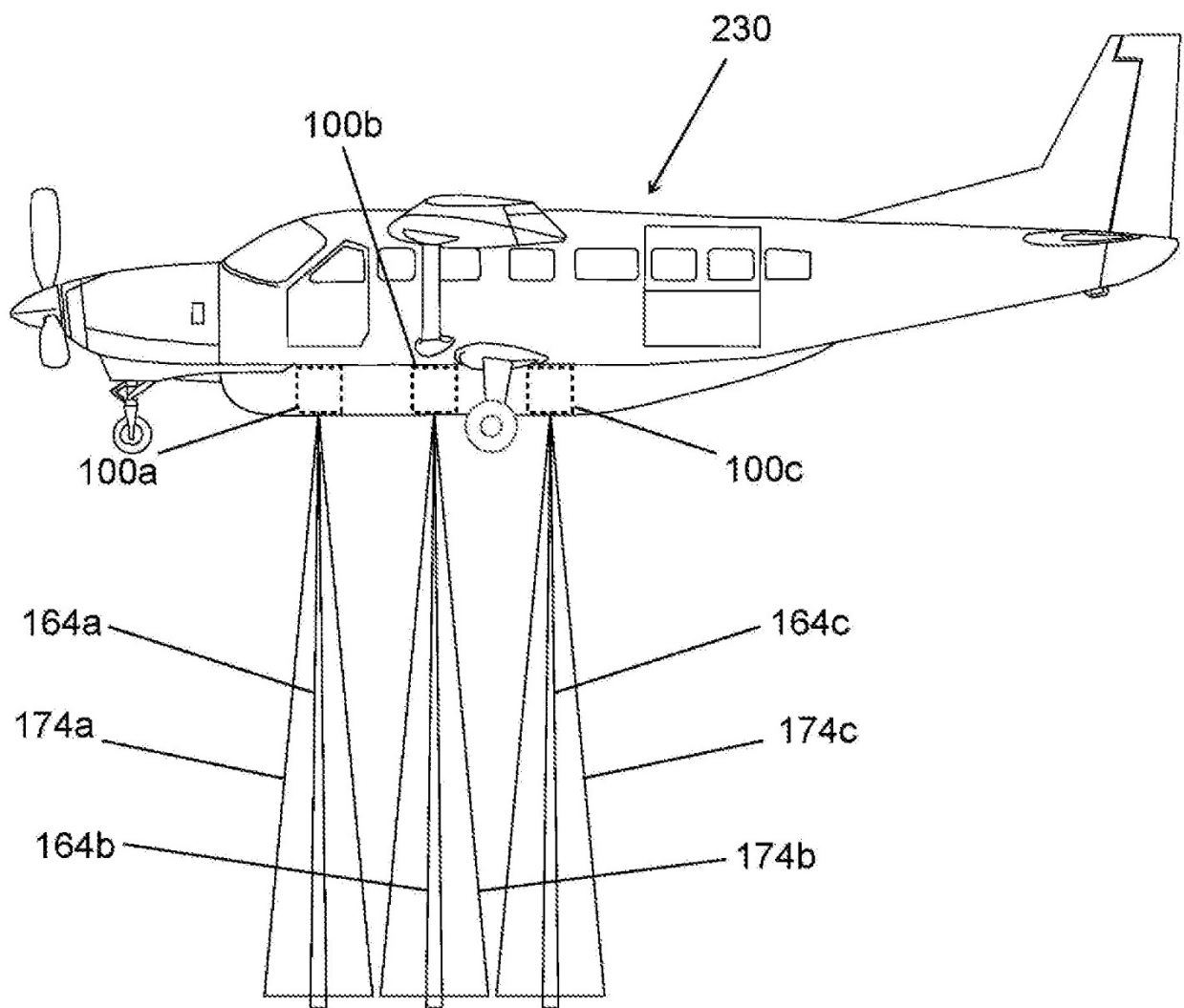


Fig. 32

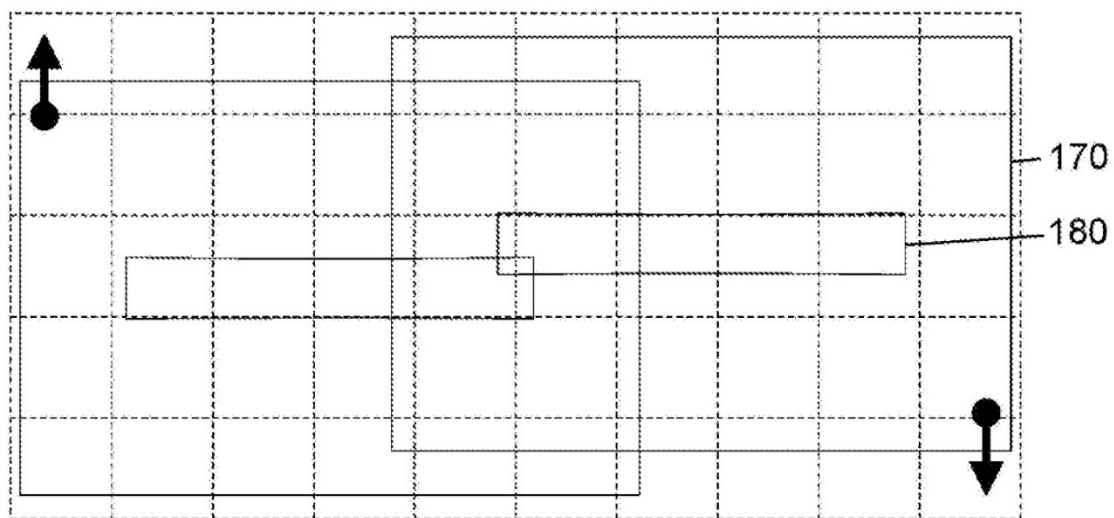


Fig. 33A

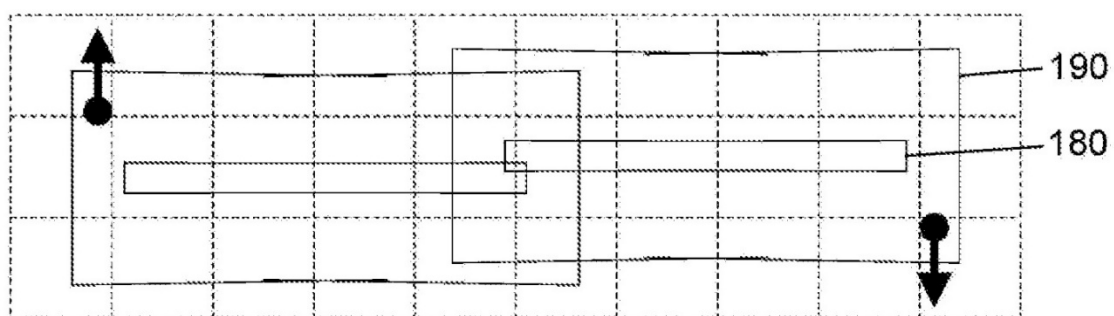


Fig. 33B

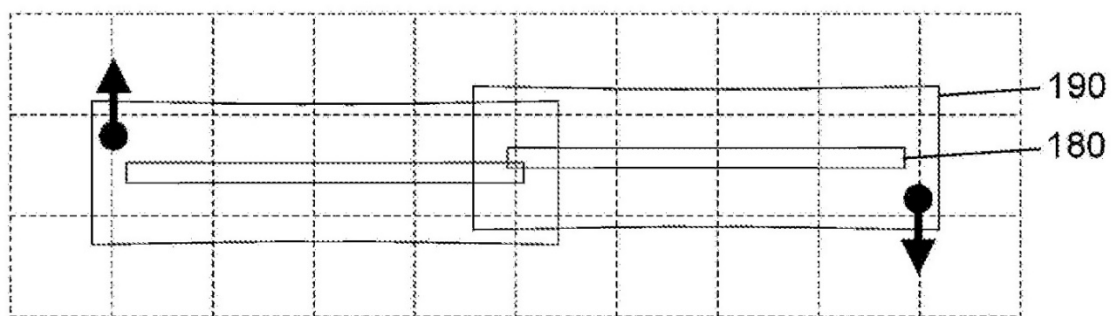


Fig. 33C

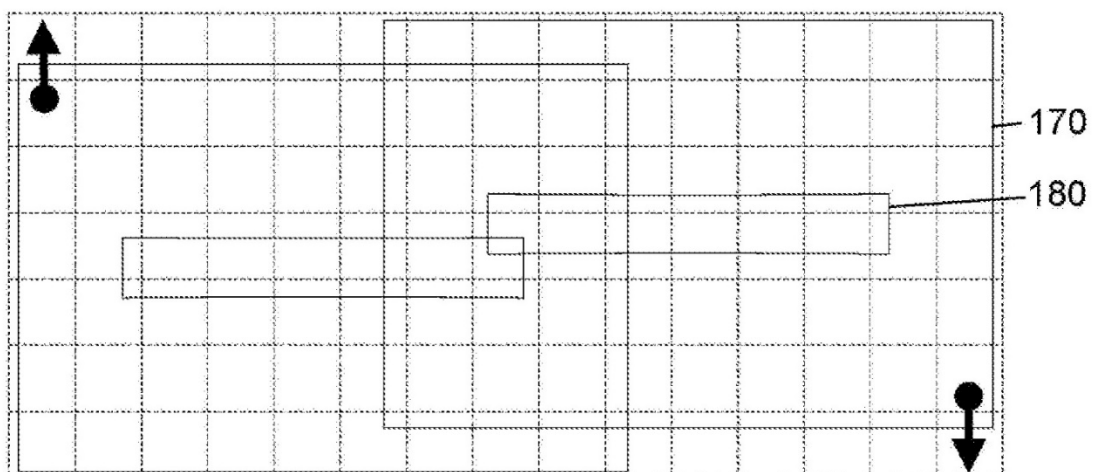


Fig. 34A

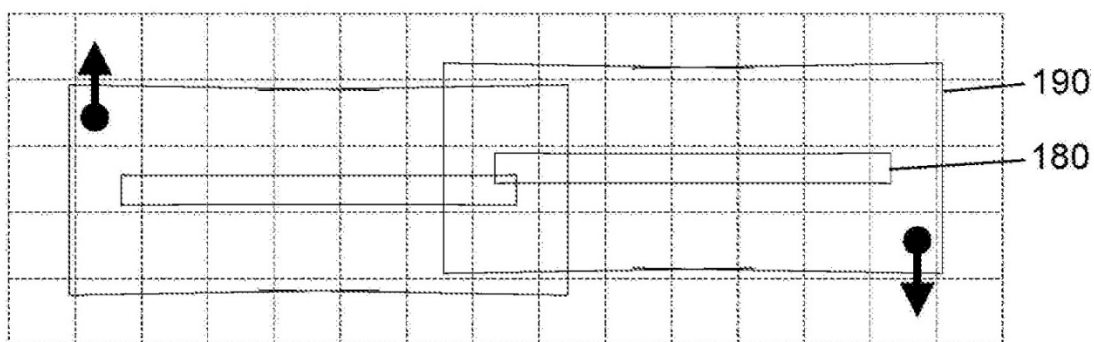


Fig. 34B

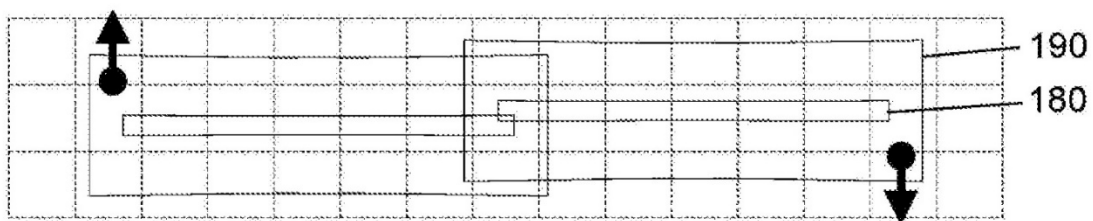


Fig. 34C

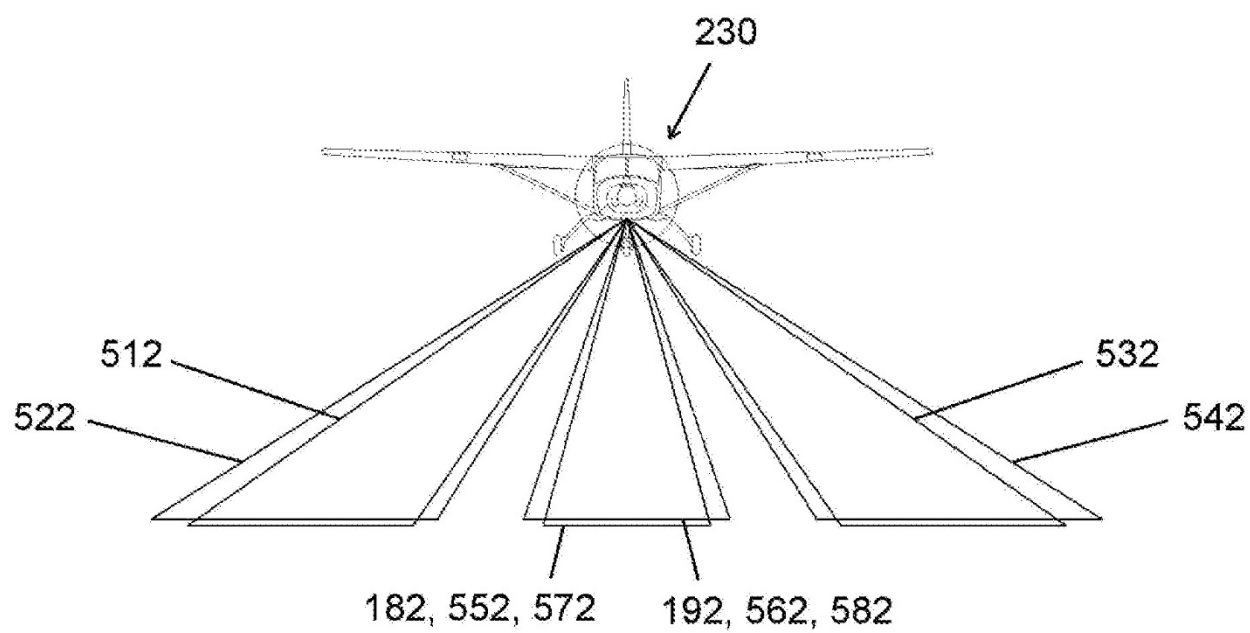


Fig. 35A

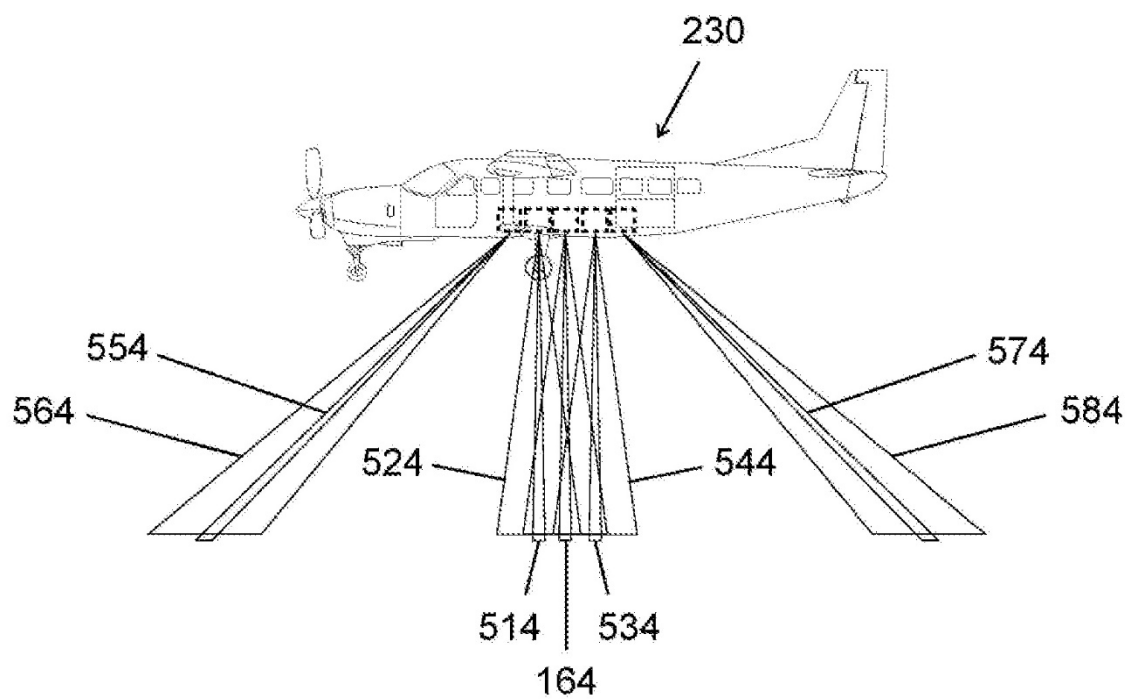


Fig. 35B

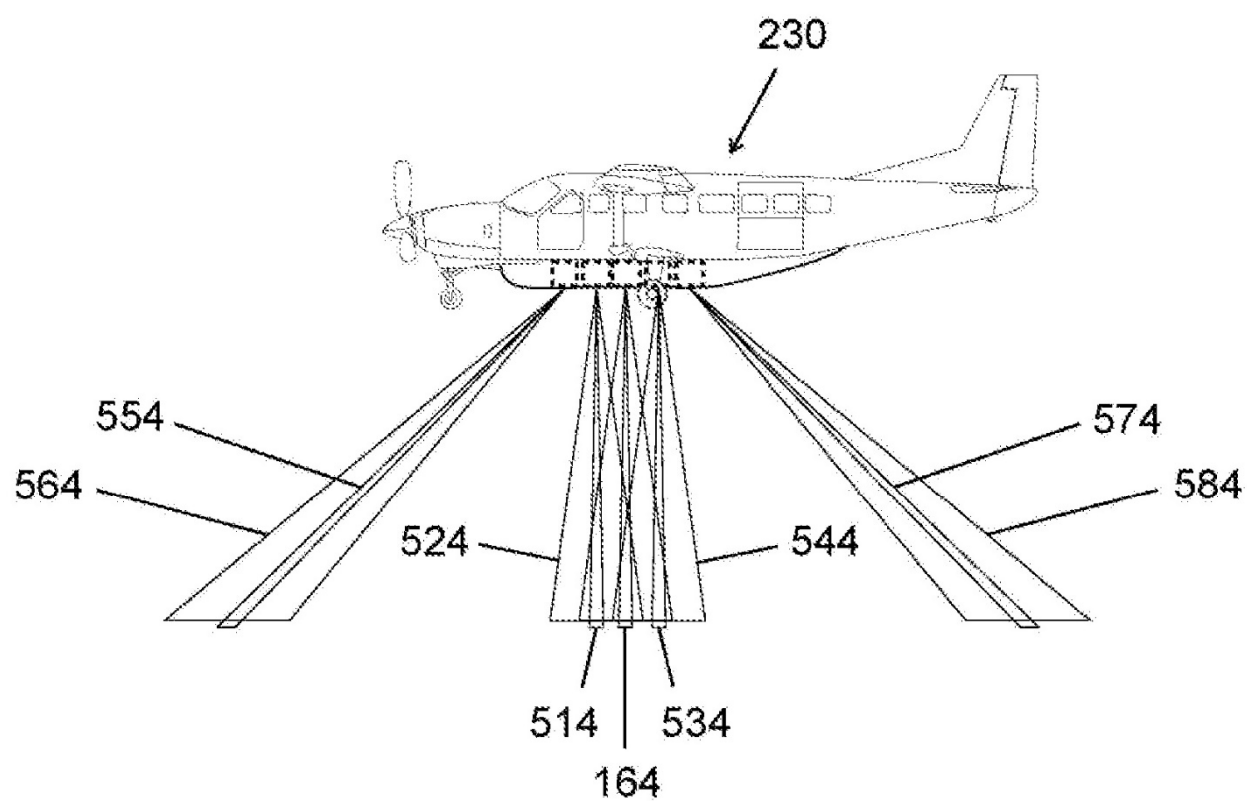


Fig. 36

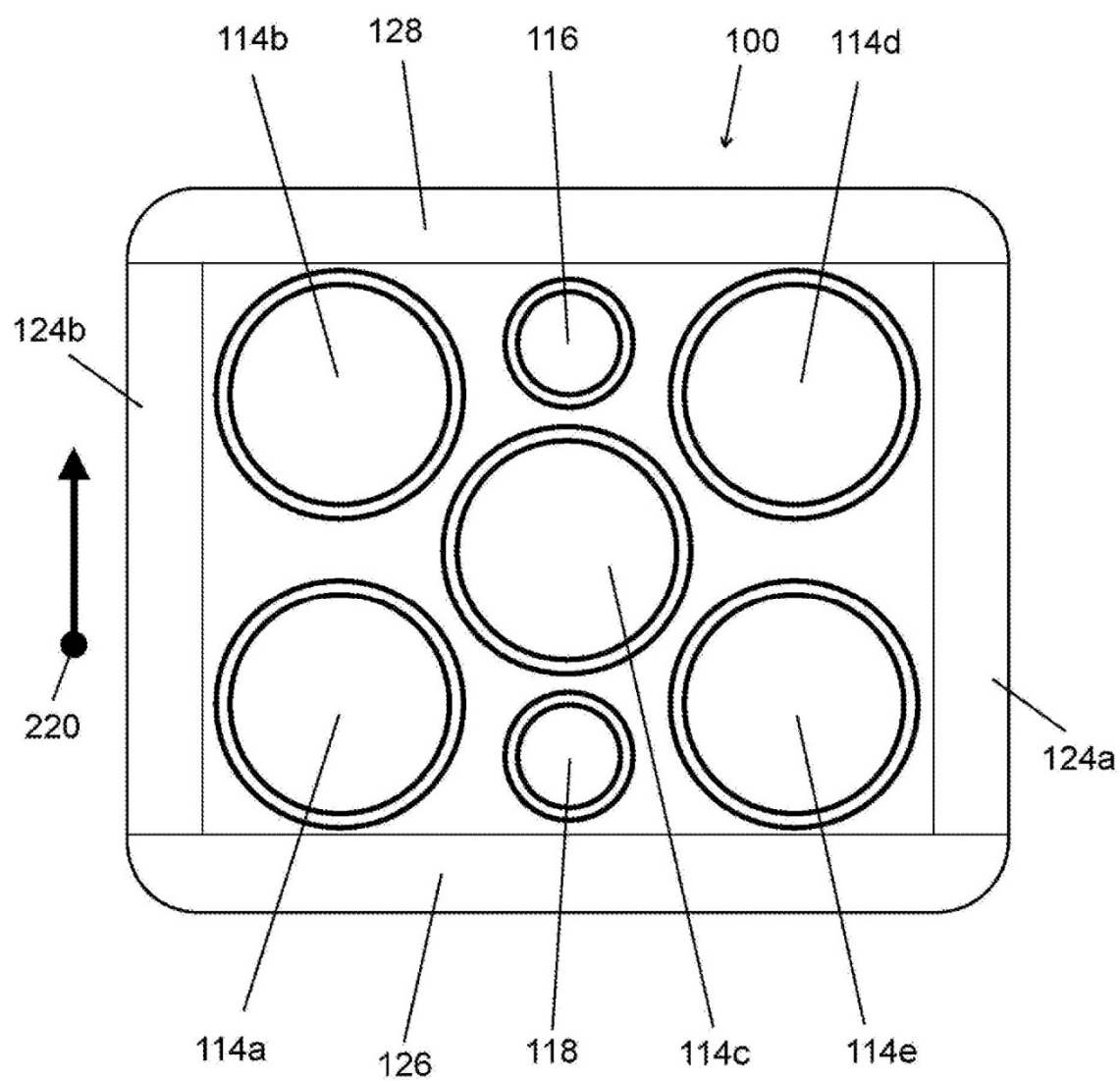


Fig. 37

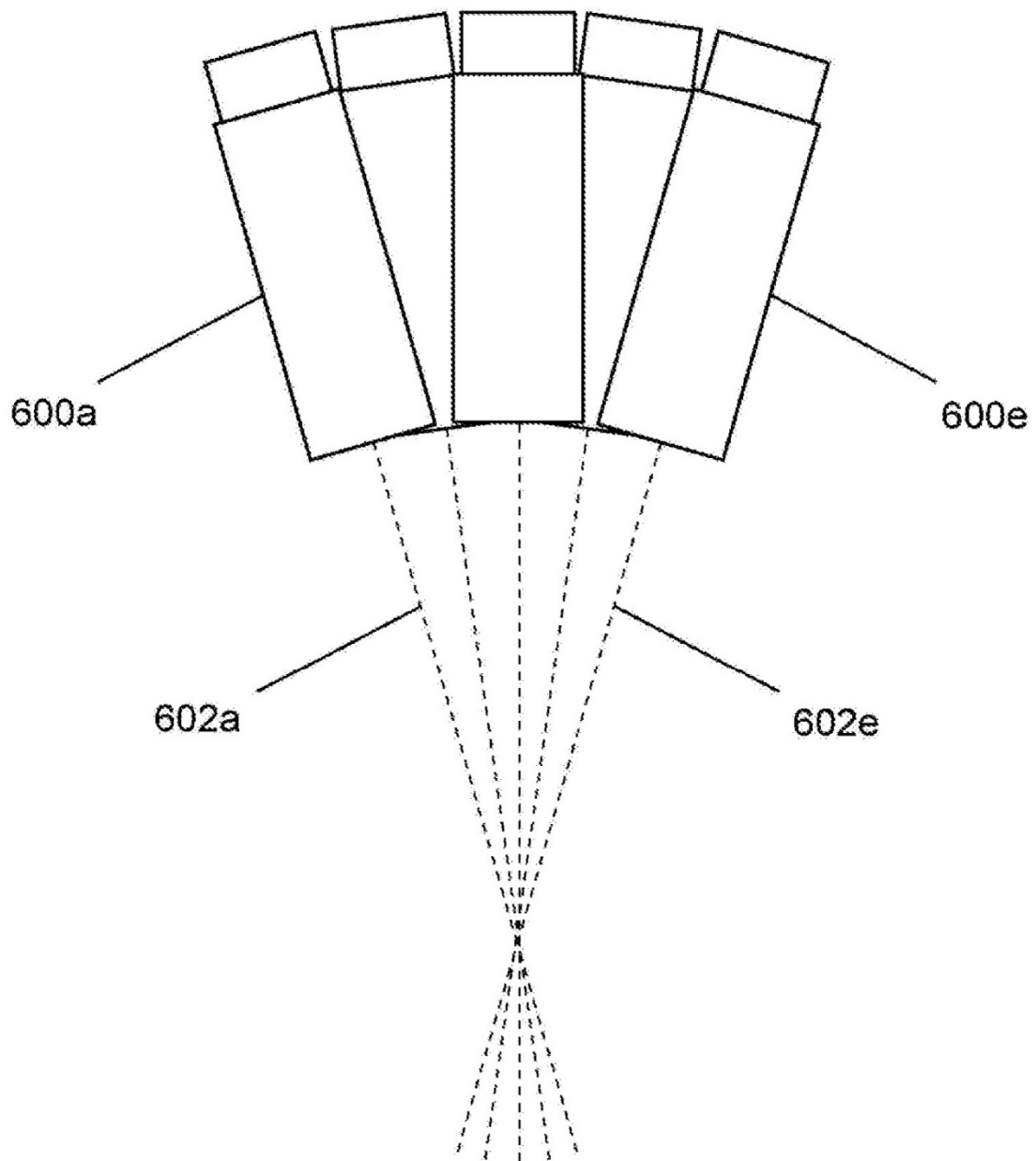


Fig. 38

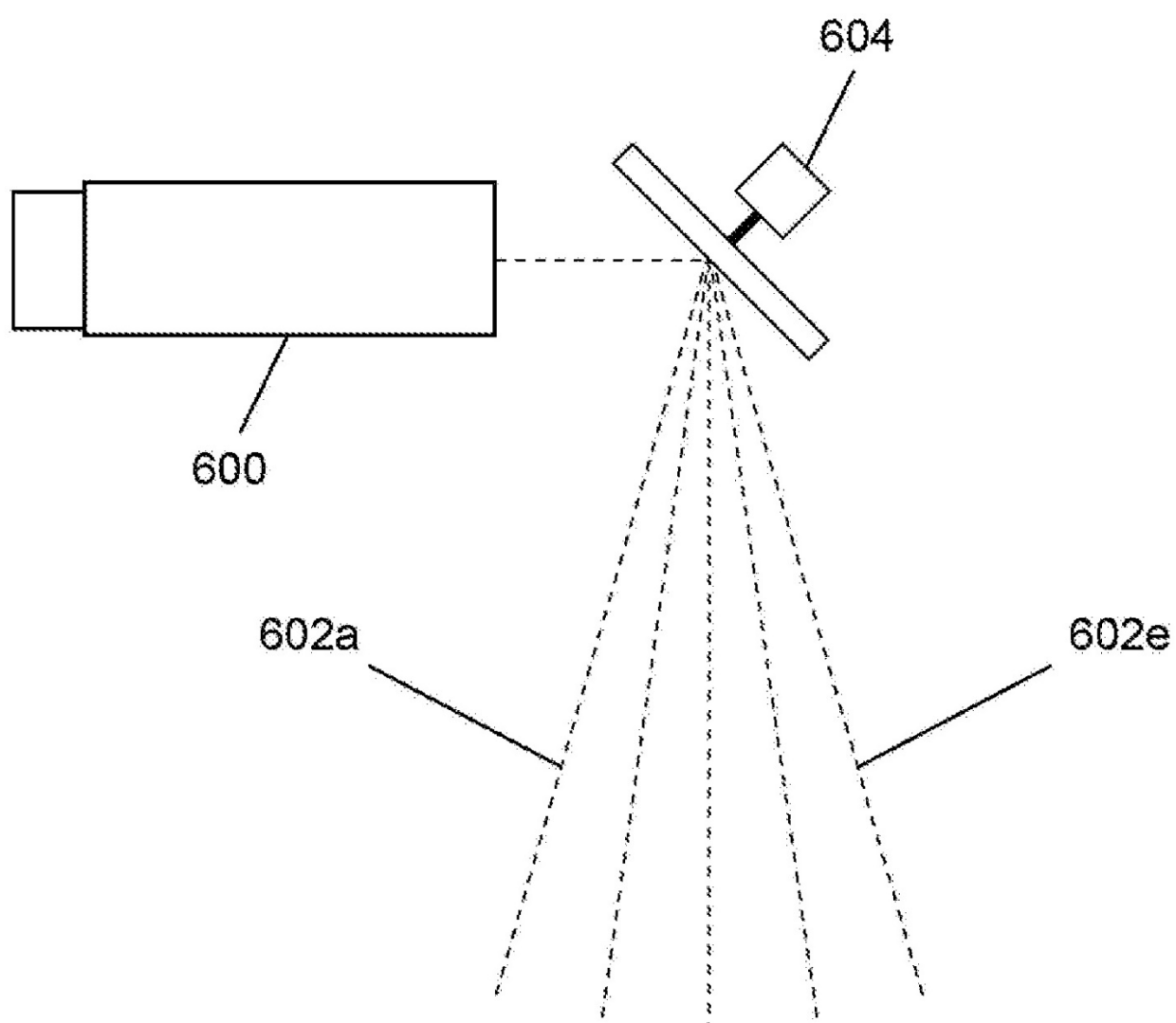


Fig. 39

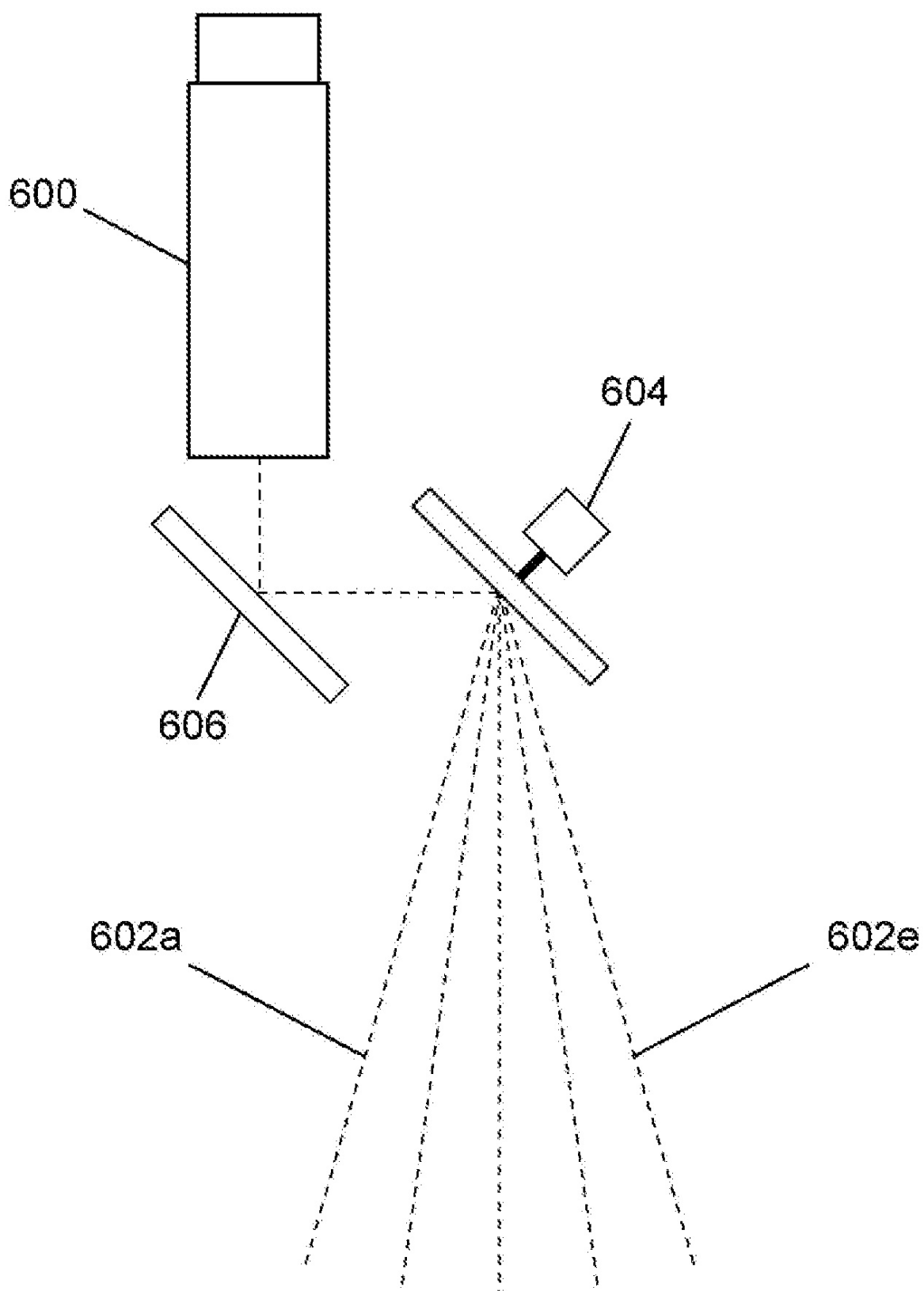


Fig. 40

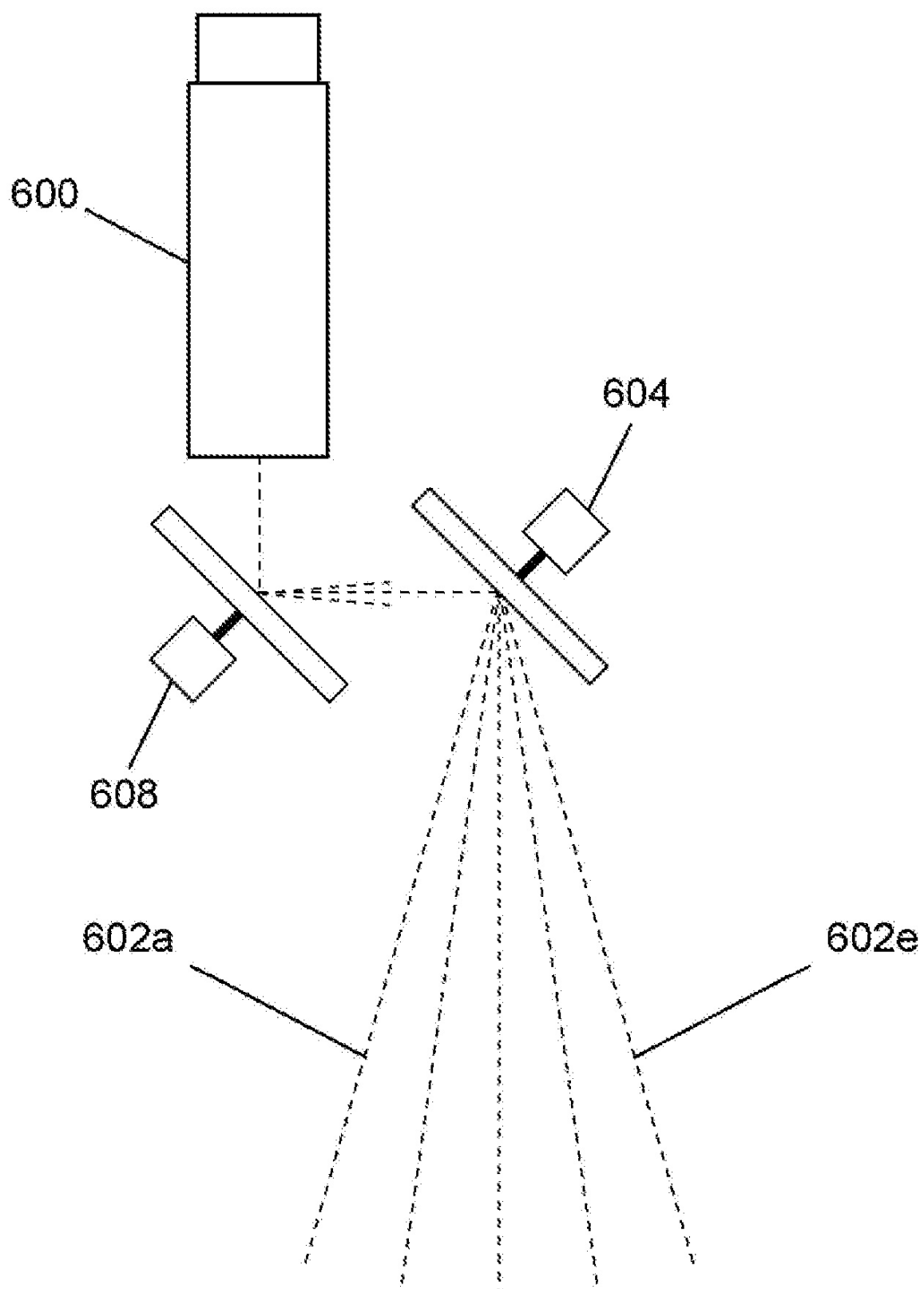
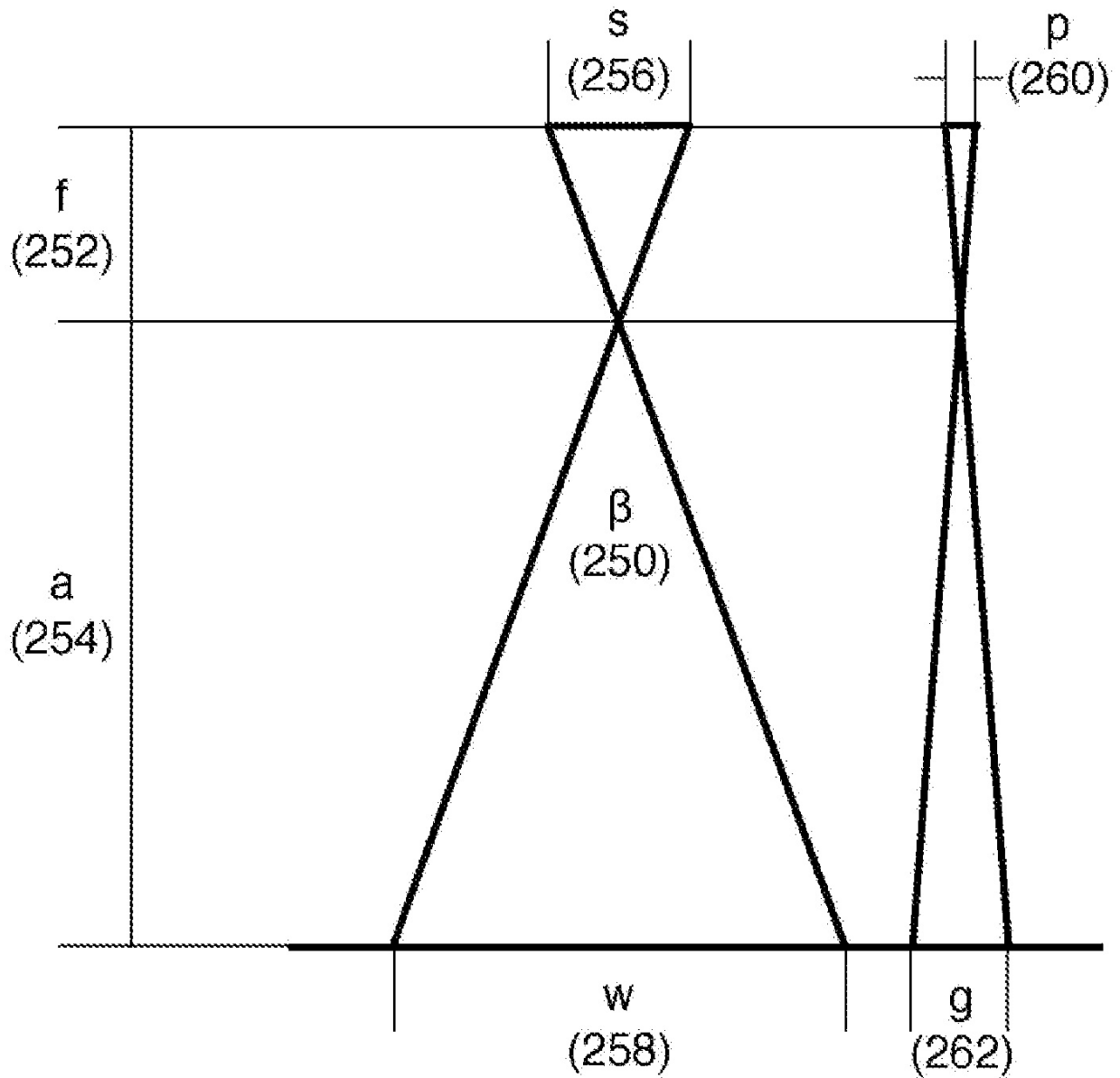


Fig. 41



$$\text{EQ 1: } g = p \cdot a / f$$

$$\text{EQ 2: } w = s \cdot a / f$$

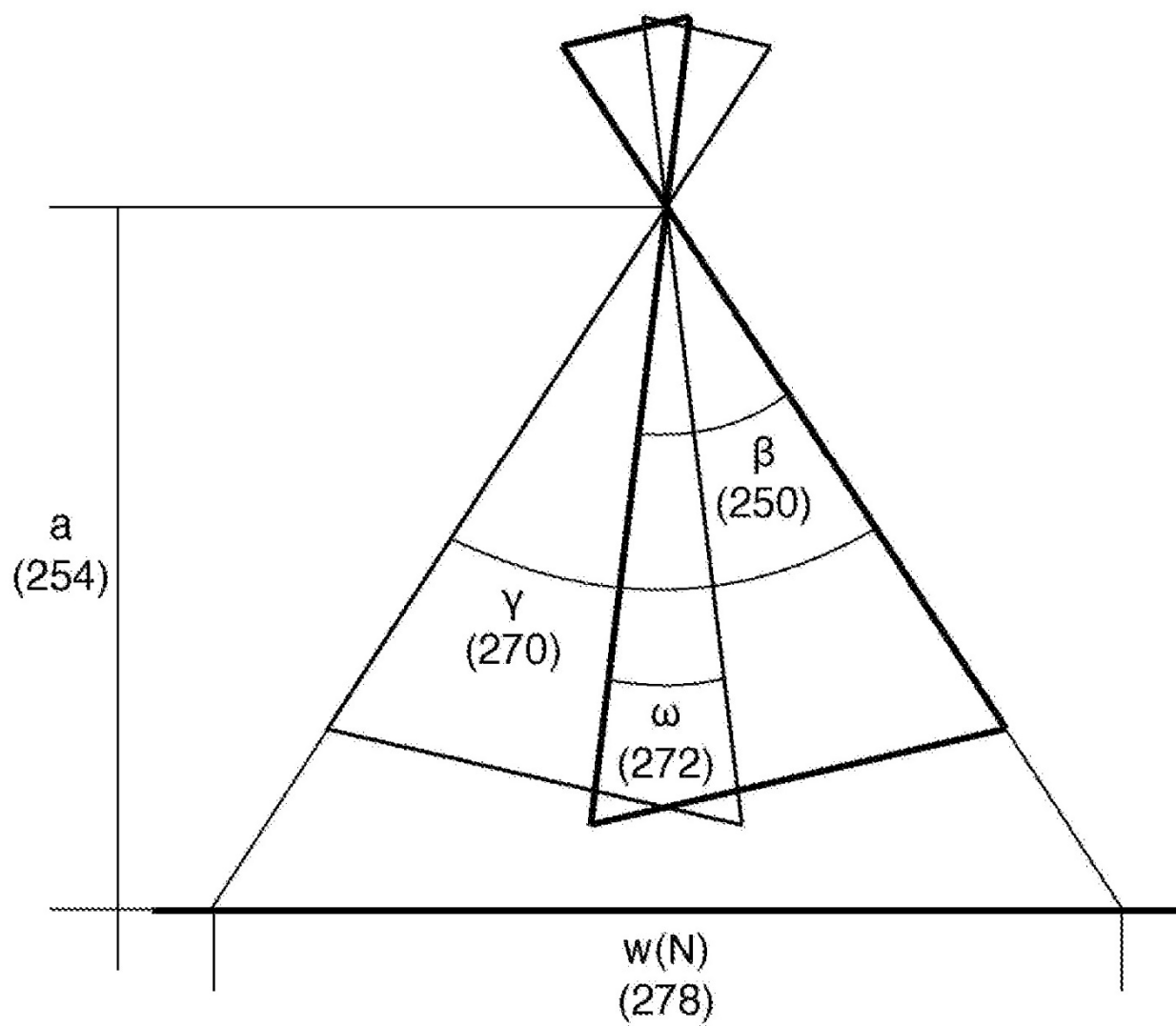
$$\text{EQ 3: } s = 2f \cdot \tan(\beta / 2)$$

$$\text{EQ 4: } \beta = 2 \cdot \arctan(s / 2f)$$

$$\text{EQ 5: } w = 2a \cdot \tan(\beta / 2)$$

$$\text{EQ 6: } \beta = 2 \cdot \arctan(w / 2a)$$

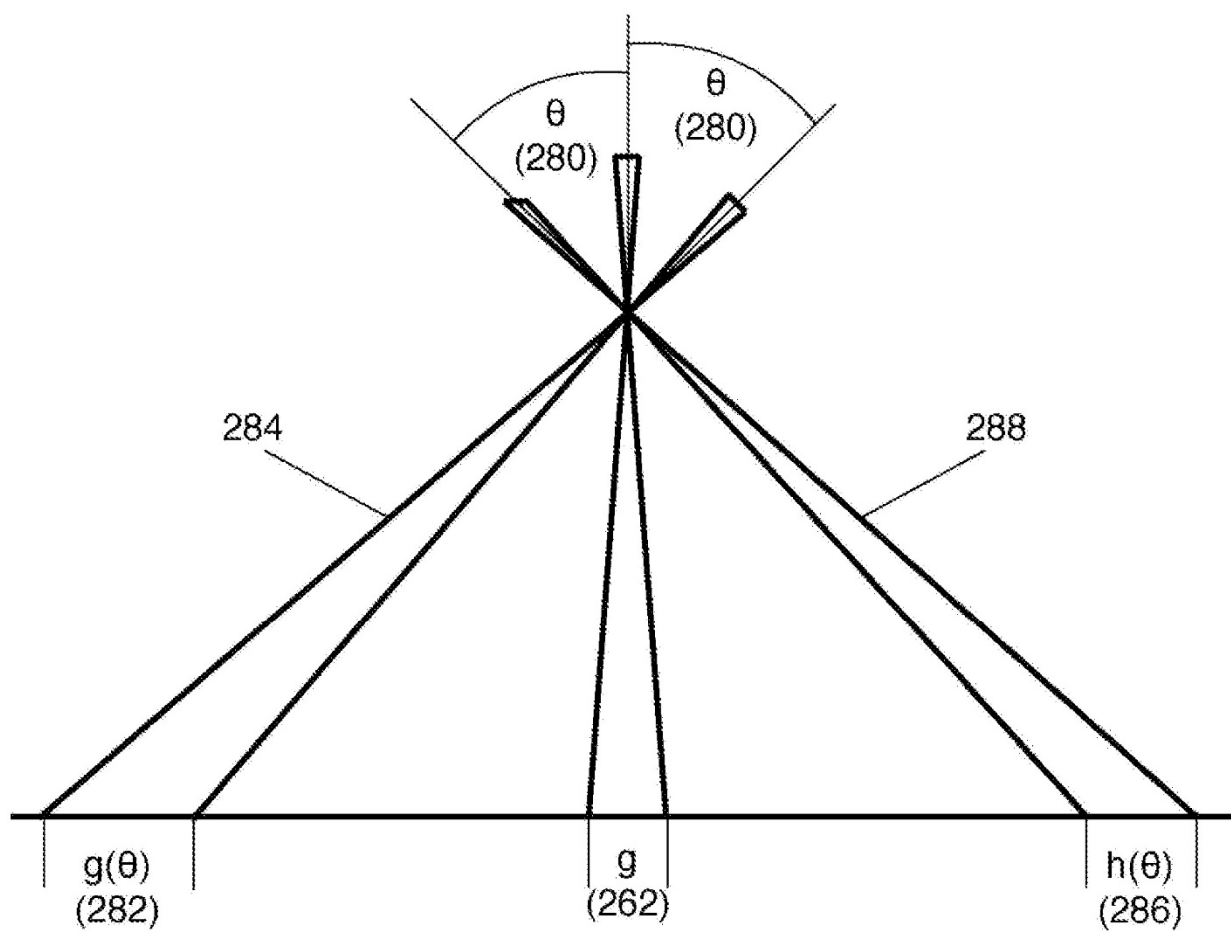
Fig. 42



$$\text{EQ 7: } \gamma = N \cdot \beta - (N-1)\omega$$

$$\text{EQ 8: } w(N) = 2a \cdot \tan(\gamma/2)$$

Fig. 43



$$\text{EQ 9: } g(\theta) = g \cdot \sec^2(\theta)$$

$$\text{EQ 10: } h(\theta) = g \cdot \sec(\theta)$$

Fig. 44