

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 871 090**

51 Int. Cl.:

G01S 13/93	(2010.01)
G05D 1/00	(2006.01)
G08G 5/04	(2006.01)
G01C 11/02	(2006.01)
G03B 37/04	(2011.01)
B64D 47/08	(2006.01)
G06T 7/00	(2007.01)
G08G 5/00	(2006.01)
G01S 19/51	(2010.01)
G03B 15/00	(2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.08.2015 PCT/AU2015/000528**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **03.03.2016 WO16029253**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2015 E 15836009 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.03.2021 EP 3186660**

54 Título: **Sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo**

30 Prioridad:

29.08.2014 AU 2014903450

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.10.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 871 090 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

Sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo para una aeronave de levantamiento.

Antecedentes de la invención

10 Una aeronave de levantamiento incluye normalmente un sistema de cámara aéreo que está dispuesto para capturar imágenes de terreno. Normalmente, el sistema de cámara aéreo se monta en una porción de lado inferior de la aeronave de levantamiento y se capturan imágenes de terreno a medida que la aeronave de levantamiento se desplaza a lo largo de líneas de vuelo definidas. El sistema está dispuesto para capturar múltiples imágenes para cada característica de terreno, lo cual permite aplicar una solución fotogramétrica, tal como un procedimiento de ajuste de paquetes, a las imágenes capturadas con el fin de determinar una solución de mejor caso para información de orientación interior y exterior asociada con cada cámara usada y las imágenes capturadas por cada cámara. Después, puede usarse la solución producida mediante el procedimiento de ajuste de paquetes para un procesamiento adicional, tal como reconstrucción en 3D, y para producir un producto de salida tal como conjuntos de datos de elevación y fotomapas de nadir y/u oblicuos.

15 Con el fin de mejorar la solución fotogramétrica producida mediante el procedimiento de ajuste de paquetes, debe aumentarse el número de imágenes tomadas para cada característica de terreno, y normalmente esto se logra capturando imágenes con mayor frecuencia de modo que se aumenta la superposición entre imágenes capturadas de manera sucesiva, garantizando que existe una superposición suficiente entre líneas de vuelo adyacentes, y garantizando que se toman imágenes a partir de ángulos apropiados para cada punto en el terreno.

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

25 La productividad de un sistema de cámara aéreo se determina según la cantidad de área de terreno capturada por hora a una resolución dada. Por tanto, dado que los costes de vuelo se determinan principalmente con una tasa por hora, si un sistema captura más área de terreno por hora, entonces el coste por unidad de área disminuye. Adicionalmente, es deseable capturar únicamente la cantidad mínima de datos requeridos para un área dada para procesarse hasta los requisitos deseados de precisión y producto de salida.

30 Se requiere que todas las aeronaves que actúen en espacio aéreo controlado según reglas de vuelo por instrumentos mantengan una separación mínima de otras aeronaves en todo momento. Esto se logra monitorizando controladores de tráfico aéreo la posición y velocidad de todas las aeronaves en el espacio aéreo controlado y proporcionando instrucciones a las aeronaves para garantizar una separación adecuada para un vuelo seguro.

35 Jurisdicciones de gestión de espacio aéreo en todo el mundo requieren que se cumplan dos condiciones de separación:

1. mínimos de separación horizontal para aeronaves que vuelan a una altitud igual o similar; y
2. mínimos de separación vertical para aeronaves a una latitud y longitud iguales o similares.

40 Los controladores de tráfico aéreo aplican normas de separación para mantener aeronaves que actúan en espacio aéreo controlado y en aeropuertos con una torre de control operativa separadas por una distancia mínima.

45 Cuando dos aeronaves están separadas por una distancia que es menor que una distancia de separación mínima definida por clasificación de espacio aéreo, se considera que existe una situación de pérdida de separación (LOS), y se hace que los controladores de tráfico aéreo que intervengan para indicar a los pilotos de una o ambas de las aeronaves que adopten una acción evasiva positiva. Una LOS no significa necesariamente que las dos aeronaves implicadas corran un riesgo real de colisión, más bien que no se mantienen las normas de separación según la clasificación de espacio aéreo relevante.

50 Los parámetros que pueden cambiarse para proporcionar una separación adecuada entre aeronaves en trayectorias de vuelo convergentes incluyen rumbo, velocidad o altitud y pueden realizarse cambios en uno o más de estos parámetros en cualquiera o ambas de las aeronaves.

Se requiere que las aeronaves de levantamiento aéreo vuelen a lo largo de líneas de vuelo predeterminadas que generalmente son paralelas y están a una separación fijada. Pueden tolerarse desviaciones minoritarias con respecto a las líneas de vuelo definidas y la adquisición de imágenes puede continuar. Sin embargo, una desviación

sustancial de manera vertical u horizontal con respecto a las líneas de vuelo definidas requiere que se suspenda la adquisición de imágenes. La adquisición de imágenes sólo puede reanudarse cuando la aeronave vuelve a la línea de vuelo interrumpida en la ubicación en la que se suspendió anteriormente la adquisición de imágenes.

5 Las aeronaves de transporte de pasajeros de horario regular (RPT) en la mayoría de las jurisdicciones de espacio aéreo tienen prioridad sobre otras aeronaves civiles cuando los controladores de tráfico aéreo toman una decisión sobre cuál de las dos aeronaves en una trayectoria de vuelo convergente tiene que desviarse. Las aeronaves de levantamiento tienen generalmente la prioridad más baja en comparación con otros usuarios del espacio aéreo. Como consecuencia, las aeronaves de levantamiento que actúan en espacio aéreo controlado tendrán una probabilidad mucho mayor de desviación con respecto a las líneas de vuelo planeadas respectivas que otro tráfico aéreo.

10 Sin embargo, la desviación de una aeronave de levantamiento con respecto a líneas de vuelo planeadas provoca una pérdida significativa de productividad de levantamiento porque se pierde tiempo de levantamiento entre la suspensión y la reanudación de un vuelo de levantamiento y debido al combustible adicional requerido.

15 El documento US 6 130 705 se refiere a un sistema de reconocimiento aéreo que genera imágenes de una escena según objetivos de resolución o campo de visión de manera automática y autónoma, siendo el objetivo obtener imágenes con una resolución o campo de visión constante. El sistema calcula una distancia hasta el objetivo basándose en una secuencia de imágenes tomadas por una cámara de reconocimiento aérea y usa la distancia hasta el objetivo calculada para ajustar la longitud focal de una cámara.

Sumario de la invención

20 La presente invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

En la presente memoria descriptiva, se entenderá que el "punto de máximo acercamiento" (CPA) es un valor de distancia indicativo de la distancia mínima predicha entre dos aeronaves a medida que las aeronaves se desplazan una con respecto a la otra. El valor de CPA es indicativo del riesgo de colisión entre las dos aeronaves.

25 También se entenderá que, en la presente memoria descriptiva, la "distancia de separación mínima" es la distancia definida por la clasificación de espacio aéreo entre dos aeronaves a la que existe una situación de pérdida de separación (LOS) y se requiere que intervenga control de tráfico aéreo para proporcionar instrucciones a una o ambas de las aeronaves para que realice un cambio en la dirección de desplazamiento.

30 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo para una aeronave de levantamiento que puede hacerse navegar usando parámetros de navegación que incluyen altitud, velocidad y dirección, comprendiendo el sistema:

un sistema de cámara dispuesto para capturar imágenes sucesivas de terreno por debajo de una aeronave de levantamiento a medida que la aeronave de levantamiento se desplaza en una trayectoria de vuelo definida;

teniendo el sistema de cámara parámetros de cámara asociados indicativos de características de captura de imágenes del sistema de cámara incluyendo superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas;

35 siendo la trayectoria de vuelo definida y los parámetros de cámara de tal manera que se obtienen múltiples imágenes suficientes de características del terreno de modo que puede llevarse a cabo un procedimiento de ajuste de paquetes con las imágenes de terreno y producirse una solución fotogramétrica basándose en las imágenes;

comprendiendo el sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo:

un sistema de evitación de pérdida de separación (LOS) para una aeronave de levantamiento;

40 estando el sistema de evitación de LOS dispuesto para:

recibir información indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave de levantamiento y recibir información indicativa de la ubicación y el movimiento de una aeronave cercana en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento;

45 determinar una distancia predicha de punto de máximo acercamiento (CPA) entre la aeronave de levantamiento y la aeronave cercana basándose en la información recibida indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave de levantamiento y la información indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave cercana;

comparar la distancia de CPA con una distancia de separación mínima definida correspondiente a una pérdida de separación (LOS); y

50 determinar una estimación de al menos un parámetro de navegación de la aeronave de levantamiento que se requiere para que la distancia de CPA permanezca por encima de la distancia de separación mínima definida; y

5 un modificador de parámetros de cámara dispuesto para producir parámetros de sistema de cámara modificados en respuesta al, al menos un, parámetro de navegación estimado, modificando los parámetros de sistema de cámara modificados características de captura de imágenes por el sistema de cámara para mantener sustancialmente la superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas y de ese modo compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento sin modificar la trayectoria de vuelo definida.

10 En una realización, el modificador de parámetros de cámara comprende un controlador de captura de imágenes dispuesto para controlar la tasa de captura de imágenes por el sistema de cámara para compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento.

El controlador de captura de imágenes puede estar dispuesto para aumentar o reducir la tasa de captura de imágenes por el sistema de cámara para compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento.

15 El controlador de captura de imágenes puede estar dispuesto para aumentar o reducir la tasa de captura de imágenes por el sistema de cámara para modificar la cantidad de superposición entre imágenes capturadas adyacentes cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento.

20 En una realización, el sistema comprende un calculador de tasa de captura de imágenes dispuesto para calcular la tasa de captura de imágenes requerida con el fin de compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento, estando el calculador de tasa de captura de imágenes dispuesto para proporcionar al controlador de captura de imágenes la tasa de captura de imágenes requerida calculada.

25 En una realización, el calculador de tasa de captura de imágenes está dispuesto para calcular la tasa de captura de imágenes usando la siguiente fórmula:

$$T_{\text{ciclo}} = 2 * \text{TAN}\left(\frac{\text{FoV}}{2}\right) * A * \frac{1 - O}{V}$$

donde T_{ciclo} es la tasa de captura de imágenes en segundos, FoV es el campo de visión de trayecto longitudinal de una cobertura de imagen en grados, A es la altitud de la aeronave de levantamiento en metros, y O es la superposición hacia delante (%) de imágenes capturadas adyacentes.

30 En una realización, el modificador de parámetros de cámara comprende un controlador de movimiento de cámara dispuesto para controlar características de movimiento del sistema de cámara para compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento.

35 En una realización, el sistema de cámara incluye un conjunto de cámara dispuesto para barrer a medida que se capturan imágenes, y el controlador de movimiento de cámara está dispuesto para aumentar o reducir la tasa de barrido o la amplitud de barrido del conjunto de cámara para mantener sustancialmente la superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas adyacentes cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento.

40 El controlador de movimiento de cámara puede estar dispuesto para controlar características de movimiento del sistema de cámara para compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento y la tasa de captura de imágenes calculada por el calculador de tasa de captura de imágenes es, o está por encima de, la tasa de captura de imágenes máxima del sistema de cámara.

45 En una realización, el sistema comprende un dispositivo de recepción de datos de ADS-B dispuesto para recibir información indicativa de la ubicación y el movimiento de aeronaves cercanas en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento. El dispositivo de recepción de datos de ADS-B puede estar ubicado en la aeronave de levantamiento o en una ubicación en tierra en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento.

50 En una realización, el sistema comprende un dispositivo de GPS ubicado en la aeronave de levantamiento, estando el sistema dispuesto para usar el dispositivo de GPS para producir información indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave de levantamiento.

En una realización, la estimación para el al menos un parámetro de navegación de la aeronave de levantamiento que se requiere para que la distancia de CPA permanezca por encima de la distancia de separación mínima definida se determina en una ubicación en tierra y se comunica de manera inalámbrica a la aeronave de levantamiento.

En una realización, la información indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave de levantamiento incluye información de altitud, velocidad, posición y rumbo.

En una realización, la información indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave cercana incluye información de altitud, velocidad, posición y rumbo.

- 5 En una realización, el sistema está dispuesto para calcular el tiempo hasta la distancia de punto de máximo acercamiento (CPA) basándose en la información indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave cercana y la información indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave de levantamiento.

En una realización, el sistema está dispuesto para calcular la distancia de punto de máximo acercamiento (CPA) usando el tiempo calculado hasta la distancia de punto de máximo acercamiento (CPA).

- 10 En una realización, el sistema está dispuesto para visualizar en la aeronave de levantamiento el al menos un parámetro de navegación de la aeronave de levantamiento que se requiere para que la distancia de CPA permanezca por encima de la distancia de separación mínima definida.

En una realización, el sistema está dispuesto para producir información audible indicativa de el al menos un parámetro de navegación de la aeronave de levantamiento que se requiere para que la distancia de CPA permanezca por encima de la distancia de separación mínima definida.

- 15 En una realización, el al menos un parámetro de navegación incluye la velocidad de desplazamiento de la aeronave de levantamiento.

En una realización, el al menos un parámetro de navegación incluye la altitud de la aeronave de levantamiento.

En una realización, el al menos un parámetro de navegación incluye el rumbo de la aeronave de levantamiento.

- 20 En una realización, el sistema está dispuesto para determinar si la aeronave de levantamiento y la aeronave cercana están a altitudes diferentes que convergen hacia la misma altitud y, si es así, el sistema está dispuesto para calcular las altitudes predichas de la aeronave de levantamiento y la aeronave cercana a la distancia de CPA.

En una realización, si la altitud de la aeronave de levantamiento a la distancia de CPA y la altitud de la aeronave cercana a la distancia de CPA no son sustancialmente la misma, el sistema está dispuesto de tal manera que no se determina una estimación de la velocidad y/o dirección de desplazamiento de la aeronave de levantamiento.

- 25 Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método de captura de imágenes de levantamiento aéreo en una aeronave de levantamiento que puede hacerse navegar usando parámetros de navegación que incluyen altitud, velocidad y dirección, comprendiendo el método:

capturar imágenes sucesivas de terreno por debajo de una aeronave de levantamiento a medida que la aeronave de levantamiento se desplaza en una trayectoria de vuelo definida usando un sistema de cámara, teniendo el sistema de cámara parámetros de cámara asociados indicativos de características de captura de imágenes del sistema de cámara incluyendo superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas;

- 30 recibir información indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave de levantamiento;

recibir información indicativa de la ubicación y el movimiento de una aeronave cercana en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento;

- 35 determinar una distancia predicha de punto de máximo acercamiento (CPA) entre la aeronave de levantamiento y la aeronave cercana basándose en la información recibida indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave de levantamiento y la información indicativa de la ubicación y el movimiento de la aeronave cercana;

comparar la distancia de CPA con una distancia de separación mínima definida correspondiente a una pérdida de separación (LOS);

- 40 si la distancia de CPA es menor que la distancia de separación mínima definida, determinar una estimación de al menos un parámetro de navegación de la aeronave de levantamiento que se requiere para que la distancia de CPA permanezca por encima de la distancia de separación mínima definida;

producir parámetros de sistema de cámara modificados en respuesta al, al menos un, parámetro de navegación estimado, modificando los parámetros de sistema de cámara modificados características de captura de imágenes por el sistema de cámara para mantener sustancialmente la superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas y de ese modo compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento.

- 45

Breve descripción de los dibujos

- 50 Ahora se describirá la presente invención, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en

los que:

la figura 1 es un diagrama de bloques que representa un sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo según una realización de la presente invención;

5 la figura 2 es un diagrama de bloques que representa un estimador de velocidad objetivo del sistema mostrado en la figura 1;

la figura 3 es un diagrama de bloques que representa características de un modificador de parámetros de cámara sensible a un cambio en los parámetros de navegación de aeronave;

la figura 4 es una representación esquemática que ilustra direcciones de vuelo respectivas de una aeronave de levantamiento y una aeronave ubicada en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento;

10 la figura 5 es una representación esquemática que ilustra trayectorias de vuelo respectivas de una aeronave de levantamiento y una aeronave ubicada en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento y distancias entre las aeronaves en momentos diferentes;

la figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método de evitación de una pérdida de separación (LOS) entre una aeronave de levantamiento y una aeronave ubicada en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento; y

15 la figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra un método de mantenimiento sustancial de la eficiencia de levantamiento independientemente de cambios en parámetros de navegación de aeronave.

Descripción de una realización de la invención

20 La vigilancia dependiente automática - radiodifusión (ADS-B) es una tecnología de vigilancia cooperativa mediante la cual una aeronave determina su posición usando técnicas de navegación por satélite y emite periódicamente por radiodifusión la información de posición. La información puede recibirse por estaciones en tierra de control de tráfico aéreo como sustitución de o complemento a radar secundario. La información de posición también puede recibirse por otras aeronaves para proporcionar conciencia situacional y permitir que los operarios de las otras aeronaves gestionen por sí mismos la distancia de separación entre las dos aeronaves.

25 El presente sistema usa un dispositivo de recepción de datos de ADS-B, por ejemplo dispuesto en una aeronave de levantamiento, para monitorizar la identidad, posición, velocidad, rumbo, altitud y tasa de ascenso/descenso de todas las aeronaves dentro de la proximidad de la aeronave de levantamiento, determina si cualquiera de las aeronaves cercanas está convergiendo con la aeronave de levantamiento, y predice el punto de máximo acercamiento (CPA) entre la aeronave de levantamiento y la aeronave cercana. Si hay una posible situación de pérdida de separación (LOS), el sistema estima el cambio en la velocidad de aeronave de levantamiento requerido para garantizar que se logra la separación mínima requerida entre la aeronave, y visualiza o comunica de otro modo la velocidad estimada a los operarios de aeronave.

30 En una variación del sistema, en vez de calcular y visualizar a un operario de aeronave el cambio en la velocidad de aeronave de levantamiento requerido para mantener una distancia de separación mínima entre la aeronave de levantamiento, el sistema puede calcular y visualizar un cambio en la altitud que se requiere con el fin de mantener la distancia de separación mínima.

Se entenderá que la monitorización de datos de ADS-B y el cálculo de cambios de velocidad pueden producirse en la aeronave de levantamiento o en una estación situada en tierra y transmitirse los resultados producidos en la estación situada en tierra a la aeronave.

40 Adicional o alternativamente, cualquier otra base de datos de tráfico que proporciona información adicional sobre destinos de vuelo de aeronaves, tales como horarios de aerolíneas, puede usarse adicionalmente para predecir cambios previstos en trayectorias de vuelo.

45 El sistema también está dispuesto para modificar automáticamente parámetros de cámara, tales como parámetros de captura de imágenes y/o parámetros de movimiento de conjunto de cámara en respuesta a un cambio en parámetros de navegación de aeronave de levantamiento de modo que se evita un cambio significativo en la eficiencia de levantamiento.

Los cambios en parámetros de navegación de aeronave de levantamiento con el fin de evitar una situación de LOS pueden afectar a la eficiencia de levantamiento, por ejemplo en cuanto a la calidad de imágenes producidas durante un levantamiento y/o una reducción de la capacidad o eficiencia de procesamiento de imágenes.

50 Por ejemplo, si un operario de aeronave cambia la velocidad de una aeronave de levantamiento sin cambios en el sincronismo de captura de imágenes, cambiará la cantidad de superposición entre imágenes capturadas adyacentes en una dirección paralela a la dirección de desplazamiento de la aeronave de levantamiento. Un aumento de la velocidad de aeronave de levantamiento dará como resultado una disminución de la superposición de imágenes, mientras que una disminución de la velocidad de aeronave de levantamiento dará como resultado un aumento de la

superposición de imágenes. Esto tiene un impacto significativo sobre el procesamiento de imágenes, en particular el cálculo de una solución fotogramétrica, tal como un procedimiento de ajuste de paquetes, porque se requiere una cantidad de superposición particular entre imágenes adyacentes con el fin de obtener una solución de mejor caso para información de orientación interior y exterior asociada con cada cámara usada y las imágenes capturadas por cada cámara.

Con el fin de compensar al menos parcialmente cambios en la superposición de imágenes provocados por cambios en la velocidad de aeronave, el sistema puede estar dispuesto para modificar automáticamente la velocidad de captura de imágenes. Por ejemplo, si se reduce la velocidad de la aeronave para evitar una situación de LOS, la cantidad de superposición entre imágenes adyacentes aumentará. En respuesta, el sistema puede estar dispuesto para aumentar automáticamente el tiempo entre la captura de imágenes sucesivas con el fin de compensar esto y de ese modo reducir la superposición entre imágenes capturadas adyacentes.

Alternativamente, en una aeronave de levantamiento que incluye un conjunto de cámara que barre lateralmente con el fin de capturar más imágenes a lo largo de una dirección generalmente perpendicular a la dirección de desplazamiento de la aeronave de levantamiento, puede lograrse al menos una compensación parcial para un cambio en la superposición de imágenes cambiando el tiempo de ciclo de exploración del conjunto de cámara. Por ejemplo, puede cambiarse la velocidad de rotación del conjunto de cámara o la amplitud máxima del barrido de exploración.

El aspecto importante es que se realiza automáticamente una modificación a los parámetros de cámara, tales como el sincronismo de captura de imágenes o las características de movimiento del conjunto de cámara, con el fin de compensar al menos parcialmente cambios en las características de captura de imágenes debidos a cambios en parámetros de navegación, tales como velocidad, altitud o dirección de desplazamiento de aeronave.

Haciendo referencia a los dibujos, la figura 1 muestra un sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo 10 ubicado, en este ejemplo, en una aeronave de levantamiento.

El sistema 10 incluye un estimador de parámetros de navegación de aeronave, en este ejemplo un estimador de velocidad objetivo 12, dispuesto para calcular una velocidad de aeronave de levantamiento objetivo indicativa de una velocidad de aeronave de levantamiento a la que se mantendrá la distancia de separación mínima. La velocidad objetivo se calcula usando datos de ubicación y movimiento indicativos de las ubicaciones y movimientos de aeronaves cercanas obtenidos a partir de un dispositivo de recepción de datos de vigilancia dependiente automática - radiodifusión (ADS-B) 14, y datos de ubicación y movimiento indicativos de la ubicación y el movimiento de la aeronave de levantamiento obtenidos a partir de un dispositivo de GPS 16 en la aeronave de levantamiento. La velocidad objetivo calculada se presenta a un operario de aeronave en un elemento de visualización 18, pero puede comunicarse verbalmente al operario de aeronave, o introducirse directamente en la aeronave para cambiar automáticamente la velocidad de la aeronave.

La velocidad calculada también se proporciona a un modificador de parámetros de cámara 17 que determina una modificación de sistema de cámara que tiene que realizarse en el sistema de cámara 19, tal como el sincronismo de captura de imágenes o las características de movimiento de un conjunto de cámara del sistema de cámara, con el fin de compensar al menos parcialmente cambios en características de captura de imágenes debidos a cambios en parámetros de navegación, tales como velocidad, altitud o dirección de desplazamiento de aeronave. La modificación de sistema de cámara determinada, determinada por el modificador de parámetros de cámara 17, se usa por el sistema de cámara 19 para modificar uno o más parámetros de funcionamiento de sistema de cámara, tales como sincronismo de captura de imágenes, o características de movimiento de conjunto de cámara. Por ejemplo, en una disposición en la que el sistema de cámara está dispuesto para barrer transversalmente a medida que se capturan imágenes, pueden modificarse la velocidad de barrido o la amplitud de barrido del conjunto de cámara.

Se entenderá que, en vez de usar la velocidad de aeronave de levantamiento objetivo calculada por el estimador de velocidad objetivo 12 para determinar la modificación de sistema de cámara, puede usarse el cambio de velocidad real realizado en la aeronave, porque el cambio de velocidad realmente realizado en la aeronave puede diferir del cambio de velocidad de aeronave sugerido por el estimador de velocidad objetivo 12.

El estimador de velocidad objetivo 12 se muestra en más detalle en la figura 2 e incluye un calculador de tiempo hasta CPA (t_{CPA}) 20 dispuesto para calcular el tiempo estimado hasta la distancia de CPA basándose en los datos de ubicación y movimiento a partir del dispositivo de recepción de datos de ADS-B 14 y el dispositivo de GPS 16. En este ejemplo, los datos de ubicación y movimiento a partir del dispositivo de ADS-B 14 incluyen coordenadas de GPS 22 de aeronaves cercanas, valores de velocidad 24 para aeronaves cercanas y valores de rumbo 26 para aeronaves cercanas. De manera similar, los datos de ubicación y movimiento a partir del dispositivo de GPS 16 incluyen coordenadas de GPS 30 de la aeronave de levantamiento, un valor de velocidad 32 de la aeronave de levantamiento y un valor de rumbo 34 para la aeronave de levantamiento.

El estimador de velocidad objetivo 12 también incluye un calculador de distancia de CPA 36 dispuesto para calcular la distancia de CPA usando el tiempo calculado hasta CPA (t_{CPA}) y un comparador de distancias 37 dispuesto para

comparar la distancia de CPA con la distancia de separación mínima. Si la distancia de CPA es mayor que la distancia de separación mínima, entonces se ignora la aeronave cercana.

5 El estimador de velocidad objetivo 12 también incluye un calculador de velocidad objetivo 38 dispuesto para calcular una estimación de la velocidad a la que debe volar la aeronave de levantamiento con el fin de mantener la distancia de CPA por encima de la distancia de separación mínima y de ese modo evitar una situación de LOS. El calculador de velocidad objetivo 38 calcula una estimación de velocidad cuando la distancia de CPA es menor que o aproximadamente igual a la distancia de separación mínima.

10 Mientras que en este ejemplo el estimador de parámetros de navegación de aeronave calcula parámetros de navegación, en la presente realización una velocidad de aeronave estimada, con el fin de evitar una situación de LOS, el estimador de parámetros de navegación de aeronave también puede tener en cuenta la eficiencia de levantamiento en cuanto a la captura de imágenes y el procesamiento de imágenes posterior, y también la eficiencia de levantamiento en cuanto al combustible usado.

15 Un ejemplo de modificador de parámetros de cámara 17 se muestra en más detalle en la figura 3 e incluye un calculador de tasa de captura de imágenes 37 dispuesto para calcular la tasa de captura de imágenes requerida con el fin de mantener la superposición de imágenes entre imágenes capturadas adyacentes en una dirección paralela a la dirección de desplazamiento de aeronave sustancialmente constante a medida que cambia la velocidad de la aeronave. El modificador de parámetros de cámara 17 también incluye un controlador de captura de imágenes 39 que responde a la tasa de captura de imágenes calculada y produce señales de control para que el conjunto de cámara 41 controle el sincronismo de captura de imágenes mediante cámaras del conjunto de cámara 41.

20 En este ejemplo, el modificador de parámetros de cámara 17 también incluye un controlador de movimiento de cámara 40 que responde a la tasa de captura de imágenes calculada y/o un cambio en la velocidad y/o altitud 30 y produce señales de control para que el conjunto de cámara 41 controle otros parámetros del conjunto de cámara, en este ejemplo parámetros de movimiento de cámaras del conjunto de cámara 41.

25 En un sistema que incluye un calculador de tasa de captura de imágenes 37 y un controlador de captura de imágenes 39 dispuestos para controlar el sincronismo de captura de imágenes mediante cámaras del conjunto de cámara 41, si la tasa de captura de imágenes calculada es mayor de lo que puede aceptar el conjunto de cámara, entonces pueden modificarse uno o más parámetros alternativos del conjunto de cámara, por ejemplo usando el controlador de movimiento de cámara 40. En un ejemplo que incluye un conjunto de cámara 41 dispuesto para barrer transversalmente a medida que se capturan imágenes, el controlador de movimiento de cámara 40 está
30 dispuesto para responder a la tasa de captura de imágenes calculada y producir señales de control para controlar la velocidad de barrido o amplitud de barrido del conjunto de cámara 41.

35 Sin embargo, mientras que el modificador de parámetros de cámara 17 en este ejemplo incluye funcionalidad para modificar la tasa de captura de imágenes o parámetros de movimiento de cámaras del sistema de cámara, se apreciará que se prevé que el modificador de parámetros de cámara 17 puede incluir funcionalidad asociada con cualquier otro parámetro del sistema de cámara que afecte a la eficiencia de levantamiento en cuanto a la captura de imágenes y/o procesamiento de imágenes.

40 Haciendo referencia a las figuras 4 y 5, se muestra un ejemplo de una aeronave de levantamiento 42 que se desplaza en una dirección indicada por la flecha 44, y una aeronave cercana 46 que se desplaza en una dirección diferente indicada por la flecha 48. La velocidad de la aeronave de levantamiento es u , la velocidad de la aeronave cercana es v , el vector de posición de la aeronave de levantamiento es P_A y el vector de posición de la aeronave cercana es P_B .

Tal como se muestra más particularmente en la figura 5, la distancia de separación entre la aeronave de levantamiento 42 y la aeronave cercana 46 es d y se muestran tres valores para la distancia de separación d_1 , d_2 y d_3 en momentos diferentes.

45 Si la distancia de separación d es en cualquier momento menor que la distancia de separación mínima recomendada según la clasificación de espacio aéreo relevante, entonces existe una situación de LOS y los controladores de tráfico aéreo intervendrán e indicarán a uno o ambos de los pilotos que cambien el rumbo.

50 A continuación se describe un ejemplo de método de cálculo de la velocidad objetivo a la que debe volar la aeronave de levantamiento con el fin de mantener la distancia de separación por encima de la distancia de separación mínima y de ese modo evitar una situación de LOS. Sin embargo, se entenderá que se prevé cualquier método de cálculo adecuado.

55 Para cada transmisión de ADS-B recibida por la aeronave de levantamiento a partir de otras aeronaves en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento, el estimador de velocidad objetivo 12 determina la velocidad requerida por la aeronave de levantamiento con el fin de evitar una posible situación de pérdida de separación (LOS).

El calculador de tiempo hasta CPA 20 determina la cantidad de tiempo (t_{CPA}) hasta la distancia de CPA, en este

ejemplo usando la siguiente metodología.

Se proporcionan las coordenadas de latitud y longitud (LL_A) de la aeronave de levantamiento 42 y las coordenadas de latitud y longitud (LL_B) de la aeronave cercana 46, respectivamente, por el dispositivo de GPS 16 y el dispositivo de recepción de datos de ADS-B 14. En el presente ejemplo, las coordenadas de latitud y longitud son:

$$LL_A := \begin{pmatrix} -34,719 \text{ deg} \\ 149,469 \text{ deg} \end{pmatrix}$$

5

$$LL_B := \begin{pmatrix} -34,324 \text{ deg} \\ 147,794 \text{ deg} \end{pmatrix}$$

El dispositivo de GPS 16 y el dispositivo de recepción de datos de ADS-B 14 también proporcionan, respectivamente, la altitud (A_A), rumbo (ϕ_A) y velocidad (V_A) de la aeronave de levantamiento y la altitud (A_B), rumbo (ϕ_B) y velocidad (V_B) de la aeronave cercana. En el presente ejemplo, las altitudes, rumbos y velocidades son:

$$A_A := 30200 \text{ ft}$$

10

$$A_B := 31000 \text{ ft}$$

$$\phi_A := 350 \text{ deg}$$

$$\phi_B := 71 \text{ deg}$$

$$V_A := 220 \text{ kts}$$

$$V_B := 450 \text{ kts}$$

15

La aeronave de levantamiento 42 se usa como origen de sistema de coordenadas de referencia (norte hacia arriba) y por tanto su vector de posición es:

$$P_A := \begin{pmatrix} 0 \text{ NM} \\ 0 \text{ NM} \end{pmatrix}$$

20

La posición inicial relativa de la aeronave cercana 46 puede calcularse usando una simple proyección equirrectangular, puesto que los errores son pequeños dada la distancia relativamente pequeña en comparación con la curvatura de la tierra. Se supone que la altitud es a nivel del mar (6371 km al centro de la tierra absoluto) porque el efecto de la altitud sobre el cálculo es despreciable con respecto a la precisión requerida. La posición inicial relativa de la aeronave cercana 46 viene dada por:

$$P_B := \begin{bmatrix} (LL_{B_1} - LL_{A_1}) \cdot \cos(LL_{A_0}) \cdot 6371 \text{ km} \\ (LL_{B_0} - LL_{A_0}) \cdot 6371 \text{ km} \end{bmatrix}$$

25

lo que, para las coordenadas de latitud y longitud para el avión cercano proporcionado anteriormente, da:

$$P_B = \begin{pmatrix} -82,662 \\ 23,716 \end{pmatrix} \text{NM}$$

Convirtiendo los valores de magnitud de velocidad y rumbo a componentes de vector cartesiano para las velocidades de aeronave respectivas u y v:

$$u := V_A \cdot \begin{pmatrix} \text{sen}(\phi_A) \\ \text{cos}(\phi_A) \end{pmatrix}$$

$$v := V_B \cdot \begin{pmatrix} \text{sen}(\phi_B) \\ \text{cos}(\phi_B) \end{pmatrix}$$

5

lo cual, para el avión cercano 46 proporcionado anteriormente, da:

$$v = \begin{pmatrix} 218,888 \\ 75,369 \end{pmatrix}$$

y, para la aeronave de levantamiento 42 dada anteriormente, da:

$$u = \begin{pmatrix} -19,653 \\ 111,458 \end{pmatrix}$$

10 El vector de posición de la aeronave de levantamiento 42 puede representarse paramétricamente en función del tiempo t en la forma:

$$P_A(t) := P_A + t \cdot k \cdot u$$

15 donde P_A es el vector de posición correspondiente a la posición actual de la aeronave de levantamiento 42, $P_A(t)$ es el vector de posición correspondiente a la posición de la aeronave de levantamiento 42 en el tiempo t, y k es un factor de velocidad que representa una modificación de la velocidad de la aeronave de levantamiento 42.

El vector de posición de la aeronave cercana 46 se representa de manera similar paramétricamente, pero se supone que la aeronave cercana 46 está volando a una velocidad constante de modo que no se requiere ningún factor de velocidad:

$$P_B(t) := P_B + t \cdot v$$

20 donde P_B es el vector de posición correspondiente a la posición actual de la aeronave cercana 46, y $P_B(t)$ es el vector de posición correspondiente a la posición de la aeronave cercana 46 en el tiempo t.

La distancia inicial entre la aeronave de levantamiento 42 y la aeronave cercana 46 viene dada por:

$$w_0 := P_A(0) - P_B(0)$$

y la forma paramétrica del vector de distancia es:

$$w(t, k) := w_0 + t \cdot (k \cdot u - v)$$

Por tanto, la magnitud del vector de distancia es:

$$d(t, k) := |w(t, k)|$$

5

Definiendo:

$$D(t, k) := d(t, k)^2$$

se obtiene:

$$D(t, k) = (k \cdot u - v) \cdot (k \cdot u - v) \cdot t^2 + 2 \cdot w_0 \cdot (k \cdot u - v) \cdot t + w_0 \cdot w_0$$

10 Dado que $d(t, k)$ es un mínimo cuando $D(t, k)$ también es un mínimo, el mínimo $d(t, k)$ se encuentra resolviendo:

$$0 = \frac{d}{dt} D(t, k) = 2 \cdot t \cdot [(k \cdot u - v) \cdot (k \cdot u - v)] + 2 \cdot w_0 \cdot (k \cdot u - v)$$

Esto proporciona una solución para t y un k dado en el punto de máximo acercamiento (CPA):

$$t_{CPA}(k) := \frac{-w_0 \cdot (k \cdot u - v)}{(|k \cdot u - v|)^2}$$

15 y una solución para la distancia (denominada d_{CPA}) entre las aeronaves en el CPA sustituyendo t_{CPA} de vuelta en $d(t, k)$.

En el presente ejemplo, con $k = 1$ (ninguna modificación de velocidad de aeronave de levantamiento), la distancia en el CPA es de 11,084 NM. Es decir, para $k = 1$:

$$d(t_{CPA}(k), k) = 11,084 \text{ NM}$$

20 Tal como se ilustra en la figura 5, la longitud variable del vector de distancia $d(1)$, $d(2)$ y $d(3)$ en los tiempos respectivos $t = 1, 2$ y 3 muestra que las aeronave convergentes se desplazan hacia una distancia mínima $d(t_{CPA})$ en t_{CPA} , y después divergen. Si t_{CPA} es un número negativo, entonces las aeronaves están divergiendo, es decir, el CPA se produjo en el pasado.

25 Si la distancia mínima $d(t_{CPA})$ es menor que la distancia de separación mínima, entonces debe alterarse la velocidad de aeronave de levantamiento con el fin de provocar un aumento de la distancia mínima determinada $d(t_{CPA})$ a mayor que la distancia de separación mínima requerida.

La velocidad de aeronave de levantamiento requerida para lograr esto se calcula de manera iterativa por el calculador de velocidad objetivo 38 haciendo variar el factor de velocidad k hasta que se produce un valor de velocidad de aeronave que proporciona una distancia de separación requerida $d(t_{CPA})$ a la distancia de CPA que es mayor que la distancia de separación mínima.

30 Después de calcularse la velocidad objetivo por el calculador de velocidad objetivo 38, se visualiza o se comunica de otro modo la velocidad objetivo al operario de aeronave y el operario de aeronave modifica la velocidad de la aeronave para coincidir con la velocidad objetivo.

De esta manera, durante un levantamiento se evita una situación de LOS y se reduce en gran medida la probabilidad de que la aeronave de levantamiento reciba una instrucción a partir de control de tráfico de adoptar una acción evasiva, tal como un cambio de rumbo.

5 Se apreciará que, dado que es poco probable que la aeronave de levantamiento reciba una instrucción a partir de control de tráfico de adoptar una acción evasiva, también se reduce en gran medida la probabilidad de que se requiera que la aeronave de levantamiento se desvíe de una línea de levantamiento planeada.

Haciendo referencia a la figura 6, se muestra un diagrama de flujo 54 que ilustra las etapas 56 - 82 de un método de evitación de una pérdida de separación (LOS) entre una aeronave de levantamiento y una aeronave ubicada en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento.

10 En las etapas 56, 58 y 60, se calcula el tiempo (t_{CPA}) hasta la distancia de CPA y, basándose en el valor de T_{CPA} calculado, se realiza una determinación de si la aeronave de levantamiento y la aeronave cercana están convergiendo o divergiendo, por ejemplo, basándose en si el tiempo calculado T_{CPA} es positivo o negativo. Si las dos aeronaves están divergiendo 62, entonces se descarta la aeronave cercana 82.

15 Sin embargo, si las dos aeronaves están convergiendo 62, y las dos aeronaves están a una altitud similar y manteniendo la misma altitud 64, entonces se calcula la distancia (d_{CPA}) entre las aeronaves a la distancia de CPA 74 y se compara con la distancia de separación mínima 76. Si existe una separación adecuada, entonces se descarta la aeronave cercana 82. Si la distancia (d_{CPA}) entre las aeronaves a la distancia de CPA es inadecuada 76, entonces se calcula una nueva velocidad para la aeronave de levantamiento 78 que corresponde a una distancia (d_{CPA}) entre las aeronaves a la distancia de CPA mayor que la distancia de separación mínima, y se comunica la nueva velocidad al piloto de la aeronave de levantamiento.

20 Si las dos aeronaves están convergiendo 62, y las dos aeronaves están a altitudes diferentes pero moviéndose una hacia otra, entonces se calcula la altitud proyectada a la distancia de CPA 70. Si las dos aeronaves tendrán una altitud similar en CPA 72, entonces se calcula la distancia (d_{CPA}) entre las aeronaves a la distancia de CPA 74.

25 Como anteriormente, si existe una separación adecuada, entonces se descarta la aeronave cercana 82. Si la distancia (d_{CPA}) entre las aeronaves a la distancia de CPA es inadecuada 76, entonces se calcula una nueva velocidad para la aeronave de levantamiento 78 que corresponde a una distancia (d_{CPA}) entre las aeronaves a la distancia de CPA mayor que la distancia de separación mínima, y se comunica la nueva velocidad al piloto de la aeronave de levantamiento.

Si las dos aeronaves no tendrán una altitud similar en CPA 72, entonces se descarta la aeronave cercana 82.

30 Haciendo referencia a la figura 7, se muestra un diagrama de flujo 90 que ilustra las etapas 92 - 100 de un ejemplo de método de mantenimiento sustancial de la eficiencia de levantamiento independientemente de cambios en parámetros de navegación de aeronave.

35 El diagrama de flujo 90 se refiere a un sistema de cámara que incluye un conjunto de cámara dispuesto para barrer transversalmente a medida que se capturan imágenes, y los parámetros de cámara modificables incluyen sincronismo de captura de imágenes, velocidad de barrido del conjunto de cámara y amplitud de barrido del conjunto de cámara. Sin embargo, se entenderá que el presente sistema y método son aplicables a otros sistemas de cámara que tienen otros parámetros de cámara modificables que afectan a la eficiencia de levantamiento, en particular el número y la calidad de imágenes producidas y/o eficiencia de procesamiento de imágenes.

40 En la etapa 92, se predice el cambio de velocidad o altitud requerido para la aeronave de levantamiento, por ejemplo según el diagrama de flujo 54 mostrado en la figura 6, y en la etapa 94, el modificador de parámetros de cámara 17 realiza una determinación en cuanto a si es posible una modificación de la tasa de captura de imágenes con el fin de mantener al menos sustancialmente la eficiencia de levantamiento. Si es así, entonces se modifica la velocidad de captura de imágenes 96 para compensar cambios en la velocidad o altitud de aeronave. Si no es así, entonces se modifican otros parámetros de cámara, en este ejemplo la velocidad de barrido o la amplitud de barrido del conjunto de cámara 41.

Como alternativa, pueden modificarse tanto la velocidad de captura de imágenes como al menos otro parámetro de cámara 96 para compensar cambios en la velocidad o altitud de aeronave.

50 Con una aeronave de levantamiento dotada de un sistema de cámara que incluye un conjunto de cámara dispuesto para barrer transversalmente a medida que se capturan imágenes, si se reduce o se aumenta la amplitud de barrido en respuesta a un cambio en parámetros de navegación de la aeronave de levantamiento, esto puede dar como resultado una cobertura de imágenes capturadas asimétrica. Con el fin de compensar esto, el sistema puede estar dispuesto para aumentar la amplitud de barrido en la siguiente línea de vuelo en una ubicación correspondiente a la reducción de amplitud de barrido, o pueden ajustarse separaciones de líneas de vuelo posteriores para garantizar que existe una superposición mínima deseada.

55 En un ejemplo alternativo, en vez de velocidad, la altitud de la aeronave de levantamiento se aumenta o disminuye

5 en respuesta a una situación de LOS prevista. Si se aumenta la altitud, la resolución efectiva de imágenes capturadas disminuye y la superposición entre imágenes adyacentes aumenta. Con el fin de mantener las superposiciones de imágenes sustancialmente iguales, el modificador de parámetros de cámara 17 puede reducir la velocidad de captura de imágenes y/o reducir el tiempo de barrido (si el conjunto de cámara está dispuesto para barrer transversalmente a medida que se capturan imágenes). Opcionalmente, también puede aumentarse la velocidad de vuelo de modo que la cámara funcione a la velocidad óptima.

10 Si se disminuye la altitud, la resolución efectiva de imágenes capturadas aumenta y la superposición entre imágenes adyacentes disminuye. Con el fin de mantener las superposiciones de imágenes sustancialmente iguales, el modificador de parámetros de cámara 17 puede aumentar la velocidad de captura de imágenes y/o aumentar el tiempo de barrido (si el conjunto de cámara está dispuesto para barrer transversalmente a medida que se capturan imágenes).

15 En un ejemplo alternativo adicional, si en vez de modificar la velocidad y/o altitud de aeronave de levantamiento para compensar una situación de LOS predicha, se modifica el rumbo de aeronave, entonces, si es posible, pueden realizarse modificaciones apropiadas en parámetros de sistema de cámara para compensar al menos parcialmente el efecto sobre la eficiencia de levantamiento Debido al cambio en la dirección de aeronave de levantamiento.

Por ejemplo, en respuesta a un cambio en la dirección de aeronave, el sistema de cámara puede controlarse para moverse en una zona explorada asimétrica, o aumentar la amplitud de barrido, con el fin de mantener la superposición lateral entre imágenes adyacentes, o puede reducirse la velocidad de aeronave con el fin de proporcionar un tiempo de exploración aumentado.

20 En un ejemplo particular, un sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo se monta en una aeronave de levantamiento. El sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo incluye un sistema de cámara montado en una parte de lado inferior de la aeronave y dispuesto de modo que un campo de visión de al menos una cámara de armazón fijo se extiende hacia abajo de la aeronave hacia el terreno. El conjunto de cámara incluye compensación óptica de trayecto hacia delante que compensa al menos parcialmente el movimiento de la aeronave durante la captura de imágenes, por ejemplo un espejo dispuesto para rotar alrededor de un eje transversal a una velocidad correspondiente a la velocidad de la aeronave.

25 En este ejemplo, la longitud focal de cada cámara de armazón fijo es de 300 mm, y se toman imágenes de 12.000 x 12.000 píxeles con una superposición hacia delante del 80 % y una superposición lateral del 65 % durante el funcionamiento normal. El campo de visión de trayecto longitudinal de una cobertura de imagen de cada cámara es de 11,421°.

En este ejemplo, cada cámara está esencialmente fijada ya que no está dispuesta para moverse a medida que se capturan imágenes, por ejemplo la cámara no barre transversalmente a medida que se capturan imágenes, y la aeronave vuela a una altitud de 15.000 pies (4,572 km).

35 La relación entre el tiempo de ciclo de cámara (la tasa de disparos de cámara), la velocidad de aeronave y el % de superposición hacia delante se determina según la siguiente fórmula:

$$T_{\text{ciclo}} = 2 * \text{TAN} \left(\frac{\text{FoV}}{2} \right) * A * \frac{1 - O}{V} \quad (1)$$

donde T_{ciclo} es la tasa de disparos de cámara en segundos, FoV es el campo de visión de trayecto longitudinal de una cobertura de imagen en grados, A es la altitud de la aeronave en metros, y O es la superposición hacia delante (%) de imágenes capturadas adyacentes.

40 Usando esta fórmula, puede observarse que a una velocidad de aeronave de 150 ktas (77,167 m/s), la tasa de disparos de cámara requerida para una superposición de imágenes hacia delante del 80 % es de 2,37 s; a una velocidad de aeronave de 200 ktas (102,89 m/s), la tasa de disparos de cámara requerida para una superposición de imágenes hacia delante del 80 % es de 1,78 s; y a una velocidad de aeronave de 250 ktas (128,61 m/s), la tasa de disparos de cámara requerida para una superposición de imágenes hacia delante del 80% es de 1,42 s.

45 Por tanto, usando la fórmula anterior, y basándose en una superposición objetivo definida entre imágenes de trayecto longitudinal capturadas adyacentes, es posible mantener sustancialmente la superposición de trayecto longitudinal modificando la tasa de disparos de cámara en respuesta a una modificación de la velocidad de aeronave.

50 En un ejemplo adicional, un sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo incluye un sistema de cámara montado en una parte de lado inferior de la aeronave y dispuesto de modo que un campo de visión de al menos una cámara se extiende hacia abajo de la aeronave hacia el terreno. El conjunto de cámara incluye compensación óptica de trayecto hacia delante que compensa al menos parcialmente el movimiento de la aeronave durante la captura de imágenes, por ejemplo un espejo dispuesto para rotar alrededor de un eje transversal a una velocidad correspondiente a la velocidad de la aeronave. El conjunto de cámara también está dispuesto para explorar en trayecto transversal para capturar múltiples imágenes en una dirección transversal a medida que la aeronave se

desplaza hacia delante.

La relación entre el número de disparos realizados en trayecto transversal en cada exploración, el tiempo de ciclo de cámara (la tasa de disparos de cámara), el tiempo de etapa entre posiciones de disparo en milisegundos y el tiempo de permanencia para exposición en cada posición de disparo en milisegundos se determina según la siguiente fórmula:

5

$$N_{\text{disparos}} = \text{FLOOR} \left(T_{\text{ciclo}} * \frac{100}{T_{\text{etapa}} + T_{\text{permanencia}}} \right)$$

donde T_{ciclo} es la tasa de disparos de cámara en segundos, N_{disparos} es el número de disparos en cada exploración de trayecto transversal, T_{etapa} es el tiempo de etapa entre posiciones de disparo, y $T_{\text{permanencia}}$ es el tiempo de permanencia para la exposición en cada posición de disparo.

10 Usando la fórmula (1) anterior, puede observarse que, a una velocidad de aeronave de 150 ktas (77,167 m/s), la tasa de disparos de cámara requerida para una superposición de imágenes hacia delante del 80 % es de 2,37 s. Basándose en un T_{etapa} mínimo (que limita la velocidad, aceleración o sacudidas en el sistema de exploración) de 50 ms y un $T_{\text{permanencia}}$ mínimo (basándose en el tiempo de obturación/exposición, y cualquier tiempo requerido para que el sistema se "asiente" tras una etapa) de 25 ms, y usando la fórmula (2) anterior, deben realizarse 31 disparos en
15 trayecto transversal.

De manera similar, a una velocidad de aeronave de 200 ktas (102,89 m/s), la tasa de disparos de cámara requerida para una superposición de imágenes hacia delante del 80 % es de 1,78 s. Basándose en un T_{etapa} mínimo de 50 ms y un $T_{\text{permanencia}}$ mínimo de 25 ms, y usando la fórmula (2) anterior, deben realizarse 23 disparos en trayecto transversal.

20 De manera similar, a una velocidad de aeronave de 250 ktas (128,61 m/s), la tasa de disparos de cámara requerida para una superposición de imágenes hacia delante del 80 % es de 1,42 s. Basándose en un T_{etapa} mínimo de 50 ms y un $T_{\text{permanencia}}$ mínimo de 25 ms, y usando la fórmula (2) anterior, deben realizarse 18 en trayecto transversal.

25 Por consiguiente, una aeronave de levantamiento puede funcionar a una velocidad de crucero de 200 ktas (para un uso de combustible mínimo), realizando 23 disparos en trayecto transversal. Si es necesario aumentar la velocidad de la aeronave con el fin de evitar una situación de LOS, por ejemplo hasta 250 ktas, se reduce el número de disparos realizados en este ejemplo hasta 18. También puede desviarse ligeramente la dirección de exploración a un lado para mantener la superposición con las imágenes capturadas existentes.

30 En la siguiente línea de vuelo, en una ubicación correspondiente a la ubicación en la que se redujo el número de disparos realizados, puede reducirse la velocidad de aeronave hasta 150 ktas y aumentarse el número de disparos realizados en trayecto transversal hasta 31, también desviados a un lado. De esta manera, se proporciona un grado de compensación con el fin de mantener una superposición y cobertura deseadas, sin tener que ajustar las líneas de vuelo o volver a volar por una línea.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo (10) para una aeronave de levantamiento que puede hacerse navegar usando parámetros de navegación que incluyen altitud, velocidad y dirección, comprendiendo el sistema:

5 un sistema de cámara (19) dispuesto para capturar imágenes sucesivas de terreno por debajo de una aeronave de levantamiento (42) a medida que la aeronave de levantamiento se desplaza en una trayectoria de vuelo definida;

10 teniendo el sistema de cámara (19) parámetros de cámara asociados indicativos de características de captura de imágenes del sistema de cámara (19) incluyendo superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas;

siendo la trayectoria de vuelo definida y los parámetros de cámara de tal manera que se obtienen múltiples imágenes suficientes de características del terreno de modo que puede llevarse a cabo un procedimiento de ajuste de paquetes con las imágenes de terreno y producirse una solución fotogramétrica basándose en las imágenes;

15 caracterizado porque el sistema de captura de imágenes de levantamiento aéreo (10) comprende:

un sistema de evitación de pérdida de separación (LOS) (12) para una aeronave de levantamiento (42);

estando el sistema de evitación de LOS (12) dispuesto para:

20 recibir información indicativa de la ubicación (30) y el movimiento (32) de la aeronave de levantamiento y para recibir información indicativa de la ubicación (22) y el movimiento (24) de una aeronave cercana (46) en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento (42);

determinar una distancia predicha de punto de máximo acercamiento (CPA) entre la aeronave de levantamiento (42) y la aeronave cercana (46) basándose en la información recibida indicativa de la ubicación (30) y el movimiento (32) de la aeronave de levantamiento (42) y la información indicativa de la ubicación (22) y el movimiento (24) de la aeronave cercana (46);

25 comparar la distancia de CPA con una distancia de separación mínima definida correspondiente a una pérdida de separación (LOS); y

determinar una estimación de al menos un parámetro de navegación de la aeronave de levantamiento que se requiere para que la distancia de CPA permanezca por encima de la distancia de separación mínima definida; y

30 un modificador de parámetros de cámara (17) dispuesto para producir parámetros de sistema de cámara modificados en respuesta al, al menos un, parámetro de navegación estimado, modificando los parámetros de sistema de cámara modificados características de captura de imágenes por el sistema de cámara (19) para mantener sustancialmente la superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas y de ese modo compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento (42) sin modificar la trayectoria de vuelo definida.

35 2. Un sistema (10) según la reivindicación 1, caracterizado porque el modificador de parámetros de cámara (17) comprende un controlador de captura de imágenes (39) dispuesto para controlar la tasa de captura de imágenes por el sistema de cámara (19) para compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento (42).

40 3. Un sistema (10) según la reivindicación 2, caracterizado porque el sistema (10) comprende un calculador de tasa de captura de imágenes (37) dispuesto para calcular la tasa de captura de imágenes requerida con el fin de compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento (42), estando el calculador de tasa de captura de imágenes (37) dispuesto para proporcionar al controlador de captura de imágenes (39) la tasa de captura de imágenes requerida calculada, en el que el calculador de tasa de captura de imágenes (37) está dispuesto para calcular la tasa de captura de imágenes usando la siguiente fórmula:

50
$$T_{\text{ciclo}} = 2 * \text{TAN} \left(\frac{\text{FoV}}{2} \right) * A * \frac{1 - 0}{V}$$

donde T_{ciclo} es la tasa de captura de imágenes en segundos, FoV es el campo de visión de trayecto longitudinal de una cobertura de imagen en grados, A es la altitud de la aeronave de levantamiento (42) en

metros, O es la superposición hacia delante (%) de imágenes capturadas adyacentes, y V es la velocidad de la aeronave de levantamiento (42).

4. Un sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el modificador de parámetros de cámara (17) comprende un controlador de movimiento de cámara (40) dispuesto para controlar características de movimiento del sistema de cámara (10) para compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento (42).
5. Un sistema (10) según la reivindicación 4, caracterizado porque el sistema de cámara (10) incluye un conjunto de cámara (41) dispuesto para barrer a medida que se capturan imágenes, y el controlador de movimiento de cámara (40) está dispuesto para aumentar o reducir la tasa de barrido o la amplitud de barrido del conjunto de cámara (41) para mantener sustancialmente la superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas adyacentes cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento (42).
6. Un sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la estimación para el al menos un parámetro de navegación de la aeronave de levantamiento (10) que se requiere para que la distancia de CPA permanezca por encima de la distancia de separación mínima definida se determina en una ubicación en tierra y se comunica de manera inalámbrica a la aeronave de levantamiento (42).
7. Un sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el sistema (10) está dispuesto para calcular el tiempo hasta la distancia de punto de máximo acercamiento (CPA) basándose en la información indicativa de la ubicación (30) y el movimiento (32) de la aeronave cercana (46) y la información indicativa de la ubicación (22) y el movimiento (24) de la aeronave de levantamiento (42), y el sistema está dispuesto para calcular la distancia de punto de máximo acercamiento (CPA) usando el tiempo calculado hasta la distancia de punto de máximo acercamiento (CPA).
8. Un sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el sistema (10) está dispuesto para visualizar en la aeronave de levantamiento (42) o producir información audible indicativa de al menos un parámetro de navegación de la aeronave de levantamiento que se requiere para que la distancia de CPA permanezca por encima de la distancia de separación mínima definida.
9. Un sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el al menos un parámetro de navegación incluye la velocidad de desplazamiento de la aeronave de levantamiento y/o la altitud de la aeronave de levantamiento (42).
10. Un sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1, caracterizado porque el sistema está dispuesto para determinar si la aeronave de levantamiento (42) y la aeronave cercana (46) están a altitudes diferentes que convergen hacia la misma altitud y, si es así, el sistema (10) está dispuesto para calcular las altitudes predichas de la aeronave de levantamiento (42) y la aeronave cercana (46) a la distancia de CPA; y
en el que si la altitud de la aeronave de levantamiento (42) a la distancia de CPA y la altitud de la aeronave cercana a la distancia de CPA no son sustancialmente la misma, el sistema (10) está dispuesto de tal manera que no se determina una estimación de la velocidad y/o dirección de desplazamiento de la aeronave de levantamiento (42).
11. Un método de captura de imágenes de levantamiento aéreo en una aeronave de levantamiento (42) que puede hacerse navegar usando parámetros de navegación que incluyen altitud, velocidad y dirección, comprendiendo el método:
capturar imágenes sucesivas de terreno por debajo de una aeronave de levantamiento a medida que la aeronave de levantamiento (42) se desplaza en una trayectoria de vuelo definida usando un sistema de cámara (19), teniendo el sistema de cámara parámetros de cámara asociados indicativos de características de captura de imágenes del sistema de cámara (19) incluyendo superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas, siendo la trayectoria de vuelo definida y los parámetros de cámara de tal manera que se obtienen múltiples imágenes suficientes de características del terreno de modo que puede llevarse a cabo un procedimiento de ajuste de paquetes con las imágenes de terreno y producirse una solución fotogramétrica basándose en las imágenes;
recibir información indicativa de la ubicación (30) y el movimiento (32) de la aeronave de levantamiento (42);
caracterizado porque el método comprende:
recibir información indicativa de la ubicación (22) y el movimiento (24) de una aeronave cercana (46) en las inmediaciones de la aeronave de levantamiento (42);

- determinar (74) una distancia predicha de punto de máximo acercamiento (CPA) entre la aeronave de levantamiento (42) y la aeronave cercana (46) basándose en la información recibida indicativa de la ubicación (30) y el movimiento (32) de la aeronave de levantamiento (42) y la información indicativa de la ubicación (22) y el movimiento (24) de la aeronave cercana (46);
- 5 comparar (76) la distancia de CPA con una distancia de separación mínima definida correspondiente a una pérdida de separación (LOS);
- si la distancia de CPA es menor que la distancia de separación mínima definida, determinar (78) una estimación de al menos un parámetro de navegación de la aeronave de levantamiento (42) que se requiere para que la distancia de CPA permanezca por encima de la distancia de separación mínima definida;
- 10 producir (96, 98) parámetros de sistema de cámara modificados en respuesta al, al menos un, parámetro de navegación estimado, modificando los parámetros de sistema de cámara modificados características de captura de imágenes por el sistema de cámara (10) para mantener sustancialmente la superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas y de ese modo compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para
- 15 navegar la aeronave de levantamiento (42) sin modificar la trayectoria de vuelo definida.
12. Un método según la reivindicación 11, caracterizado porque el método comprende controlar (96) la tasa de captura de imágenes por el sistema de cámara (19) para compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento (42).
- 20 13. Un método según la reivindicación 11 o la reivindicación 12, caracterizado porque el método comprende controlar (98) características de movimiento del sistema de cámara (19) para compensar al menos parcialmente un cambio en la eficiencia de levantamiento cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento (42).
- 25 14. Un método según la reivindicación 13, caracterizado porque el método comprende barrer un conjunto de cámara a medida que se capturan imágenes, y aumentar o reducir la tasa de barrido o la amplitud de barrido del conjunto de cámara para mantener sustancialmente la superposición de imágenes definida entre imágenes capturadas adyacentes cuando se usa el al menos un parámetro de navegación estimado para navegar la aeronave de levantamiento (42).
- 30 15. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizado porque el método comprende calcular (60) el tiempo hasta la distancia de punto de máximo acercamiento (CPA) basándose en la información indicativa de la ubicación (22) y el movimiento (24) de la aeronave cercana (46) y la información indicativa de la ubicación (30) y el movimiento (32) de la aeronave de levantamiento (42), y calcular la distancia de punto de máximo acercamiento (CPA) usando el tiempo calculado hasta la distancia de punto de máximo acercamiento (CPA).
- 35 16. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, caracterizado porque el al menos un parámetro de navegación incluye la velocidad de desplazamiento de la aeronave de levantamiento (42) y/o la altitud de la aeronave de levantamiento (42).
17. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, caracterizado porque el método comprende:
- 40 determinar (62, 64) si la aeronave de levantamiento (42) y la aeronave cercana (46) están a altitudes diferentes que convergen hacia la misma altitud y, si es así, calcular (70) las altitudes predichas de la aeronave de levantamiento y la aeronave cercana a la distancia de CPA; y
- 45 determinar una estimación de la velocidad y/o dirección de desplazamiento de la aeronave de levantamiento (42) si la altitud de la aeronave de levantamiento (42) a la distancia de CPA y la altitud de la aeronave cercana (46) a la distancia de CPA no son sustancialmente la misma.

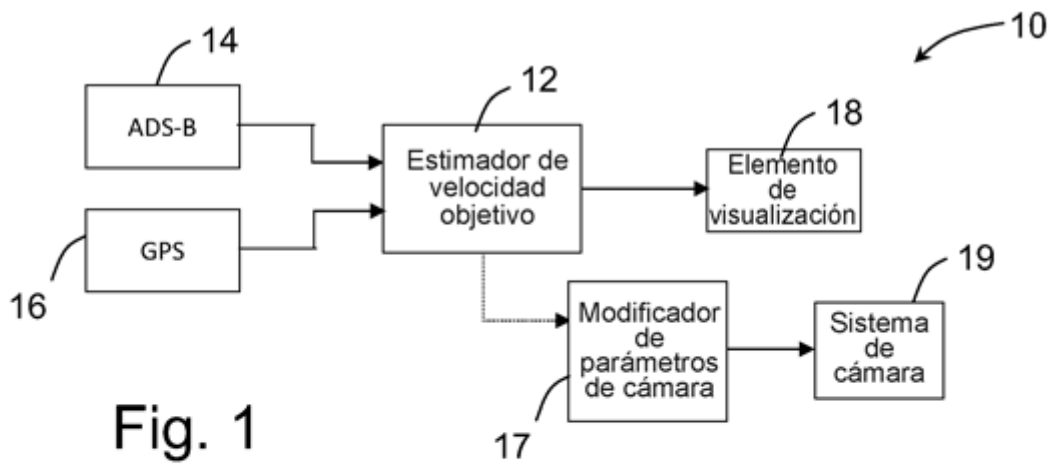


Fig. 1

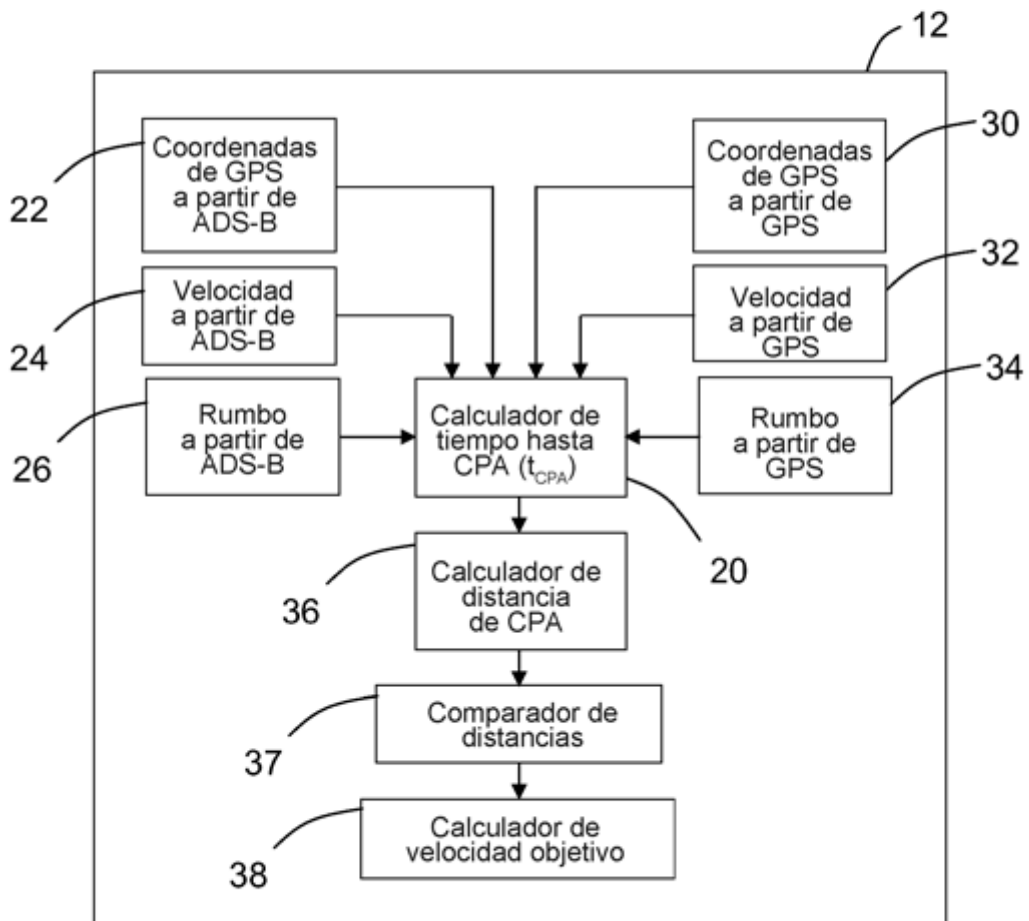


Fig. 2

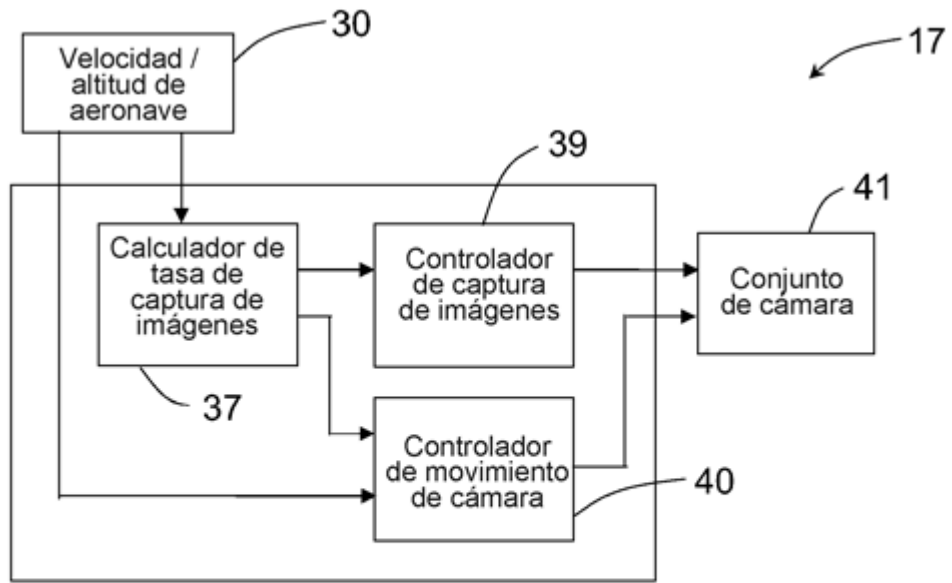


Fig. 3

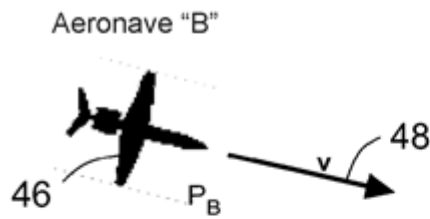
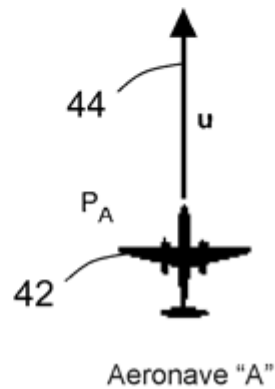


Fig. 4



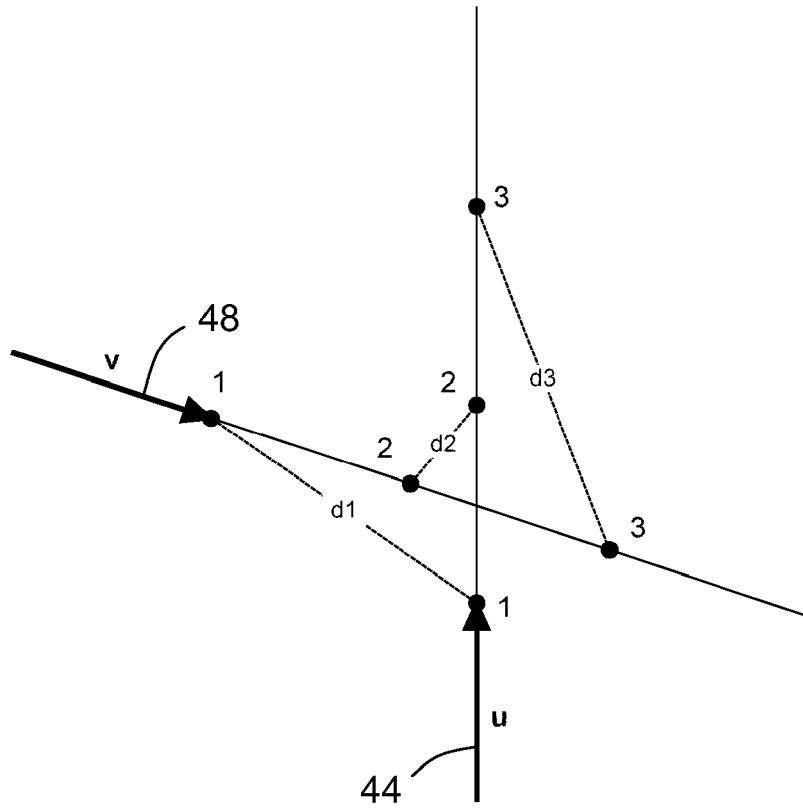


Fig. 5

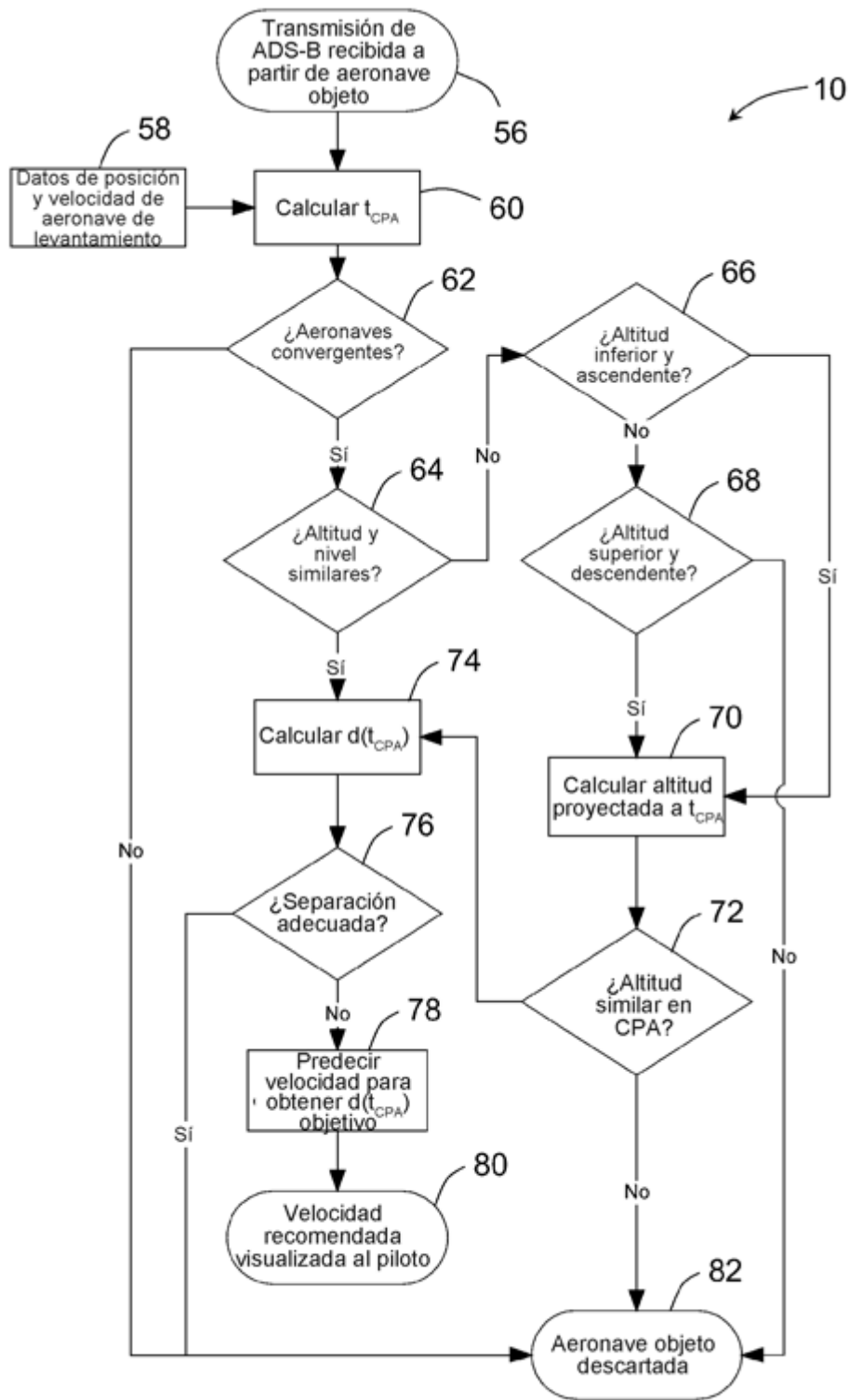


Fig. 6

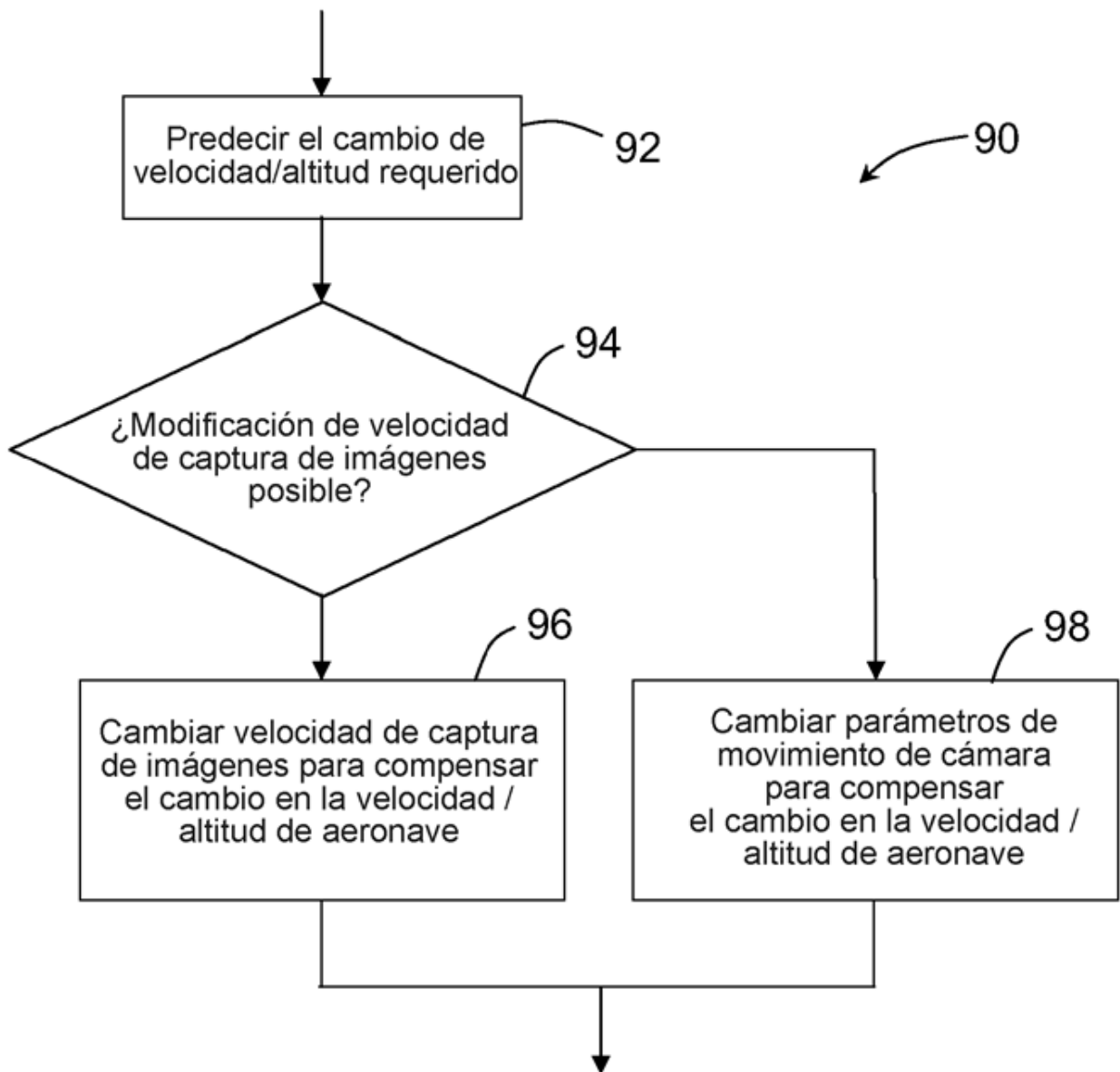


Fig. 7