

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 409 210**

51 Int. Cl.:

**G01S 11/12** (2006.01)

**G05D 1/10** (2006.01)

**G08G 5/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2008 E 08168902 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2013 EP 2187233**

54 Título: **Dispositivo de estimación de distancia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.06.2013**

73 Titular/es:

**SAAB AB (100.0%)  
581 88 Linköping, SE**

72 Inventor/es:

**MOLANDER, SÖREN;  
PETRINI, ERIK y  
SUNDQVIST, BENGT-GÖRAN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 409 210 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

Dispositivo de estimación de distancia

**Campo técnico**

5 La invención versa, en general, acerca de un dispositivo de estimación de distancia y, en particular, acerca de un dispositivo de estimación de distancia según el preámbulo de la reivindicación 1. La invención también versa acerca de un sistema anticolidión y acerca de una plataforma aérea que comprende el dispositivo de estimación de distancia.

10 La invención versa, además, acerca de un procedimiento para ser utilizado en un dispositivo de estimación de distancia según el preámbulo de la reivindicación 14, y acerca de un producto de programa de ordenador según el preámbulo de la reivindicación 21.

**Antecedentes**

15 El espacio aéreo disponible utilizado tanto por aeronaves civiles como militares en la actualidad está cada vez más atestado cada año. Como resultado, existe la necesidad inminente de sistemas automáticos de a bordo capaces de detectar posibles amenazas de colisión y de permitir la maniobra de la aeronave alejándose de tales amenazas de colisión en el aire. Tales sistemas automáticos de a bordo son denominados, en general, sistemas anticolidión, y son especialmente vitales para aeronaves autónomas, tales como, por ejemplo, vehículos aéreos no tripulados (UAV) en los que no hay piloto a bordo.

20 Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) dependen de su sistema anticolidión para detectar posibles amenazas de colisión para que el sistema pueda calcular una trayectoria óptima de escape, y maniobrar en consecuencia la plataforma aérea autónoma, alejándola de la posible amenaza de colisión. El documento US 6.510.388 describe un sistema para la evitación de colisiones entre vehículos. El sistema puede calcular y almacenar una trayectoria de maniobra para un vehículo, que el vehículo está obligado a seguir si una comparación muestra que la trayectoria de maniobra de evasión de un vehículo en cualquier momento durante su lapso calculado está ubicada a una distancia de otros vehículos que es menor que una distancia mínima estipulada.

25 Un sistema anticolidión puede estar basado en sensores pasivos montados en la aeronave, tales como, por ejemplo, una cámara de vídeo. Las ventajas de utilizar una cámara de vídeo son numerosas, tales como, por ejemplo, la posibilidad de conseguir números elevados de fotogramas por segundo, una resolución muy alta, y una sensibilidad que es similar a la del ojo humano, o mejor que la del mismo. Al utilizar una cámara de vídeo pasiva es posible conseguir un seguimiento de blancos que es denominado "seguimiento solo de rumbo". Esto es debido a que el rumbo de un blanco es recuperable de las salidas de la cámara de vídeo pasiva. Se puede calcular a partir del rumbo un valor de "tiempo restante", o valor TTG. El valor de TTG puede informar al sistema anticolidión del tiempo restante mínimo hasta que se pueda alcanzar el blanco detectado. Entonces, se puede utilizar el valor de TTG para calcular una trayectoria de escape. Por desgracia, a menudo el resultado de tales cálculos es impreciso y aproximado.

35 O. Shakeria, W. Chen y V.M. Raska, en "Passive ranging for UAV Sense and Avoid Applications", AIAA-2005-7179-978, investigan la viabilidad de estimar la distancia y velocidad de otro tráfico aéreo al llevar a cabo una pequeña maniobra de la propia aeronave.

**Resumen**

40 Un problema acerca del que versa la invención es cómo conseguir las estimaciones de distancia hasta un blanco a partir de entradas de un sensor pasivo que sean precisas y fiables.

45 Este problema es abordado por un dispositivo de estimación de distancia para ser utilizado en una plataforma aérea que comprende al menos un sensor pasivo, una unidad de determinación de la trayectoria y un sistema de control, comprendiendo dicho dispositivo de estimación de distancia una unidad de control dispuesta para indicar a dicho sistema de control que ejecute una maniobra de la propia aeronave de dicha plataforma aérea, de forma que las características de medición de los sensores pasivos desde dicho al menos un sensor pasivo permiten que se determine una estimación de distancia hasta un blanco; caracterizado porque la unidad de control está dispuesta, además, para determinar las características de dicha maniobra de la propia aeronave en base a estimaciones de distancia de incertidumbre hasta dicho blanco.

50 El problema también es abordado por medio de un procedimiento para ser utilizado en un dispositivo de estimación de distancia en una plataforma aérea que comprende al menos un sensor pasivo, una unidad de determinación de la trayectoria y un sistema de control, en el que dicho dispositivo de estimación de distancia comprende una unidad de control dispuesta para llevar a cabo la etapa de: indicar a dicho sistema de control que ejecute una maniobra de la propia aeronave de dicha plataforma aérea, de forma que las características de las mediciones de los sensores pasivos desde dicho al menos un sensor pasivo permitan que se determine una estimación de distancia hasta un blanco; caracterizándose dicho procedimiento por la etapa de: determinar las características de dicha maniobra de la

propia aeronave de una plataforma aérea en base a estimaciones de distancia de incertidumbre de dicha estimación de distancia hasta dicho blanco.

5 El problema es abordado, además, por medio de un producto de programa de ordenador para ser utilizado en un dispositivo de estimación de distancia, en el que dicho dispositivo de estimación de distancia comprende un medio de código legible por un ordenador, que cuando es ejecutado en una unidad de control en dicho dispositivo de estimación de distancia hace que dicho dispositivo de estimación de distancia lleve a cabo la etapa de: determinar las características de la maniobra de la propia aeronave de una plataforma aérea en base a estimaciones de distancia de incertidumbre hasta un blanco.

10 Al hacer que la plataforma aérea ejecute una maniobra de la propia aeronave, el dispositivo de estimación de distancia puede conseguir estimaciones de distancia y estimaciones de distancia de incertidumbre asociadas hasta un blanco a partir de las entradas de sensores pasivos. Sin embargo, al utilizar las estimaciones de distancia de incertidumbre para determinar las características de la maniobra de la propia aeronave de la plataforma aérea, el dispositivo de estimación de distancia según la invención puede proporcionar estimaciones más precisas y fiables de distancia, por ejemplo, en un sistema anticolidión. Esto es debido a que la maniobra de la propia aeronave generará mejores condiciones para determinar estimaciones de distancia.

15 Una ventaja de la invención descrita anteriormente es que al proporcionar estimaciones más precisas y fiables de distancia y, por lo tanto, valores más precisos de TTG, que permiten ambos subsiguientemente un cálculo tanto de la posición como de la velocidad del blanco detectado, se mejora significativamente la determinación de una trayectoria adecuada de escape y un punto en el tiempo para activar un procedimiento de evasión para evitar una colisión en el aire en un sistema anticolidión. Esto reduce el riesgo de que la plataforma aérea tenga que ejecutar maniobras de pánico.

Otra ventaja de la invención descrita anteriormente es que utiliza sensores pasivos ya incorporados en la plataforma aérea y utilizados por el sistema anticolidión. Esto consigue una solución no costosa que no requiere equipos adicionales costosos y pesados.

25 Una ventaja adicional de la invención descrita anteriormente es que puede ser utilizada como un sistema de reserva en una plataforma aérea equipada con un transpondedor en el caso de un fallo del transpondedor.

30 El dispositivo de estimación de distancia puede comprender una unidad de control dispuesta, además, para indicar al sistema de control, si la estimación de distancia de incertidumbre se encuentra por encima de un nivel predeterminado de aceptación de la distancia de incertidumbre, para ejecutar una maniobra continua a ralentí de la propia aeronave de la plataforma aérea en la que se ejecutan maniobras más grades laterales y/o de ascensión-descenso, en la que se pueden combinar dichas maniobras más grades laterales y/o de ascensión-descenso con un movimiento de balanceo y/o se entrelazan con un movimiento de giro en picado. Se pueden ejecutar las maniobras más grades laterales y/o de ascensión-descenso utilizando los modos lateral y/o longitudinal de vuelo básico de la plataforma aérea. Estas características pueden proporcionar la ventaja de proporcionar estimaciones precisas y fiables de distancia sin tener que ejecutar ninguna maniobra inmediata o repentina de la propia aeronave.

35 Además, el dispositivo de estimación de distancia puede comprender una unidad de control dispuesta para indicar al sistema de control, si la estimación de distancia de incertidumbre se encuentra por encima de un nivel predeterminado de aceptación de la distancia de incertidumbre y si la velocidad de cambio de la estimación de distancia de incertidumbre se encuentra por debajo de un nivel aceptable predeterminado para la velocidad de cambio, de que se debería aumentar la aceleración del movimiento de dicha maniobra continua a ralentí de la propia aeronave de la plataforma aérea. El aumento puede ser indicado por la unidad de control hasta que la estimación de distancia de incertidumbre se encuentre por debajo del nivel predeterminado de aceptación de la distancia de incertidumbre; y/o la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre se encuentre por encima del nivel aceptable predeterminado para la velocidad de cambio; y/o se alcance un valor límite de la aceleración del movimiento de dicha maniobra a ralentí de la propia aeronave. De forma ventajosa, esto puede proporcionar una forma fácil y sencilla para proporcionar estimaciones precisas y fiables de distancia sin tener que llevar a cabo ninguna maniobra inmediata o repentina de la propia aeronave.

40 Además, el valor límite puede ser el valor máximo de la aceleración del movimiento, de forma que se sigue manteniendo el blanco en el campo de estimación (FOR) del al menos un sensor pasivo, y también puede ser una base a las limitaciones de la capacidad de maniobra del sistema de control y de las molestas limitaciones establecidas por el control del tráfico aéreo (ATC).

45 Preferentemente, el dispositivo de estimación de distancia también puede comprender una unidad de control dispuesta para indicar al sistema de control, si la distancia de incertidumbre se encuentra por encima de un nivel predeterminado de aceptación de la distancia de incertidumbre, para ejecutar una maniobra de la propia aeronave de la plataforma aérea que produce una aceleración cinemática significativa de la plataforma aérea. De forma ventajosa, esto puede proporcionar una forma rápida y beneficiosa de proporcionar estimaciones precisas y fiables de distancia.

Preferentemente, la unidad de control puede estar dispuesta, además, para indicar al sistema de control que ejecute la aceleración cinemática significativa de la maniobra de la propia aeronave, de forma que el blanco permanece en el área cubierta por el FOR del al menos un sensor pasivo. Esto garantiza, de forma ventajosa, que no se pierda de vista un blanco durante la maniobra de la propia aeronave.

- 5 Además, el dispositivo de estimación de distancia puede comprender un sistema de coordenadas fijas de la propia aeronave con referencia a la tierra, tal como, un sistema de coordenadas norte-este-abajo (NED), que determina un ángulo azimutal, un ángulo de elevación y un vector de línea visual (LOS) hasta el blanco a partir de las mediciones de los sensores pasivos, y la unidad de control puede estar dispuesta para indicar al sistema de control que ejecute la aceleración cinemática significativa de la maniobra de la propia aeronave sustancialmente en una dirección negativa de las velocidades de cambio angulares azimutal y de elevación, cuando son proyectadas sobre un plano que tiene el vector de LOS hasta el blanco como una normal, cuando el blanco se encuentra en un sector orientado hacia delante del FOR del al menos un sensor pasivo.

- 15 Preferentemente, el dispositivo de estimación de distancia puede comprender una unidad de control que está dispuesta, además, para indicar al sistema de control que gire la aceleración cinemática significativa de la maniobra de la propia aeronave, de forma que sea paralela a los límites superior e inferior del FOR del al menos un sensor pasivo, si la aceleración significativa del movimiento de la maniobra de la propia aeronave hace que el blanco salga del FOR del al menos un sensor pasivo. Además, la unidad de control puede estar dispuesta para indicar al sistema de control que ejecute la aceleración significativa del movimiento de la maniobra de la propia aeronave, de forma que si el blanco se encuentra en proximidad estrecha a la plataforma aérea, no se aumenta el riesgo de colisión con el blanco.

El problema también es abordado por medio de un sistema anticolidión que comprende un dispositivo de estimación de distancia según lo anterior. El problema es abordado, además, por medio de una plataforma aérea que comprende un dispositivo de estimación de distancia y/o un sistema anticolidión según lo anterior.

- 25 Se definen realizaciones ventajosas adicionales del dispositivo de estimación de distancia, del procedimiento, y del producto de programa de ordenador en las reivindicaciones dependientes, que describen, de forma correspondiente, realizaciones ventajosas adicionales de la invención.

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

A continuación se describirá la invención con más detalle, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- La Fig. 1 es una ilustración de un escenario de evasión de una colisión en el aire.
- 30 La Fig. 2 muestra un dispositivo de estimación de distancia según una realización ejemplar de la invención.
- Las Figuras 3a y 3b son ilustraciones de una trayectoria de vuelo de una plataforma aérea que comprende un dispositivo de estimación de distancia según las realizaciones ejemplares de la invención.
- La Fig. 4 es una ilustración de una simulación de una plataforma aérea que comprende un dispositivo de estimación de distancia según una realización ejemplar de la invención.
- 35 La Fig. 5 es un esquema de simulación de mediciones obtenidas en la simulación de la Fig. 4.
- La Fig. 6 es una ilustración ejemplar del campo de estimación de una plataforma aérea.
- La Fig. 7 es una ilustración ejemplar de un sistema de coordenadas norte-este-abajo.
- Las Figuras 8a-b son ilustraciones ejemplares de una plano bidimensional de visión de una plataforma aérea.
- La Fig. 9 ilustra una banda muerta en una plano bidimensional de visión de una plataforma aérea.
- 40 Las Figuras 10a-e muestran ejemplos ilustrativos del desempeño de la invención según una realización ejemplar.
- La Fig. 11 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento según una realización ejemplar de la invención.

### **Descripción**

- 45 La Fig. 1 es una ilustración de un escenario de evasión de una colisión en el aire entre una plataforma aérea 1 y un blanco 3. La plataforma aérea 1 está viajando en ese momento a lo largo de una primera trayectoria 2 y se encuentra en una posición C. El blanco 3 está viajando en ese momento a lo largo de una segunda trayectoria 4 y se encuentra en una posición A. La primera trayectoria 2 de la plataforma aérea 1 y la segunda trayectoria 4 del blanco 3 se intersectan en una posición B. Por ejemplo, la plataforma aérea 1 puede ser un vehículo aéreo tripulado o no tripulado (UAV).

- Con referencia a la Fig. 2, un sistema anticolidión 11 en la plataforma aérea 1 está dispuesto para detectar y seguir el blanco 3 utilizando entradas procedentes de un sensor pasivo, tal como, por ejemplo, una cámara, ubicada en la plataforma aérea 1. A partir de las entradas del sensor pasivo, el sistema anticolidión es capaz de conseguir un seguimiento del blanco detectado 3, que en general es denominado un seguimiento “solo de rumbo”. Esto es debido, en general, a que solo es recuperable el rumbo del blanco detectado a partir de las salidas del sensor pasivo. Aquí, se debe entender que el término “rumbo” comprende tanto el azimut como la elevación con respecto al blanco detectado 3. Se pueden determinar el azimut y la elevación teniendo en cuenta un sistema de coordenadas fijas de la propia aeronave con referencia a la tierra, tal como, por ejemplo, un sistema de coordenadas norte-este-abajo (NED). El sistema de coordenadas NED puede determinar el ángulo azimutal, el ángulo de elevación y un vector de línea visual (LOS) hasta el blanco detectado 3 (véase la Fig. 7). Sin embargo, a partir del rumbo, el sistema anticolidión 11 puede calcular una entidad denominada “tiempo restante”, o TTG. El valor de TTG está definido como la distancia/velocidad de acercamiento y se puede calcular utilizando el cociente entre la velocidad de cambio del rumbo y la aceleración del rumbo. También puede calcularse utilizando técnicas bien establecidas de seguimiento y de estimación, tales como, por ejemplo, filtros de Kalman extendidos, filtros de Kalman sin olor o filtros de partículas.
- Dado que la velocidad de cambio del rumbo con el paso del tiempo es cercana a cero, puede existir un riesgo de una colisión con el blanco detectado 3, por lo que el valor de TTG puede ser una estimación del tiempo restante hasta la posible colisión. De esta forma, se puede utilizar el valor de TTG por medio del sistema anticolidión 11 para determinar el tiempo restante hasta una posible colisión con un blanco detectado. Entonces, se puede utilizar el valor de TTG para calcular una trayectoria 5 de escape para evitar una posible colisión con el blanco detectado 3 en la posición B. Sin embargo, un problema con los sistemas anticolidión que utilizan sensores pasivos según la técnica anterior es que el resultado de estos cálculos descritos anteriormente son, a menudo, imprecisos y aproximados. Esto puede dar lugar, por ejemplo, a que se ejecuten prematuramente trayectorias de escape innecesariamente largas por medio de estos sistemas anticolidión.
- Otro problema general de los sistemas anticolidión que utilizan sensores pasivos según la técnica anterior es que adolecen de una falta de información de distancia, pero también es conocido que se puede obtener esta información de distancia al hacer que la plataforma aérea ejecute una pequeña maniobra de la propia aeronave. Esto es denominado habitualmente determinación pasiva de distancia. Sin embargo, sigue existiendo un problema de cómo conseguir estimaciones de distancia hasta blancos a partir de entradas del sensor pasivo que sean precisas y fiables. Esto puede ser muy importante cuando, por ejemplo, se determina una trayectoria de escape para evitar una colisión en el aire en una plataforma aérea.
- La invención aborda los problemas expuestos anteriormente al proporcionar un dispositivo de estimación de distancia que determina las características de una maniobra de la propia aeronave de una plataforma aérea en base a estimaciones de distancia de incertidumbre hasta un blanco. Esto permite que se consigan estimaciones más precisas y fiables de distancia en un periodo más breve de tiempo en comparación con sistemas convencionales.
- La Fig. 2 muestra un dispositivo 12 de estimación de distancia según una realización ejemplar de la invención implementado en un sistema anticolidión 11 en una plataforma aérea 1. La plataforma aérea 1 comprende, además, al menos un sensor pasivo 13, un sistema 16 de control y una unidad 17 de determinación de la trayectoria. La unidad 17 de determinación de la trayectoria puede caracterizarse como cualquier sistema con la capacidad para proporcionar una estimación precisa de la posición de la plataforma aérea 1 en varios puntos en el tiempo, y puede ser, por ejemplo, un sistema de navegación inercial, un sistema sensor de posicionamiento global o similar.
- El al menos un sensor pasivo 13 puede ser una cámara, una cámara de IR o similar. El al menos un sensor pasivo 13 está ubicado, preferentemente, en la parte frontal de la plataforma aérea 11, y está dispuesto para abarcar una gran área orientada hacia delante de la plataforma aérea 11. Esto también es conocido como el campo de estimación (FOR) de la plataforma aérea 1 (véase la Fig. 6).
- Un FOR o ventana de observación típicos puede ser, por ejemplo, de  $220^\circ \times 30^\circ$ . Se puede decir que el al menos un sensor pasivo 13 forma una parte de la estimación 12 de distancia, del sistema anticolidión 11 y/o de la plataforma aérea 1. Puede estar dispuesto para proporcionar a la estimación 12 de distancia, al sistema anticolidión 11 y/o a la plataforma aérea 1 imágenes de vídeo de alta resolución de la gran área orientada hacia delante de la plataforma aérea 11.
- El sistema anticolidión 11 puede ser un sistema capaz de detectar y de seguir un blanco a partir de las imágenes de vídeo de alta resolución recibidas del al menos un sensor pasivo 12. Esto puede llevarse a cabo en el sistema anticolidión 11 por medio de un filtro 15 de seguimiento del blanco, tal como, por ejemplo, un filtro de Kalman extendido, un filtro de Kalman sin olor, un filtro de partículas o similar. El sistema anticolidión 13 puede estar dispuesto para calcular una trayectoria óptima de escape para evitar una colisión con un blanco detectado 3. Además, puede transmitir información acerca de la trayectoria óptima de escape al sistema 16 de control. Según la realización ejemplar mostrada en la Fig. 2, el filtro 15 de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 11 puede estar dispuesto para proporcionar a la unidad 14 de control en el dispositivo 12 de estimación de distancia estimaciones de distancia y estimaciones de distancia de incertidumbre, como se describe adicionalmente a continuación.

El filtro 15 de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 11 puede estar dispuesto para calcular estimaciones de distancia y estimaciones de distancia de incertidumbre hasta un blanco 3. Entonces, el sistema anticolidión 11 puede utilizar dichas estimaciones de distancia y estimaciones de distancia de incertidumbre en los cálculos de una trayectoria óptima de escape. Como ejemplo sencillo e ilustrativo, las estimaciones de distancia pueden ser realizadas por el filtro de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 11 al calcular, en primer lugar, la diferencia entre la posición de un blanco 3 en una primera imagen de vídeo en una primera ubicación de la plataforma aérea 1 a lo largo de la trayectoria de vuelo determinada por una maniobra de la propia aeronave, y la posición del blanco en una segunda imagen de vídeo en una segunda ubicación de la plataforma aérea 1 a lo largo de dicha trayectoria de vuelo determinada por dicha maniobra de la propia aeronave. Junto con el rumbo hasta el blanco detectado 3 a partir de la primera posición y el rumbo hasta el blanco 3 a partir de la segunda posición combinados con la información correspondiente del historial de aceleración de la plataforma aérea 1 derivada a partir de los datos de posición proporcionados por la unidad 17 de determinación de la trayectoria, se puede utilizar subsiguientemente dicha diferencia posicional calculada del blanco 3 para estimar una distancia  $D$  hasta un blanco detectado 3 utilizando técnicas conocidas de triangulación. Estos pueden ser calculados utilizando técnicas bien establecidas de seguimiento y de estimación, y/o pueden ser utilizados por las mismas, del filtro 15 de seguimiento del blanco descrito anteriormente. Sin embargo, se pueden determinar la precisión y la fiabilidad de estas estimaciones de distancia y estimaciones de distancia de incertidumbre por medio del dispositivo 12 de estimación de distancia, como se describirá con más detalle a continuación.

También debería hacerse notar que cuando se calcula una trayectoria óptima de escape, el sistema anticolidión 11 también puede considerar una gran variedad de restricciones y de limitaciones de vuelo de la plataforma aérea 1, tal como, por ejemplo, las capacidades de maniobra de la plataforma aérea 1 (por ejemplo, velocidades de balanceo, fuerzas  $G$  sostenibles, etc.), el campo de visión del sensor pasivo 13, una evitación de colisiones con el terreno, los objetivos de la misión, molestas limitaciones del ATC, etc. El sistema anticolidión 11 también puede estar dispuesto para utilizar el rumbo de un blanco, la velocidad de cambio del rumbo, el valor de TTG y otros parámetros del estado estimado del blanco en los cálculos de una trayectoria óptima de escape.

El sistema 16 de control controla el vuelo de la plataforma aérea 1. El sistema 16 de control puede estar dispuesto para recibir información procedente del sistema anticolidión 11 que indica una trayectoria óptima de escape para evitar una colisión en el aire con un blanco detectado 3. Entonces, el sistema 14 de control está dispuesto para controlar el vuelo de la plataforma aérea 11 según la trayectoria óptima de escape recibida.

Además, el sistema 14 de control puede estar dispuesto para recibir información procedente de un dispositivo 12 de estimación de distancia que indica al sistema 14 de control que ejecute una maniobra de la propia aeronave. Tras recibir la información procedente del dispositivo 12 de estimación de distancia para ejecutar la maniobra de la propia aeronave, el sistema 14 de control puede estar dispuesto para controlar el vuelo de la plataforma aérea 11 según la maniobra de la propia aeronave. La información acerca de cómo ejecutar la maniobra de la propia aeronave puede estar comprendida en la información de la maniobra de la propia aeronave, por lo que la información de maniobra de la propia aeronave recibida procedente del dispositivo 12 de estimación de distancia puede indicar una maniobra seleccionada de la propia aeronave que va a ser ejecutada por medio del sistema 16 de control.

Aunque se muestra el dispositivo 12 de estimación de distancia según la invención en la Fig. 1 como que forma una parte del sistema anticolidión 11, se debe comprender que el dispositivo 12 de estimación de distancia también puede ser una unidad autónoma y separada. El dispositivo 12 de estimación de distancia puede comprender una unidad 14 de control. La unidad 14 de control puede estar conectada a al menos un sensor pasivo 13 y al sistema 16 de control, y puede estar dispuesta para comunicarse con los mismos. La unidad 14 de control comprende lógica para realizar la funcionalidad del dispositivo 12 de estimación de distancia. Esta funcionalidad puede ser implementada por medio de un soporte lógico o programa de ordenador. La unidad 14 de control también puede comprender un medio de almacenamiento o una unidad de memoria para almacenar el programa de ordenador, y un medio de procesamiento o una unidad de procesamiento, tal como un microprocesador, para ejecutar el programa de ordenador. Cuando se describe, a continuación, que el dispositivo 12 de estimación de distancia lleva a cabo una cierta función se debe comprender que la unidad 14 de control puede utilizar el medio de procesamiento para ejecutar una cierta parte del programa que está almacenado en el medio de almacenamiento para llevar a cabo dicha función.

El dispositivo 12 de estimación de distancia puede estar dispuesto para recibir mediciones del sensor pasivo procedentes del al menos un sensor pasivo 13. Tras detectar un blanco 3 utilizando las mediciones del sensor pasivo, el dispositivo 12 de estimación de distancia puede indicar al sistema 16 de control que ejecute una maniobra de la propia aeronave de la plataforma aérea 1. Siendo tal la maniobra de la propia aeronave que las características de las mediciones del sensor pasivo permiten que se determinen una estimación de distancia y una estimación de distancia de incertidumbre hasta el blanco 3. Estas estimaciones de distancia y estimaciones de distancia de incertidumbre pueden ser determinadas por medio del filtro 15 de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 11, que puede ser implementado, por ejemplo, en la unidad 14 de control en el dispositivo 12 de estimación de distancia o en una unidad independiente, como se muestra en la Fig. 2. Por lo tanto, también se puede decir que el dispositivo 12 de estimación de distancia está dispuesto para determinar estimaciones de distancia y estimaciones de distancia de incertidumbre hasta el blanco 3 utilizando estas mediciones del sensor pasivo.

El dispositivo 12 de estimación de distancia puede estar dispuesto, según las características inventivas de la invención, para proporcionar estimaciones precisas y fiables de distancia al determinar las características de la maniobra de la propia aeronave en base a estimaciones de distancia de incertidumbre hasta el blanco 3. Esto puede realizarse por medio del dispositivo 12 de estimación de distancia al indicar al sistema 16 de control que ejecute la maniobra de la propia aeronave según estas características.

Según un primer aspecto de la invención, el dispositivo 12 de estimación de distancia puede indicar al sistema 16 de control que ejecute una maniobra continua a ralentí de la propia aeronave de la plataforma aérea 1, como se describe a continuación.

Al ejecutar esta maniobra continua a ralentí de la propia aeronave según se detecta un blanco 3, el dispositivo 12 de estimación de distancia puede determinar si se debería ejecutar una maniobra adicional de la propia aeronave para que se proporcionen estimaciones precisas y fiables de distancia, o si ya proporcionan estimaciones precisas y fiables de distancia mediante una maniobra continua a ralentí de la propia aeronave. Esto puede determinarse por medio del dispositivo 12 de estimación de distancia al comprobar la distancia de incertidumbre y la velocidad de cambio de la distancia estimada de incertidumbre mientras se ejecuta la maniobra continua a ralentí de la propia aeronave. Si la distancia de incertidumbre es muy elevada y la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre es demasiado pequeña, entonces se puede ejecutar una maniobra adicional de la propia aeronave. Entonces, puede continuar una maniobra adicional de la propia aeronave hasta que se consiguen buenas estimaciones de distancia, es decir, por ejemplo, la distancia de incertidumbre se encuentra por debajo de un nivel aceptable. Esta maniobra adicional de la propia aeronave puede ser, por ejemplo, la maniobra ejemplar de la propia aeronave descrita a continuación. Entonces, el dispositivo 12 de estimación de distancia puede volver a ejecutar la maniobra continua a ralentí de la propia aeronave.

La maniobra continua a ralentí de la propia aeronave también puede ser ejecutada antes de que se detecte cualquier blanco por medio del filtro 15 de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 11. Esto puede facilitar una maniobra a ralentí de la propia aeronave más eficaz, dado que permite que el dispositivo 12 de estimación de distancia determine más rápidamente si la distancia de incertidumbre y/o la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre se encuentran por debajo de un nivel aceptable o una velocidad aceptable del nivel de cambio, cuando se detecta subsiguientemente un blanco.

Las trayectorias de vuelo mostradas en las Figuras 3a-3b describen características ejemplares de la maniobra continua a ralentí de la propia aeronave que el dispositivo 12 de estimación de distancia puede indicar al sistema 16 de control, de forma que el sistema 16 de control puede controlar, de forma ventajosa, el vuelo de la plataforma aérea 1 para permitir al dispositivo 12 de estimación de distancia, o al filtro 15 de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 11, proporcionar estimaciones precisas y fiables de distancia hasta un blanco detectado 3.

Según la maniobra continua a ralentí ejemplar de la propia aeronave en las Figuras 3a-3b, el sistema 16 de control de la plataforma aérea 1 puede ejecutar una maniobra más grados laterales y/o de ascensión-descenso desde la posición actual C hasta una primera posición  $C_1$  y luego desde la primera posición  $C_1$  hasta una segunda posición  $C_2$ . La maniobra lateral y/o de ascensión-descenso  $C-C_1-C_2$  también puede combinarse con un movimiento de balanceo, y también puede entrelazarse con un movimiento de giro en picado.

Para conseguir la maniobra continua a ralentí ejemplar de la propia aeronave como se muestra en las Figuras 3a-3b, el sistema 16 de control de la plataforma aérea 1 puede utilizar los modos lateral y/o longitudinal dinámicos de vuelo básico de la plataforma aérea. Un movimiento fugoide es, por ejemplo, un movimiento aéreo en el que la plataforma aérea 1 acelera y subsiguientemente asciende, y luego reduce su velocidad y subsiguientemente desciende. La velocidad de la plataforma aérea 1 cambia durante la maniobra (como se indica por medio de flechas más largas y más cortas en la Fig. 3b, respectivamente). Esto se ilustra por medio de la maniobra continua a ralentí ejemplar de la propia aeronave en la Fig. 3b según maniobra el sistema 16 de control de la plataforma aérea 1 la plataforma aérea 1 desde la posición actual C hasta una tercera posición  $C_3$  y luego desde la tercera posición  $C_3$  hasta una cuarta posición  $C_4$ . El movimiento fugoide es uno de los modos longitudinales básicos de dinámica de vuelo de una plataforma aérea 1. De forma alternativa, según otro modo de una plataforma aérea 1 es el modo longitudinal a corto plazo con las características de oscilaciones de cabeceo que implican un movimiento oscilatorio en altitud. Tiene la misma apariencia en la Fig. 3b que el modo fugoide, pero es generalmente más corto e implica menos variación en la velocidad de la plataforma aérea 1. Se puede utilizar similarmente este modo como el modo fugoide para una maniobra longitudinal de la propia aeronave con un periodo más breve de tiempo. Además, y según otro modo adicional, de la plataforma aérea 1 es el modo de balanceo holandés que tiene las características de un movimiento acoplado de balanceo y de cabeceo. Se puede utilizar este modo de forma similar para producir una maniobra de la propia aeronave que combina los movimientos de las Figuras 3a-3b. Convencionalmente, se considera a los modos naturales como un movimiento no deseado, pero natural, de la plataforma aérea 1. Por lo tanto, a menudo son filtrados por medio del sistema 16 de control de la plataforma aérea 1.

La Fig. 4 ilustra una simulación de una plataforma aérea 1 que comprende un dispositivo 12 de estimación de distancia según una realización ejemplar de la invención descrita anteriormente. En la Fig. 4, la línea continua describe la trayectoria de la plataforma aérea 1, y la línea discontinua describe la trayectoria de un blanco 3. Según

ejecuta la plataforma aérea 1 una maniobra a ralentí de la propia aeronave según, por ejemplo, la maniobra continua a ralentí de la propia aeronave descrita anteriormente con referencia a las Figuras 3a-3b, se pueden conseguir estimaciones precisas y fiables de distancia, como se muestra con referencia a la Fig. 5.

5 La Fig. 5 es un esquema de simulación de mediciones obtenidas en la simulación según la Fig. 4. El esquema de simulación en la Fig. 4 describe tres mediciones ejemplares distintas que pueden ser proporcionadas por el filtro 15 de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 11 (en este caso, un filtro de Kalman): el error cuadrático medio de la estimación de distancia (RMS de la distancia) del filtro de Kalman; la desviación característica de la estimación de distancia del filtro de Kalman (desvt de la distancia); y un error paramétrico de cota inferior de Cramér-Rao (CRLB), que describe el error teórico mínimo posible.

10 Un aspecto importante de la invención es que al ejecutar una maniobra continua a ralentí de la propia aeronave y al monitorizar la distancia de incertidumbre y la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre, la unidad 14 de control en el dispositivo 12 de estimación de distancia permite una determinación de cuán bien se corresponden la distancia y la distancia de incertidumbre del filtro 15 de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 11 con la distancia verdadera hasta el blanco 3. Como puede verse en el esquema de simulación en la Fig. 5, el RMS de la distancia, la desvt de la distancia y la CRLB disminuyen todos con el paso del tiempo, por lo que es razonable creer que la estimación de distancia del filtro de Kalman en el filtro 15 de seguimiento del blanco se corresponde bastante bien con la distancia verdadera hasta el blanco 3. Dado que estas mediciones llegan por debajo de un nivel aceptable, se garantiza que las estimaciones precisas y fiables de distancia son realizadas por medio del filtro 15 de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 11, y también se garantizan mejores estimaciones, por ejemplo, del valor de TTG, y, de ese modo, también se mejoran las estimaciones de la posición y de la velocidad del blanco 3.

Según otro aspecto de la invención, también se puede ejecutar una maniobra distinta de la propia aeronave por medio del dispositivo 12 de estimación de distancia, bien de forma independiente o bien además de la maniobra continua a ralentí de la propia aeronave descrita en la realización anterior.

25 El dispositivo 12 de estimación de distancia puede ejecutar esta maniobra de la propia aeronave, que se describe a continuación, al acentuar la maniobra a ralentí de la propia aeronave tras la detección de un blanco 3. Esto puede realizarse para facilitar una maniobra a ralentí de la propia aeronave más rápida y más eficaz, dado que permite que la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre alcance un nivel aceptable de velocidad de cambio en un periodo más breve de tiempo cuando se detecta un blanco 3.

30 El dispositivo 12 de estimación de distancia puede comprobar la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre para determinar si el sistema 16 de control debería aumentar, por ejemplo, la aceleración del movimiento de la maniobra de la propia aeronave. Si la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre es demasiado pequeña, entonces se puede aumentar, preferentemente, la aceleración del movimiento. Esto puede continuar hasta que se consigan estimaciones precisas y fiables de distancia, es decir, por ejemplo, cuando la velocidad de cambio de las estimaciones de distancia de incertidumbre se encuentra por encima de un nivel aceptable de velocidad de cambio. En las simulaciones descritas con referencia a las Figuras 3 y 4 se muestra un ejemplo de cómo pueden variar las estimaciones de distancia de incertidumbre con el paso del tiempo.

35 También se puede seguir aumentando hasta que se alcance un valor limitante, por ejemplo, la aceleración del movimiento. Este valor limitante puede ser una base a la gran variedad mencionada anteriormente de restricciones y limitaciones de vuelo de la plataforma aérea 11, tal como, por ejemplo, las capacidades de maniobra de la plataforma aérea 11 (por ejemplo, velocidades de balanceo, fuerzas G sostenibles, etc.), el campo de estimación (FOR) del sensor pasivo 12, la evitación de colisiones con el terreno, objetivos de la misión, o molestas limitaciones establecidas por el ATC (control del tráfico aéreo), etc.

40 Este tipo de maniobra de la propia aeronave puede maximizar, de forma ventajosa, la aceleración del movimiento de una plataforma aérea 1 con una maniobrabilidad limitado, de forma que el dispositivo 12 de estimación de distancia puede hacer, en un breve periodo de tiempo, que el filtro 15 de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 11 consiga estimaciones precisas y fiables de distancia de la distancia D hasta el blanco detectado 3. A partir de la estimación mejorada de la distancia D y del rumbo medido y de la velocidad de cambio del rumbo del blanco 3 sigue una estimación mejorada de la velocidad del blanco 3.

45 Según un aspecto adicional de la invención, también se puede ejecutar otra maniobra distinta de la propia aeronave por medio del dispositivo 12 de estimación de distancia, bien de forma independiente o bien además de la maniobra distinta de la propia aeronave descrita en la realización anterior y/o además de la maniobra continua a ralentí de la propia aeronave descrita con referencia a las Figuras 3-5.

50 El dispositivo 12 de estimación de distancia puede ejecutar esta maniobra de la propia aeronave descrita a continuación para conseguir, dependiente de una situación específica, una maniobra que crea una aceleración significativa. Esto puede realizarse de forma que se puedan obtener estimaciones precisas y fiables de distancia hasta un blanco detectado 3 de forma rápida y segura.

Según este aspecto de la invención, el dispositivo 12 de estimación de distancia está dispuesto para ejecutar esta maniobra que crea una aceleración significativa según la maniobra de la propia aeronave de tal forma que el blanco detectado 3 permanece en el área cubierta por el campo de estimación (FOR) del al menos un sensor pasivo 13. Se describe a continuación, con referencia a las Figuras 8a-b, 9 y 10a-e, un esquema ejemplar de maniobra de la propia aeronave de cómo puede conseguirse esto.

La Fig. 6 muestra un ejemplo ilustrativo de un campo 60 de estimación (FOR). En la Fig. 6, el FOR 60 de la plataforma aérea 1 comprende un límite superior 61, un límite inferior 62, un límite 63 de babor y un límite 64 de estribor. Los límites del FOR 60 pueden ser descritos de otras formas y su forma puede adoptar otras formas que la de un rectángulo en el plano 85 de visión descrito a continuación. Por lo tanto, se puede describir un FOR general como que forma una o más curvas cerradas que no se intersectan entre sí en el plano 85 de visión, por lo que no se debería interpretar que la forma del FOR 60 descrita en el presente documento limita la invención.

La Fig. 7 muestra un ejemplo ilustrativo de un sistema de coordenadas norte-este-abajo [NED] según se puede ver desde la plataforma aérea 1. El sistema ejemplar de coordenadas norte-este-abajo [NED] en la Fig. 7 puede determinar un ángulo azimutal 71, un ángulo 72 de elevación, y un vector 73 de línea visual (LOS) hasta el blanco detectado 3. Se puede describir el esquema ejemplar de maniobra de la propia aeronave con referencia al sistema de coordenadas norte-este-abajo [NED] que, como se ha mencionado anteriormente, puede estar comprendido en el sistema anticolidión 11 en la plataforma aérea 1.

Las Figuras 8a-b ilustran una proyección de la vista desde la plataforma aérea 1, es decir, el área cubierta por el FOR 60 del al menos un sensor pasivo 13, sobre un plano bidimensional 85. Como puede verse en las Figuras 8a-b, se puede dividir el plano bidimensional 85 de visión en un sector 80 orientado hacia delante, un sector 81 del lado izquierdo y un sector 82 del lado derecho.

La Fig. 8a muestra una situación ficticia ejemplar para ilustrar cómo ve los blancos, también denominados objetivos cuando aparecen en el FOR 60, la plataforma aérea 1. Se muestra un objetivo 83 en el sector 81 del lado izquierdo, en el que la flecha 84 denota la rotación de la línea visual (LOS) del objetivo 83. También se muestra otro objetivo en el sector 80 orientado hacia delante del plano bidimensional 85 de visión. También se muestra, con fines ilustrativos, en el FOR 60 un vector de señalización de la propia aeronave que describe el rumbo de la plataforma aérea 1, y un vector de velocidad de la propia aeronave que describe la velocidad de la plataforma aérea 1.

La Fig. 8b muestra una definición del sistema de coordenadas del plano bidimensional 85 de visión que define un ángulo de elevación,  $\varepsilon_b$ , del plano de visión y un ángulo azimutal,  $\sigma_b$ , del plano de visión. Se debe hacer notar que el ángulo de elevación,  $\varepsilon_b$ , del plano de visión y el ángulo azimutal,  $\sigma_b$ , del plano de visión son generalmente distintos de los dados por el sistema de coordenadas norte-este-abajo [NED].

Para un blanco ubicado en el sector 80 orientado hacia delante, a continuación se describe un esquema de maniobra de la propia aeronave que describe cómo puede comportarse la plataforma aérea 1 con respecto a tales blancos. En primer lugar, se puede establecer un límite para la velocidad de cambio angular azimutal y la velocidad de cambio de elevación del blanco 3 por encima de las cuales no se necesita ejecutar ninguna maniobra de la propia aeronave. Se puede establecer este límite de velocidad angular al considerar, por ejemplo, qué velocidades angulares se garantiza que tengan como resultado una no colisión entre la plataforma aérea 1 y el blanco 3 teniendo en cuenta la distancia estimada mínima hasta el blanco 3. El límite de la velocidad angular puede ser establecido al considerar otras consideraciones físicas u operativas.

En segundo lugar, se puede determinar la maniobra de la propia aeronave de forma que la aceleración del movimiento de la maniobra de la propia aeronave es en una dirección negativa de la velocidad de cambio angular azimutal y de elevación, cuando se proyecta sobre un plano que tiene el vector de LOS como una normal. Sin embargo, quizás se pueda hacer una excepción si la aceleración determinada del movimiento de la maniobra de la propia aeronave hace que el blanco 3 salga del FOR 60 del al menos un sensor pasivo 13. En este caso, la unidad 14 de control en el dispositivo 12 de estimación de distancia puede girar la aceleración del movimiento determinada anteriormente de la maniobra de la propia aeronave, de forma que se determine una nueva maniobra de la propia aeronave, que es paralela a los límites superior 61 e inferior 62 del FOR 60 del al menos un sensor pasivo 13. Esto provocará un desvío máximo de 90° de la maniobra de la propia aeronave.

Preferentemente, el esquema de maniobra de la propia aeronave descrito anteriormente puede ser implementado para un sector limitado 80 orientado hacia delante del FOR total 60 del al menos un sensor pasivo 13. La definición del sector 80 orientado hacia delante del FOR 60 depende de la maniobrabilidad de la plataforma aérea 1 y del tamaño real del FOR 60 del al menos un sensor pasivo 13. Típicamente, la sección 80 orientada hacia delante es tan ancha como es alto el FOR 60, es decir, la longitud entre los límites superior 61 e inferior 62 del FOR 60 del al menos un sensor pasivo 13.

Para un blanco ubicado fuera del sector 80 orientado hacia delante es más probable que se pierda el blanco durante la maniobra de la propia aeronave, y la elección de maniobras de la propia aeronave está más restringida. A continuación se describe un esquema de maniobra de la propia aeronave que describe cómo puede comportarse la plataforma aérea 1 con respecto a los blancos 3 en los sectores laterales 81, 82.

En primer lugar, se puede establecer un límite para la velocidad de cambio angular azimutal y la velocidad de cambio angular de elevación del blanco 3 por encima de las cuales no necesita ejecutarse ninguna maniobra de la propia aeronave. Esto se hace similarmente para el anterior caso en el que el blanco está ubicado en el sector 80 orientado hacia delante. Los límites utilizados pueden diferir de dicho caso ejemplar.

- 5 En segundo lugar, un esquema o uno o varios algoritmos posibles de maniobra de la propia aeronave es para utilizar una combinación de carga y de balanceo normales para mantener el objetivo (es decir, el blanco) en el FOR 60. Se puede utilizar bien una maniobra de encabritamiento o bien un medio rizo invertido. Se utiliza la variación máxima permitida de la carga normal. Para mantener constante la elevación aparente del objetivo en la ventana del FOR 60 (es decir, evitar que el objetivo salga del FOR 60 en la vertical) se establece la velocidad de balanceo (p) dependiendo de la velocidad de cabeceo (q) y de la ubicación relativa del blanco como se muestra en la Ecuación 1:

$$p = q \cos(\sigma_b) / \sin(\sigma_b) \quad (\text{Ecuación 1})$$

(Se debe hacer notar que este algoritmo tiene una singularidad en la sección orientada hacia delante del FOR 60).

- Además, puede existir una necesidad de compensar el cambio de elevación en el FOR 60 que es provocado por el cambio necesario del ángulo de ataque ( $\alpha$ ) requerido para producir la carga normal ( $n_z$ ) requerida. Esto se calcula como un ángulo delta de balanceo Dp (integral de p) que será añadido durante la fase de acumulación de carga de la maniobra. Esto se calcula como se muestra en la Ecuación 2:

$$Dp = d\alpha / dn_z \cos(\sigma_b) / \sin(\sigma_b) Dn_z \quad (\text{Ecuación 2})$$

- 20  $d\alpha/dn_z$  es el aumento instantáneo en el ángulo de ataque para cada cambio en la carga normal de la aeronave. Está dado por las características de la aeronave y la velocidad con respecto al aire calibrada actual.  $Dn_z$  es la diferencia entre la carga normal actual (previa a la maniobra) de la plataforma aérea 1 y la carga normal controlada durante la maniobra. Para decidir si se debería ejecutar una maniobra de encabritamiento o de medio rizo invertido, se evalúa para ambos casos el vector resultante esperado de aceleración cinemática, proyectado sobre un plano con el LOS como su vector normal, de la plataforma aérea 1. Además de los anteriores algoritmos, también se puede añadir un bucle de control de realimentación utilizando p controlado para centrar el objetivo cerca de  $\varepsilon_b = 0$  con el tiempo.

- 25 Se puede construir, además, el bucle de control de realimentación para permitir una banda muerta en el centro del FOR 60 para eliminar una maniobra innecesaria mientras que el blanco se encuentra en la banda muerta del FOR 60. En la Fig. 9 se muestra un ejemplo de tal banda muerta en el plano bidimensional 85 de visión. Cuando el blanco se encuentra fuera de la banda muerta se activaría el control de realimentación, y también se podría utilizar una ganancia mayor.

- 30 La ganancia de realimentación de ambas implementaciones anteriores puede tener la forma mostrada en la Ecuación 3:

$$Dp_{err} = -\cos(\sigma_b) * \varepsilon_b \quad p_{err} = -\cos(\sigma_b) \text{signo}(\varepsilon_b) \text{máx.}(0, |\varepsilon_b - \varepsilon_{b,bandamuerta}|) \quad (\text{Ecuación 3})$$

en la que  $\varepsilon_{b,bandamuerta}$  es (la mitad) de la banda muerta deseada. Entonces, se utiliza  $Dp_{err}$  como entrada para cualquier algoritmo adecuado de control.

- 35 Los anteriores algoritmos pueden extenderse, además, para evitar que el objetivo salga del FOR 60 en la horizontal ( $|\sigma_b| > \text{límite sigma del FOR}$ ). Sin embargo, esto puede producir un conflicto con el argumento de no maniobrar hasta colisionar.

- 40 Para maniobrar contra blancos tanto en el sector 80 orientado hacia delante como en los sectores orientados lateralmente 81, 82, se utiliza un giro a mano derecha si la velocidad angular del LOS es tan baja que no se puede determinar una dirección. Esto es según las normas ICAO de prioridad de paso. Para casos en los que los sectores orientados lateralmente 81, 82, se utilizan las anteriores fórmulas a la inversa para determinar si un giro a mano derecha equivale a una maniobra de encabritamiento o de medio rizo invertido (Ecuación 4).

$$q = p \sin(\sigma_b) / \cos(\sigma_b) \quad (\text{Ecuación 4})$$

- 45 De nuevo, existe un problema de singularidad, que ahora ocurre para objetivos cerca de los puntos de  $\pm 90^\circ$  de  $\sigma_b$ . Este se soluciona al no utilizar el balanceo cuando  $\sigma_b$  llega a ser cercano a  $\pm 90^\circ$ , sino que en cambio se utiliza un encabritamiento (objetivo  $\sigma_b$  cerca de  $+90^\circ$ ) o un medio rizo invertido (objetivo  $\sigma_b$  cerca de  $-90^\circ$ ). Por la misma razón geométrica por la que tenemos una singularidad, tampoco existe el riesgo de perder el objetivo fuera del FOR 60.

- 50 Las Figuras 10a-e muestran ejemplos ilustrativos de cómo puede comportarse el esquema anterior de maniobra de la propia aeronave en cinco situaciones ejemplares diferentes (mostradas por la flecha grande como velocidades) de forma que el blanco detectado 3 permanece en el área cubierta por el FOR 60 del al menos un sensor pasivo 13.

5 Las Figuras 10a-e muestran el plano bidimensional 85 de visión que comprende el sector 80 orientado hacia delante, los sectores laterales 81, 82, y marcas angulares de 90° (denotadas por 101 y/o líneas discontinuas). La posición del objetivo descubierto 3 (es decir, el blanco detectado) se muestra por medio de un cuadrado y se muestra su rotación de la línea visual (LOS) como una línea desde el cuadrado. Además, se debe hacer notar que las Figuras 10a-e solo muestran la respuesta inicial y que no se incluye la compensación del cambio del ángulo de ataque según la Ecuación 2.

La Fig. 10a muestra un objetivo 3 en el sector 80 orientado hacia delante sin ninguna rotación del LOS. Entonces, el dispositivo 12 de estimación de distancia en la plataforma aérea 1 puede seleccionar ejecutar una maniobra de la propia aeronave que comprende las características de un giro en vuelo horizontal hacia la derecha.

10 La Fig. 10b muestra un objetivo 3 en el sector 80 orientado hacia delante con una rotación del LOS hacia la derecha. Entonces, la plataforma aérea 1 puede seleccionar un giro hacia la izquierda.

La Fig. 10c muestra un objetivo 3 en el sector 82 orientado hacia el lateral derecho sin rotación del LOS. Entonces, el dispositivo 12 de estimación de distancia en la plataforma aérea 1 puede seleccionar ejecutar una maniobra de la propia aeronave que comprende las características de un giro ascendente hacia la derecha con un equilibrio entre el giro y el encabritamiento.

15 La Fig. 10d muestra un objetivo 3 en el sector 82 orientado hacia el lateral derecho con una rotación del LOS. Entonces, el dispositivo 12 de estimación de distancia en la plataforma aérea 1 puede seleccionar ejecutar una maniobra de la propia aeronave que comprende las características de un giro en picado hacia la izquierda para evitar girar en la dirección de rotación del LOS del objetivo 3.

20 La Fig. 10e muestra un objetivo 3 en la marca angular de 90° 101 para ilustrar que el dispositivo 12 de estimación de distancia en la plataforma aérea 1 puede seleccionar aquí ejecutar una maniobra de la propia aeronave que comprende las características de una maniobra solo de encabritado (o medio rizo invertido si es apropiado con respecto a la rotación del LOS del objetivo 3).

25 Se debería hacer notar, con referencia a las Figuras 10a-e, que en el supuesto caso de que la maniobra que crea una aceleración óptima de la maniobra de la propia aeronave no fuese suficiente para obtener estimaciones precisas y fiables de distancia hasta un blanco detectado 3, la maniobra de la propia aeronave puede comprender, además, una maniobra con las características de una versión invertida de dicha maniobra que crea una aceleración óptima. Esta maniobra de la propia aeronave puede ser ejecutada según las mismas limitaciones que la maniobra que crea una aceleración óptima. Por lo tanto, esto puede permitir que el dispositivo 12 de estimación de distancia obtenga estimaciones precisas y fiables de distancia hasta un blanco detectado 3.

30 La Fig. 11 ilustra un procedimiento para ser utilizado en un dispositivo 12 de estimación de distancia, para ejecutar la maniobra de la propia aeronave según una realización ejemplar de la invención.

35 En la etapa S111, el dispositivo 12 de estimación de distancia puede comprobar la velocidad de cambio de las estimaciones de distancia de incertidumbre recibidas procedentes, por ejemplo, del filtro 15 de seguimiento del blanco en el sistema anticolidión 15. Esto puede llevarse a cabo cuando el sistema 16 de control de la plataforma aérea 1 ha comenzado a ejecutar una maniobra a ralentí de la propia aeronave u otra maniobra de la propia aeronave.

40 En la etapa S112, si la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre es superior o igual que un nivel aceptable de velocidad de cambio, la estimación 12 de distancia puede volver a la etapa S111. Sin embargo, si la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre se encuentra por debajo de un nivel aceptable de velocidad de cambio, el dispositivo 12 de estimación de distancia puede proseguir a la etapa S113.

45 En la etapa S113, el dispositivo 15 de estimación de distancia puede indicar a un sistema 16 de control que se debería ejecutar una maniobra de la propia aeronave. Se puede ejecutar la maniobra de la propia aeronave, siendo adicional y/o a ralentí, según cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente con referencia a los distintos aspectos de la invención. Entonces, la estimación 12 de distancia puede volver a la etapa S111.

50 La selección de qué maniobra de la propia aeronave debe ser utilizada, por ejemplo, la maniobra a ralentí C-C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> o C-C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub> de la propia aeronave, puede depender de la ubicación del blanco 3 con respecto a la plataforma aérea 1, y puede ser ejecutada en una dirección de forma que se evite posiblemente una colisión futura. Si existen varios blancos, entonces la amenaza más inmediata, es decir el blanco más cercano o el que tenga el valor de TTG más pequeño, puede decidir qué maniobra de la propia aeronave utilizar. Por lo tanto, se puede ejecutar la evitación de colisiones en respuesta a esa amenaza inmediata.

Por supuesto, también se pueden percibir y anticipar por medio de la invención otras maniobras de la propia aeronave que los ejemplos descritos anteriormente, aunque no se describen completamente en el presente documento.

La anterior descripción es el mejor modo contemplado en la actualidad para poner en práctica la invención. No se pretende que la descripción sea tomada en un sentido limitante, sino que se presenta simplemente con el fin de describir los principios generales de la invención. Solo se debeá determinar el alcance de la invención con referencia a las reivindicaciones presentadas.

5

## REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (12) de estimación de distancia para ser utilizado en un sistema anticolidión (11) en una plataforma aérea (1), comprendiendo dicho sistema anticolidión (11) una unidad (17) de determinación de la trayectoria y un filtro (15) de seguimiento del blanco para seguir un blanco (3) para recuperar un rumbo que comprende el azimut y la elevación hasta el blanco (3) en base a la salida de al menos un sensor pasivo (13) de cámara o de cámara IR y al calcular una estimación de distancia y estimaciones de distancias de incertidumbre hasta el blanco (3) en base a dichos datos de rumbo y de posición de la unidad (17) de determinación de la trayectoria, en el que dicho dispositivo (12) de estimación de distancia comprende una unidad (14) de control dispuesta para indicar a un sistema (16) de control de dicha plataforma aérea (1) que ejecute una maniobra de la propia aeronave de dicha plataforma aérea (1), de forma que las características de las mediciones de los sensores pasivos procedentes de dicho al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR permitan que se determinen las estimaciones de distancia y las estimaciones de distancia de incertidumbre hasta el blanco (3);  
**caracterizado porque**  
dicha unidad (14) de control está dispuesta, además, para indicar al sistema (16) de control que ejecute una maniobra de la propia aeronave de dicha plataforma aérea (1) si las estimaciones de distancia de incertidumbre se encuentran por encima de un nivel predeterminado de aceptación de las estimaciones de distancia de incertidumbre y las velocidades de cambio angular azimutal y de elevación del blanco (3) se encuentran por debajo de un límite de velocidad angular establecido teniendo en cuenta la distancia mínima estimada hasta el blanco (3).
2. Un dispositivo (12) de estimación de distancia según la reivindicación 1, en el que dicha unidad (14) de control está dispuesta para indicar a dicho sistema (16) de control, si la estimación de distancia de incertidumbre se encuentra por encima de un nivel predeterminado de aceptación de la distancia de incertidumbre, para ejecutar una maniobra continua a ralenti (C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>; C, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de la propia aeronave de la plataforma aérea (1) en el que se ejecutan maniobras más grades laterales y/o de ascensión-descenso.
3. Un dispositivo (12) de estimación de distancia según la reivindicación 2, en el que se combinan dichas maniobras más grades laterales y/o de ascensión-descenso de la maniobra continua a ralenti (C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>; C, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de la propia aeronave de la plataforma aérea (1) con un movimiento de balanceo y/o se entrelazan con un movimiento de giro en picado.
4. Un dispositivo (12) de estimación de distancia según la reivindicación 2 o 3, en el que dichas maniobras más grades laterales y/o de ascensión-descenso de la maniobra continua a ralenti (C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>; C, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de la propia aeronave de la plataforma aérea (1) utiliza los modos lateral y/o longitudinal de vuelo básico de la plataforma aérea (1).
5. Un dispositivo (12) de estimación de distancia según las reivindicaciones 1-4, en el que dicha unidad (14) de control está dispuesta para indicar a dicho sistema (16) de control, si la estimación de distancia de incertidumbre se encuentra por encima de un nivel predeterminado de aceptación de la distancia de incertidumbre y si la velocidad de cambio de la estimación de distancia de incertidumbre se encuentra por debajo de un nivel aceptable predeterminado para la velocidad de cambio, de que se debería aumentar la aceleración del movimiento de dicha maniobra continua a ralenti (C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>; C, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de la propia aeronave de la plataforma aérea (1).
6. Un dispositivo (12) de estimación de distancia según la reivindicación 5, en el que dicho aumento de la aceleración del movimiento de dicha maniobra a ralenti (C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>; C, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de la propia aeronave está indicado por medio de dicha unidad (14) de control hasta que la estimación de distancia de incertidumbre se encuentre por debajo del nivel predeterminado de aceptación de la distancia de incertidumbre; y/o la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre se encuentre por encima del nivel aceptable predeterminado para la velocidad de cambio; y/o se alcance un valor límite para la aceleración del movimiento de dicha maniobra a ralenti (C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>; C, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de la propia aeronave.
7. Un dispositivo (12) de estimación de distancia según la reivindicación 6, en el que dicho valor límite es el valor máximo de la aceleración del movimiento de dicha maniobra de la propia aeronave, de forma que se sigue manteniendo el blanco (3) en el campo de estimación [FOR] del al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR.
8. Un dispositivo (12) de estimación de distancia según la reivindicación 6 o 7, en el que dicho valor límite para la aceleración del movimiento es una base a las limitaciones de la capacidad de maniobra del sistema (14) de control y de las molestas limitaciones establecidas por el control del tráfico aéreo (ATC).
9. Un dispositivo (12) de estimación de distancia según la reivindicación 1, en el que dicha unidad (14) de control está dispuesta para indicar a dicho sistema (16) de control que ejecute una aceleración cinemática de la maniobra de la propia aeronave, de forma que el blanco (3) permanezca en el área cubierta por el FOR (60) del al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR.

- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
10. Un dispositivo (12) de estimación de distancia según la reivindicación 9, que comprende, además, un sistema de coordenadas fijas de la propia aeronave con referencia a la tierra, tal como un sistema de coordenadas norte-este-abajo [NED], que determina un ángulo azimutal (71), un ángulo de elevación (72) y un vector (73) de línea visual [LOS] hasta dicho blanco (3) a partir de dichas mediciones de los sensores pasivos, y en el que dicha unidad (14) de control está dispuesta para indicar a dicho sistema (16) de control que ejecute dicha aceleración cinemática de la maniobra de la propia aeronave sustancialmente en una dirección negativa de las velocidades de cambio angulares azimutal (71) y de elevación (72), cuando se proyecta sobre un plano que tiene el vector (73) de la línea visual hasta el blanco (3) como una normal, cuando el blanco (3) se encuentra en un sector (80) orientado hacia delante del FOR (60) del al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR.
  11. Un dispositivo (12) de estimación de distancia según la reivindicación 10, en el que dicha unidad (14) de control está dispuesta para indicar a dicho sistema (16) de control que gire dicha aceleración cinemática de dicha maniobra de la propia aeronave, de forma que sea paralela a los límites superior (61) e inferior (62) del FOR (60) de dicho al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR, si dicha aceleración cinemática de dicha maniobra de la propia aeronave hace que el blanco (3) salga del FOR del al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR.
  12. Un sistema anticolidión (11) que comprende un dispositivo (12) de estimación de distancia según las reivindicaciones 1-11.
  13. Una plataforma aérea (1) que comprende un dispositivo (12) de estimación de distancia según las reivindicaciones 1-11 o un sistema anticolidión (11) según la reivindicación 12.
  14. Un procedimiento para ser utilizado en un dispositivo (12) de estimación de distancia en un sistema anticolidión (11) en una plataforma aérea (1), comprendiendo dicho sistema anticolidión (11) una unidad (17) de determinación de la trayectoria y un filtro (15) de seguimiento del blanco para seguir un blanco (3) al recuperar un rumbo que comprende el azimut y la elevación hasta el blanco (3) en base a la salida de al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR y al calcular una estimación de distancia y estimaciones de distancia de incertidumbre hasta el blanco (3) en base a dichos datos de rumbo y de posición de la unidad (17) de determinación de la trayectoria, en el que dicho dispositivo (12) de estimación de distancia comprende una unidad (14) de control dispuesta para ejecutar la etapa de:
    - indicar a un sistema (16) de control de dicha plataforma aérea (1) que ejecute una maniobra de la propia aeronave de dicha plataforma aérea (1), de forma que las características de las mediciones de los sensores pasivos procedentes de dicho al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR permitan que se determinen las estimaciones de distancia y las estimaciones de distancia de incertidumbre hasta el blanco (3);  
estando **caracterizado** dicho procedimiento **por** la etapa de:
      - indicar al sistema (16) de control que ejecute una maniobra de la propia aeronave de dicha plataforma aérea (1) si las estimaciones de distancia de incertidumbre se encuentran por encima de un nivel predeterminado de aceptación de las estimaciones de distancia de incertidumbre y las velocidades de cambio angulares azimutal y de elevación del blanco (3) se encuentran por debajo de un límite de velocidad angular establecido teniendo en cuenta la distancia estimada mínima hasta el blanco (3).
  15. Un procedimiento según la reivindicación 14, que comprende, además, la etapa de:
    - si la distancia de incertidumbre se encuentra por encima de un nivel predeterminado de aceptación de la distancia de incertidumbre, indicar a dicho sistema (16) de control que ejecute una maniobra continua a ralentí (C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>; C, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de la propia aeronave de la plataforma aérea (1).
  16. Un procedimiento según la reivindicación 15, que comprende, además, la etapa de:
    - si la distancia de incertidumbre se encuentra por encima de un nivel predeterminado de aceptación de la distancia de incertidumbre, y si la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre se encuentra por debajo de un nivel aceptable predeterminado para la velocidad de cambio, indicar a dicho sistema (16) de control que se debería aumentar la aceleración del movimiento de dicha maniobra continua a ralentí (C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>; C, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de la propia aeronave de la plataforma aérea (1).
  17. Un procedimiento según la reivindicación 16, que comprende, además, la etapa de indicar a dicho sistema (16) de control que aumente la aceleración del movimiento de dicha maniobra a ralentí (C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>; C, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de la propia aeronave hasta que:
    - la estimación de distancia de incertidumbre se encuentre por debajo del nivel predeterminado de aceptación de la distancia de incertidumbre; y/o

- la velocidad de cambio de la distancia de incertidumbre se encuentre por encima del nivel aceptable predeterminado para la velocidad de cambio; y/o
  - se alcance un valor límite para la aceleración del movimiento de dicha maniobra a ralentí (C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>; C, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de la propia aeronave.
- 5    **18.** Un procedimiento según la reivindicación 14, que comprende, además, la etapa de:
- ejecutar una aceleración cinemática de la maniobra de la propia aeronave, de forma que el blanco (3) permanece en el área cubierta por el FOR (60) del al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR.
- 10    **19.** Un procedimiento según la reivindicación 18, que comprende, además, la etapa de:
- ejecutar dicha aceleración cinemática de la maniobra de la propia aeronave sustancialmente en una dirección negativa de las velocidades de cambio angular azimutal (71) y de elevación (72), cuando se proyecta sobre un plano que tiene el vector (73) de la línea visual hasta el blanco (3) como una normal, cuando el blanco (3) se encuentra en un sector (80) orientado hacia delante del FOR (60) del al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR.
- 15    **20.** Un procedimiento según la reivindicación 18, que comprende, además, la etapa de:
- girar dicha aceleración cinemática de dicha maniobra de la propia aeronave, de forma que sea paralela a los límites superior (61) e inferior (62) del FOR (60) de dicho al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR, si dicha aceleración cinemática de dicha maniobra de la propia aeronave hace que el blanco (3) salga del FOR (60) del al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR.
- 20    **21.** Un producto de programa de ordenador para ser utilizado en un dispositivo (12) de estimación de distancia en un sistema anticolidión (11) en una plataforma aérea (1), comprendiendo dicho sistema anticolidión (11) una unidad (17) de determinación de la trayectoria y un filtro (15) de seguimiento del blanco para seguir un blanco (3) al recuperar un rumbo que comprende el azimut y la elevación hasta el blanco (3) en base a la salida del al menos un sensor pasivo (13) de cámara o cámara IR y al calcular una estimación de distancia y estimaciones de distancia de incertidumbre hasta el blanco (3) en base a dichos datos de rumbo y de posición de la unidad (17) de estimación de la trayectoria, en el que dicho dispositivo (12) de estimación de distancia comprende un medio de código legible por un ordenador, que cuando es ejecutado en una unidad (14) de control en dicho dispositivo (12) de estimación de distancia hace que dicho dispositivo (12) de estimación de distancia ejecute la etapa de:
- 25
- indicar a un sistema (16) de control que ejecute una maniobra de la propia aeronave de dicha plataforma aérea (1) si las estimaciones de distancia de incertidumbre se encuentran por encima de un nivel predeterminado de aceptación de las estimaciones de distancia de incertidumbre y las velocidades de cambio angular azimutal y de elevación del blanco (3) se encuentran por debajo de un límite de velocidad angular establecido teniendo en cuenta la distancia estimada mínima hasta un blanco (3).
- 30
- 35    **22.** Un producto de programa de ordenador según la reivindicación 21, que comprende un medio de código legible por ordenador, que cuando es ejecutado en la unidad (14) de control hace que el dispositivo (12) de estimación de distancia ejecute, además, las etapas según las reivindicaciones 14-20.
- 23.** Un producto de programa de ordenador según la reivindicación 21 o 22, en el que dicho medio de código es almacenado en un medio de almacenamiento legible.

Fig. 1

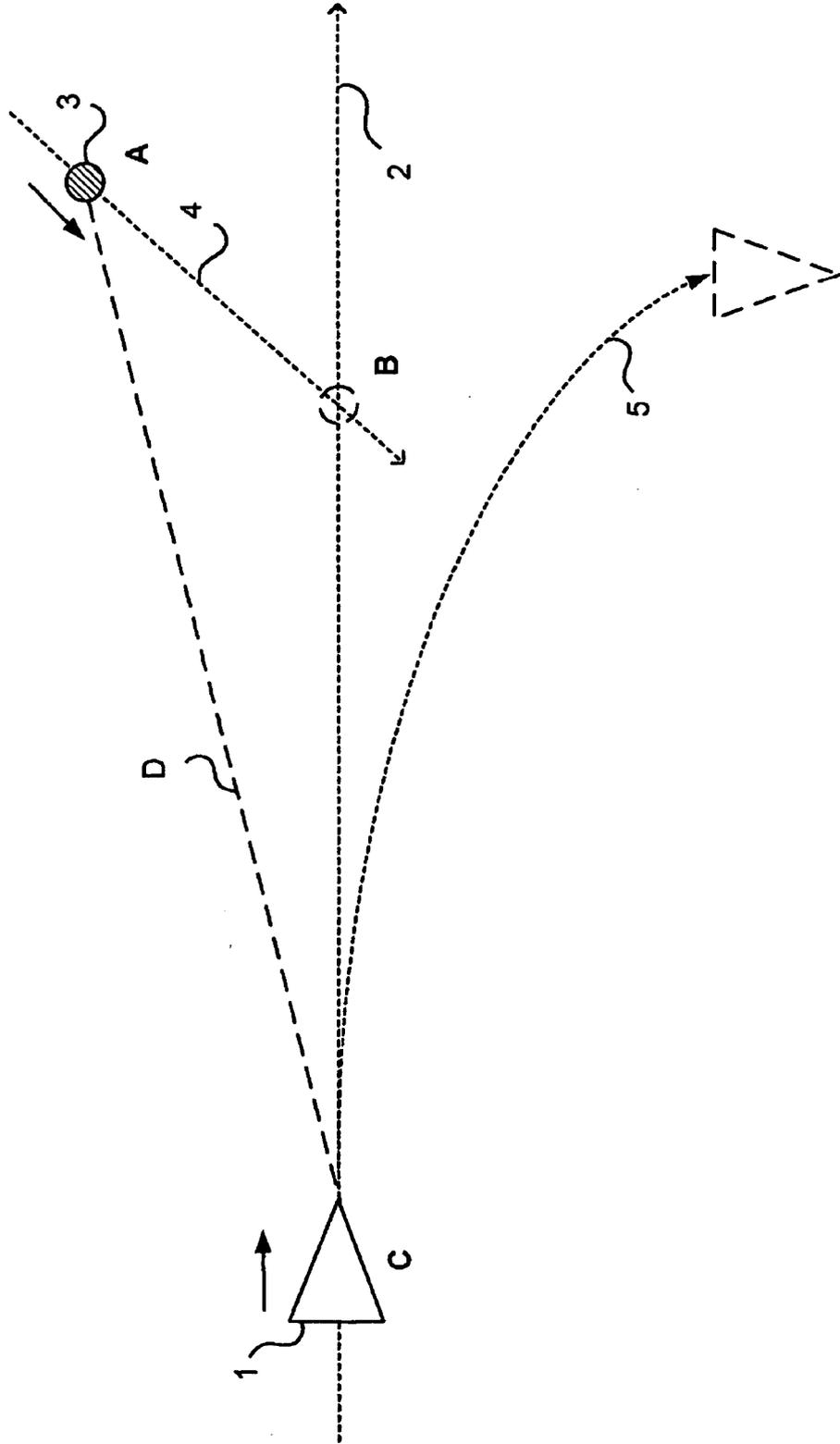


Fig. 2

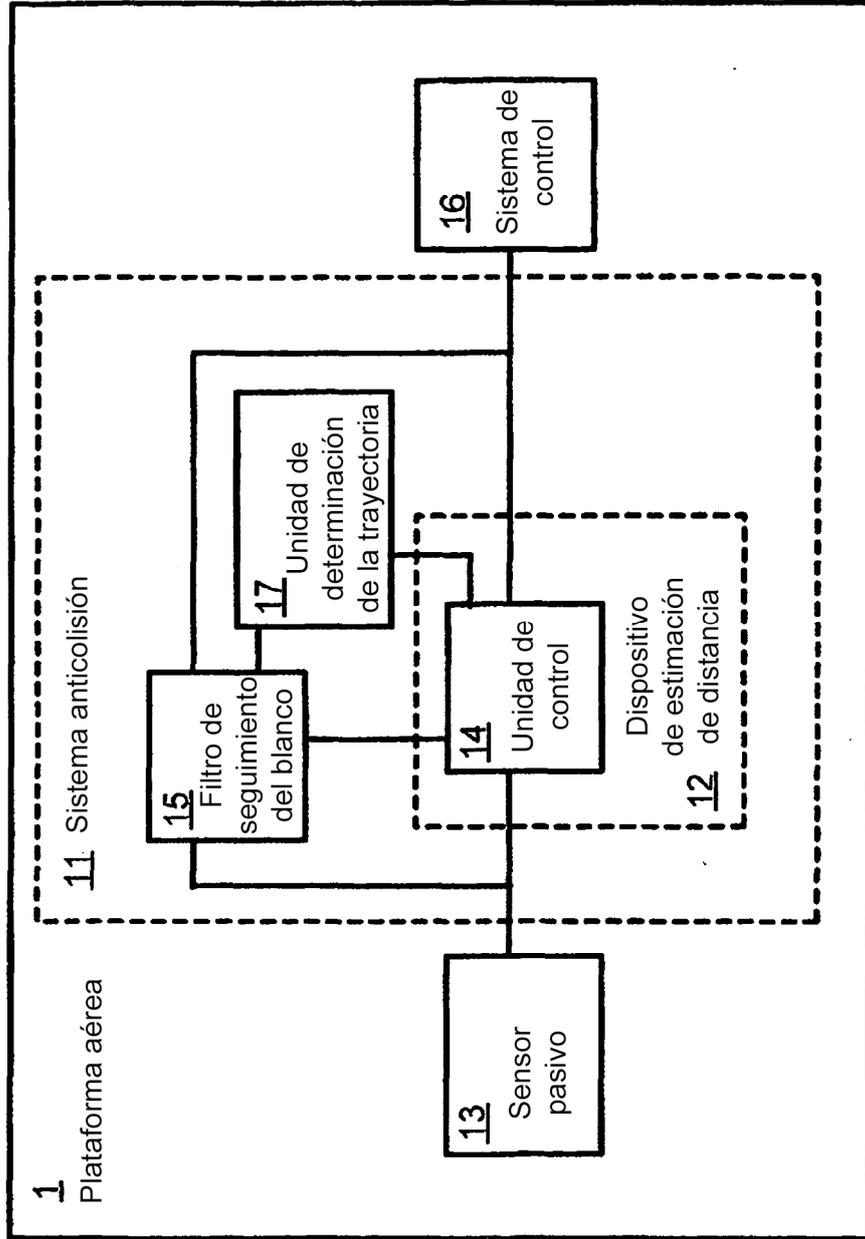


Fig. 3a

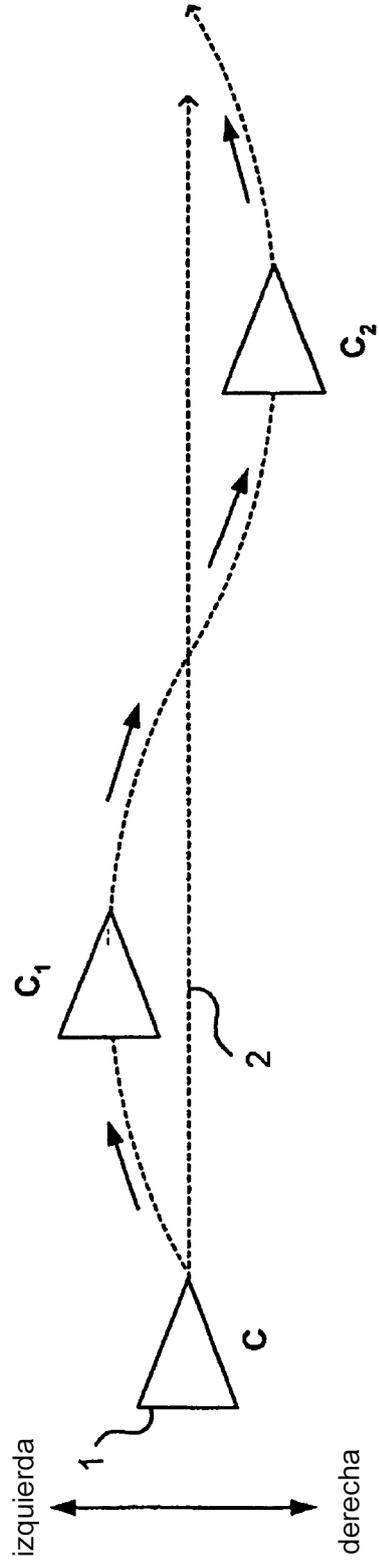
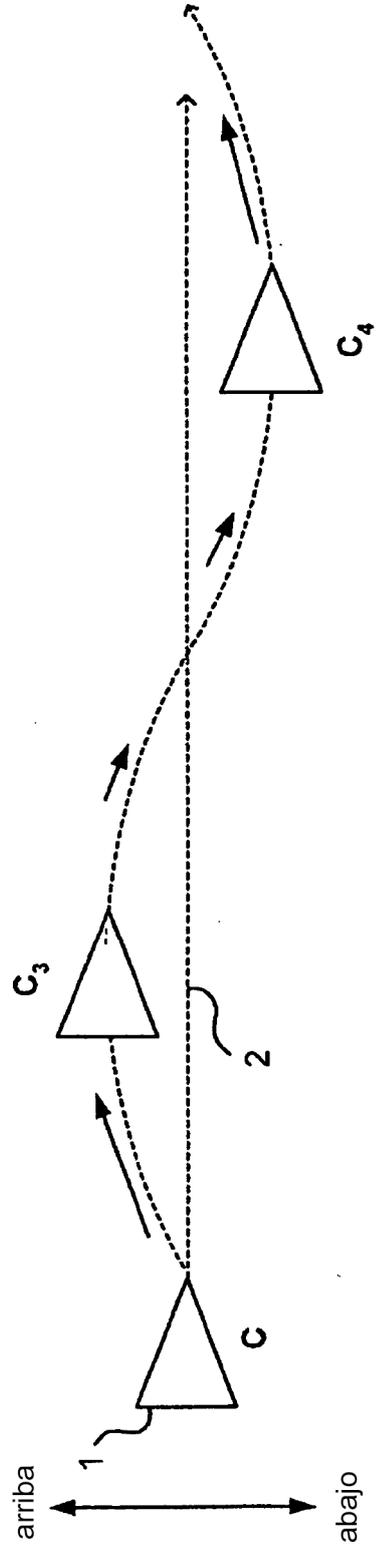


Fig. 3b



**Fig. 4**

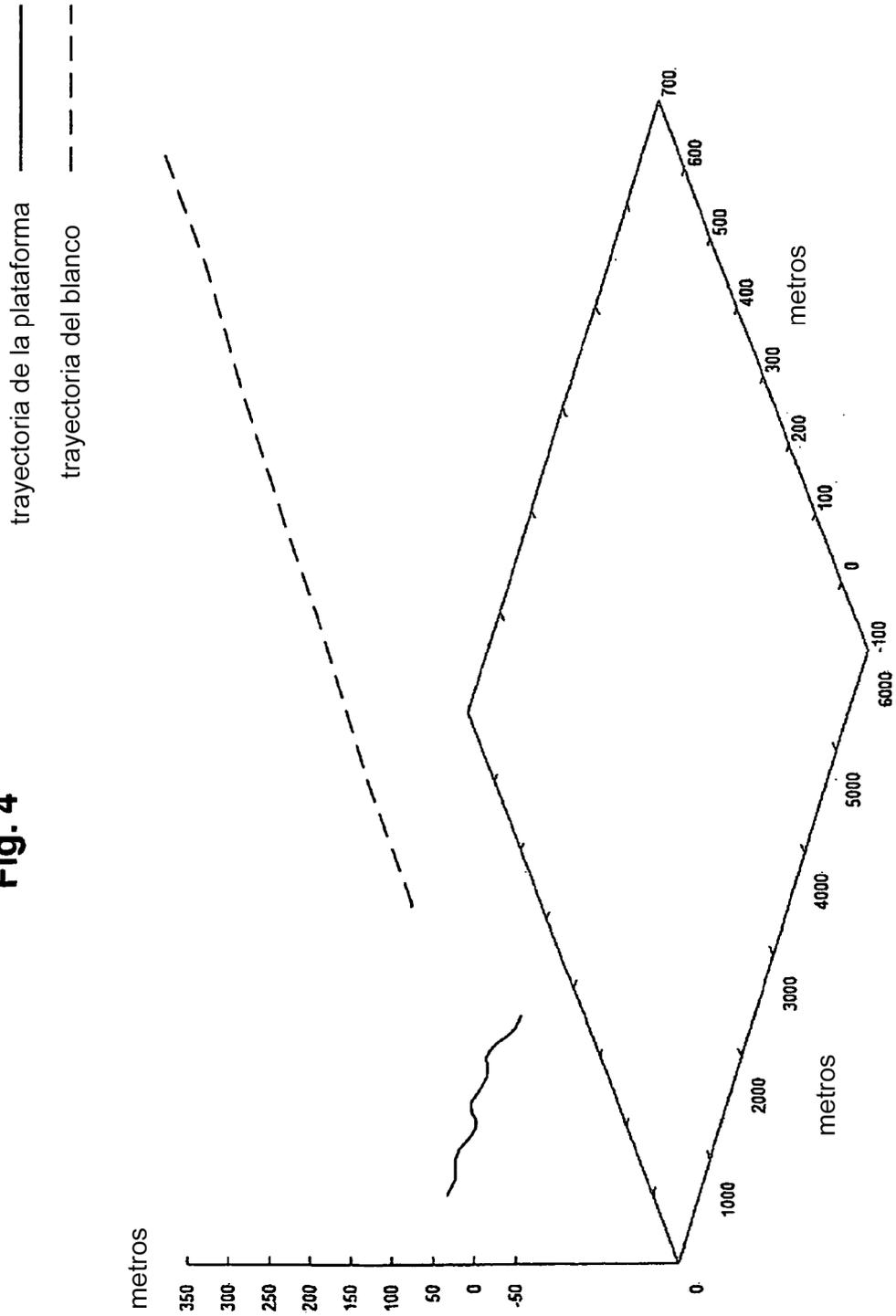


Fig. 5

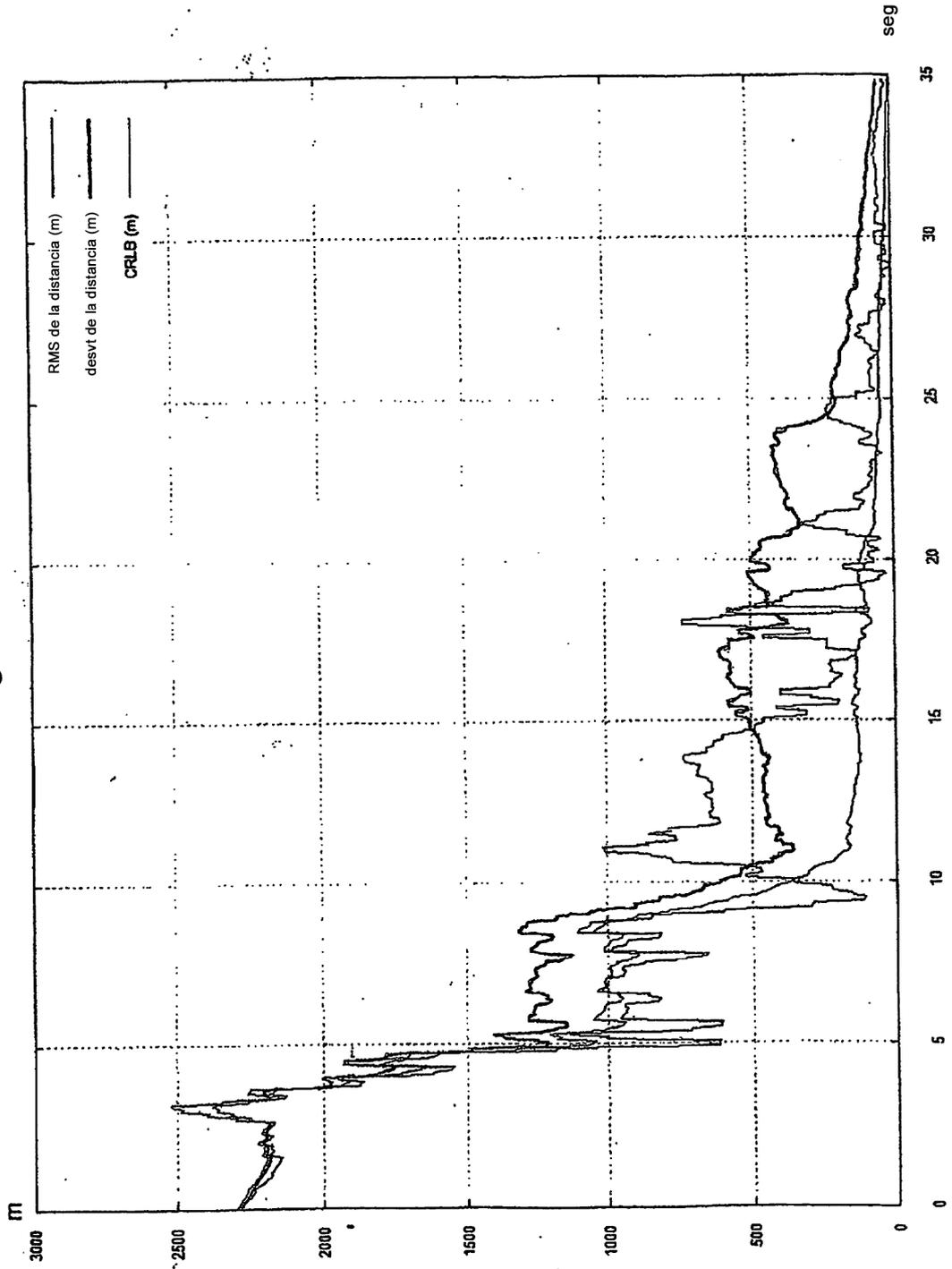


Fig. 6

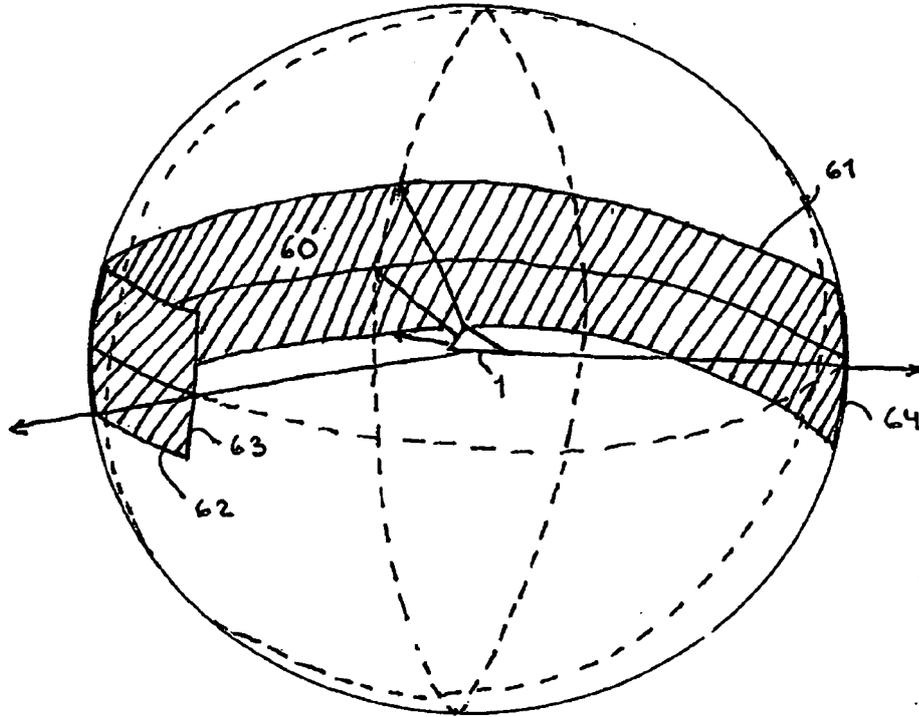
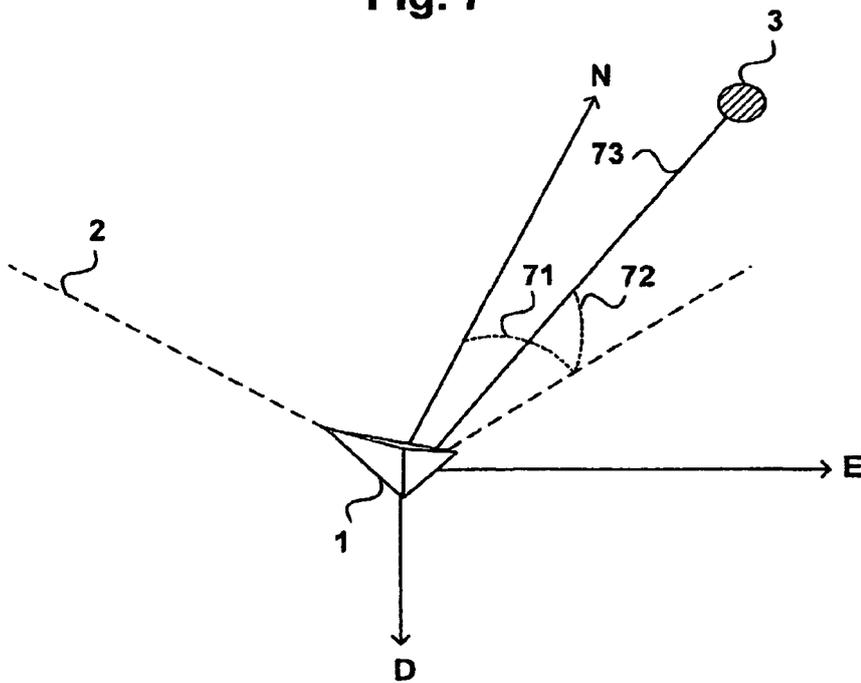


Fig. 7



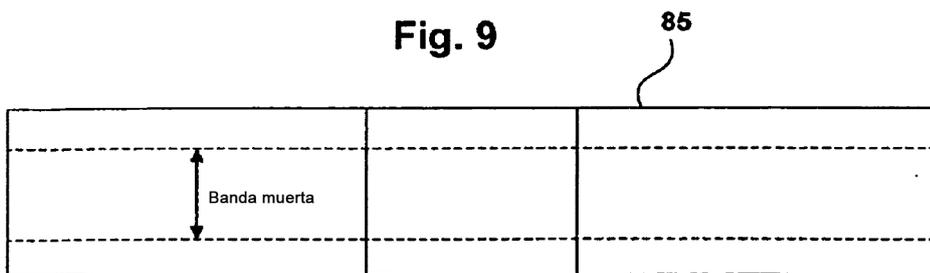
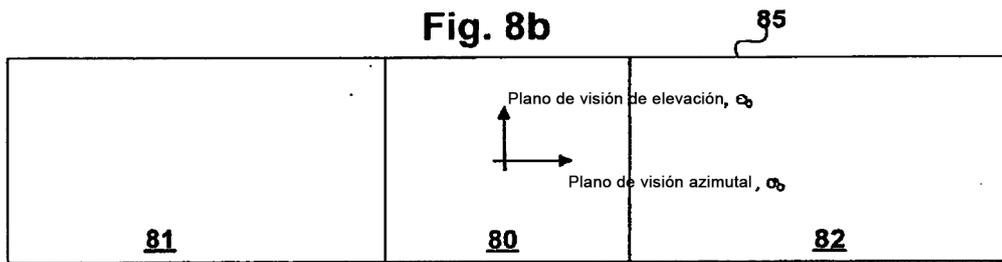
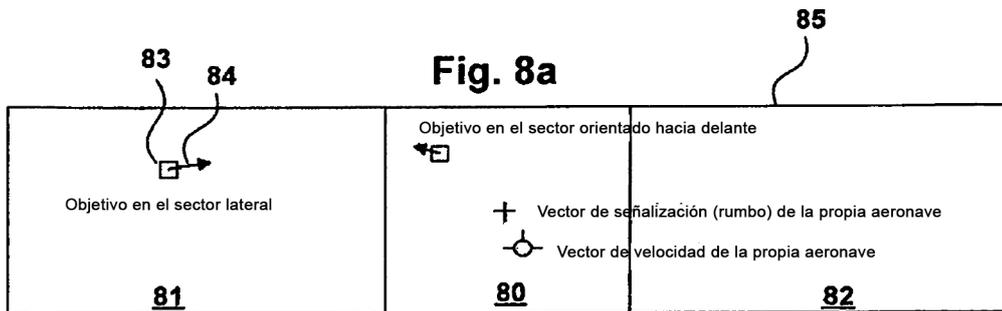


Fig. 10a

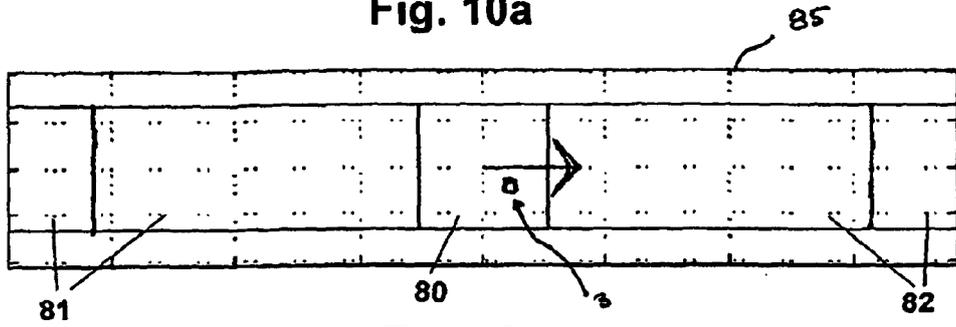


Fig. 10b

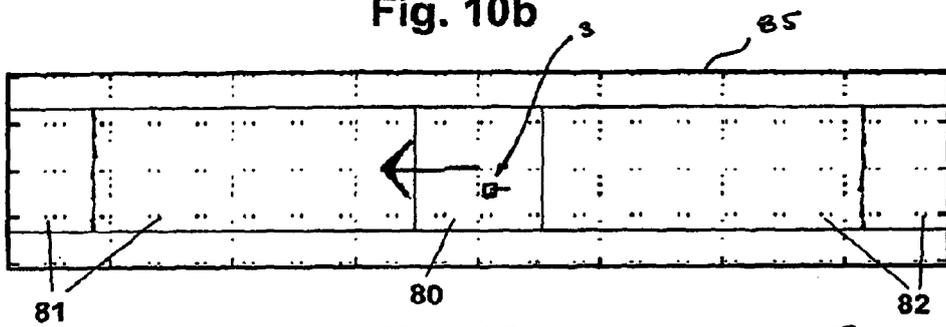


Fig. 10a

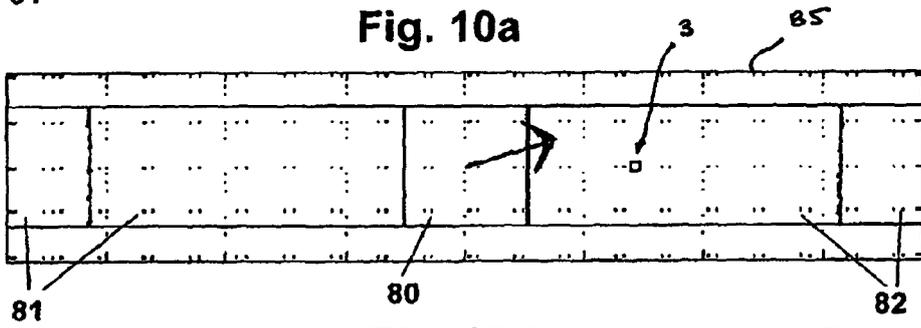


Fig. 10d

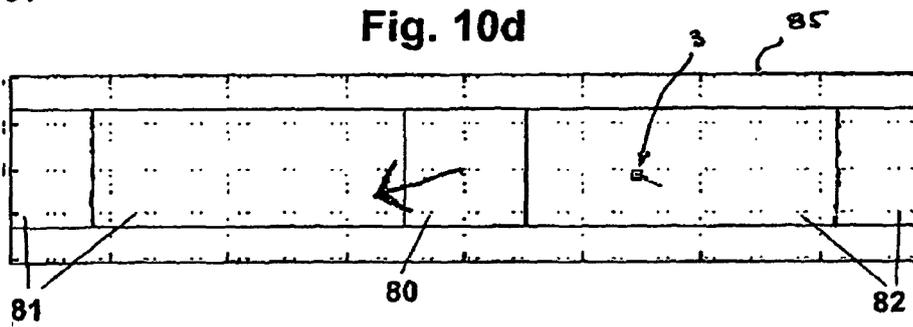
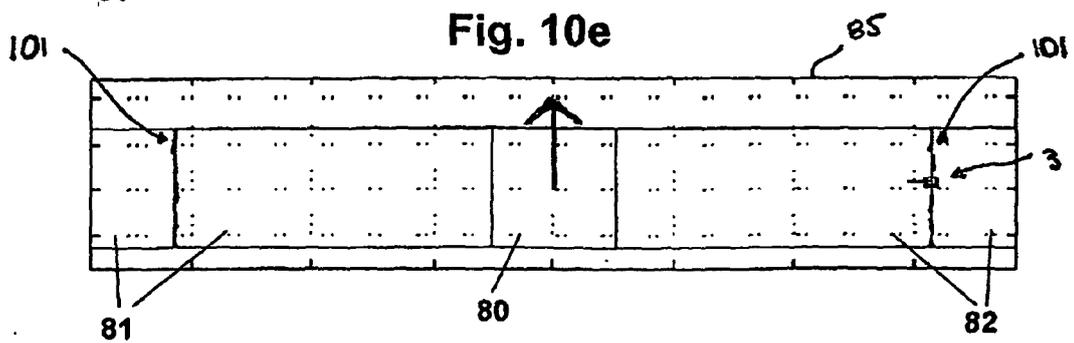


Fig. 10e



**Fig. 11**

