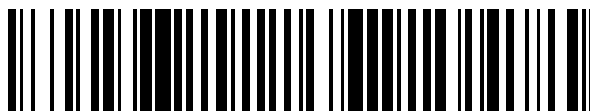


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 400 708**

51 Int. Cl.:

G01S 11/12 (2006.01)

G01S 5/16 (2006.01)

G08G 5/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2008 E 08163084 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.01.2013 EP 2159779**

54 Título: **Utilización de un sensor de imágenes y de un filtro de seguimiento de tiempo restante para evitar colisiones en vuelo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.04.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MOLANDER, SÖREN y
JONSSON, JIMMY**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 400 708 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

Utilización de un sensor de imágenes y de un filtro de seguimiento de tiempo restante para evitar colisiones en vuelo

Campo técnico

5 La presente invención se refiere al campo de evitar colisiones en vuelo, y más en particular, se refiere a un sistema y procedimiento para decidir si un vehículo aéreo debe realizar, o no, una maniobra autónoma de evitación con el fin de evitar la colisión con otro vehículo aéreo.

Técnica antecedente

10 Con el fin de permitir que los vehículos aéreos no tripulados (UAV) viajen en el espacio aéreo civil no segregado, se deben resolver varios problemas técnicos. Una de las cuestiones más importantes es el problema de "detectar y evitar": un UAV debe ser capaz de detectar la presencia de otros vehículos aéreos y, si es necesario, realizar una maniobra autónoma y segura de último momento para evitar la colisión en vuelo. Por lo tanto, un UAV comprende típicamente un sistema para evitar colisiones en vuelo, a veces denominado también como sistema Detectar y Evitar, que incluye uno o varios sensores para la detección de aeronave intrusas, y una funcionalidad para evitar la colisión que utiliza los datos detectados y las características de rendimiento de la propia aeronave para realizar una
15 maniobra de escape segura. Puesto que el sistema para evitar colisiones es un sistema de mejora de la seguridad, es crucial que los datos suministrados a la funcionalidad para evitar colisiones sean de alta calidad con el fin de evitar maniobras molestas e inseguras.

20 Un parámetro crucial en un sistema para evitar colisiones es la entidad denominada Tiempo para la Colisión (TTC), que, como el nombre implica, es el tiempo estimado para el impacto con una aeronave intrusa, calculado en base a los datos relativos a la posición de la propia aeronave y al movimiento y los datos de los vehículos aéreos circundantes, recogidos por los sensores del sistema para evitar colisiones. El valor estimado del TTC se utiliza típicamente para determinar una entidad que a veces es denominada Tiempo Para Maniobrar (TTM), que es una estimación del tiempo que queda antes de que se deba realizar una maniobra de escape con el fin de evitar de una manera segura una colisión en vuelo. El TTM se calcula normalmente como el TTC menos un valor de seguridad, determinándose el
25 citado valor de seguridad en base a, por ejemplo, las características de funcionamiento de la propia aeronave y la incertidumbre asociada con la estimación del valor del TTC.

30 Hay varias maneras conocidas para estimar el tiempo para la colisión con aeronaves cercanas. Por ejemplo, se conoce el uso de cámaras para capturar imágenes consecutivas de aviones circundantes de tal manera que las aeronaves se representan como puntos de objetivo en las imágenes, y la estimación de TTC en base al cambio de escala en los puntos de objetivo de una imagen a otra.

También es bien conocido en la técnica el uso de diferentes tipos de filtros de seguimiento adaptados para estimar el tiempo para la colisión con una aeronave cercana a partir de una secuencia de observaciones con respecto a la posición de la aeronave cercana, adquiridas típicamente por medio de radar.

35 El documento norteamericano US 5128874 desvela un sistema que incorpora información del sensor inercial en cálculos de flujo óptico para detectar los obstáculos y para proporcionar rutas de navegación alternativas libres de obstáculos. Los cálculos de flujo óptico implican la extracción, derotación y adecuación de los puntos de interés a partir de fotogramas secuenciales de imágenes para la interpolación del alcance de la escena detectada.

40 El documento de Fasano, G. et al, "Seguimiento Multisensor en Vuelo para la Evitación Autónoma de Colisiones" Fusión de Información, 2006, ICIF '06, 9ª Conferencia Internacional, IEEE, PI, 1 de julio de 2006, páginas 1 - 7, XP031042465 ISBN: 978 - 1 - 4244 - 0953 - 2, desvela los algoritmos de seguimiento desarrollados para un sistema multisensorial para evitar la colisión en Vehículos Aéreos No Tripulados. El sistema comprende un radar de impulsos, dos cámaras infrarrojas y dos cámaras visibles utilizadas como sensores de ayuda, y la técnica de fusión de datos adoptada para el seguimiento es el filtro de Kalman.

45 El documento de Recchia, G. et al: "Un Sistema de Ver y Evitar Electro - Óptico basado en Flujo Óptico para UAV", Conferencia Aeroespacial, 2007, IEEE, Piscataway, NJ, EE.UU., 3 de marzo de 2007, páginas 1 - 9, XP031214311 ISBN: 978 - 1 - 4244 - 0524 - 4, desvela un estudio de sistema de detección de objetivo autónomo electro - óptico completo para UAV. El algoritmo de detección seleccionado se basa en la técnica de Flujo Óptico y está probado en secuencias de vídeo reales de aeronaves en vuelo.

50 El documento norteamericano US 2007/210953 desvela sistema para detectar y evitar colisiones para un Vehículo Aéreo No Tripulado. El sistema incluye un interrogador de imágenes que identifica las amenazas potenciales de colisión de la aeronave y proporcionar las maniobras para evitar cualquier riesgo identificado. Sensores de formación de imágenes y / o de infrarrojos son utilizados para proporcionar marcos de imagen del entorno circundante y una unidad de detección de objetivos detecta los objetivos locales que se mueven en los marcos. Una unidad de evaluación de amenazas determina si cualquier objetivo local seguido representa una amenaza para la colisión y una unidad de maniobra de evitación proporciona el control de vuelo y la orientación con una maniobra para evitar cualquier
55 riesgo de colisión identificado.

Sin embargo, cada uno de los principios anteriores para estimar el TTC adolece de inconvenientes. El primer principio de acuerdo con el cual las estimaciones de TTC se calculan en base al cambio de escala en los puntos de objetivo entre imágenes consecutivas sólo es aplicable cuando la aeronave intrusa está muy cerca de la aeronave propia. El segundo principio de acuerdo con el cual las estimaciones de TTC son estimadas por un filtro de seguimiento adolece del inconveniente de que la incertidumbre en las estimaciones de TTC es alta.

Sumario

Un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema para evitar colisiones, que es capaz de predecir el tiempo para la colisión (TTC) entre un vehículo aéreo equipado con el sistema y un vehículo aéreo intruso con un alto grado de certidumbre.

Otro objeto de la invención es proporcionar un sistema de este tipo que ofrezca una alta disponibilidad de estimaciones de TTC.

Este objeto se consigue de acuerdo con la invención por medio de un sistema para evitar colisiones para decidir si se debe realizar una maniobra autónoma de evitación con el fin de evitar una colisión en vuelo entre un vehículo aéreo anfitrión equipado con el sistema y un vehículo aéreo intruso. El sistema comprende:

- al menos un sensor electro óptico dispuesto para capturar imágenes consecutivas del citado vehículo intruso, manifestándose dicho vehículo como un punto de objetivo en las citadas imágenes,
- un medio de tratamiento de imagen dispuesto para estimar al menos el ángulo de acimut (φ) y de elevación (θ) del vehículo anfitrión con respecto al vehículo intruso en base a la posición en 2D del punto de objetivo en las citadas imágenes, y una primera estimación de tiempo para colisión (TTC_{IPU}), del tiempo para la colisión entre el vehículo anfitrión y el vehículo intruso en base al cambio de escala en el punto de objetivo entre al menos dos de las citadas imágenes consecutivas,
- un filtro de seguimiento dispuesto para estimar la segunda estimación de tiempo para colisión (TTC_{TF}) del tiempo para la colisión entre el vehículo anfitrión y el vehículo intruso usando el citado ángulo de azimut estimado (φ), el citado ángulo de elevación estimado (θ) y la citada primera estimación de tiempo para colisión (TTC_{IPU}) como parámetros de entrada, y
- un medio para evitar colisiones (CA) dispuesto para decidir si se debe realizar, o no, la maniobra de evitación en base a cualquiera de al menos un parámetro, de los cuales al menos uno es indicativo de la citada segunda estimación de tiempo para colisión (TTC_{TF}).

Mediante el uso de las estimaciones de TTC_{IPU} como parámetros de entrada para el filtro de seguimiento, la presente invención proporciona un sistema para evitar colisiones que se beneficia tanto de la ventaja ofrecida por filtros de seguimiento convencionales (estimaciones de TTC disponibles incluso cuando el objetivo está lejos), así como de la ventaja ofrecida por los sensores de imagen convencionales que utilizan técnicas de correlación de escala (alto grado de certidumbre en las estimaciones de TTC cuando el objetivo está cerca).

Una ventaja de la ejecución de las estimaciones de TTC_{IPU} por medio del filtro de seguimiento en lugar de simplemente usar las estimaciones de TTC_{TF} del filtro de seguimiento en largas distancias y las estimaciones de TTC_{IPU} de las unidades de tratamiento de imagen a distancias cortas, es que el uso de las estimaciones de TTC_{IPU} como parámetros de entrada al filtro tiene un impacto positivo no sólo en las estimaciones de TTC_{TF} emitidas de salida por el filtro, sino también los otros parámetros de estado del modelo de filtro. Por ejemplo, un filtro de seguimiento está diseñado típicamente para estimar la distancia al vehículo intruso con el fin de establecer la posición tridimensional del mismo. Al proporcionar las estimaciones de TTC_{IPU} como entrada al filtro, tanto la estimación de la distancia como la estimación de la incertidumbre de distancia calculadas por el filtro pueden ser mejoradas sustancialmente.

El tiempo para maniobrar (TTM), es decir, el tiempo que queda hasta que se deba realizar una maniobra de evitación con el fin de evitar la colisión, se calcula normalmente en base a una pluralidad de parámetros, de los cuales la estimación de TTC y su incertidumbre asociada son dos muy importantes. La presente invención proporciona un sistema para evitar la colisión más robusto en el que el número de maniobras de evitación realizadas sin justa causa se puede minimizar ya que el principio de utilización de las estimaciones de TTC_{IPU} de la unidad de tratamiento de imagen como parámetros de entrada para el filtro de seguimiento reduce la incertidumbre en las estimaciones de TTC_{TF} producidas como salida por el filtro.

Preferiblemente, el filtro de seguimiento del sistema para evitar colisiones está dispuesto para estimar la incertidumbre en la estimación de TTC_{TF} , por el que el medio de CA está dispuesto para tomar la decisión con respecto a si se debe realizar, o no, la maniobra de evitación de la colisión en base tanto a la estimación de TTC_{TF} como a su incertidumbre asociada.

De acuerdo con otra realización de la invención, el medio de CA está dispuesto para tomar la decisión con respecto a si se debe realizar, o no, la maniobra para evitar colisiones en base a uno o ambos de entre un parámetro indicativo de la estimación de TTC_{TF} enviada por el filtro de seguimiento y un parámetro indicativo de la estimación de

TTC_{IPU} realizada por el medio de tratamiento de imagen. Preferiblemente, el medio de CA está dispuesto, en este caso, para comparar la estimación de TTC_{TF} con la estimación de TTC_{IPU} y tomar la decisión en base a la estimación que indica el menor tiempo para la colisión. Esto añade otra capa de seguridad al sistema para evitar colisiones de acuerdo con la invención.

- 5 En una versión perfeccionada de la realización anterior, el sistema para evitar colisiones comprende un medio para estimar tanto la incertidumbre en la estimación de TTC_{TF} como la incertidumbre en la estimación de TTC_{IPU}, con el que el medio de CA está dispuesto para tomar la decisión en base a cualquiera de las estimaciones de TTC_{TF}, la estimación de la incertidumbre del TTC_{TF}, la estimación de TTC_{IPU}, la estimación de la incertidumbre del TTC_{IPU} o cualquier combinación de éstos. De esta manera, el medio de CA puede calcular, por ejemplo, un primer TTM basado en la estimación de TTC_{TF} y su incertidumbre asociada, y un segundo TTM basado en la estimación de TTC_{IPU} y su incertidumbre asociada, y en base a la decisión con respecto a si se debe realizar, o no, la maniobra para evitar colisiones en el más corto de los TTM calculados de esta manera.

- 15 La incertidumbre en las estimaciones de TTC_{IPU} es típicamente alta, siempre que el vehículo intruso esté lejano del vehículo anfitrión. Preferiblemente, el filtro de seguimiento del sistema para evitar colisiones está dispuesto para comenzar a utilizar las estimaciones de TTC_{IPU} como parámetros de entrada cuando la calidad en las estimaciones de TTC_{IPU} supera un cierto valor umbral. La calidad de las estimaciones de TTC_{IPU} se puede determinar por medio del estudio de diversos parámetros de indicación de calidad, como por ejemplo, la incertidumbre en la estimación de TTC_{IPU}. La incertidumbre de cada estimación de TTC_{IPU} se puede calcular de diferentes maneras, pero preferiblemente se calcula en base a la varianza de la última estimación de TTC_{IPU} estimado.

- 20 Características más ventajosas del sistema para evitar colisiones de acuerdo con la invención se describirán en la descripción detallada que sigue en la presente memoria descriptiva y a continuación.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para decidir si se debe realizar una maniobra de evitación con el fin de evitar una colisión en vuelo entre un vehículo aéreo anfitrión y un vehículo aéreo intruso.

Este objeto se consigue por un procedimiento que comprende las etapas de:

- 25 - capturar imágenes consecutivas del citado vehículo intruso, manifestándose dicho vehículo como un punto de objetivo en las citadas imágenes,
- 30 - estimar al menos el ángulo de acimut (φ) y el de elevación (θ) del vehículo anfitrión con respecto al vehículo intruso en base a la posición en 2D del punto de objetivo en la citadas imágenes, y una primera estimación de tiempo para colisión (TTC_{IPU}) del tiempo para la colisión entre el vehículo anfitrión y el vehículo intruso en base al cambio de escala en el punto de objetivo entre al menos dos de las citadas imágenes consecutivas,
- 35 - estimar por medio de un filtro de seguimiento, una segunda estimación de tiempo para colisión (TTC_{TF}) del tiempo para la colisión entre el vehículo anfitrión y el vehículo intruso mediante el uso del citado ángulo de azimut estimado (φ), del citado ángulo de elevación estimado (θ) y de la citada primera estimación de tiempo para colisión (TTC_{IPU}) como parámetros de entrada al citado filtro, y
- decidir si se debe realizar, o no, la maniobra de evitación en base a cualquiera del al menos un parámetro, de los cuales al menos uno es indicativo de la citada segunda estimación de tiempo para colisión (TTC_{TF}).

Breve descripción de los dibujos

- 40 La presente invención se entenderá más completamente a partir de la descripción detallada que se proporciona en la presente memoria descriptiva y a continuación y con los dibujos que se acompañan, que no están necesariamente a escala, y se dan solamente a modo de ilustración. En los diferentes dibujos, los mismos números de referencia corresponden a un mismo elemento.

La figura 1 ilustra una vista superior de la mitad delantera de un Vehículo Aéreo No Tripulado 1 que comprende un sistema para evitar colisiones de acuerdo con la invención.

- 45 La figura 2 ilustra un sistema para evitar colisiones para aplicaciones para evitar colisiones en vuelo de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 3 ilustra dos puntos de objetivo que representan el mismo objetivo en dos imágenes consecutivas capturadas por uno de los sensores electro - ópticos en el sistema para evitar colisiones de la figura 2.

- 50 Las figuras 4 a 8B muestran gráficos de los datos de vuelo real, registrados durante un escenario en el cual una aeronave intrusa se acercó a una aeronave anfitriona equipada con el sistema para evitar colisiones que se ilustra en la figura 2.

La figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para decidir si se debe realizar una maniobra de evitación con el fin de evitar una colisión en vuelo entre un vehículo aéreo anfitrión y un vehículo aéreo intruso.

Acrónimos y abreviaturas

<u>Siglas</u>	<u>Definición</u>
ADS - B	Vigilancia Dependiente Automática - Emisión
EKF	Filtro Kalman Extendido
IPU	Unidad de Tratamiento de Imagen
LIDAR	Detección de Luz y Alcance
MSC	Coordenadas Esféricas Modificadas
SNR	Relación Señal A Ruido
TP	Predicción de Seguimiento
TS	Sistema de Seguimiento
TTC	Tiempo para la Colisión
TTM	Tiempo para la Maniobra
UAV	Vehículo Aéreo No Tripulado
UKF	Filtro Kalman tipo "Unscented"

Descripción detallada

5 La figura 1 ilustra una vista superior de la mitad delantera de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV) 1. El UAV 1 comprende uno o varios sensores electro - ópticos (EO) 3 para la monitorización del tráfico aéreo circundante. Los sensores EO 3 constituyen partes de un sistema de seguimiento para el seguimiento continuo de objetos aéreos cercanos con el fin de evitar colisiones en vuelo. El sistema para evitar colisiones de los cuales el sistema de seguimiento forma una parte se describirá con más detalle a continuación con referencia a la figura 2.

10 En la realización ejemplar que se ilustra en la figura 1, se puede apreciar que el UAV 1 comprenden siete sensores electro - óptico (EO) 3 que están dispuestos en un patrón semicircular en o cerca de la proa del UAV 1. Los sensores EO 3 pueden ser cualesquiera dispositivos que sean capaces de capturar imágenes consecutivas de objetos en el espacio aéreo circundante. En una realización de la invención, los sensores EO 3 son cámaras de vídeo 3 de 9 Hz que capturan imágenes que tienen una resolución de 2048 x 2048 píxeles. Es decir, cada cámara 3 captura nueve imágenes de alta resolución por segundo del espacio aéreo circundante. Cada cámara 3 tiene un campo de visión de 35 grados en azimut y 30 grados en elevación. Los campos de visión de dos cámaras adyacentes 3 se solapan ligeramente en azimut, lo cual produce un campo de visión total de 220 grados en acimut para la disposición completa de sensores EO. Por lo tanto, la disposición de sensores EO tiene un campo de visión de 220 grados en azimut y 30 grados en elevación, lo que se corresponde sustancialmente con el campo de visión de los ojos humanos.

15 La figura 2 ilustra un sistema para evitar colisiones 5 para aplicaciones para evitar colisiones en vuelo de acuerdo con una realización de la invención.

20 Cada uno de los sensores EO 3 en la figura 1 está conectado a una unidad de tratamiento de imagen (IPU) 7 a la que transmite los datos de imágenes capturados.

25 La IPU 7 filtra y procesa los datos de las imágenes recibidas para detectar discrepancias de píxeles que son representativas de los vehículos aéreos cercanos. Un vehículo aéreo que entra en el campo de visión de cualquiera de las cámaras 3 del sistema de seguimiento 5 se manifestará como un objeto sustancialmente en forma de punto que llena uno o varios píxeles de imagen. Una discrepancia de píxeles detectada que representa un vehículo aéreo en la presente memoria descriptiva y a continuación será referido como un punto de objetivo y el vehículo aéreo que se manifiesta como un punto de objetivo en la imagen será referido como un objetivo.

30 Un problema bien conocido en los sistemas de seguimiento de objetivos basados en el reconocimiento de imágenes es el de separar los puntos de objetivo reales de las discrepancias de píxeles causadas por el ruido de la señal. Típicamente, en una imagen de 2048 x 2048 píxeles, habrá cientos de puntos de objetivo "falsos" causados por el ruido de la señal. Con el fin de filtrar los puntos de objetivo falsos, la IPU 7 está adaptada para comparar dos o más

imágenes consecutivas recibidas desde la cámara 3 y asociar los puntos de objetivo que se producen en las diferentes imágenes unos con los otros cuando son suficientemente similares. En este contexto, "suficientemente similares" significa típicamente que los puntos de objetivo que tienen sustancialmente el mismo tamaño, que se producen sustancialmente en el mismo lugar, y que se mueve sustancialmente en la misma dirección entre las imágenes consecutivas están asociados unos con los otros. Por supuesto, la IPU 7 puede estar adaptada para tolerar pequeños cambios en el tamaño, la posición y la dirección de movimiento entre las imágenes consecutivas para compensar cualquier movimiento relativo entre el UAV anfitrión 1 y el objetivo seguido que se manifiesta como un punto de objetivo en las imágenes. Para este propósito, la IPU 7 se puede adaptar adicionalmente para utilizar los datos de navegación relacionados con la posición y la velocidad de la propia aeronave, recibidos de una unidad de navegación 9. La IPU 7 está adaptada, además, para asociar un punto de objetivo asociado con una pista a lo largo de la cual se mueve el punto de objetivo entre las imágenes consecutivas, y estima la posición de un punto de objetivo particular, en la siguiente imagen o imágenes en base a esta pista. Los puntos de objetivo que no pueden ser asociadas a los puntos de objetivo que se producen en las imágenes anteriores o posteriores son considerados falsos y son filtrados y rechazados por la IPU 7.

La IPU 7 está adaptada, además, para estimar por lo menos tres parámetros de interés, y la incertidumbre asociada con cada parámetro.

En primer lugar, la IPU 7 está adaptada para calcular el azimut, ϕ y la elevación, θ , de cada objetivo detectado en base a la posición en dos dimensiones (2D) del punto de objetivo que representa ese objetivo en la imagen procesada. A medida que cada cámara 3 se dispone de una manera conocida en relación con el cuerpo del UAV 1, y puesto que el campo de visión de cada cámara, es decir, el ángulo sólido monitorizado por cada cámara, es conocido y bien definido, la IPU 7 puede traducir la posición en 2D del o de los píxeles que constituye el punto de objetivo en la imagen capturada a un ángulo de azimut, ϕ , y a un ángulo de elevación, θ , desde el UAV 1 al objetivo. El azimut, ϕ , y la elevación, θ , juntos proporcionan la orientación del UAV 1 al objetivo. La IPU 7 está adaptada también para estimar la incertidumbre, $\sigma(\phi)$, en la estimación del azimut y la incertidumbre, $\sigma(\theta)$, en la estimación de la elevación en base a, por ejemplo, la relación señal - ruido (SNR) en la imagen procesada y otros parámetros del sistema críticos para el rendimiento. Además, la IPU 7 puede estar dispuesta para determinar los parámetros de calidad, $p(\theta)$ y $p(\phi)$, que son indicativos de la disponibilidad y de la calidad de las estimaciones de azimut, ϕ , y de elevación, θ . La calidad de las estimaciones de azimut y de elevación depende, por ejemplo, de la técnica de medición utilizada y de las características de funcionamiento del equipo de medición. Los parámetros de calidad que indican el grado de precisión en los datos medidos se desea a menudo en aplicaciones críticas de seguridad, tales como las aplicaciones para evitar colisiones. Los parámetros de incertidumbre $\sigma(\phi)$ y $\sigma(\theta)$ y los parámetros de calidad $p(\phi)$ y $p(\theta)$ juntos constituyen una buena medida de la fiabilidad de la orientación medida desde el UAV anfitrión 1 a un vehículo aéreo seguido.

En segundo lugar, la IPU 7 está adaptada para calcular un parámetro denominado Tiempo para la Colisión (TTC), siendo de gran importancia dicho parámetro en las aplicaciones para evitar las colisiones. Como el nombre implica, el TTC es una medida del tiempo previsto para la colisión entre el UAV anfitrión 1 y el objetivo detectado. Aunque los datos de imágenes recibidos por la IPU 7 no contienen ninguna información explícita acerca de la distancia a un objetivo detectado o la velocidad del mismo, la IPU 7 es capaz de estimar el TTC utilizando técnicas de tratamiento de imagen de correlación de escala. Las estimaciones de TTC estimadas por la IPU 7 usando las técnicas de tratamiento de imagen de correlación de escala en la presente memoria descriptiva y a continuación se denominarán TTC_{IPU} .

Con el fin de estimar el TTC_{IPU} , la IPU 7 está adaptada para medir el cambio de escala de un objetivo proyectado entre imágenes consecutivas, es decir, el cambio de escala de un punto de objetivo entre imágenes consecutivas, y el TTC_{IPU} estimado en base al citado cambio de escala. El cambio de escala de un punto de objetivo entre imágenes consecutivas, o, en otras palabras, la velocidad de cambio de crecimiento angular en el punto de objetivo, es igual a una medida de la distancia al objetivo seguido dividida por la velocidad de cierre del objetivo y es por lo tanto, es una medida del tiempo para la colisión entre el UAV anfitrión 1 y el objetivo seguido. La figura 3 ilustra dos puntos de objetivo que representan el mismo objetivo en dos imágenes consecutivas tomadas por la cámara 3. La primera imagen es capturada en un primer punto en el tiempo, t , en el que la extensión angular del punto de objetivo en el sensor se denomina $\alpha(t)$, y la segunda imagen capturada en un segundo punto en el tiempo, $t + \Delta T$, en el que la extensión angular del punto de objetivo, $\alpha(t + \Delta T)$, es ligeramente más grande debido al hecho de que el objetivo está más cerca del UAV anfitrión 1 durante el período de tiempo ΔT . El área rayada representa el cambio en el crecimiento angular del punto de objetivo entre las dos imágenes. Midiendo el área rayada utilizando técnicas de procesamiento, la IPU 7 puede calcular la velocidad de cambio del punto de objetivo de crecimiento angular puesto que el tiempo, ΔT , transcurrido entre la captación de las diferentes imágenes, es conocido. Típicamente, la extensión angular de un punto de objetivo se estima midiendo la extensión lineal del punto de objetivo en la imagen, es decir, por medio de la medición de la anchura y / o la altura del punto de objetivo.

Se debe hacer notar que, con el fin de que la IPU 7 obtenga una estimación precisa del TTC_{IPU} , el objetivo se debe estar moviendo sustancialmente directamente hacia el UAV anfitrión 1. Es decir, el cambio en la orientación ($|d\phi/dt|$ y $|d\theta/dt|$) al objetivo seguido debe ser próximo a cero en el tiempo. Esto es debido al hecho de que, con el fin de que la IPU 7 determine el cambio de escala del punto de objetivo y por lo tanto el TTC_{IPU} con un grado razonable de certidumbre, los puntos de objetivo se deben solapar preferentemente unos con los otros por completo, como se ilustra en la figura 3. Además, con el fin de obtener un alto grado de certidumbre en la estimación de TTC_{IPU} , el cam-

- bio de escala del punto de objetivo debe ser lo suficientemente grande entre las imágenes consecutivas. Las "imágenes consecutivas" en este contexto no se deben interpretar necesariamente como dos imágenes inmediatamente consecutivas. En el ejemplo de realización en la que las cámaras de vídeo 3 de 9 Hz se utilizan como sensores EO, la utilización de dos imágenes consecutivas inmediatas cuando se trata de estimar el TTC_{IPU} produciría un ΔT de aproximadamente 0,2 segundos. Un valor de ΔT de 0,2 segundos es normalmente pequeño cuando se siguen vehículos aéreos muy distantes que tienen un tamaño y velocidad estándar. Con la configuración de sensores EO sugerida, ΔT se elige preferiblemente para que sea entre 2 y 10 segundos (correspondiente a la determinación del cambio de escala del punto de objetivo entre un máximo cada decimioctava imagen, y un mínimo cada nonagésima imagen).
- Un problema cuando se usa el cambio de escala en puntos de objetivo entre imágenes consecutivas para la estimación de tiempo para colisión es que las estimaciones solamente están disponibles cuando el vehículo aéreo intruso está cerca de los sensores EO 3 y por lo tanto, del UAV anfitrión 1. La distancia crítica en la cual las estimaciones de TTC_{IPU} estén disponibles depende de la visibilidad, la velocidad de cierre relativa de los vehículos, las propiedades de los sensores EO y el tamaño del vehículo aéreo intruso. Que las estimaciones de TTC_{IPU} se encuentren "disponibles" aquí significa que más allá de esta distancia crítica, cualquier estimación de TTC_{IPU} es demasiado incierta para confiar en ella. Sin embargo, una ventaja de la estimación de tiempo para la colisión en base al cambio de escala en los puntos de objetivo entre las imágenes captadas consecutivamente es que una vez que el vehículo aéreo intruso está dentro de la distancia crítica mencionada, los valores del TTC_{IPU} estimado tienen un grado de certidumbre muy alto.
- Además de las incertidumbres asociadas con las estimaciones de azimut y elevación, $\sigma(\varphi)$ y $\sigma(\theta)$, la IPU 7 está adaptada, además, para estimar la incertidumbre, $\sigma(TTC_{IPU})$ asociada con la estimación del TTC_{IPU} . La incertidumbre del TTC_{IPU} puede ser estimada de diferentes maneras. Por ejemplo, se puede calcular en base a diversos parámetros del sistema, tales como la SNR y el ruido de medición angular en una base de imagen a imagen. Típicamente, sin embargo, la incertidumbre asociada con la estimación del TTC_{IPU} particular es determinada por la IPU 7 mediante el estudio de la varianza de una pluralidad de valores de TTC_{IPU} estimados inmediatamente antes de la estimación del TTC_{IPU} del cual se va a determinar la incertidumbre. Una buena correspondencia / pequeña varianza indica que la estimación del TTC_{IPU} es fiable. La IPU 7 puede estar adaptada para generar un indicador de incertidumbre del TTC_{IPU} , $f_{\sigma(TTC_{IPU})}$, que es indicativa de la incertidumbre, $\sigma(TTC_{IPU})$, asociada con cada estimación del TTC_{IPU} y por lo tanto, la fiabilidad de la misma. El indicador de incertidumbre del TTC_{IPU} puede ser, por ejemplo, una bandera que es establecida por la IPU 7 cuando la incertidumbre del TTC_{IPU} cae por debajo de un valor umbral predeterminado.
- Volviendo de nuevo a la figura 2, el sistema de seguimiento 5 comprende, además, el medio de predicción de seguimiento (TP) 11. El predictor de seguimiento 11 comprende un filtro de seguimiento 12, para estimar el tiempo para la colisión con vehículos aéreos intrusos basado en las mediciones de orientación, es decir, las mediciones del acimut, φ , y de la elevación, θ , realizadas por la IPU 7. Las estimaciones de tiempo para la colisión estimadas por el filtro de seguimiento 12 en la presente memoria descriptiva y a continuación se denominarán TTC_{TF} .
- Los filtros de seguimiento son bien conocidos en la técnica y se pueden implementar de muchas maneras diferentes. Por ejemplo, el filtro de seguimiento 12 puede ser un Filtro de Kalman Extendido (EKF), un filtro de Kalman de tipo "Unscented" (UKF), variaciones de filtros de partículas (Procedimientos Recursivos de Monte Carlo) o combinaciones de los mismos. Ambos filtros de Kalman y filtros de partículas son bien conocidos en la técnica y se sabe que son filtros recursivos eficaces para estimar el estado de un sistema dinámico a partir de una serie de mediciones. También se conoce el uso de tales filtros en los predictores de seguimiento para la estimación de la posición y de la velocidad de un vehículo aéreo cercano a partir de una secuencia de observaciones respecto de la posición del vehículo.
- Como se indica en la figura 2, el predictor de seguimiento 11 recibe las mediciones angulares (φ y θ) y las incertidumbres asociadas con las mismas ($\sigma(\varphi)$ y $\sigma(\theta)$) desde la IPU 7. También recibe los datos de navegación relacionados con la propia aeronave 1, tales como la altura, velocidad, dirección de movimiento, aceleración etc., actuales, de la unidad de navegación 9. Estos datos se utilizan como parámetros de entrada al filtro de seguimiento 12 con el fin de que el citado filtro estime la posición tridimensional (3D) (pos_T) del objetivo, la velocidad (V_T) del objetivo, TTC_{TF} y las incertidumbres asociadas a estos parámetros.
- Una ventaja de utilizar filtros de seguimiento para la estimación de tiempo para colisión, en comparación con el uso de técnicas de correlación de escala como la utilizada por la IPU 7 que se ha explicado más arriba, es que las estimaciones de TTC_{TF} se pueden conseguir también cuando el objetivo seguido se encuentra a gran distancia del UAV 1. Las estimaciones de TTC_{TF} para un vehículo aéreo intruso pueden ser calculadas por el filtro de seguimiento 12 a distancias mucho más grandes que la distancia crítica de la cual las estimaciones fiables de TTC_{IPU} pueden ser derivadas por la IPU 7. Una desventaja de estimar el tiempo para la colisión utilizando un filtro de seguimiento en lugar de utilizar la técnica de cambio de escala que se ha descrito más arriba es, sin embargo, que las incertidumbres en las estimaciones de TTC_{TF} son mucho mayores que las incertidumbres en las estimaciones de TTC_{IPU} para mediciones de distancias cortas, es decir, para las distancias más cortas que la citada distancia crítica. Es decir, mientras las estimaciones de TTC_{TF} de un vehículo aéreo intruso a menudo están disponibles tan pronto como el vehículo es detectable por los sensores EO 3, las estimaciones de TTC_{IPU} son mucho más ciertas cuando el vehículo se encuentra cerca del UAV anfitrión 1.

El concepto básico de la presente invención es el uso de las estimaciones de TTC_{IPU} estimadas por la IPU 7 como parámetros de entrada para el filtro de seguimiento 12 cuando las estimaciones de TTC_{IPU} se consideran suficientemente fiables, y permitir que la decisión con respecto a si el UAV 1 debe realizar, o no, una maniobra autónoma para evitar la colisión en base en las estimaciones de TTC_{TF} enviadas por el filtro de seguimiento 12, o cualquier otro parámetro relacionado con el mismo. Mediante el uso de las estimaciones de TTC_{IPU} como parámetros de entrada medidos para el filtro de seguimiento 12, se reduce drásticamente la incertidumbre en las estimaciones de TTC_{TF} producidas como salida por el filtro 12. Además, tanto la estimación de la distancia al objetivo y la incertidumbre de distancia se mejoran. Por lo tanto, se puede obtener una estimación más precisa y segura de la posición en 3D del objetivo.

- 5
- 10 A continuación, se describirá un ejemplo de la implementación de la invención. En esta implementación ejemplar, el filtro de seguimiento 12 es un EKF 12 que utiliza Coordenadas Esféricas Modificadas (MSC). Sin embargo, se debe apreciar que el concepto básico de usar las estimaciones de TTC_{IPU} como parámetros de entrada para el filtro de seguimiento 12 con el fin de aumentar la precisión y reducir la incertidumbre en las estimaciones de TTC_{TF} son aplicables también cuando se utilizan otros tipos de filtros de seguimiento.
- 15 En las coordenadas MSC, el TTC_{TF} puede ser deducido directamente por el filtro de seguimiento 12 si ambas velocidad de orientación ($|\dot{\phi}|$ y $|\dot{\theta}|$) y aceleración de la orientación ($|\ddot{\phi}|$ y $|\ddot{\theta}|$) son distintas de cero. En la práctica, el movimiento relativo entre el UAV anfitrión 1 y un vehículo aéreo intruso nunca es uniforme debido, por ejemplo, a cambios pequeños pero ubucos en la fuerza del viento, y, por lo tanto, estas condiciones se cumplen siempre y el EKF 12 siempre es capaz de estimar el tiempo para la colisión con un objetivo detectado.
- 20 En esta implementación ejemplar, el vector de estado estimado por el EKF 12 utilizando coordenadas MSC es:

$$x = \left\{ \phi, \dot{\phi} \cos(\theta), \theta, \dot{\theta}, \frac{\dot{r}}{r}, \frac{1}{r} \right\} \quad (1)$$

en la que ϕ es el acimut y θ es la elevación del UAV anfitrión 1 con respecto al objetivo seguido, $\dot{\phi}$ y $\dot{\theta}$ son las velocidades de cambio del acimut y la elevación, respectivamente, r es la distancia desde el UAV anfitrión 1 al objetivo seguido, y \dot{r} es la velocidad de cambio en la citada distancia, es decir, la velocidad de cierre relativa del UAV anfitrión 1 y el objetivo seguido.

- 25 Se debe hacer notar que el estado quinto, $\frac{\dot{r}}{r}$, es la velocidad de cierre relativa del UAV anfitrión 1 y del objetivo seguido dividida por la distancia entre los mismos, y por lo tanto es el inverso de TTC_{TF} .

Inicialmente, cuando un objetivo lejano es detectado por primera vez por un sensor EO 3, el ángulo de acimut, ϕ , el ángulo de elevación, θ , y las incertidumbres asociadas con los mismos, $\sigma(\phi)$ y $\sigma(\theta)$, son calculados por la IPU 7 y se proporciona a la TP 11 en la que se utilizan como valores de entrada al EKF 12. Los valores iniciales de los otros estados del vector de estado, x , se suponen. Normalmente, la velocidad de cambio en acimut y elevación, y por lo tanto el estado segundo y cuarto del vector de estado, x , se establecen inicialmente en cero. Los valores iniciales de los estados quinto y sexto del vector de estado, x , se puede disponer en cualquier valor adecuado. Sin embargo, un valor inicial preferido del parámetro r es un valor correspondiente al alcance operativo de los sensores EO 1, puesto que es probable que un objetivo que es detectado por primera vez por un sensor EO 1 se encuentre cerca del límite del alcance de detección del sensor. El alcance de detección depende del sensor, del tamaño del objeto (aeronave intrusa), y de las condiciones atmosféricas. Una estimación del tamaño de la aeronave intrusa se puede lograr utilizando el conocimiento de la zona de vuelo. Por ejemplo, las pequeñas aeronaves funcionan típicamente en niveles de vuelo bajos fuera del alcance de la Gestión del Tráfico Aéreo (ATM), mientras que las grandes aeronaves comerciales operan en espacio aéreo controlado en altitudes elevadas. En cuanto al valor inicial del estado quinto, que se corresponde con la inversa del TTC_{TF} , un valor inicial adecuado del TTC_{TF} se puede suponer en base a los datos disponibles. Típicamente, un primer valor del TTC_{TF} se calcula en base a la suposición de que el objetivo detectado y el UAV anfitrión 1 eventualmente colisionarán, la distancia supuesta al objetivo (es decir, el alcance operativo de los sensores EO 1), la velocidad de la propia aeronave 1, y la velocidad de cierre supuesta entre la propia aeronave y el objetivo.

- 45 Como es bien conocido en la técnica, el filtro de seguimiento 12 a continuación calcula los nuevos valores de los parámetros de estado y de las incertidumbres asociadas con los mismos, en base a los valores iniciales anteriores y las mediciones de acimut y de elevación recibidas de la IPU 7. En las siguientes iteraciones, el filtro 12 utiliza los valores de los parámetros de estado estimados en el paso de tiempo anterior y las estimaciones últimas de acimut y de elevación realizadas por la IPU 7 para calcular nuevos valores de los parámetros de estado e incertidumbres.
- 50 Como se ha mencionado más arriba, las incertidumbres en las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 son generalmente altas en distancias largas. Sin embargo, si la distancia entre el objetivo seguido y el UAV anfitrión 1 llega a ser suficientemente pequeña, las estimaciones de TTC_{IPU} son mucho más seguras que las estimaciones de TTC_{TF} .

Puesto que una maniobra para evitar colisiones, por naturaleza, se realiza cuando una aeronave intrusa está cerca del UAV 1, las estimaciones fiables del TTC_{IPU} estarán disponibles en el sistema para evitar colisiones 5 en el momento en que surja la necesidad de realizar una maniobra de evitación.

5 Típicamente, el sistema para evitar colisiones 5 se dispone de manera que el filtro de seguimiento 12 comienza a utilizar las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 como parámetros de entrada cuando han alcanzado un cierto grado de fiabilidad. Por ejemplo, la TP 11 puede estar dispuesta para recibir el indicador de incertidumbre, $f_{\sigma(TTC_{IPU})}$, del TTC_{IPU} , desde la IPU 7, y para proporcionar las estimaciones de TTC_{IPU} como parámetros de entrada para el filtro de seguimiento 12 cuando el indicador de incertidumbre del TTC indica que la incertidumbre, $\sigma(TTC_{IPU})$, en las estimaciones de TTC_{IPU} ha caído por debajo de un cierto valor umbral. Sin embargo, se debe entender que la incertidumbre en las estimaciones de TTC_{IPU} no es el único parámetro que indica la fiabilidad del mismo y también se puede usar otros parámetros de calidad para determinar cuando el filtro 12 debe empezar a utilizar las estimaciones de TTC_{IPU} como parámetros de entrada.

15 El filtro de seguimiento 12 puede ser diseñado para utilizar estimaciones fiables del TTC_{IPU} recibidas desde la IPU 7 de diferentes maneras. Preferiblemente, el filtro de seguimiento 12 está adaptado para fusionar las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 con las estimaciones de TTC_{TF} enviadas por el filtro 12, lo que significa que cada estimación de TTC_{IPU} se utiliza como parámetro de entrada adicional para el filtro, complementando la estimación de TTC_{TF} estimada por el mismo filtro en la iteración anterior (es decir, la inversa de quinto estado en el vector de estado, x). Es decir, las estimaciones de TTC_{IPU} se consideran como un parámetro de estado medido por el filtro de seguimiento 12. De esta manera, de acuerdo con esta realización, el TTC_{IPU} es utilizada como una medición de entrada por el filtro de seguimiento 12, que produce una estimación de TTC_{TF} con una la estimación mejorada de la incertidumbre de TTC_{TF} así como de otros estados.

25 El sistema para evitar colisión propuesto 5 en el que las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 se utilizan como parámetros de entrada al filtro de seguimiento 12 cuando las citadas estimaciones de TTC_{IPU} se hacen fiables, combina las ventajas ofrecidas por los filtros de seguimiento (estimaciones de tiempo para la colisión disponibles también para los objetivo lejanos) y sensores de imágenes que utilizan las técnicas de correlación de escala (alto grado de certidumbre en las estimaciones de tiempo para la colisión de objetos cercanos). Una ventaja de la ejecución de las estimaciones de TTC_{IPU} por medio del filtro de seguimiento 12 en lugar de utilizar simplemente las estimaciones de TTC_{TF} del filtro de seguimiento 12 en largas distancias y las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 en distancias cortas, es que también la estimación de la distancia, r , al objetivo, y por lo tanto la estimación de la posición en 3D del objetivo, se mejoran. Esto es debido al hecho de que el alto grado de certidumbre en la estimación de TTC_{TF} ofrecida por el principio propuesto tiene un impacto directo en la precisión y en la certidumbre en la estimación de alcance.

35 Como se ha mencionado más arriba, la distancia crítica en la cual el TTC_{IPU} se hace disponible depende de la visibilidad, de la velocidad de cierre relativa de los vehículos, de las propiedades de los sensores EO y del tamaño del vehículo aéreo intruso. De hecho, una estimación de la distancia efectiva en la que las estimaciones de TTC_{IPU} son lo suficientemente fiable para utilizar como parámetros de entrada al filtro de seguimiento 12 se puede derivar considerando la SNR:

$$SNR = E(\alpha/d\alpha/dt) / \text{Stdv}(\alpha/d\alpha/dt) \quad (2)$$

en la que E es el operador de estimación, α es la extensión angular del punto de objetivo en el sensor, y Stdv es el operador de la desviación estándar de la estimación de TTC. Esto proporciona:

$$T_{TTC} = \sqrt{\frac{L\Delta T}{vSNR\sigma_{\alpha}\sqrt{2}}} \quad (3)$$

40 en la que T_{TTC} es el tiempo que queda para la colisión en el punto en el tiempo en el que las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 estén disponibles (es decir, el tiempo real para la colisión, menos el tiempo que queda hasta las estimaciones fiables del TTC_{IPU} de la IPU estén disponibles), L es el tamaño lineal del objetivo seguido, ΔT es un tiempo de integración correspondiente al tiempo entre dos imágenes consecutivas inmediatamente tomadas por los sensores EO 1, v es la velocidad de cierre entre el UAV anfitrión 1 y el objetivo seguido, y SNR es la relación señal - ruido y σ_{α} es el ruido de medición angular.

50 Además de los sensores EO 1, la IPU 7, la unidad de navegación 9 y la TP 11, se puede ver que el sistema para evitar colisiones 5 en la figura 2 comprende, además, una unidad de fusión de datos opcional 13. La unidad de fusión de datos 13 puede estar conectada a otros sensores (no mostrados) del sistema para evitar colisiones 5, tales como el radar primario y / o secundario, LIDAR, equipo ADS - B, etc., y estar dispuesto para fusionar los datos recibidos desde cualesquiera sensor o sensores de este tipo con los datos que son producidos como salida por el filtro de seguimiento 11.

Los datos que son producidos como salida por el filtro de seguimiento 12, se proporcionan entonces como datos de entrada a una unidad para evitar colisiones (CA) 15, opcionalmente después de ser fusionados con los datos obtenidos de otros sensores en la unidad de fusión 13. La unidad de CA 15 comprende la funcionalidad para la evaluación de los datos recibidos con el fin de determinar si se debe realizar una maniobra para evitar colisiones por el UAV 1, y si es así, cómo se debe hacer con el fin de evitar la colisión con el objetivo seguido. Esta decisión se puede basar no sólo en los citados datos recibidos, sino también en los datos de navegación en relación con la localización y el movimiento de la propia aeronave, proporcionados a la unidad de CA 15 por la unidad de navegación 9. Típicamente, se basa también en el funcionamiento de vuelo del UAV 1. Si la unidad de CA 15 determina que ahora es el momento de hacer una maniobra de evitación con el fin de evitar la colisión con un vehículo aéreo intruso, envía órdenes de control del UAV a una unidad de maniobra 17 del UAV, instruyendo a la unidad de maniobra 17 a que controle el UAV 1 acuerdo con las citadas órdenes de control.

De acuerdo con la invención, el sistema para evitar colisiones 5 está diseñado de tal manera que la decisión de si se debe realizar, o no una maniobra de evitación, se puede basar al menos en la estimación de TTC_{TF} enviada por el filtro de seguimiento 12, o cualquier parámetro indicativo de la citada estimación de TTC_{TF} . Por ejemplo, la decisión se puede basar en la misma estimación de TTC_{TF} , y la incertidumbre asociada con la misma. Típicamente, la unidad para evitar colisiones 15 está dispuesta para calcular el tiempo que queda hasta que se deba iniciar una maniobra para evitar de último instante, que en la presente memoria descriptiva y a continuación será denominada como el tiempo para maniobrar (TTM), en base a una pluralidad de parámetros, de los cuales la estimación de TTC_{TF} y su incertidumbre asociada son dos de los más importantes. Por lo tanto, el principio propuesto de utilizar los valores del TTC_{IPU} estimados por la IPU 7 como parámetros de entrada al filtro de seguimiento 12 proporcionan una funcionalidad para evitar colisiones más robusta y segura con menos peticiones de maniobras de evitación innecesarias puesto que la incertidumbre en el parámetro de TTC_{TF} iterada por el filtro de seguimiento 12 se reduce drásticamente.

De acuerdo con otra realización de la invención, el sistema para evitar colisiones 5 está diseñado de tal manera que la unidad de CA 15 recibe también las estimaciones de TTC_{IPU} calculadas por la IPU 7, y las incertidumbres asociadas con la misma. En esta realización, la unidad de CA 15 está dispuesta para decidir si se debe realizar, o no, una maniobra de evitación en base a una o ambas estimaciones de TTC_{TF} y de las estimaciones de TTC_{IPU} . En este caso, la unidad de CA 15 puede estar dispuesta para comparar una estimación de TTC_{TF} recibida con una estimación de TTC_{IPU} recibida simultáneamente y decidir si se inicia, o no, una maniobra de evitación en base a la estimación que indica el TTC más pequeño. De ese modo, todavía otra capa de seguridad se añade al sistema para evitar colisiones 5. Preferiblemente, la unidad de CA 15 está dispuesta no sólo para considerar las estimaciones de TTC_{TF} y del TTC_{IPU} cuando se toma la decisión, sino también la incertidumbre asociada a cada estimación respectiva. Por ejemplo, la unidad de CA 15 puede estar dispuesta para calcular un primer TTM basado en la estimación de TTC_{TF} y su incertidumbre asociada, y un segundo TTM basada en la estimación de TTC_{IPU} y su incertidumbre asociada, y basar la decisión en cuanto a si se debe realizar, o no, la maniobra para evitar colisiones en el más corto de los TTM calculados de esta manera.

Por lo tanto, se debe entenderse que la unidad para evitar colisiones 15 puede estar dispuesta para basar la decisión con respecto a si se debe realizar, o no, una maniobra de evitación en cualquiera de una pluralidad de parámetros, de los cuales al menos uno es la estimación de TTC_{TF} producida como salida por el filtro de seguimiento 12, estando dispuesto dicho filtro de seguimiento para usar las estimaciones de TTC_{IPU} como parámetros de entrada. Al permitir que la decisión se base en las estimaciones de TTC_{TF} estimadas de acuerdo con el principio propuesto en la presente memoria descriptiva, se proporciona un sistema para evitar colisiones 5 robusto y seguro.

Aunque siempre lo puede hacer, la unidad de CA 15 no tiene que tomar la decisión en cuanto a si se debe realizar, o no, la maniobra de evitación en base a las estimaciones de TTC_{TF} . Como se ha descrito más arriba, ejemplos de otros parámetros en los que se puede basar la decisión son las estimaciones de TTC_{IPU} tal como son deducidas directamente por la IPU 7, y las incertidumbres asociadas con las estimaciones de TTC_{TF} y del TTC_{IPU} . Otros parámetros estimados por la IPU 7 o por el filtro de seguimiento 12, como por ejemplo la incertidumbre en las estimaciones de azimut, elevación y alcance, o los parámetros de calidad $p(\theta)$ y $p(\phi)$ que indican la calidad y la disponibilidad de las estimaciones de azimut y de elevación, también se pueden usar en el proceso de decisión. Es decir, el sistema para evitar colisiones 5 está diseñado de tal manera que la unidad de CA 15 siempre puede tomar la decisión en base a las estimaciones de TTC_{TF} producidas como salida por el filtro de seguimiento 12, pero también puede elegir, bajo ciertas circunstancias en cuales otros parámetros se consideran más importantes o fiables, tomar la decisión en base a estos valores de parámetro, solos o en combinación con la estimación del valor del TTC_{TF} .

En una realización refinada de la invención, la unidad de CA 15 comprende un medio de selección separado (no mostrado) que determina qué parámetro o parámetros se deben utilizar en la decisión de si se debe realizar, o no, una maniobra de evitación. El medio de selección puede estar dispuesto para analizar todos los parámetros disponibles en el sistema para evitar colisiones 5 y decidir en cual parámetro o parámetros se debe basar la decisión considerando los valores de los parámetros actuales.

Las figuras 4 a 8B muestran gráficos de los datos de vuelo reales, registrados durante un escenario en el que una aeronave "perseguidora" y la aeronave propia volaron aproximadamente a 100 m/s, acercándose la una a la otra con una velocidad de cierre aproximadamente de 30 m/s. El filtro de seguimiento 12 que se utilizó para registrar los datos de vuelo fue un EKF que utilizaba coordenadas MSC. El vector de estado del modelo dinámico utilizado por el

filtro 12 era el vector de estado, x , anterior. En la implementación ejemplar del filtro de seguimiento 12 utilizado en esta prueba, las estimaciones de TTC_{TF} fueron estimadas por el filtro 12 utilizando las mediciones del TTC_{IPU} en la estimación de estado cuando la incertidumbre de las mismas eran inferiores a un cierto valor de umbral. El ruido de medida se estableció en 1 mrad (desviación estándar), el ruido del proceso en 1, y la varianza de $1/TTC$ en 0,0001. El tiempo estimado para la detección del objetivo por los sensores EO 1 hasta el punto en el tiempo en el que las estimaciones de TTC se encontraban disponibles en la IPU 7 se pueden obtener, como se ha mencionado más arriba, por medio de la ecuación (3). Con $SNR \sim 10$, v (velocidad de cierre relativa) ~ 30 m / s, $\sigma\alpha \sim 1$ E - 4 rad, $\Delta T \sim 10$ s, y $L \sim 10$ m, el valor de T_{TTC} se puede calcular ~ 48 s.

La figura 4 ilustra la trayectoria de la nave propia 19 y la trayectoria de la aeronave intrusa 21 durante 120 segundos, representada en RT 90 que es un sistema de coordenadas cartesianas plano, en ángulos rectos, local (sueco), . El eje Y indica la altitud en metros por encima de una altitud de referencia.

Las figuras 5A y 5B muestran el error del TTC_{TF} y del TTC_{TF} estimado por el filtro de seguimiento 12 cuando la estimación de TTC_{IPU} no es utilizada por la IPU 7 como parámetros de entrada al filtro. En la figura 5A, la línea 23 ilustra el tiempo real a la colisión, TTC_{GPS} , que el tiempo para la colisión que se determinó en base a los datos de GPS (posiciones y velocidades conocidas de las dos aeronaves). La línea 25 ilustra el tiempo para la colisión, TTC_{TF} , estimada por el filtro de seguimiento. La línea 29 ilustra el TTC_{TF} menos uno multiplicado por la desviación estándar, y la línea 31 ilustra el TTC_{TF} más uno multiplicado por la desviación estándar. En la figura 5B, la línea 33 ilustra el error cuadrático medio (RMS) del TTC_{TF} y la línea 35 la desviación estándar de los datos del TTC_{TF} .

Las figuras 6A y 6B muestran el alcance de la aeronave intrusa y el error de alcance estimado por el filtro de seguimiento 12 cuando no se utilizaron las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 como parámetros de entrada al filtro. En la figura 6A, la línea 37 ilustra el alcance verdadero, siendo determinado dicho alcance, R_{GPS} , en base a los datos de GPS (posiciones y velocidades conocidas de las dos aeronaves). La línea 39 ilustra el alcance, R_{TF} , estimada por el filtro de seguimiento. La línea 41 ilustra R_{TF} menos uno multiplicado por la desviación estándar, y la línea 43 ilustra R_{TF} más uno multiplicado por la desviación estándar. En la figura 6B, la línea 45 ilustra el error RMS de R_{TF} y la línea 47 la desviación estándar de los datos del R_{TF} . La línea 49 muestra una aproximación del límite inferior paramétrico Cramer - Rao.

Las figuras 7A y 7B muestran el error del TTC_{TF} y del TTC_{TF} estimado por el filtro de seguimiento 12 cuando las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 fueron utilizados como parámetros de entrada al filtro cuando están disponibles. En la figura 7A, la línea 51 corresponde a la línea 23 en la figura 5A y por lo tanto muestra el tiempo verdadero a la colisión, TTC_{GPS} , como se calcula usando datos de GPS (posiciones y velocidades conocidas de las dos aeronaves). La línea 53 ilustra el TTC_{TF} estimada por el filtro de seguimiento 12 usando las estimaciones de TTC_{IPU} . La línea 55 ilustra las estimaciones de TTC_{IPU} estimado por la IPU 7 cuando la calidad de las mismas era suficientemente alta. La línea 57 ilustra el TTC_{TF} menos uno multiplicado por la desviación estándar, y la línea 59 ilustra el TTC_{TF} más uno multiplicado por la desviación estándar.

Las figuras 8A y 8B muestran el alcance de la aeronave intrusa y el error en alcance estimado por el filtro de seguimiento 12 cuando las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 fueron utilizadas como parámetros de entrada al filtro cuando estaban disponibles. En la figura 8A, la línea 65 corresponde a la línea 37 en la figura 6A y de esta manera ilustra el alcance verdadero, R_{GPS} , como se calcula usando datos de GPS (posiciones y velocidades conocidas de las dos aeronaves). La línea 67 ilustra el alcance, R_{TF} , estimado por el filtro de seguimiento usando las estimaciones de TTC_{IPU} . La línea 69 ilustra R_{TF} menos uno multiplicado por la desviación estándar, y la línea 71 ilustra R_{TF} más uno multiplicado por la desviación estándar. En la figura 8B, la línea 73 muestra el error RMS de R_{TF} y la línea 75 muestra la desviación estándar de los datos R_{TF} . La línea 77 muestra una aproximación del límite inferior paramétrico de Cramer - Rao

Cuando se comparan los gráficos que se ilustran en las figuras 5A - B y 6A - B, con los gráficos que se ilustran en las figuras 7A - B y 8A - B, los beneficios de la presente invención se hacen claros. Cuando se compara la figura 5A con la figura 7A, es claro que las estimaciones de TTC_{TF} producidas como salida por el filtro de seguimiento 12 se acercan mucho más al tiempo verdadero para la colisión, TTC_{GPS} , cuando las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 se utilizan como entrada para el filtro. De las figuras 5B y 7B, también se puede ver que el error RMS en la estimación de TTC_{TF} se reduce sustancialmente cuando el filtro 12 usa las estimaciones de TTC_{IPU} de la IPU 7 como parámetros de entrada. Al comparar la figura 6A con la figura 8A, y la figura 6B con la figura 8B, se puede ver, además, que la estimación de alcance, R_{TF} , se hace mucho más precisa cuando el filtro 12 utiliza las estimaciones de TTC_{IPU} y que la incertidumbre en la estimación de alcance se reduce sustancialmente.

En la figura 7A, se puede observar que, en estas circunstancias particulares y con este ejemplo de implementación del sistema para evitar colisiones 5, las estimaciones de TTC_{IPU} estimadas por la IPU 7 son lo suficientemente fiables para ser utilizadas como parámetros de entrada al filtro de seguimiento 12 aproximadamente 60 segundos después de que la aeronave intrusa haya sido detectada por los sensores EO 3. Esto concuerda relativamente bien con la estimación efectuada utilizando la ecuación (3) anterior, de acuerdo con la cual las estimaciones de TTC_{IPU} estarían disponibles después de aproximadamente 48 segundos, decidiendo si una maniobra de evitación se debe realizar con el fin de evitar una colisión en vuelo entre un vehículo aéreo anfitrión (1) y un vehículo aéreo intruso

En la figura 9, se muestra un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para decidir si se debe realizar una maniobra de evitación con el fin de evitar una colisión en vuelo entre un vehículo aéreo anfitrión 1 y un vehículo aéreo intruso. Las siguientes etapas se realizan de acuerdo con el procedimiento:

5 S91: Una imagen del objetivo es capturada por un sensor EO 3. El objetivo se manifiesta como un punto de objetivo en la imagen.

S92: Los ángulos de azimut (φ) y de elevación (θ) desde el UAV anfitrión 1 al objetivo seguido son estimados por medio de la IPU 7 en base a la posición en 2D del punto objetivo en la imagen.

10 S93: Una primera estimación (TTC_{IPU}) del tiempo para la colisión entre el UAV anfitrión 1 y el objetivo seguido es estimada por la IPU 7 en base al cambio de escala en el punto de objetivo entre la imagen capturada y una o varias imágenes previamente capturadas.

S94: Una segunda estimación (TTC_{TF}) del tiempo para la colisión entre el UAV anfitrión 1 y el objetivo seguido es estimada por el filtro de seguimiento 12 por medio del ángulo de azimut (φ), el ángulo de elevación (θ) y la primera estimación de tiempo para colisión (TTC_{IPU}) estimados por la IPU 7 en las etapas S92 y S93 como parámetros de entrada.

15 S95: Una decisión respecto a si se debe realizar, o no, una maniobra para evitar colisiones es realizada en base a cualquiera de al menos un parámetro, de los cuales al menos un parámetro es indicativo de la segunda estimación de tiempo para colisión (TTC_{TF}) estimado en el paso S94.

20 Aunque la invención se ha descrito con referencia a realizaciones específicas, estas descripciones no pretenden ser interpretadas en un sentido limitativo. Diversas modificaciones de las realizaciones desveladas, así como de realizaciones alternativas de la invención serán evidentes a los expertos en la técnica con referencia a la descripción de la invención. Podrá ser apreciado por los expertos en la técnica que la concepción y las realizaciones específicas desveladas se pueden utilizar fácilmente como base para modificar o diseñar otras estructuras para realizar los mismos propósitos de la presente invención.

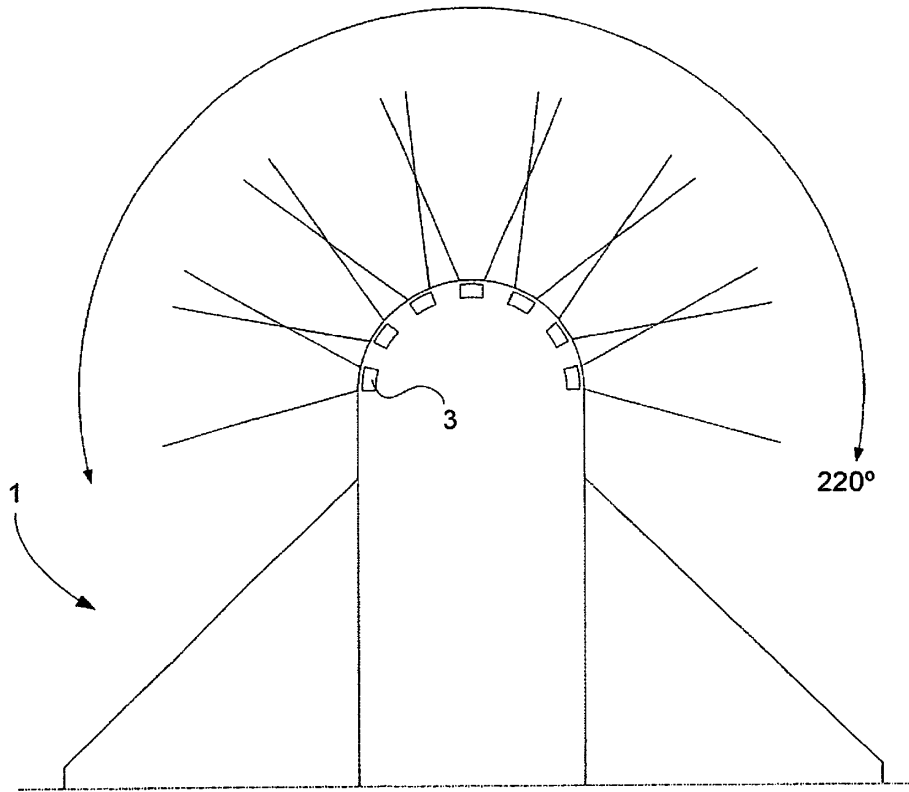
25

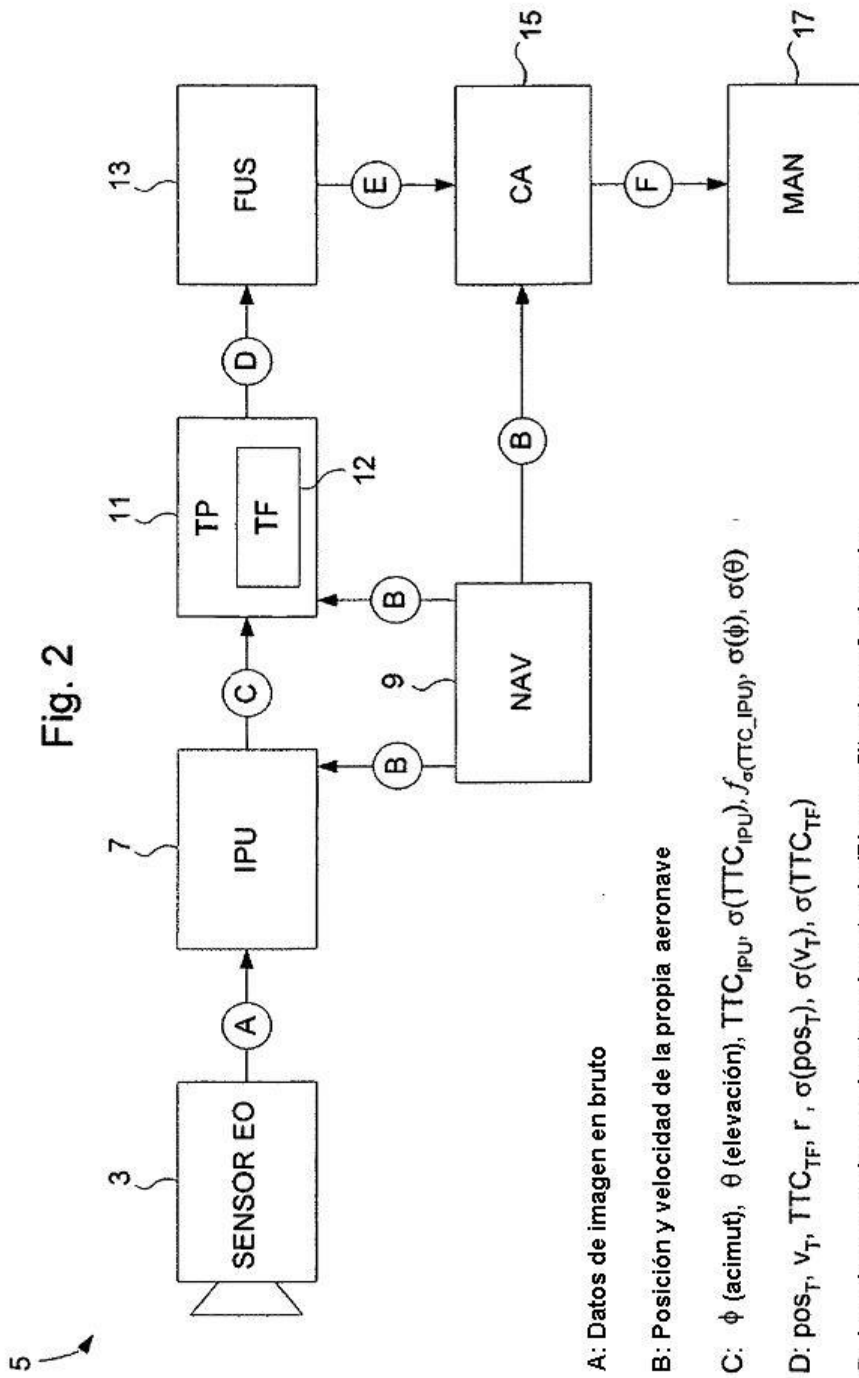
REIVINDICACIONES

1. Un sistema para evitar colisiones (5) para decidir si se debe realizar una maniobra de evitación autónoma con el fin de evitar una colisión en vuelo entre un vehículo aéreo anfitrión (1) equipado con el sistema (5) y un vehículo aéreo intruso, comprendiendo el citado sistema (5):
 - 5 - al menos un sensor electro - óptico [EO] (3) dispuesto para capturar imágenes consecutivas del citado vehículo intruso, el vehículo que se manifiesta como un punto de objetivo en las citadas imágenes,
 - un medio de tratamiento de imagen (7) dispuesto para la estimar al menos el ángulo de acimut [φ] y de elevación [θ] desde el vehículo anfitrión (1) al vehículo intruso en base a la posición en 2D del punto de objetivo en la citadas imágenes, **que se caracteriza porque** el citado medio de tratamiento de imagen (7) está dispuesto, además, para calcular, usando la técnica de tratamiento de imagen de correlación de escala, una primera estimación de tiempo para colisión [TTC_{IPU}] del tiempo para la colisión entre el vehículo anfitrión (1) y el vehículo intruso basado en el cambio de escala en el punto de objetivo entre al menos dos de la citadas imágenes consecutivas, y **porque** el citado sistema (5) comprende, además:
 - 15 - un filtro de seguimiento (12) dispuesto para estimar una segunda estimación de tiempo para colisión [TTC_{TF}] del tiempo para la colisión entre el vehículo anfitrión (1) y el vehículo intruso usando el citado ángulo de azimut estimado [φ], el citado ángulo de elevación estimado [θ] y la citada primera estimación de tiempo para colisión [TTC_{IPU}] como parámetros de entrada y
 - 20 - un medio (15) para evitar colisiones [CA] dispuesto para decidir si se debe realizar, o no, la maniobra de evitación basándose en cualquier de al menos un parámetro de decisión, de los cuales al menos uno es indicativo de la citada segunda estimación de tiempo para colisión [TTC_{TF}].
2. Un sistema para evitar colisiones (5) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el citado filtro de seguimiento (12) está dispuesto, además, para estimar la incertidumbre [$\sigma(TTC_{TF})$] en la citada segunda estimación de tiempo para colisión [TTC_{TF}], estando dispuesto el citado un medio de CA (15) para tomar la decisión en base a la citada segunda estimación de tiempo para colisión [TTC_{TF}] y la citada incertidumbre [$\sigma(TTC_{TF})$].
3. Un sistema para evitar colisiones (5) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el citado medio de CA (15) está dispuesto para tomar la decisión en base a uno o ambos de un parámetro indicativo de la citada segunda estimación de tiempo para colisión [TTC_{TF}] y un parámetro indicativo de la citada primera estimación de tiempo para colisión [TTC_{IPU}]
- 30 4. Un sistema para evitar colisiones (5) de acuerdo con la reivindicación 3 cuando depende de la reivindicación 2, que comprende, además, un medio (7) para determinar la incertidumbre [$\sigma(TTC_{IPU})$] en la primera estimación de tiempo para colisión [TTC_{IPU}], estando dispuesto el citado un medio de CA (15) para tomar la decisión en base a cualquiera de la segunda estimación de tiempo para colisión [TTC_{TF}], la incertidumbre de la segunda estimación de tiempo para colisión [$\sigma(TTC_{TF})$], la segunda estimación de tiempo para colisión [TTC_{IPU}], la incertidumbre de la primera estimación de tiempo para colisión [$\sigma(TTC_{IPU})$], o cualquier combinación de éstos.
- 35 5. Un sistema para evitar colisiones (5) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el citado filtro de seguimiento (12) está dispuesto para, en cada iteración del filtro, usar tanto la primera estimación de tiempo para colisión [TTC_{IPU}] estimada por el medio de tratamiento de imagen (7) de la última imagen capturada y la segunda estimación de tiempo para colisión [TTC_{TF}] estimada por el filtro (12) en la iteración precedente del filtro como parámetros de entrada cuando se estima la citada segunda estimación de tiempo para colisión [TTC_{TF}].
- 40 6. Un sistema para evitar colisiones (5) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende un medio (7) para la determinación de la incertidumbre [$\sigma(TTC_{IPU})$] en la primera estimación de tiempo para colisión [TTC_{IPU}], y un medio (11) para determinar cuándo comenzar a usar la citada primera estimación de tiempo para colisión [TTC_{IPU}] como parámetro de entrada para el citado filtro de seguimiento (12) en base a la citada incertidumbre [$\sigma(TTC_{IPU})$].
- 45 7. Un sistema para evitar colisiones (5) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el citado filtro de seguimiento 12, es un filtro de Kalman extendido [EKF]
8. Un sistema para evitar colisiones (5) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el citado filtro de seguimiento 12, es un filtro de Kalman de tipo "unscented" [UKF].
- 50 9. Un sistema para evitar colisiones (5) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el citado filtro de seguimiento 12 es un filtro de partículas.

10. Un procedimiento para decidir si se debe realizar una maniobra de evitación con el fin de evitar una colisión en vuelo entre un vehículo aéreo anfitrión (1) y un vehículo aéreo intruso, comprendiendo el citado procedimiento las etapas de:
- 5
- capturar imágenes consecutivas del citado vehículo intruso, el vehículo que se manifiesta como un punto de objetivo en la citadas imágenes,
 - estimar al menos los ángulos de acimut $[\varphi]$ y de elevación $[\theta]$ del vehículo anfitrión (1) con respecto al vehículo intruso en base a la posición en 2D del punto de objetivo en las citadas imágenes,
- el citado procedimiento **se caracteriza porque** comprende también las siguientes etapas:
- 10
- estimar, utilizando la técnica de tratamiento de imagen de correlación de escala, una primera estimación de tiempo para colisión $[TTC_{IPU}]$ del tiempo para la colisión entre el vehículo anfitrión (1) y el vehículo intruso en base al cambio de escala en el punto de objetivo entre al menos dos de las citadas imágenes consecutivas,
 - estimar, por medio de un filtro de seguimiento (12), una segunda estimación de tiempo para colisión $[TTC_{TF}]$ del tiempo para la colisión entre el vehículo anfitrión (1) y el vehículo intruso mediante el uso del citado ángulo de azimut estimado $[\varphi]$, del citado ángulo de elevación estimado $[\theta]$ y de la citada primera estimación de tiempo para colisión $[TTC_{IPU}]$ como parámetros de entrada al citado filtro (12), y
 - decidir si se debe realizar, o no, la maniobra de evitación en base a cualquier de al menos un parámetro decisión, de los cuales al menos uno es indicativo de la citada segunda estimación de tiempo para colisión $[TTC_{TF}]$.
- 15
- 20 11. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende, además, la etapa de estimar la incertidumbre $[\sigma(TTC_{TF})]$ en la citada segunda estimación de tiempo para colisión $[TTC_{TF}]$, estando basada la etapa de decidir si se debe realizar, o no, la maniobra de evitación en la citada segunda estimación de tiempo para colisión $[TTC_{TF}]$ y en la citada incertidumbre $[\sigma(TTC_{TF})]$.
- 25 12. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10 o 11, en el que la etapa de decidir si se debe realizar, o no, la maniobra de evitación está basada en uno o ambos de un parámetro indicativo de la citada segunda estimación de tiempo para colisión $[TTC_{TF/IPU}]$ y un parámetro indicativo de la citada primera estimación de tiempo para colisión $[TTC_{IPU}]$.
- 30 13. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12 cuando depende de la reivindicación 11, que comprende, además, la etapa de estimar la incertidumbre $[\sigma(TTC_{IPU})]$ en la citada primera estimación de tiempo para colisión $[TTC_{IPU}]$, la etapa de decidir si se debe realizar, o no, la maniobra de evitación en base a cualquiera de la citada segunda estimación de tiempo para colisión $[TTC_{TF}]$, la incertidumbre de la citada segunda estimación de tiempo para colisión $[\sigma(TTC_{TF})]$, la citada primera estimación de tiempo para colisión $[TTC_{IPU}]$, la incertidumbre de la citada primera estimación de tiempo para colisión $[\sigma(TTC_{IPU})]$, o cualquier combinación de éstos.
- 35 14. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, que comprende, además, la etapa de estimar la incertidumbre $[\sigma(TTC_{IPU})]$ en la citada primera estimación de tiempo para colisión $[TTC_{IPU}]$, siendo usada la citada incertidumbre $[\sigma(TTC_{IPU})]$ como indicador de cuando empezar a utilizar la citada primera estimación de tiempo para colisión $[TTC_{IPU}]$ como parámetro de entrada al filtro de seguimiento (12).

Fig. 1





A: Datos de imagen en bruto

B: Posición y velocidad de la propia aeronave

C: ϕ (acimut), θ (elevación), TTC_{IPU} , $\sigma(TTC_{IPU})$, $f_{\sigma}(TTC_{IPU})$, $\sigma(\phi)$, $\sigma(\theta)$

D: pos_T , v_T , TTC_{TF} , r , $\sigma(pos_T)$, $\sigma(v_T)$, $\sigma(TTC_{TF})$

E: Lo mismo que los parámetros de entrada (D) pero filtrados y fusionados adicionalmente con los datos de los parámetros correspondientes de otros sensores

F: Comandos de control del UAV

Fig. 3

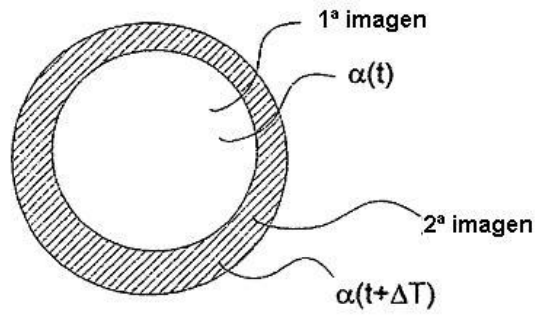
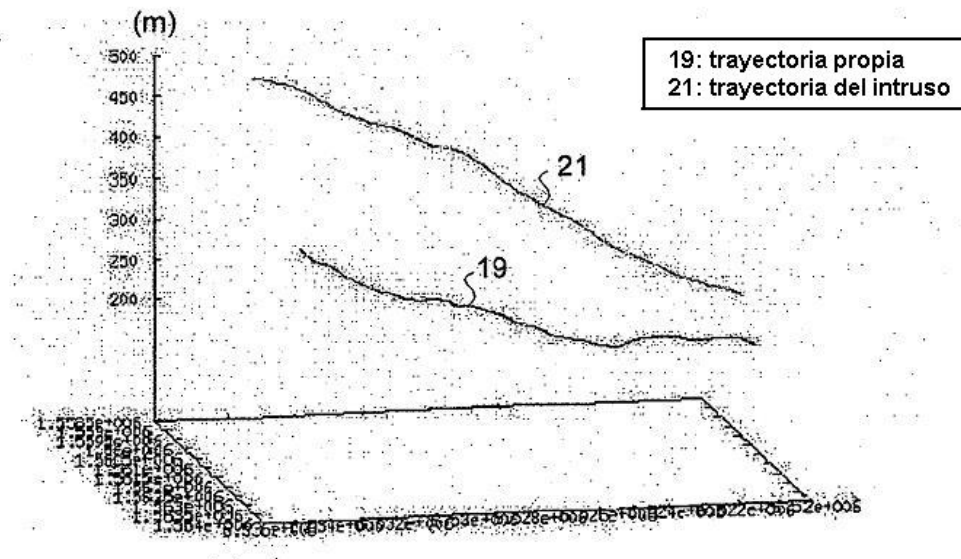
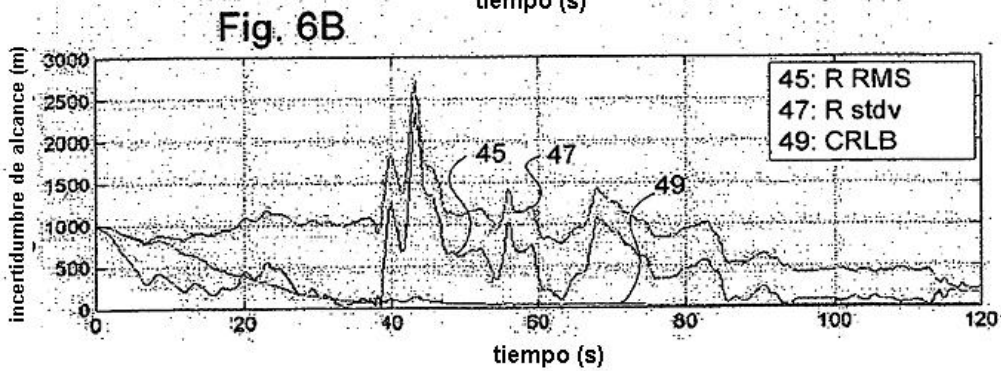
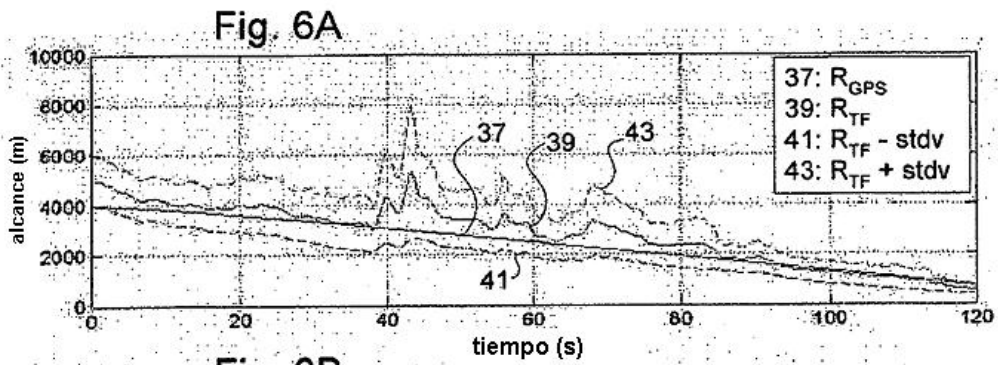
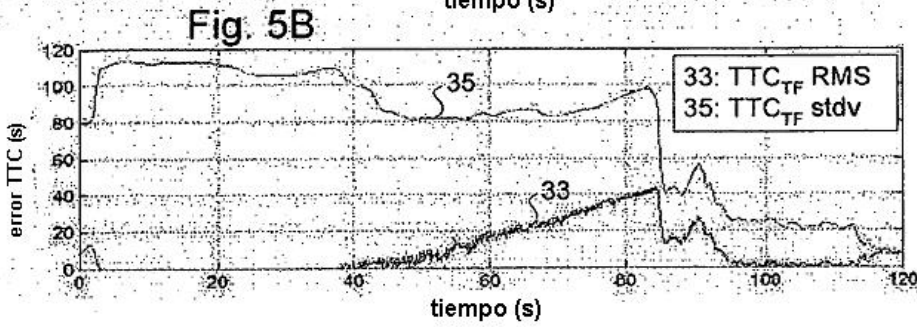
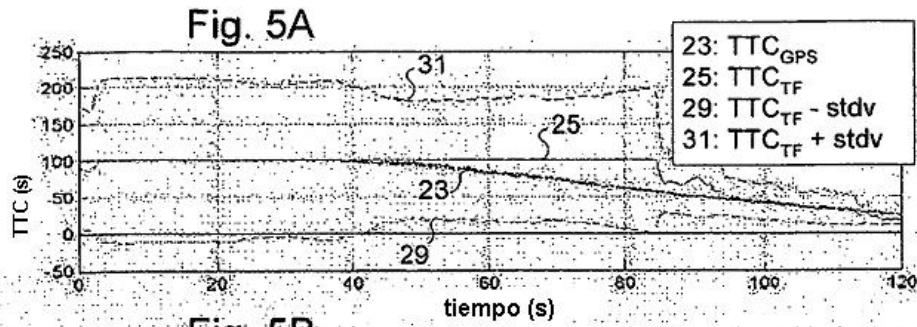


Fig. 4





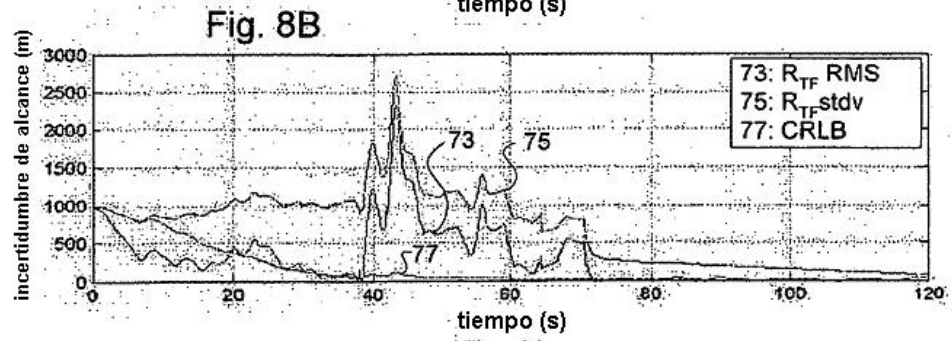
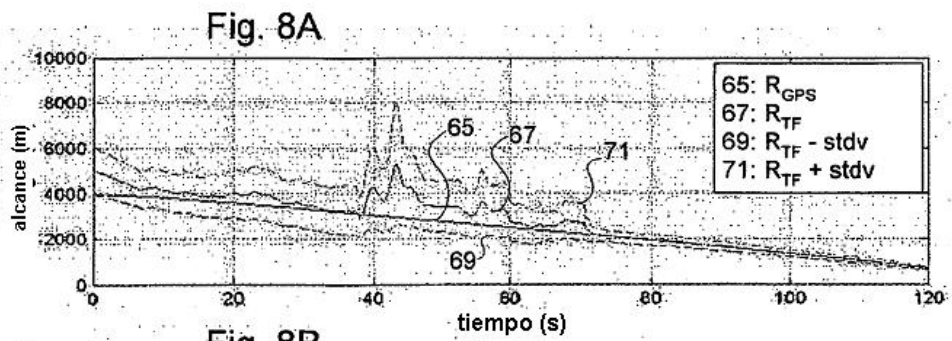
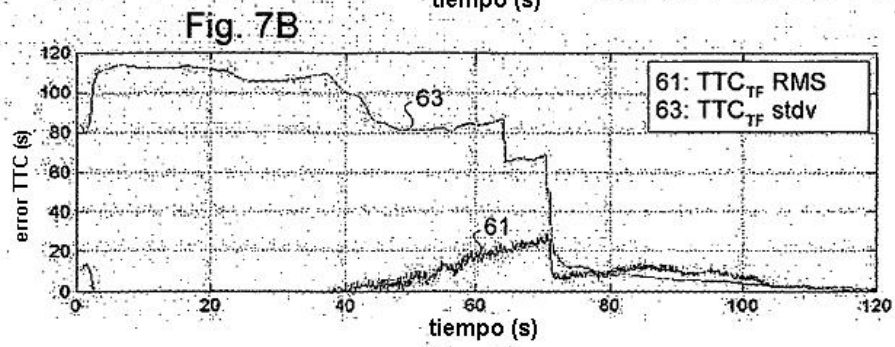
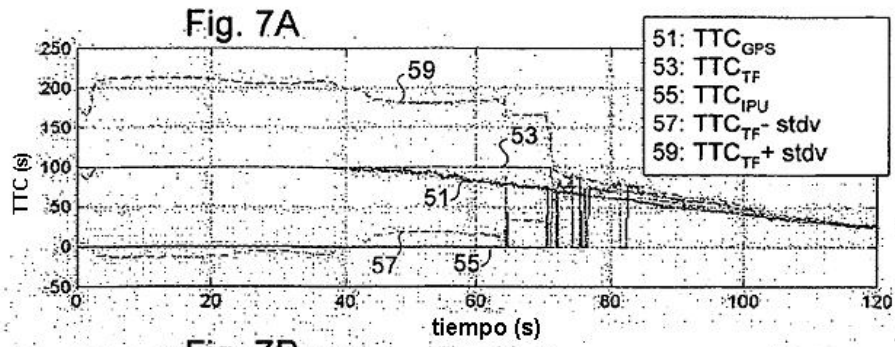


Fig. 9

