

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 013 318**

51 Int. Cl.:

G08G 5/00 (2006.01)

G08G 5/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2020** **E 20198491 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2024** **EP 3975157**

54 Título: **Método para la navegación de un vehículo aéreo no tripulado para evitar colisiones**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
11.04.2025

73 Titular/es:

RUAG SCHWEIZ AG (100.00%)
Seetalstrasse 175
6032 Emmen, CH

72 Inventor/es:

AMBÜHL, DANIEL;
HOHL, CHRISTIAN;
BOHL, DANIEL y
RUDIN, KONRAD

74 Agente/Representante:

COBO DE LA TORRE, María Victoria

ES 3 013 318 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

Método para la navegación de un vehículo aéreo no tripulado para evitar colisiones

Campo técnico

[0001] La invención se refiere a un método para navegar un vehículo aéreo no tripulado y evitar colisiones. Además, se refiere a un vehículo aéreo no tripulado.

Estado de la técnica

[0002] El número de vehículos aéreos no tripulados (*unmanned aerial vehicles, UAV*) está aumentando considerablemente. Es necesario tomar medidas para evitar colisiones y perturbaciones en el tráfico aéreo. Estas medidas incluyen apoyo para el piloto del UAV situado en una estación de control terrestre, así como la provisión de capacidades autónomas de detección y evasión (también conocidas como sensación y evasión) que funcionen incluso si se interrumpe (temporalmente) el enlace entre el UAV y la estación de control terrestre.

[0003] Los sistemas de detección y evasión incluyen sistemas cooperativos de detección y evasión (*cooperative detect and avoid, CDA*), basados en señales emitidas activamente por los sistemas cooperativos (por ejemplo, transpondedor, FLARM, ADS-B out) situados en otras aeronaves, así como sistemas de detección y evasión no cooperativos (*non-cooperative detect and avoid, NCDA*), que permiten la detección de aeronaves (y otros objetos aéreos) que no emiten señales activas de sistemas cooperativos.

[0004] EP 2 187 371 B1 (Saab AB) se refiere a sistemas de evitación de colisiones y, en particular, a la determinación de maniobras de escape en tales sistemas. Es especialmente adecuado para vehículos aéreos con baja maniobrabilidad. Un sistema correspondiente recibe datos de navegación de una aeronave intrusa y de la propia aeronave. Se almacenan varias trayectorias de escape simuladas previamente y, al menos, un subconjunto de estas se compara con una trayectoria presunta de la aeronave intrusa a fin de seleccionar una de las trayectorias de escape simuladas previamente.

[0005] GB 2 450 987 B (EADS Deutschland GmbH) se refiere a un sistema de detección y evitación utilizando sensores disponibles a bordo (como TCAS, radar, sensores IR y sensores ópticos) para formar una imagen del espacio aéreo circundante. La situación establecida se analiza para detectar conflictos inminentes, como colisiones, violaciones de TCAS o violaciones del espacio aéreo. Si se detecta un problema, se inicia una búsqueda jerárquica de opciones de evasión, donde las rutas de evasión cumplen, en la medida de lo posible, con las regulaciones legales del tráfico aéreo. En un primer paso de la búsqueda jerárquica se decide si hay tiempo suficiente para calcular e implementar una maniobra evasiva planificada. En caso contrario, se implementa inmediatamente una maniobra evasiva reactiva. En el primer caso, se inicia un algoritmo de planificación, basado en un algoritmo de búsqueda de rutas A*, que normalmente busca en este orden una ruta 2D horizontal hacia la derecha, una ruta 2D vertical hacia arriba o hacia abajo, una ruta 3D hacia arriba a la derecha o hacia abajo hacia la derecha, una ruta 2D horizontal hacia la izquierda o una ruta 3D completa, siendo las rutas respectivas combinaciones de pequeñas secciones de ruta (primitivas de movimiento, segmentos de movimiento) en varias combinaciones. En el segundo caso, el algoritmo reactivo genera una simple maniobra de inclinación para sacar la aeronave de la zona de peligro.

[0006] Sin embargo, las maniobras de evasión reactiva encuentran sus límites si se necesita evitar varios intrusos.

[0007] EP 3 640 921 A1 (*Aurora Flight Sciences Corp*) se refiere al campo de los sistemas de control de vuelo, específicamente a un sistema, método y aparato para detectar y hacer navegar automáticamente un vehículo alrededor de obstáculos, incluidas otras aeronaves. El sistema adaptativo de detección y evitación para uso en una aeronave incluye un procesador conectado a un controlador de vuelo y un dispositivo de memoria, teniendo el dispositivo de memoria una o más bases de datos de las condiciones de vuelo de la aeronave. Además, el sistema de detección y evitación comprende una pluralidad de sensores asociados con la aeronave, estando cada sensor adaptado para generar datos de sensores indicativos de la posición de un obstáculo en el entorno. Además, el sistema de detección y evitación comprende circuitos de detección de obstáculos conectados al procesador y la pluralidad de sensores configurados para identificar obstáculos en el entorno y generar información sobre obstáculos indicativa de la mejor estimación de la posición del obstáculo en el entorno. Además, el sistema de detección y evitación comprende circuitería de trayectorias evasivas conectados al procesador y los circuitos de detección de obstáculos configurados para (i) calcular datos de trayectoria en función de la información de obstáculos y la información de una o más bases de datos, y (ii) comunicar los datos de trayectoria al controlador de vuelo. El sistema de control de la aeronave incluye un transceptor por cable para comunicarse con un dispositivo remoto de una estación base. El dispositivo remoto puede emitir alertas visuales y sonoras para alertar al piloto sobre una alerta específica. Al hacerlo, la circuitería de trayectoria evasiva de la estación base puede enviar información de maniobra evasiva. En funcionamiento, el sistema de detección y prevención se esfuerza por detectar obstáculos cooperativos y/o no cooperativos y ordenar una maniobra de evasión automática para evitar la colisión con el obstáculo u los obstáculos.

Resumen de la invención

[0008] El objeto de la invención es crear un método para hacer navegar un vehículo aéreo no tripulado que evite colisiones de manera confiable incluso en situaciones complejas.

[0009] La solución de la invención se especifica por las características de la reivindicación 1. La invención también se refiere a un UAV según la reivindicación 14. Las realizaciones preferidas del método se reivindican adicionalmente en las reivindicaciones dependientes 2-13.

[0010] En consecuencia, la trayectoria de vuelo normalmente la controla el operador remoto (ubicado, por ejemplo, en un centro de control en tierra). En particular, el operador remoto proporciona información de la trayectoria de vuelo (por ejemplo, relativa al rumbo, altitud y velocidad deseados) al controlador de vuelo a bordo del UAV, y el controlador de vuelo controla el UAV basándose en la información recibida hasta que se recibe información actualizada. En casos excepcionales (por ejemplo, cuando se pierde el enlace con el centro de control en tierra), la trayectoria de vuelo puede controlarse mediante una lógica de nivel superior a bordo del UAV.

[0011] Tan pronto como a al menos uno de los vehículos aéreos se le asigne el nivel de consejo de resolución, se envía un mensaje al operador remoto que incluye una primera trayectoria evasiva viable propuesta, que garantiza en particular que el UAV permanezca bien alejado de los vehículos aéreos. La información sobre la trayectoria evasiva puede incluir en particular datos de rumbo, altitud y velocidad que debe controlar el operador. Tan pronto como se le asigne a al menos uno de los vehículos aéreos el nivel de evasión automática, se proporcionarán automáticamente señales de control al controlador de vuelo para iniciar una maniobra evasiva. Esto funciona incluso en los casos en los que se pierde temporalmente el enlace de comunicación entre el operador remoto y el UAV. Tan pronto como se cumplan los criterios predeterminados (por ejemplo, se resuelva la situación crítica que requiere la evasión automática o el operador remoto haya desactivado explícitamente la evasión automática), la ruta de vuelo volverá a ser controlada por el controlador de vuelo que puede ser ordenado por el operador remoto.

[0012] Para asignar niveles de amenaza, se pueden considerar las distancias horizontales y verticales relativas entre el UAV y otros vehículos aéreos, así como sus velocidades correspondientes.

Como alternativa o adicionalmente, se pueden determinar las trayectorias esperadas de los otros vehículos aéreos y compararlas con la trayectoria esperada del propio UAV, teniendo en cuenta incertidumbres así como errores de medición y predicción.

[0013] En particular, el nivel de aviso de resolución se asigna si existe el peligro de violar un umbral de «permanecer bien alejado» con respecto a uno de los otros vehículos aéreos. El nivel de evitación automático se asigna si existe una necesidad urgente de tomar medidas para evitar una colisión en el aire con otro vehículo aéreo.

[0014] Preferiblemente, la determinación automática de trayectorias evasivas se realiza mediante medios y datos a bordo de manera que no dependa de enlaces de comunicación con una entidad remota tal como un centro de control en tierra. Las trayectorias se determinan continuamente, es decir, incluso en los casos en que a ninguno de los otros vehículos aéreos se le asigne un nivel de aviso de resolución o de evasión automática, respectivamente. No se requiere activación para iniciar la búsqueda de trayectorias evasivas, y las trayectorias evasivas estarán disponibles tan pronto como a otro vehículo aéreo se le asigne el aviso de resolución o el nivel de evasión automático. Las trayectorias evasivas se actualizan periódicamente basándose en la información de vuelo del propio UAV, así como en la imagen aérea reconocida del espacio de observación.

[0015] Otros vehículos aéreos que no representan un riesgo de colisión o infracciones «bien claras» pueden asignarse a un nivel de amenaza correspondiente, por ejemplo «otro tráfico» (OT). Básicamente, es posible introducir otros niveles de amenaza. Por ejemplo, además de RA y AA, pueden asignarse uno, varios o todos los siguientes niveles de amenaza adicionales:

i) OT: Otro Tráfico - el objeto está lejos, no se necesita acción.

ii) PT: Tráfico Próximo - el objeto está dentro de un cierto volumen que rodea al UAV pero no representa ningún peligro, no hay necesidad de actuar;

iii) TA: Consejo de Tráfico - el objeto se encuentra en un volumen crítico que rodea al UAV, se emite una alerta al operador (de tierra).

[0016] Las trayectorias de evasión son viables si evitan colisiones con otros vehículos aéreos. Pueden aplicarse criterios adicionales, por ejemplo, con respecto a colisiones con el terreno o a limitaciones físicas de la trayectoria de vuelo. Usualmente, más de una trayectoria de evasión será viable, lo que proporciona un grado de libertad para elegir una como la primera trayectoria de evasión viable propuesta y otra como la segunda trayectoria de evasión viable propuesta, respectivamente.

[0017] La primera trayectoria de evasión viable propuesta puede ser idéntica a la segunda trayectoria de evasión viable propuesta o pueden ser diferentes. En este último caso, la segunda trayectoria de evasión viable propuesta puede haber sido seleccionada del mismo conjunto de trayectorias de evasión candidatas que la primera trayectoria de evasión viable propuesta, o de un conjunto diferente. Este conjunto diferente puede tener en cuenta diferentes comportamientos del controlador de vuelo en cuanto a características de rendimiento, así como diferentes retardos entre las órdenes para la evasión automática o las órdenes del operador. Estos retardos pueden incluir, entre otros, el tiempo de reacción del piloto y los retardos del enlace.

[0018] Se pueden emplear varios sensores de entorno, incluidos receptores para señales transmitidas por sistemas cooperativos a bordo de otras aeronaves (por ejemplo, ADS-B o FLARM) o señales recibidas mediante la interrogación de transpondedores de sistemas cooperativos a bordo de otras aeronaves (por ejemplo, TAS o TCAS), sensores de radar, sensores LIDAR, sensores ópticos, etc. Contar con sensores a bordo garantiza que el UAV pueda obtener una imagen aérea reconocida incluso en casos donde el enlace con el operador remoto u otras entidades se pierda (temporalmente). No obstante, si están disponibles, los datos de estas entidades pueden procesarse para obtener una imagen aérea reconocida más completa.

[0019] Se pueden procesar otros datos, por ejemplo, para asignar los niveles de amenaza y/o determinar trayectorias de evasión, como datos del terreno de una base de datos que proporcione un modelo digital del terreno.

[0020] El primer, segundo y tercer procesador pueden implementarse de diversas maneras. Pueden ser componentes de hardware separados o diferentes módulos que se ejecutan en el mismo procesador físico.

[0021] La presente invención es aplicable tanto a sistemas cooperativos de detección y evasión (CDA) como a sistemas no cooperativos de detección y evasión (NCDA).

[0022] Mientras sea posible, el operador remoto podrá controlar la trayectoria de vuelo. Basándose en el mensaje relacionado con uno o varios vehículos asignados al nivel de consejo de resolución, el operador debe actuar para evitar colisiones.

[0023] Solo en un segundo paso, los controles del operador pueden ser anulados. Esto aplica no solo a casos donde el operador no resuelve la situación, sino también, por ejemplo, a casos donde se pierde el enlace entre el operador y el UAV. Además, para la evasión automática, el retardo introducido por el intercambio de datos entre el UAV y el operador es irrelevante.

[0024] La primera trayectoria de evasión viable propuesta y la segunda trayectoria de evasión viable propuesta pueden determinarse de forma independiente entre sí. Esto significa que la primera trayectoria de evasión viable propuesta y la segunda trayectoria de evasión viable propuesta pueden ser diferentes entre sí. En particular, pueden ser diferentes entre sí en determinados casos, pero coincidentes en otros. Esto permite tener en cuenta diferentes condiciones al brindar consejo a un operador en comparación con ordenar automáticamente el UAV, así como diferentes objetivos, como garantizar «permanecer bien alejados» frente a tomar medidas inmediatas para evitar una colisión en el aire. Las diferentes condiciones pueden estar relacionadas, entre otras cosas, con diferentes limitaciones con respecto al rendimiento del UAV (ángulo máximo de balanceo, máxima velocidad de descenso) en las diferentes trayectorias de evasión para maniobras de evasión manuales y automáticas. Además, el tiempo de reacción hasta el primer cambio de trayectoria puede ser diferente, por ejemplo, esencialmente 0 para evasión automática en comparación con la suma del tiempo de reacción del piloto y el retraso del enlace para evasión manual.

[0025] Básicamente, las determinaciones de la primera y la segunda trayectoria de evasión viable propuesta pueden ser completamente independientes, o un resultado intermedio (por ejemplo, un conjunto generado de trayectorias de evasión candidatas) puede ser común para ambas determinaciones.

[0026] Preferentemente, la primera trayectoria de evasión viable propuesta y la segunda trayectoria de evasión viable propuesta se determinan de forma continua y en paralelo. Esto significa que, al menos en un cierto estado operativo del sistema, ambos tipos de trayectorias de evasión se determinan, de manera que estén disponibles inmediatamente cuando uno de los vehículos aéreos sea asignado al nivel RA o AA. En consecuencia, las trayectorias de evasión viables propuestas se determinan incluso en casos donde ninguno de los vehículos aéreos esté asignado al nivel de consejo de resolución o al nivel de evasión automática.

[0027] En sistemas donde el nivel de amenaza de un vehículo aéreo cambia únicamente entre niveles adyacentes (es decir, por ejemplo, no hay un salto de OT a AA), no es necesario que en todos los estados operativos del sistema se determinen ambas trayectorias, tanto para una recomendación de evasión como para una evasión automática. En cambio, las determinaciones pueden controlarse de la siguiente manera:

Estado	Imagen aérea reconocida	Trayectorias determinadas	
		Para RA	Para AA
I	Sin vehículos aéreos con TA, RA, AA	No	No
II	Al menos un vehículo aéreo con TA; no RA, AA	Sí	No
III	Al menos un vehículo aéreo con RA o AA	Sí	Sí

[0028] En consecuencia, el sistema tiene tres estados operativos con respecto a la determinación de trayectorias de evasión.

[0029] Por supuesto, la situación puede simplificarse integrando dos o tres de los estados operativos, por ejemplo, de la siguiente manera:

Estado	Imagen aérea reconocida	Trayectorias determinadas	
		Para RA	Para AA

I	Sin vehículos aéreos con TA, RA, AA	No	No
II	Al menos un vehículo aéreo con TA; RA o AA	Sí	Sí

O de la siguiente manera:

Estado	Imagen aérea reconocida	Trayectorias determinadas	
		Para RA	Para AA
I	Sin vehículos aéreos con RA, AA	Sí	No
II	Al menos un vehículo aéreo con TA o AA	Sí	Sí

5

[0030] En la forma más simple de implementación, existe solo un estado operativo y siempre se determinan tanto las trayectorias para RA como para AA. Esto garantiza que las trayectorias estén siempre disponibles, incluso en implementaciones donde son posibles los saltos entre niveles no adyacentes.

10

[0031] La primera trayectoria de evasión viable propuesta y la segunda trayectoria de evasión viable propuesta pueden determinarse simultáneamente, es decir, al mismo tiempo. Esto puede lograrse, por ejemplo, utilizando técnicas de computación paralela.

15

[0032] Alternativamente, la primera trayectoria de evasión viable propuesta y la segunda trayectoria de evasión viable propuesta se determinan por turnos. Esto significa que la determinación de una primera trayectoria de evasión viable (A) y la determinación de una segunda trayectoria de evasión viable (B) ocurren una después de la otra, de modo que se puede reducir la potencia de cálculo necesaria. Los cálculos pueden realizarse de manera alternada (ABABAB...) o en otras secuencias (por ejemplo, ABBABBBB... o ABBBABBABBB...). No es necesario que la secuencia sea constante; en particular, puede depender de los niveles de amenaza asignados en ese momento. Ciertos resultados intermedios de la determinación de una de las trayectorias de evasión viables pueden utilizarse para la determinación de la otra trayectoria de evasión viable.

20

[0033] Preferiblemente, para determinar las trayectorias de evasión viables, se genera un conjunto de trayectorias de evasión candidatas según un patrón predeterminado y se evalúan en cuanto a la evitación de colisiones (con objetos transportados en el aire) y otras propiedades adicionales. La evaluación abarcará un tiempo de predicción definido que excede el tiempo de ciclo de la determinación continua de las trayectorias de evasión viables.

25

[0034] Trabajar con un conjunto fijo de trayectorias de evasión candidatas garantiza que el tiempo de cálculo para generar y evaluar las trayectorias candidatas sea manejable y predecible, lo cual es importante si la determinación debe repetirse, especialmente en intervalos predeterminados. Esto asegura que siempre haya datos actualizados independientemente, por ejemplo, de la complejidad actual de la imagen aérea reconocida.

30

[0035] Las trayectorias de evasión pueden verse influenciadas por factores externos, como vientos fuertes. Esto puede tenerse en cuenta en diferentes etapas: las trayectorias que no sean físicamente posibles debido a los factores externos pueden ignorarse (por ejemplo, estableciendo una bandera correspondiente). Si la ruta de vuelo resultante de ciertos comandos no puede predecirse de manera confiable debido a vientos fuertes y cambiantes, la verificación de colisiones con el terreno y/o el tráfico puede adaptarse, por ejemplo, aumentando los volúmenes o distancias de protección que deben observarse. Además, los factores externos pueden dar lugar a contribuciones adicionales de coste para la selección de la mejor trayectoria.

35

[0036] La información sobre factores externos puede obtenerse mediante sensores adicionales a bordo y/o a través de un enlace de comunicación. Por ejemplo, la información del viento puede obtenerse del sistema de navegación a bordo y tenerse en cuenta al evaluar las trayectorias candidatas. En lo que respecta al viento, se ha demostrado que con UAV más grandes, un modelo de viento muy simple con dirección y fuerza constantes suele ser suficiente.

40

[0037] Algunas de las trayectorias candidatas pueden marcarse como «no utilizables» en una etapa temprana de la determinación. Esto puede deberse a violaciones de las Reglas Aéreas (ver más abajo) o si ciertas trayectorias deben excluirse en una situación dada, por ejemplo, si las trayectorias que conducen a un cambio de altitud solo deben permitirse si los datos posicionales horizontales disponibles del tráfico relevante son sustancialmente menos precisos que los datos posicionales verticales.

45

[0038] Ventajosamente, el conjunto de trayectorias candidatas incluye trayectorias que comienzan en una posición actual y con una velocidad determinada, incluyendo hasta dos cambios de dirección en un intervalo temporal

predeterminado y hasta un cambio de altitud. Esto asegura que solo se necesite evaluar un número limitado de trayectorias candidatas. Además, se ha demostrado que este conjunto de trayectorias candidatas proporciona suficientes grados de libertad para garantizar que se puedan evitar colisiones, tanto en la fase RA como en la fase AA. [0039] Por ejemplo, el conjunto de trayectorias candidatas para la evitación de objetos en el aire puede definirse de la siguiente manera:

i. Se mantiene la velocidad actual (cambios temporales de velocidad solo para ascender o descender) o se reduce a la velocidad mínima.

ii. Los cursos posibles se cuantifican en incrementos de 30° , hasta un cambio máximo de 60° ($0 / \pm 30 / \pm 60^\circ$ con respecto al curso actual), en 3 segmentos (2 cambios con una desviación temporal predeterminada).

iii. Tres altitudes (altitud actual, altitud inferior, altitud superior), con solo un cambio.

[0040] Esto conduce a $2 \times 5 \times 3 = 150$ trayectorias candidatas.

[0041] En particular, la reducción de la velocidad del UAV a la velocidad mínima es razonable si el UAV está cerca del terreno. Por lo tanto, para ahorrar recursos computacionales, las 75 trayectorias candidatas con velocidad reducida pueden tomarse en cuenta de manera selectiva solo si los posibles conflictos con el terreno son relevantes para la determinación de las trayectorias de evasión viables. En una realización particular, se supone el mantenimiento de la velocidad actual hasta que al menos una de las trayectorias candidatas entre en conflicto con el terreno. En este caso, la velocidad de las trayectorias candidatas a evitar se cambia a la velocidad mínima hasta que ninguna de las trayectorias candidatas entre en conflicto con el terreno. En este caso, la velocidad para las trayectorias de evasión candidatas se restaura a la velocidad actual. De esta manera, en cada paso de tiempo solo se consideran 75 trayectorias candidatas. El tiempo hasta el primer cambio puede ser variable y diferir para las trayectorias candidatas que buscan la primera trayectoria de evasión viable propuesta y la segunda trayectoria de evasión viable propuesta. Por ejemplo, este tiempo puede ser 0 para un segmento inicial de evasión automática y tener un valor fijo (tiempo de desactivación) para segmentos posteriores con el fin de evitar cambios demasiado frecuentes. En contraste, el tiempo puede corresponder a la suma del tiempo de reacción del piloto y el tiempo de retraso del enlace para los segmentos de consejos de trayectorias de resolución. Preferiblemente, el valor de la desviación entre los dos cambios de curso es fijo.

[0042] Como se mencionó anteriormente, los conjuntos de trayectorias candidatas pueden ser iguales para encontrar la primera trayectoria de evasión viable propuesta y la segunda trayectoria de evasión viable propuesta, o pueden ser diferentes entre sí.

[0043] En otras implementaciones, el conjunto de trayectorias candidatas puede restringirse aún más o incluir más candidatos. En particular, la limitación a un solo cambio de altitud no es obligatoria. Las trayectorias candidatas que incluyen dos o más cambios pueden evaluarse, en particular si el sistema intercambia datos con otras aeronaves según el protocolo TCAS II.

[0044] Preferiblemente, las propiedades adicionales para evaluar las trayectorias de evasión candidatas incluyen la evitación del terreno. Esto asegura que no solo se eviten colisiones con otros objetos en el aire, sino también impactos contra el terreno, no solo con respecto a los parámetros de vuelo actuales según la trayectoria de vuelo, sino también -y en particular- con respecto a las maniobras de evasión recomendadas u ordenadas.

[0045] Ventajosamente, con este propósito, un modelo del terreno se almacena localmente en el UAV, lo que garantiza la evasión automática incluso cuando se pierde el enlace con el operador, el sistema de control en tierra u otra entidad que proporcione datos de terreno.

[0046] Preferiblemente, en un primer paso, las trayectorias de evasión candidatas se evalúan con respecto a la evitación del terreno, excluyendo trayectorias candidatas que sean inferiores en cuanto a la evitación de terreno. En un segundo paso posterior, las trayectorias candidatas restantes se evalúan con respecto a la evitación de colisiones con otro tráfico.

[0047] En particular, todas las trayectorias candidatas que aseguren una cierta distancia mínima del terreno se evalúan en el segundo paso. Si ninguna de las trayectorias candidatas asegura esta distancia mínima, se evaluarán las trayectorias con la distancia máxima.

[0048] Ventajosamente, en el segundo paso se evalúa un valor de cumplimiento para cada una de las trayectorias candidatas restantes, incluyendo este valor de cumplimiento un término que depende de una distancia mínima del UAV, hecho navegar según la trayectoria candidata respectiva, de las aeronaves en el espacio de observación. La distancia mínima no necesariamente es el único criterio, ya que otros criterios pueden ser relevantes, por ejemplo, si la altitud de un tráfico relevante se cruza durante la maniobra de evasión o no.

[0049] En una realización preferida, las propiedades adicionales para evaluar las trayectorias de evasión candidatas incluyen una primera similitud de las respectivas trayectorias de evasión candidatas con una trayectoria del UAV ordenada por el operador remoto o una lógica de nivel superior, donde las trayectorias candidatas con alta similitud son favorecidas sobre las trayectorias candidatas con menor primera similitud. Existe una elección correspondiente si hay más de una trayectoria candidata que se considere para evitar colisiones. Esto puede aplicarse tanto a RA como a AA o solo a uno de estos niveles.

[0050] En particular, la trayectoria se ordena en base a valores de referencia proporcionados generando señales de control respectivas para el controlador de vuelo del UAV. La lógica de nivel superior puede estar constituida, en particular, por un sistema a bordo para ordenar maniobras automáticas (como «retorno al punto de origen», etc.), por ejemplo, si se pierde el enlace con la estación base. Esta lógica de nivel superior proporciona así los valores de referencia en circunstancias excepcionales, en lugar del operador remoto.

[0051] El algoritmo de evasión, por lo tanto, recibe y procesa las órdenes del operador remoto o de la lógica de nivel superior en tiempo real, directamente o desde el controlador de vuelo que recibe estos comandos. Esta información se procesa incluso durante una maniobra de evasión.

[0052] Favorecer trayectorias con alta similitud con la trayectoria ordenada asegura que el impacto de la maniobra de evasión sobre la trayectoria de vuelo sea mínimo. En la mayoría de los casos, incluso con respecto a la evasión automática, el operador remoto o la lógica de nivel superior aún tienen la oportunidad de influir en la trayectoria de vuelo, ya que los comandos respectivos se toman en cuenta al seleccionar la trayectoria de evasión que se propondrá u ordenará, dentro de un espacio de solución que cumpla con los criterios de evasión. Incluso cuando una maniobra de evasión automática está en progreso, los comandos del operador o de la lógica de nivel superior se considerarán siempre que exista un grado de libertad en la elección de la trayectoria de vuelo. Por lo tanto, las órdenes del operador o de la lógica de nivel superior no se anulan automáticamente si se cumplen ciertos criterios, sino que, en la mayoría de los casos, el efecto de anulación de las medidas de evasión se percibe como un ajuste gradual. De manera similar, el retorno al control total por parte del operador o de la lógica de nivel superior en la etapa final de una maniobra de evasión también ocurre de manera gradual.

[0053] Preferiblemente, para favorecer trayectorias de evasión candidatas con un alto nivel de similitud con la trayectoria ordenada por el operador remoto o la lógica de nivel superior, el valor de cumplimiento incluye un término adicional que depende de la primera similitud. Esto permite incluir sistemáticamente la evaluación de la primera similitud al elegir la trayectoria de evasión viable propuesta.

[0054] En otras implementaciones, las órdenes del operador remoto no se toman en cuenta durante una maniobra de evasión. El operador recupera el control tan pronto como la maniobra de evasión se haya completado.

[0055] La preferencia por trayectorias de evasión que coincidan con la trayectoria de vuelo ordenada es ventajosa incluso si no se asigna un nivel de consejo de resolución y/o si las trayectorias de evasión viables no se determinan continuamente de manera automática. Por lo tanto, un método para navegar un UAV que incluye los siguientes pasos tiene sus propias ventajas:

- a) controlar una trayectoria de vuelo del UAV por un operador remoto;
- b) obtener una imagen aérea reconocida de un espacio de observación que rodea al UAV, incluyendo información de seguimiento respecto a las aeronaves dentro del espacio de observación;
- c) asignar uno de una pluralidad de niveles de amenaza a cada una de las aeronaves, los niveles de amenaza incluyen un nivel de evasión automática;

d) si al menos una de las aeronaves se asigna al nivel de evasión automática, proporcionar señales de control a un controlador de vuelo a bordo del UAV dando instrucciones al vehículo para seguir una trayectoria de vuelo correspondiente a una trayectoria de evasión viable, donde, para determinar la trayectoria de evasión, se evalúa un conjunto de trayectorias de evasión candidatas respecto a la evitación de colisiones y respecto a la similitud de cada una de las trayectorias de evasión candidatas con una trayectoria del UAV ordenada por el operador remoto o una lógica de nivel superior, favoreciendo las trayectorias candidatas con alta similitud sobre aquellas con menor similitud.

[0056] En este caso, la trayectoria de evasión puede determinarse continuamente de manera automática, o puede determinarse tan pronto como al menos una de las aeronaves se asigne al nivel de evasión automática o tan pronto como se cumpla otro criterio adecuado.

[0057] Preferiblemente, las propiedades adicionales para evaluar las trayectorias de evasión candidatas incluyen una segunda similitud de cada una de las trayectorias de evasión candidatas con una trayectoria del UAV según las señales de control actuales proporcionadas al controlador de vuelo, favoreciendo las trayectorias candidatas con alta segunda similitud sobre aquellas con menor segunda similitud.

[0058] Por lo tanto, se favorecen trayectorias que presentan cambios menores (o ninguno) en el rumbo o la altitud. Así, si en principio están disponibles varias trayectorias de evasión, se elegirá aquella que sea más similar al rumbo y altitud actuales. Esto minimiza la desviación de la trayectoria de evasión respecto a la trayectoria actual y evita trayectorias de evasión tipo zigzag, en casos donde sucesivos cambios de ida y vuelta en altitud y/o rumbo conducen a costes mínimos para la evasión de terreno y/o tráfico.

[0059] Preferiblemente, para favorecer trayectorias de evasión candidatas con un alto nivel de similitud con la trayectoria según las señales de control actuales proporcionadas al controlador de vuelo, el valor de cumplimiento incluye un término adicional que depende de la segunda similitud. Esto permite incluir sistemáticamente la evaluación de la segunda similitud al elegir la trayectoria de evasión viable propuesta. En particular, el término adicional incluye componentes relacionados con cambios en el rumbo, así como en la altitud.

[0060] Los pesos respectivos de los diferentes términos (términos de coste) del valor de cumplimiento pueden elegirse para ajustar la importancia relativa de los diferentes criterios.

[0061] Varios o todos los diferentes términos de coste pueden evaluarse a la vez calculando un valor de cumplimiento que incluya estos términos de coste. En contraste, varias evaluaciones pueden realizarse sucesivamente, reduciendo el número de trayectorias de evasión candidatas paso a paso.

[0062] En una implementación preferida, se calcula un primer término de coste para todas las trayectorias candidatas, donde el primer término de coste está relacionado con la violación de un volumen de protección del terreno.

[0063] Preferiblemente, el valor del primer término de coste tiene un valor mínimo predeterminado (por ejemplo, 0) para todas las trayectorias candidatas que no violen el volumen de protección del terreno. En un paso subsiguiente, se calcula y evalúa un segundo término de coste para todas las trayectorias candidatas que tengan el mejor valor para el primer término de coste (idealmente, varias trayectorias candidatas no violan el volumen de protección del terreno y, por lo tanto, se les asigna el valor mínimo para el primer término de coste). El segundo término de coste incluye elementos relacionados con violaciones del volumen de protección del tráfico, así como opcionalmente cruces de altitud con el tráfico. Un tercer término de coste incluye otros elementos relacionados con cambios en las órdenes respecto a las órdenes actuales, así como con desviaciones de las señales de control respecto a los valores de referencia para la trayectoria de vuelo utilizados por el controlador de vuelo, proporcionados por el operador remoto o la lógica de nivel superior.

[0064] Preferiblemente, al menos algunas de las aeronaves en el espacio de observación se clasifican de acuerdo con una geometría relativa de la trayectoria respectiva de la aeronave y la trayectoria de vuelo del UAV.

[0065] Las clases posibles incluyen:

- El tráfico se aproxima de manera frontal;
- El tráfico está siendo adelantado;
- Otro.

[0066] Una interferencia se clasifica como «frontal» si el acercamiento del objeto y el UAV es total o casi totalmente frontal, es decir, el objeto se aproxima al UAV desde una dirección frontal. Una interferencia se clasifica como «el tráfico está siendo adelantado» si el UAV se aproxima a un objeto más lento desde atrás.

[0067] Son posibles otras clasificaciones, como «el tráfico en aproximación está adelantando», «convergiendo» o «divergiendo».

[0068] En consecuencia, es preferible que las propiedades adicionales incluyan el cumplimiento de una trayectoria candidata respectiva con las Reglas Aéreas.

[0069] En particular, al emitir un consejo evasivo, las Reglas Aéreas se incorporan de tal manera que se aconseja al piloto evitar una colisión realizando un giro a la derecha si un objeto se clasifica como «frontal» o «siendo adelantado».

[0070] Preferiblemente, para la determinación de la primera trayectoria evasiva viable propuesta, las propiedades adicionales incluyen el cumplimiento de una trayectoria candidata respectiva con las Reglas Aéreas, y para la determinación de la segunda trayectoria evasiva viable propuesta, las propiedades adicionales no incluyen el cumplimiento de una trayectoria candidata respectiva con las Reglas Aéreas.

[0071] En consecuencia, en este caso, se ignoran las Reglas Aéreas al ordenar una maniobra automática evasiva, para garantizar que se evite de manera confiable una colisión incluso en el caso de un acercamiento cercano entre el objeto y el UAV.

[0072] Otras realizaciones ventajosas y combinaciones de características se desprenden de la descripción detallada a continuación y de la totalidad de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

[0073] Los dibujos utilizados para explicar las realizaciones muestran:

Fig. 1. Una representación esquemática de un UAV según la invención, comunicándose con una estación terrestre y otros vehículos aéreos;

Fig. 2. Un diagrama de bloques para describir el proceso inventivo; y

Fig. 3. Un diagrama de flujo para describir el proceso de generación de trayectorias evasivas.

[0074] En las figuras, los mismos componentes están identificados con los mismos símbolos de referencia.

Realizaciones preferentes

[0075] La Figura 1 es una representación esquemática de un UAV según la invención, comunicándose con una estación terrestre y otros vehículos aéreos. El vehículo aéreo no tripulado (UAV propio) 100 cuenta con varias antenas 101, 102, 103, 104 conectadas a varias unidades receptoras 111, 112, 113. Como se muestra en la Figura 2, las unidades receptoras 111, 112, 113 incluyen un receptor 121, 122, 123 para procesar las señales recibidas por las respectivas antenas 101, 102, 103, 104, así como un decodificador 131, 132, 133 para obtener datos de la señal respectiva.

[0076] La primera unidad receptora 111 procesa señales ADS-B (vigilancia dependiente automática - difusión) que son transmitidas por sistemas cooperativos respectivos 11 de vehículos aéreos 10 como aviones comerciales o aeronaves de aviación general. La información posicional (incluyendo la posición GPS y la altitud) está incluida dentro de las señales y es proporcionada por el decodificador 131 para su posterior procesamiento.

[0077] La segunda unidad receptora 112 procesa señales FLARM transmitidas por sistemas cooperativos respectivos 22 de vehículos aéreos 20 como planeadores, planeadores motorizados, aviones pequeños, helicópteros o aviones ultraligeros (microligeros). Nuevamente, las señales son transmitidas e incluyen información posicional que es decodificada y proporcionada por el decodificador 132.

[0078] La tercera unidad receptora 113 procesa señales recibidas de sistemas cooperativos 13, 33 de diferentes tipos de vehículos aéreos 10, 30 en el contexto de interrogación activa de transpondedores. La información de altitud puede estar incrustada dentro de las señales recibidas, siendo decodificada y proporcionada por el decodificador 133. La información de rango se deriva en el decodificador 133 a partir del tiempo de vuelo entre la interrogación activa y las señales recibidas. La información de dirección se obtiene de las señales recibidas por varias antenas 103, 104 (generalmente, más de dos antenas, por ejemplo, cuatro antenas, estarán dispuestas en el UAV 100 a cierta distancia entre sí), derivada por el decodificador 133.

[0079] El UAV 100 además incluye un sistema de radar 105 con una antena 106, que también permite la detección de vehículos aéreos no cooperativos 40. Las señales del sistema de radar 105, que incluyen información posicional como rango, velocidad relativa, acimut y elevación, y opcionalmente más información relacionada con velocidades o trayectorias de los vehículos aéreos detectados, así como la información posicional decodificada y derivada de las unidades receptoras 111, 112, 113, son transmitidas a un procesador 140. Estos datos, junto con otros datos recibidos por un sistema de comunicación 180 desde una estación terrestre 200, son procesados adicionalmente por el procesador 140 para obtener una imagen aérea reconocida (descrita más adelante, en relación con la Figura 2). El procesador 140 está vinculado a un sistema de control 160 para controlar el UAV 100. De una manera conocida, el

sistema de control 160 incluye un sistema de vuelo y un sistema de misión, controlando los componentes del UAV, como motores, sensores, unidades de comunicación, etc.

[0080] Entre otros, el sistema de control 160 está vinculado al sistema de comunicación 180 para comunicarse con la estación terrestre 200. De nuevo, la estación terrestre 200 es conocida como tal, por lo tanto, no hay necesidad de proporcionar una descripción detallada de la misma. Incluye una interfaz de comunicación 201, un procesador 202 conectado a la interfaz para procesar los datos entrantes y salientes, una interfaz hombre-máquina (HMI) 203 para mostrar información (incluyendo información de vuelo, mapas, la imagen aérea reconocida, el estado de todos los sistemas, etc.) y recibir entradas (incluyendo instrucciones de pilotaje) de un operador 5.

[0081] La Figura 2 es un diagrama de bloques para describir el proceso inventivo. Con fines ilustrativos y para proporcionar un vínculo con el sistema descrito en relación con la Figura 1, algunos pasos del proceso se visualizan mediante unidades funcionales del UAV inventivo. Cabe señalar que esto no significa que los componentes reales del UAV deban corresponder a estas unidades funcionales.

[0082] Las señales recibidas por las antenas 101, 102, 103, 104 se transmiten a las unidades receptoras respectivas 111, 112, 113 para su procesamiento. El procesamiento incluye pasos como el filtrado y la demodulación de las señales, realizados por los receptores 121, 122, 123, así como la obtención del contenido de la señal, que incluye información posicional, números o códigos de identificación, tiempo o información sobre la calidad de la señal, etc., llevados a cabo por los decodificadores 131, 132, 133. Otras señales son recibidas por varias antenas 103, 104 en el contexto de la interrogación activa de transpondedores. El rango y la dirección se derivan de las señales como se describió anteriormente, por el decodificador correspondiente 133.

[0083] La información relacionada con las posiciones (y posiblemente otras cantidades de movimiento como velocidades) de otros vehículos aéreos se verifica para asegurarse de que caigan dentro de límites generales predefinidos. Estas verificaciones se aplican en particular al rango, altitud y velocidad sobre el suelo. Los datos así verificados se alimentan continuamente a un módulo de filtrado 141, donde las trayectorias se obtienen y monitorean mediante varios filtros 142, 143, 144, 145, como se describe a continuación. Los filtros se implementan como filtros de kalman extendidos, basados en diferentes modelos para el movimiento real de los objetos relacionados, dependiendo de las cantidades rastreadas y los datos disponibles.

[0084] Las señales de radar son transmitidas y recibidas por el transceptor 107 usando la antena 106. Las señales recibidas se decodifican y procesan por el decodificador 108 para obtener información de trayectoria que contiene, entre otros, rango, velocidad relativa, acimut y elevación.

[0085] La información posicional bidimensional horizontal de ADS-B y FLARM recibida de las unidades receptoras 111, 112 se procesa utilizando un modelo de giro coordinado bidimensional en el filtro 142. Si la información posicional bidimensional horizontal se obtiene de la interrogación activa de transpondedores, basada en el rango derivado, dirección y altitud relativa proporcionados por la unidad receptora 113 junto con la inclinación del UAV, se procesa utilizando un modelo de aceleración de ruido blanco continuo bidimensional en el filtro 143. Para este procesamiento, los datos proporcionados por la unidad receptora 113 se transforman en dirección y rango definidos en un plano horizontal local, utilizando la inclinación del UAV y la altitud relativa. Las incertidumbres de medición se transforman de manera similar en este plano horizontal local mediante el método denominado filtro de medición convertida sin sesgo (Y. Bar-Shalom, P. K. Willett, X. Tian: «Seguimiento y fusión de datos: un manual de algoritmos», 2011). Usar el modelo de aceleración de ruido blanco continuo bidimensional en lugar del modelo de giro coordinado se debe al hecho de que la información obtenida de la interrogación de transpondedores es menos precisa que la información posicional obtenida directamente de las señales del sistema cooperativo, como en el caso de ADS-B y FLARM, y por lo tanto no es factible aplicar un modelo de giro coordinado a tales datos.

[0086] La información de rango de la interrogación activa de transpondedores se rastrea mediante otro filtro 144, implementado como un modelo de aceleración de proceso *Wener* continuo con un integrador de tercer orden.

[0087] Finalmente, la información de altitud obtenida de cualquiera de las unidades receptoras 111, 112, 113 se procesa mediante un cuarto filtro 145 utilizando un modelo de aceleración de ruido blanco continuo con un integrador de segundo orden.

[0088] La información de altitud obtenida de sistemas cooperativos generalmente está cuantizada. Esto se tiene en cuenta en el contexto del filtro de Kalman, como se describe a continuación. La dinámica lineal para la altitud de un vehículo aéreo se describe como:

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k),$$

$$y(k) = Cx(k).$$

[0089] Debido a los efectos de cuantización, se cumple la siguiente ecuación de medición no lineal:

$$z(k) = Q(y(k)),$$

donde Q es el operador de cuantización, una operación de redondeo en el caso más simple:

$$Q(y) = \text{round}\left(\frac{y}{\Delta}\right) \cdot \Delta.$$

[0090] El error de estimación $e(k)$ del filtro se define de la siguiente manera:

$$e(k) = y(k) - y_p(k) = y(k) - Cx.$$

[0091] Para tener en cuenta la cuantización de la información de altitud, el error de estimación también se cuantiza (cf. M. Fu: «Falta de principio de separación para el control gaussiano cuadrático lineal cuantificado», IEEE Transacciones en control automático, Vol. 57, Edición 9, Sept. 2012):

$$e^Q(k) = Q(e(k)) = Q(y(k) - (Cx(k))).$$

[0092] Este error cuantizado $e^Q(k)$ se utiliza en el paso de corrección del filtro.

[0093] Los datos recibidos por las unidades receptoras 111, 112, 113 se asignan a diferentes intrusos, si están disponibles. La asignación se basa en el ID transmitido. Si un ID no está disponible o en casos más generales, se emplea una distancia de Mahalanobis adecuadamente definida que considera otros parámetros adicionales.

[0094] Los datos obtenidos del decodificador 108 del sistema de radar 105 son preprocesados por el preprocesador 149, que aplica las transformaciones de coordenadas necesarias y/o filtra la información de las trayectorias.

[0095] Los datos obtenidos de los filtros relevantes 142, 143, 144, 145, así como del preprocesador 149, se procesan en un módulo de imagen aérea reconocida (RAP, *recognized air picture*) 150 junto con el vector de estado del UAV obtenido del sistema de control 160. Este módulo incluye, entre otras cosas, una base de datos que comprende ranuras de almacenamiento para las trayectorias, almacenando la información de las mismas, los IDs asignados, los valores de criticidad y las banderas relacionadas con la disponibilidad de información horizontal bidimensional, así como información vertical. Por lo tanto, la información almacenada en la base de datos constituye la imagen aérea reconocida con respecto a los vehículos aéreos cooperativos. Se actualiza continuamente en función de los datos obtenidos de las señales recibidas por las unidades receptoras 111, 112, 113, así como del sistema de radar 105 y de la estación terrestre a través del módulo de comunicación 180.

[0096] Otros datos de entrada para el módulo de imagen aérea reconocida (RAP) 150 pueden obtenerse de sensores adicionales, incluyendo sensores NCDA como sensores LIDAR, sensores ópticos, etc., así como de otras fuentes.

[0097] Para asignar a los intrusos a las ranuras de almacenamiento disponibles, se calcula un valor de criticidad continua r para el intruso, basado en particular en datos de posición y velocidad del respectivo intruso y de la aeronave propia. Para ello, se calculan dos índices de amenaza: un índice horizontal r_{hor} y un índice vertical r_{vert} como se describe a continuación: En primer lugar, se calcula el tiempo mínimo hasta una colisión en las direcciones horizontal (τ_{hor2D}) y vertical (τ_{vert}) así como con respecto al rango ($\tau_{range2D}$), donde:

$$\tau_{hor2D} = \frac{d_{hor2D}}{-\dot{d}_{hor2D}},$$

$$\tau_{vert} = \frac{d_{vert}}{-\dot{d}_{vert}},$$

$$\tau_{range2D} = \frac{d_{range2D}}{-\dot{d}_{range2D}},$$

donde los valores de d representan la distancia entre el UAV y un objeto dado y los valores de \dot{d} representan la tasa de cierre. El signo negativo hace que los valores sean positivos para intrusos que se aproximan.

[0098] La tasa de cierre horizontal se calcula de la siguiente manera:

$$\dot{d}_{hor2D} = \frac{x_N^{rel} v_N^{rel} + x_E^{rel} v_E^{rel}}{d_{hor2D}}.$$

[0099] Los valores de τ se mapean a un rango entre 0 y 1 utilizando funciones afines a trozos como sigue:

$$r_\tau(\tau) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \tau \leq \tau_{min} \\ 1 - \frac{\tau - \tau_{min}}{\tau_{max} - \tau_{min}}, & \tau_{min} < \tau \leq \tau_{max} \\ 0, & \tau \geq \tau_{max} \text{ or } \tau < 0 \end{cases}$$

donde los parámetros τ_{\min} , τ_{\max} se seleccionan libremente para afinar el comportamiento del mapeo. Un valor de $\tau_{\min} = 0$ conduce a una alta selectividad incluso con valores pequeños de τ .

[0100] Para cada dirección (horizontal, vertical y rango), se calcula un segundo índice basado en la distancia d mapeada a un rango en

$$r_d(d) = \begin{cases} 1, & d \leq d_{\min} \\ 1 - \frac{d - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}}, & d_{\min} < d \leq d_{\max} \\ 0, & d \geq d_{\max} \end{cases}$$

[0101] Nuevamente, los parámetros d_{\min} y d_{\max} se seleccionan libremente para afinar el comportamiento del mapeo.

[0102] Los pares de índices se combinan de la siguiente manera para obtener los dos índices de amenaza mencionados anteriormente:

1. Si se dispone de información de la ruta para el alcance:

$$r_{hor} = \max(r_{d,range2D}, r_{r,range2D})$$

2. Si no se dispone de información sobre la trayectoria del alcance, pero sí de información sobre la trayectoria horizontal:

$$r_{hor} = \max(r_{d,hor2D}, r_{r,hor2D})$$

3. Si no se dispone de información de alcance ni de seguimiento horizontal:

$$r_{hor} = 0.0$$

(esto significa que un intruso sin información de alcance ni información horizontal es irrelevante).

4. Si se dispone de información sobre la ruta vertical:

$$r_{vert} = \max(r_{d,vert}, r_{r,vert}),$$

5. Si no se dispone de información sobre la ruta vertical

$$r_{vert} = 1.0$$

(esto significa que un intruso sin información sobre la altitud se considera crítico).

[0103] El valor de criticidad r se calcula como la media geométrica de los dos índices:

$$r = \sqrt{r_{hor} \cdot r_{vert}}.$$

[0104] Para cada intruso, se verifica si se obtiene información esencialmente simultánea de más de un receptor debido a que la aeronave correspondiente cuenta con más de un sistema cooperativo (como un vehículo aéreo 10 que dispone de un ADS-B y un transpondedor TAS). Si este es el caso, se usan los datos de solo uno de los sistemas, elegidos según una prioridad predeterminada. En el ejemplo descrito, se prefiere ADS-B a FLARM y FLARM a la interrogación activa del transpondedor.

[0105] Las trayectorias monitorizadas de los intrusos se almacenan en un número fijo de ranuras de almacenamiento, donde una trayectoria se asigna a una ranura. Si no se puede asignar nueva información a una trayectoria existente (por ejemplo, porque un ID correspondiente no se encuentra entre los IDs asignados a las trayectorias existentes), se verifica si hay una ranura libre disponible. Si este es el caso, se inicializa una nueva trayectoria con los datos. Si no hay ranuras disponibles, el valor de criticidad del intruso se compara con el valor de criticidad de las trayectorias existentes. Si al menos una de las trayectorias existentes tiene un valor de criticidad más bajo (correspondiente a un menor riesgo de incidente), se elimina la trayectoria existente con el valor de criticidad más bajo y se almacena la nueva trayectoria, inicializada con los datos, en la ranura de almacenamiento correspondiente. Si ninguna de las trayectorias existentes tiene un valor de criticidad más bajo, no se inicializa una nueva trayectoria y los datos se descartan.

[0106] Una función de mantenimiento asegura continuamente que las trayectorias que no se han actualizado durante un tiempo predeterminado se eliminen automáticamente, liberando así la ranura de almacenamiento correspondiente.

[0107] A cada uno de los objetos detectados, representados por su respectiva trayectoria, se les asigna un nivel de amenaza en el módulo de clasificación 151, basado en la información obtenida del módulo RAP 150, así como en la información de vuelo de la aeronave propia proporcionada por el sistema de control 160. Además, todos los objetos se clasifican según la geometría de la interferencia con el UAV, considerando todas las condiciones relevantes de las Reglas Aéreas de la OACI.

[0108] Los niveles de amenaza se eligen por analogía con el TCAS II, V7.1. Además de los estados correspondientes, se introduce un nivel adicional, Evitación Automática. En consecuencia, los niveles de amenaza son los siguientes:

i) OT: Otro Tráfico - el objeto está lejos y no es necesario actuar;

ii) PT: Tráfico Próximo - el objeto está dentro de un cierto volumen que rodea al UAV pero no representa peligro, no es necesario actuar;

iii) TA: Consejo de Tráfico - el objeto está en un volumen crítico que rodea al UAV, se emite una alerta al operador (en tierra);

iv) RA: Consejo de Resolución - el objeto está cerca, se requiere una acción inmediata del operador para resolver el conflicto, para ello se envía un mensaje de recomendación evasiva 191 al operador (consultar Figura 2);

v) AA: Evitación Automática - el objeto está muy cerca y al controlador de vuelo se le proporcionan inmediatamente instrucciones 192 para iniciar una maniobra de evasión (consultar Figura 2).

[0109] Los niveles de amenaza se caracterizan por los parámetros τ , un tiempo hasta el Punto de Máxima Aproximación (CPA, *Closest Point of Approach*), y DMOD, una distancia mínima que debe respetarse además de un cierto valor mínimo de τ . En principio, los criterios para ambos parámetros pueden variar según un Nivel de Sensibilidad (que puede depender, en particular, de la altitud de la aeronave propia). Alternativamente, los criterios para los parámetros pueden ser fijos. La Evitación Automática puede activarse o desactivarse; es decir, si está desactivada, el nivel de amenaza no cambiará a AA y el operador será responsable de ordenar todas las maniobras de evasión. (En una variante, el nivel de amenaza aún cambiará a AA si se establece en el UAV que actualmente se ha perdido el enlace con la estación terrestre).

[0110] Para la clasificación del tráfico, en un primer paso se calculan las distancias máximas de los volúmenes de protección d_{hor}^x, d_{ver}^x para cada uno de los niveles de amenaza x . En un segundo paso, basándose en el nivel de amenaza determinado en el paso de tiempo anterior, los límites de los niveles de amenaza inferiores e iguales se incrementan utilizando un parámetro de histéresis $Hyst_y^x$, donde y denota *hor* o *ver*:

$$d_y^x \cdot (1 + Hyst_y^x),$$

donde los valores del parámetro de histéresis $Hyst_y^x$ pueden elegirse en un rango de $0 \leq Hyst_y^x < 1$.

Establecer un parámetro de histéresis distinto de cero ayuda a evitar demasiados cambios de ida y vuelta en el nivel de clasificación. En principio, incrementa el volumen de protección que no debe ser violado si se desea reducir el nivel de amenaza.

[0111] Finalmente, se asegura que el nivel de amenaza AA se mantenga hasta que el intruso relevante pueda asignarse al nivel de amenaza PT. Esto se realiza verificando si el nivel de amenaza en el paso de tiempo anterior era AA. Si este es el caso, los límites del nivel de amenaza AA se ajustan al valor del nivel de amenaza TA, de modo que se prohíba una transición al nivel de amenaza TA.

[0112] Tan pronto como se conocen los límites, el tráfico se clasifica según estos límites en el nivel de amenaza más alto posible.

[0113] Para efectos de clasificación, los «volúmenes de protección», las distancias, las velocidades y, finalmente, el nivel de amenaza, se calculan para cada uno de los vehículos aéreos rastreados. El nivel de amenaza también se calcula en caso de que la imagen aérea reconocida esté incompleta. Como mínimo, se debe conocer un rango horizontal para poder determinar el nivel de amenaza. Si no hay información de altitud disponible, la clasificación se basa únicamente en la información horizontal. Tan pronto como se disponga de información de altitud, también se consideran los criterios verticales.

[0114] La información de las trayectorias almacenada en la base de datos del módulo RAP 150 se proporciona con indicadores que señalan la disponibilidad de diferentes elementos de la información de las trayectorias, como el rango horizontal y su derivada temporal, y la altitud relativa del vehículo aéreo y su derivada temporal. La información del rango horizontal se obtiene del filtro de rango 144 (para datos de interrogación de transpondedor) o del filtro horizontal 142 (para datos FLARM y ADS-B), donde el rango oblicuo se convierte en rango horizontal teniendo en cuenta la altitud relativa. Si no se dispone de información de altitud relativa, se asumirá que el vehículo aéreo está a la misma altitud que el UAV (escenario de peor caso).

[0115] Al igual que en el contexto del TCAS, el parámetro de rango se modifica para evitar distancias pequeñas cuando la tasa relativa de cierre es pequeña. Las velocidades relativas de cierre en el plano horizontal se obtienen del filtro de tráfico:

$$d_{hor} = r$$

$$d_{hor} = -\dot{r}$$

[0116] En la dirección vertical, las relaciones son las siguientes:

$$x_{rel}^D(t) = x_{TFC}^D(t)$$

$$v_{rel}^D(t) = v_{TFC}^D(t) - v_{UAV}^D(t)$$

$$d_{ver} = |x_{rel}^D(t)|$$

$$\dot{d}_{ver} = -sgn(x_{rel}^D(t)) \cdot \dot{x}_{rel}^D(t) = -sgn(x_{rel}^D(t)) \cdot v_{rel}^D(t)$$

- 15 [0117] Si no se dispone de un valor válido para v_{UAV}^D , por ejemplo, debido a un error de comunicación, se utiliza la última velocidad conocida del UAV.
[0118] La distancia horizontal y vertical desde el volumen de protección para RA (y de manera análoga para TA y AA) se calculan de la siguiente manera:

$$d_{hor}^{RA} = \max(DMOD^{RA}, \tau^{RA} \cdot \max(0, \dot{d}_{hor})),$$

$$d_{ver}^{RA} = \max(AltThr^{RA}, \tau^{RA} \max(0, \dot{d}_{ver})),$$

- 25 donde *AltThr* es el umbral de altitud, correspondiente al DMOD para la aproximación vertical. Por ejemplo, en el contexto del TCAS Nivel de Sensibilidad 3, los valores de los parámetros son:

Nivel de amenaza	τ	DMOD	AltThr
RA	15s	0.2 NM	600 ft
TA	25s	0.33 NM	850 ft

- 30 [0119] Al clasificar los objetos aéreos según sus niveles de amenaza, se considera si los datos de entrada están completos. Para ello, se asume que los datos del filtro de tráfico son precisos mientras una bandera correspondiente asignada a un objeto esté configurada como «Está disponible». Si un objeto está configurado como «No Disponible», el nivel de amenaza de este objeto se establece en OT.
- 35 [0120] Además, se utiliza un vector de estado del UAV. Si el vector de estado no se ha actualizado dentro de un intervalo de tiempo o si sus datos no son válidos, se usa la última velocidad vertical conocida para la clasificación. Si no se dispone de información utilizable sobre el vector de estado, todo el tráfico se clasifica como OT, ya que no es posible realizar una clasificación significativa sin conocimiento del estado actual del propio UAV.
- [0121] La clasificación de los objetos según la geometría de la interferencia con el UAV asigna cada vehículo aéreo rastreado a una de tres clases, a saber:
- 40 - El tráfico se aproxima de manera frontal.
- El tráfico está siendo adelantado.
- Otros.
- [0122] Una interferencia se clasifica como «frontal» si la aproximación del objeto y del UAV es completamente o casi frontal, es decir, el objeto se aproxima al UAV desde una dirección frontal. Esto se asume si se cumplen los siguientes criterios:
- 45 i. La posición del objeto está dentro de un segmento circular definido por un ángulo predeterminado alrededor del vector de velocidad inercial del UAV sobre el terreno.
ii. El vector de velocidad del objeto relativo al UAV sobre el terreno está dentro de otro ángulo predeterminado alrededor de una línea que conecta el UAV y el objeto.
iii. La diferencia de rumbo entre el UAV y el objeto es mayor de 90° o menor de -90° .
- 50 [0123] Una interferencia se clasifica como «el tráfico está siendo adelantado» si se cumplen los siguientes criterios:
i. La posición del objeto está dentro de un segmento circular definido por un ángulo predeterminado alrededor del vector de velocidad inercial del UAV.
ii. El vector de velocidad del objeto relativo al UAV sobre el terreno está dentro de otro ángulo predeterminado alrededor de una línea que conecta el UAV y el objeto.

iii. La diferencia de rumbo entre el UAV y el objeto es menor a 90° o mayor a -90° .

[0124] Otras maniobras de adelantamiento pueden designarse como «adelantamiento oblicuo por la izquierda» o «adelantamiento oblicuo por la derecha». Estas no se manejan específicamente en el contexto del sistema descrito.

[0125] Son posibles otras clases, como «el tráfico se aproxima adelantando», «convergiendo» o «divergiendo».

[0126] Para generar mensajes de recomendación de maniobra de evasión 191, así como instrucciones 192 para maniobras de evasión automática, los datos obtenidos por el módulo RAP 150 y el módulo de clasificación 151, junto con datos sobre el UAV y datos adicionales recibidos de otras fuentes, como un modelo de terreno 153 y el sistema de control 160, son procesados por un módulo de generación 152 para producir trayectorias de evasión.

[0127] Los pasos generales del proceso respectivo se muestran en el diagrama de flujo de la Figura 3. Después de obtener la imagen aérea reconocida (paso 301) y asignar los niveles de amenaza (paso 302) como se describió anteriormente, se genera una trayectoria de evasión para un mensaje de recomendación de evasión 191 (paso 311) y una trayectoria de evasión para una maniobra de evasión automática (paso 312) como se describe con más detalle a continuación. Luego, se verifica si al menos un objeto está asignado al nivel de amenaza AA (decisión 321). Si este es el caso, se transmiten instrucciones 192 para una maniobra de evasión automática al sistema de control 160 (paso 331). Si no es el caso, se verifica si al menos un objeto está asignado al nivel de amenaza RA (decisión 322). Si este es el caso, se emite un mensaje de recomendación de evasión 191 (paso 332). En cualquier caso, la imagen aérea reconocida se obtendrá regularmente, los niveles de amenaza y las trayectorias de evasión se actualizarán y se verificarán los niveles de amenaza para determinar si es necesario actuar, es decir, los pasos 301-322 se llevarán a cabo en un proceso cíclico.

[0128] Al emitir un mensaje de recomendación de maniobra de evasión 191, las Reglas Aéreas se incorporan de manera que se aconseja al piloto evitar una colisión realizando un giro a la derecha si un objeto se clasifica como «de frente» o «siendo adelantado». Para garantizar que se evite una colisión de manera confiable incluso en el caso de una aproximación cercana entre el objeto y el UAV, las Reglas Aéreas no se tienen en cuenta para las instrucciones 192 de maniobras de evasión automática.

[0129] Para la generación de las trayectorias de evasión (pasos 311, 312), primero se define un conjunto de trayectorias candidatas para el UAV para un tiempo de predicción definido. Este conjunto incluye todas las trayectorias, comenzando desde la posición, velocidad, rumbo y actitud actuales del UAV, con:

- Velocidad actual mantenida (pueden ocurrir cambios temporales de velocidad al ascender o descender) o velocidad reducida a la mínima velocidad.

- Hasta dos cambios de rumbo (componente horizontal), cada uno cuantificado en 30° ($0 / \pm 30 / \pm 60^\circ$ con respecto al rumbo actual).

- Hasta un cambio de altitud (componente vertical), cuantificado en ± 1000 pies con respecto a la altitud actual.

Los posibles cambios se ordenan en intervalos temporales predeterminados desde el momento actual.

[0130] Esto lleva a $2 \times 5 \times 5 \times 3 = 150$ trayectorias candidatas.

[0131] La velocidad del UAV se reduce a la velocidad mínima si el UAV está cerca del terreno. Para ahorrar recursos computacionales, las 75 trayectorias candidatas con velocidad reducida pueden tomarse en cuenta selectivamente solo si los conflictos potenciales con el terreno son relevantes para determinar las trayectorias de evasión viables. Por lo tanto, se asume el mantenimiento de la velocidad actual hasta que al menos una de las trayectorias candidatas entre en conflicto con el terreno. En este caso, la velocidad para las trayectorias candidatas de evasión se cambia a la velocidad mínima hasta que ninguna de las trayectorias candidatas entre en conflicto con el terreno. Luego, la velocidad para las trayectorias candidatas de evasión vuelve a la velocidad actual. De esta manera, en cada paso de tiempo, solo se toman en cuenta 75 trayectorias candidatas.

[0132] El tiempo hasta el primer cambio difiere para las trayectorias de evasión candidatas que se emitirán al operador remoto (consejo de resolución) y para las trayectorias de evasión candidatas que se proporcionarán al controlador de vuelo. En el primer caso, el tiempo hasta el primer cambio corresponde a la suma del tiempo de reacción del piloto y el tiempo de retardo del enlace, mientras que en el segundo caso, el tiempo hasta el primer cambio es esencialmente 0.

[0133] Las trayectorias candidatas del UAV resultantes de los comandos de vuelo se calculan para un tiempo predefinido y se utilizan para la determinación del criterio de calidad, teniendo en cuenta las características de vuelo del UAV así como factores externos (como el viento). Para este propósito, la información del viento se obtiene del sistema de navegación a bordo. Se ha comprobado que, para UAV más grandes, un modelo de viento muy simple con dirección y fuerza constantes suele ser suficientes. Es aconsejable utilizar modelos de viento más detallados para los UAV más pequeños.

[0134] Además, para la determinación del criterio de calidad, las trayectorias de todo el tráfico cercano también se calculan para el tiempo de predicción definido. Estas trayectorias previstas para el tráfico se basan en su posición actual, velocidad, rumbo, tasa de giro y tasa de altitud utilizando un modelo de tráfico. El modelo utilizado se basa en una suposición de tasa de tasa de altitud y una tasa de giro constantes.

[0135] Para decidir sobre la idoneidad de las trayectorias candidatas y elegir una trayectoria evasiva para una recomendación evasiva o para una evitación automática, se determina un criterio de calidad (o valor de cumplimiento) J para cada una de una pluralidad de trayectorias. El criterio de calidad se refiere tanto a la evitación del terreno como a la evitación del tráfico, donde la evitación del terreno tiene prioridad sobre la evitación del tráfico. El criterio de calidad comprende tres componentes, el primero de los cuales representa los costes relacionados con la violación del volumen de protección del terreno (J_{TRN}), el segundo de los cuales representa los costes relacionados con el tráfico (J_{TFC}), a saber, la violación del volumen de protección del tráfico así como los cruces de altitud, el tercero de los cuales representa los costes relacionados con las órdenes (J_{CMD}). El último componente incluye los términos de coste

relativos a los cambios de las órdenes, así como los términos de coste relativos a las desviaciones de los comandos de los valores de referencia para la trayectoria de vuelo utilizados por el controlador de vuelo. Estos valores de referencia pueden ser proporcionados por el operador remoto o por una lógica de nivel superior, en particular por un sistema de a bordo para ordenar maniobras automáticas (como «volver a casa», etc.), por ejemplo, si se pierde el enlace con la estación base. El criterio de calidad se determina para puntos específicos en el tiempo dt_{perf} , que puede ser un múltiplo del tiempo de muestreo de la predicción. Este valor puede introducirse como parámetro.

[0136] El valor del criterio de calidad del terreno J_{TRN} se refiere a la certeza de que la respectiva trayectoria del UAV no vuela dentro del terreno, representado por un modelo digital del terreno (MDT) ampliado de forma conservadora. Se define como sigue:

$$J_{TRN} = \sum_{i=0}^{N_t} \begin{cases} 0, & \text{if } h_i^{UAV} - h_i^{DTM} \geq 0 \\ sw_{TRN}(h_i^{UAV} - h_i^{DTM})^2, & \text{if } h_i^{UAV} - h_i^{DTM} < 0 \end{cases}$$

donde i recorre puntos discretos en el tiempo, N_t denota el número de dichos puntos con datos de trayectoria, h_i^{UAV} es la altitud de la trayectoria del UAV en dichos puntos, h_i^{DTM} es la altitud del DTM en la posición de dichos puntos, sw_{TRN} es un conmutador que toma el valor 1 si se tiene en cuenta la evitación del terreno y 0 si no es el caso (por ejemplo, gestión de fallos, falta de datos).

[0137] El criterio de calidad de tráfico para una trayectoria dada se relaciona con la certeza de que la trayectoria respectiva del UAV no colisiona con un volumen de colisión de un tráfico y con los cruces de altitud que deberían evitarse si es posible. Por lo tanto, el valor del criterio de calidad de tráfico J_{TFC} para una trayectoria dada

se compone de un componente vertical $f_{i,j}^{ver}$ y un componente horizontal $f_{i,j}^{hor}$ definiendo un coste asociado con la distancia entre el UAV y un tráfico j en el tiempo i , así como un coste asociado con los cruces de altitud si la trayectoria del UAV y el tráfico j se cruzan en altitud:

$$J_{TFC} = \sum_{j=1}^{N_{TFC}} \left(\left(\sum_{i=0}^{N_t} (f_{i,j}^{ver} \cdot f_{i,j}^{hor}) \right) + \frac{k_j^{AltCross}}{d_j^{AltCross}} \right),$$

Donde j recorre todo el tráfico que se tiene en cuenta, N_{TFC} denota el número de estos tráficos, i recorre puntos discretos en el tiempo y N_t denota el número de tales puntos con datos de trayectoria. $k_j^{AltCross}$ es una penalización constante que tomaría un valor positivo si la trayectoria candidata del UAV cruzara la altitud de la trayectoria del tráfico j y es cero en caso contrario. $d_j^{AltCross}$ es la distancia horizontal entre el UAV y el tráfico j en sus posiciones en el momento en que ocurre el cruce de altitud.

[0138] Algunas trayectorias pueden marcarse como inadmisibles desde el principio. Por ejemplo, puede prescribirse para la recomendación evasiva que no se permita un cambio de altitud y/o que una maniobra de giro a la izquierda infrinja las Reglas Aéreas.

[0139] Para las trayectorias que se consideran posteriormente, se determinan las funciones de los componentes vertical y horizontal. La función del componente vertical $f_{i,j}^{ver}$ es una primera penalización para pequeñas distancias verticales relativas al tráfico j en el tiempo i :

$$f_{i,j}^{ver} = \begin{cases} 0, & |h_i^{UAV} - h_{i,j}^{TFC}| \geq d^{ver,min} + \sigma_{i,j}^{ver} \\ k^{VerDist} \alpha_i (|h_i^{UAV} - h_{i,j}^{TFC}| - \sigma_{i,j}^{ver} - d^{ver,min})^2, & |h_i^{UAV} - h_{i,j}^{TFC}| < d^{ver,min} + \sigma_{i,j}^{ver} \end{cases}$$

Donde $d^{ver,min}$ es la distancia vertical mínima deseada, $\sigma_{i,j}^{ver}$ es la incertidumbre vertical de la trayectoria prevista del UAV y del tráfico j en cada tiempo i , h es la altitud del vehículo aéreo respectivo, $k^{VerDist}$ es un factor de ponderación constante y α_i es un factor de ponderación con un valor decreciente a lo largo del tiempo. El valor de α_i asegura que los encuentros cercanos se prioricen sobre los encuentros que ocurren en momentos posteriores.

[0140] La función del componente horizontal $f_{i,j}^{hor}$ es una penalización para pequeñas distancias horizontales relativas al tráfico j en el tiempo i :

$$f_{i,j}^{hor} = \begin{cases} 0, & |p_i^{UAV} - p_{i,j}^{TFC}| \geq d^{hor,min} + \sigma_{i,j}^{hor} \\ k^{HorDist} \alpha_i (|p_i^{UAV} - p_{i,j}^{TFC}| - d^{hor,min} - \sigma_{i,j}^{hor})^2, & |p_i^{UAV} - p_{i,j}^{TFC}| < d^{hor,min} + \sigma_{i,j}^{hor} \end{cases}$$

Donde $d^{hor,min}$ es la distancia horizontal mínima deseada, $\sigma_{i,j}^{hor}$ es la incertidumbre horizontal tanto de la trayectoria prevista del UAV como del tráfico j en cada tiempo i, p es la posición horizontal del vehículo aéreo respectivo, $k^{HorDist}$ es un factor de ponderación constante y α_i es nuevamente el factor de ponderación con un valor decreciente a lo largo del tiempo.

[0141] El valor del criterio de coste J_{CMD} relacionado con las órdenes se compone de costes relacionados con los cambios en las órdenes $J_{CmdChange}$ y costes relacionados con las desviaciones de las órdenes con respecto a los valores de referencia ordenados para la ruta de vuelo (proporcionados por el operador remoto o una lógica de nivel superior) utilizados por el controlador de vuelo $J_{FcsDeviations}$:

$$J_{CMD} = J_{CmdChange} + J_{FcsDeviations}$$

[0142] El coste relacionado con los cambios en los comandos $J_{CmdChange}$ se compone de los cambios verticales de altitud Δh_k^{Cmd} en el cambio de comando k y de los cambios horizontales de rumbo Δcrs_m^{Cmd} en el cambio de comando m de la siguiente manera:

$$J_{CmdChange} = \sum_{k=1}^{N_{AltChanges}} k^{AltCmd} \cdot (\Delta h_k^{Cmd})^2 + \sum_{m=1}^{N_{CrsChanges}} k^{CrsCmd} \cdot (\Delta crs_m^{Cmd})^2$$

donde k^{AltCmd} y k^{CrsCmd} son factores de ponderación para la relevancia del aumento respectivo del cambio, y $N_{AltChanges}$ y $N_{CrsChanges}$ son el número de cambios en los componentes vertical y horizontal, respectivamente.

[0143] Debido al término de penalización $J_{CmdChange}$ en el criterio de calidad, se favorecen trayectorias de evasión que presenten cambios más pequeños (o nulos) en el rumbo o la altitud. Esto se aplica tanto a las trayectorias que se eligen para mostrarse como recomendaciones de evasión como a las trayectorias que se proporcionan al sistema de control (160) para la evitación automática. En consecuencia, si en principio hay varias trayectorias evasivas disponibles, se elegirá aquella que sea más similar al rumbo y altitud actuales. Esto minimiza la desviación de la trayectoria evasiva respecto a la ruta actual y evita trayectorias de tipo zigzag, en los casos en que sucesivos cambios de ida y vuelta en la altitud y/o el rumbo conducen a costes mínimos para la evitación del terreno y/o tráfico.

[0144] El coste relacionado con las desviaciones de los comandos con respecto a los valores de referencia ordenados para la ruta de vuelo utilizada por el controlador de vuelo $J_{FcsDeviations}$ se compone de la desviación de altitud y la desviación de rumbo de la siguiente manera:

$$J_{FcsDeviations} = k^{AltFcsDev} \cdot (\Delta h^{Fcs})^2 + k^{CrsFcsDev} \cdot (\Delta crs^{Fcs})^2,$$

donde $k^{AltFcsDev}$ y $k^{CrsFcsDev}$ son factores de ponderación para la relevancia de la desviación respectiva, y Δh^{Fcs} y Δcrs^{Fcs} son las diferencias entre los valores de referencia respectivos para la ruta de vuelo del controlador de vuelo y el comando asociado con la trayectoria candidata. Los diferentes pesos k para los distintos giros pueden usarse para ajustar la selección de trayectorias evasivas.

[0145] Una vez que se han calculado todos los valores de los criterios de calidad para todas las trayectorias restantes, se debe encontrar el óptimo. Para este propósito, se aplica una búsqueda lineal a todos los criterios de calidad, buscando un mínimo «escalonado», es decir, en un primer paso, se minimiza el criterio de calidad del terreno J_{TRN} . En un segundo paso, se buscan todas las trayectorias que tienen el mismo valor (mínimo) para el criterio de calidad del terreno y se elige la que tenga el valor mínimo para el criterio de calidad del tráfico J_{TFC} . En un tercer paso, se buscan todas las trayectorias que tienen el mismo valor (mínimo) para los criterios de calidad del terreno y del tráfico, y se elige la que tenga el valor mínimo para el criterio de calidad de los comandos J_{CMD} .

[0146] Mientras exista un enlace de datos con la estación terrestre (200), el operador (piloto) controla la ruta de vuelo, incluyendo en particular parámetros relacionados con la misma (valores de referencia) como rumbo, altitud, velocidad, etc. Las señales de control correspondientes serán recibidas por el módulo de comunicación (180) y enviadas al sistema de control (160) así como al procesador (140).

[0147] Debido al término de penalización $J_{FcsDeviations}$ en el criterio de calidad, se favorecen trayectorias evasivas que sean más similares a los valores de referencia para la ruta de vuelo (proporcionados por el operador remoto o una

lógica de nivel superior) utilizados por el controlador de vuelo. Esto se aplica tanto a las trayectorias que se eligen para mostrarse como recomendaciones de evasión como a las trayectorias que se proporcionan al sistema de control (160) para la evitación automática. En consecuencia, si en principio hay varias trayectorias evasivas disponibles, se elegirá aquella que sea más similar a los valores de referencia para la ruta de vuelo utilizados por el controlador de vuelo. En el caso de una evitación automática, mientras el operador o una lógica de nivel superior pierde temporalmente la capacidad de controlar directamente el sistema de control (160) del UAV, las órdenes seguirán siendo tomados en cuenta al determinar las trayectorias de evasión. Dado que estas trayectorias se actualizan regularmente, las órdenes del operador pueden afectar la ruta de vuelo incluso si se está llevando a cabo una maniobra evasiva automática, siempre que quede un grado de libertad respecto a trayectorias evasivas seguras.

[0148] Por lo general, en el contexto de una maniobra evasiva, los grados de libertad disponibles son bastante limitados cuando se ordena una maniobra automática, pero su número aumenta sustancialmente después de una breve primera fase. Esto significa que el operador recupera gradualmente sus capacidades de control. En particular, esto implica que no es necesario esperar hasta que se complete una maniobra evasiva y se devuelva el control al operador, sino que el operador puede intentar modificar los parámetros de vuelo según lo desee en cualquier momento, por ejemplo, para ajustar el rumbo a la misión actual. La consecuencia es una transición lo más suave posible entre el control del operador y el control automático.

[0149] En resumen, cabe destacar que la invención crea un método para navegar un UAV que evita colisiones de manera confiable incluso en situaciones complejas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para hacer navegar un vehículo aéreo no tripulado (UAV) (100), que comprende los pasos de:
 - a) control de una trayectoria de vuelo del vehículo aéreo no tripulado (100) por un operador remoto (5);
 - b) obtención de una imagen aérea reconocida de un espacio de observación que rodea al vehículo aéreo no tripulado (100), incluyendo información de seguimiento con respecto a vehículos aéreos (10, 20, 30) dentro del espacio de observación;
 - c) asignar uno de una pluralidad de niveles de amenaza a cada uno de los vehículos aéreos (10, 20, 30), comprendiendo los niveles de amenaza un nivel de consejo de resolución y un nivel de evasión automática;
 - d) determinar continua y automáticamente trayectorias viables de evasión para el vehículo aéreo no tripulado (100);
 - e) si al menos uno de los vehículos aéreos (10, 20, 30) se le asigna el nivel de consejo de resolución, proporcionar un mensaje al operador remoto (5) que incluya una primera trayectoria viable de evasión propuesta;
 - f) si al menos uno de los vehículos aéreos (10, 20, 30) se le asigna el nivel de evasión automática, proporcionar señales de control a un controlador de vuelo a bordo (160) del vehículo aéreo no tripulado (100) que indique al vehículo que siga una trayectoria de vuelo correspondiente a una segunda trayectoria viable de evasión propuesta.
2. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que, para determinar las trayectorias viables de evasión, se evalúa un conjunto de trayectorias candidatas de evasión generadas según un patrón predeterminado con respecto a la evasión de colisiones y propiedades adicionales.
3. El método según la reivindicación 2, caracterizado por que el conjunto de trayectorias candidatas comprende trayectorias que comienzan en una posición actual y con una velocidad determinada, incluyendo hasta dos cambios de dirección en una desviación temporal predeterminada y hasta un cambio de altitud.
4. El método según cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, caracterizado por que las propiedades adicionales incluyen la evitación del terreno.
5. El método según la reivindicación 4, caracterizado por que en un primer paso se evalúan las trayectorias candidatas de evasión con respecto a la evitación del terreno, excluyendo las trayectorias candidatas que sean inferiores con respecto a la evitación del terreno, y porque en un segundo paso posterior se evaluarán las trayectorias candidatas restantes con respecto a la evitación de colisiones con otros vehículos aéreos.
6. El método según la reivindicación 5, caracterizado por que en el segundo paso se evalúa un valor de cumplimiento para cada una de las trayectorias candidatas restantes, donde el valor de cumplimiento incluye un término dependiente de la distancia mínima del UAV (100) navegando según la respectiva trayectoria candidata desde los vehículos aéreos (10, 20, 30) en el espacio de observación.
7. El método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, caracterizado por que las propiedades adicionales incluyen una primera similitud de una respectiva de las trayectorias candidatas de evasión con una trayectoria del UAV (100) ordenada por el operador remoto (5) o una lógica de nivel superior, donde se favorecen las trayectorias candidatas que tengan una alta primera similitud sobre aquellas con una menor primera similitud.
8. El método según las reivindicaciones 6 y 7, caracterizado por que el valor de cumplimiento incluye un término adicional dependiente de la primera similitud.
9. El método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, caracterizado por que las propiedades adicionales incluyen una segunda similitud de una respectiva de las trayectorias candidatas de evasión con una trayectoria del UAV (100) según las señales de control actuales proporcionadas al controlador de vuelo (160), donde se favorecen las trayectorias candidatas que tengan una alta segunda similitud sobre aquellas con una menor segunda similitud.
10. El método según las reivindicaciones 6 y 9, caracterizado por que el valor de cumplimiento incluye un término adicional dependiente de la segunda similitud.
11. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que al menos algunos de los vehículos aéreos (10, 20, 30) en el espacio de observación se clasifican según una geometría relativa de una respectiva trayectoria del vehículo aéreo (10, 20, 30) y una trayectoria de vuelo del UAV (100), donde las posibles clases incluyen tráfico que se aproxima de manera frontal y tráfico que está siendo adelantado.
12. El método según las reivindicaciones 2 y 11, caracterizado por que las propiedades adicionales incluyen el cumplimiento de una respectiva trayectoria candidata con las Reglas del Aire.
13. El método según la reivindicación 12, caracterizado por que para la determinación de la primera trayectoria viable de evasión propuesta las propiedades adicionales incluyen el cumplimiento de una respectiva trayectoria candidata con las Reglas del Aire y porque para la determinación de la segunda trayectoria viable de evasión propuesta las propiedades adicionales no incluyen el cumplimiento de una respectiva trayectoria candidata con las Reglas del Aire.
14. Un UAV (100), que comprende:
 - a) una interfaz de comunicación (180) adaptada para recibir valores de referencia de un operador remoto (5) y

- proporcionar señales de control basadas en los valores de referencia;
- b) un controlador de vuelo (160) para controlar la trayectoria de vuelo del UAV (100), donde el controlador de vuelo (160) está adaptado para recibir las señales de control y controlar la trayectoria de vuelo basándose en las señales de control recibidas.
- 5 c) sensores de entorno (111, 112, 113, 105) que proporcionan señales relacionadas con un espacio de observación que rodea al UAV (100);
- d) un primer procesador (150) adaptado para recibir y procesar las señales proporcionadas por los sensores de entorno para obtener una imagen aérea reconocida del espacio de observación, incluyendo información de seguimiento con respecto a vehículos aéreos dentro del espacio de observación;
- 10 e) un segundo procesador (151) adaptado para asignar uno de una pluralidad de niveles de amenaza a cada uno de los vehículos aéreos, donde los niveles de amenaza comprenden un nivel de consejo de resolución y
- f) un tercer procesador (152) adaptado para determinar continuamente trayectorias viables de evasión para el UAV; donde el tercer procesador (152) es controlado para:
- 15 - proporcionar un mensaje al operador remoto (5) que incluya una primera trayectoria viable de evasión propuesta si al menos uno de los vehículos aéreos (10, 20, 30) se le asigna el nivel de consejo de resolución; y
- proporcionar señales de control al controlador de vuelo (160) que indiquen al vehículo (100) que sigan una trayectoria de vuelo correspondiente a una segunda trayectoria viable de evasión propuesta, si al menos uno de los vehículos aéreos (10, 20, 30) se le asigna el nivel de evasión automática.

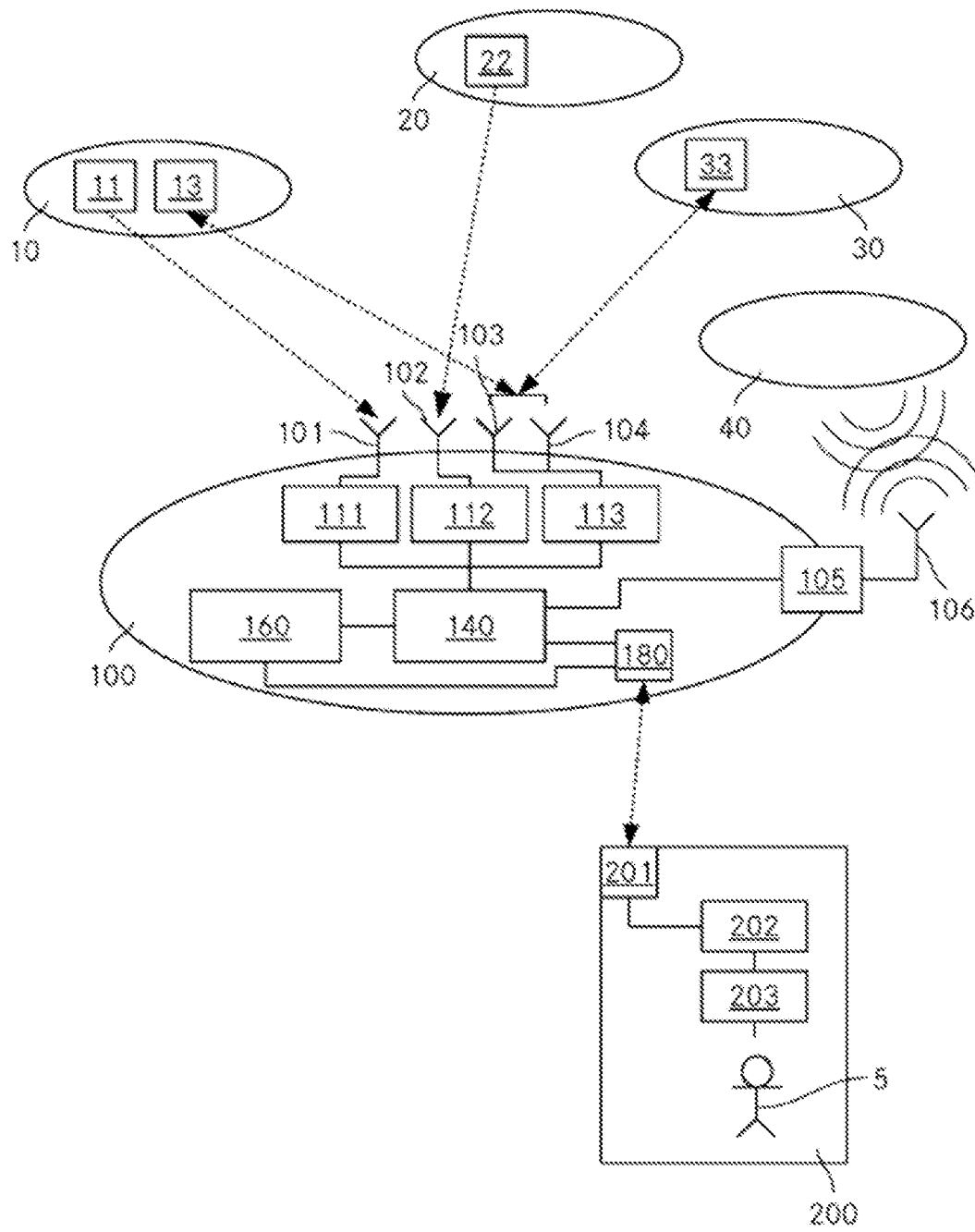


Fig. 1

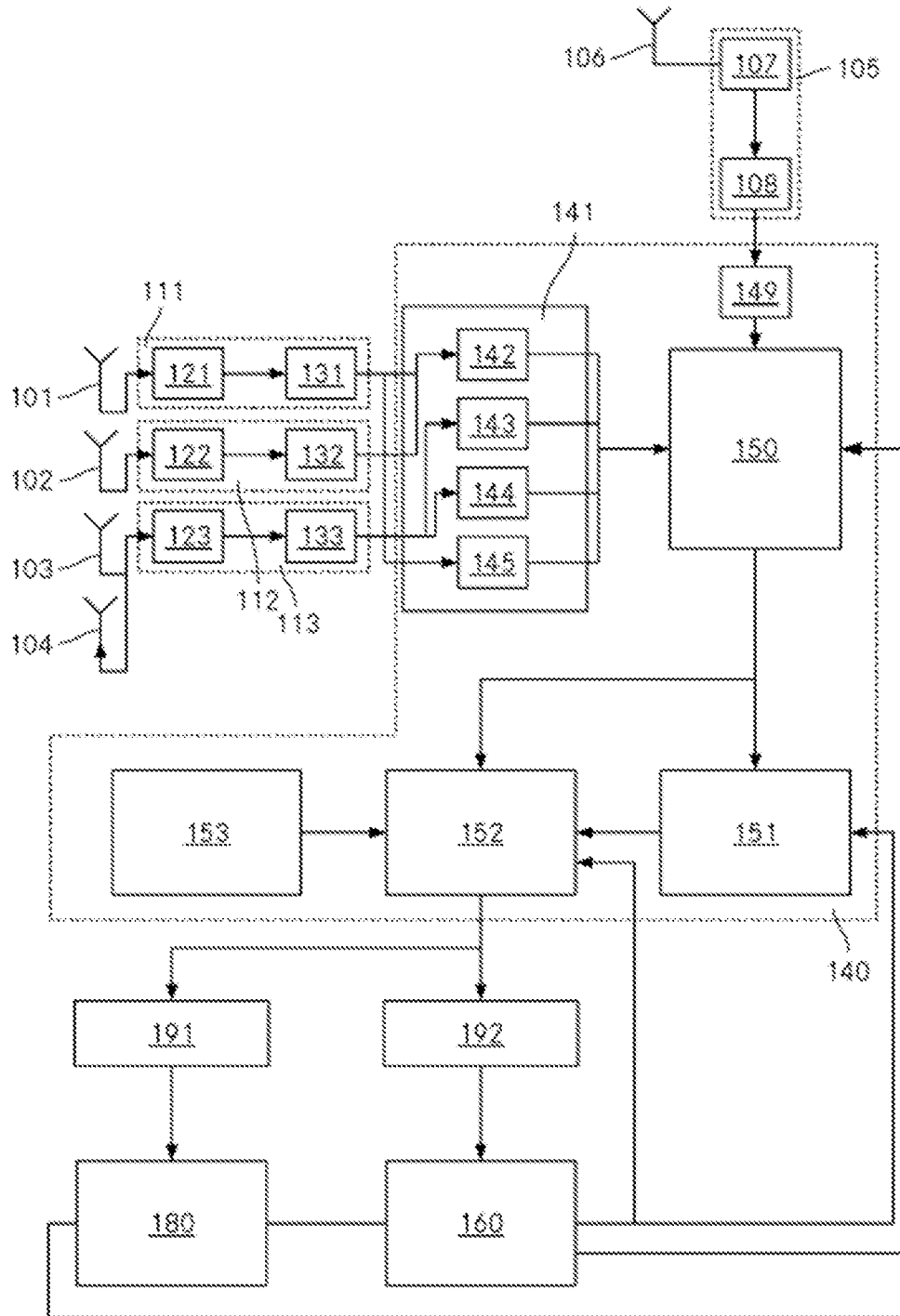


Fig. 2

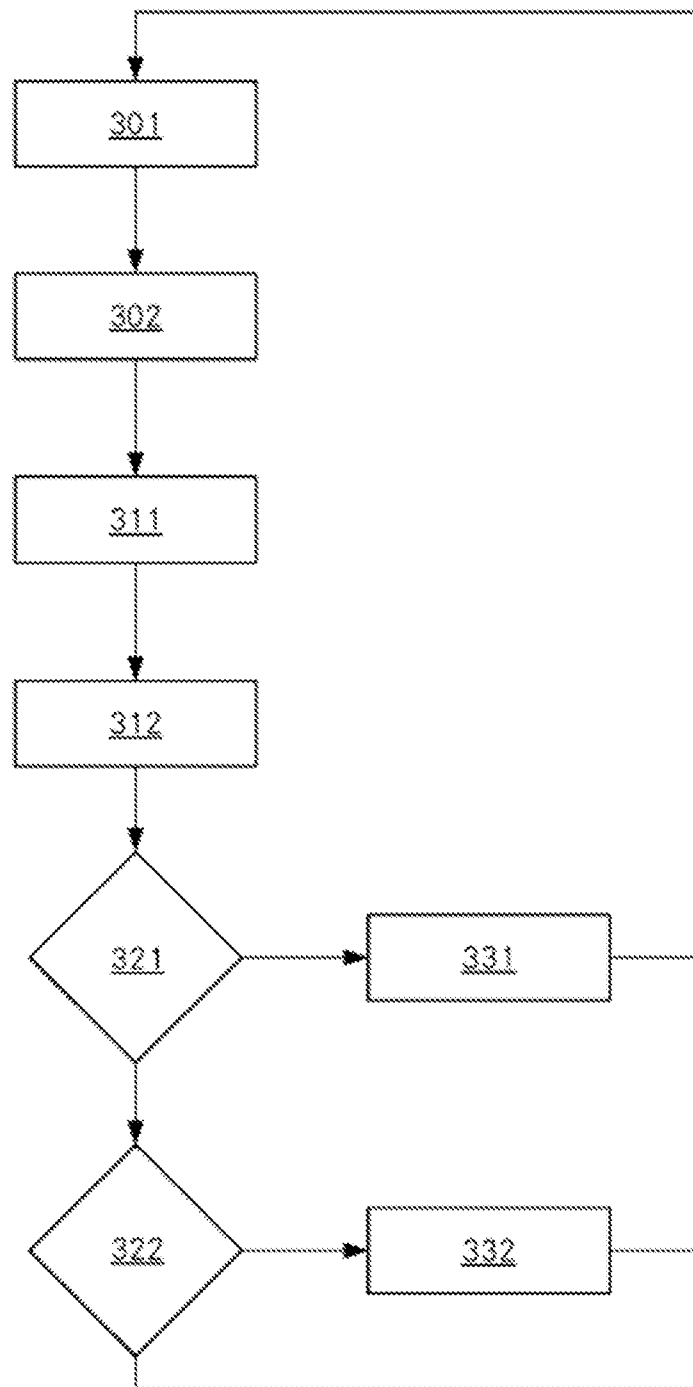


Fig. 3