

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 656 326**

51 Int. Cl.:

G08G 5/04 (2006.01)

G05D 1/10 (2006.01)

G01C 23/00 (2006.01)

G08G 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2012 E 12178454 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.10.2017 EP 2555179**

54 Título: **Sistema de separación de aeronaves de tráfico**

30 Prioridad:

02.08.2011 US 201113196678

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

26.02.2018

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

BUSHNELL, GLENN SCOTT

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 656 326 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de separación de aeronaves de tráfico

Información de antecedentes

1. Campo:

5 La presente divulgación se relaciona en general a la aeronave y, en particular, a la gestión del movimiento de la aeronave. Aún más particularmente, la presente divulgación se relaciona con a un método y aparato para mantener un nivel deseado de separación entre aeronaves.

2. Antecedentes:

10 El control del tráfico aéreo (ATC) es un servicio utilizado para dirigir aeronaves en tierra y en el aire. Este servicio se puede usar para controlar aeronaves, como, por ejemplo, vehículos aéreos no tripulados (UAV), helicópteros y/u otros tipos de aeronaves adecuadas. En la actualidad, el control del tráfico aéreo lo proporcionan los sistemas de control del tráfico aéreo terrestre y los controladores de tráfico aéreo humanos. Típicamente, estos sistemas de control de tráfico aéreo terrestre y controladores de tráfico aéreo humanos proporcionan información a los pilotos y/u otros operadores de aeronaves que puede usarse para acelerar el flujo de tráfico aéreo en tierra y en el aire. Además, los pilotos y/u otros operadores de la aeronave pueden usar esta información así como su propia conciencia situacional para mantener la separación entre la aeronave en tierra y en el aire.

15 Diversas reglas y regulaciones pueden gobernar un nivel deseado de separación entre una aeronave y otra aeronave. En algunos casos, esta separación puede definirse como una distancia mínima de la aeronave en cualquier número de direcciones. Por ejemplo, esta separación se puede definir como una distancia mínima a partir de la aeronave con respecto a las direcciones lateral, vertical y/o longitudinal.

20 El control del tráfico aéreo puede ser laborioso y costoso. Por ejemplo, los sistemas de control de tráfico aéreo pueden requerir más recursos de procesamiento, personal y/u otros recursos que los deseados. Además, aunque un sistema de control de tráfico aéreo puede proporcionar instrucciones a una aeronave para mantener un nivel deseado de separación de otras aeronaves, el piloto de la aeronave sigue siendo responsable de operar la aeronave para mantener realmente este nivel de separación.

25 Además, factores tales como, por ejemplo, condiciones climáticas, condiciones de visibilidad, conciencia situacional reducida, fatiga, estrés, nivel de experiencia y/u otros factores adecuados pueden afectar la capacidad del piloto de la aeronave para tomar decisiones y realizar maniobras de aeronaves para mantener el nivel deseado de separación entre la aeronave y otras aeronaves. Estos mismos factores también pueden afectar la capacidad de los controladores de tráfico aéreo humanos para proporcionar la información más precisa y/o instrucciones para el piloto de la aeronave.

30 Por lo tanto, sería ventajoso tener un método y aparato que tenga en cuenta al menos algunos de los problemas discutidos anteriormente, así como posiblemente otros problemas.

35 El documento de los Estados Unidos 2009/0088972 describe sistemas y métodos para proporcionar evasión de colisiones centrada en el vehículo. En una disposición, un método incluye determinar una primera trayectoria de vuelo para una primera aeronave. El método también incluye determinar una segunda trayectoria de vuelo para una segunda aeronave. Se predice una distancia entre la primera aeronave y la segunda aeronave en un primer punto de acercamiento (CPA). El punto de aproximación más cercano predicho se compara luego con una capa perimetral de separación. La capa perimetral de separación está configurada para proporcionar una distancia de separación mínima a partir de la primera aeronave hasta la segunda aeronave. Cuando el punto de aproximación más cercano predicho infringe el perímetro de separación, la primera trayectoria de vuelo se altera para impedir colisiones.

40 Resúmen

45 En una realización ventajosa, se proporciona un método para gestionar la separación entre vehículos. Se predice un punto de aproximación más cercano entre un primer vehículo que se desplaza a lo largo de una primera trayectoria y un segundo vehículo que se desplaza a lo largo de una segunda trayectoria. Se generan diversos comandos de compensación para alterar la primera trayectoria del primer vehículo usando el punto de aproximación más cercano y un nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo. El número de comandos de compensación se integra con una serie de comandos de control para que el primer vehículo forme un número final de comandos de control configurados para maniobrar el primer vehículo para mantener sustancialmente el nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo. Una respuesta del primer vehículo al número final de comandos de control es una respuesta deseada, que se caracteriza porque el número de comandos de compensación es generado por un módulo de gestión de separación usando una serie de parámetros seleccionados de manera que la respuesta de un primer vehículo al número final de comandos de control es la respuesta deseada, en donde la respuesta deseada comprende al menos una de una calidad de recorrido deseada, un nivel deseado de comodidad del pasajero, un rango de aceleración deseado, un tiempo de respuesta deseado y una velocidad de giro deseada.

En otra realización ventajosa, un sistema comprende un módulo de gestión de separación. El módulo de gestión de separación está configurado para predecir un punto de aproximación más cercano entre un primer vehículo que se desplaza a lo largo de una primera trayectoria y un segundo vehículo que se desplaza a lo largo de una segunda trayectoria usando la primera trayectoria y la segunda trayectoria. El módulo de gestión de separación está configurado además para generar un número de comandos de compensación para alterar la primera trayectoria del primer vehículo utilizando el punto de aproximación más cercano y un nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo. El módulo de gestión de separación está configurado, además, para integrar el número de comandos de compensación con un número de comandos de control para el primer vehículo para formar un número final de comandos de control configurados para maniobrar el primer vehículo para mantener sustancialmente el nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo. Una respuesta del primer vehículo al número final de comandos de control es una respuesta deseada, caracterizada porque el módulo de gestión de la separación genera el número de comandos de compensación utilizando un número de parámetros seleccionados de manera que la respuesta de un primer vehículo al final número de comandos de control es la respuesta deseada, donde la respuesta deseada comprende al menos una de una calidad de recorrido deseada, un nivel deseado de comodidad del pasajero, un rango de aceleración deseado, un tiempo de respuesta deseado y una velocidad de giro deseada.

Las características, funciones y ventajas se pueden lograr independientemente en diversas realizaciones de la presente divulgación o se pueden combinar en aún otras realizaciones adicionales en las que se pueden ver detalles adicionales con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

Breve descripción de los dibujos

Las nuevas características consideradas características de las formas de realización ventajosas se exponen en las reivindicaciones adjuntas. Sin embargo, las realizaciones ventajosas, así como un modo de uso preferido, objetivos adicionales y ventajas de la misma, se entenderán mejor por referencia a la siguiente descripción detallada de una realización ventajosa de la presente divulgación cuando se lee en conjunto con los dibujos adjuntos, en donde:

La Figura 1 es una ilustración de un entorno de gestión de vehículos en forma de un diagrama de bloques de acuerdo con una realización ventajosa.

La Figura 2 es una ilustración de los límites para los niveles de separación deseados de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 3 es una ilustración de un entorno de gestión de tráfico aéreo de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 4 es una ilustración de otro entorno de gestión de tráfico aéreo de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 5 es una ilustración de un diagrama de bloques de un sistema de aviónica que proporciona prevención de colisión de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 6 es una ilustración de un diagrama de bloques de un sistema de evasión de colisiones de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 7 es una ilustración de ecuaciones para predecir un punto de aproximación más cercano entre dos aeronaves de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 8 es una ilustración de un sistema de evasión céntrico del vehículo de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 9 es una ilustración de un módulo de prevención de colisión de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 10 es una ilustración de un generador de trayectoria dinámica de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 11 es una ilustración de un sistema para proporcionar prevención de colisión a una aeronave de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 12 es una ilustración de un componente de compensación de separación de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 13 es una ilustración de un encuentro entre dos aeronaves de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 14 es una ilustración de otro encuentro entre dos aeronaves de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 15 es una ilustración de un encuentro entre dos aeronaves de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 16 es una ilustración de un encuentro entre dos aeronaves de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 17 es una ilustración de dos aeronaves que vuelan en el espacio aéreo de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 18 es una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para gestionar vehículos de acuerdo con una realización ventajosa;

La Figura 19 es una ilustración de un sistema de procesamiento de datos de acuerdo con una realización ventajosa; y

5 La Figura 20 es una ilustración de una vista en alzado lateral de una aeronave de acuerdo con una realización ventajosa.

Descripción detallada

10 Las diferentes formas de realización ventajosas reconocen y tienen en cuenta una o más consideraciones diferentes. Por ejemplo, las diferentes formas de realización ventajosas reconocen y tienen en cuenta que los sistemas de evasión actualmente en uso en las aeronaves proporcionan un respaldo de las observaciones y direcciones que se proporcionan por un sistema de control de tráfico aéreo.

15 Las diferentes formas de realización ventajosas reconocen y tienen en cuenta que los sistemas de evasión actualmente disponibles pueden proporcionar advertencias a la aeronave cuando dos o más aeronaves vuelan demasiado cerca entre sí. Además, estos sistemas de evasión también pueden proporcionar una o más de las aeronaves con una maniobra sugerida que puede reducir el riesgo de colisión. Sin embargo, las diferentes formas de realización ventajosas reconocen y tienen en cuenta que puede ser deseable tener un sistema de evasión en una aeronave que pueda controlar la aeronave para reducir el riesgo de colisión entre la aeronave y otra aeronave.

20 Además, las diferentes formas de realización ventajosas reconocen y tienen en cuenta que puede ser deseable tener un sistema de evasión que pueda controlar la aeronave para reducir el riesgo de colisión sin requerir la entrada de un operador de la aeronave. Por ejemplo, las diferentes formas de realización ventajosas reconocen y tienen en cuenta que puede ser deseable tener un sistema de evasión que sea capaz de alterar la trayectoria de vuelo de la aeronave y/o hacer que la aeronave realice maniobras para reducir el riesgo de colisión entre las aeronaves y otras aeronaves sin requerir la intervención del operador. Con este tipo de sistema de evasión, las diferentes formas de realización ventajosas reconocen y tienen en cuenta que puede reducirse la posibilidad de error humano y/o el riesgo de que un operador realice una maniobra que incremente el riesgo de colisión.

25 Además, las diferentes realizaciones ventajosas reconocen y tienen en cuenta que usar un sistema de evasión en una aeronave que puede controlar la aeronave para reducir el riesgo de colisión sin requerir la intervención del operador puede reducir la carga de trabajo del controlador de tráfico aéreo humano y los sistemas de control del tráfico aéreo. Como resultado, estos controladores de tráfico aéreo humanos y los sistemas de control de tráfico aéreo pueden ser capaces de gestionar los vuelos de un mayor número de aeronaves.

30 Además, las diferentes realizaciones ventajosas reconocen y tienen en cuenta que un sistema de evasión que puede controlar una aeronave para reducir el riesgo de colisión entre la aeronave y otra aeronave sin requerir la intervención del operador puede usarse en vehículos aéreos no tripulados (UAVs). Como resultado, se pueden necesitar menos recursos de procesamiento y/o personal para monitorizar el vuelo de vehículos aéreos no tripulados que realizan operaciones comerciales y/o militares.

35 Por lo tanto, las diferentes realizaciones ventajosas proporcionan un método y aparato para gestionar la separación entre vehículos. En una realización ventajosa, se proporciona un método para gestionar la separación entre vehículos. Se predice un punto de aproximación más cercano entre un primer vehículo que se desplaza a lo largo de una primera trayectoria y un segundo vehículo que se desplaza a lo largo de una segunda trayectoria. Se generan diversos comandos de compensación para alterar la primera trayectoria del primer vehículo usando el punto de aproximación más cercano y un nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo. El número de comandos de compensación se integra con un número de comandos de control para que el primer vehículo forme un número final de comandos de control configurados para maniobrar el primer vehículo para mantener sustancialmente el nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo. Una respuesta del primer vehículo al número final de comandos de control es una respuesta deseada.

40 Con referencia ahora a las figuras, y en particular a la Figura 1, se representa una ilustración de un entorno de gestión del vehículo en forma de un diagrama de bloques de acuerdo con una realización ventajosa. En estos ejemplos ilustrativos, el entorno 100 de gestión del vehículo incluye una diversidad de vehículos 102. Un vehículo en una diversidad de vehículos 102 puede seleccionarse entre uno de una aeronave, un vehículo aéreo no tripulado, un helicóptero, un submarino, un barco de superficie, un misil, un nave espacial, un vehículo terrestre o algún otro tipo de vehículo adecuado.

45 Como un ejemplo ilustrativo, un primer vehículo en una diversidad de vehículos 102 puede ser la primera aeronave 104 y un segundo vehículo en una diversidad de vehículos 102 puede ser una segunda aeronave 105. La separación 106 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 a la vez que al menos uno de estos vehículos que están en funcionamiento se pueden gestionar utilizando el módulo 112 de gestión de separación. El módulo 112 de gestión de separación puede implementarse usando hardware, software o una combinación de ambos.

- 5 En estos ejemplos ilustrativos, el módulo 112 de gestión de separación puede implementarse en el sistema 108 informático. El sistema 108 informático toma la forma del número de ordenadores 110 en estos ejemplos. Como se usa aquí, un número de elementos significa uno o más elementos. Por ejemplo, una cantidad de ordenadores significa uno o más ordenadores. Dependiendo de la implementación, el número de ordenadores 110 puede ubicarse en al menos una de la primera aeronave 104, segunda aeronave 105, otro vehículo en una diversidad de vehículos 102, una estación terrestre, una estación de control de tráfico aéreo, o alguna otra ubicación adecuada.
- 10 Tal como se usa aquí, la frase "al menos uno de", cuando se utiliza con una lista de elementos, significa que se pueden usar diferentes combinaciones de uno o más de los elementos enumerados y que solo se necesita uno de cada elemento de la lista. Por ejemplo, "al menos uno del elemento A, elemento B y elemento C" puede incluir, por ejemplo, sin limitación, el elemento A, o el elemento A y el elemento B. Este ejemplo también puede incluir el elemento A, el elemento B y el elemento C, o elemento B y elemento C. En otros ejemplos, "al menos uno de" puede ser, por ejemplo, sin limitación, dos del elemento A, uno del elemento B y diez del elemento C; cuatro del elemento B y siete del elemento C; y otras combinaciones adecuadas.
- 15 En estos ejemplos representados, el sistema 108 informático con módulo 112 de gestión de separación está situado en la primera aeronave 104. En particular, el módulo 112 de gestión de separación está configurado para proporcionar separación 106 entre la primera aeronave 104 y otros vehículos dentro de la diversidad de vehículos 102 cuando la primera aeronave 104 está en tierra y/o en el aire.
- 20 En estos ejemplos ilustrativos, la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 viajan en el espacio 114 aéreo. El módulo 112 de gestión de separación está configurado para proporcionar la separación 106 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 para reducir el riesgo 115 de colisión entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 en el espacio 114 aéreo. Además, el módulo 112 de gestión de separación puede configurarse para proporcionar la separación 106 entre la primera aeronave 104 y otros vehículos dentro de la diversidad de vehículos 102.
- 25 Como se representa, el módulo 112 de gestión de separación identifica la primera trayectoria 116 para la primera aeronave 104 y la segunda trayectoria 118 para la segunda aeronave 105. La primera trayectoria 116 puede ser una primera trayectoria de vuelo para la primera aeronave 104. La segunda trayectoria 118 puede ser una segunda trayectoria de vuelo para una segunda aeronave 105. En estos ejemplos ilustrativos, la información utilizada para identificar una trayectoria para un vehículo puede incluir al menos uno de una velocidad, una rapidez, un rumbo, una dirección de recorrido, una posición, una orientación, una actitud, una trayectoria, un curso, una tasa de viraje, una velocidad de ascenso y otra información adecuada para el vehículo. Una velocidad es una medida de una velocidad y una dirección de cambio de una posición para un vehículo. De esta manera, la velocidad incluye tanto la magnitud como la dirección para el cambio en la posición del vehículo. La magnitud de la velocidad es la rapidez del vehículo.
- 30 En estos ejemplos ilustrativos, el módulo 112 de gestión de separación puede identificar la primera trayectoria 116 para la primera aeronave 104 usando información obtenida de diversas fuentes. Estas fuentes pueden incluir, por ejemplo, al menos uno del sistema 111 de control de vuelo a bordo de la primera aeronave 104, el sistema 113 sensor a bordo de la primera aeronave 104, un sistema de control de tráfico aéreo y otras fuentes de información adecuadas.
- 35 El sistema 111 de control de vuelo puede incluir al menos uno de un sistema de piloto automático, un sistema de gestión de vuelo, un director de vuelo, un sistema de navegación y una serie de sistemas adecuados utilizados para controlar la operación de la primera aeronave 104. En un ejemplo ilustrativo, el módulo 112 de gestión de separación puede identificar la primera trayectoria 116 usando trayectorias de vuelo predeterminadas almacenadas en un sistema de navegación en el sistema 111 de control de vuelo.
- 40 Además, el sistema 113 sensor a bordo de la primera aeronave 104 comprende una serie de sensores. Estos sensores pueden incluir al menos uno de, por ejemplo, sin limitación, una unidad de sistema de posicionamiento global, una unidad de medida inercial, un sistema de cámara, un sistema de radar, un sistema de vigilancia, un medidor de alcance láser, un sistema de identificación de posición, un altímetro y otros tipos de sensores adecuados. En algunos ejemplos ilustrativos, el módulo 112 de gestión de separación puede identificar la primera trayectoria 116 de la primera aeronave 104 usando datos de sensor generados por el sistema 113 sensor.
- 45 Además, el módulo 112 de gestión de separación también puede identificar la segunda trayectoria 118 para la segunda aeronave 105 usando información obtenida de diversas fuentes diferentes. Estas fuentes pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, al menos un sistema de gestión de vuelo a bordo de la segunda aeronave 105, un sistema sensor a bordo de la segunda aeronave 105, el sistema 113 sensor a bordo de la primera aeronave 104, un sistema de control de tráfico aéreo y otras fuentes adecuadas de información.
- 50 En un ejemplo ilustrativo, la segunda trayectoria 118 para la segunda aeronave 105 puede identificarse usando trayectorias de vuelo predeterminadas para la segunda aeronave 105 recibidas a partir de la segunda aeronave 105 y/o un sistema de control de tráfico aéreo. En otro ejemplo ilustrativo, la segunda trayectoria 118 puede identificarse usando los datos de sensor generados por el sistema 113 sensor a bordo de la primera aeronave 104.
- 55 Como se representa en este ejemplo, la primera trayectoria 116 incluye la primera velocidad 122 para la primera aeronave 104. La segunda trayectoria 118 incluye la segunda velocidad 124 para la segunda aeronave 105. En

algunos ejemplos ilustrativos, el módulo 112 de gestión de separación también puede configurarse para identificar la velocidad 119 relativa. La velocidad 119 relativa puede ser la velocidad de la segunda aeronave 105 con respecto a la primera aeronave 104 o la velocidad de la primera aeronave 104 con respecto a la segunda aeronave 105, dependiendo de la implementación.

- 5 El módulo 112 de gestión de separación predice el punto 121 de aproximación más cercano (CPA) entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 usando la primera trayectoria 116 para la primera aeronave 104 y la segunda trayectoria 118 para la segunda aeronave 105. En estos ejemplos ilustrativos, el punto más cercano de aproximación 121 entre la primera aeronave 104 viajando sobre la primera trayectoria 116 y la segunda aeronave 105 viajando sobre la segunda trayectoria 118 se predice que ocurrirá cuando la distancia 123 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 tenga un valor mínimo si la primera aeronave 104 continúa viajando a lo largo de la primera trayectoria 116 y la segunda aeronave 105 continúa viajando a lo largo de la segunda trayectoria 118.

10 En otras palabras, al predecir el punto 121 de aproximación más cercano, el módulo 112 de gestión de separación predice la distancia 123 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 que se espera que sea menor si la primera aeronave 104 continúa viajando a lo largo de la primera trayectoria 116 y la segunda aeronave 105 continúa viajando a lo largo de la segunda trayectoria 118. La distancia 123 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 pronosticada en el punto más cercano de aproximación 121 también puede denominarse distancia de error.

15 Además, al predecir el punto 121 de aproximación más cercano, el módulo 112 de gestión de separación también predice la dirección 127 de la segunda aeronave 105 con respecto a la primera aeronave 104. La dirección 127 es la dirección de la segunda aeronave 105 con respecto a la primera aeronave 104 cuando la distancia 123 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 se predice que tiene el valor mínimo.

20 En estos ejemplos ilustrativos, la distancia 123 y la dirección 127 en el punto más cercano de aproximación 121 definen un rango entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 en el punto más cercano de aproximación 121. Este rango es el rango más pequeño que se prevé que ocurra entre estas dos aeronaves a la vez que las dos aeronaves viajan a lo largo de sus respectivas trayectoria. Además, este rango se puede representar como un vector que tiene una magnitud que es la distancia 123 en el punto más cercano de la aproximación 121 y una dirección que es la dirección 127 en el punto más cercano de la aproximación 121. De esta manera, el punto más cercano de la aproximación 121 puede representarse como un vector

25 Además, el módulo 112 de gestión de separación también predice el tiempo 120 al punto más cercano de aproximación 121 usando la primera trayectoria 116 para la primera aeronave 104 y la segunda trayectoria 118 para la segunda aeronave 105. El tiempo 120 al punto más cercano de la aproximación 121 es el período de tiempo a partir de un momento real a un momento en la que se produce el punto más cercano de aproximación 121. En otras palabras, el tiempo 120 es el período de tiempo a partir del momento real hasta un momento en el que la distancia 123 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 tiene el valor mínimo. En estos ejemplos ilustrativos, el tiempo 120 hasta el punto más cercano de aproximación 121 también puede denominarse como un momento para ir al punto más cercano de aproximación 121.

30 En algunos ejemplos ilustrativos, la distancia 123 en el punto más cercano de aproximación 121 puede predecirse usando el tiempo 120 hasta el punto más cercano de aproximación 121 que se ha predicho. En otros ejemplos ilustrativos, el tiempo 120 al punto más cercano de aproximación puede predecirse usando la distancia 123 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 que se ha predicho.

35 En estos ejemplos ilustrativos, el rango 125 real también se usa para predecir el punto de aproximación 121 más cercano entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105. El rango 125 real incluye la distancia 126 real entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 y la dirección 129 real de la segunda aeronave 105 con respecto a la primera aeronave 104.

40 En un ejemplo ilustrativo, el rango 125 real puede identificarse usando una posición real de la primera aeronave 104 y una posición real de la segunda aeronave 105. En algunos ejemplos ilustrativos, el rango 125 real puede identificarse sin requerir una identificación de las posiciones de la segunda aeronave 105 y la primera aeronave 104. Por ejemplo, el rango 125 real puede identificarse usando un sistema de radar, un medidor de rango de láser y/o algunos otros tipos adecuados de sistema de identificación de rango.

45 El nivel deseado de separación 128 puede estar actualmente presente entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 con base en el rango 125 real entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105. Sin embargo, cuando la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 viajan a lo largo de la primera trayectoria 116 y la segunda trayectoria 118, respectivamente, el nivel deseado de separación 128 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 puede perderse. Esta pérdida del nivel deseado de separación 128 se puede denominar como una pérdida de separación entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105.

50 En estos ejemplos que se representan, el módulo 112 de gestión de separación determina si se predice que la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 tienen un nivel deseado de separación 128 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 106 en el punto más próximo de aproximación 121. En es decir, el módulo 112 de gestión de

separación determina si la distancia 123 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 pronosticada en el punto más cercano de aproximación 121 proporciona el nivel deseado de separación 128.

5 El nivel deseado de separación 128 se selecciona para reducir y/o eliminar el riesgo de colisión 115 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105. En otras palabras, el nivel deseado de separación 128 se puede seleccionar de manera que la posibilidad de colisión entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 pueda reducirse y/o impedirse. Una determinación de que la distancia 123 predicha en el punto más cercano de aproximación 121 no proporciona el nivel deseado de separación 128 indica que en algún momento durante los vuelos de la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105, puede producirse una pérdida de separación. El módulo 112 de gestión de separación puede controlar la primera aeronave 104 de manera que se mantenga el nivel deseado de separación 128 y se evite la pérdida de separación.

10 Por ejemplo, el módulo 112 de gestión de separación puede configurarse para generar el número de comandos 130 de compensación para la primera aeronave 104. En estos ejemplos ilustrativos, el número de comandos 130 de compensación también puede denominarse un número de comandos de evasión.

15 El número de comandos 130 de compensación puede configurarse para provocar que la primera aeronave 104 altere la primera trayectoria 116. Por ejemplo, el número de comandos 130 de compensación puede configurarse para alterar la primera trayectoria 116 para la primera aeronave 104 para aumentar la distancia 123 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 predicha en el punto más cercano de aproximación 121. Incrementando la distancia 123 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 predicha en el punto más cercano de aproximación 121 puede proporcionar el nivel deseado de separación 128 en el punto más cercano de aproximación 121.

20 Por ejemplo, el número de comandos 130 de compensación puede provocar que la primera aeronave 104 realice un conjunto de maniobras 132 para mantener el nivel deseado de separación 128 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105. Como se usa aquí, un conjunto de elementos significa cero o más elementos. Por ejemplo, un conjunto de maniobras significa cero, una o más maniobras. Además, un conjunto puede ser un conjunto vacío o nulo.

25 Una maniobra en el conjunto de maniobras 132 se puede seleccionar de al menos una de una maniobra de giro, una maniobra de ascenso, una maniobra de descenso, una maniobra de banqueo, una maniobra de aceleración, una maniobra de desaceleración y otros tipos de maniobras adecuados. En estos ejemplos ilustrativos, el conjunto de maniobras 132 puede ser un conjunto vacío cuando el nivel deseado de separación 128 está presente con base en el punto de aproximación 121 más cercano predicho entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105.

30 En estos ejemplos ilustrativos, el número de comandos 130 de compensación está integrado con el número de comandos 133 de control generados por el sistema 111 de control de vuelo para controlar el funcionamiento de la primera aeronave 104. El número de comandos 133 de control incluye los comandos que controlan el vuelo de la primera aeronave 104 en el espacio 114 aéreo.

35 Por ejemplo, el número de comandos 133 de control puede incluir al menos uno de un comando de aceleración de ascenso, un comando de velocidad de giro, un comando de velocidad de ascenso, un comando de altitud, un comando de cabeceo, un comando de giro, un comando de balanceo, un comando de aceleración, un comando de desaceleración, un comando de aceleración lateral y otros comandos adecuados. De esta manera, el número de comandos 133 de control está configurado para maniobrar la primera aeronave 104 en el espacio 114 aéreo.

40 El número de comandos 130 de compensación puede integrarse con el número de comandos 133 de control para ajustar el número de comandos 133 de control de manera que la primera aeronave 104 realice un conjunto de maniobras 132. Por ejemplo, el módulo 112 de gestión de separación puede generar un número de comandos 130 de compensación que puede estar integrado con el número de comandos 133 de control para alterar la primera trayectoria 116 para la primera aeronave 104 a la nueva trayectoria 131. La nueva trayectoria 131 también se puede denominar trayectoria de vuelo alterada. La nueva trayectoria 131 puede incluir al menos uno de una nueva velocidad, una nueva rapidez, un nuevo rumbo, y una nueva dirección de recorrido para la primera aeronave 104.

45 En estos ejemplos ilustrativos, la integración del número de comandos 130 de compensación con el número de comandos 133 de control puede formar el número final de comandos 143 de control que se usan para maniobrar el primer vehículo 105 para mantener sustancialmente el nivel deseado de separación 128 entre la primera aeronave 104 y segunda aeronave 105. En particular, esta integración puede realizarse de una manera tal que una respuesta de la primera aeronave 104 al número final de comandos 143 de control es la respuesta 145 deseada. Más específicamente, el número final de comandos 143 de control está configurado para producir la respuesta 145 deseada por la primera aeronave 104.

50 En otras palabras, el número de comandos 130 de compensación está integrado con el número de comandos 133 de control de manera que la primera aeronave 104 realice el conjunto de maniobras 132 de la manera deseada. De esta manera, la respuesta 145 deseada también se puede denominar como una respuesta de maniobra deseada para la primera aeronave 104.

- La respuesta 145 deseada puede comprender al menos uno de, por ejemplo, sin limitación, una calidad de recorrido deseada para el vuelo de la primera aeronave 104, un nivel deseado de comodidad del pasajero durante el vuelo, un rango deseado de aceleración, un tiempo de respuesta deseado, una velocidad de giro deseada, y otros factores adecuados en la respuesta de la primera aeronave 104. El tiempo de respuesta deseado puede ser, por ejemplo, qué tan rápido se desea que la primera aeronave 104 responda al número final de comandos 143 de control. En algunos casos, el tiempo de respuesta deseado puede ser qué tan rápido se desee la primera aeronave 104 para iniciar el conjunto de maniobras 132 una vez que se haya emitido el número final de comandos 143 de control.
- Además, en algunos casos, la respuesta 145 deseada de la aeronave también puede incluir un tiempo deseado dentro del cual la trayectoria 116 de vuelo de la aeronave 104 vuelo debe alterarse de manera que la nueva separación prevista entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 en un nuevo punto de aproximación más cercano predicho, proporciona el nivel deseado de separación 128. En otros casos, la respuesta 145 deseada puede incluir un tiempo deseado después del cual se debe readquirir la primera trayectoria 116 después de haber proporcionado el nivel deseado de separación 128 en el punto de aproximación más cercano predicho.
- En estos ejemplos ilustrativos, el módulo 112 de gestión de separación está configurado para monitorizar la separación 106 entre la primera aeronave 104 y otros vehículos en una diversidad de vehículos 102 de manera continua. En otros ejemplos ilustrativos, la separación 106 puede monitorizarse periódicamente. Por ejemplo, el módulo 112 de gestión de separación puede configurarse para monitorizar la separación 106 entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 cada décima de segundo, cada segundo, cada diversos segundos, o con base en algún otro período de tiempo adecuado.
- En un ejemplo ilustrativo, el módulo 112 de gestión de separación puede realizar las operaciones de identificación de la segunda trayectoria 118 para la segunda aeronave 105, predecir el punto más cercano de aproximación 121 y determinar si el nivel deseado de separación 128 está presente en el punto más cercano de aproximación 121 cada décima de segundo. En otros ejemplos ilustrativos, estas operaciones pueden iniciarse, deshabilitarse y/o influenciarse por un operador humano para la primera aeronave 104.
- Como se representa, el nivel deseado de separación 128 se puede seleccionar entre uno de los niveles de separación 136 requeridos, el nivel seguro de separación 138, y el nivel impuesto de separación 140. El nivel requerido de separación 136 puede basarse en requisitos y/o regulaciones proporcionados, por ejemplo, sin limitación, por un sistema de control de tráfico aéreo.
- Además, el nivel requerido de separación 136 puede basarse en factores además de, y/o en lugar de, los requisitos y/o regulaciones proporcionados por el sistema de control de tráfico aéreo. Estos factores pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, tipo de aeronave y/o clase de aeronave, parámetros de operación, tamaño, una fase de vuelo actual, fases de vuelo planificadas, altitud y/u otros factores adecuados que se relacionan con la primera aeronave 104 y/o la segunda aeronave 105.
- En estos ejemplos ilustrativos, los parámetros usados para definir el nivel requerido de separación 136 pueden permanecer sustancialmente constantes para un vuelo de la primera aeronave 104. En otros ejemplos ilustrativos, los parámetros usados para definir el nivel requerido de separación 136 pueden cambiar durante el vuelo de la primera aeronave 104. Por ejemplo, el nivel requerido de separación 136 puede cambiar durante el vuelo de la primera aeronave 104 en respuesta a cambios en las condiciones climáticas, condiciones de visibilidad, cambios en las condiciones ambientales, un cambio en una misión para la primera aeronave 104, diferentes porciones del espacio 114 aéreo, y/u otros tipos de eventos.
- El nivel seguro de separación 138 es un nivel más elevado de separación que el nivel requerido de separación 136. El nivel seguro de separación 138 incluye el nivel requerido de separación 136 y una cantidad adicional de separación. Esta cantidad adicional de separación puede tomar en cuenta cualquier incertidumbre o error con respecto a la predicción del punto de aproximación 121 más cercano. En particular, el nivel seguro de separación 138 tiene en cuenta cualquier incertidumbre que pueda estar presente en la predicción de la distancia 123 en el punto más cercano punto de aproximación 121.
- Además, el nivel impuesto de separación 140 es un nivel más alto de separación que el nivel seguro de separación 138. El nivel de separación 140 impuesto incluye un nivel seguro de separación 138 y una cantidad adicional de separación. Esta cantidad adicional de separación puede tener en cuenta cualquier error predecible en la respuesta de la primera aeronave 104 a una alteración en la primera trayectoria 116 iniciada por el módulo 112 de gestión de separación.
- La ilustración del entorno 100 de gestión del vehículo en la Figura 1 no implica limitaciones físicas o arquitectónicas a la forma en la que puede implementarse una realización ventajosa. Se pueden usar otros componentes además y/o en lugar de los que se ilustran. Algunos componentes pueden ser innecesarios. Además, los bloques se presentan para ilustrar algunos componentes funcionales. Uno o más de estos bloques pueden combinarse y/o dividirse en diferentes bloques cuando se implementan en una realización ventajosa.
- Por ejemplo, en otros ejemplos ilustrativos, el módulo 112 de gestión de separación puede configurarse para gestionar la separación 106 entre la primera aeronave 104 y vehículos adicionales además de, y/o en lugar de, la segunda

aeronave 105 en una diversidad de vehículos 102. Además, en algunos ejemplos ilustrativos, la primera aeronave 104 puede estar estacionaria o moverse en el suelo, a la vez que la segunda aeronave 105 está volando en el espacio 114 aéreo.

5 En aún otros ejemplos ilustrativos, el nivel deseado de separación 128 se puede definir con respecto a la segunda aeronave 105 en lugar de la primera aeronave 104. Por ejemplo, el nivel deseado de separación 128 se puede definir como una distancia a partir de la segunda aeronave 105 que la primera aeronave 104 debe mantener durante el recorrido en el espacio 114 aéreo. Además, en otros ejemplos ilustrativos, el tiempo 120 puede ser un tiempo real en el cual el punto más cercano de aproximación 121 puede ocurrir en lugar del período de tiempo hasta que el punto más cercano de aproximación 121 ocurre con respecto al momento actual.

10 Con referencia ahora a la Figura 2, se representa una ilustración de los límites para los niveles de separación deseados de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, los límites 200 definen diferentes niveles de separación que pueden desearse entre la primera aeronave 202 y otras aeronaves que viajan en el espacio 203 aéreo.

15 La primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204 son ejemplos de implementaciones para la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105, respectivamente, en la Figura 1. En este ejemplo ilustrativo, el módulo 112 de gestión de separación de la Figura 1 puede configurarse para gestionar la separación entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204, a la vez que la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204 están viajando en el espacio 203 aéreo.

20 Como se representa, los límites 200 para la primera aeronave 202 se definen con respecto a la segunda aeronave 204. Por ejemplo, los límites 200 incluyen el límite 206, el límite 208 y el límite 210. Estos límites definen la porción del espacio 203 aéreo con respecto a la segunda aeronave 204 en el que tanto la primera aeronave 202 como la segunda aeronave 204 no deberían estar presentes simultáneamente.

25 Por ejemplo, el límite 206 proporciona un nivel requerido de separación entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204. Este nivel de separación es un ejemplo del nivel requerido de separación 136 en la Figura 1. El límite 206 está a una distancia 207 de la segunda aeronave 204. La distancia 207 es una distancia requerida, $m_{requerida}$ para la separación entre la segunda aeronave 204 y la primera aeronave 202. En otras palabras, la distancia 207 es la distancia mínima a partir de la segunda aeronave 204 que debe mantenerse por la primera aeronave 202 para proporcionar el nivel requerido de separación entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204.

30 En estos ejemplos ilustrativos, la distancia 207 puede seleccionarse, por ejemplo, por un piloto de la primera aeronave 202, un sistema de control de tráfico aéreo, la línea aérea a la que pertenece la primera aeronave 202, o alguna otra autoridad adecuada. La distancia 207 puede seleccionarse con base en factores tales como, por ejemplo, normas de seguridad, un tamaño de la primera aeronave 202, parámetros de funcionamiento para la primera aeronave 202, capacidades de maniobra de la primera aeronave 202, un tipo de misión realizada por la primera aeronave 202, y/u otros factores adecuados.

35 El límite 208 proporciona un nivel seguro de separación entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204. Este nivel de separación es un ejemplo de nivel seguro de separación 138 en la Figura 1. El límite 208 está a una distancia 209 de la segunda aeronave 204. La distancia 209 es una distancia segura, m_{segura} , para la separación entre la segunda aeronave 204 y la primera aeronave 202. En otras palabras, la distancia 209 es la distancia a partir de la segunda aeronave 204 que debe mantener la primera aeronave 202 para proporcionar el nivel seguro de separación entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204.

40 En estos ejemplos ilustrativos, la distancia 209 puede calcularse mediante el módulo 112 de gestión de separación de la Figura 1 usando la distancia 207. Por ejemplo, la distancia 209 puede calcularse como la suma de la distancia requerida y el producto de una incertidumbre y una ganancia estimadas. En otras palabras, la distancia 209 puede calcularse usando la siguiente ecuación:

$$m_{segura} = m_{requerida} + k_m \sigma_m \quad (1)$$

45 donde k_m es la ganancia, y σ_m es la incertidumbre estimada.

50 La incertidumbre estimada es una estimación de la incertidumbre en la predicción del punto de aproximación más cercano entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204. En particular, la incertidumbre estimada es una estimación de la incertidumbre en la distancia 220 prevista entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204 en el punto de aproximación más cercano predicho entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204. La distancia 220 también se denomina distancia de error, m , en el punto más cercano de aproximación entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204.

55 En estos ejemplos ilustrativos, la incertidumbre puede basarse en las desviaciones que ocurren durante los vuelos de la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204. Estas desviaciones pueden incluir, por ejemplo, desviaciones en el rango entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204, el rumbo de la primera aeronave 202 y/o la segunda aeronave 204, la velocidad relativa de la segunda aeronave 204 con respecto a la primera aeronave 202, y/u otros

parámetros. Estas desviaciones pueden ocurrir en respuesta a, por ejemplo, sin limitación, las condiciones climáticas, las condiciones del viento, el ruido del sensor, los errores de seguimiento y/u otros factores adecuados.

Además, esta incertidumbre puede basarse en errores estimados en la identificación de la trayectoria de vuelo para la primera aeronave 202 y la trayectoria de vuelo para la segunda aeronave 204. Estos errores pueden incluir, por ejemplo, los errores estimados para la identificación de las velocidades y posiciones de la primera aeronave 202 y/o la segunda aeronave 204.

El límite 210 proporciona un nivel impuesto de separación entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204. Este nivel de separación es un ejemplo del nivel impuesto de separación 140 en la Figura 1. En este ejemplo ilustrativo, este nivel de separación impuesto es el nivel de separación deseado entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204. Sin embargo, en otros ejemplos ilustrativos, el nivel requerido de separación y/o nivel seguro de separación se puede seleccionar como el nivel deseado de separación

El límite 210 está a la distancia 211 de la segunda aeronave 204. La distancia 211 es una distancia impuesta, $m_{impuesta}$, para la separación entre la segunda aeronave 204 y la primera aeronave 202. La distancia 211 es la distancia de seguridad, m_{segura} , dividida por una ganancia de respuesta de estado estable, C_{ss} , para el sistema utilizado para identificar el punto de aproximación más cercano. En otras palabras, la distancia 209 es:

$$m_{impuesta} = (m_{requerida} + k_m \sigma_m) / C_{ss} \quad (2)$$

En este ejemplo ilustrativo, el vector 212 de velocidad representa la velocidad de la primera aeronave 202. Además, el vector 214 de velocidad relativa representa la velocidad relativa de la primera aeronave 202 con respecto a la segunda aeronave 204 en este ejemplo ilustrativo.

Como se representa, el vector 216 de rango indica la distancia entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204 así como la dirección de la posición de la segunda aeronave 204 con respecto a la posición de la primera aeronave 202. El ángulo 218 es el ángulo formado por el vector 214 de velocidad relativa y el vector 216 de rango.

En este ejemplo ilustrativo, si la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204 continúan en sus trayectorias de vuelo respectivas a las mismas velocidades, el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano predicho entre las dos aeronaves se puede definir de la siguiente manera:

$$t_{CPA} = R \cos(\theta) / V_{relativa} \quad (3)$$

donde T_{CPA} es el tiempo hasta el punto más cercano de aproximación, R es la magnitud del vector de rango 216, θ es el ángulo 218, y $V_{relativa}$ es la magnitud del vector 214 de velocidad relativa.

Como se representa, el vector 221 representa el punto más cercano de aproximación entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204. La magnitud del vector 221 es la distancia 220. Como se describió anteriormente, la distancia 220 es la distancia de error, m , entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204. En otras palabras, la distancia 220 es la distancia de la primera aeronave 202 a partir de la segunda aeronave 204 predicha en el momento hasta el punto de aproximación más cercano.

Cuando la distancia 220 es menor que la distancia 211, no se prevé que el nivel de separación deseado se produzca en el punto de aproximación más cercano. La distancia necesaria para obtener el nivel de separación deseado en el punto de aproximación más cercano se puede calcular como la distancia de error restada de la distancia impuesta. Esta distancia también puede denominarse distancia de recuperación. En particular, la distancia de recuperación es la distancia adicional a partir de la segunda aeronave 204 necesaria para recuperar el nivel deseado de separación. La distancia de recuperación puede ser dada por la siguiente ecuación:

$$d_{recuperación} = (m_{impuesta} - m) \quad (4)$$

En estos ejemplos ilustrativos, pueden generarse comandos que ocasionen que la primera aeronave 202 altere su trayectoria de vuelo de manera que se mantenga el nivel deseado de separación entre la primera aeronave 202 y la segunda aeronave 204. La primera aeronave 202 puede alterar su trayectoria de vuelo cambiando el rumbo, ascendiendo, descendiendo, girando, desacelerando, acelerando o realizando alguna otra operación adecuada.

Con referencia ahora a la Figura 3, se representa una ilustración de un entorno de gestión del tráfico aéreo de acuerdo con una realización ventajosa. El entorno 300 de gestión de tráfico aéreo es un ejemplo de una implementación para el entorno 100 de gestión de vehículos en la Figura 1.

Como se ilustra, la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 están viajando en el espacio 305 aéreo en el entorno 300 de gestión del tráfico aéreo. La primera aeronave 302 puede ser un ejemplo de una implementación para la primera aeronave 104 en la Figura 1. La segunda aeronave 304 puede ser un ejemplo de una implementación para la segunda aeronave 105 en la Figura 1.

La primera aeronave 302 puede estar equipada con un sistema de evasión de colisiones, denominado sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo. Un sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo es un sistema

configurado para el vehículo específico en el que se encuentra el sistema. El sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo en la primera aeronave 302 puede incluir un módulo de gestión de separación, tal como el módulo 112 de gestión de separación en la Figura 1, configurado para reducir el riesgo de colisión entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304. Por ejemplo, el sistema de evasión de colisiones céntrico de la primera aeronave 302 puede configurarse para hacer que la primera aeronave 302 realice maniobras de escape para impedir una colisión con la segunda aeronave 304 y/u otra aeronave (no mostrada) en el entorno 300 de gestión de tráfico aéreo.

Como se representa, la primera aeronave 302 se desplaza en la trayectoria 306 de vuelo en el espacio 305 aéreo, a la vez que la segunda aeronave 304 se desplaza en la trayectoria 308 de vuelo en el espacio 305 aéreo. En este ejemplo ilustrativo, la primera aeronave 302 se encuentra actualmente en la posición 307 a lo largo de la trayectoria 306 de vuelo y la segunda aeronave 304 se encuentra actualmente en la posición 309 a lo largo de la trayectoria 308 de vuelo.

El sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 302 puede configurarse para predecir el punto de aproximación 310 más próximo (CPA) entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 con respecto a la primera aeronave 302. El punto de aproximación 310 más cercano indica el rango más pequeño entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 que se predice que ocurre cuando la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 continúan en la trayectoria 306 de vuelo y la trayectoria 308 de vuelo, respectivamente.

Como se representa, se predice que el punto 310 de aproximación más cercano se produce cuando la primera aeronave 302 está en la posición 320 predicha a lo largo de la trayectoria 306 de vuelo y la segunda aeronave 304 está en la posición 322 predicha a lo largo de la trayectoria 308 de vuelo. El punto más cercano de aproximación 310 puede representarse como un vector de rango que tiene tanto magnitud como dirección con respecto a la primera aeronave 302. En estos ejemplos ilustrativos, la magnitud del vector indica la distancia entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 en el punto de aproximación 310 más cercano. En otras palabras, la magnitud es la distancia entre la posición 320 predicha para la primera aeronave 302 y la posición 322 pronosticada para la segunda aeronave 304. Como se describió anteriormente, la distancia entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 en el punto de aproximación 310 más cercano también puede denominarse distancia de error entre estas dos aeronaves en el punto de aproximación 310 más cercano.

Además, la dirección del vector para el punto de aproximación 310 más cercano indica la dirección de la posición 322 predicha para la segunda aeronave 304 en el punto de aproximación 310 más cercano con respecto a la posición 320 predicha para la primera aeronave 302.

Además, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 302 puede predecir un momento hasta el punto de aproximación 310 más cercano. En otras palabras, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 302 puede predecir cuando está previsto que ocurra el momento en el punto de aproximación 310 más cercano entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304. En algunos ejemplos ilustrativos, el tiempo hasta el punto de aproximación 310 más cercano se puede relacionar con un tiempo de decisivo previsto o duración de tiempo prevista antes de que la primera aeronave 302 alcance el punto de aproximación 310 más cercano.

En estos ejemplos ilustrativos, hacer una predicción del punto de aproximación 310 más cercano puede incluir identificar el rango real entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304. El rango real incluye la distancia real entre la primera aeronave 302 en la posición 307 y la segunda aeronave 304 en la posición 309. Además, el rango real puede incluir la dirección de la posición 309 para la segunda aeronave 304 con respecto a la posición 309 para la primera aeronave 302.

Como se ilustra, el perímetro 316 de separación puede predefinirse en el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 302. El perímetro 316 de separación puede ser un límite que define un nivel deseado de separación con respecto a la primera aeronave 302. En algunos ejemplos ilustrativos, el límite puede estar a una distancia de la primera aeronave 302 que sea sustancialmente igual en todas las direcciones. Cuando el perímetro 316 de separación es tridimensional, el perímetro 316 de separación también puede denominarse capa perimetral de separación. Por ejemplo, el perímetro 316 de separación se puede definir como una capa o superficie tridimensional alrededor de la primera aeronave 302 en la forma de una esfera.

De esta manera, el perímetro 316 de separación indica la distancia a partir de la primera aeronave 302 en cualquier número de direcciones que proporcione un nivel deseado de separación entre la primera aeronave 302 y otras aeronaves en el espacio 305 aéreo. El sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 302 está configurado para mantener este nivel de separación deseado entre la primera aeronave 302 y la otra aeronave.

De acuerdo con esto, el sistema de evasión de colisión céntrico del vehículo de la primera aeronave 302 puede generar comandos de evasión cuando el rango entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 en el punto más cercano de aproximación 310 está dentro, o "rompe", el perímetro 316 de separación predefinido. En otras palabras, se pueden generar comandos de evasión cuando la posición 322 predicha de la segunda aeronave 304 en el momento del punto de aproximación 310 más cercano, está dentro del perímetro 316 de separación para la primera aeronave

302 con respecto a la posición 320 predicha para la primera aeronave 302 en el momento de aproximación 310 más cercano.

5 En algunos ejemplos ilustrativos, los comandos de evasión solo pueden generarse cuando el tiempo hasta el punto de aproximación 310 más cercano está dentro de un límite de tiempo seleccionado. Por ejemplo, si el tiempo hasta el punto de aproximación 310 más cercano está a más de cinco minutos, el sistema de evasión de colisión céntrico del vehículo de la primera aeronave 302 puede no generar comandos de evasión hasta el tiempo al punto de aproximación 310 más cercano alcance aproximadamente un minuto.

10 Los comandos de evasión que se generan pueden configurarse para alterar la trayectoria 306 de vuelo de la primera aeronave 302. En algunos casos, los comandos de evasión que se generan también pueden alterar la velocidad de la aeronave.

15 Por ejemplo, el sistema de evasión de colisión céntrico del vehículo de la primera aeronave 302 puede generar uno o más comandos de evasión que provocan que la primera aeronave 302 modifique de forma reactiva la trayectoria 306 de vuelo de la primera aeronave 302 a la trayectoria 314 de vuelo alterada en respuesta a la posición 322 predicha para que la segunda aeronave 304 esté dentro del perímetro 316 de separación cuando la primera aeronave 302 tiene la posición 320 predicha. De esta manera, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo en la primera aeronave 302 puede garantizar automáticamente que se mantenga la separación adecuada, como se define por el perímetro 316 de separación, se mantiene entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 sustancialmente todo el tiempo.

20 Cuando la trayectoria 306 de vuelo de la primera aeronave 302 se altera para alterar la trayectoria 314 de vuelo, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo en la primera aeronave 302 predice un nuevo punto de aproximación más cercano entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 que es diferente del punto de aproximación 310 más cercano. Se prevé que el nuevo punto de aproximación más cercano se produzca cuando la primera aeronave 302 se encuentra en la posición 324 predicha a lo largo de la trayectoria 314 de vuelo alterada.

25 La porción del espacio 305 aéreo que se define dentro del perímetro 316 de separación cuando la primera aeronave 302 está en la posición 324 predicha a lo largo de la trayectoria 314 de vuelo alterada es diferente de la porción del espacio 305 aéreo definida dentro del perímetro 316 de separación cuando la primera aeronave 302 está en la posición 322 predicha a lo largo de la trayectoria 306 de vuelo. La trayectoria 314 de vuelo alterada para la primera aeronave 302 puede seleccionarse de manera que la posición predicha para la segunda aeronave 304 en el nuevo punto más cercano de aproximación esté fuera del perímetro 316 de separación para la primera aeronave 302 cuando la primera aeronave 302 está en la posición 324 predicha para el nuevo punto de aproximación más cercano.

30 El sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 302 puede monitorizar continuamente las aeronaves de tráfico en el espacio 305 aéreo, a la vez que la primera aeronave 302 está en la trayectoria 314 de vuelo alterada. En particular, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 302 puede identificar continuamente el punto de aproximación más cercano para la primera aeronave 302 cuando la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 viajan en el espacio 305 aéreo. Además, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo puede predecir continuamente si la segunda aeronave 304 estará presente en la porción del espacio 305 aéreo dentro del perímetro 316 de separación en el momento previsto para el punto más cercano de aproximación.

35 De esta manera, la primera aeronave 302 puede continuar generando comandos de evasión para causar que la primera aeronave 302 altere su trayectoria de vuelo hasta que la segunda aeronave 304 ya no se prediga dentro del perímetro 316 de separación para la primera aeronave 302 en el momento predicho para el punto más cercano de aproximación entre la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304. En otras palabras, la primera aeronave 302 puede regresar a la trayectoria 306 de vuelo cuando el sistema de evasión de colisiones céntrico de la primera aeronave 302 determina que el potencial de una violación del perímetro 316 de separación no existe más.

40 En otros ejemplos ilustrativos, una diversidad de perímetros de separación puede predefinirse en el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 302. Por ejemplo, el perímetro 316 de separación puede incluir múltiples niveles de separación deseados o capas perimetrales de separación. Como se describe adicionalmente a continuación, la diversidad de capas perimetrales de separación se puede definir con base en parámetros temporales, velocidad de la aeronave, tasas de movimiento de la aeronave, parámetros de distancia, velocidad relativa, tasas relativas de movimiento y/u otros parámetros adecuados.

45 Con referencia ahora a la Figura 4, se representa una ilustración de otro entorno de gestión de tráfico aéreo de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, el entorno 400 de gestión de tráfico aéreo es otro ejemplo de una implementación para el entorno 100 de gestión de vehículos en la Figura 1.

50 Como se representa, el entorno 400 de gestión de tráfico aéreo en la Figura 4 incluye la primera aeronave 402 y la segunda aeronave 404. La primera aeronave 402 y la segunda aeronave 404 están ambas equipadas con un sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo en este ejemplo representado. Los sistemas de evasión de colisiones céntricos del vehículo de la primera aeronave 402 y la segunda aeronave 404 pueden operar de una manera similar a la descrita para el sistema de evasión de colisión céntrico del vehículo de la primera aeronave 302 en la Figura 3.

Como se representa, la primera aeronave 402 se desplaza por la trayectoria 406 de vuelo en el espacio 405 aéreo, a la vez que la segunda aeronave 404 se desplaza por la trayectoria 408 de vuelo en el espacio 405 aéreo. La primera aeronave 402 se encuentra actualmente en la posición 407 a lo largo de la trayectoria 408 de vuelo. La segunda aeronave 404 está actualmente en la posición 409.

5 El sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 402 puede configurarse para predecir el punto de aproximación 410 más cercano con respecto a la primera aeronave 402. Del mismo modo, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la segunda aeronave 404 puede configurarse para predecir el punto de aproximación 412 más cercano con respecto a la segunda aeronave 404.

10 El punto de aproximación 410 más cercano y el punto de aproximación 412 más cercano indican el intervalo más pequeño que se prevé que ocurra entre la primera aeronave 402 y la segunda aeronave 404 a la vez que estas aeronaves continúan en la trayectoria 406 de vuelo y la trayectoria 408 de vuelo, respectivamente. En este ejemplo ilustrativo, se predice que el punto de aproximación 410 más cercano y el punto de aproximación 412 más cercano se producen cuando la primera aeronave 402 está en la posición 420 predicha a lo largo de la trayectoria 406 de vuelo y cuando la segunda aeronave 404 está en la posición 422 predicha a lo largo de la trayectoria 408 de vuelo.

15 Además, el sistema de evasión de colisión céntrico del vehículo de la primera aeronave 402 puede predecir un momento hasta el punto de aproximación 410 más cercano para la primera aeronave 402, a la vez que el sistema de evasión de colisión céntrico del vehículo de la segunda aeronave 404 puede predecir un momento hasta el punto de aproximación 412 más cercano para la segunda aeronave 404. Además, hacer la predicción del punto de aproximación 410 más cercano y el punto más cercano de aproximación 412 puede incluir identificar el rango de corriente entre la
20 primera aeronave 402 y la segunda aeronave 404. El rango de corriente incluye la distancia entre la posición 407 de la primera aeronave 402 y la posición 409 de la segunda aeronave 404, así como una dirección de la posición 409 para la segunda aeronave 404 con respecto a la posición 407 para la primera aeronave 402.

25 El perímetro 414 de separación para la primera aeronave 402 puede predefinirse en el sistema de evasión de colisiones céntrico de la primera aeronave 402. De forma similar, el perímetro 416 de separación para la segunda aeronave 404 puede predefinirse en el sistema de evasión de colisiones del vehículo de la segunda aeronave 404.

De acuerdo con esto, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 402 puede generar comandos de evasión cuando el rango entre la primera aeronave 402 y la segunda aeronave 404 en el punto de aproximación 410 más cercano está dentro, o "rompe", del perímetro 414 de separación predefinido. En otras palabras, se pueden generar comandos de evasión cuando la posición 422 predicha para la segunda aeronave 404
30 está dentro del perímetro 414 de separación para la primera aeronave 402 cuando la primera aeronave 402 está en la posición 420 predicha.

De manera correspondiente, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la segunda aeronave 404 puede producir comandos de evasión cuando el rango entre la primera aeronave 402 y la segunda aeronave 404 en el punto de aproximación 412 más cercano está dentro de, o "rompe", el perímetro 416 de separación predefinido. En otras palabras, se pueden generar comandos de evasión cuando la posición 420 predicha para la primera aeronave
35 402 está dentro del perímetro 416 de separación para la segunda aeronave 404 cuando la segunda aeronave 404 está en la posición 422 predicha.

Los comandos de evasión generados por cada uno de los sistemas de evasión de colisiones céntricos del vehículo de la primera aeronave 402 y la primera aeronave 402 pueden provocar que la primera aeronave 402 y la segunda
40 aeronave 404 modifiquen la trayectoria 406 de vuelo y la trayectoria 408 de vuelo, respectivamente. Además, los comandos de prevención también pueden alterar la velocidad de la aeronave en algunos ejemplos ilustrativos.

Por ejemplo, como se muestra en la Figura 4, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 402 puede generar uno o más comandos de evasión que hacen que la primera aeronave 402 modifique de forma reactiva la trayectoria 406 de vuelo a la trayectoria 418 de vuelo alterada. el sistema de evasión de colisiones
45 céntrico del vehículo de la segunda aeronave 404 puede generar uno o más comandos de evasión que provocan que la segunda aeronave 404 modifique la trayectoria 408 de vuelo a la trayectoria 419 de vuelo alterada.

Los sistemas de evasión céntricos del vehículo de la primera aeronave 402 y la segunda aeronave 404 pueden predecir un nuevo punto de aproximación más cercano para la trayectoria 418 de vuelo alterada y la trayectoria 419 de vuelo alterada. Se puede predecir que el nuevo punto de aproximación más cercano ocurrirá cuando la primera aeronave
50 402 está en la posición 424 predicha y la segunda aeronave 404 está en la posición 426 predicha. Como se ilustra en la Figura 4, la posición 424 predicha para la primera aeronave 402 está fuera del perímetro 416 de separación para la segunda aeronave 404 y la posición 426 predicha para la segunda aeronave 404 está fuera del perímetro 414 de separación para la primera aeronave 402 en el momento previsto para el nuevo punto de aproximación más cercano.

De esta manera, los sistemas de prevención de colisión céntricos del vehículo de la primera aeronave 402 y la segunda
55 aeronave 404 pueden asegurar automáticamente que la separación adecuada, que se define por el perímetro 414 de separación y el perímetro 416 de separación, respectivamente, se mantenga sustancialmente todo el tiempo. Sin embargo, la primera aeronave 402 y/o la segunda aeronave 404 pueden regresar a la trayectoria 406 de vuelo y/o a la trayectoria 408 de vuelo, respectivamente, cuando los sistemas de colisión céntricos del vehículo de estas

aeronaves determinan que ya no existe la posibilidad de una violación del perímetro 414 de separación y/o el perímetro 416 de separación, respectivamente.

- 5 En otros ejemplos ilustrativos, puede predefinirse una diversidad de capas perimetrales de separación en el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 402 y/o la segunda aeronave 404. Por ejemplo, el perímetro 414 de separación y/o el perímetro 416 de separación pueden incluir múltiples capas perimetrales de separación. Como se describe adicionalmente a continuación, la diversidad de capas perimetrales de separación se puede definir con base en parámetros temporales, velocidad de la aeronave, velocidades de movimiento de la aeronave, parámetros de distancia, tasas relativas de movimiento, velocidad relativa, y/u otros parámetros adecuados. Uno de los parámetros temporales puede ser el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano.
- 10 De acuerdo con esto, la capacidad de alterar automáticamente las trayectorias de vuelo de las aeronaves puede reducir o eliminar el riesgo de colisiones debido a errores humanos, falta de comunicación asociada con los sistemas actuales de evasión de colisiones y/u otros factores. Adicionalmente, el sistema de evasión céntrico del vehículo de una aeronave puede disminuir la carga de trabajo de los controladores de tránsito aéreo terrestres al disminuir su participación en la mitigación de posibles colisiones de aeronaves.
- 15 Las ilustraciones de la Figura 3 y la Figura 4 no implican limitaciones a la manera en que se pueden implementar las diferentes formas de realización ventajosas. Por ejemplo, en algunos ejemplos ilustrativos, otras aeronaves además de la primera aeronave 302 y la segunda aeronave 304 pueden estar presentes en el entorno 300 de gestión de tráfico aéreo.
- 20 Como un ejemplo ilustrativo, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo de la primera aeronave 402 puede configurarse para generar comandos de evasión para alterar la trayectoria 406 de vuelo para la primera aeronave 402 a una trayectoria de vuelo alterada distinta de la trayectoria 418 de vuelo alterada cuando más de una aeronave se predice que está presente dentro del perímetro 414 de separación para la primera aeronave 402 en el momento en que se predice que ocurrirá el punto de aproximación 410 más cercano.
- 25 Con referencia ahora a la Figura 5, se representa una ilustración de un diagrama de bloques de un sistema de aviónica que proporciona prevención de colisión de acuerdo con una realización ventajosa. El sistema 500 de aviónica puede implementarse en una aeronave, tal como, por ejemplo, la primera aeronave 104 en la Figura 1, la primera aeronave 302 en la Figura 3, la primera aeronave 402 en la Figura 4 y/o la segunda aeronave 404 en la Figura 4. Los sistemas de evasión céntrico del vehículo que se describen para la primera aeronave 302 en la Figura 3 así como la primera aeronave 402 y la segunda aeronave 404 en la Figura 4 pueden implementarse en el sistema 500 de aviónica.
- 30 En estos ejemplos ilustrativos, uno o más componentes en el sistema 500 de aviónica pueden implementarse en el sistema 501 informático. El sistema 501 informático es un ejemplo de una implementación para el sistema 108 informático en la Figura 1. El sistema 501 informático adopta la forma de un número de ordenadores en estos ejemplos. Cuando hay más de un ordenador presente en el sistema 501 informático, estos ordenadores pueden estar en comunicación entre sí.
- 35 Por ejemplo, el sistema 500 de aviónica puede incluir el sistema 502 de navegación, la base 504 de datos de trayectorias de vuelo, el piloto 506 automático, el director 508 de vuelo, los sensores 510 de tráfico y el ordenador 512 de evasión de colisiones. El sistema 502 de navegación, el piloto 506 automático, el director 508 de vuelo y el ordenador 512 de evasión de colisiones puede implementarse en uno o más ordenadores en el sistema 501 informático. Además, uno o más del sistema 502 de navegación, el piloto 506 automático y el director 508 de vuelo pueden implementarse en el sistema 111 de control de vuelo en la Figura 1.
- 40 El sistema 502 de navegación puede usarse para proporcionar la posición geográfica de la aeronave durante el vuelo. La posición geográfica de la aeronave es la posición de la aeronave que se define utilizando un sistema de coordenadas geográficas. El sistema 502 de navegación puede incluir un Sistema de Referencia Inercial (IRS), un Sistema de Referencia y Rumbo de Actitud (AHRS), un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y otros sistemas similares. Una parte de estos sistemas puede implementarse en el sistema 501 informático, a la vez que otra parte de estos sistemas puede comprender sensores y/u otros dispositivos externos al sistema 501 informático.
- 45 En estos ejemplos ilustrativos, el sistema 502 de navegación puede incluir una base 504 de datos de trayectoria de vuelo a bordo de la aeronave. La base 504 de datos de trayectoria de vuelo proporciona información de trayectoria de vuelo para la aeronave. La información de trayectoria de vuelo incluye trayectorias de vuelo predeterminadas para la aeronave. En algunos ejemplos ilustrativos, la información de trayectoria de vuelo puede incluir cursos predeterminados para la aeronave. Un curso para una aeronave es una dirección de recorrido o rumbo para la aeronave. Esta dirección de recorrido se puede definir, por ejemplo, como un ángulo con respecto al Norte verdadero. Un curso para una aeronave también puede denominarse rumbo.
- 50 El piloto 506 automático en general está configurado para pilotar la aeronave sin intervención humana. En diversas implementaciones, el piloto 506 automático puede obtener información de vuelo del sistema 502 de navegación. Esta información de vuelo puede incluir, por ejemplo, posición, rumbo, actitud, velocidad y/u otros tipos adecuados de información de vuelo para la aeronave. El piloto 506 automático también puede obtener información de trayectoria de vuelo de la base 504 de datos de trayectoria de vuelo.
- 55

Comparando la información de vuelo con la información de trayectoria de vuelo, el piloto 506 automático puede emitir comandos de control para mantener la aeronave en una trayectoria de vuelo particular. Por ejemplo, el piloto 506 automático puede calcular la configuración del acelerador y emitir comandos de superficie de control de vuelo.

5 El director 508 de vuelo en general está configurado para calcular y visualizar la trayectoria de vuelo deseada para la aeronave a uno o más pilotos durante un vuelo específico. Por ejemplo, cuando un piloto está siguiendo un curso predeterminado para la aeronave, el director 508 de vuelo puede interactuar con la base 504 de datos de trayectoria de vuelo y el piloto 506 automático para calcular y mostrar las maniobras de vuelo necesarias para viajar a lo largo del curso predeterminado al piloto.

10 En estos ejemplos ilustrativos, el director 508 de vuelo puede incluir un indicador de director de vuelo (FDI), un indicador de situación horizontal (HSI), un selector de modo y un ordenador de director de vuelo. Además, el indicador de director de vuelo puede incluir una pantalla que puede presentar un indicador de actitud, un símbolo de aeronave fijo, barras de comando de cabeceo y balanceo, un indicador de deslizamiento planeo, un indicador de desviación de localizador y/u otros tipos adecuados de indicadores.

15 El director 508 de vuelo puede proporcionar a un piloto los comandos de dirección necesarios para obtener y mantener un rumbo o trayectoria de vuelo deseados. En algunos ejemplos ilustrativos, el director 508 de vuelo puede proporcionar además comandos de dirección para el piloto 506 automático, cuyo piloto 506 automático puede traducirse en comandos para las superficies de control de vuelo de la aeronave.

20 Los sensores 510 de tráfico pueden estar configurados para obtener posiciones de aeronaves de tráfico. Las aeronaves de tráfico incluyen cualquier cantidad de otras aeronaves que puedan viajar en el espacio aéreo por el cual viaja la aeronave. Según diversas realizaciones, los sensores 510 de tráfico pueden configurarse para recibir datos de tráfico de un Sistema de Alerta de Tráfico y Evitación de colisiones (TCAS), un sistema de Vigilancia Dependiente Automática (ADS), un sistema de control de tráfico aéreo (ATC) terrestre, un sistema de radar de vigilancia del tráfico en el tablero u otros sistemas de detección del tráfico aéreo.

25 Como se representa en este ejemplo, el ordenador 512 de evasión de colisiones tiene capacidades de procesamiento y memoria adecuadas para almacenar y ejecutar instrucciones ejecutables por ordenador. En una realización, el ordenador 512 para impedir colisiones incluye uno o más procesadores 514 y una memoria 516.

30 La memoria 516 puede incluir memoria volátil y no volátil, medios desmontables y no desmontables implementados en cualquier método o tecnología para el almacenamiento de información, tales como instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa u otros datos. Dicha memoria incluye, pero no se limita a, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), memoria de solo lectura programable y borrrable eléctricamente (EEPROM), memoria flash u otra tecnología de memoria, disco compacto, memoria de solo lectura (CD-ROM), discos versátiles digitales (DVD) u otros almacenamientos óptico, casetes magnéticos, cinta magnética, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, sistemas de almacenamiento redundante de discos independientes (RAID) o cualquier otro medio que pueda utilizarse para almacenar la información deseada y a la que se puede acceder mediante un sistema informático.

35 La memoria 516 contiene módulos que permiten que el ordenador 512 de evasión de colisiones realice diversas funciones. Estos módulos pueden incluir el módulo 518 de interfaz de piloto automático, el módulo 520 de interfaz de base de datos, el módulo 522 de interfaz de director de vuelo, el módulo de 524 prevención de colisión, el módulo 526 de integración de comando, el módulo 528 de interfaz de sensor de tráfico y la base 530 de datos.

40 El módulo 524 de evasión de colisiones y un conjunto de los otros módulos en la memoria 516 pueden usarse para implementar el módulo 112 de gestión de separación en la Figura 1. Además, el módulo 518 de interfaz de piloto automático, el módulo 520 de interfaz de base de datos, el módulo 522 de interfaz de director de vuelo, el módulo 524 de evasión de colisiones, el módulo 526 de integración de comandos, el módulo 528 de interfaz del sensor de tráfico y la base 530 de datos pueden implementarse como software y/o instrucciones ejecutables por ordenador que son ejecutadas por uno o más procesadores 514 para realizar las funciones como se describe a continuación.

45 El módulo 518 de interfaz de piloto automático está configurado para permitir que el ordenador 512 de evasión de colisiones se comunique con el piloto 506 automático. La comunicación puede establecerse a través de una conexión eléctrica, una conexión óptica y similares. En estos ejemplos ilustrativos, el módulo 518 de interfaz de piloto automático puede configurarse para permitir que el piloto 506 automático realice la prevención de colisión bajo la dirección del ordenador 512 de evasión de colisiones.

50 El módulo 520 de interfaz de base de datos permite la lectura y escritura de datos en la base 530 de datos. En estos ejemplos ilustrativos, el módulo 520 de interfaz de base de datos puede activarse por los otros módulos en la memoria 516, como se describe a continuación. La base 530 de datos puede configurarse para almacenar información que se puede usar para mantener la aeronave en diversas trayectorias de vuelo y para impedir colisiones.

55 Por ejemplo, la base 530 de datos puede contener leyes de trayectoria y velocidad. Las leyes de trayectoria y velocidad pueden dictar las capacidades de rendimiento y maniobra de la aeronave. Además, la base 530 de datos también puede almacenar límites de separación de aeronaves y límites de respuesta de la aeronave.

- Los límites de separación de la aeronave se pueden usar para definir un perímetro de separación, tal como el perímetro 316 de separación que se describe en la Figura 3. Estos límites almacenados se pueden usar para determinar las dimensiones y la forma del perímetro de separación. Por ejemplo, los parámetros pueden especificar medidas tales como el diámetro, el ancho, la longitud y la altura, y/u otras medidas para definir el perímetro de separación. Los límites de respuesta de la aeronave, como se describe más adelante, pueden dictar una proximidad máxima deseada entre la aeronave y otras aeronaves y el tiempo mínimo en el cual la aeronave debe alterar su trayectoria de vuelo para mitigar el potencial de una colisión.
- Por supuesto, también se puede usar otra información para determinar la forma del perímetro de separación. Estos factores pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, las condiciones climáticas, la altitud, las condiciones de visibilidad, las condiciones del viento, el terreno sobre el que vuela la aeronave, un número de pasajeros en la aeronave y/u otros factores adecuados.
- El módulo 522 de interfaz del director de vuelo puede facilitar la comunicación entre el director 508 de vuelo y el módulo 524 de prevención de colisión. De acuerdo con esto, el módulo 522 de interfaz de director de vuelo puede permitir que el director 508 de vuelo proporcione a un piloto los comandos de dirección necesarios.
- El módulo 528 de interfaz del sensor de tráfico puede configurarse para proporcionar datos del sensor de tráfico a partir de los sensores 510 de tráfico al ordenador 512 de evasión de colisiones. El módulo 524 de evasión de colisiones en el ordenador 512 de evasión de colisiones puede analizar los datos del sensor de tráfico recibidos del módulo 528 de interfaz del sensor de tráfico. El módulo 524 de evasión de colisiones puede alterar la trayectoria de vuelo real de la aeronave si la aeronave no puede mantener el nivel deseado de separación entre la aeronave y otras aeronaves a lo largo de la trayectoria de vuelo actual.
- El módulo 526 de integración de comando puede configurarse para usar el módulo 518 de interfaz de piloto automático y el módulo 522 de interfaz de director de vuelo para enviar respectivamente comandos de prevención de colisión, cambios de trayectoria de vuelo y/o nueva información de trayectoria de vuelo al piloto 506 automático y al director 508 de vuelo.
- Con referencia ahora a la Figura 6, se representa una ilustración de un diagrama de bloques de un sistema de evasión de colisiones de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, el sistema 600 es un sistema de evasión de colisiones. En particular, el sistema 600 puede usarse para implementar un sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo en una aeronave tal como, por ejemplo, la primera aeronave 104 en la Figura 1, la primera aeronave 302 en la Figura 3, la primera aeronave 402 en la Figura 4, y/o la segunda aeronave 404 en la Figura 4.
- Como se representa, el sistema 600 puede incluir el módulo de control de vuelo 602 y el módulo 604 de prevención de colisión. El módulo 602 de control de vuelo en general está configurado para mantener una aeronave en trayectorias de vuelo predeterminadas a medida que la aeronave se desplaza entre diversos destinos. El módulo 604 de evasión de colisiones está configurado para generar comandos de prevención que pueden proporcionar evasión de colisiones. El módulo 604 de evasión de colisiones y el módulo 602 de control de vuelo pueden implementarse usando software, hardware o una combinación de ambos.
- En este ejemplo ilustrativo, el módulo 602 de control de vuelo puede incluir la función 606 de generadora de trayectoria, la función 608 de comando de control y la función 610 de modificación de comando. Estas funciones pueden llevarse a cabo por uno o más sistemas 502 de navegación, piloto 506 automático y director 508 de vuelo en el sistema 500 de aviónica en la Figura 5.
- La función 606 generadora de trayectorias está configurada para generar trayectorias de vuelo para la aeronave con base en puntos de referencia predeterminados para la aeronave. En estos ejemplos ilustrativos, una trayectoria de vuelo para una aeronave es una serie de puntos de referencia identificados para que la aeronave pase durante el vuelo de manera que la aeronave mantenga una trayectoria de vuelo deseada. Los puntos de referencia son posiciones en el espacio aéreo. Estas posiciones pueden ser posiciones definidas usando, por ejemplo, un sistema de coordenadas geográficas.
- En estos ejemplos ilustrativos, el número de puntos de referencia identificados por la trayectoria de vuelo incluye puntos de referencia futuros a pasar y puede no incluir puntos de referencia que ya han sido pasados por la aeronave durante el vuelo. En algunos casos, la trayectoria de vuelo puede incluir el número de puntos de referencia que la aeronave pronostica que pasará cuando la aeronave mantenga una trayectoria de vuelo deseada.
- En algunos ejemplos ilustrativos, la trayectoria de vuelo también puede indicar la trayectoria entre cada par de puntos de referencia en el número de puntos de referencia que debe recorrer la aeronave. De esta manera, la trayectoria de vuelo puede incluir la trayectoria de vuelo deseada, así como una identificación del número de puntos de referencia a pasar a lo largo de la trayectoria de vuelo deseada.
- La trayectoria de vuelo también puede incluir los tiempos en los que la aeronave debe pasar el número de puntos de referencia. Cuando la trayectoria de vuelo incluye información de tiempo, la trayectoria de vuelo puede denominarse

trayectoria de vuelo cuatridimensional (4D). Cuando la trayectoria de vuelo no incluye la información de tiempo, la trayectoria de vuelo se puede referir como una trayectoria de vuelo tridimensional.

5 La función 608 de comando de control está configurada para comparar una trayectoria de vuelo generada con una posición real y una velocidad de corriente de la aeronave. La función 608 de comando de control determina si la aeronave se está desviando y/o se desviará de la trayectoria de vuelo generada y si las correcciones de la trayectoria de vuelo son necesarias. Las correcciones de trayectoria de vuelo son cambios en la trayectoria de vuelo real y/o rumbo que sigue la aeronave.

10 Cuando se necesitan correcciones de trayectoria de vuelo, la función 608 de comando de control puede producir comandos de control que implementan las correcciones de trayectoria de vuelo de acuerdo con las leyes de trayectoria y control de velocidad. Los comandos de control pueden configurarse para cambiar los ajustes de aceleración para el sistema de propulsión de la aeronave y/o manipular la operación de las superficies de control de vuelo de la aeronave.

15 En algunos ejemplos ilustrativos, los comandos de control producidos por la función 608 de comando de control pueden procesarse adicionalmente mediante la función 610 de modificación de comando antes de que se implementen en el sistema de propulsión y las respectivas superficies de control de vuelo. Específicamente, la función 610 de modificación de comando puede configurarse para implementar los comandos de control en función de las condiciones de vuelo usando ganancias, también denominadas ponderaciones y/o límites.

20 Por ejemplo, la función 610 de modificación de comando puede asignar un valor de alto peso a uno o más comandos de control cuando la aeronave se ha desviado severamente de una trayectoria de vuelo. El valor de alto peso puede hacer que uno o más comandos de control se implementen convenientemente en un alto grado para hacer que la aeronave regrese rápidamente a la trayectoria de vuelo designada.

25 Por el contrario, la función 610 de modificación de comando puede asignar un valor de bajo peso a uno o más comandos de control cuando la aeronave experimenta solo una ligera desviación de la trayectoria de vuelo. En tal caso, los comandos de control pueden implementarse gradualmente de manera que el retorno de la aeronave a la trayectoria de vuelo designada sea más gradual o medido. Además, los comandos de control pueden implementarse de una manera que tenga en cuenta la comodidad del pasajero, la calidad del recorrido, los factores de seguridad y/u otros factores adecuados.

30 En estos ejemplos ilustrativos, el módulo 604 de evasión de colisiones puede interactuar con el módulo 602 de control de vuelo para alterar la trayectoria de vuelo de la aeronave durante el vuelo para proporcionar evasión de colisiones cuando sea necesario. El módulo 524 de evasión de colisiones en el ordenador 512 de evasión de colisiones en la Figura 5 se puede usar para implementar las funciones que se llevan a cabo en el módulo 604 de evasión de colisiones.

35 Como se representa, el módulo 604 de evasión de colisiones del sistema 600 puede emitir comandos de evasión que compitan con los comandos de control que se proporcionan por el módulo 602 de control de vuelo. De esta manera, los comandos de evasión pueden alterar una trayectoria de vuelo y/o trayectoria de vuelo de la aeronave para proporcionar la prevención de colisión. En estos ejemplos ilustrativos, el módulo 604 de evasión de colisión incluye la función 612 de análisis de trayectoria, la función 616 de cálculos, los límites 618 de separación, los límites 620 de respuesta y la función 622 de modificación de prevención.

40 La función 612 de análisis de trayectoria puede configurarse para predecir la trayectoria de vuelo de la aeronave con respecto a las trayectorias de vuelo de otro tráfico de aeronave. La función 612 de análisis de trayectoria puede obtener conocimiento 614 del tráfico del sensor 510 de tráfico mediante el módulo 528 de interfaz de sensor de tráfico en la Figura 5. El conocimiento 614 del tráfico puede incluir la posición, velocidad, rumbo, tasa de cambio de rumbo, tasas de ascenso, tasas de descenso, velocidad de cambio, y la trayectoria del tráfico de la aeronave.

45 En otros casos, el conocimiento 614 del tráfico también puede incluir los planes de vuelo de una aeronave de tráfico particular. Un plan de vuelo incluye una trayectoria de vuelo predeterminada para la aeronave de tráfico en particular. En otras palabras, el plan de vuelo puede incluir la trayectoria de vuelo predeterminada para la aeronave de tráfico particular y los tiempos asociados con diferentes puntos de referencia a lo largo de la trayectoria de vuelo predeterminada.

50 Por ejemplo, si una aeronave de tráfico ha presentado un plan de vuelo, la función 612 de análisis de trayectoria puede obtener el plan de vuelo de una fuente terrestre, tal como, por ejemplo, una base de datos de un plan de vuelo en una estación de control terrestre. El plan de vuelo obtenido puede proporcionar la función 612 de análisis de trayectoria con un conocimiento detallado de las posiciones en las que estará la aeronave de tráfico en momentos particulares en el tiempo.

Sin embargo, en otros ejemplos ilustrativos, el sistema de gestión de vuelo (FMS) de una aeronave de tráfico puede ser capaz de transmitir datos de posición y velocidad a otras aeronaves. En estos ejemplos, la función 612 de análisis de trayectoria también puede obtener conocimiento 614 de tráfico directamente a partir de la aeronave de tráfico.

Además, la función 612 de análisis de trayectoria puede adquirir la trayectoria de vuelo prevista de la aeronave en la cual el sistema 600 se implementa a partir de la función 606 de generador de trayectoria. La aeronave en la que se implementa el sistema 600 también puede denominarse la misma aeronave en estos ejemplos ilustrativos.

5 Una vez que la función 612 de análisis de trayectoria ha recibido datos de trayectoria de las diversas fuentes, la función 612 de análisis de trayectoria puede procesar los datos para determinar la información de trayectoria deseada. Esta información de trayectoria deseada puede incluir la posición de la misma aeronave; las tasas de la misma aeronave; la trayectoria planeada de la misma aeronave; la posición de cada aeronave de tráfico; las tasas de cada aeronave de tráfico; y la trayectoria planeada de cada aeronave de tráfico. Como se usa aquí, las tasas para la misma aeronave y cada aeronave de tráfico pueden incluir tasas de cambio de rumbo, tasas de ascenso, tasas de descenso, velocidad y tasas de cambio de velocidad. Las tasas de cambio de velocidad también se conocen como aceleración.

De esta manera, la función 612 de análisis de trayectoria puede predecir la trayectoria de vuelo esperada de cada aeronave para la que se le proporcionan datos. La función 612 de análisis de trayectoria puede configurarse para enviar las trayectorias predichas a la función 616 de cálculos.

15 La función 616 de cálculos puede configurarse para procesar las trayectorias predichas de las diferentes aeronaves y proporcionar comandos de evasión a la propia aeronave cuando se ha identificado una pérdida de separación. Específicamente, las trayectorias pronosticadas de las diferentes aeronaves se pueden usar para predecir si alguna de las aeronaves de tráfico "romperá" un perímetro de separación predeterminado para la aeronave en el punto más cercano de aproximación entre la aeronave y cada una de las aeronaves de tráfico .

20 Por ejemplo, si se predice que al menos una de las aeronaves de tráfico está dentro del perímetro de separación en el punto de aproximación más cercano entre la aeronave de tráfico y la aeronave, entonces se predice que el perímetro de separación estará "roto". Cuando la función 616 de cálculos alcanza dicha predicción, la función 616 de cálculo puede configurarse para emitir comandos de evasión.

25 Estos comandos de evasión pueden alterar de manera preventiva la trayectoria de vuelo de la misma aeronave de manera que el perímetro de separación no se "rompa" en el punto de aproximación más cercano predicho. De esta manera, la función 616 de cálculos genera los comandos de evasión necesarios para proporcionar el nivel deseado de separación entre la aeronave y otras aeronaves. Además, un módulo de evasión de colisiones similar al módulo 604 de evasión de colisiones puede estar presente en cada aeronave de tráfico y puede emitir comandos de evasión a cada aeronave de tráfico cuando sea necesario.

30 En estos ejemplos representados, la función 616 de cálculos usa los límites 618 de separación para determinar las dimensiones del perímetro de separación para la aeronave. En un ejemplo ilustrativo, los límites 618 de separación pueden definir una distancia de separación mínima que se extiende en todas las direcciones. De esta manera, el perímetro de separación puede tener la forma de una esfera. Por ejemplo, se puede establecer un perímetro de separación con base en la distancia de separación de una milla en todas las direcciones. En otras palabras, se considera que una aeronave de tráfico ha "violado" el perímetro de separación de la aeronave si se prevé que la aeronave de tráfico estará a menos de una milla de distancia de la aeronave en el punto de aproximación más cercano previsto entre la aeronave y la aeronave de tráfico.

35 En otros ejemplos ilustrativos, los límites 618 de separación pueden configurarse para proporcionar otras formas de perímetro de separación. Por ejemplo, los límites 618 de separación pueden definir un radio que se extiende en todas las direcciones longitudinales y latitudinales, y una distancia fija en el eje vertical para todos los puntos que se extienden a partir de las direcciones longitudinal y latitudinal. En este caso, los límites 618 de separación pueden definir un espacio cilíndrico.

40 Por supuesto, en otros ejemplos ilustrativos, los límites 618 de separación pueden configurarse para definir una variedad de otras formas tridimensionales, tales como, por ejemplo, un elipsoide, un esferoide, una media esfera, un cubo, un octaedro, y/o alguna otra forma tridimensional adecuada. En otras palabras, las formas tridimensionales pueden no ser simétricas.

45 En algunos casos, la incertidumbre en la predicción del punto de aproximación más cercano puede depender de la dirección. En otras palabras, la incertidumbre puede ser diferente en diferentes direcciones con respecto a la aeronave. Como resultado, las formas que se definen por los límites 618 de separación pueden ser no simétricas cuando la incertidumbre en la predicción del punto de aproximación más cercano es diferente en diferentes direcciones con respecto a la aeronave.

50 Además, los límites 618 de separación pueden definir diferentes formas tridimensionales para el perímetro de separación para una aeronave con base en diferentes tipos de aeronaves. Por ejemplo, cuando la misma aeronave es un tipo particular de aeronave, el perímetro de separación definido para la misma aeronave y una aeronave de tráfico de un primer tipo puede ser diferente del perímetro de separación definido para la misma aeronave y una aeronave de tráfico de un segundo tipo.

55 Como un ejemplo ilustrativo, la forma tridimensional de un perímetro de separación definido por los límites 618 de separación puede basarse en la clase de la misma aeronave y/o la clase de la clase de aeronave de tráfico. La clase

de una aeronave puede ser, por ejemplo, una aeronave comercial pesada, una aeronave privada ligera, una aeronave a reacción, un helicóptero y/o alguna otra clase de aeronave adecuada. Las formas tridimensionales para el perímetro de separación también pueden definirse en función de la maniobrabilidad de la misma aeronave y/o de la aeronave de tráfico, así como de la velocidad de la misma aeronave y/o de la aeronave de tráfico.

- 5 La función 616 de cálculos puede configurarse adicionalmente para usar límites 620 de respuesta en la generación de comandos de evasión. Los límites 620 de respuesta pueden determinar la rapidez con la que se llevan a cabo los comandos de prevención.

10 Por ejemplo, los límites 620 de respuesta pueden establecerse de modo que cuando se predice que el punto de aproximación más cercano predicho entre la misma aeronave y una aeronave de tráfico se produce a una distancia de la posición real de la misma aeronave que es sustancialmente igual a o mayor que algún umbral seleccionado, la función 616 de cálculos puede retrasar la provisión de uno o más comandos de evasión. Por el contrario, si se predice que el punto de aproximación más cercano predicho entre la misma aeronave y el vehículo de tráfico se produce a una distancia de la posición real de la misma aeronave que es menor que el umbral seleccionado, la función 616 de cálculos puede proporcionar inmediatamente uno o más comandos de evasión para la ejecución por la misma aeronave.

15 En algunos ejemplos ilustrativos, la función 616 de cálculos puede configurarse para calcular el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano (t_{cpa}). Esta vez también se puede denominar como un tiempo para ir al punto de aproximación más cercano. En estos ejemplos, los límites 620 de respuesta también pueden incluir limitaciones de tiempo. Por ejemplo, si se predice que el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano ocurrirá en un momento en el futuro que sea sustancialmente igual o posterior a algún umbral seleccionado, la función 616 de cálculos puede retrasar la ejecución del comando de evasión.

20 Por ejemplo, el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano puede ser posterior al umbral seleccionado al estar un tiempo más allá de un intervalo de tiempo predeterminado. Este intervalo de tiempo predeterminado puede ser cualquier tipo de unidades para incrementos de tiempo, tales como, por ejemplo, segundos, minutos, horas y/o algunos otros incrementos de tiempo.

25 Por el contrario, el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano es inminente en el tiempo. Por ejemplo, cuando se predice que el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano se produce en un momento anterior a cierto umbral seleccionado, tal como antes de que transcurra un intervalo de tiempo predeterminado, la función 616 de cálculos puede proporcionar más rápidamente los comandos de evasión para la ejecución. Además, si el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano es negativo, entonces ya ha ocurrido el punto de aproximación más cercano y la aeronave se aleja la uno de la otra. En este caso, el comando de evasión puede establecerse en cero.

30 De esta manera, la función 616 de cálculos puede priorizar la generación de comandos de evasión con base en la inminencia de la colisión potencial con cada una de una diversidad de aeronaves de tráfico. Por ejemplo, el cálculo del tiempo hasta el punto de aproximación más cercano y la implementación de limitaciones de tiempo en los límites 620 de respuesta pueden ser adecuados para impedir colisiones entre aeronaves con tiempos de permanencia largos para un punto de aproximación más cercano. Se pueden predecir tiempos de avance más prolongados para un punto de aproximación más cercano entre dos aeronaves que vuelan en formación a corta distancia a lo largo de trayectorias paralelas, arrastrándose unas a otras o se dirigen a trayectorias distantes entre sí con punto cercano casi cero de la distancia de aproximación

35 En estos ejemplos ilustrativos, la función 622 de modificación de evasión puede configurarse para asignar ganancia, o pesos de evasión, a uno o más comandos de evasión generados por la función 616 de cálculos. Se pueden usar pesos de evasión para establecer la fuerza relativa de la evasión y comandos de dirección.

40 Por ejemplo, la función 622 de modificación de evasión puede contener una baja ganancia para una primera capa perimetral de separación de larga distancia y una alta ganancia para una segunda capa perimetral de separación de corta distancia. En este ejemplo, la primera capa perimetral de separación puede permitir la separación utilizando correcciones de trayectoria menores a gran distancia. También en este ejemplo, la segunda capa perimetral puede garantizar la capacidad de los comandos de evasión para superar los comandos de control normales emitidos por la función 608 de comando de control en el módulo 602 de control de vuelo a una distancia cercana utilizando ganancias mayores.

45 Como resultado, la función 616 de cálculo de evasión y la función 622 de modificación de evasión pueden aumentar la tendencia de la misma aeronave a alterar su trayectoria de vuelo cuando se acerca a la aeronave de tráfico. Además, se apreciará que la función 622 de modificación de evasión puede configurarse para asignar diversas ganancias a los comandos de evasión para cada perímetro de separación y cada aeronave de tráfico.

50 En otros ejemplos ilustrativos, la función 622 de modificación de evasión puede configurarse adicionalmente para asignar ganancias que implementan selectivamente una porción de los comandos de evasión. Por ejemplo, la función 622 de modificación de evasión puede configurarse para no asignar peso a un componente de comando de evasión que hace que una aeronave se sumerja cuando la aeronave está por debajo de una altitud mínima predeterminada. Esto puede impedir que la aeronave realice alteraciones indeseadas en la trayectoria de vuelo. En algunos ejemplos

ilustrativos, la función 622 de modificación de evasión puede configurarse para asignar un peso sustancialmente cero a los componentes de comando de evasión que hacen girar a la aeronave en una dirección particular, tal como, por ejemplo, derecha o izquierda.

5 La función 622 de modificación de evasión puede configurarse adicionalmente para restringir los comandos de prevención con límites de control. Por ejemplo, la función 622 de modificación de evasión puede proporcionar límites de control que impidan que se implementen comandos de evasión cuando las desviaciones de la trayectoria de vuelo son despreciables. En otros ejemplos, tanto la función 610 de modificación de comando como la función 622 de modificación de evasión pueden usar límites de control para impedir movimientos radicales de la aeronave o controlar la saturación del sistema de control de vuelo en la aeronave.

10 Una vez que la función 622 de modificación de evasión ha asignado las ganancias y/o límites necesarios a los comandos de evasión, los comandos de evasión se pasan a, por ejemplo, el módulo 526 de integración de comando en la Figura 5. El módulo 526 de integración de comando puede implementar las funciones realizadas por el componente 623 de integración y el módulo 624 de integración de comandos.

15 En particular, el componente 623 de integración aplica los comandos de prevención a los comandos de control y envía estos comandos integrados al módulo 624 de integración de comandos. Como se describió anteriormente, los comandos de control son producidos por la función 608 de comando de control y modificados por la función 610 de modificación de comando.

20 Los comandos de evasión generados pueden incluir, por ejemplo, comandos de cambio de tasa de rumbo, comandos de modificación de velocidad de ascenso o de descenso, comandos de aceleración y desaceleración y/u otros comandos de manejo tales como velocidad, altitud y comandos de modificación de rumbo. En otras palabras, los comandos de evasión pueden configurarse para afectar los cálculos de los ajustes de empuje y de superficies de control de vuelo en el módulo 624 de integración de comando.

25 En diversas realizaciones, el módulo 624 de integración de comandos puede implementar los comandos de prevención para que compitan con los comandos 608 de control emitidos por la función 608 de comando de control como ponderados y limitados por la función 610 de modificación de comando. De esta manera, el módulo 604 de prevención de colisión puede alterar la trayectoria de vuelo de una aeronave cuando el módulo 604 de evasión de colisiones predice que se espera una "ruptura" del perímetro de separación.

30 Adicionalmente, el módulo 624 de integración de comando también puede proporcionar lecturas de posición y velocidad a la función 608 de comando de control, y a la función 612 de análisis de trayectoria. Además, las lecturas de posición y velocidad pueden pasarse al piloto 506 automático, al director 508 de vuelo y/o a algún otro sistema en el sistema 500 de aviónica. A su vez, la función 608 de comando de control puede usar la posición de retroalimentación y las lecturas de velocidad para generar más comandos de control en el mismo proceso que el descrito anteriormente. Asimismo, la función 612 de análisis de trayectoria puede usar la posición de retroalimentación y las lecturas de velocidad para actualizar continuamente sus predicciones de trayectoria de vuelo.

35 Se apreciará que el módulo 604 de evasión de colisiones puede configurarse para monitorizar continuamente las trayectorias de la misma aeronave y la aeronave de tráfico y predecir futuras "infracciones" del perímetro de separación por el punto de aproximación más cercano entre la aeronave y otra aeronave. Esta monitorización continua puede asegurar que la trayectoria de vuelo de la aeronave se modifique cada vez que se predice una pérdida de separación.

40 Sin embargo, el módulo 604 de evasión de colisiones puede terminar la salida de los comandos de prevención cuando las trayectorias de la aeronave y la aeronave de tráfico indican que el punto de aproximación más cercano ya no está rompiendo el perímetro de separación. De esta manera, pueden realizarse continuamente pequeñas alteraciones en la trayectoria de vuelo para mitigar los posibles riesgos de colisión. En algunos ejemplos ilustrativos, el módulo 604 de evasión de colisiones puede generar los comandos de evasión incluso cuando un piloto tiene el control de la aeronave.

45 Con referencia ahora a la Figura 7, se representa una ilustración de ecuaciones para predecir un punto de aproximación más cercano entre dos aeronaves de acuerdo con una realización ventajosa. En particular, se representan ejemplos de ecuaciones para predecir un punto de aproximación más cercano entre la primera aeronave 702 y la segunda aeronave 704. Estas ecuaciones son un ejemplo de una implementación para predecir el punto 121 de aproximación más cercano entre la primera aeronave 104 y la segunda aeronave 105 en la Figura 1. Además, la Figura 7 también ilustra la generación de comandos de evasión.

50 Como se muestra en la Figura 7, suponiendo que la primera aeronave 702 y la segunda aeronave 704 continúan a lo largo de trayectorias rectas con velocidades constantes, el punto más cercano de aproximación entre la primera aeronave 702 y la segunda aeronave 704 puede representarse mediante la ecuación:

$$\bar{d}_m = \bar{R} + \bar{d}_c = \bar{R} - \frac{\bar{R} \cdot \bar{V}_{2r}}{\bar{V}_{2r} \cdot \bar{V}_{2r}} \bar{V}_{2r} \quad (5)$$

donde \bar{d}_m es el vector 706 para el punto más cercano del vector de aproximación, \bar{R} es el vector 708 para el rango real entre la primera aeronave 702 y la segunda aeronave 704, \bar{d}_c , es el vector 710 para la distancia predicha recorrida por la segunda aeronave 704 con respecto a la primera aeronave 702 entre el tiempo real y el tiempo hasta el punto más cercano de aproximación, y \bar{V}_{2r} es el vector 712 para la velocidad de la segunda aeronave 704 con relación a la primera aeronave 702.

5

Además, el tiempo en el punto más cercano de aproximación puede representarse por la ecuación:

$$t_{cpa} = -\frac{\|\bar{d}_c\|}{\|\bar{V}_{2r}\|} = -\frac{\bar{R} \cdot \bar{V}_{2r}}{\bar{V}_{2r} \cdot \bar{V}_{2r}} \quad (6)$$

donde t_{cpa} es el momento en el punto de aproximación más cercano y $\frac{\|\bar{d}_c\|}{\|\bar{V}_{2r}\|}$ es la norma del vector 710 para la distancia relativa prevista recorrida, d_c , entre la primera aeronave 702 y la segunda aeronave 704 sobre la norma del vector para la velocidad, \bar{V}_{2r} , de la segunda aeronave 704 con relación a la primera aeronave 702.

10

La ley de control de control de evasión para la generación de un comando de evasión céntrico del vehículo, $\bar{F}_{control}$, puede representarse mediante la ecuación:

$$\bar{F}_{control} = -\sum_1^n \sum_1^p K_{p,n} \cdot \bar{C}_{p,n} \quad (7)$$

donde

$$\bar{C}_{p,n} = Cx_{p,n} \cdot \bar{i}_x + Cy_{p,n} \cdot \bar{i}_y + Cz_{p,n} \cdot \bar{i}_z \quad (8)$$

15

y en donde p representa el número de capas perimetrales de separación, n representa el número de aeronaves de tráfico utilizadas en la generación de un comando de evasión.

Adicionalmente, $K_{p,n}$ pueden ser las ganancias de control aplicadas a cada dirección de control respectiva (\bar{i}_x , \bar{i}_y , \bar{i}_z) para cada aeronave de tráfico n respectiva en evaluación por la misma aeronave y para cualquiera de diversas capas p perimétricas de separación respectivas. Adicionalmente, $\bar{C}_{p,n}$ comprende los componentes de comando de prevención de colisión correspondientes utilizados en la generación de uno o más comandos de evasión.

20

De acuerdo con diversas realizaciones, $\bar{C}_{p,n}$ se puede seleccionar de la siguiente manera:

$$\bar{C}_{p,n} = (d_p - \|\bar{d}m_n\|) \frac{\bar{d}m_n}{\|\bar{d}m_n\|} \quad (9)$$

donde d_p es la distancia de separación deseada para cada capa perimetral de separación evaluada, y que puede medirse a lo largo del vector de distancia $\bar{d}m_n$ del punto de aproximación más cercano (CPA).

25

Si las ganancias de control son iguales en cada dirección de control e iguales para cada aeronave de tráfico, entonces una única ganancia de evasión puede definirse de la siguiente manera:

$$K_{p,n} = k_{evasión} \quad \text{para todos } (p,n) \quad (10)$$

Por lo tanto, en este ejemplo, el comando de evasión puede reducirse a:

$$\bar{F}_{control} = -k_{evasión} \sum_1^n \sum_1^p (d_p - \|\bar{d}m_n\|) \frac{\bar{d}m_n}{\|\bar{d}m_n\|} \quad (11)$$

30

Además, por ejemplo, si solo se evalúa una aeronave de tráfico, es decir, n=1, y solo se evalúa un perímetro de separación, p=1, entonces el comando de evasión, $\bar{F}_{control}$, puede reducirse a:

$$\bar{F}_{control} = -k_{evasión} \left(d_1 - \|\bar{d}m_1\| \right) \frac{\bar{d}m_1}{\|\bar{d}m_1\|} \quad (12)$$

en donde $k_{evasión}$ contiene la ganancia o el peso de control, d_1 es la distancia de separación deseada que puede constituir la capa perimetral de separación, y $\|\bar{d}m_1\|$ es la norma del vector para el punto de aproximación más cercano $\bar{d}m$. Además, $\|\bar{d}m_1\|$ es la distancia del punto de aproximación más cercano.

- 5 Como se muestra, el comando de evasión, $\bar{F}_{control}$, proporciona la fuerza o comando de evasión a lo largo de la dirección del punto de aproximación más cercano, $\bar{d}m$, para aumentar el punto de aproximación más cercano, $\bar{d}m$, entre la primera aeronave 702 y la segunda aeronave 704. Además, según la ecuación 8 anterior, a medida que la distancia del punto más cercano de aproximación $\|\bar{d}m_1\|$ se vuelve cada vez más pequeña, la magnitud del comando de evasión, $\bar{F}_{control}$, aumentará proporcionalmente.
- 10 En otras palabras, en estos ejemplos ilustrativos, la función 616 de cálculos de la Figura 6 puede aumentar la magnitud del comando de evasión a medida que disminuye la distancia del punto más cercano de aproximación. Por ejemplo, la función 616 de cálculo puede proporcionar un comando de evasión en forma de un comando de aceleración que aumenta el empuje de una aeronave.

15 Las funciones $\bar{C}_{p,n}$ de comando de evasión pueden ser funciones exponenciales, funciones cuadráticas u otras funciones que ajustan los comandos de control a medida que la aeronave se acerca al punto de aproximación más cercano. En otras realizaciones, las funciones de comando de evasión pueden ser funciones de otros parámetros y vectores tales como velocidad relativa y rango.

20 De acuerdo con algunas realizaciones, las ecuaciones de ejemplo que se ilustran anteriormente pueden implementarse para establecer múltiples capas perimétricas de separación. Cada capa perimetral de separación se puede mantener en función de un conjunto único de valores, ganancias, funciones y límites de separación. Además, las capas del perímetro de separación se pueden establecer en función del tiempo, la distancia, la velocidad y cualquier combinación de estas.

25 Por ejemplo, se puede establecer una capa perimetral temporal cuando el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano es menor que un límite de separación especificado. También se puede establecer una capa perimetral de velocidad y distancia, por ejemplo, cuando la iniciación del comando de evasión se basa tanto en la magnitud de la tasa relativa como en el alcance entre la misma aeronave y cualquier aeronave de tráfico. Además, la distancia de separación deseada de un perímetro de separación puede incluir un conjunto de distancias y direcciones de referencia ($\bar{i}_x, \bar{i}_y, \bar{i}_z$) que establecen la forma del perímetro de separación, en donde cada dirección puede tener su propia ganancia de evasión. De esta forma, se apreciará que puede establecerse una diversidad de diferentes capas de perímetro de separación entre la misma aeronave y cada aeronave de tráfico.

30 Con referencia ahora a la Figura 8, se representa una ilustración de un sistema de evasión céntrico del vehículo de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, el sistema 800 de evasión de colisiones céntrico del vehículo puede incluir un sistema de control de vuelo. El sistema de control de vuelo puede configurarse para mantener una aeronave en trayectorias de vuelo predeterminadas a medida que la aeronave se desplaza entre diversos destinos.

35 Específicamente, los componentes del sistema de control de vuelo pueden incluir la función 802 generadora de trayectoria y la función 804 de respuesta del vehículo. El sistema 800 de colisiones céntrico del vehículo también puede incluir el módulo 806 de evasión de colisiones. El módulo 806 de evasión de colisiones puede configurarse para modificar las trayectorias de vuelo, tal como se proporciona mediante la función 802 generadora de trayectorias para proporcionar evasión de colisiones. De acuerdo con diversas implementaciones, la función 802 generadora de trayectorias y/o la función 804 de respuesta del vehículo pueden llevarse a cabo por uno o más sistemas 502 de navegación, piloto 506 automático y director 508 de vuelo, como se describió anteriormente en la Figura 5.

40 La función 802 generadora de trayectorias está configurada para producir las trayectorias de vuelo previstas para una aeronave. En particular, estas trayectorias de vuelo pueden ser trayectorias cuatridimensionales. La función 802 generadora de trayectorias utiliza el conocimiento 808 del tráfico para predecir las trayectorias de vuelo. La función 804 de respuesta del vehículo puede configurarse para comparar una trayectoria de vuelo generada con la posición y velocidad actuales de la aeronave para determinar cualquier desviación y si se necesitan correcciones de la trayectoria de vuelo.

50 La función 804 de respuesta del vehículo puede producir comandos de control que implementan las trayectorias de vuelo generadas para la aeronave de acuerdo con la trayectoria y las leyes de control de velocidad, otras leyes de control, dinámica del vehículo y/u otros parámetros adecuados. Los comandos de control generados pueden configurarse para cambiar los ajustes de aceleración para la aeronave y/o manipular las superficies de control de vuelo de la aeronave para volar la aeronave a lo largo de la trayectoria 810.

- 5 El módulo 806 de evasión de colisión puede modificar la trayectoria de vuelo generada para la aeronave, producida por la función 802 generadora de trayectoria, antes de que la trayectoria de vuelo se implemente mediante comandos de control generados por la función 804 de respuesta del vehículo para volar la aeronave a lo largo de la trayectoria 810. En estos ejemplos ilustrativos, las funciones realizadas por el módulo 806 de evasión de colisiones pueden llevarse a cabo mediante el módulo 524 de evasión de colisiones descrito en la Figura 5.
- Con referencia ahora a la Figura 9, se representa una ilustración de un módulo de evasión de colisiones de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, se describen con mayor detalle las diferentes funciones realizadas por el módulo 806 de evasión de colisiones en la Figura 8.
- 10 Como se representa, el módulo 806 de evasión de colisiones incluye la función 902 de análisis de trayectoria. La función 902 de análisis de trayectoria puede configurarse para predecir la trayectoria de vuelo de la aeronave con respecto a las trayectorias de vuelo de otra aeronave de tráfico. La función 902 de análisis de trayectoria puede obtener conocimiento 816 de tráfico de los sensores 510 de tráfico a través del módulo 528 de interfaz de sensor de tráfico en la Figura 5.
- 15 El conocimiento 816 de tráfico puede incluir la posición, velocidad, rumbo y trayectoria de la aeronave de tráfico. En otros casos, el conocimiento 816 de tráfico también puede incluir los planes de vuelo o la intención de una aeronave de tráfico particular. Por ejemplo, si una aeronave de tráfico ha presentado un plan de vuelo o una intención actualizada, la función 902 de análisis de trayectoria puede obtener el plan de vuelo a partir de una fuente central, como una base de datos de plan de vuelo o a partir del sistema de gestión de vuelo en la aeronave de tráfico que utiliza un enlace de datos. El plan de vuelo puede proporcionar la función 902 de análisis de trayectoria con un conocimiento detallado de las posiciones de la aeronave de tráfico en momentos particulares en el tiempo.
- 20 Adicionalmente, la función 902 de análisis de trayectoria puede adquirir la trayectoria predicha de la aeronave a partir de la función 802 generadora de trayectorias. Además, la función 902 de análisis de trayectoria también puede adquirir datos 904 de posición y velocidad para la aeronave de uno del piloto 506 automático y/o el director 508 de vuelo en la Figura 5.
- 25 Una vez que la función 902 de análisis de trayectoria ha recibido datos de trayectoria, posición y velocidad a partir de las diversas fuentes, esta función puede procesar los datos y determinar la información de trayectoria deseada. Esta información de trayectoria puede incluir la posición y las velocidades de la propia aeronave; la trayectoria planificada de la misma aeronave; la posición y las tasas de cada aeronave de tráfico; y la trayectoria planeada de cada aeronave de tráfico. En otras palabras, la función 902 de análisis de trayectoria puede predecir la trayectoria de vuelo esperada de cada aeronave para la que se le han proporcionado datos. Además, la función 902 de análisis de trayectoria puede configurarse para pasar las trayectorias predichas a la función 906 de cálculos.
- 30 La función 906 de cálculos se puede configurar para procesar las trayectorias predichas de la aeronave y proporcionar comandos de evasión de la aeronave. Específicamente, las trayectorias predichas de la aeronave se pueden usar para predecir si una aeronave de tráfico "romperá" el perímetro de separación para la aeronave en el punto de aproximación más cercano entre las dos aeronaves.
- 35 Por ejemplo, si se predice que la aeronave de tráfico está dentro del perímetro de separación en su punto de aproximación más cercano, entonces se predice que el perímetro de separación estará "roto". Cuando la función 906 de cálculo alcanza dicha predicción, esta función puede configurarse para emitir comandos de evasión. Los comandos de prevención pueden alterar de forma preventiva la trayectoria de vuelo de la aeronave para impedir el riesgo de una colisión. Los comandos de evasión generados por la función 906 de cálculos se pueden usar para alterar la trayectoria 307 de vuelo para la primera aeronave 302 a la trayectoria 314 de vuelo alterada en la Figura 3.
- 40 La función 906 de cálculos usa límites 908 de separación para determinar el perímetro de separación para la aeronave. En otras palabras, los límites 908 de separación pueden definir las dimensiones del perímetro de separación. En una implementación, los límites 908 de separación pueden definir una distancia de separación mínima que se extiende en todas las direcciones. En dicha implementación, el perímetro de separación puede tener la forma de una esfera. En implementaciones adicionales, el perímetro de separación puede configurarse con una diversidad de capas con base en la velocidad de la aeronave, tasa de movimiento de la aeronave y parámetros de distancia temporales.
- 45 La función 906 de cálculos puede configurarse adicionalmente para usar límites 910 de respuesta en el cálculo de comandos de evasión. Los límites 910 de respuesta pueden determinar la prontitud a la cual se llevan a cabo los comandos de evasión. Por ejemplo, los límites 910 de respuesta pueden establecerse de modo que cuando se predice que el punto de aproximación más cercano predicho entre la misma aeronave y una aeronave de tráfico se produce a una distancia de la posición real de la misma aeronave que es sustancialmente igual o mayor que alguna del umbral seleccionado, la función 906 de cálculos puede retrasar la provisión de uno o más comandos de evasión. Por el contrario, si se predice que el punto de aproximación más cercano predicho entre la misma aeronave y la aeronave de tráfico se produce a una distancia de la posición real de la misma aeronave que es menor que el umbral seleccionado, la función 906 de cálculos puede proporcionar inmediatamente uno o más comandos de evasión para la ejecución por el la misma aeronave.
- 50
- 55

- En otras realizaciones, los límites 822 de respuesta también pueden incluir limitaciones de tiempo. Por ejemplo, si el punto de aproximación más cercano es probable que ocurra en el futuro, tal como más allá de un intervalo de tiempo predeterminado, la función 906 de cálculos puede retrasar la ejecución del comando de evasión. Por el contrario, si el punto de aproximación más cercano es inminente en el tiempo, tal como antes de que pase un intervalo de tiempo predeterminado, la función 906 de cálculos puede proporcionar más rápidamente los comandos de evasión para la ejecución.
- De esta manera, la función 906 de cálculos puede iniciar la evasión con base en la inminencia de la colisión potencial con cada una de una diversidad de aeronaves de tráfico. Por ejemplo, la implementación de limitaciones de tiempo como límites 910 de respuesta mediante la función 906 de cálculos puede ser adecuada para la evasión de colisiones entre aeronaves con tiempos de permanencia largos para un punto de aproximación más cercano. Se pueden predecir tiempos de avance más prolongados para un punto de aproximación más cercano entre dos aeronaves que vuelan en formación a corta distancia a lo largo de trayectorias paralelas, arrastrándose unas a otras o dirigiéndose a trayectorias distantes entre sí con punto cercano casi cero de la distancia de aproximación.
- La función 912 de modificación de evasión se puede configurar para asignar ganancia, o pesos de evasión, a uno o más comandos de evasión generados por la función 906 de cálculos. Los pesos de evasión ($K_{p,n}$) se pueden representar por $K_{evasión}$ como se muestra en la Figura 7. Se pueden usar pesos de evasión para determinar la fuerza del comando de evasión.
- La función 912 de modificación de evasión puede aumentar la ganancia en uno o más comandos de evasión a medida que disminuye el punto de aproximación más cercano entre la misma aeronave y una aeronave de tráfico. Por ejemplo, un primer conjunto de cálculos, límites y ganancias de evasión pueden permitir la separación utilizando comandos de evasión de baja ganancia cuando la ruptura predicha de una capa perimetral de separación está lejos del alcance. En otro ejemplo, un segundo conjunto de cálculos, límites y ganancias de evasión puede proporcionar comandos de evasión de alta ganancia para superar los comandos de control normales emitidos por la función 804 de respuesta de vehículo en la Figura 8 cuando la ruptura predicha de la capa del perímetro de separación está cerca.
- De esta manera, la función 906 de cálculos y la función 912 de modificación de evasión pueden aumentar la tendencia de la misma aeronave a alterar su trayectoria de vuelo cuando se acerca a la aeronave de tráfico. Además, se apreciará que la función 912 de modificación de evasión puede configurarse para asignar diferentes ganancias a otros comandos de evasión generados con base en la capa perimetral de separación específica que se está rompiendo.
- En estos ejemplos ilustrativos, la función 914 de modificación de trayectoria incluye algoritmos de ajuste que están configurados para modificar las trayectorias de vuelo generadas por la función 802 generadora de trayectorias. Específicamente, la función 914 de modificación de trayectoria genera cambios para la trayectoria de vuelo, también denominados cambios de trayectoria, con base en los comandos de evasión ponderados y limitados de la función 912 de modificación de evasión. La función 914 de modificación de trayectoria puede entonces integrar el cambio de la trayectoria con una trayectoria generada para producir una nueva trayectoria modificada.
- En algunos ejemplos ilustrativos, la función 912 de modificación de evasión puede emitir comandos de evasión para cambiar el rumbo, la tasa de rumbo, tasas de ascenso y descenso, velocidad, aceleración y/o desaceleración. Los comandos de evasión se convierten entonces en comandos de cambios de trayectoria con base en la ley de dirección para la aeronave, así como en la respuesta deseada de la aeronave a los comandos de dirección.
- Por ejemplo, la ley de dirección de aeronaves puede configurarse para convertir el cambio de rumbo en un comando de tasa de rumbo con base en una ley de control proporcional con ganancia K . En tal caso, cuando se predice que una aeronave de tráfico rompe un perímetro de separación de la misma aeronave, un algoritmo de ajuste de dirección de la función 914 de modificación de trayectoria puede producir un cambio de rumbo, o cambio, dividiendo un comando de tasa de rumbo de evasión de colisión por K . En este caso, la ley de dirección convertirá este resultado a un comando de tasa de rumbo.
- En otro ejemplo ilustrativo, cuando la trayectoria predeterminada generada por la función 802 generadora de trayectoria incluye un conjunto de puntos de referencia, la función 914 de modificación de trayectoria puede incluir un algoritmo de ajuste que mueve el próximo punto de referencia de la trayectoria con base en uno o más comandos de evasión. De esta manera, se puede producir el cambio de rumbo deseado para impedir colisiones en caso de que se rompa un perímetro de separación.
- Después de la modificación de la trayectoria, la nueva trayectoria 916 modificada puede pasar a implementar la función 804 de respuesta del vehículo en la Figura 8. La función 804 de respuesta del vehículo puede incluir las leyes de dirección y la respuesta del vehículo. De esta manera, el módulo 806 de evasión de colisiones puede impedir colisiones sin necesidad de modificar los comandos de control de la aeronave, como se describe en la Figura 4. En otras palabras, el módulo 806 de evasión de colisiones puede implementarse como una función separada fuera de las funciones de control de dirección y vuelo para una aeronave, tal como la función 802 generadora de trayectoria exterior y la función 804 de respuesta de vehículo.
- Se apreciará que el módulo 806 de evasión de colisiones puede configurarse para monitorizar continuamente las trayectorias de la misma aeronave y la aeronave de tráfico y predecir futuras "rupturas" del perímetro de separación

utilizando los cálculos de evasión del punto de aproximación más cercano entre la aeronave. En respuesta, la función 914 de modificación de trayectoria puede hacer ajustes continuamente a la trayectoria de vuelo siempre que se pronostique la generación de "rupturas" para asegurar que se mantenga la separación adecuada entre las aeronaves.

5 Con referencia ahora a la Figura 10, se representa una ilustración de un generador de trayectoria dinámica de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, el generador 1002 de trayectorias dinámicas puede ser un generador de trayectorias con base en el punto de partida configurado para proporcionar trayectorias de vuelo "descontextualizadas" para una diversidad de aeronaves. Una trayectoria de vuelo descontextualizada para una aeronave es una trayectoria de vuelo a lo largo de la cual no se prevén posibles rupturas del perímetro de separación. En otras palabras, las trayectorias de la aeronave suministradas por el generador 1002 de trayectoria dinámica están configuradas para mantener los niveles deseados de separación entre la aeronave en todo momento.

10 Específicamente, las trayectorias descontextualizadas pueden generarse ejecutando trayectorias óptimas pero conflictivas independientemente a través de una simulación que contiene patrones de la dinámica del vehículo, sus respectivas leyes o mecanismos de control de separación y predicciones de viento. El procesamiento de estas trayectorias mediante el generador 1002 de trayectoria dinámica proporciona las trayectorias descontextualizadas.

15 Por ejemplo, el generador 1002 de trayectoria dinámica puede configurarse para recibir datos que incluyen conocimiento 1004 de tráfico, límites 1006 de separación, límites 1008 de respuesta, tiempo 1010 a futuro, predicciones 1012 de viento y patrones 1014 de aeronave. A su vez, generador 1002 de trayectoria dinámica puede generar una diversidad de trayectorias de vuelo de la aeronave con base en los cálculos del punto de aproximación más cercano. Estas trayectorias de vuelo pueden incluir trayectorias tridimensionales, así como trayectorias tetradimensionales que dictan las posiciones de la aeronave en un momento determinado.

20 El conocimiento 1004 del tráfico puede incluir posiciones y trayectorias de vuelo de una diversidad de aeronaves de tráfico. En estos ejemplos ilustrativos, el conocimiento 1004 de tráfico puede incluir datos de tráfico recibidos de un Sistema de alerta de tráfico y evasión de colisión (TCAS), un sistema de vigilancia dependiente automática (ADS), un sistema de control de tráfico aéreo terrestre (ATC) o sistemas de sensores de vigilancia de tráfico a bordo de aeronaves, así como otros sistemas de detección de tráfico aéreo. En otras realizaciones, el conocimiento 1004 de tráfico puede incluir trayectorias de vuelo de los planes de vuelo, trayectorias de vuelo predichas a partir de posiciones y velocidades de aeronaves actuales, y otras trayectorias de vuelo predeterminadas.

25 Los límites 1006 de separación pueden definir las dimensiones de los perímetros de separación para la diversidad de aeronaves. En un ejemplo ilustrativo, los límites 1006 de separación pueden definir una distancia de separación mínima para cada aeronave que se extiende en todas las direcciones. En dicha implementación, el perímetro de separación puede tener la forma de una esfera.

30 Por ejemplo, se puede establecer un perímetro de separación con base en la distancia de separación de una milla en todas las direcciones. En este ejemplo, se considera que una aeronave de tráfico ha "roto" un perímetro de separación si la aeronave de tráfico está más cerca de una milla en el punto de aproximación más cercano. En otros ejemplos ilustrativos, los límites 1006 de separación pueden configurarse para proporcionar otras formas de perímetro de separación, así como también múltiples capas de separación, como se describió anteriormente.

35 Los límites 1008 de respuesta pueden determinar la prontitud con que se llevan a cabo los comandos de evasión. En algunos ejemplos ilustrativos, los límites 1008 de respuesta pueden incluir limitaciones de tiempo para la ejecución de comandos de evasión.

40 El tiempo 1010 futuro incluye horizontes de tiempo específicos para los cuales el generador 1002 de trayectoria dinámica debe generar las trayectorias de vuelo para una diversidad de aeronaves. Las predicciones 1012 de viento incluyen datos de viento que pueden ser utilizados por el generador 1002 de trayectoria dinámica para trazar las trayectorias de vuelo. En algunos ejemplos ilustrativos, las predicciones 1012 de vientos pueden obtenerse a partir de informes meteorológicos aeronáuticos tales como informes METAR, pronósticos de aeródromos terminales (TAF) del Servicio Meteorológico Nacional (NWS), así como otras fuentes de informes meteorológicos.

45 Los patrones 1014 de aeronave pueden incluir datos de rendimiento de la aeronave. Dichos datos de rendimiento pueden incluir leyes de dirección de aeronaves, leyes de control de aeronaves y capacidades y dinámica de rendimiento.

50 El generador 1002 de trayectoria dinámica puede ejecutar simulaciones usando conocimiento 1004 de tráfico, límites 1006 de separación, límites 1008 de respuesta, tiempo 1010 futuro, predicción 1012 de vientos y patrones 1014 de aeronave para generar trayectorias de vuelo descontextualizada para una diversidad de aeronaves. Por ejemplo, las trayectorias de vuelo derivadas del conocimiento 1004 de tráfico pueden usarse por el generador 1002 de trayectoria dinámica para predecir si en su punto de aproximación más cercano, se espera que una diversidad de aeronaves "rompa" un perímetro de separación predeterminado como lo determinan los límites 1006 de separación.

55 Con base en estas predicciones, el generador 1002 de trayectoria dinámica puede cambiar las trayectorias de vuelo para generar trayectorias sin conflictos que eviten estas rupturas de perímetro de separación. En diversas implementaciones, las simulaciones pueden realizarse usando las ecuaciones ilustrativas que se muestran en la Figura

7. Además, el generador 1002 de trayectoria dinámica puede configurarse para usar los límites 1008 de respuesta para reajustar los cambios de trayectoria. En algunas implementaciones, el generador 1002 de trayectoria dinámica también puede dar cuenta de las predicciones 1012 de viento. Por ejemplo, los cambios de trayectoria pueden modificarse usando predicciones 1012 de viento para contrarrestar y/o anular los efectos indeseados del viento en las trayectorias de vuelo. En realizaciones adicionales, el generador 1002 de trayectoria dinámica también puede tomar en consideración los patrones 1014 de aeronave para diseñar trayectorias de vuelo que se ajusten a las capacidades de rendimiento de la aeronave.
- Una vez que se han determinado las trayectorias desactualizadas para una diversidad de aeronaves, el generador 1002 de trayectoria dinámica puede usar patrones 1014 de aeronave para traducir las trayectorias descontextualizadas en comandos de control para la implementación dentro de cada una de la diversidad de aeronaves. Los comandos de control pueden incluir comandos de cambio de tasa de rumbo, comandos de modificación de velocidad de ascenso o descenso, comandos de aceleración y desaceleración y otros comandos de dirección tales como los comandos de velocidad, altitud y alteración del rumbo.
- Alternativamente, el generador 1002 de trayectoria dinámica puede proporcionar las trayectorias de vuelo a la aeronave para su implementación mediante un piloto automático o sistema de gestión de vuelo a bordo de cada aeronave. Por ejemplo, las trayectorias de vuelo pueden proporcionarse a la aeronave 1016, la aeronave 1018, la aeronave 1020 y la aeronave 1022. Se apreciará que las simulaciones pueden ejecutarse continuamente por el generador 1002 de trayectoria dinámica hacia un horizonte temporal específico usando información real del estado de la aeronave y propuestas o intenciones de trayectorias.
- Con referencia ahora a la Figura 11, se representa una ilustración de un sistema para proporcionar evasión de colisión a una aeronave de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, el sistema 1100 incluye el módulo 1102 de control de vuelo y el módulo 1104 de evasión de colisión. El módulo 1102 de control de vuelo puede implementarse utilizando uno o más sistemas 502 de navegación, piloto 506 automático y/o director 508 de vuelo en la Figura 5. Además, colisión el módulo 1104 de evasión puede implementarse usando el módulo 524 de evasión de colisiones en la Figura 5, el módulo 604 de evasión de colisiones en la Figura 6 y/o el módulo 806 de evasión de colisiones en la Figura 8.
- En este ejemplo ilustrativo, la lógica de control que se representa en el módulo 1102 de control de vuelo y el módulo 1104 de evasión de colisión se usa para generar comandos de aceleración de ascenso para controlar la altitud de una aeronave en la que se implementa el sistema 1100.
- Como se representa, el módulo 1102 de control de vuelo resta la altitud 1106 medida del comando 1108 de altitud real usando el sustractor 1109 para generar el resultado 1110. La altitud 1106 medida puede ser la altitud de la aeronave detectada y/o medida usando sensores a bordo de la aeronave.
- El comando 1108 de altitud real es la altitud para la aeronave que actualmente es seleccionada por un piloto de la aeronave y/o el piloto automático para la aeronave. Por ejemplo, el comando 1108 de altitud real puede generarse por el piloto 506 automático, el director 508 de vuelo, y/o el piloto de la aeronave en el que se implementa el sistema 500 de aviónica.
- El resultado 1110 se envía al componente 1112 de compensación de altitud. El componente 1112 de compensación de altitud se configura para generar el comando 1114 de aceleración de ascenso para la aeronave. En este ejemplo ilustrativo, un comando de aceleración de ascenso es un comando que se envía a los actuadores para las superficies de control de vuelo de la aeronave para lograr la aceleración de ascenso deseada. Además, en este ejemplo representado, la compensación en el componente 1112 de compensación de altitud se puede establecer en una ganancia, k_a .
- La aceleración de ascenso deseada es la aceleración que hace que la aeronave suba o descienda a la altitud indicada por el comando 1108 de altitud real. De esta manera, el comando 1114 de aceleración de ascenso está configurado para hacer que la aeronave ascienda o descienda con la aceleración deseada para tener en cuenta la desviación en la altitud 1106 medida y el comando 1108 de altitud real.
- La primera función 1116 de límite se aplica al comando 1114 de aceleración de ascenso para generar el primer comando 1118 de aceleración limitado. La primera función 1116 de límite está configurada para limitar el comando 1114 de aceleración de ascenso. Como un ejemplo ilustrativo, la primera función 1116 de límite puede establecerse para reducir y/o impedir la posibilidad de una calidad de recorrido no deseada para los pasajeros durante el vuelo de la aeronave.
- En este ejemplo ilustrativo, la tasa 1120 de ascenso medida es la velocidad de ascenso para la aeronave según se detecta y/o mide utilizando sensores a bordo de la aeronave. La tasa 1120 de ascenso medida se resta del comando 1122 de velocidad de ascenso real usando el restador 1123 para generar el resultado 1124.
- El comando 1122 de velocidad de ascenso real es la velocidad de ascenso para la aeronave que actualmente es seleccionada por un piloto de la aeronave y/o el piloto automático para la aeronave. Por ejemplo, el comando 1122 de

velocidad de ascenso real puede generarse por el piloto 506 automático, el director 508 de vuelo y/o el piloto de la aeronave en el que se implementa el sistema 500 de aviónica.

5 Como se representa, el resultado 1124 se envía al componente 1126 de compensación de la velocidad de ascenso. El componente 1126 de compensación de la velocidad de ascenso se configura para generar el comando 1128 de aceleración de ascenso para la aeronave. En este ejemplo ilustrativo, la compensación en el comando 1126 de compensación de velocidad de ascenso se define en una ganancia, k_r . El comando 1128 de aceleración de ascenso está configurado para hacer que la aeronave ascienda o descienda con una aceleración de ascenso deseada para tener en cuenta la diferencia entre la tasa 1120 de ascenso medida y el comando 1122 de velocidad de ascenso real.

10 En este ejemplo ilustrativo, la segunda función 1130 de límite se aplica al comando 1128 de aceleración de ascenso para generar el segundo comando 1132 de aceleración limitado. La segunda función 1130 de límite está configurada para limitar el comando 1114 de aceleración de ascenso.

15 Cuando se considera que la altitud 1106 medida y la tasa 1120 de ascenso medida tienen una magnitud de respuesta unitaria y con la ganancia de compensación de altitud que se define en k_a y la ganancia de compensación de la velocidad de ascenso que se define en k_r , la respuesta no limitada al comando 1108 de altitud real se simplifica de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Altitud}}{\text{Comando de Altitud}} = \frac{k_a}{s^2 + k_r s + k_a} \quad (13)$$

donde la altitud es la altitud 1106 medida y el comando de altitud es el comando 1108 de altitud real.

20 En el ejemplo que se representa, la tasa 1120 de ascenso medida también es utilizada por el componente 1134 de ascenso de altitud en el módulo 1104 de evasión de colisión. El componente 1134 de ascenso de altitud utiliza la tasa 1120 de ascenso medida y un tiempo hasta el punto de aproximación más cercano entre la aeronave y otra aeronave identificada como una aeronave de tráfico para generar distancia 1136 de ascenso de altitud. En este ejemplo ilustrativo, el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano es el período de tiempo entre el momento real y el tiempo en que se predice que ocurrirá el punto de aproximación más cercano.

25 La distancia 1136 de ascenso de altitud puede ser la distancia en altitud que se prevé escalar durante el período de tiempo entre el tiempo real al que se mide la tasa 1120 de ascenso medida y el tiempo del punto de aproximación más cercano. En algunos ejemplos ilustrativos, la distancia 1136 de ascenso de altitud puede ser un valor negativo. En estos casos, se predice que la aeronave descenderá por la magnitud de la distancia de ascenso de altitud.

30 El sumador 1138 en el módulo 1104 de evasión de colisión está configurado para añadir una distancia 1136 de ascenso de altitud a la altitud medida 1106 para generar la altitud 1140 predicha. La altitud 1140 predicha es la altitud predicha para la aeronave en el momento del punto aproximación más cercano de entre la aeronave y la aeronave de tráfico.

35 Como se representa, el restador 1142 en el módulo 1104 de evasión de colisión está configurado para restar la altitud 1144 de tráfico predicha de la altitud 1140 predicha para generar la distancia 1146 de error. La altitud 1144 de tráfico prevista es la altitud prevista para la aeronave de tráfico. La altitud 1144 de tráfico prevista puede basarse en el plan de vuelo obtenido para la aeronave de tráfico, datos de seguimiento, datos de sensores, información recibida a partir de un sistema de evasión de colisiones de tráfico, datos compartidos de la aeronave de tráfico y/u otra información adecuada.

40 La distancia 1146 de error es la distancia de altitud entre la aeronave y la aeronave de tráfico predicha en el momento del punto de aproximación más cercano. Cuando la distancia 1146 de error es positiva en este ejemplo, la aeronave de tráfico puede estar debajo de la aeronave. Cuando la distancia 1146 de error es negativa, la aeronave de tráfico puede estar encima de la aeronave.

El componente 1148 de valor absoluto está configurado para generar una 1150 distancia de error absoluta usando la distancia 1146 de error. La distancia 1150 de error absoluto es el valor absoluto de la distancia 1146 de error en este ejemplo ilustrativo.

45 En este ejemplo ilustrativo, el módulo 1104 de evasión de colisión está configurado para determinar si la distancia 1146 de error proporciona el nivel deseado de separación. En particular, el nivel deseado de separación es un nivel de separación impuesto, tal como el nivel 140 impuesto de separación en la Figura 1. En otras palabras, el módulo 1104 de evasión de colisiones determina si la distancia 1146 de error es sustancialmente igual a al menos la distancia que proporciona el nivel impuesto de separación.

50 Como se representa, el módulo 1104 de evasión de colisiones usa la distancia 1152 requerida y la incertidumbre 1154 para identificar la distancia para el nivel de separación impuesto. La incertidumbre 1154 es una estimación de la incertidumbre presente en el cálculo de la altitud 1140 predicha para el tiempo del punto de aproximación más cercano que se predice.

El módulo 1104 de evasión de colisiones aplica la ganancia 1156 a la incertidumbre 1154 para generar el resultado 1158. El resultado 1158 se suma a la distancia 1152 requerida usando el sumador 1160 para generar la distancia 1162 segura. La distancia 1162 segura se divide entonces por una ganancia de respuesta en estado estable en el componente 1164 de estado estable para generar la distancia 1166 impuesta. La distancia 1166 impuesta es la distancia deseada que define el límite para el nivel de separación impuesto.

En este ejemplo representado, la ganancia de respuesta de estado estable se define de la siguiente manera:

$$C = \frac{K_p s + K_I (1 + b K_p)}{s + b K_I} \quad , \text{ donde} \quad (14)$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} (C) = \frac{1}{b} + K_p \quad , \text{ y} \quad (15)$$

donde C es la ganancia de respuesta de estado estable, Kp es una ganancia proporcional, Ki es una ganancia integral, b es una ganancia de fuga integral, y s es una variable compleja.

En este ejemplo ilustrativo, el módulo 1104 de evasión de colisiones resta la distancia 1150 de error absoluto a partir de la distancia 1166 impuesta usando el restador 1167 para generar el resultado 1168 de distancia. El módulo 1104 de evasión de colisiones utiliza la función 1170 para procesar el resultado 1168 de distancia.

En particular, la función 1170 genera la distancia 1172 de recuperación en función de si el resultado 1168 de distancia es mayor que cero. La distancia 1172 de recuperación es la distancia necesaria para proporcionar el nivel de separación deseado. Cuando el resultado 1168 de la distancia es sustancialmente igual a cero o menor que cero, la distancia 1172 de recuperación puede ser un valor cero o nulo. En otras palabras, cuando el resultado 1168 de distancia es sustancialmente igual a cero o menor que cero, el nivel de separación deseado está presente.

Si el resultado 1168 de la distancia es mayor que cero, la distancia 1172 de recuperación es un valor positivo igual a la distancia necesaria para recuperar el nivel deseado de separación. En otras palabras, cuando el resultado 1168 de la distancia es mayor que cero, se predice que el nivel deseado de separación estará ausente en el momento del punto de aproximación más cercano.

En este ejemplo ilustrativo, la distancia 1172 de recuperación se procesa utilizando el componente 1174 de comando de velocidad de ascenso. El componente 1174 de comando de velocidad de ascenso aplica el signo de distancia 1146 de error a la distancia 1172 de recuperación y luego divide este valor por el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano para las dos aeronaves para generar el comando 1176 de velocidad de ascenso.

Un valor positivo para el comando 1176 de velocidad de ascenso indica que la aeronave necesita ascender para tener el nivel de separación deseado. Un valor negativo para el comando 1176 de velocidad de ascenso indica que la aeronave necesita descender para tener el nivel de separación deseado. Un valor cero para el comando 1176 de velocidad de ascenso indica que ya está presente el nivel deseado de separación.

Como se representa, la cuarta función 1178 de límite se aplica al comando 1176 de velocidad de ascenso para generar el comando 1180 de velocidad de ascenso limitado. La cuarta función 1178 de límite está configurada para asegurar que el comando no haga que la aeronave ascienda o descienda más rápidamente que lo deseado.

En un ejemplo ilustrativo, cuando se predice la pérdida de separación, la cuarta función 1178 de límite puede establecerse a un valor que es mayor que la primera función 1116 de límite y/o la tercera función 1190 de límite para producir un comando de estado estable para un comando 1180 de velocidad de ascenso limitada.

El comando 1180 de velocidad de ascenso limitado se envía al componente 1182 de compensación de separación. El componente 1182 de compensación de separación se configura para generar el comando 1184 de aceleración de ascenso usando el comando 1180 de velocidad de ascenso limitado. El comando 1184 de aceleración de ascenso está configurado para tomar en cuenta si el nivel deseado de separación se predice que estará presente en el momento del punto de aproximación más cercano.

En este ejemplo representado, la cuarta función 1178 de límite puede ajustarse de manera que el comando 1184 de aceleración de ascenso sea mayor que el comando 1114 de aceleración de ascenso. De esta manera, la aeronave puede controlarse alejándose de la trayectoria real a pesar del comando 1108 de altitud real.

En este ejemplo ilustrativo, el comando 1184 de aceleración de ascenso, el comando 1114 de aceleración de ascenso y el comando 1128 de aceleración de ascenso se suman usando el sumador 1186 para generar el comando 1188 de aceleración de ascenso final. La tercera función 1190 de límite se aplica al comando 1188 de aceleración de ascenso final para generar el comando 1192 de aceleración de ascenso final limitado. La tercera función 1190 de límite se puede definir a un valor para el rendimiento seguro máximo de la aeronave. En otras palabras, la tercera función 1190

de límite puede limitar el comando 1192 de aceleración de ascenso final limitado de manera que el comando 1192 de aceleración de ascenso final limitado no ocasione que la aeronave maniobre de una manera no deseada.

5 El comando 1192 de aceleración de ascenso final limitado puede enviarse, por ejemplo, al piloto automático de la aeronave y/o a un sistema de gestión de vuelo de la aeronave. De esta manera, el comando de aceleración de ascenso final limitado es un comando de control final para la aeronave. Estos sistemas pueden controlar los actuadores de las superficies de control de vuelo de la aeronave utilizando el comando 1192 de aceleración de ascenso final limitado.

10 Como se representa, el componente 1194 de respuesta de aeronave es la respuesta real de la aeronave al comando 1192 de aceleración de ascenso final limitado. En este sistema de control, la salida del componente 1194 de respuesta de aeronave puede ser la tasa 1195 de ascenso real y la altitud 1196 real de la aeronave. El componente 1197 de sensor puede medir la velocidad de ascenso de la aeronave para generar la tasa 1120 de ascenso medida. El componente 1198 de sensor puede medir la altitud de la aeronave para generar la altitud 1106 medida.

15 En este ejemplo ilustrativo, la primera función 1116 de límite, la segunda función 1130 de límite, la tercera función 1190 de límite y la cuarta función 1178 de límite pueden ajustarse para proporcionar el valor deseado para el comando 1188 de aceleración final de ascenso. En particular, estos valores pueden ajustarse para colocar los límites deseados en los diferentes comandos de aceleración de ascenso utilizados para formar el comando 1188 de aceleración de ascenso final.

De esta manera, el sistema 1100 proporciona a la aeronave la capacidad de alterar su trayectoria de vuelo cuando la distancia de error predicha en el punto de aproximación más cercano no proporciona el nivel deseado de separación entre la aeronave y una aeronave de tráfico.

20 Con referencia ahora a la Figura 12, se representa una ilustración de un componente de compensación de separación de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, se representa con mayor detalle el componente 1182 de compensación de separación de la Figura 11.

25 Como se representa, el componente 1182 de compensación de separación incluye ganancia 1202 proporcional, componente 1204 de ganancia integral, ganancia 1206 de fuga integral y sumador 1208. En este ejemplo ilustrativo, la salida de ganancia 1206 de fuga integral se resta a partir del comando 1180 de velocidad de ascenso limitado de la Figura 11 usando el restador 1209 para generar el resultado 1210. El componente 1204 de ganancia integral se aplica al resultado 1210 para generar el resultado 1211. La ganancia 1206 de fuga integral se aplica al resultado 1211 para generar la salida 1212 que se resta del comando 1180 de velocidad de ascenso limitado.

30 Además, la ganancia 1202 proporcional se aplica al comando 1180 de velocidad de ascenso limitado para generar el resultado 1214. El resultado 1211 y el resultado 1214 se suman usando el sumador 1208 para formar el comando 1184 de aceleración de ascenso, como se describe en la Figura 11.

35 Con el sistema 1100 de la Figura 11 y el componente 1182 de compensación de separación en las Figuras 11 y 12, la distancia 1172 de recuperación puede integrarse con una tasa de salida limitada por la cuarta función 1178 de límite. El comando 1184 de aceleración de ascenso puede alejar a la aeronave de la altitud comandada por el comando 1108 de altitud real. Sin embargo, el comando 1184 de aceleración de ascenso puede competir con el comando 1114 de aceleración de ascenso y anula el comando 1114 de aceleración de ascenso cuando el comando 1114 de aceleración de ascenso alcanza el límite especificado por la primera función 1116 de límite.

40 Alternativamente, la retroalimentación proporcionada por el módulo 1104 de evasión de colisión puede configurarse para anular el comando 1114 de aceleración de ascenso definiendo una ganancia para el comando 1114 de aceleración de ascenso a cero o limitando el comando 1114 de aceleración de ascenso de manera que el comando 1184 de aceleración de ascenso generado por el módulo 1104 de evasión de colisión permite recuperar el nivel deseado de separación.

En estos ejemplos ilustrativos, la función de respuesta de transferencia de la distancia 1146 de error a la distancia 1166 impuesta puede darse por la siguiente ecuación:

$$45 \quad \frac{m}{m_{\text{impuesto}}} = \frac{C \left(s + \frac{1}{i_{cpa}} \right)}{s^2 + (k_r + C)s + \left(k_a + \frac{C}{i_{cpa}} \right)} \quad (16)$$

Además, cuando se limita la compensación de altitud, la función de respuesta de transferencia puede ser:

$$\frac{m}{m_{\text{impuesto}}} = \frac{C \left(s + \frac{1}{t_{cpa}} \right)}{s^2 + (k_r + C)s + \frac{C}{t_{cpa}}} \quad (17)$$

Cuando dos aeronaves están volando en el espacio aéreo, el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano entre las dos aeronaves puede ser inicialmente grande. Como resultado, la función de respuesta de transferencia se puede aproximar mediante la siguiente ecuación:

5
$$\frac{m}{m_{\text{impuesto}}} = \frac{C}{s + k_r + C} \quad (18)$$

$$\frac{m}{m_{\text{impuesto}}} = \frac{(K_p s + K_I) + b K_I K_p}{(s^2 + (k_r + K_p)s + K_I) + b K_I (s + K_p + k_r)} \quad (19)$$

En un ejemplo ilustrativo, la ganancia integral, K_I , se puede definir de la siguiente manera:

$$K_I = k_r K_p \quad \text{la cual puede producir} \quad (20)$$

$$\frac{m}{m_{\text{impuesto}}} = \frac{K_p (s + k_r (1 + b K_p))}{(s + K_p)(s + k_r) + b k_r K_p (s + K_p + k_r)} \quad (21)$$

10 Si la ganancia de fuga integral, b , se define en cero, entonces la función de respuesta de transferencia puede convertirse en:

$$\frac{m}{m_{\text{impuesto}}} = \frac{K_p}{s + K_p} \quad (22)$$

15 Utilizando esta relación, la ganancia proporcional, K_p , puede definirse para establecer la constante de tiempo de la respuesta para mantener un nivel de separación deseado. Por ejemplo, en un ejemplo ilustrativo, la ganancia de fuga integral, b , puede definirse de la siguiente manera:

$$b = \frac{1}{k_r} \quad \cdot \text{ entonces} \quad (23)$$

$$\frac{m}{m_{\text{impuesto}}} = \frac{K_p (s + k_r + K_p)}{(s + K_p)(s + k_r) + K_p (s + K_p + k_r)} \quad (24)$$

en la que la ganancia de respuesta de estado estable es la siguiente:

$$C_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{m}{m_{\text{impuesto}}} \right) = \frac{1}{1 + \frac{k_r}{K_p + k_r}} \quad (25)$$

20 En este ejemplo ilustrativo, la ganancia proporcional, K_p , se puede representar como un factor de k_r . En particular,

$$K_p = k k_r, \quad \text{lo cual produce} \quad (26)$$

$$C_{ss} = \frac{1+k}{2+k} \quad (27)$$

donde k es un factor de ganancia seleccionado para k_r .

En este ejemplo, la ganancia de respuesta de estado estable es menor que uno. Como resultado, la distancia 1166 impuesta puede definirse a un valor mayor que la magnitud de la distancia 1162 segura cuando la distancia 1162 segura se divide por la ganancia de respuesta de estado estable usando el componente 1164 de estado estable.

5 Con una distancia 1166 impuesta mayor, se puede impedir que la aeronave este en un ciclo repetitivo entre realizar una maniobra de escape para alterar su trayectoria de vuelo real y volver al vuelo real para mantener su trayectoria de vuelo deseada. En particular, la distancia 1166 impuesta se define de manera que la condición de estado estable pueda permanecer dentro de este límite.

10 En estos ejemplos ilustrativos, aumentar la ganancia proporcional, K_p , puede reducir el error de estado estable para el módulo 1104 de evasión de colisiones y puede aumentar la capacidad de respuesta de la maniobra para alcanzar un nivel de separación deseado que se prevé como ausente en el momento del punto de aproximación más cercano.

15 Adicionalmente, en estos ejemplos ilustrativos, se pueden seleccionar diversos parámetros usados en el módulo 1104 de evasión de colisiones de manera que la respuesta deseada de la aeronave al comando 1192 de aceleración de ascenso final limitado sea la respuesta deseada. Por ejemplo, el valor del tiempo hasta el punto de aproximación más cercano puede estar limitado de modo que la ganancia resultante del componente 1174 de compensación de la velocidad de ascenso también sea limitada.

20 Como otro ejemplo, la ganancia proporcional, K_p , la ganancia integral, K_i , y el factor de ganancia seleccionado, k , se pueden seleccionar de manera que la aeronave responda al comando 1192 de aceleración de ascenso final limitado de la manera deseada. Por supuesto, dependiendo de la implementación, el módulo 1104 de evasión de colisiones puede diseñarse con valores y/o límites para cualquier número de parámetros para los diferentes componentes dentro del módulo 1104 de evasión de colisiones, de modo que la aeronave maniobre como se desea.

25 La ilustración del sistema 1100 en la Figura 11 y el componente 1182 de compensación de separación en la Figura 12 no implican limitaciones físicas o arquitectónicas a la manera en la que puede implementarse una realización ventajosa. Se pueden usar otros componentes además y/o en lugar de los ilustrados. Algunos componentes pueden ser innecesarios. Además, aunque se ha mostrado el sistema 1100 se para la altitud, la compensación en otras direcciones se puede implementar de manera similar.

Con referencia ahora a la Figura 13, se representa una ilustración de un encuentro entre dos aeronaves de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, la aeronave 1300 y la aeronave 1302 de tráfico están volando en el espacio aéreo.

30 Como se representa, la magnitud del vector 1304 de rango, R indica la distancia real entre la aeronave 1300 y la aeronave 1302 de tráfico. La magnitud del vector de distancia 1306 de error es la distancia de error en el punto de aproximación más cercano predicho para la aeronave 1300 y la aeronave 1302 de tráfico. En otras palabras, la magnitud del vector 1306 de distancia de error es la distancia predicha entre la aeronave 1300 y la aeronave 1302 de tráfico en el punto de aproximación más cercano. Además, la magnitud del vector 1308 de velocidad relativa, V_{rel} , es la velocidad de la aeronave 1300 con respecto a la aeronave 1302 de tráfico.

35 En este ejemplo ilustrativo, la dirección del vector 1308 de velocidad relativa puede cambiarse para aumentar la distancia de error. Por ejemplo, la aeronave 1300 puede maniobrar en alguna combinación de la dirección del vector 1310, y la dirección del vector 1312, (V_{relXR}). Estos dos vectores, vector 1310 y vector 1312, son vectores ortogonales en este ejemplo. El vector 1312 es el vector de producto cruzado del vector 1308 de velocidad relativa y el vector 1304, o $V_{rel} \times R$. El vector 1310 es el vector de producto cruzado del vector 1308 de velocidad relativa y el vector 1312, o $V_{rel} \times V_{rel} \times R$.

La dirección del vector 1310 puede ser sustancialmente la misma que la dirección del vector 1306 de distancia de error. Al alterar la trayectoria de vuelo de la aeronave 1300 para proporcionar el nivel deseado de separación cambiando la velocidad relativa de la aeronave 1300 en la dirección del vector 1310 puede requerir un cambio menor en la velocidad que el cambio de la velocidad relativa de la aeronave 1300 en la dirección del vector 1312.

45 Además, al cambiar la dirección de la velocidad relativa de la aeronave 1300 en la dirección del vector 1312 puede provocar que el movimiento relativo de la aeronave 1300 se mueva de forma espiral alrededor de la aeronave 1302 de tráfico de una manera no deseada. En algunos ejemplos ilustrativos, la dirección del vector 1310 puede estar en una dirección restringida cuando se vuela. En estos casos, la aeronave puede maniobrar en la dirección del vector 1312 hasta que la restricción haya sido liberada.

50 Por supuesto, se pueden tener en cuenta otros factores cuando se selecciona una dirección para la maniobra de una aeronave. Por ejemplo, una aeronave puede ser capaz de cambiar la velocidad más rápidamente en una cierta dirección en comparación con otras direcciones. Por ejemplo, una aeronave puede ser más eficientemente capaz de descender en comparación con girar.

55 Con referencia ahora a la Figura 14, se representa una ilustración de otro encuentro entre dos aeronaves de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, el encuentro entre la aeronave 1400 y la aeronave 1402 de

tráfico es un encuentro de distancia de error cero. En otras palabras, la distancia prevista entre la aeronave 1400 y la aeronave 1402 de tráfico en el momento al punto de aproximación más cercano puede ser sustancialmente cero.

5 Como se representa, la aeronave 1400 tiene un vector 1404 de velocidad, V . La aeronave 1402 de tráfico tiene un vector 1406 de velocidad, $V_{\text{tráfico}}$. Además, la magnitud del vector 1408 de velocidad relativa es la velocidad relativa de la aeronave 1400 con respecto a la aeronave 1402 de tráfico. La magnitud del vector 1410 de rango, R , es la distancia real entre la aeronave 1400 y la aeronave 1402 de tráfico.

10 En este ejemplo ilustrativo, cuando el vector 1408 de velocidad relativa es casi cero o cuando el vector 1408 de velocidad relativa y el vector 1410 de rango están sustancialmente alineados o casi alineados, el vector de producto cruzado del vector 1408 de velocidad relativa y el vector 1410 de rango, $V_{\text{rel}} \times R$, y el vector de producto cruzado del vector 1408 de velocidad relativa y el vector 1410 de rango, $V_{\text{rel}} \times R$, pueden estar sustancialmente a cero o cerca de cero. Si $V_{\text{rel}} \times R$ es sustancialmente cercano a cero, se puede usar el vector 1404 de velocidad de la aeronave 1400 en lugar del vector 1408 de velocidad relativa hasta que el $V_{\text{rel}} \times R$ ya no esté cerca de cero.

15 Para proporcionar el nivel de separación deseado, la aeronave 1400 puede cambiar su trayectoria de vuelo moviéndose en una dirección que es una combinación de la dirección para el vector 1412, y la dirección para el vector 1414. El vector 1414 es el vector de producto cruzado del vector 1410 de rango y el vector 1404 de velocidad, o $R \times V$. El vector 1412 es el producto cruzado del vector 1410 de rango y el vector 1414, o $R \times (R \times V)$. En este ejemplo ilustrativo, la dirección preferida puede ser la dirección para el vector 1412.

20 Con referencia ahora a la Figura 15, se representa una ilustración de un encuentro entre dos aeronaves de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, el encuentro entre la aeronave 1500 y la aeronave 1502 es un encuentro de velocidad relativa cero. En otras palabras, la velocidad relativa entre la aeronave 1500 y la aeronave 1502 es sustancialmente cero.

25 Por ejemplo, la aeronave 1500 y la aeronave 1500 pueden viajar a lo largo de trayectorias de vuelo sustancialmente paralelas. Como se representa, la aeronave 1500 tiene un vector 1504 de velocidad, V , y la aeronave 1502 tiene un vector 1506 de velocidad, $V_{\text{tráfico}}$.

En este ejemplo, el vector 1504 de velocidad y el vector 1506 de velocidad tienen sustancialmente la misma magnitud y sustancialmente la misma dirección. En otras palabras, la velocidad relativa para la aeronave 1500 con respecto a la aeronave 1502 es sustancialmente cero en este ejemplo ilustrativo. Como se representa, la magnitud del vector 1508 de rango, R , es la distancia real entre la aeronave 1500 y la aeronave 1502.

30 Para proporcionar el nivel de separación deseado, la aeronave 1500 puede cambiar su trayectoria de vuelo moviéndose en una dirección que es una combinación de la dirección para el vector 1510, $R \times (R \times V)$, y la dirección para el vector 1512, $R \times V$. En este ejemplo ilustrativo, la dirección preferida puede ser la dirección del vector 1510. El vector 1512 es el vector de producto cruzado del vector 1508 de rango y el vector 1504 de velocidad o $R \times V$. El vector 1510 es el producto cruzado del vector 1508 de rango y el vector 1512, o $R \times (R \times V)$.

35 En algunos casos, la dirección preferida puede ser el signo del producto escalar del vector 1508 de rango y el vector 1504 de velocidad para la aeronave 1500 multiplicado por el vector 1504 de velocidad. De esta manera, la aeronave 1500 puede pasar la aeronave 1502 de tráfico o ir detrás de la aeronave 1502 de tráfico.

40 Con referencia ahora a la Figura 16, se representa una ilustración de un encuentro entre dos aeronaves de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, el encuentro entre la aeronave 1600 y la aeronave 1602 puede ser un encuentro de frente o sobrepaso. En otras palabras, la aeronave 1600 y la aeronave 1602 pueden estar volando una hacia la otra.

45 En este ejemplo ilustrativo, la aeronave 1600 tiene un vector 1604 de velocidad, V , y la aeronave 1602 tiene un vector 1606 de velocidad, $V_{\text{tráfico}}$. La magnitud del vector 1608 de velocidad relativa es la velocidad relativa de la aeronave 1600 con respecto a la aeronave 1602. La magnitud del vector 1610 de rango, R , es la distancia real entre la aeronave 1600 y la aeronave 1602.

50 Con este tipo de encuentro, tanto el producto cruzado del vector 1608 de velocidad relativa como el vector 1610 de rango, o $V_{\text{rel}} \times R$, y el producto cruzado del vector 1610 de rango y el vector 1604 de velocidad, o $R \times V$, son sustancialmente cero. Como resultado, las direcciones del vector 1612, $R \times (-R \times Z)$ y el vector 1614, $R \times Z$, se pueden usar para realizar maniobras para proporcionar un nivel deseado de separación. El vector 1614 es el producto cruzado negativo del vector 1610 de rango y la dirección Z . El vector 1612 es el producto cruzado del vector 1610 de rango y el vector 1614.

55 Con referencia ahora a la Figura 17, se representa una ilustración de dos aeronaves que vuelan en el espacio aéreo de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, la aeronave 1700 y la aeronave 1702 están volando en el espacio 1704 aéreo. La magnitud del vector 1706 de velocidad relativa es la velocidad relativa de la aeronave 1700 con relación a la aeronave 1702. La magnitud del vector 1708 de rango es la distancia real entre la aeronave 1700 y la aeronave 1702.

En este ejemplo ilustrativo, se ha definido el perímetro 1710 de separación para la aeronave 1700. La aeronave 1700 se encuentra actualmente en la posición 1705 dentro del perímetro 1710 de separación. Típicamente, cuando el tiempo hasta el punto más cercano de aproximación entre la aeronave 1700 y la aeronave 1702 es negativo, lo que indica que las dos aeronaves se están alejando una de la otra, los comandos de evasión generados para maniobrar la aeronave pueden ser cero comandos.

Sin embargo, cuando la aeronave 1702 está dentro del perímetro 1710 de separación, puede ser deseable maniobrar más lejos de la aeronave 1700. En particular, la aeronave 1702 puede usar un vector 1714 de velocidad relativa modificada para calcular el tiempo hasta el punto de aproximación más cercano y otros parámetros que se pueden usar para generar los comandos de evasión de colisiones. El vector 1714 de velocidad relativa modificado se selecciona para mantener el tiempo positivo o cero al punto de aproximación más cercano. En otras palabras, el vector 1714 de velocidad relativa modificado se selecciona para mantener el tiempo no negativo hasta el punto de aproximación más cercano. En particular,

$$\text{si } t_{cpa} < 0 \ \& \ \|R\| < d_{\min}, \text{ entonces} \quad (28)$$

$$V_{rel_mod} = V_{rel} - \left(V_{rel} \cdot \frac{R}{\|R\|} \right) \frac{R}{\|R\|}, \quad (29)$$

donde d_{\min} es una distancia mínima para un nivel deseado de separación entre la aeronave 1700 y la aeronave 1702, V_{rel} es el vector 1706 de velocidad relativa, R es el vector 1708 de rango, y V_{rel_mod} es el vector 1714 de velocidad relativa modificado. En este ejemplo ilustrativo, la distancia mínima, d_m , define el perímetro 1710 de separación.

Con referencia ahora a la Figura 18, se muestra una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para gestión de vehículos de acuerdo con una realización ventajosa. El proceso que se ilustra en la Figura 18 puede implementarse utilizando el módulo 112 de gestión de separación en la Figura 1.

El proceso comienza identificando una primera trayectoria para un primer vehículo (operación 1800). El proceso identifica entonces una segunda trayectoria para un segundo vehículo (operación 1802). La primera trayectoria incluye una velocidad para el primer vehículo. La segunda trayectoria incluye una velocidad para el segundo vehículo.

El proceso luego predice un punto de aproximación más cercano entre un primer vehículo que se desplaza a lo largo de una primera trayectoria y un segundo vehículo que se desplaza a lo largo de una segunda trayectoria (operación 1804). Se predice que el punto de aproximación más cercano entre el primer vehículo y el segundo vehículo ocurre cuando una distancia entre el primer vehículo y el segundo vehículo tiene un valor mínimo si el primer vehículo continúa viajando a lo largo de la primera trayectoria y el segundo vehículo continúa viajando a lo largo de la segunda trayectoria.

A continuación, el proceso identifica una distancia de error entre el primer vehículo y el segundo vehículo en el punto de aproximación más cercano (operación 1806). El proceso determina entonces si se predice un nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo en el punto de aproximación más cercano con base en la distancia de error (operación 1808). El nivel de separación deseado puede seleccionarse entre uno de un nivel de separación requerido, un nivel seguro de separación y un nivel de separación impuesto.

Si el nivel deseado de separación no se predice en el punto de aproximación más cercano, el proceso genera una serie de comandos de compensación para alterar la primera trayectoria del primer vehículo usando el punto de aproximación más cercano y el nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo (operación 1810). A continuación, el proceso integra el número de comandos de compensación con una serie de comandos de control para que el primer vehículo forme un número final de comandos de control configurados para maniobrar el primer vehículo para mantener sustancialmente el nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo (operación 1812). Además, el número final de comandos de control está configurado de manera que la respuesta del primer vehículo al número final de comandos de control sea una respuesta deseada.

El proceso monitoriza el desplazamiento del primer vehículo y el segundo vehículo (operación 1814), y el proceso vuelve a continuación a la operación 1804 como se describió anteriormente. Con referencia de nuevo a la operación 1808, si se predice un nivel deseado de separación en el punto más cercano, el proceso pasa a la operación 1814.

Los diagramas de flujo y diagramas de bloques en las diferentes realizaciones representadas ilustran la arquitectura, la funcionalidad y el funcionamiento de algunas posibles implementaciones de aparatos y métodos en una realización ventajosa. A este respecto, cada bloque en el diagrama de flujo o diagramas de bloques puede representar un módulo, segmento, función y/o una parte de una operación o etapa. Por ejemplo, uno o más de los bloques pueden implementarse como código de programa, en hardware o una combinación del código de programa y hardware. Cuando se implementa en hardware, el hardware puede, por ejemplo, tomar la forma de circuitos integrados que se fabrican o configuran para realizar una o más operaciones en los diagramas de flujo o diagramas de bloques.

- 5 En algunas implementaciones alternativas de una realización ventajosa, la función o funciones anotadas en el bloque pueden producirse fuera del orden indicado en las figuras. Por ejemplo, en algunos casos, dos bloques que se muestran en sucesión pueden ejecutarse de manera sustancialmente simultánea, o los bloques a veces se pueden ejecutar en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad involucrada. Además, se pueden agregar otros bloques además de los bloques ilustrados en un diagrama de flujo o diagrama de bloques.
- 10 Volviendo ahora a la Figura 19, se muestra una ilustración de un sistema de procesamiento de datos de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, el sistema 1900 de procesamiento de datos se puede usar para implementar uno o más de la cantidad de ordenadores 110 en el sistema 108 informático en la Figura 1. Además, el sistema 1900 de procesamiento de datos se puede usar para implementar uno o más de piloto 506 automático, director 508 de vuelo, ordenador 512 de evasión de colisiones, y/o procesadores 514 en la Figura 5.
- 15 Como se representa, el sistema 1900 de procesamiento de datos incluye la red 1902 de comunicaciones. La red 1902 de comunicaciones proporciona comunicaciones entre la unidad 1904 de procesador, la memoria 1906, el almacenamiento 1908 persistente, la unidad 1910 de comunicaciones, la unidad 1912 de entrada/salida (I/O) y la pantalla 1914 en el sistema 1900 de procesamiento de datos.
- 20 La unidad 1904 de procesador sirve para ejecutar instrucciones para software que pueden cargarse en la memoria 1906. La unidad 1904 de procesador puede ser una serie de procesadores, un núcleo multiprocesador, o algún otro tipo de procesador, dependiendo de la implementación particular. Un número, como se usa aquí con referencia a un elemento, significa uno o más elementos. Además, la unidad 1904 de procesador puede implementarse utilizando diversos sistemas de procesador heterogéneos en los cuales un procesador principal está presente con procesadores secundarios en un solo chip. Como otro ejemplo ilustrativo, la unidad 1904 de procesador puede ser un sistema multiprocesador simétrico que contiene procesadores múltiples del mismo tipo.
- 25 La memoria 1906 y el almacenamiento 1908 persistente son ejemplos de dispositivos 1916 de almacenamiento. Un dispositivo de almacenamiento es cualquier pieza de hardware que es capaz de almacenar información, como, por ejemplo, sin limitación, datos, código de programa en forma funcional y/u otra información adecuada ya sea temporal o permanentemente. Los dispositivos 1916 de almacenamiento también pueden denominarse dispositivos de almacenamiento legibles por ordenador en estos ejemplos. La memoria 1906, en estos ejemplos, puede ser, por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio o cualquier otro dispositivo de almacenamiento volátil o no volátil adecuado. El almacenamiento 1908 persistente puede adoptar diversas formas, dependiendo de la implementación particular.
- 30 Por ejemplo, el almacenamiento 1908 persistente puede contener uno o más componentes o dispositivos. Por ejemplo, el almacenamiento 1908 persistente puede ser un disco duro, una memoria flash, un disco óptico regrabable, una cinta magnética regrabable o alguna combinación de los anteriores. Los medios utilizados por el almacenamiento 1908 persistente también pueden ser desmontables. Por ejemplo, un disco duro desmontable puede usarse para el almacenamiento 1908 persistente.
- 35 La unidad 1910 de comunicaciones, en estos ejemplos, proporciona comunicaciones con otros sistemas o dispositivos de procesamiento de datos. En estos ejemplos, la unidad 1910 de comunicaciones es una tarjeta de interfaz de red. La unidad 1910 de comunicaciones puede proporcionar comunicaciones a través del uso de uno o ambos enlaces de comunicaciones físicos e inalámbricos.
- 40 La unidad 1912 de entrada/salida permite la entrada y salida de datos con otros dispositivos que pueden conectarse al sistema 1900 de procesamiento de datos. Por ejemplo, la unidad 1912 de entrada/salida puede proporcionar una conexión para la entrada del usuario a través de un teclado, un mouse, y/o algún otro dispositivo de entrada adecuado. Además, la unidad 1912 de entrada/salida puede enviar la salida a una impresora. La pantalla 1914 proporciona un mecanismo para mostrar información a un usuario.
- 45 Las instrucciones para el sistema operativo, aplicaciones y/o programas pueden ubicarse en dispositivos 1916 de almacenamiento, que están en comunicación con la unidad 1904 de procesador a través de la red 1902 de comunicaciones. En estos ejemplos ilustrativos, las instrucciones están en una forma funcional en el almacenamiento 1908 persistente. Estas instrucciones pueden cargarse en la memoria 1906 para su ejecución por la unidad 1904 de procesador. Los procesos de las diferentes realizaciones pueden ser realizados por la unidad 1904 de procesador usando instrucciones implementadas por ordenador, que pueden estar ubicadas en una memoria, tal como la memoria 1906.
- 50 Estas instrucciones se conocen como código de programa, código de programa utilizable por ordenador o código de programa legible por ordenador que puede ser leído y ejecutado por un procesador en la unidad 1904 de procesador. El código de programa en las diferentes realizaciones puede incorporarse en diferentes dispositivos físicos o medios de almacenamiento legibles por ordenador, tales como la memoria 1906 o el almacenamiento 1908 persistente.
- 55 El código 1918 de programa está ubicado en una forma funcional en un medio 1920 legible por ordenador que puede removerse selectivamente y puede cargarse o transferirse al sistema 1900 de procesamiento de datos para su ejecución por la unidad 1904 de procesador. El código 1918 de programa y los medios 1920 legibles por ordenador forman el producto 1922 de programa de ordenador en estos ejemplos. En un ejemplo, los medios 1920 legibles por ordenador pueden ser medios 1924 de almacenamiento legibles por ordenador o medios 1926 de señales legibles por

ordenador. Los medios 1924 de almacenamiento legibles por ordenador pueden incluir, por ejemplo, un disco óptico o magnético que se inserta o coloca en un disco u otro dispositivo que es parte del almacenamiento 1908 persistente para la transferencia a un dispositivo de almacenamiento, tal como un disco duro, que es parte del almacenamiento 1908 persistente. El medio 1924 de almacenamiento legible por ordenador también puede tomar la forma de un almacenamiento persistente, como un disco duro, una unidad pulgar, o memoria flash, que está conectada al sistema 1900 de procesamiento de datos. En algunos casos, los medios 1924 de almacenamiento legibles por ordenador pueden no ser desmontables del sistema 1900 de procesamiento de datos. En estos ejemplos, los medios 1924 de almacenamiento legibles por ordenador son un dispositivo de almacenamiento físico o tangible utilizado para almacenar el código 1918 de programa en lugar de un medio que propaga o transmite el código 1918 de programa.

Alternativamente, el código 1918 de programa puede transferirse al sistema 1900 de procesamiento de datos usando un medio 1926 de señal legible por ordenador. El medio 1926 de señal legible por ordenador puede ser, por ejemplo, una señal de datos propagada que contiene el código 1918 de programa. Por ejemplo, el medio 1926 de señal legible por ordenador puede ser una señal electromagnética, una señal óptica y/o cualquier otro tipo adecuado de señal. Estas señales pueden transmitirse a través de enlaces de comunicaciones, tales como enlaces de comunicaciones inalámbricas, cable de fibra óptica, cable coaxial, un cable y/o cualquier otro tipo adecuado de enlace de comunicaciones. En otras palabras, el enlace de comunicaciones y/o la conexión pueden ser físicos o inalámbricos en los ejemplos ilustrativos.

En algunas realizaciones ventajosas, el código 1918 de programa puede descargarse a través de una red al almacenamiento 1908 persistente a partir de otro dispositivo o sistema de procesamiento de datos a través de un medio 1926 de señal legible por ordenador para uso dentro del sistema 1900 de procesamiento de datos. Por ejemplo, código de programa que se almacena en un medio de almacenamiento legible por ordenador en un sistema servidor de procesamiento de datos puede descargarse sobre una red a partir del servidor al sistema 1900 de procesamiento de datos. El sistema de procesamiento de datos que proporciona el código 1918 de programa puede ser un ordenador servidor, un ordenador cliente o cualquier otro dispositivo capaz de almacenar y transmitir el código 1918 de programa.

Los diferentes componentes que se ilustran para el sistema 1900 de procesamiento de datos no están destinados a proporcionar limitaciones arquitectónicas a la forma en que pueden implementarse diferentes realizaciones. Las diferentes realizaciones ventajosas pueden implementarse en un sistema de procesamiento de datos que incluye componentes además o en lugar de los que se ilustran para el sistema 1900 de procesamiento de datos. Otros componentes que se muestran en la Figura 19 pueden variar a partir de los ejemplos ilustrativos mostrados. Las diferentes realizaciones pueden implementarse usando cualquier dispositivo o sistema de hardware capaz de ejecutar el código del programa. Como un ejemplo, el sistema de procesamiento de datos puede incluir componentes orgánicos integrados con componentes inorgánicos y/o puede estar compuesto completamente por componentes orgánicos, excluyendo un ser humano. Por ejemplo, un dispositivo de almacenamiento puede estar compuesto por un semiconductor orgánico.

En otro ejemplo ilustrativo, la unidad 1904 de procesador puede tomar la forma de una unidad de hardware que tiene circuitos que se fabrican o configuran para un uso particular. Este tipo de hardware puede realizar operaciones sin necesidad de que el código del programa se cargue en la memoria a partir de un dispositivo de almacenamiento para configurarlo para realizar las operaciones.

Por ejemplo, cuando la unidad 1904 de procesador toma la forma de una unidad de hardware, la unidad 1904 de procesador puede ser un sistema de circuito, un circuito integrado específico de aplicación (ASIC), un dispositivo lógico programable o algún otro tipo adecuado de hardware configurado para realizar una serie de operaciones. Con un dispositivo lógico programable, el dispositivo está configurado para realizar la cantidad de operaciones. El dispositivo puede reconfigurarse en un momento posterior o puede estar configurado permanentemente para realizar el número de operaciones. Los ejemplos de dispositivos lógicos programables incluyen, por ejemplo, una matriz lógica programable, una matriz lógica programable en campo, una matriz de puertas programables en campo y otros dispositivos de hardware adecuados. Con este tipo de implementación, el código 1918 de programa puede omitirse porque los procesos para las diferentes realizaciones se implementan en una unidad de hardware.

En aún otro ejemplo ilustrativo, la unidad 1904 de procesador puede implementarse usando una combinación de procesadores que se encuentran en ordenadores y unidades de hardware. La unidad 1904 de procesador puede tener diversas unidades de hardware y diversos procesadores están configurados para ejecutar el código 1918 de programa. Con este ejemplo representado, algunos de los procesos pueden implementarse en el número de unidades de hardware, a la vez que otros procesos pueden implementarse en el cantidad de procesadores

En otro ejemplo, un sistema de bus puede usarse para implementar la red 1902 de comunicaciones y puede estar compuesto por uno o más buses, tales como un bus de sistema o un bus de entrada/salida. Por supuesto, el sistema de bus se puede implementar usando cualquier tipo de arquitectura adecuada que proporcione una transferencia de datos entre diferentes componentes o dispositivos conectados al sistema de bus.

Adicionalmente, una unidad de comunicaciones puede incluir más dispositivos que transmiten datos, reciben datos, o transmiten y reciben datos. Una unidad de comunicaciones puede ser, por ejemplo, un módem o un adaptador de red, dos adaptadores de red o alguna combinación de los mismos. Además, una memoria puede ser, por ejemplo, la

memoria 1906, o una memoria caché, tal como la que se encuentra en una interfaz y un concentrador de controlador de memoria que puede estar presente en la red 1902 de comunicaciones.

5 Con referencia ahora a la Figura 20, se representa una ilustración de una vista en alzado lateral de una aeronave de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, la aeronave 2000 es un ejemplo de una implementación para la primera aeronave 104 en la Figura 1, la segunda aeronave 105 en la Figura 1, la primera aeronave 302 en la Figura 3, la segunda aeronave 304 en la Figura 3, la primera aeronave 402 en la Figura 4, y/o la segunda aeronave 404 en la Figura 4.

10 Como se representa, la aeronave 2000 incluye una o más unidades 2004 de propulsión acopladas al fuselaje 2002, cabina 2006 en fuselaje 2002, conjuntos 2008 de ala, conjunto 2010 de cola, conjunto 2012 de tren de aterrizaje, un sistema de control (no se muestra) y otros tipos adecuados de los sistemas que permiten el funcionamiento adecuado de la aeronave 2000. Al menos un componente de un sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo puede estar ubicado dentro del fuselaje 2002. Sin embargo, los componentes del sistema de evasión de colisiones pueden distribuirse a lo largo de las diversas partes de la aeronave 2000.

15 Como se ilustra en el texto y las figuras anteriores, se describe un sistema que incluye un módulo 112 de gestión de separación configurado para predecir un punto de aproximación 121 más próximo entre un primer vehículo que viaja a lo largo de una primera trayectoria 116 y un segundo vehículo que viaja a lo largo de una segunda trayectoria 118 usando la primera trayectoria 116 y la segunda trayectoria 118; y generar un número de comandos 130 de compensación para alterar la primera trayectoria 116 del primer vehículo utilizando el punto de aproximación 121 más cercano y un nivel deseado de separación 106 entre el primer vehículo y el segundo vehículo.

20 Además, el sistema puede integrar el número de comandos 130 de compensación con un número de comandos 133 de control para que el primer vehículo forme un número final de comandos 143 de control configurados para maniobrar el primer vehículo para mantener sustancialmente el nivel deseado de separación 106 entre el primer vehículo y el segundo vehículo, donde una respuesta del primer vehículo al número final de comandos 143 de control es una respuesta 145 deseada.

25 Además, el sistema puede configurarse adicionalmente para generar el número de comandos 130 de compensación, el módulo 112 de gestión de separación está configurado para generar el número de comandos 130 de compensación para alterar la primera trayectoria 116 del primer vehículo utilizando el punto de aproximación 121 más cercano, el nivel deseado de separación 106 entre el primer vehículo y el segundo vehículo, y el tiempo 120 hasta el punto de aproximación 121 más cercano.

30 En una variante, el sistema puede incluir el primer vehículo es una primera aeronave 104 y el segundo vehículo es una segunda aeronave 105 y además incluye: un módulo 602 de control de vuelo, en donde el módulo 602 de control de vuelo está configurado para generar el número de los comandos 133 de control y aplicar un primer conjunto de funciones de límite al número de comandos 133 de control y el módulo 112 de gestión de separación está configurado para aplicar un segundo conjunto de funciones de límite al número de comandos 130 de compensación, en donde el primer conjunto de funciones de límite y el segundo conjunto de funciones de límite está configurado para reducir la posibilidad de que la primera aeronave 140 vuele de una manera no deseada.

35 En aun otra alternativa, el nivel deseado de separación 106 se selecciona de uno de un nivel requerido de separación 136, un nivel seguro de separación 138, y un nivel impuesto de separación 140. El módulo 112 de gestión de separación está configurado para generar el número de comandos 130 de compensación usando un número de parámetros seleccionados de manera que la respuesta del primer vehículo al número final de comandos 143 de control es la respuesta 145 deseada. La respuesta 145 deseada incluye al menos una de una calidad de recorrido deseada, un nivel de comodidad del pasajero deseado, un rango de aceleración deseado, un tiempo de respuesta deseado y un índice de giro deseado.

40 Por lo tanto, las diferentes formas de realización ventajosas proporcionan un método y un aparato para gestionar la separación entre vehículos. En una realización ventajosa, se proporciona un método para gestionar la separación entre vehículos. Se predice un punto de aproximación más cercano entre un primer vehículo que se desplaza a lo largo de una primera trayectoria y un segundo vehículo que se desplaza a lo largo de una segunda trayectoria. Se generan diversos comandos de compensación para alterar la primera trayectoria del primer vehículo usando el punto de aproximación más cercano y un nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo. El número de comandos de compensación se integra con una serie de comandos de control para que el primer vehículo forme un número final de comandos de control configurados para maniobrar el primer vehículo para mantener sustancialmente el nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo. Una respuesta del primer vehículo al número final de comandos de control es una respuesta deseada.

45 Las realizaciones de sistemas y métodos de acuerdo con la presente divulgación pueden proporcionar ventajas significativas sobre la técnica anterior. Los sistemas de evasión de colisiones céntricos del vehículo de acuerdo con las diversas realizaciones pueden alterar ventajosamente las trayectorias de vuelo de una o más aeronaves con base cuando se espera que su punto de aproximación más cercano (CPA) predicho rompa un perímetro de separación predefinido. De esta forma, la evasión de colisiones puede realizarse sin intervención humana. La evasión automática

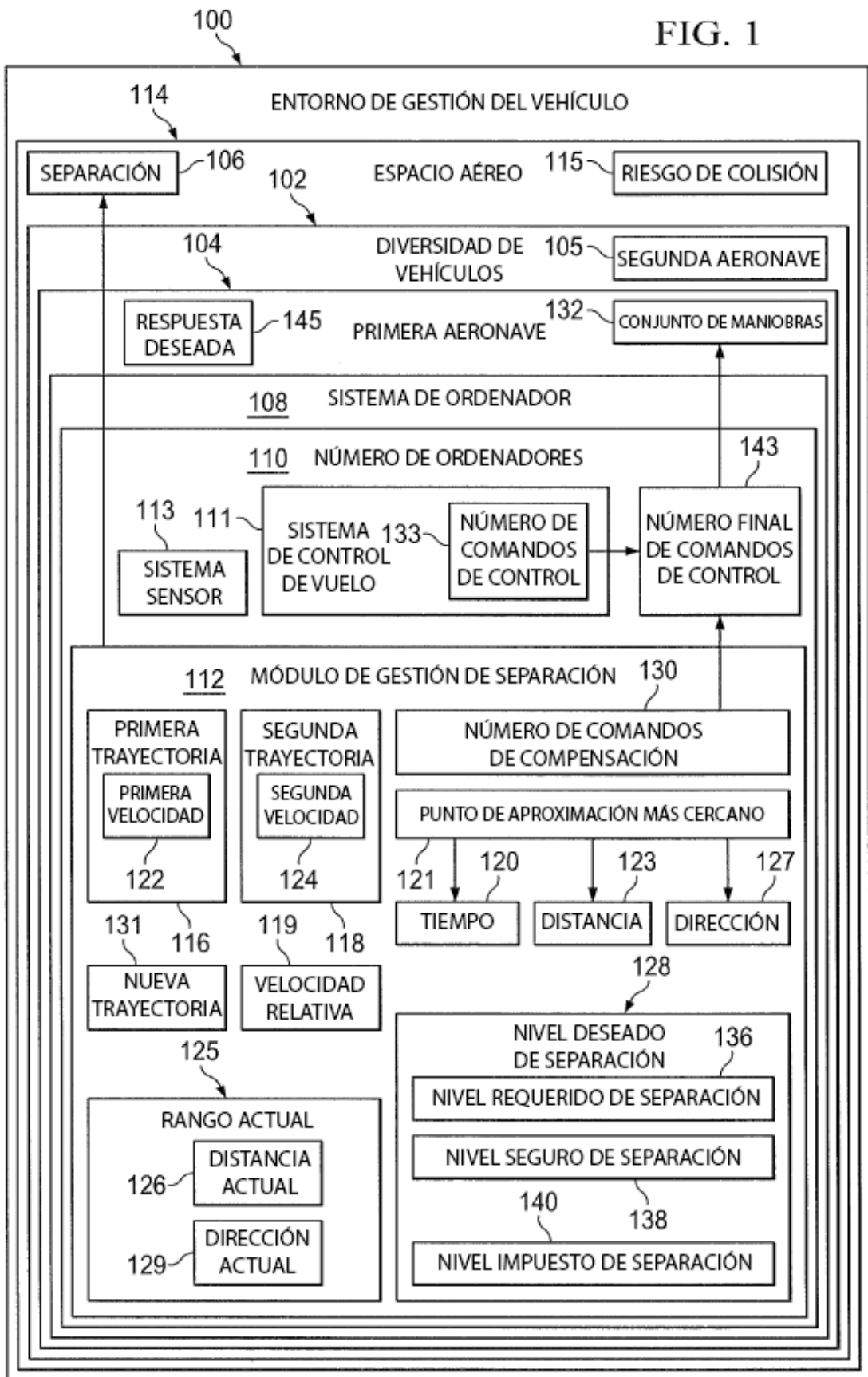
- 5 de colisiones puede reducir o eliminar la posibilidad de errores humanos o realizar maniobras de evasión de colisiones incorrectamente realizadas. Además, los sistemas de evasión de colisiones céntricos del vehículo de acuerdo con las diversas realizaciones pueden disminuir la necesidad de controladores de tráfico aéreo terrestre para dirigir la separación de aeronaves. Dichos ahorros de mano de obra pueden hacer posible que el controlador de tránsito aéreo administre un mayor número de aeronaves de lo que era posible anteriormente. Por último, el sistema de evasión de colisiones céntrico del vehículo también puede implementarse en aeronaves no tripuladas para permitir un mejor control y rendimiento.

REIVINDICACIONES

1. Un método para gestionar la separación (106) entre vehículos (102), comprendiendo el método:
 predecir un punto de aproximación (121) más cercano entre un primer vehículo que se desplaza a lo largo de una primera trayectoria (116) y un segundo vehículo que se desplaza a lo largo de una segunda trayectoria (118);
- 5 generar un número de comandos (130) de compensación para alterar la primera trayectoria (116) del primer vehículo que usa el punto de aproximación (121) más cercano y un nivel deseado de separación (106) entre el primer vehículo y el segundo vehículo; e
- 10 integrar el número de comandos (130) de compensación con un número de comandos (133) de control para que el primer vehículo forme un número final de comandos (143) de control configurados para maniobrar el primer vehículo para mantener sustancialmente el nivel deseado de separación (106) entre el primer vehículo y el segundo vehículo, en donde una respuesta del primer vehículo al número final de comandos (143) de control es una respuesta (145) deseada, caracterizada porque:
- 15 el número de comandos de compensación se genera por un módulo (112) de gestión de separación usando una serie de parámetros seleccionados de manera que la respuesta de un primer vehículo al número final de comandos de control es la respuesta (145) deseada, donde la respuesta (145) deseada comprende al menos una de una calidad de recorrido deseada, un nivel de comodidad del pasajero deseado, un rango de aceleración deseado, un tiempo de respuesta deseado y una tasa de giro deseada.
2. El método de la reivindicación 1, que además comprende:
- 20 predecir un tiempo (120) hasta el punto de aproximación (121) más cercano, en donde se predice que ocurrirá el punto de aproximación (121) más cercano cuando una distancia (123) entre el primer vehículo y el segundo vehículo tiene un valor mínimo si el primer el vehículo continúa viajando a lo largo de la primera trayectoria (116) y el segundo vehículo continúa viajando a lo largo de la segunda trayectoria (118).
3. El método de la reivindicación 2, en donde la etapa de predecir el punto de aproximación (121) más cercano comprende:
- 25 predecir la distancia (123) entre el primer vehículo y el segundo vehículo cuando la distancia (123) tiene el valor mínimo si el primer vehículo continúa viajando a lo largo de la primera trayectoria (116) y el segundo vehículo continúa viajando a lo largo de la segunda trayectoria (118); y
- predecir una dirección (127) del segundo vehículo con respecto al primer vehículo cuando la distancia tiene el valor mínimo.
- 30 4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 2-3, en donde la etapa de generación del número de comandos (130) de compensación comprende:
- generar el número de comandos (130) de compensación para alterar la primera trayectoria (116) del primer vehículo utilizando el punto de aproximación (121) más cercano, el nivel deseado de separación (106) entre el primer vehículo y el segundo vehículo, y el tiempo (120) al punto de aproximación (121) más cercano.
- 35 5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde el primer vehículo es una primera aeronave (104) y el segundo vehículo es una segunda aeronave (105) y en donde se genera el número de comandos (133) de control usando un módulo (602) de control de vuelo en la primera aeronave (104) y que comprende además:
- aplicar un primer conjunto de funciones de límite al número de comandos (133) de control; y
- 40 aplicar un segundo conjunto de funciones de límite al número de comandos (130) de compensación, en donde el primer conjunto de funciones de límite y el segundo conjunto de funciones de límite están configurados para reducir la posibilidad de que la primera aeronave (104) vuele de forma no deseada.
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-5 que además comprende:
- 45 seleccionar un número de parámetros para generar el número de comandos (130) de compensación, en donde el número de parámetros se selecciona de manera tal que la respuesta del primer vehículo al número final de comandos (143) de control sea la respuesta deseada.
7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde el nivel deseado de separación (106) se selecciona entre uno de un nivel requerido de separación (136), un nivel seguro de separación (138) y un nivel impuesto de separación (140).

8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-4 y 6-7, en donde el primer vehículo es una primera aeronave (104), el segundo vehículo es una segunda aeronave (105), la primera trayectoria (116) es una primera trayectoria de vuelo, y la segunda trayectoria es una segunda trayectoria de vuelo y además comprende:
- 5 maniobrar la primera aeronave (104) para alterar la primera trayectoria de vuelo de la primera aeronave (104) para formar una trayectoria (314) de vuelo alterada para la primera aeronave (104) en respuesta al número final de comandos (143) de control, en donde la trayectoria (314) de vuelo alterada proporciona el nivel deseado de separación (106) en el punto de aproximación (121) más cercano entre la primera aeronave (104) y la segunda aeronave (105).
9. El método de la reivindicación 8, en donde la etapa de maniobra comprende:
- 10 cambiar al menos una de una velocidad, una aceleración y una dirección (127) de desplazamiento para la primera aeronave (104) para formar la trayectoria (314) de vuelo alterada en respuesta al número final de comandos (143) de control, en donde la trayectoria (314) de vuelo alterada proporciona el nivel deseado de separación (106) en el punto de aproximación (121) más cercano entre la primera aeronave (104) y la segunda aeronave (105).
10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en donde la etapa de generación del número de comandos (130) de compensación comprende:
- 15 identificar el nivel deseado de separación entre el primer vehículo y el segundo vehículo utilizando una incertidumbre en una predicción del punto de aproximación más cercano.
11. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, 6-7 y 11, en donde el primer vehículo y el segundo vehículo se seleccionan de al menos uno de una aeronave, un vehículo aéreo no tripulado, un helicóptero, un submarino, un barco de superficie, un misil, una nave espacial y un vehículo terrestre.
- 20 12. Un sistema que comprende:
- un módulo (112) de gestión de separación configurado para predecir un punto de aproximación (121) más cercano entre un primer vehículo que viaja a lo largo de una primera trayectoria (116) y un segundo vehículo que viaja a lo largo de una segunda trayectoria (118) utilizando la primera trayectoria (116) y la segunda trayectoria (118); generar un número de comandos (130) de compensación para alterar la primera trayectoria (116) del primer vehículo usando el punto de aproximación (121) más cercano y un nivel deseado de separación (106) entre el primer vehículo y el segundo vehículo;
- 25 e integrar el número de comandos (130) de compensación con diversos comandos (133) de control para que el primer vehículo forme un número final de comandos (143) de control configurados para maniobrar el primer vehículo para mantener sustancialmente el nivel de separación (106) deseado entre el primer vehículo y el segundo vehículo, en el que una respuesta del primer vehículo al número final de comandos (143) de control es una respuesta (145) deseada, caracterizada porque:
- 30 el número de comandos de compensación se genera por el módulo (112) de gestión de separación usando una serie de parámetros seleccionados de manera que la respuesta de un primer vehículo al número final de comandos de control es la respuesta (145) deseada, en donde la respuesta (145) deseada comprende al menos una de una calidad de recorrido deseada, un nivel de comodidad del pasajero deseado, un rango de aceleración deseado, un tiempo de respuesta deseado y una tasa de giro deseada.
- 35 13. El sistema de la reivindicación 12, en donde el módulo (112) de gestión de separación está configurado además para predecir un tiempo (120) hasta el punto de aproximación (121) más cercano, en donde se predice que el punto de aproximación (121) más cercano ocurrirá cuando una distancia (123) entre el primer vehículo y el segundo vehículo tiene un valor mínimo si el primer vehículo continúa viajando a lo largo de la primera trayectoria (116) y el segundo vehículo continúa viajando a lo largo de la segunda trayectoria (118).
- 40 14. El sistema de la reivindicación 13, en donde al configurarse para predecir el punto de aproximación (121) más cercano, el módulo (112) de gestión de separación está configurado para predecir la distancia (123) entre el primer vehículo y el segundo vehículo cuando la distancia tiene el valor mínimo a la vez que el primer vehículo se desplaza a lo largo de la primera trayectoria (116) y el segundo vehículo se desplaza a lo largo de la segunda trayectoria (118); y predecir una dirección (127) del segundo vehículo con respecto al primer vehículo cuando la distancia (123) tiene el valor mínimo.
- 45

FIG. 1



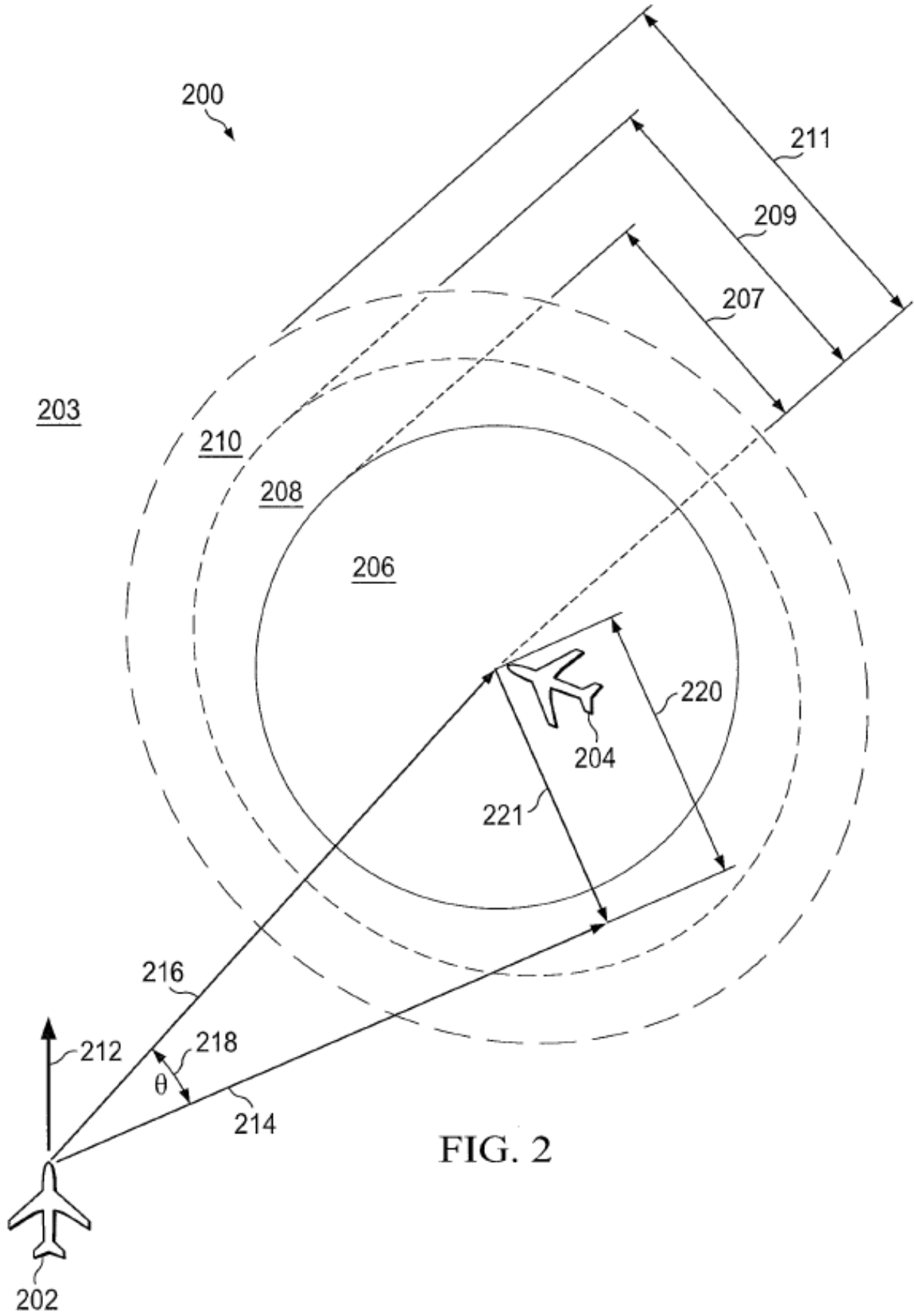


FIG. 2

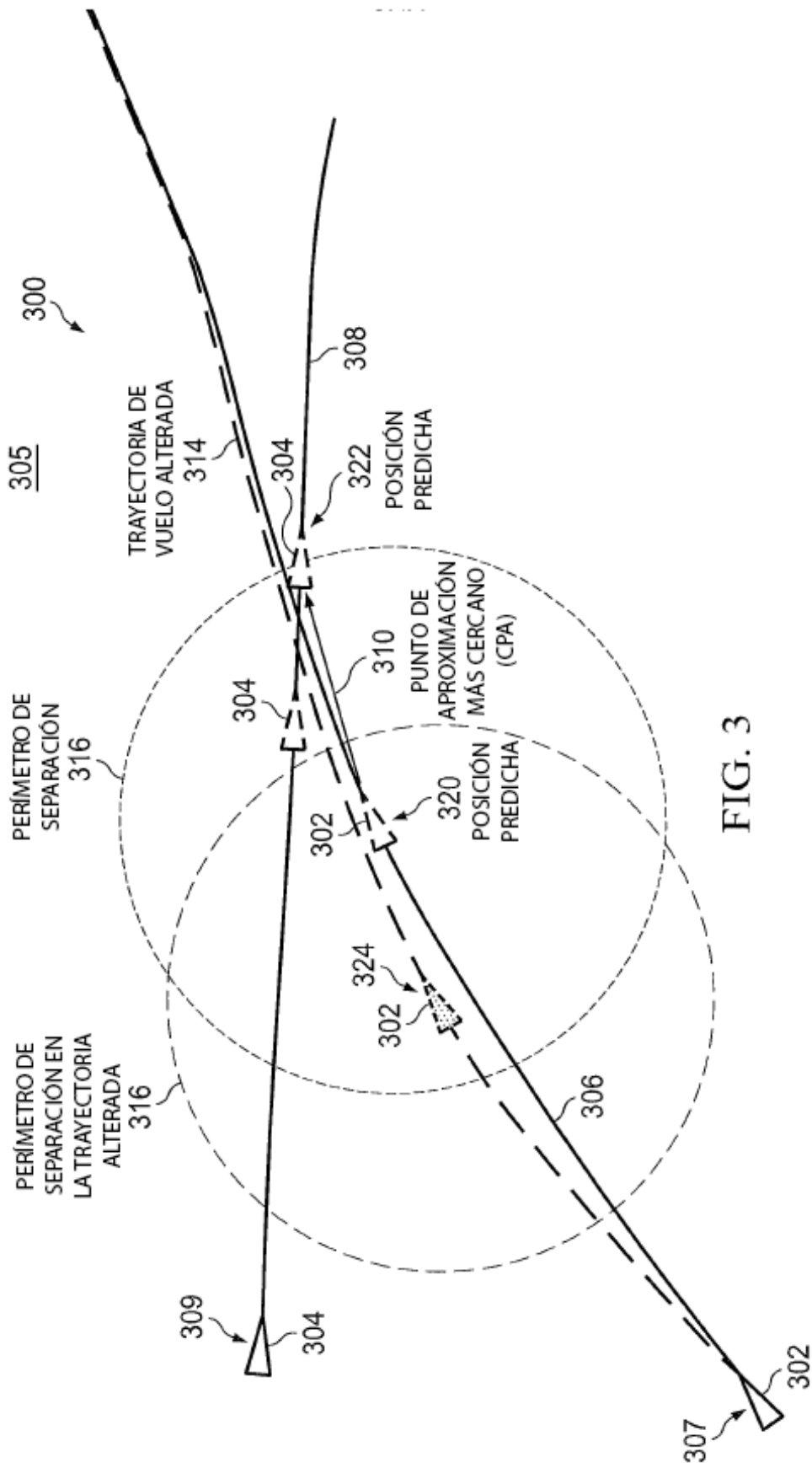


FIG. 3

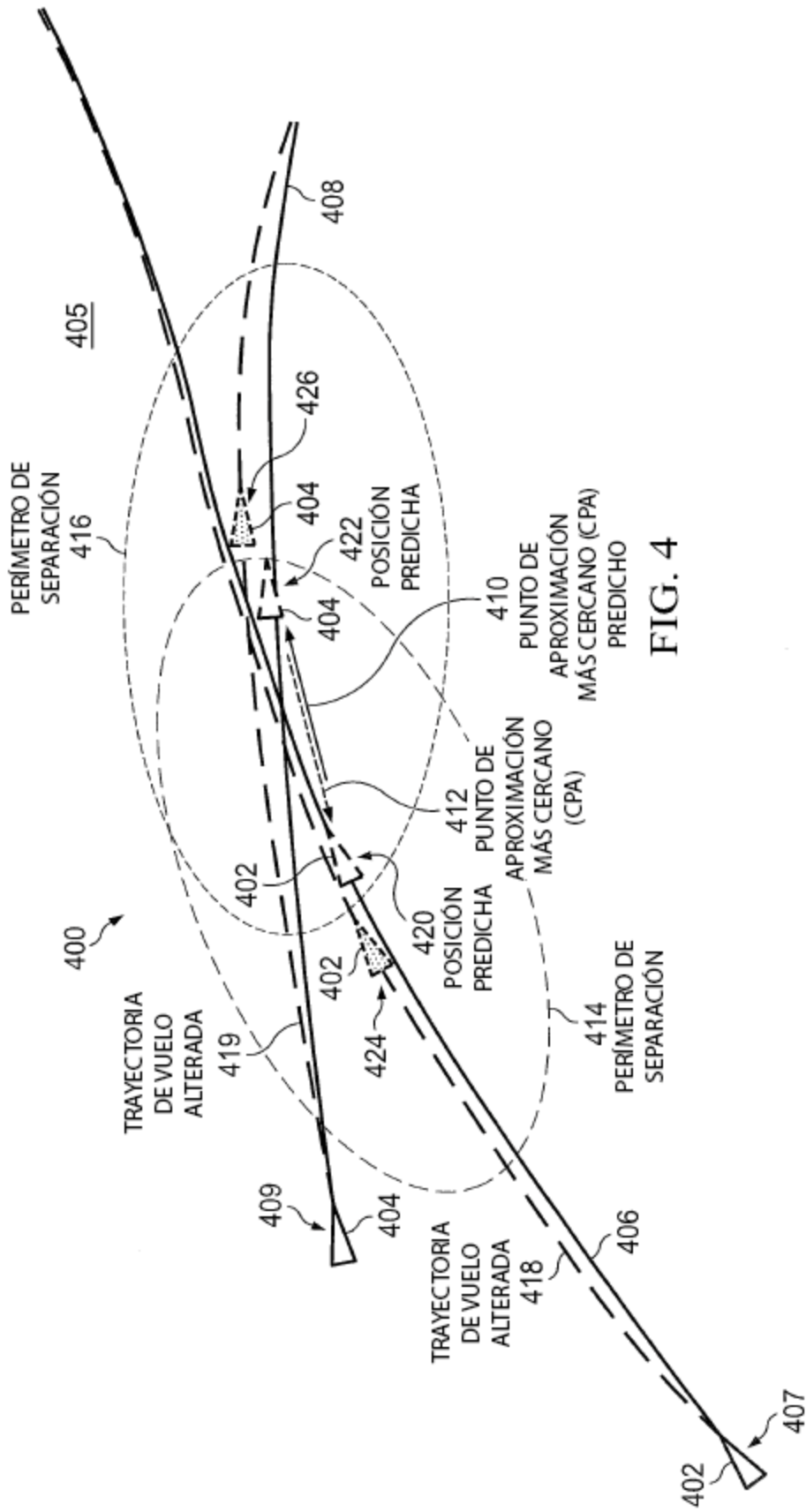


FIG. 4

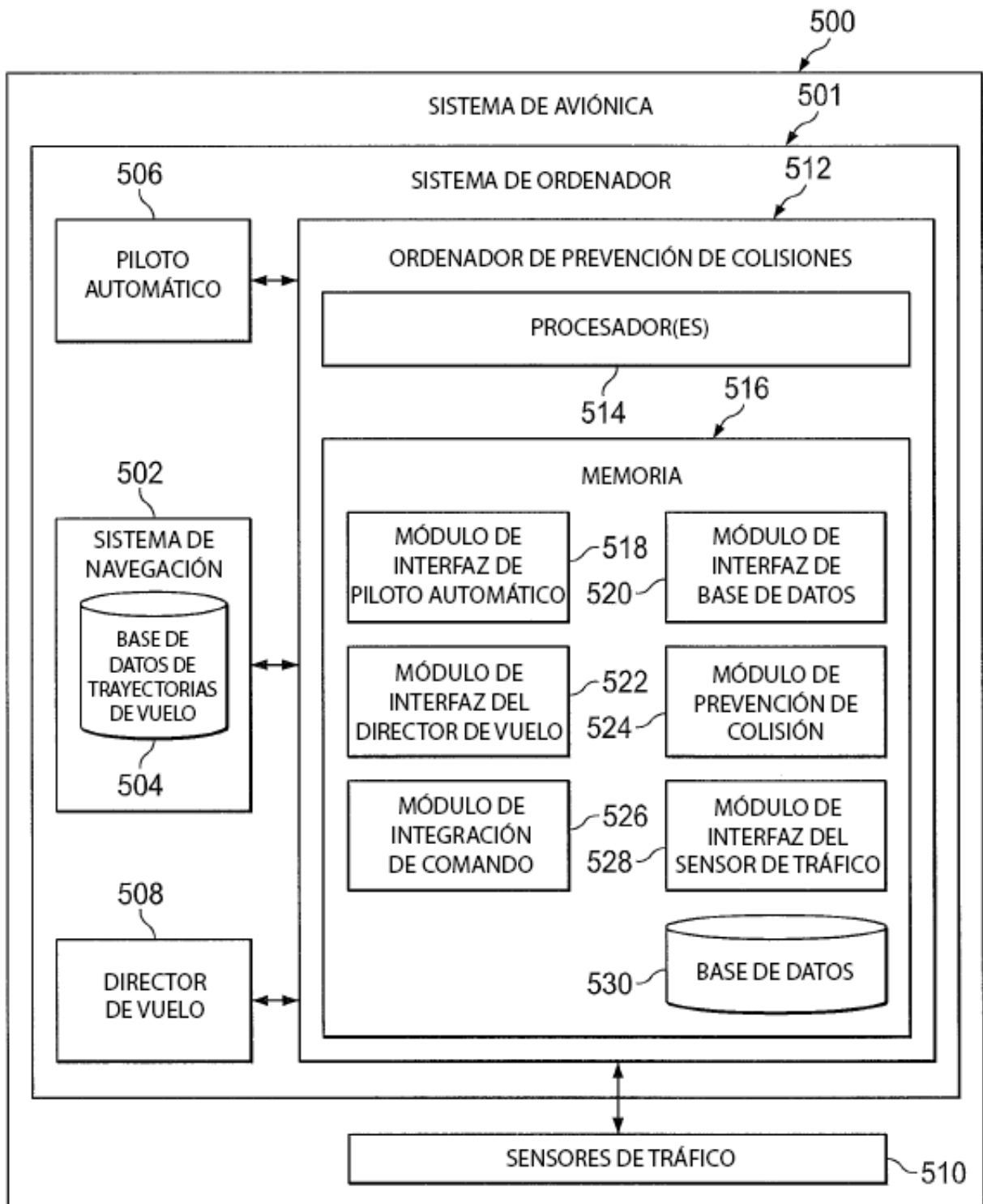
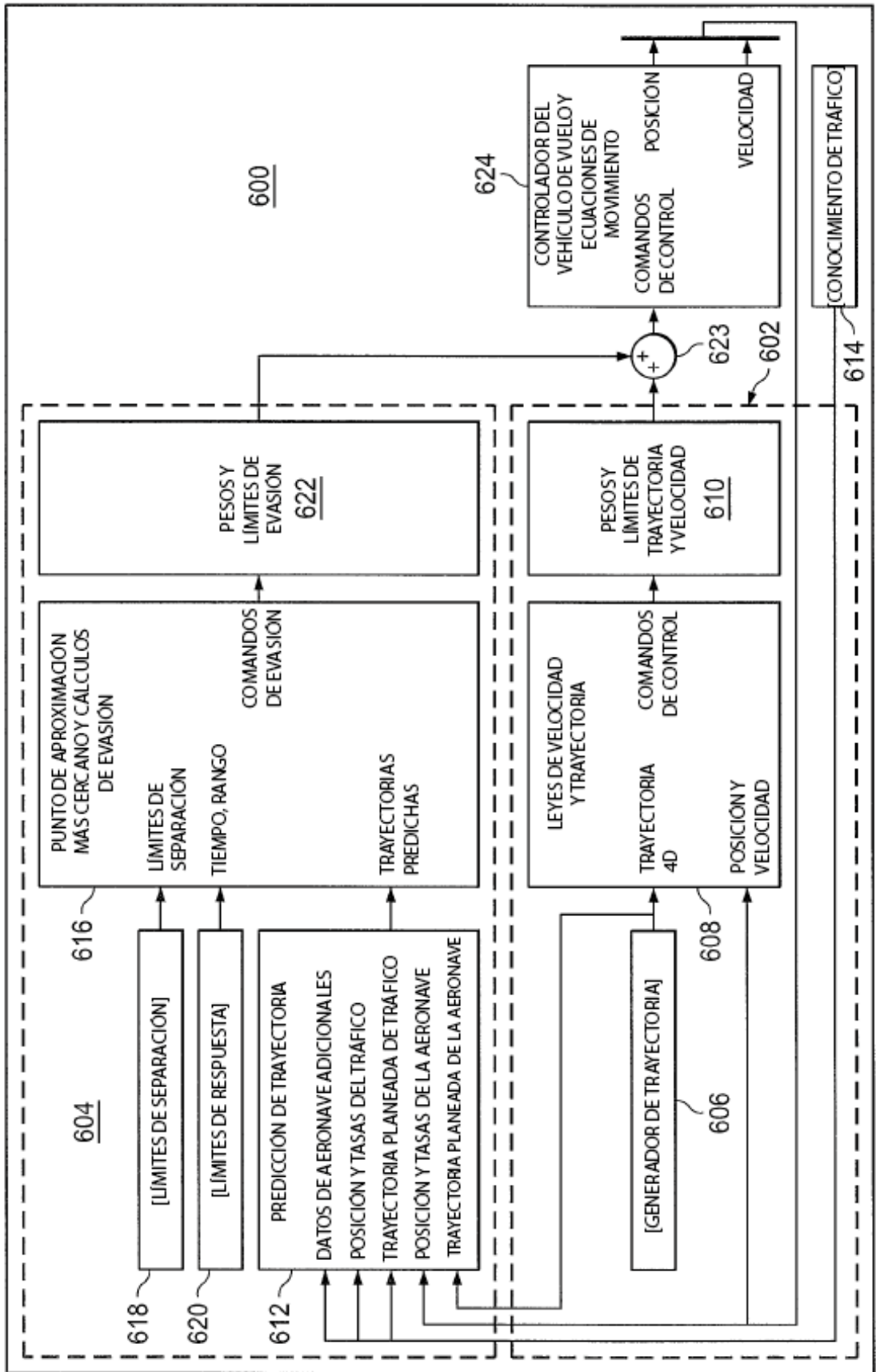


FIG. 5

FIG. 6



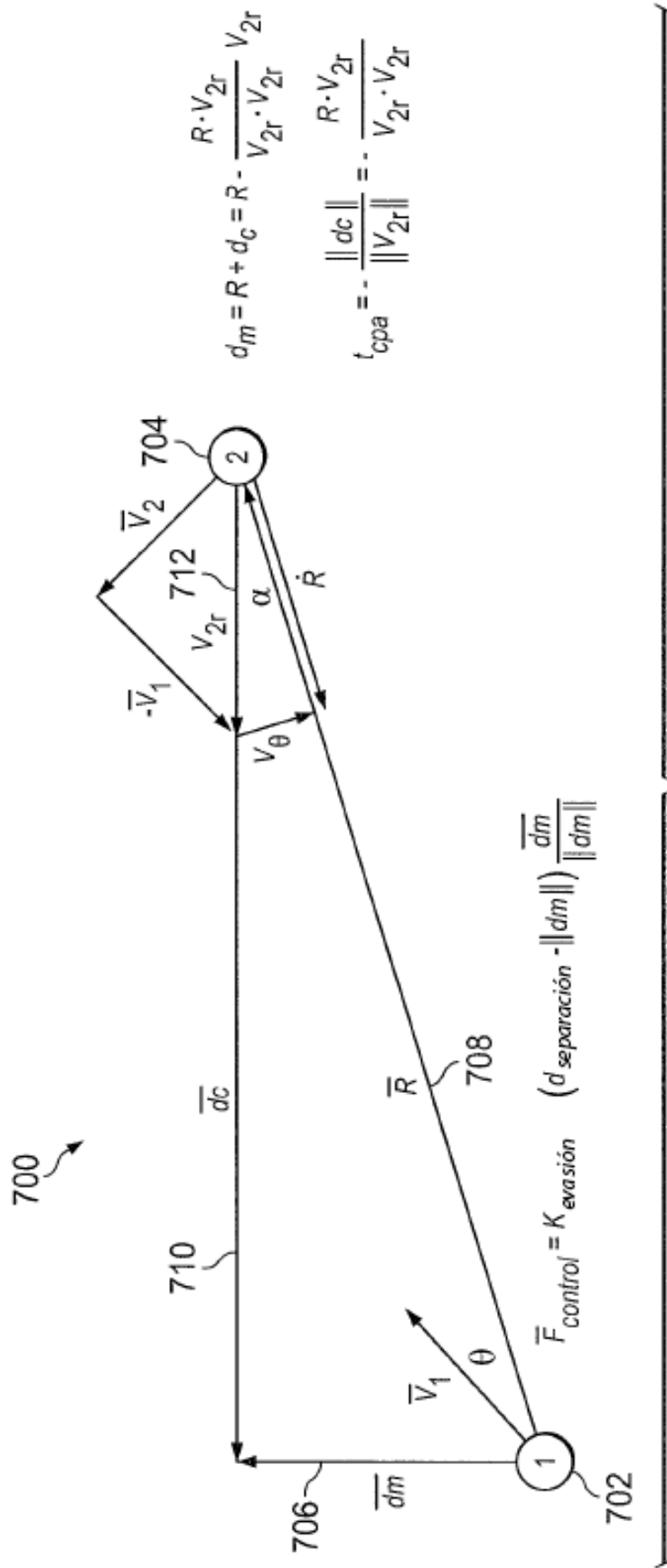
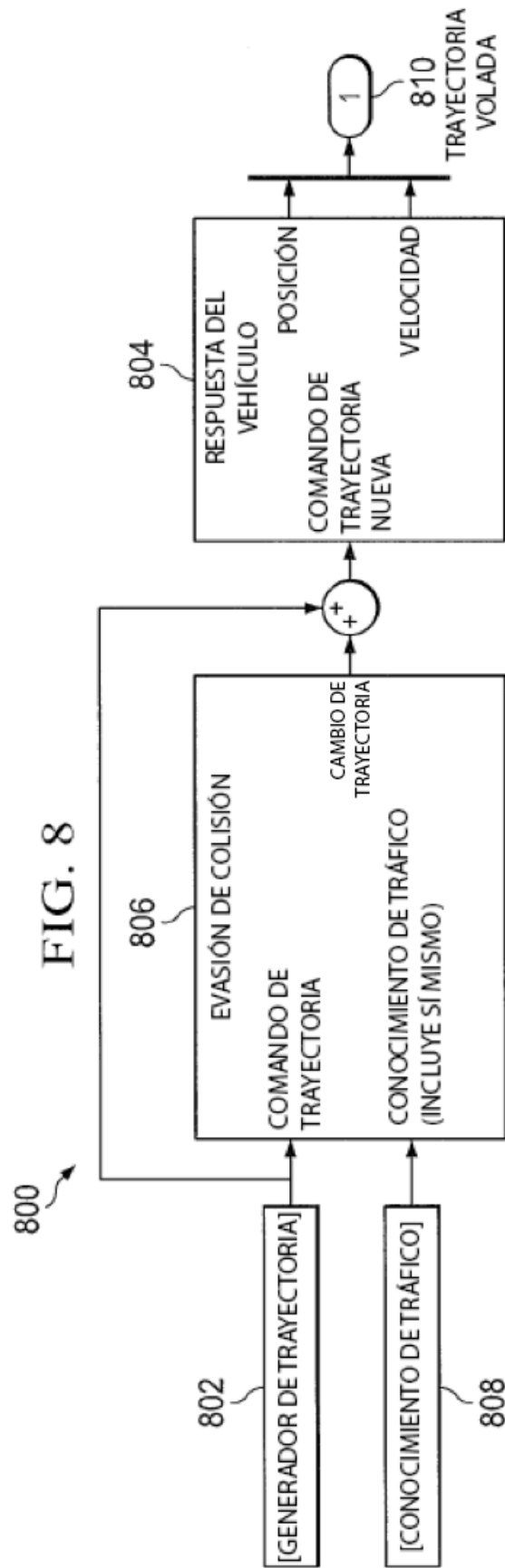


FIG. 7



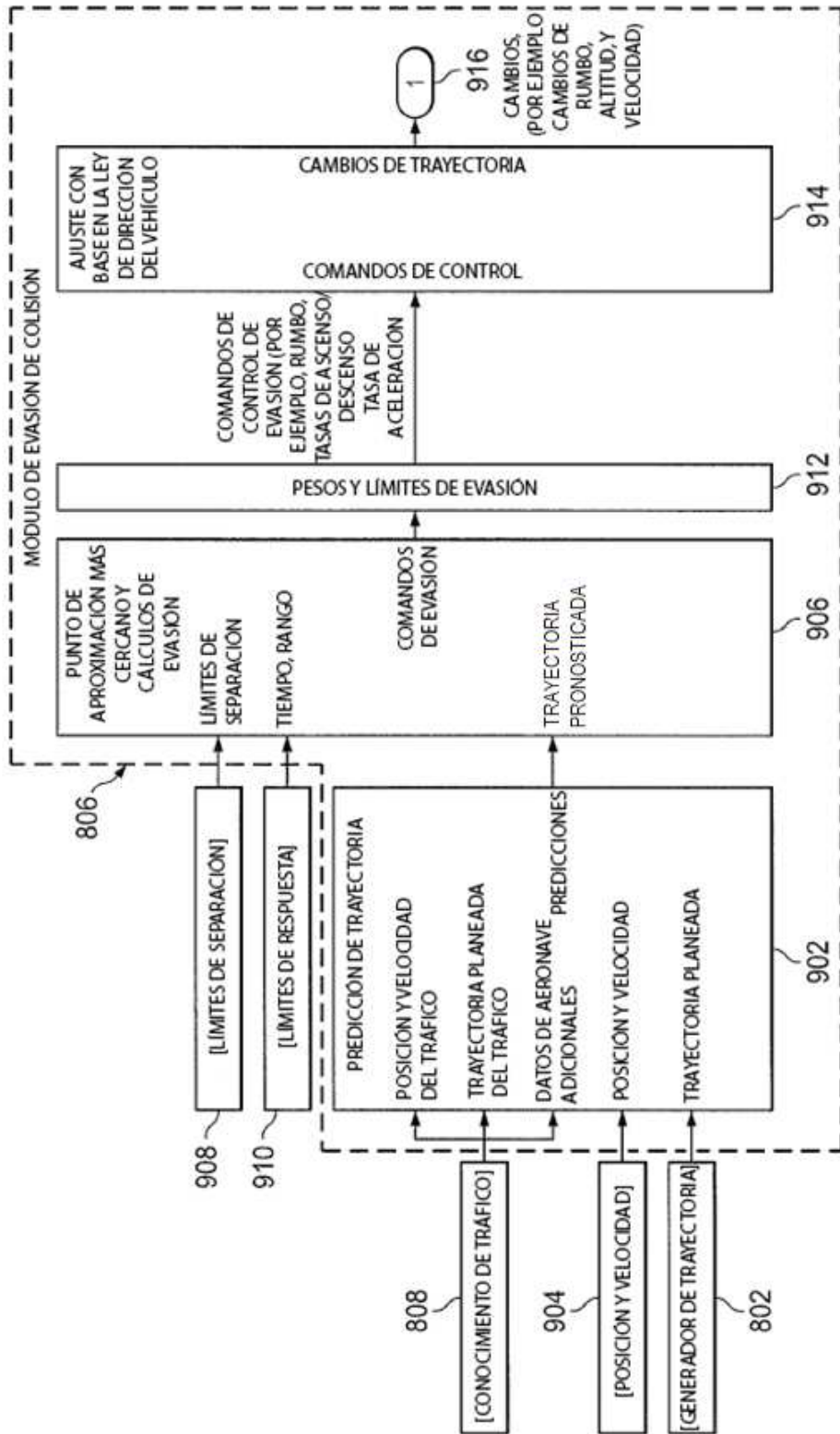


FIG. 9

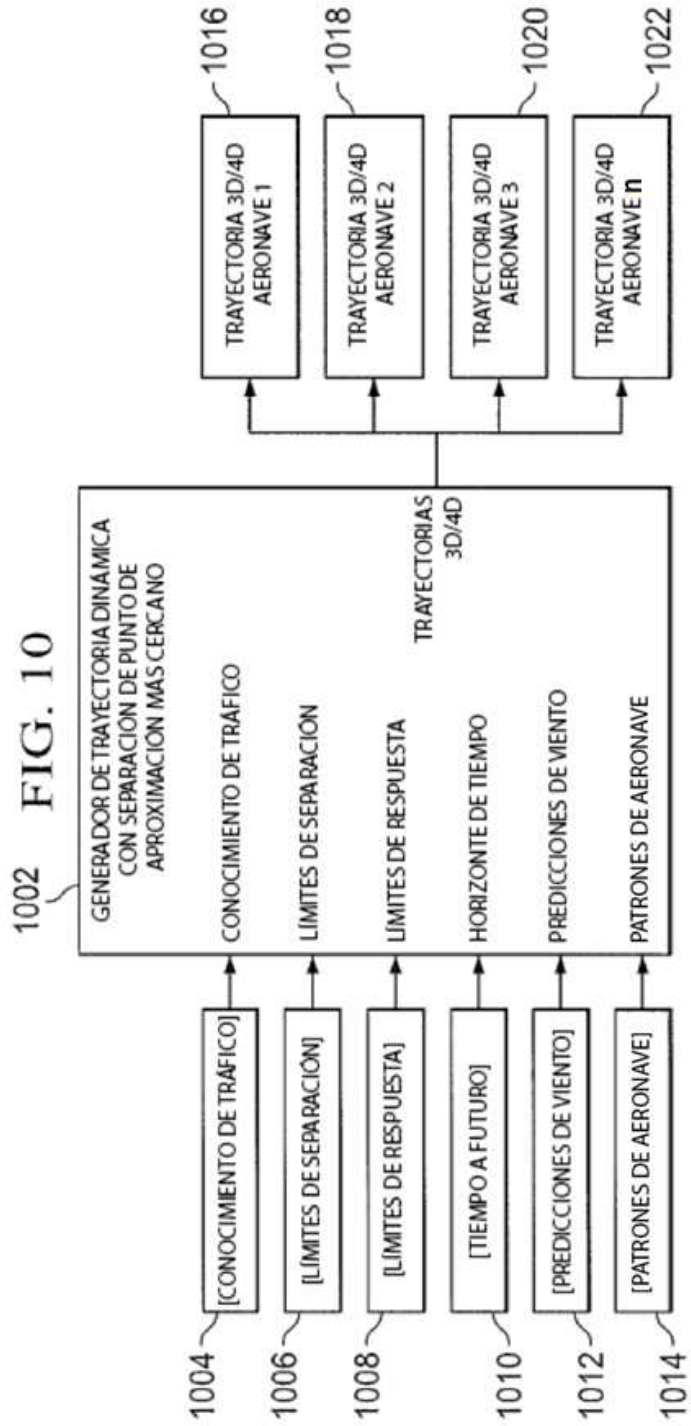
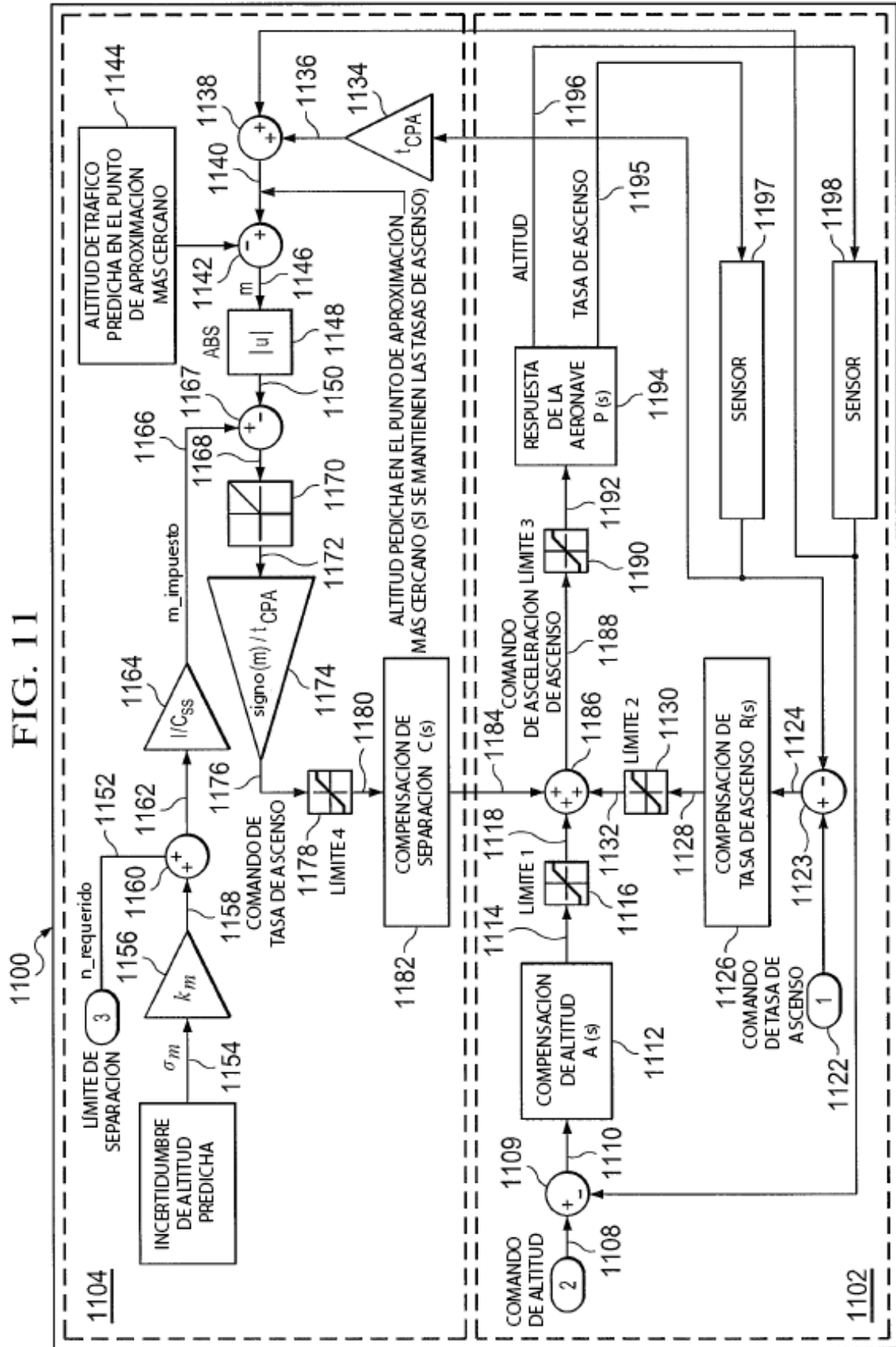
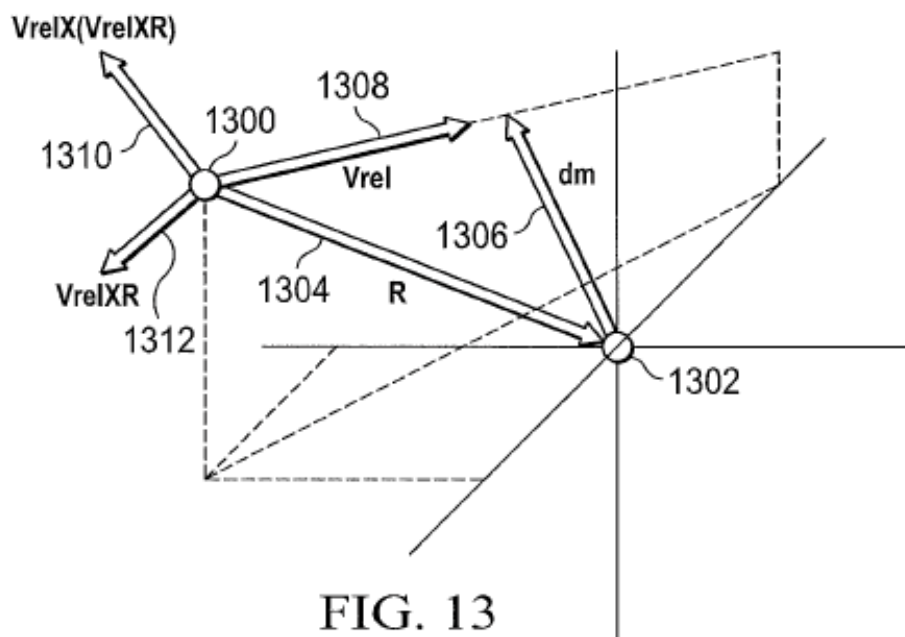
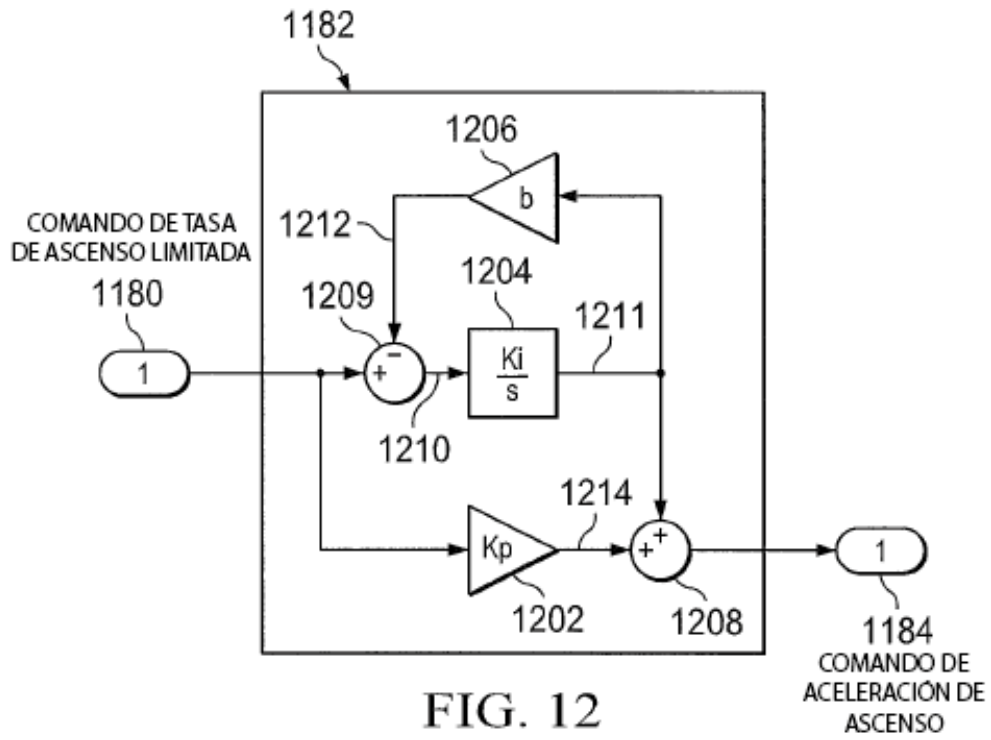


FIG. 11





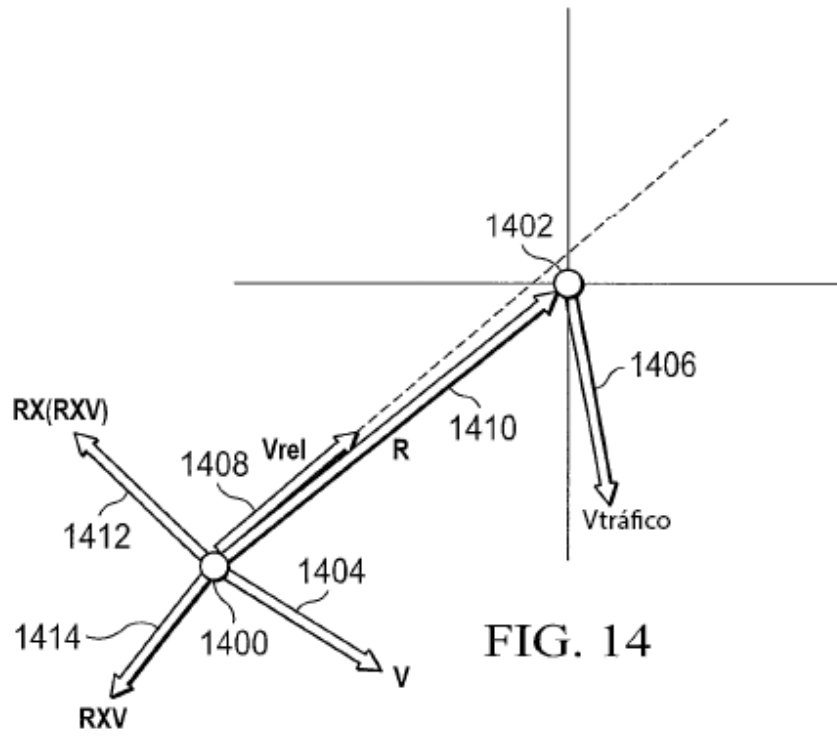


FIG. 14

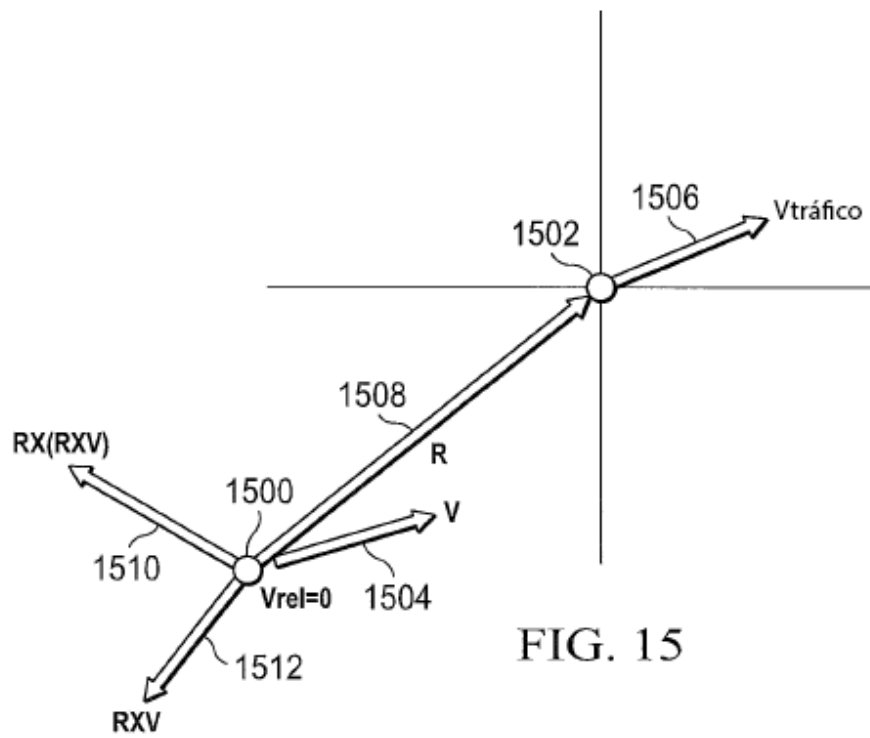


FIG. 15

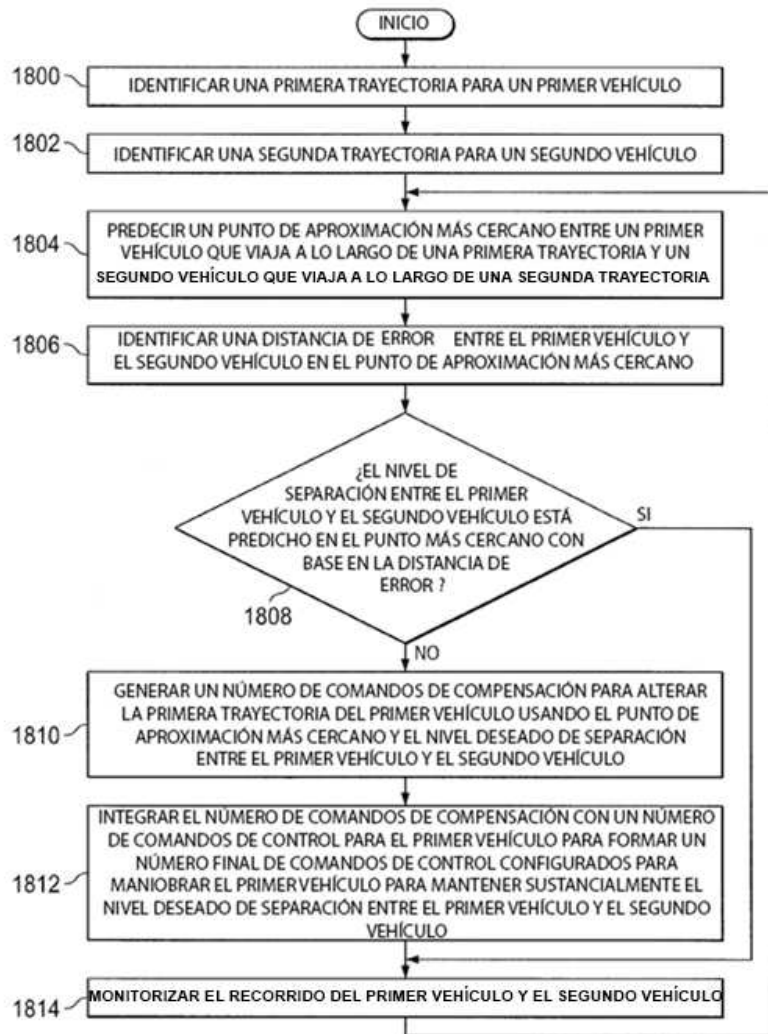


FIG. 18

FIG. 19

