

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 435 674**

51 Int. Cl.:

G01S 13/76 (2006.01)

G08G 5/04 (2006.01)

G01S 5/00 (2006.01)

G01S 13/93 (2006.01)

G08G 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2008** **E 12170024 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2013** **EP 2506032**

54 Título: **Verificación de validez de información de posición de un vehículo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.12.2013

73 Titular/es:

SAAB AB (100.0%)
581 88 Linköping, SE

72 Inventor/es:

PERSSON, ANDREAS y
ANDERSSON, SVANTE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 435 674 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

Verificación de validez de información de posición de un vehículo

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere al campo de la vigilancia de tráfico y, más en particular, a un procedimiento de validación de datos de posición que indican supuestamente la posición de un vehículo.

Técnica antecedente

Vigilancia de tráfico y gestión de tráfico

- 10 En la actualidad, la vigilancia del tráfico aéreo está gestionada por sistemas de control de tráfico aéreo (ATC) utilizando radares primarios y secundarios. Los sistemas de ATC en desarrollo en la actualidad utilizan técnicas distintas o complementarias en la vigilancia del tráfico aéreo. Un sistema tal es el denominado radiodifusión de vigilancia dependiente automática (ADS-B) que se espera que, a la larga, sustituya progresivamente los sistemas actuales como una fuente de información de ATC.

- 15 La idea básica del sistema de ADS-B es que todas las aeronaves radiodifundan su propio vector de estado, que comprende información de posición y de estado, a todas las aeronaves y a las estaciones terrestres cercanas. Por lo tanto, cada aeronave tiene una imagen completa del tráfico circundante y el tráfico cercano a una estación terrestre puede ser monitorizado en tierra.

El enlace de datos instalado en un avión (transpondedor), que permite la funcionalidad concebida, es central para el concepto de ADS-B. En la actualidad existen tres tipos distintos de enlaces de datos que están siendo considerados: Modo S ES, Modo 4 VDL y UAT.

- 20 El Modo S ES es una extensión del sistema convencional de radar secundario de vigilancia en Modo S. El Modo 4 VDL es un estándar recién desarrollado para un transpondedor de enlace de datos compatible con los requerimientos de ADS-B. Solo se considera UAT para la aviación general en los EE. UU.

Evitación de colisiones y provisión de separación

- 25 En la actualidad, la evitación de colisiones y la provisión de separación están mecanizadas por los controladores de tráfico aéreo, los pilotos o el sistema TCAS. La característica básica en el sistema TCAS es el uso de transpondedores y antenas. Una explicación muy simplificada del sistema TCAS es que envía una solicitud desde el transpondedor. Si hay otra aeronave en el entorno se devuelve una respuesta al sistema TCAS que entonces conoce la distancia hasta la otra aeronave (al medir el tiempo desde la solicitud hasta la respuesta recibida) y normalmente también en qué dirección está ubicada la otra aeronave (al utilizar una antena direccional). Entonces, el sistema TCAS utiliza esta información para emitir avisos y maniobras sugeridas de resolución si se determina que son necesarios.

- 30 Una desventaja de los sistemas TCAS actuales son las incertidumbres en la posición relativa determinada (especialmente a grandes distancias) debidas a las incertidumbres en las antenas direccionales y las distancias estimadas hasta las aeronaves circundantes. Estas incertidumbres pueden tener como resultado avisos molestos procedentes del sistema. Por lo tanto, los sistemas TCAS actuales no son considerados candidatos adecuados para futuros sistemas anticolidión y/o de provisión de separación.

- 35 El sistema de ADS-B y su posibilidad de proporcionar automáticamente a cada aeronave información relacionada con el tráfico circundante desarrollan la funcionalidad, tal como una provisión de separación y una evitación de colisiones automáticas o semiautomáticas. Estas funciones son particularmente importantes en un control del vuelo de vehículos aéreos no tripulados (UAV) pero también pueden ser importantes como una característica preventiva en aeronaves pilotadas.

- 40 Considerando los inconvenientes conocidos del TCAS, la ADS-B parece un candidato muy adecuado para futuros sistemas para la evitación de colisiones y la provisión de separación utilizando combinaciones de sensores tales como, por ejemplo, cámaras, radar y transpondedores de ADS-B. A veces, los sistemas de vigilancia de aeronaves instalados en aeronaves para la evitación de colisiones y la provisión de separación son denominados sistemas de detección y evitación.

- 45 Desafortunadamente, los actuales sistemas de ADS-B adolecen de una desventaja. Se tiene que confiar en que la información de posición recibida procedente de tráfico aéreo circundante es correcta. Esto es tanto un problema de protección como de seguridad, de protección en el sentido de que si el sistema transmisor emite una posición errónea puede provocar una situación peligrosa, y de seguridad en el sentido de que el sistema llega a ser propenso a un uso malicioso al emitir informes de posición falsificados.

Por ejemplo, si un mensaje de ADS-B indica una posición errónea de la aeronave desde la que es transmitido, las decisiones tomadas con base en ese mensaje de ADS-B pueden tener consecuencias devastadoras. Un operario de un sistema de ATC basado en datos de ADS-B o un piloto/piloto automático de una aeronave que utiliza un sistema de vigilancia de aeronaves basado en ADS-B puede ser engañado para dar instrucciones/controlar una aeronave hacia la aeronave, en vez de alejarse de la misma, que transmite el mensaje erróneo de ADS-B.

Sumario

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de vigilancia de vehículos que sea menos propenso a errores y menos sensible a un uso malicioso.

Se consigue este objetivo por medio de un procedimiento para validar datos de posición en aplicaciones de vigilancia de vehículos, en el que los vehículos transmiten datos de posición que indican su propia posición a los vehículos circundantes en mensajes en Modo S ES, ateniéndose los mensajes ADS-B al formato en Modo S ES. El procedimiento implica las etapas de:

recibir, con una disposición de antena radiogoniométrica de una unidad de recepción, una señal que transporta datos de posición que comprenden un mensaje en Modo S ES, que indican una posición supuesta de un vehículo, transmitida desde una fuente de radio;

estimar el azimut, o marcación, desde la unidad de recepción hasta dicha fuente de radio, utilizando dicha disposición de antena radiogoniométrica y la señal recibida;

estimar, por medio de equipos de medición de la distancia, siendo al menos uno de los equipos de radar primario, de los equipos de detección y de medición de distancias por láser, y/o de los equipos de radar secundario de vigilancia, la distancia entre la unidad de recepción y la fuente de radio con base en el tiempo de vuelo de una señal que se propaga entre las mismas a una velocidad conocida;

calcular una posición estimada de la fuente de radio con base en el azimut estimado y la distancia estimada, y

determinar un valor de desviación que indica la desviación/coincidencia entre la posición supuesta de un vehículo según los datos recibidos de posición y la posición estimada de la fuente de radio,

Al estimar el azimut y la distancia hasta una fuente de radio que transmite datos de posición relacionados con una posición supuesta de un vehículo, y al calcular una posición estimada de dicha fuente de radio con base en el azimut y en la distancia estimados, el anterior procedimiento proporciona una forma para determinar si la fuente de radio está ubicada realmente en la posición dada por los datos de posición que transmite.

Dado que se utiliza el procedimiento en un sistema de comunicación automática de vigilancia de vehículos, lo que significa que cada vehículo transmite datos de posición que indican su propia posición, una desigualdad entre la posición supuesta de un vehículo según los datos recibidos y la posición estimada de la fuente de radio indica que algo no está bien y que no puede confiarse de forma indiscriminada en los datos recibidos de posición.

Por lo tanto, se puede utilizar el valor determinado de desviación como un indicador de la fiabilidad de los datos recibidos de posición.

El equipo de medición de la distancia es en una realización el equipo de radar primario o equipo de LADAR, y la distancia a la fuente de radio se estima sobre la base del tiempo de vuelo, TOF, de una señal de radar o una señal de pulso de láser de LADAR.

El equipo de medición de la distancia comprende en una realización un radar orientable conectado a medios de control y medios de accionamiento para orientar el radar orientable, que comprende además la etapa de orientar el radar orientable basándose en los datos de posición contenidos en los mensajes en Modo S ES.

El equipo de medición de la distancia es en una realización el equipo de radar secundario de vigilancia y la distancia a la fuente de radio se estima sobre la base del tiempo transcurrido entre la transmisión de una solicitud/interrogación y la recepción de una respuesta.

En una realización, en la que el equipo de radar secundario de vigilancia comprende un interrogador, el procedimiento comprende además la etapa de radiodifundir una solicitud de presencia por medio de dicho interrogador inmediatamente tras la recepción de un mensaje en Modo S ES.

La etapa de estimar el azimut desde la unidad de recepción hasta la fuente de radio es llevada a cabo, según una realización de la invención, al recibir la señal con una antena direccional conectada a una circuitería del transceptor que está adaptada para determinar el azimut hasta la fuente de radio con base en la salida de la antena direccional.

La etapa de estimar la distancia entre la unidad de recepción y la fuente de radio puede ser llevada a cabo de distintas formas dependiendo, por ejemplo, del tipo de enlace de datos utilizado para la transmisión de la señal y la información transportada por la señal.

5 Cuando se transmite la señal que transporta los datos de posición por un enlace sincronizado de datos, lo que significa que las transmisiones por ese enlace de datos son iniciadas en instantes que son conocidos por todos los usuarios del enlace de datos, se puede utilizar la señal que transporta los datos de posición para estimar la distancia entre la fuente de radio y la unidad de recepción. Al determinar el instante en el que se recibe la señal, se puede determinar el tiempo transcurrido aproximado entre la transmisión y la recepción de la señal por medio de la unidad de recepción dado que se conoce el instante en el que se inició la transmisión. Este momento se corresponde con el tiempo de vuelo de la señal y dado que la señal se propaga a una velocidad conocida (la velocidad de la luz), se puede determinar la distancia entre la fuente de radio y la unidad de recepción. Un ejemplo de un enlace sincronizado de datos al que es aplicable este procedimiento es el enlace de datos STDMA utilizado en los sistemas de ADS-B que se atienen al formato de Modo 4 VDL.

15 Si la señal que transporta los datos de posición también transporta información acerca de su propio momento de transmisión, también puede ser estimada la distancia entre la fuente de radio y la unidad de recepción utilizando esta señal por sí sola. La unidad de recepción también puede utilizar la información del momento de transmisión contenida en la señal y el tiempo de recepción de la señal para determinar el tiempo de vuelo de la señal y, por lo tanto, la distancia entre la fuente de radio y la unidad de recepción. Este procedimiento es aplicable, por ejemplo, a sistemas de ADS-B basados en UAT.

20 Si no es posible estimar la distancia hasta la fuente de radio con base en la señal que transporta los datos de posición, la unidad de recepción puede estar dotada de equipos adicionales de medición de la distancia, tal como un equipo de radar primario, un equipo de detección y de medición de distancias por láser, y/o un equipo de radar secundario de vigilancia. Cuando la unidad de recepción recibe una señal que transporta datos de posición relacionados con una posición supuesta de un vehículo, se puede utilizar el equipo adicional de distancia para estimar la distancia hasta la fuente de radio desde la que se originó la señal. En la actualidad, se debe utilizar este procedimiento, por ejemplo, en sistemas de ADS-B basados en Modo S ES.

25 Según un aspecto de la invención, se utiliza el procedimiento para descartar datos recibidos de posición que se descubre que son poco fiables. Cuando se utiliza el procedimiento, por ejemplo, en un sistema de vigilancia de aeronaves instalado en una aeronave o un sistema terrestre de ATC, el procedimiento sugerido garantiza que las decisiones de navegación se adoptan con base en información correcta de tráfico circundante, lo que aumenta considerablemente la seguridad de tales sistemas.

30 El objetivo también se consigue por medio de un sistema de vigilancia de vehículos para validar datos de posición en aplicaciones de vigilancia de vehículos en el que los vehículos transmiten datos de posición que indican su propia posición a los vehículos circundantes en mensajes en Modo S ES, ateniéndose los mensajes ADS-B al formato en Modo S ES. El sistema de vigilancia de vehículos comprende:

un medio de estimación del azimut adaptado para recibir una señal que transporta datos de posición que comprenden un mensaje en Modo S ES, que indican una posición supuesta de un vehículo, transmitida desde una fuente de radio, estando adaptado dicho medio de estimación del azimut, además, para estimar el azimut hasta dicha fuente de radio utilizando dicha señal recibida;

40 un equipo de estimación de la distancia, siendo al menos uno de los equipos de radar primario, de los equipos de detección y de medición de distancias por láser, y/o de los equipos de radar secundario de vigilancia, adaptado para estimar la distancia hasta la fuente de radio con base en el tiempo de vuelo, TOF, de una señal recibida desde la misma, señal que se propaga a una velocidad conocida;

45 un medio de cálculo adaptado para calcular una posición estimada de la fuente de radio con base en el azimut estimado y en la distancia estimada, y

un medio de comparación adaptado para determinar un valor de desviación que indica la desviación/coincidencia entre la posición supuesta de un vehículo según los datos recibidos de posición y la posición estimada de la fuente de radio,

50 El sistema de vigilancia de vehículos según la invención puede estar incluido en cualquier tipo de unidad de recepción, tal como un vehículo o una unidad estacionaria, para validar datos de posición que son transmitidos desde fuentes circundantes de radio. Por ejemplo, puede estar incluido en aeronaves o barcos para ser utilizado en aplicaciones de provisión de separación y/o de evitación de colisiones, o puede estar incluido en estaciones terrestres de ATC o VTS para monitorizar el tráfico aéreo o tráfico marítimo, respectivamente.

55 Además de la mayor seguridad de vuelo ofrecida por el sistema de vigilancia de vehículos según la invención, las aeronaves que comprenden tales sistemas y que los utilizan para una provisión automática de separación de

aeronaves reducirán su consumo de combustible dado que no se alterará su plan de vuelo preprogramado debido a mensajes erróneos de ADS-B comunicados por fuentes circundantes de radio.

Breve descripción de los dibujos

5 Se comprenderá más completamente la presente invención a partir de la descripción detallada proporcionada a continuación en el presente documento y los dibujos adjuntos, que no están necesariamente a escala, y son dados únicamente a modo de ilustración. En los distintos dibujos, los mismos números de referencia se corresponden con el mismo elemento.

Las Figuras 1A y 1B ilustran un entorno operativo típico de la invención.

Las Figuras 2A y 2B ilustran de forma esquemática el concepto de la presente invención.

10 La Fig. 3 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para validar datos recibidos de posición según la invención.

Las Figuras 4A y 4B ilustran un principio para determinar el tiempo de vuelo de un mensaje en Modo 4 VDL de ADS-B entre una fuente de radio y una unidad de recepción.

La Fig. 5 ilustra una realización de un sistema de vigilancia de vehículos según la invención.

15 Acrónimos y abreviaturas

Acrónimo	Definición
ADS-B	Radiodifusión de vigilancia dependiente automática
AIS	Sistema de identificación automática
ATC	Control de tráfico aéreo
LADAR	Detección y medición de distancias por láser
Modo S ES	Modo S con oscilaciones parásitas extendidas
MSO	Ocasiones de comienzo del mensaje
STDMA	Acceso múltiple por división de tiempo de organización automática
TCAS	Sistema de alerta de tráfico y de evitación de colisiones
TDMA	Acceso múltiple por división de tiempo
TOF	Tiempo de vuelo
UAT	Transceptor de acceso universal
UAV	Vehículo aéreo no tripulado
UTC	Tiempo universal coordinado
VDL	Enlace de datos VHF
VTs	Servicio de tráfico de embarcaciones

Descripción detallada

Una aeronave o una estación terrestre de control de tráfico aéreo (ATC) que utiliza un sistema de vigilancia de vehículos basado en ADS-B es completamente dependiente de que la información en los mensajes de ADS-B recibidos desde aeronaves circundantes sea correcta. Específicamente, se tiene que confiar en que los datos de posición contenidos en los mensajes de ADS-B procedentes de aeronaves emisoras son correctos. El fallo está en que mientras que los mensajes recibidos se atengan al formato correcto serán interpretados como mensajes de ADS-B y, como tal, los sistemas de vigilancia de vehículos confiarán en los mismos. Este hecho hace que los sistemas de vigilancia de vehículos basados en ADS-B sean sumamente vulnerables a un funcionamiento defectuoso del transpondedor de ADS-B y a un uso malicioso mediante la transmisión de datos de ADS-B falsificados.

Las tres tecnologías de enlace de datos (Modo S ES, Modo 4 VDL y UAT) utilizadas para una ADS-B adolecen del mismo defecto: el receptor de un mensaje no tiene ningún medio para comprobar si el contenido del mensaje es válido. No se detectará un informe erróneo mientras que se atenga al formato apropiado de mensajes.

Se considera que este fallo es tanto un problema de protección como de seguridad y es considerado un obstáculo fundamental para un uso futuro de datos de ADS-B en diversos sistemas de vigilancia de vehículos, tales como sistemas de provisión de separación y/o de evitación de colisiones instalados en aeronaves, y sistemas estacionarios de vigilancia de tráfico, tales como, por ejemplo, los sistemas de ATC utilizados para monitorizar el tráfico aéreo cerca de aeropuertos.

La invención presentada en el presente documento es un procedimiento y un sistema que aumentan mucho la seguridad de un sistema de vigilancia de vehículos basado en ADS-B al proporcionar una posibilidad para validar los datos de posición contenidos en los mensajes recibidos de ADS-B.

Los principios propuestos utilizan el hecho de que las posiciones de los vehículos en un sistema de vigilancia de vehículos basado en ADS-B son comunicadas automáticamente, lo que significa que todos los vehículos en tal sistema radiodifunden vectores de estado que indican su propia posición. Al proporcionar una posibilidad para estimar la posición de una fuente de radio desde la que se transmitió un mensaje recibido de ADS-B, la invención permite una verificación de validez de los datos de posición contenidos en el mensaje recibido. En términos generales, esto se consigue al verificar si la posición estimada de la fuente de radio desde la que se transmitió el mensaje de ADS-B coincide suficientemente bien con la posición indicada en el mensaje. Dado que se supone que las posiciones de los vehículos son comunicadas automáticamente, una desigualdad entre la posición estimada y la comunicada indica que no puede confiarse de forma indiscriminada en la posición comunicada.

Esta mejora aumentará la criticidad de los datos de posición en los sistemas de vigilancia de vehículos basados en ADS-B y, por lo tanto, permitirá el uso de los datos en sistemas de vigilancia críticos para la seguridad de los vehículos.

Como se comprenderá, los principios descritos en el presente documento para validar datos de posición son relevantes y aplicables a cualquier sistema de vigilancia de vehículos que reciba datos de posición comunicados automáticamente de vehículos circundantes. Sin embargo, más adelante se describirá, principalmente en el contexto de un sistema de vigilancia de aeronaves basado en ADS-B, que reside en una aeronave, para aplicaciones de provisión de separación y/o de evitación de colisiones. Los sistemas de vigilancia de aeronaves instalados en aeronaves utilizados para aplicaciones de provisión de separación, aplicaciones de evitación de colisiones, o ambas, son denominados sistemas de detección y evitación.

Las Figuras 1A y 1B ilustran un espacio aéreo 1 en el que están ubicadas una aeronave anfitriona 3 rodeada por una pluralidad de aeronaves circundantes 5. También se muestra una estación terrestre 7 de ATC para supervisar el tráfico aéreo en el espacio aéreo 1.

Cada aeronave 3, 5 comprende un transpondedor 9 de ADS-B (solo se muestra para la aeronave anfitriona 1 con fines ilustrativos) para radiodifundir sus vectores de estado a todas las aeronaves y estaciones terrestres cercanas, y para recibir e interpretar mensajes 13 de ADS-B procedentes de aeronaves circundantes. La estación terrestre 7 de ATC también comprende un transpondedor de ADS-B para recibir e interpretar mensajes recibidos. Los mensajes 13 de ADS-B comprenden datos de posición relacionados con las posiciones de la aeronave desde la que son transmitidos. Normalmente, los mensajes de ADS-B también comprenden otra información de estado específica de la aeronave, tal como un identificador de la aeronave y la velocidad actual de la aeronave.

En la Fig. 1A la aeronave anfitriona 3 radiodifunde su vector de estado a todas las aeronaves cercanas 5 y a la estación terrestre 7, y en la Fig. 1B las aeronaves circundantes 5 radiodifunden sus vectores de estado a la aeronave anfitriona 3 y, normalmente, también a todas las demás aeronaves 5 al igual que a la estación terrestre 7. De esta forma, cada aeronave 3, 5 al igual que la estación terrestre 7 puede tener una imagen completa de todo el tráfico aéreo en el espacio aéreo monitorizado 1.

El transpondedor 9 de ADS-B a bordo de cada aeronave 3, 5 puede ser cualquiera de los tipos de transpondedor de ADS-B que se esté considerando en la actualidad, es decir, un transpondedor en Modo S ES, un transpondedor en Modo 4 VDL o un transpondedor en UAT. Sin embargo, los distintos tipos de transpondedores de ADS-B se atienen a distintos formatos de mensaje y, en la actualidad, no pueden comunicarse entre sí. Por lo tanto, todas las aeronaves 3, 5 deberían estar equipadas con el mismo tipo de transpondedor 9 de ADS-B, o al menos transpondedores 9 de ADS-B compatibles, y el sistema de vigilancia de aeronaves de la estación terrestre 7 de ATC debería estar diseñado para soportar la recepción y la interpretación de mensajes enviados por el enlace de datos instalado en un avión (Modo S ES, Modo 4 VDL o un UAT) definido por este tipo particular de transpondedor 9 de ADS-B.

Las Figuras 2A y 2B ilustran de forma esquemática el concepto de la presente invención.

En la Fig. 2A, una aeronave 5 transmite un mensaje 13 de ADS-B que transporta información que indica al menos la posición $P_{\text{ADS-B}(5)}$ de dicha aeronave 5. La posición supuesta $P_{\text{ADS-B}(5)}$ de un vehículo según se indica en un mensaje 13 de ADS-B será denominada más adelante como la posición ADS-B o la posición comunicada. Los datos de posición contenidos en un mensaje de ADS-B están asociados con una cierta incertidumbre y, por lo tanto, la posición ADS-B $P_{\text{ADS-B}(5)}$ de la aeronave 5 está ilustrada con un círculo de puntos que es algo mayor que la aeronave en sí. Normalmente, los datos de posición contenidos en un mensaje 13 de ADS-B están basados en información de GPS y, por lo tanto, están asociados con una incertidumbre bien conocida que, como es bien conocido en la técnica, depende, por ejemplo, de con cuántos satélites GPS tiene contacto cuando se determina la posición.

La aeronave anfitriona 3 recibe el mensaje 13 de ADS-B y registra la posición $P_{\text{ADS-B}(5)}$ comunicada de la aeronave 5. Sin embargo, en vez de fiarse de forma indiscriminada de la posición $P_{\text{ADS-B}(5)}$ comunicada de ADS-B y, por ejemplo, usar dicha posición como parámetros de entrada para un sistema de detección y evitación de la aeronave anfitriona 3, la aeronave anfitriona 3 según la invención comprende un medio para verificar los datos recibidos de posición. Como se ha mencionado anteriormente, esto se consigue, en términos generales, al estimar la posición $P_{\text{EST}(5)}$ de la fuente 5 de radio desde la que se transmitió el mensaje 13 de ADS-B y al comparar dicha posición estimada $P_{\text{EST}(5)}$ con la posición ADS-B comunicada $P_{\text{ADS-B}(5)}$. Al comparar la posición $P_{\text{ADS-B}(5)}$ indicada por los datos de posición en el mensaje recibido 13 de ADS-B con la posición estimada $P_{\text{EST}(5)}$, la aeronave anfitriona 3 y su sistema de detección y evitación pueden emprender acciones, tal como negarse a que los datos recibidos de posición sean utilizados en aplicaciones críticas para la seguridad del vuelo, si las dos posiciones $P_{\text{ADS-B}(5)}$, $P_{\text{EST}(5)}$ no coinciden suficientemente bien. La forma en la que se calcula la posición estimada $P_{\text{EST}(5)}$ de la fuente 5 de radio que transmite el mensaje 13 de ADS-B será descrita con más detalle a continuación.

La posición estimada $P_{\text{EST}(5)}$ también está asociada con una incertidumbre que, como se ilustra por medio de un círculo que es algo mayor que el que ilustra la posición ADS-B $P_{\text{ADS-B}(5)}$, es normalmente mayor que la incertidumbre asociada con la posición ADS-B $P_{\text{ADS-B}(5)}$ comunicada. Aunque se ilustran como círculos en aras de la simplicidad, se debería apreciar que tanto la posición ADS-B $P_{\text{ADS-B}(5)}$ como la posición estimada $P_{\text{EST}(5)}$ están asociadas con incertidumbres en todas las dimensiones del espacio y que, por tanto, las líneas de puntos deberían ser interpretadas como cortes transversales de cuerpos tridimensionales cuya forma depende de incertidumbres de posición en cada dimensión espacial. Preferentemente, se tienen en cuenta las incertidumbres asociadas con la posición ADS-B $P_{\text{ADS-B}(5)}$ y la posición estimada $P_{\text{EST}(5)}$, respectivamente, cuando se comparan las dos posiciones.

Aunque la Fig. 2A ilustra un escenario en el que la posición ADS-B $P_{\text{ADS-B}(5)}$ comunicada de la aeronave 5 coincide con su posición $P_{\text{EST}(5)}$ según es estimada por la aeronave anfitriona 3, lo que indica que la fuente de radio desde la que se transmitió el mensaje recibido de ADS-B está ubicada con suma probabilidad en dicha posición $P_{\text{ADS-B}(5)}$ y que, por lo tanto, se puede confiar en los datos de posición, se describirá ahora un escenario opuesto con referencia a la Fig. 2B.

En la Fig. 2B, una aeronave 5' transmite un mensaje 13' de ADS-B que es recibido por la aeronave anfitriona 3. La aeronave anfitriona 3 recupera los datos de posición contenidos en el mensaje 13' de ADS-B y registra la posición ADS-B comunicada. Según lo que se ha descrito anteriormente, la aeronave anfitriona 3 también calcula una posición estimada $P_{\text{EST}(5')}$ de la fuente 5' de radio desde la que se transmitió el mensaje 13', posición $P_{\text{EST}(5')}$ que en este caso se ve que se desvía sustancialmente de la posición de la aeronave 5' según se indica en el mensaje 13' de ADS-B. La desviación entre la posición comunicada automáticamente $P_{\text{ADS-B}(5')}$ y la posición estimada $P_{\text{EST}(5')}$ indica a la aeronave anfitriona 3 que no se puede confiar de forma indiscriminada en los datos de posición en el mensaje recibido 13' de ADS-B.

Dado que el sistema de ADS-B está basado en que cada aeronave radiodifunde su propio vector de estado, una desigualdad entre la posición de una aeronave cercana según un mensaje recibido de ADS-B y la posición estimada de la fuente de radio que transmite dicho mensaje de ADS-B depende, normalmente, de una de dos cosas: en primer lugar, el transpondedor de ADS-B, el receptor GPS, o cualquier otro componente vital del sistema de la aeronave transmisora puede estar funcionando de forma defectuosa. En segundo lugar, la fuente de radio que transmite el mensaje de ADS-B puede estar dispuesta deliberadamente para comunicar una posición distinta de la propia. Es una debilidad bien conocida del sistema de ADS-B que se puedan radiodifundir deliberadamente mensajes "falsificados" de ADS-B con intención maliciosa para crear confusión o incluso para anular el sistema de vigilancia de aeronaves tanto de aeronaves como de estaciones terrestres en una cierta zona al llenar esa zona de mensajes engañosos de ADS-B.

Este escenario también se ilustra en la Fig. 2B en la que se puede ver que se transmite el mensaje malicioso 13" de ADS-B desde un transpondedor 15" de ADS ubicado en tierra. Los datos de posición contenidos en el mensaje 13" de ADS-B, que es recibido y registrado por la aeronave anfitriona 3, alega engañosamente que una aeronave está ubicada en la posición $P_{\text{ADS-B}(15")}$. Sin embargo, cuando la aeronave anfitriona 3 (o cualquier otra unidad que reciba el mensaje 13" y que tenga un sistema de vigilancia de aeronaves que utilice el concepto inventivo dado a conocer en el presente documento) intenta validar los datos recibidos de posición al estimar la posición de la fuente 15" de radio desde la que recibió el mensaje 13", encontrará una desigualdad entre la posición de la fuente 15" de radio y la posición supuesta $P_{\text{ACS-B}(15")}$ de una aeronave y, por lo tanto, puede desechar los datos de posición contenidos en el mensaje recibido 15" de ADS-B como poco fiables.

Se describirán ahora con más detalle el procedimiento y los medios para validar datos recibidos de posición.

Para estimar las posiciones $P_{EST(5)}$, $P_{EST(5')}$ de las fuentes 5, 5', 15" de radio que radiodifunden los mensajes 13, 13', 13" de ADS-B en las Figuras 2A y 2B, la aeronave anfitriona 3 comprende una disposición de antena radiogoniométrica, tal como una disposición de antena direccional, que puede ser utilizada para determinar el azimut hasta una fuente de radio al analizar una señal de radio recibida desde la misma. Es bien conocido en la técnica cómo están diseñadas las disposiciones de antena, y cómo se utilizan para determinar el azimut aproximado hasta una fuente de radio desde la que se recibe una señal y no necesita ser descrito adicionalmente en el presente documento.

La distancia desde la aeronave anfitriona 3 hasta la fuente 5, 5', 15" de radio que radiodifunde el mensaje 13, 13', 13" de ADS-B se estima con base en el tiempo de vuelo (TOF) para una señal que se propaga a una velocidad conocida entre la fuente de radio y la aeronave anfitriona. Preferentemente, cuando es posible, se determina la distancia con base en el TOF del mensaje 13, 13', 13" de ADS-B que transporta los datos de posición que van a ser validados.

La Fig. 3 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para validar datos recibidos de posición según la invención. Se pueden llevar a cabo las etapas del procedimiento por medio de cualquier unidad de recepción que recibe tales datos, tal como un vehículo (por ejemplo, una aeronave) o una unidad estacionaria (por ejemplo, una estación terrestre de ATC). Sin embargo, cuando se describe el procedimiento, se hará referencia simultánea al entorno operativo ejemplar de la invención ilustrado en las Figuras 2A y 2B, en las que la unidad de recepción es la aeronave anfitriona 3.

En la etapa S1, la aeronave anfitriona 3 recibe una señal 13, 13', 13" que se origina desde una fuente 5, 5', 15" de radio por medio de una disposición de antena radiogoniométrica capaz de estimar el azimut hasta la fuente emisora de radio. La señal 13, 13', 13" transporta datos de posición que indican una posición supuesta PADS-B(5), PADS-B(5'), PADS-B(15") de una aeronave. Aquí, "supuesto" significa que puede haber o no una aeronave en la posición comunicada por la fuente de radio. La invención está concebida para un sistema de vigilancia de vehículos en el que cada vehículo transmite su propia posición, y el caso en el que la aeronave no se encuentra en la posición comunicada por la fuente de radio indica, por lo tanto, bien un funcionamiento defectuoso del equipo del sistema o bien que la fuente de radio está dispuesta deliberadamente para transmitir datos engañosos de posición.

En la etapa S2, la aeronave anfitriona 3 estima el azimut hasta la fuente 5, 5', 15" de radio que transmite la señal 13, 13', 13" que transporta los datos de posición al analizar la señal 13, 13', 13" recibida con la disposición de antena radiogoniométrica de formas conocidas.

En la etapa S3, la aeronave anfitriona 3 estima la distancia hasta la fuente 5, 5', 15" con base en el TOF de una señal que se propaga entre la fuente de radio y la aeronave anfitriona 3, y la velocidad de propagación (la velocidad de la luz) de la señal. Preferentemente, se estima la distancia con base en el TOF de la señal 13, 13', 13" que transporta los datos de posición que van a ser validados. Sin embargo, también se puede estimar la distancia con base en el TOF de otras señales transferidas entre la fuente de radio y la aeronave anfitriona. La forma en la que la aeronave anfitriona 3 estima la distancia hasta la fuente de radio puede variar dependiendo, por ejemplo, del tipo de enlace de datos utilizado para la transmisión y el contenido de información de la señal y se describirá con más detalle a continuación.

En la etapa S4, la aeronave anfitriona 3 calcula una posición estimada $P_{EST(5)}$, $P_{EST(5')}$, $P_{EST(15')}$ de la fuente 5, 5', 15" de radio con base en el azimut estimado en la etapa S2 y la distancia estimada en la etapa S3.

En la etapa S5, la aeronave anfitriona 3 determina un valor de desviación indicativo de la desviación/coincidencia entre la posición $P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15')}$ de la aeronave según es comunicada por la fuente 5, 5', 15" de radio y la posición estimada $P_{EST(5)}$, $P_{EST(5')}$, $P_{EST(15')}$ de la fuente 5, 5', 15" de radio calculada en la etapa S4. Si la posición $P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15')}$ comunicada es una posición absoluta, se debe utilizar la propia posición de la aeronave anfitriona 3 cuando se estima la distancia hasta la posición comunicada. Por otra parte, si la posición $P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15')}$ comunicada es una posición relativa de una aeronave con respecto a la aeronave anfitriona, no es necesario tener un conocimiento de la propia posición de la aeronave anfitriona. El valor determinado de desviación es un indicador de la fiabilidad de los datos recibidos de posición y puede ser utilizado como base para decidir si la unidad de recepción (en este caso ejemplar la aeronave anfitriona 3) debería utilizar o desechar los datos recibidos de posición.

Ahora, se describirá con más detalle la etapa S3 del procedimiento con referencia simultánea a las Figuras 2A y 2B. Como se ha mencionado anteriormente, la distancia estimada hasta la fuente 5, 5', 15" de radio está basada en el TOF de una señal que se propaga entre la fuente de radio y la aeronave anfitriona 3 a una velocidad conocida, y la forma en la que se lleva a cabo la determinación del TOF depende del tipo de enlace de datos por el que se transmiten los datos de posición.

Estimación de la distancia en el Modo 4 VDL

En primer lugar, se describirá un concepto para determinar el TOF de un mensaje 13, 13', 13" de ADS-B que se atiene al formato de Modo 4 VDL.

El Modo 4 VDL está basado en STDMA, que es un procedimiento de acceso a canales que permite que varios usuarios compartan el mismo canal de frecuencias al dividirlo en distintas ranuras basadas en el tiempo. Se requiere que cada transpondedor de ADS-B que se atenga al formato de Modo 4 VDL transmita su vector de estado en ranuras específicas de tiempo. El comienzo de cada ranura de tiempo está determinado por el estándar del Modo 4 VDL y está basado en UTC (tiempo GPS). Cada ranura de tiempo comienza en un instante específico y termina en un instante (según está definido por UTC), instantes que están definidos globalmente y son conocidos por todos los transpondedores de Modo 4 VDL. Se puede encontrar información más detallada acerca del Modo 4 VDL y STDMA, por ejemplo, en el documento titulado "Self-organizing Time Division Multiple Access VDL Mode 4 – Standards and Recommended Practices", que es el Apéndice D del Informe sobre el Punto 5 de la Agenda del cuarto encuentro del Aeronautical Mobile Communications Panel (AMCP/4); Montreal, Canadá, 25 de marzo – 4 de abril de 1996 (que también puede encontrarse en Internet en <http://www.icao.int/anb/panels/acp/meetings/amcp4/item-5d.pdf>, 2008-04-22).

El principio propuesto para determinar el TOF para un mensaje de Modo 4 VDL es estimar el TOF con base en el tiempo entre el inicio de la ranura de tiempo en la que se recibe el mensaje y el instante en el que se recibe el mensaje.

Este principio se ilustra en las Figuras 3A y 3B, que ilustran una trama 10 que es una parte de una corriente de datos en Modo 4 VDL. La trama 10 está dividida en una pluralidad de ranuras 12 de tiempo. Hay asignadas distintas ranuras de tiempo a distintos transpondedores de Modo 4 VDL. Por ejemplo, la ranura de tiempo indicada por el número 12 de referencia puede estar asignada a la aeronave indicada por el número 5 de referencia en la Fig. 2A. Al inicio 14 de la ranura 12 de tiempo, la aeronave 5 radiodifunde el mensaje 13 en Modo 4 VDL por el enlace de datos de Modo 4 VDL basado en STDMA. Normalmente, la transmisión del mensaje 13 en Modo 4 VDL comienza casi inmediatamente tras el comienzo 14 de la ranura 12 de tiempo asignada para esa transmisión. Según el estándar y la práctica recomendada del Modo 4 VDL, la transmisión de un mensaje en Modo 4 VDL debería comenzar no después de 1 microsegundo después del comienzo 14 de la ranura 12 de tiempo asignada para esa transmisión, que normalmente es un periodo de tiempo más prolongado del necesario. La aeronave anfitriona 3, que también comprende un transpondedor 9 de Modo 4 VDL y, por lo tanto, conoce cuándo comienza y cuándo termina cada ranura de tiempo, recibe el mensaje 13 en algún instante 16 dentro de la ranura 12 de tiempo (las ranuras de tiempo de STDMA son lo suficientemente prolongadas como para asegurar que se recibe al menos el comienzo de un mensaje en Modo 4 VDL dentro de la misma ranura de tiempo que en la que está radiodifundida). La aeronave anfitriona 3 comprende medios para determinar el instante 16 en el que llega el mensaje 13. Normalmente, el propio transpondedor 9 de Modo 4 VDL comprende medios para determinar cuándo se recibe un mensaje 13. Dado que el transpondedor de Modo 4 VDL de la aeronave anfitriona conoce exactamente cuándo comenzó la ranura de tiempo, se puede determinar el tiempo transcurrido Δt entre el comienzo de las ranuras de tiempo y la recepción del mensaje. Dado que este tiempo Δt se corresponde sustancialmente con el TOF del mensaje 13 en modo 4 VDL, y dado que la señal de radio que transporta el mensaje 13 se propaga a una velocidad conocida (la velocidad de la luz), la aeronave anfitriona 3 puede calcular una distancia estimada $d_{EST(5)}$ hasta la aeronave 5 desde la que se recibió el mensaje 13 en Modo 4 VDL. Dado que el estándar de Modo 4 VDL permite que un transpondedor comience la transmisión hasta 1 microsegundo después del comienzo de una ranura de tiempo, se tiene en cuenta dicho retraso de transmisión, preferentemente, por medio de la unidad de recepción cuando determina el TOF de la señal. Por ejemplo, se puede estimar el TOF como el tiempo transcurrido Δt entre el comienzo de la ranura de tiempo y la recepción de la señal menos 500 nanosegundos (la mitad del retraso permisible de la transmisión).

El procedimiento descrito anteriormente para estimar una distancia hasta una fuente de radio desde la que se recibe una señal es aplicable a todos los sistemas de comunicaciones que utilizan radioenlaces basados en STDMA. Además de los sistemas de Modo 4 VDL de ADS-B para la vigilancia de tráfico aéreo, un ejemplo de tal sistema es el sistema AIS utilizado habitualmente para la vigilancia de tráfico marítimo. Tanto en el sistema de Modo 4 VDL de ADS-B como en el sistema AIS, los vehículos (aeronaves y barcos/embarcaciones, respectivamente) transmiten datos de posición que indican su propia posición a los vehículos circundantes.

Se debería apreciar que el procedimiento descrito anteriormente no está limitado a sistemas que utilizan radioenlaces basados en STDMA, sino que es aplicable en cualquier sistema de comunicaciones que utilice enlaces sincronizados de datos, por los que se inician transmisiones en instantes que son conocidos por todos los usuarios del enlace de datos.

Estimación de la distancia en un UAT

Ahora, se describirá un concepto para determinar el TOF de un mensaje de ADS-B que se atiene al formato UAT.

Las transmisiones por el enlace de datos de UAT son de uno de dos tipos generales: un mensaje de enlace ascendente terrestre o un mensaje de ADS-B. Cuando se utiliza más adelante la expresión "mensaje de UAT", hace

referencia al mensaje de ADS-B de una transmisión de UAT. A diferencia de los mensajes de ADS-B que se atienen al formado de Modo 4 VDL, los mensajes de UAT son radiodifundidos de forma pseudoaleatoria. Una trama de UAT que tiene una duración de 1 segundo normalmente comprende 3200 de lo que se denominan Ocasiones de Comienzo del Mensaje (MSO), cada una asociada con un instante bien definido (UTC). La transmisión de un mensaje de UAT ocurre en una MSO escogida de forma aleatoria dentro de la trama de UAT.

La información transmitida en un mensaje de UAT es denominada la "carga útil" y además del vector de estado de la aeronave (que comprende, por ejemplo, los datos de posición), la carga útil de un mensaje de UAT incluye la MSO en la que fue radiodifundido. Es decir, un mensaje de UAT transporta información de su propio momento preciso de transmisión.

Al determinar el instante en el que se recibe un mensaje de UAT, y al establecer el instante en el que fue transmitido el mensaje con base en la información de MSO en el mensaje, se puede determinar el tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción, es decir el TOF, de un mensaje de ADS-B de UAT.

Como el caso de los mensajes en Modo 4 VDL descrito anteriormente, una aeronave que recibe un mensaje de UAT procedente de una aeronave cercana puede estimar, por lo tanto, la distancia hasta esa aeronave con base en el TOF del mensaje.

Estimación de la distancia en Modo S ES

Los mensajes en Modo S ES, es decir mensajes de ADS-B que se atienen al formato en Modo S ES, son radiodifundidos de forma aleatoria y, a diferencia de los mensajes de UAT, no transportan información acerca del instante en el que fueron transmitidos. En la actualidad, no hay por lo tanto formas conocidas para establecer el TOF exacto para un mensaje en Modo S ES.

Para calcular una posición estimada de una fuente de radio desde la que se origina un mensaje en Modo S ES, la unidad de recepción necesita comprender un equipo adicional de medición de la distancia. Tal equipo adicional de medición de la distancia puede ser, por ejemplo, un equipo de radar primario, un equipo de detección y medición de distancias por láser (LADAR), o un equipo de radar secundario de vigilancia, todos ellos conocidos en la técnica para utilizar el TOF de la señal para estimar distancias hasta objetos circundantes.

Es decir, si el mensaje 13 de ADS-B radiodifundido, por ejemplo, por la aeronave 5 en la Fig. 2A es un mensaje 13 en Modo S ES, la aeronave anfitriona 3 debe comprender un equipo adicional de medición de la distancia para calcular una posición estimada $P_{EST(5)}$ de la aeronave 5. Sin embargo, gracias a la disposición de antena radiogoniométrica con la que se recibe el mensaje 13 en Modo S ES según la invención, la aeronave anfitriona 3 puede seguir estimando un azimuth hasta la aeronave transmisora 5. Una medición del azimuth puede ser suficiente para establecer que la posición $P_{ADS-B(5)}$ comunicada en Modo S ES es errónea y que no se puede confiar en ella.

Si la aeronave anfitriona 3 comprende un equipo convencional de radar o de LADAR, se puede utilizar el TOF de la señal de radio de radar o la señal de impulso de láser de LADAR para estimar una distancia hasta la aeronave 5. Entonces, se puede calcular una posición estimada $P_{EST(5)}$ de la aeronave 5 con base en el azimuth estimado por medio de la disposición de antena radiogoniométrica que recibe el mensaje 13 en Modo S ES y la distancia estimada utilizando el TOF de la señal reflejada de radar o de LADAR.

Además o en lugar del equipo convencional de radar y/o de LADAR, la aeronave anfitriona 3 puede comprender un radar orientable rápidamente conectado a un medio de control y a un medio de accionamiento que están dispuestos para orientar el radar con base a los datos de posición contenidos en los mensajes recibidos en Modo S ES. En cuanto la aeronave anfitriona 3 recibe un mensaje 13 en Modo S ES, se puede dirigir tal radar orientable rápidamente hacia la posición $P_{ADS-B(5)}$ indicada en el mensaje 13 en Modo S ES para obtener un TOF de una señal de radar reflejada por la aeronave 5 que radiodifundió el mensaje en Modo S ES. De ese modo, se puede calcular una posición estimada $P_{EST(5)}$ de la aeronave 5. Por supuesto, el haz de radar debería ser lo suficientemente ancho como para permitir cambios en la posición de la aeronave durante el alineamiento del radar orientable. Tales cambios en la posición de la aeronave también pueden ser tenidos en cuenta al permitir una mayor desviación entre la posición comunicada $P_{ADS-B(5)}$ en Modo S ES y la posición estimada $P_{EST(5)}$ sin desechar la posición comunicada en Modo S ES como errónea.

La aeronave anfitriona 3 también puede comprender un equipo de radar secundario de vigilancia, tal como por ejemplo un interrogador y un transpondedor de Modo S que son utilizados en sistemas TCAS actuales como se ha descrito en la porción de antecedentes. El interrogador, que en sistemas convencionales de radar secundario de vigilancia normalmente radiodifunde solicitudes/interrogaciones generales de presencia de forma periódica, puede estar dispuesto para radiodifundir una solicitud de presencia inmediatamente tras la recepción de un mensaje en Modo S ES, tal como el mensaje 13 en Modo S ES procedente de la aeronave cercana 5. Si la aeronave 5 comprende un transpondedor que se atiene al mismo formato de datos que el interrogador de la aeronave anfitriona 3, responderá a la solicitud. Entonces, el interrogador de la aeronave anfitriona 3 puede determinar el TOF de una señal de radio que se propaga entre las dos aeronaves 3, 5 con base en el tiempo transcurrido entre la transmisión de la solicitud/interrogación y la recepción de la respuesta (momento que, por ende, es igual al doble del TOF de la

señal entre las aeronaves 3, 5 más retrasos adicionales de procesamiento de la señal que pueden ser tenidos en cuenta).

También se debería apreciar que, dado que se espera un aumento en el tráfico de radio en Modo S ES, las futuras generaciones del Modo S ES pueden soportar una radiodifusión sincronizada global o localmente de los mensajes en Modo S ES para evitar problemas relacionados con interferencias. En tal caso, probablemente sería posible estimar la distancia hasta una fuente de radio que transmite un mensaje en Modo S ES de una forma similar a la forma descrita anteriormente para estimar la distancia hasta una fuente de radio que transmite un mensaje en Modo 4 VDL. También es posible que una generación futura del Modo S ES permita la inclusión de información del momento de transmisión en los mensajes en Modo S ES, en cuyo caso se puede utilizar el procedimiento descrito anteriormente para estimar la distancia hasta una fuente de radio que radiodifunde un mensaje de UAT para una estimación de la distancia.

La Fig. 5 ilustra una realización de un sistema 17 de vigilancia de vehículos según la invención. El sistema 17 de vigilancia de vehículos comprende una subunidad 18 que puede estar incluida en cualquier tipo de unidad de recepción, tal como un vehículo o una unidad estacionaria, para validar datos de posición comunicados automáticamente. Sin embargo, en esta realización ejemplar se utiliza la subunidad 18 del sistema de vigilancia de vehículos en un sistema 17 de vigilancia de aeronaves basado en ADS-B para aplicaciones de provisión de separación y/o de evitación de colisiones de aeronaves. Se debería comprender que el sistema 17 de vigilancia de vehículos en la Fig. 5 está asociado con una aeronave anfitriona, tal como la aeronave anfitriona 3 en las Figuras 2A y 2B. La aeronave anfitriona que comprende el sistema 17 de vigilancia de aeronaves puede ser una aeronave tripulada convencional o un UAV que o bien está pilotado de forma manual pero remota, o bien vuela de forma autónoma con base en planes de vuelo preprogramados.

El sistema 17 de vigilancia de aeronaves comprende un módulo 19 de antena que comprende una disposición de antena radiogoniométrica. En esta realización ejemplar, la disposición de antena indicadora de dirección comprende al menos una antena direccional 21. Normalmente, el módulo 19 de antena comprende una pluralidad de antenas para diversos fines y puede comprender, además de la antena direccional 21, por ejemplo una antena omnidireccional, una antena plana y una antena dipolo, ilustradas en líneas de puntos. La o las antenas están conectadas a circuitería 23 del transceptor para procesar señales transmitidas y recibidas por dicha o dichas antenas.

El sistema 17 de vigilancia de aeronaves comprende, además, un módulo sensor 25 que normalmente comprende una pluralidad de sensores pasivos y activos para monitorizar y comunicarse con el mundo entero.

El módulo sensor 25 comprende un módulo 27 de funcionalidad ADS-B, normalmente en forma de un transpondedor convencional de ADS-B, para generar y para procesar mensajes de ADS-B. El transpondedor 27 de ADS-B puede ser cualquiera de un transpondedor de Modo S ES, un transpondedor de Modo 4 VDL o un transpondedor UAT. El módulo 27 de ADS-B también puede comprender dos o los tres de dichos tipos de transpondedor de ADS-B para garantizar una compatibilidad con los transpondedores de ADS-B de aeronaves cercanas. Es probable que los futuros sistemas de ADS-B utilicen transpondedores que soporten los tres formatos mencionados anteriormente de enlace de datos. Tal transpondedor sería una parte obvia del módulo 27 de ADS-B. El módulo 27 de funcionalidad ADS-B está conectado, por medio de circuitería 23 del transceptor, a la antena direccional 21 que es utilizada al menos para recibir mensajes entrantes de ADS-B.

El módulo sensor 25 comprende, además, un módulo 29 de funcionalidad de posicionamiento para una determinación de la propia ubicación. Normalmente pero no necesariamente, el módulo 29 de funcionalidad de posicionamiento es un receptor GPS para recibir datos de GPS que le permiten determinar su propia posición, velocidad y dirección de movimiento y, de ese modo las de la aeronave anfitriona, al igual que determinar el tiempo UTC. El módulo 29 de posicionamiento también puede utilizar otros sistemas de navegación tales como el sistema de posicionamiento Galileo o el GLONASS para determinar su posición en coordenadas globales. El módulo 29 de posicionamiento también podría incluir un módulo de inercia de navegación que mantiene un seguimiento de la posición de la aeronave anfitriona sin la necesidad de referencias externas. También se puede incluir en el módulo 29 de posicionamiento una funcionalidad añadida bien conocida en la técnica para aumentar adicionalmente la precisión en el posicionamiento de un receptor GPS. El módulo 29 de funcionalidad de posicionamiento también puede incluir sensores para medir la presión atmosférica, permitiendo de esta manera que se determine la elevación de la aeronave anfitriona sin la necesidad de referencias externas, como se conoce también en la técnica. El módulo 29 de posicionamiento puede comprender una o varias antenas incorporadas y/o utilizar una o varias antenas en el módulo 19 de antena para recibir señales, por ejemplo, procedentes de satélites GPS, lo que permite una determinación de la propia ubicación. El módulo 29 de posicionamiento está conectado al módulo 27 de ADS-B para proporcionar al módulo 27 de ADS-B información relacionada con la posición de la aeronave anfitriona en la que reside el sistema 17 de vigilancia de aeronaves, información que puede ser incluida entonces en los mensajes de ADS-B transmitidos por la aeronave anfitriona. El módulo 29 de posicionamiento también puede formar una parte integral del módulo 27 de funcionalidad ADS-B.

El módulo sensor 25 puede comprender, además, diversos sensores 31, 33, 35, 37, 39 de medición de la distancia para medir la distancia hasta aeronaves cercanas.

Por ejemplo, el módulo sensor 25 también puede comprender un módulo convencional 31 de radar primario. El módulo 31 de radar primario está acoplado a una o varias antenas en el módulo 19 de antena para transmitir y recibir ondas de radio. Como se ha descrito anteriormente, entonces se puede utilizar el módulo 31 de radar primario para estimar la distancia hasta una aeronave cercana al determinar el tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción de dichas ondas de radio cuando son reflejadas por la aeronave cercana. El módulo 31 de radar primario también puede comprender un medio de control y un medio de accionamiento que están dispuestos para orientar una o varias antenas de radar orientable rápidamente en el módulo 19 de antena con base en los datos de posición contenidos en los mensajes recibidos de ADS-B. Esta funcionalidad está concebida en particular para estimar la distancia hasta fuentes de radio que radiodifunden mensajes en Modo S ES, como se ha descrito anteriormente. Normalmente, el módulo 31 de radar primario está conectado a antenas de distintos diseños en el módulo 19 de antena para proporcionar una funcionalidad de radar tanto de corto alcance como de largo alcance.

El módulo sensor 25 puede comprender, además, un módulo 33 de detección y de medición de distancias por láser (LADAR). El módulo 33 de LADAR utiliza el mismo principio que los sistemas de radar primario para estimar la distancia hasta un objeto remoto, es decir, medir el retraso de tiempo entre la transmisión de una señal y la detección de la señal reflejada. Sin embargo, en vez de utilizar ondas de radio, los dispositivos de LADAR utilizan luz láser. Para implementar esta funcionalidad, el módulo 33 de LADAR normalmente comprende una fuente de láser, un detector de luz láser, circuitería del transceptor óptico y lógica de procesamiento de señales (no mostrada).

El módulo sensor 25 también puede comprender un módulo 35 de radar secundario de vigilancia. El módulo 35 de radar secundario de vigilancia comprende un transpondedor 37 y un interrogador 39. El módulo 35 de radar secundario de vigilancia está acoplado a una o varias antenas en el módulo 19 de antena para radiodifundir solicitudes/interrogaciones de presencia y recibir respuestas a dichas solicitudes/interrogaciones, como se ha descrito anteriormente. El módulo 35 de radar secundario de vigilancia puede estar dispuesto para transmitir la solicitudes/interrogaciones de presencia de forma periódica pero también puede estar dispuesto para transmitir solicitudes/interrogaciones de presencia en cuanto se recibe un mensaje de ADS. Esta funcionalidad está concebida en particular para estimar la distancia hasta fuentes de radio que radiodifunden mensajes en Modo S ES, como se ha descrito anteriormente. El módulo 35 de radar secundario de vigilancia está dispuesto para estimar la distancia hasta objetos cercanos en respuesta a una solicitud/interrogación de presencia radiodifundida al determinar el tiempo transcurrido entre la transmisión de la solicitud/interrogación y la recepción de la respuesta. El transpondedor 37 puede ser, por ejemplo, un transpondedor de Modo S, Modo A o Modo B pero puede atenerse a cualquier formato conocido de enlace de datos que ofrezca la misma funcionalidad. Se debería apreciar que la señal transmitida por un transpondedor como respuesta a una solicitud procedente de un interrogador no necesita transportar ninguna información y que, por lo tanto, los requerimientos del formato de enlace de datos son bajos. El módulo 35 de radar secundario de vigilancia puede utilizar la antena direccional 21 o cualquier otra antena en el módulo 19 de antena para la transmisión y la recepción de solicitudes y respuestas.

Normalmente, el módulo 29 de posicionamiento está conectado a cada sensor 27, 31, 33, 35 en el módulo sensor 25 para permitir que los diversos sensores utilicen el tiempo GPS (UTC) y los datos de la propia ubicación cuando estimen la distancia hasta una fuente de radio desde la que se recibe un mensaje de ADS-B. Los sensores 27, 31, 33, 35 también pueden estar conectados entre sí para utilizar las mediciones mutuas, de forma que se optimice su propia funcionalidad. Así que, por ejemplo, los módulos de radar primario 31 y secundario 35 pueden estar conectados al módulo 27 de ADS-B para ajustar la orientación de las antenas orientables de radar y la transmisión de solicitudes/interrogaciones de presencia con base en los datos de posición contenidos en los mensajes recibidos de ADS-B, y el tiempo de recepción de los mensajes de ADS-B, respectivamente. Los diversos sensores 27, 31, 33, 35 también pueden comprender relojes incorporados para determinar el instante de la transmisión y la recepción de las señales.

Cuando la antena direccional 21 recibe un mensaje de ADS-B desde una fuente cercana de radio, la circuitería 23 del transceptor estima el azimut hasta dicha fuente de radio. Dependiendo de a qué formato se atenga el mensaje de ADS-B, el módulo 27 de ADS-B o alguno de los sensores 31, 33, 35 de medición de la distancia estima la distancia hasta la fuente de radio, como se ha descrito anteriormente. El módulo 27 de ADS-B también extrae la posición ADS-B comunicada en el mensaje recibido de ADS-B, posición que presuntamente es la posición de una aeronave cercana. Además, el módulo 29 de posicionamiento está dispuesto para establecer la propia ubicación de la aeronave anfitriona cuando se recibe un mensaje de ADS-B. Entonces, se envían el azimut y la distancia estimados hasta la fuente de radio, al igual que la posición ADS-B recibida y la propia ubicación establecida de la aeronave anfitriona, a una unidad 41 de validación de la posición.

La unidad 41 de validación de la posición comprende una unidad 43 de cálculo que está dispuesta para tomar el azimut y la distancia estimados hasta la fuente de radio al igual que la propia ubicación de la aeronave anfitriona como parámetros de entrada y calcular una posición estimada de la fuente de radio desde la que se recibió el mensaje de ADS-B. Entonces, se proporcionan la posición estimada de la fuente de radio y la posición ADS-B comunicada a un comparador 45. El comparador 45 está dispuesto para comparar la posición estimada con la

posición ADS-B comunicada y determinar un valor de desviación que indique la desviación/coincidencia entre las dos posiciones. Entonces, el valor de desviación y al menos la posición ADS-B comunicada son enviados a un discriminador 47. El discriminador 47 está dispuesto para procesar los datos comunicados de posición ADS-B de distintas formas con base en el valor de desviación que está determinado por medio del comparador 45 y, por lo tanto, es indicativo de la fiabilidad de los datos de posición ADS-B procesados en ese momento. Preferentemente, el discriminador 47 está dispuesto para tener en cuenta las incertidumbres asociadas con la posición ADS-B comunicada y la posición estimada, respectivamente, cuando determina cómo procesar los datos recibidos de posición ADS-B. Estas incertidumbres pueden estar o bien preprogramadas en el discriminador 47 o bien pueden ser proporcionadas al discriminador 47 por medio del módulo 19 de antena y del módulo sensor 25 si los componentes responsables para recuperar la posición ADS-B comunicada y para estimar la posición de la fuente de radio son capaces de determinar las incertidumbres asociadas con los mismos.

En este sistema ejemplar 17 de vigilancia de aeronaves, el discriminador 47 está conectado de forma comunicativa con un módulo 49 de información y con una unidad 51 de decisión y de maniobra a la que remite las posiciones ADS-B recibidas de aeronaves cercanas, al menos cuando se descubre que son fiables.

En una aeronave tripulada convencional, el módulo 49 de información está ubicado en la cabina de la aeronave y sirve para informar al piloto acerca del tráfico aéreo circundante. Normalmente, se representan visualmente las posiciones ADS-B de las aeronaves cercanas en un medio gráfico 53 de visualización de la navegación. También se puede ver que el módulo 49 de información comprende un altavoz 55 para proporcionar avisos audibles al piloto en caso de que una aeronave cercana se acerque demasiado a la aeronave anfitriona. Normalmente se proporciona la posición de la aeronave anfitriona al módulo 49 de información por medio del módulo 29 de posicionamiento del sistema 17 de vigilancia de aeronaves. En el caso de que la aeronave anfitriona con la que está asociado el sistema 17 de vigilancia de aeronaves sea un UAV, el módulo 49 de información puede residir en una estación terrestre en la que está situado un piloto para controlar y/o supervisar remotamente el UAV. En ese caso, los datos, tales como la posición de la aeronave anfitriona y las posiciones ADS-B de aeronaves cercanas, recibidos por la antena direccional 21 del UAV, son radiodifundidos normalmente al módulo terrestre 49 de información por un radioenlace.

La unidad 51 de decisión y de maniobra comprende un medio 57 de control para maniobrar la aeronave anfitriona, y un módulo lógico 59 de maniobra para determinar continuamente la ruta de vuelo óptima para la aeronave anfitriona. El módulo lógico 59 de maniobra está dispuesto para tomar datos críticos para la navegación como parámetros de entrada, analizar dichos datos y determinar una velocidad y una dirección de vuelo óptimas para la aeronave anfitriona con base en el resultado del análisis. Un parámetro crítico para la navegación tal como las posiciones ADS-B comunicadas de aeronaves cercanas. Otros pueden ser, por ejemplo, un plan de vuelo preprogramado, la velocidad, la posición y la dirección actuales de la aeronave anfitriona, y la velocidad y la dirección de vuelo actuales de la aeronave cercana. Si la aeronave anfitriona es un UAV controlado autónomamente o una aeronave pilotada (aeronave tripulada o un UAV pilotado remotamente) que se encuentra utilizando en ese momento el piloto automático, el módulo lógico 59 de maniobra puede proporcionar continua o periódicamente al medio 57 de control información acerca de la velocidad y la dirección de vuelo óptimas (momentáneamente) para que el medio 57 de control maniobre a la aeronave anfitriona en consecuencia. Por otra parte, si la aeronave anfitriona está pilotada manualmente desde la cabina, o pilotada remotamente desde una estación terrestre, se pueden proporcionar al piloto la velocidad y la dirección de vuelo óptimas de la aeronave anfitriona, según son determinadas por el módulo lógico 59 de maniobra, y pueden ser utilizadas para un apoyo de la toma de decisiones.

Según un aspecto de la invención, el discriminador 47 del módulo 41 de validación de la posición en el sistema 17 de vigilancia de aeronaves está dispuesto para desechar una posición ADS-B recibida si el valor de desviación que indica la desviación entre dicha posición ADS-B y la posición estimada supera un cierto valor umbral. Aquí, "desechar" significa que el discriminador 47 evita que la posición ADS-B llegue al módulo 49 de información y a la unidad 51 de decisión y de maniobra. De ese modo, una posición ADS-B comunicada de una aeronave cercana que no pueda ser validada por el sistema 17 de vigilancia de aeronaves nunca será presentada al piloto de la aeronave ni/o utilizada como base para un control automático de la aeronave.

Según otro aspecto de la invención, el discriminador 47 no desecha una posición ADS-B comunicada aunque se desvíe sustancialmente de la posición estimada de la fuente de radio que la transmite. En cambio, cuando el valor de desviación establecido por el comparador 45 supera un cierto valor umbral, el discriminador 47 está dispuesto para añadir una bandera que indica que la posición ADS-B recibida puede no ser fiable para los datos de ADS-B antes de remitir los datos al módulo 49 de información y a la unidad 51 de decisión y de maniobra. De ese modo, el módulo 49 de información y la unidad 51 de decisión y de maniobra pueden reconocer datos poco fiables de ADS-B y actuar en consecuencia.

En este caso, el módulo 49 de información puede estar dispuesto para alertar de forma visual o audible a un piloto de la aeronave anfitriona de que se ha recibido una posición ADS-B poco fiable de una aeronave cercana y, por ejemplo, indicar la posición supuesta de la aeronave cercana en el medio 53 de visualización de la navegación. El módulo lógico 59 de maniobra de la unidad 51 de decisión y de maniobra puede, tras la detección de tal bandera que indica una posición ADS-B poco fiable, estar dispuesto para ignorar la posición ADS-B y no utilizarla en la determinación de la velocidad y de la dirección de vuelo óptimas (momentáneamente) para la aeronave anfitriona.

Según otro aspecto más de la invención, se puede utilizar un valor grande de desviación entre una posición ADS-B comunicada por una fuente de radio y una posición estimada de esa fuente de radio como un indicador para iniciar un procedimiento adicional de validación de la posición de la aeronave. Si el valor de desviación determinado por el comparador 45 supera un valor predeterminado de umbral, el discriminador 47 puede estar dispuesto para interrogar a otros sensores en el sistema 17 de vigilancia de aeronaves, tales como, por ejemplo el radar primario 31 o el LADAR 33, si son capaces o no de detectar una aeronave en la posición ADS-B dada. Si lo son, la posición ADS-B puede ser remitida al módulo 49 de información y a la unidad 51 de decisión y de maniobra, y puede ser utilizada por los mismos, como se ha descrito anteriormente. Por otra parte, si los sensores del sistema 17 de vigilancia de aeronaves son incapaces de confirmar la presencia de una aeronave en la posición ADS-B supuesta, el discriminador 47 o bien desecha los datos de posición ADS-B o pone una bandera que indica que son poco fiables antes de remitirlos, como también se ha descrito anteriormente.

Aunque en el presente documento se ha descrito que la funcionalidad que implementa el concepto inventivo reside en módulos funcionales individuales, tales como el módulo 19 de antena, el módulo sensor 25 y la unidad 41 de validación de la posición, debería apreciarse que esto se hace únicamente para facilitar la descripción del sistema 17 de vigilancia de aeronaves y que la funcionalidad puede ser implementada de muchas otras formas sin alejarse del alcance de la invención.

También debería apreciarse que la propia ubicación de la aeronave anfitriona no sería un parámetro requerido en el procedimiento de validación de datos recibidos de posición si los datos recibidos de posición indican la posición relativa de la aeronave transmisora con respecto a la aeronave anfitriona en vez de la posición absoluta de la aeronave transmisora. Por ejemplo, si una primera aeronave en un espacio aéreo monitorizado por una estación terrestre de ATC recibe una posición relativa de una segunda aeronave desde la estación de ATC, la segunda aeronave podría validar esta posición relativa si es transmitida a dicha segunda aeronave en un mensaje desde dicha primera aeronave. En este caso, la segunda aeronave no necesita conocer su propia posición para validar los datos recibidos de posición.

El principio propuesto en este documento para validar datos recibidos de posición garantiza que las decisiones de navegación se adopten con base en información correcta de tráfico circundante. El sistema de vigilancia de vehículos descrito anteriormente puede ser incluido en aeronaves y en estaciones terrestres de ATC al igual que en barcos y estaciones terrestres de VTS para aumentar la seguridad del tráfico aéreo y marítimo.

En particular, el principio sugerido para validar datos recibidos de posición ADS-B relacionados con las posiciones de vehículos cercanos aumenta la protección y la seguridad de un sistema de vigilancia de aeronaves que utiliza datos de ADS-B como al menos una fuente de información. De ese modo, se puede utilizar de forma ventajosa un sistema de vigilancia de aeronaves basado en ADS-B según la invención para aplicaciones tanto de provisión de separación como de evitación de colisiones debido a la mayor fiabilidad de los datos con los que se toman las decisiones.

Además de la mayor seguridad de vuelo ofrecido por el sistema 17 de vigilancia de vehículos según la invención, las aeronaves que comprenden tal sistema y que lo utilizan para una provisión automática de separación entre aeronaves reducirán su consumo de combustible dado que su plan de vuelo preprogramado no se verá alterado debido a mensajes erróneos de ADS-B comunicados por aeronaves circundantes.

Como es bien conocido en la técnica, los transpondedores de ADS-B transmiten mensajes de ADS-B de forma periódica a intervalos regulares. Se puede utilizar el principio propuesto para validar datos de posición contenidos en los mensajes de ADS-B para validar cada uno de los mensajes de ADS-B recibidos desde una fuente de radio particular, pero también puede ser utilizado para validar, por ejemplo, cada décimo mensaje recibido de ADS-B. Una vez se ha hallado fiable una fuente de radio particular, puede no haber necesidad de validar cada mensaje de ADS-B recibido desde la misma. Por lo tanto, se debería comprender que un sistema de vigilancia de vehículos según la invención puede estar adaptado para validar datos de posición en mensajes recibidos de ADS-B de forma continua o periódica, o incluso por orden del operario del sistema (por ejemplo, un piloto de una aeronave dotada del sistema).

Se debería comprender que aunque se concibe en particular para la validación de datos de ADS-B, el concepto inventivo dado a conocer en el presente documento puede ser utilizado para validar cualquier dato de posición relacionado con la posición de un vehículo desde el que se transmiten presuntamente los datos.

Aunque se ha descrito la invención con referencia a realizaciones específicas, no se pretende que estas descripciones sean interpretadas en un sentido limitante. Serán evidentes diversas modificaciones de las realizaciones dadas a conocer, al igual que realizaciones alternativas de la invención para expertos en la técnica tras la referencia a la descripción de la invención. Los expertos en la técnica deberían apreciar que el concepto y las realizaciones específicas dados a conocer pueden ser utilizados fácilmente como base para modificar o diseñar otras estructuras para llevar a cabo los mismos fines de la presente invención. Los expertos en la técnica también deberían darse cuenta de que tales construcciones equivalentes no se alejan del alcance de la invención según está definida en las reivindicaciones adjuntas.

Por lo tanto, se contempla que las reivindicaciones abarquen cualquier modificación o realización de ese tipo que se encuentre dentro del alcance verdadero de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de validación de datos recibidos de posición en aplicaciones de vigilancia de vehículos, en el que los vehículos transmiten datos de posición que indican su propia posición a vehículos circundantes (3, 5; 5') en mensajes en Modo S ES, que son mensajes ADS-B en conformidad con el formato en Modo S ES, **caracterizado porque** comprende las etapas de:
 - recibir (S1), con una disposición (21, 23) de antena radiogoniométrica de una unidad (3) de recepción, una señal (13; 13', 13'') que transporta datos de posición que comprenden un mensaje en Modo S ES, que indican una posición supuesta ($P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo, transmitida desde una fuente (5; 5', 15'') de radio, y
 - estimar (S2) el azimut desde la unidad (3) de recepción hasta dicha fuente (5; 5', 15'') de radio utilizando dicha disposición (21, 23) de antena radiogoniométrica y la señal recibida (13; 13', 13'');
 - estimar (S3), por medio de equipos de medición de la distancia, siendo al menos uno de los equipos de radar primario (19, 31), de los equipos de detección y de medición de distancias por láser [LADAR] (33), y del equipo de radar secundario de vigilancia (19, 35), la distancia entre la unidad (3) de recepción y la fuente (5; 5', 15'') de radio con base en el tiempo de vuelo, TOF, de una señal que se propaga entre las mismas a una velocidad conocida;
 - calcular (S4) una posición estimada ($P_{EST(5)}$, $P_{EST(5')}$, $P_{EST(15'')}$) de la fuente (5; 5', 15'') de radio con base en el azimut estimado y en la distancia estimada, y
 - determinar (S5) un valor de desviación que indique la desviación/coincidencia entre la posición supuesta ($P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo según los datos recibidos de posición y la posición estimada ($P_{EST(5)}$, $P_{EST(5')}$, $P_{EST(15'')}$) de la fuente (5; 5', 15'') de radio.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que se utiliza dicho valor de desviación como un indicador de la fiabilidad de los datos recibidos de posición.
3. Un procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que el equipo de medición de la distancia es un equipo de radar primario (19, 31) o equipo de LADAR (33) y en el que la distancia hasta la fuente (5; 5', 15'') de radio se estima (S2) con base en el tiempo de vuelo, TOF, de una señal de radar o una señal de impulso de láser de LADAR.
4. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el equipo de medición de la distancia comprende un radar orientable conectado a medios de control y medios de accionamiento para orientar el radar orientable, que comprende además la etapa de orientar el radar orientable basándose en los datos de posición contenidos en los mensajes en Modo S ES.
5. Un procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que el equipo de medición de la distancia es el equipo de radar secundario de vigilancia (19, 35), y en el que la distancia hasta la fuente (5; 5', 15'') de radio se estima (S2) sobre la base del tiempo transcurrido entre la transmisión de una solicitud/interrogación y la recepción de una respuesta.
6. Un procedimiento según la reivindicación 5, en el que el equipo de radar secundario de vigilancia comprende un interrogador (35), comprende además la etapa de radiodifundir una solicitud de presencia por medio de dicho interrogador (35) inmediatamente tras la recepción de un mensaje en Modo S ES.
7. Un sistema (17) de vigilancia de vehículos para aplicaciones de vigilancia de vehículos, en el que los vehículos (3, 5; 5') transmiten datos de posición que indican su propia posición a vehículos circundantes (3, 5; 5') en mensajes en Modo S ES, ateniéndose los mensajes ADS-B al formato en Modo S ES, **caracterizado porque** comprende:
 - medios (21, 23) de estimación del azimut adaptados para recibir una señal (13; 13', 13'') que transporta datos de posición que comprenden un mensaje en Modo S ES, que indican una posición supuesta ($P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo, transmitida desde una fuente (5; 5', 15'') de radio, estando adaptados, además, dichos medios (21, 23) de estimación del azimut para estimar (S1) el azimut hasta dicha fuente (5; 5', 15'') de radio utilizando dicha señal recibida (13; 13', 13'');
 - un equipo de estimación de la distancia, siendo al menos uno de los equipos de radar primario (19, 31), de los equipos de detección y de medición de distancias por láser [LADAR] (33), y/o de los equipos de radar secundario de vigilancia (19, 35), adaptado para estimar (S2) la distancia hasta la fuente (5; 5', 15'') de radio con base en el tiempo de vuelo, TOF, de una señal recibida desde la misma, señal que se propaga a una velocidad conocida;
 - un medio (43) de cálculo adaptado para calcular (S4) una posición estimada ($P_{EST(5)}$, $P_{EST(5')}$, $P_{EST(15'')}$) de la fuente (5; 5', 15'') de radio con base en el azimut estimado y en la distancia estimada, y
 - un medio (45) de comparación adaptado para determinar (S5) un valor de desviación que indique la desviación/coincidencia entre la posición supuesta ($P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo según los datos recibidos de posición y la posición estimada ($P_{EST(5)}$, $P_{EST(5')}$, $P_{EST(15'')}$) de la fuente (5; 5', 15''), de radio.

8. Un sistema (17) de vigilancia de vehículos según la reivindicación 7, en el que el equipo de medición de la distancia es un equipo de radar primario (19, 31) o equipo de LADAR (33) adaptado para estimar (S2) la distancia hasta la fuente (5; 5', 15") de radio con base en el tiempo de vuelo, TOF, de una señal de radar o una señal de impulso de láser de LADAR.
- 5 9. Un sistema (17) de vigilancia de vehículos según la reivindicación 7 u 8, que comprende además un radar orientable conectado a medios de control y medios de accionamiento para orientar el radar orientable basándose en los datos de posición contenidos en los mensajes en Modo S ES.
- 10 10. Un sistema (17) de vigilancia de vehículos según la reivindicación 7, en el que el equipo de medición de la distancia es el equipo de radar secundario de vigilancia (19, 35), adaptado para estimar (S2) la distancia hasta la fuente (5; 5', 15") de radio sobre la base del tiempo transcurrido entre la transmisión de una solicitud/interrogación y la recepción de una respuesta.
11. Un sistema (17) de vigilancia de vehículos según la reivindicación 10, en el que el equipo de radar secundario de vigilancia comprende un interrogador (35), dispuesto para radiodifundir una solicitud de presencia inmediatamente tras la recepción de un mensaje en Modo S ES.
- 15 12. Un sistema (17) de vigilancia de vehículos según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, que comprende, además, un medio discriminante (47) conectado a un módulo (49) de información para informar a un usuario del sistema de tráfico de vehículos circundantes y/o a una unidad (51) de decisión y de maniobra para controlar un vehículo en el que está incluido el sistema (17), estando adaptado dicho medio discriminante (47) para desechar datos de posición que indican una posición supuesta ($P_{ADS-B(5)}$; $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo que, según el valor de desviación determinado por el medio (45) de comparación, se desvía sustancialmente de la posición estimada ($P_{EST(5)}$; $P_{EST(5')}$, $P_{EST(15'')}$) de la fuente (5; 5', 15") desde la que se recibieron los datos de posición.
- 20 13. Un sistema (17) de vigilancia de vehículos según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en el que dicho medio (19) de estimación del azimut comprende al menos una antena direccional (21) para recibir las señales (13; 13', 13'') que transportan los datos de posición y circuitería (23) del transceptor conectada a dicha antena direccional (21) para estimar el azimut hasta las fuentes (5; 5'; 15'') de radio desde las que se reciben las señales (13; 13', 13'').
- 25 14. Un sistema (17) de vigilancia de vehículos según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13, en el que dicho sistema (17) de vigilancia de vehículos está ubicado en una aeronave (3) y es utilizado en un sistema (17) de vigilancia de aeronaves para aplicaciones de provisión de separación y/o de evitación de colisiones.
- 30 15. Un vehículo (3, 5; 3, 5'), **caracterizado porque** comprende un sistema (17) de vigilancia de vehículos según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 14.
16. Una estación terrestre (7) de control de tráfico aéreo [ATC] para la vigilancia del tráfico aéreo, **caracterizada porque** comprende un sistema (17) de vigilancia de vehículos según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 14.

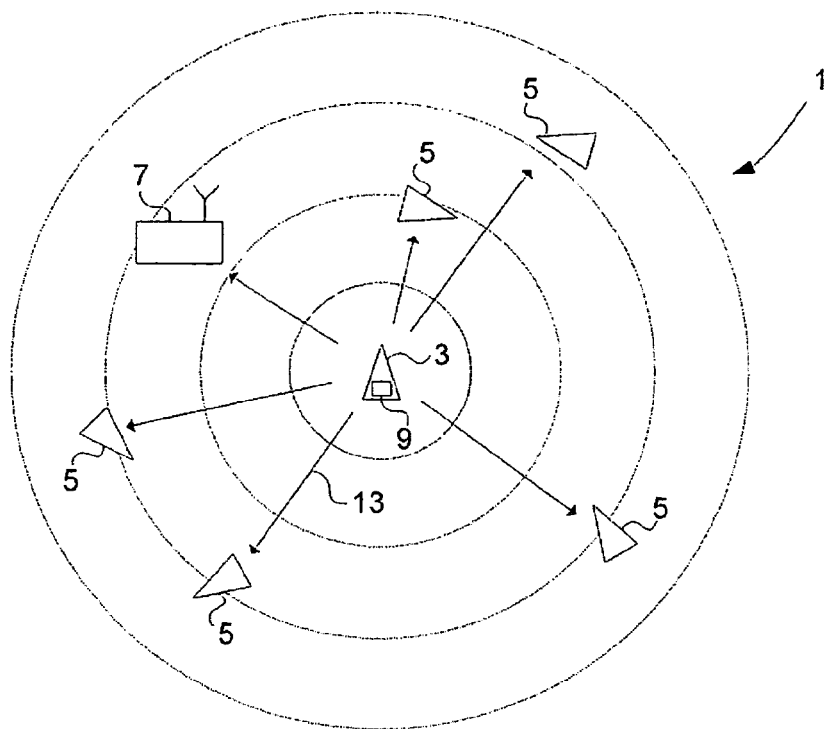


Fig. 1A

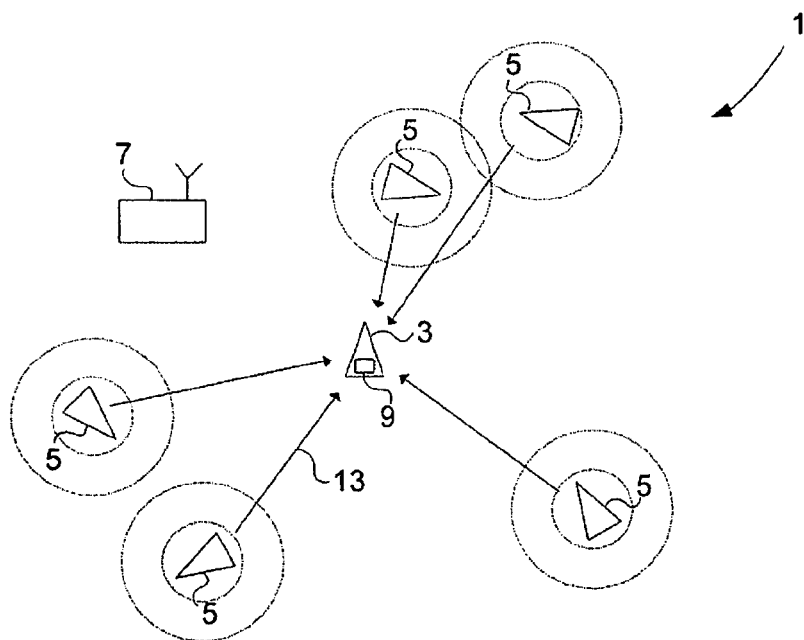


Fig. 1B

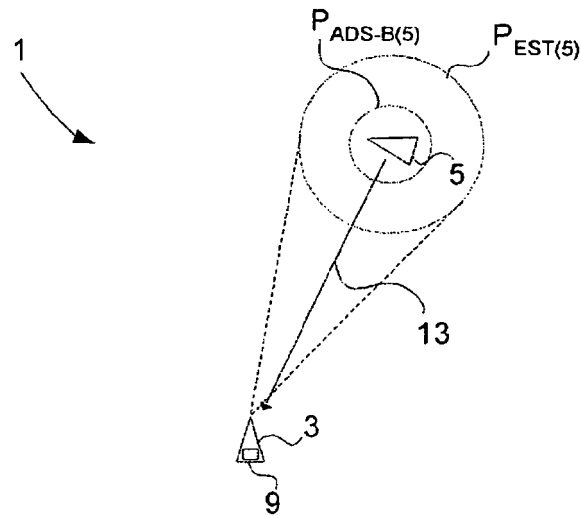


Fig. 2A

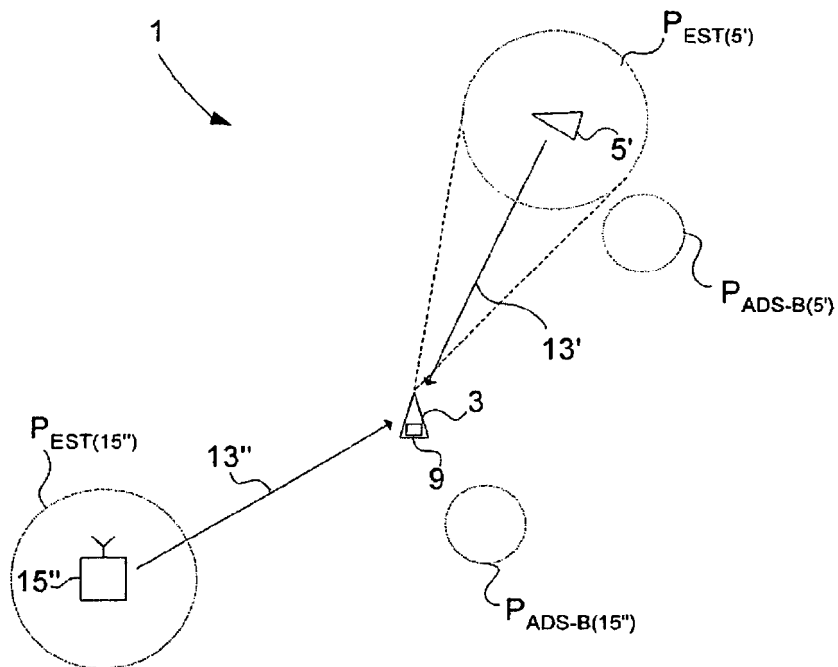


Fig. 2B

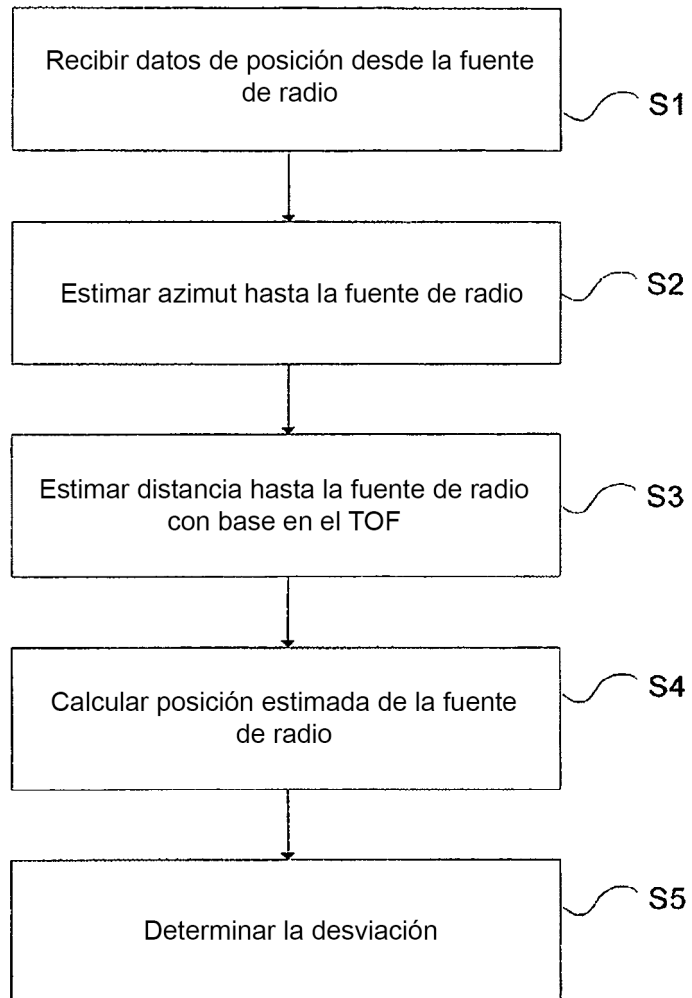
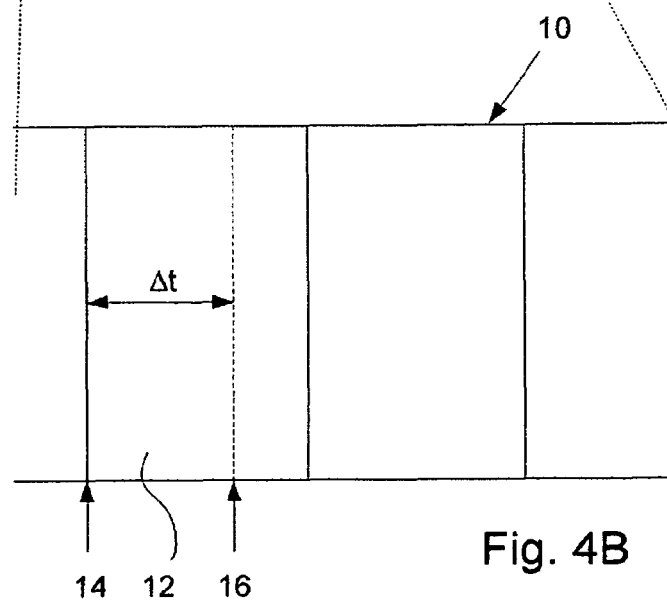
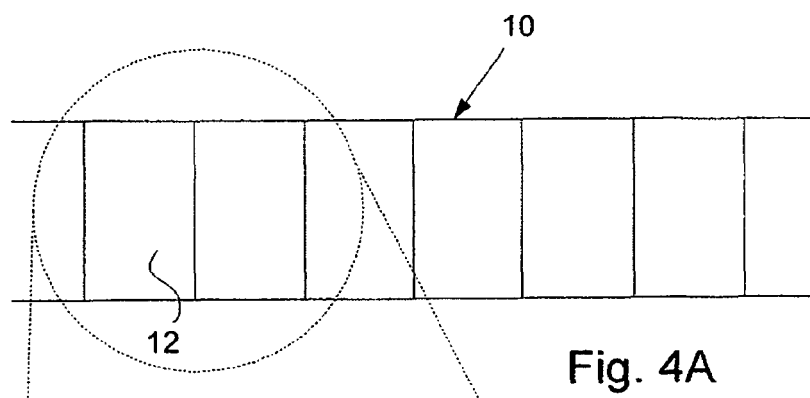


Fig. 3



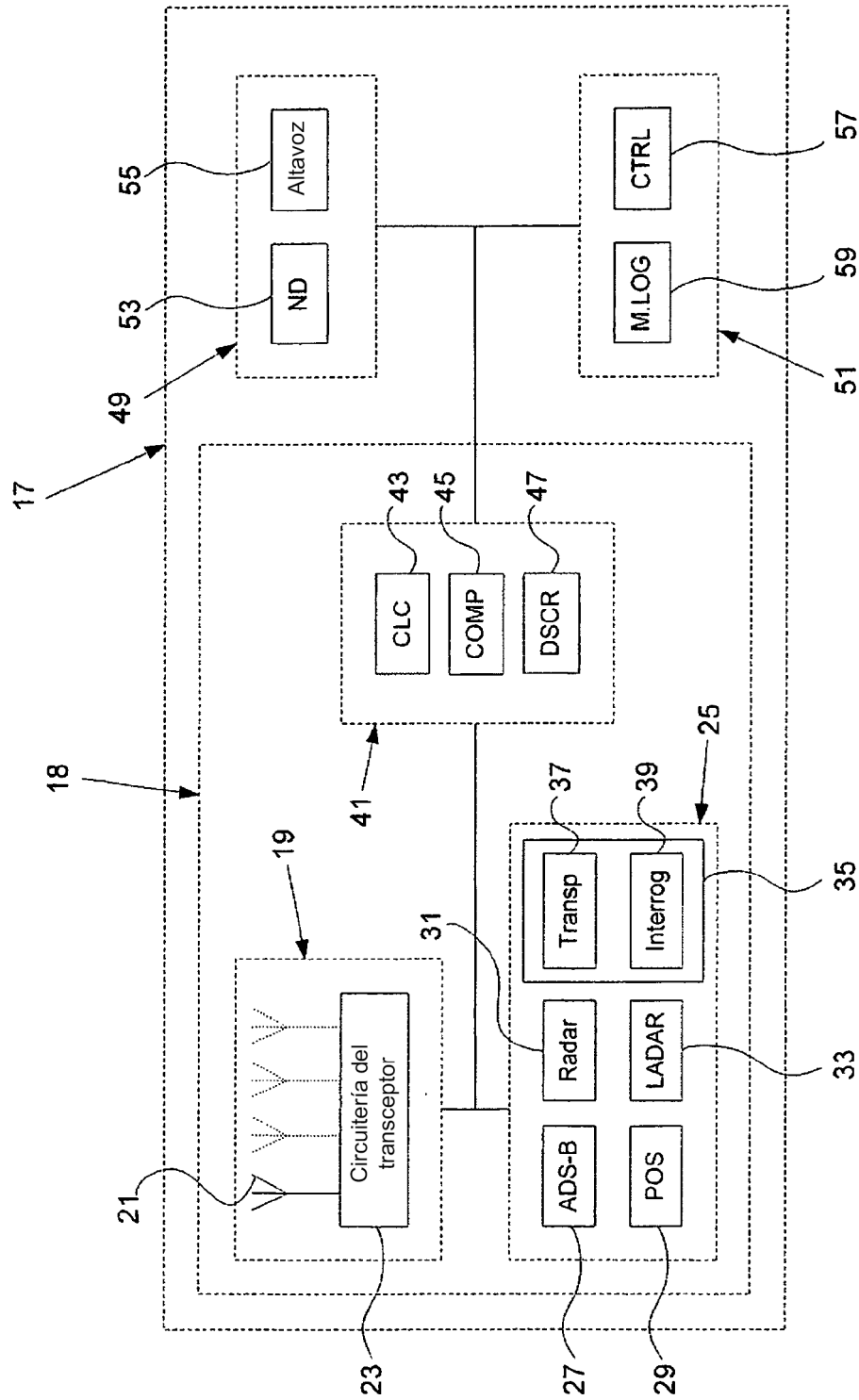


Fig. 5