

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 599**

51 Int. Cl.:

G01S 13/93 (2006.01)

G01S 13/76 (2006.01)

G01S 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2008 E 08158501 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2013 EP 2136221**

54 Título: **Comprobación de validez de información de posición de un vehículo transmitida a través de un enlace de datos sincronizado en el tiempo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.01.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

ANDERSSON, SVANTE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 438 599 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

Comprobación de validez de información de posición de un vehículo transmitida a través de un enlace de datos sincronizado en el tiempo

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere al campo de la vigilancia del tráfico, y más particularmente a un procedimiento para la validación de los datos de posición que supuestamente indican la posición de un vehículo recibidos a través de un enlace de datos sincronizado en el tiempo.

Antecedentes de la técnica

- 10 La vigilancia del tráfico aéreo hoy en día es gestionada por el control del tráfico aéreo (ATC) que utiliza un radar primario y secundario. Los sistemas ATC actualmente en desarrollo utilizan otras o técnicas complementarias en la vigilancia de tráfico aéreo. Uno de estos sistemas se llama radiodifusión-vigilancia dependiente automática (ADS-B), que, en una escala de tiempo prolongada, se espera que reemplace gradualmente a los actuales sistemas como una fuente de información para el ATC.

- 15 La idea básica del sistema ADS-B es que todas las aeronaves emitan su propio vector de estado, que comprende la posición y la información de estado, a todas las aeronaves y estaciones terrestres cercanas. Así, cada aeronave tiene una visión completa del tráfico circundante y del tráfico cercano a una estación terrestre se puede supervisar en tierra.

- 20 Se confía en el sistema ADS-B y su capacidad para proporcionar de forma automática a cada aeronave con la información relativa al tráfico que le rodea para la funcionalidad, tal como la provisión de separación automática o semiautomática y para evitar colisiones. Estas funciones son especialmente importantes en el control de vuelo de vehículos aéreos no tripulados (UAVs), pero también pueden ser importantes como una característica de precaución en las aeronaves tripuladas convencionales.

El principio del concepto ADS-B es el enlace de datos que permite la funcionalidad deseada. Actualmente hay tres tipos diferentes de enlaces de datos en estudio; Modo S ES, VDL Modo 4 y UAT.

- 25 El Modo S ES es una extensión del sistema de radar de vigilancia secundario del modo convencional S. El VDL Modo 4 es un estándar desarrollado recientemente para un transpondedor de enlace de datos compatible con los requisitos del ADS-B. El UAT sólo se considera para la aviación general en Estados Unidos.

- 30 Desafortunadamente, los sistemas ADS-B de hoy en día sufren de un inconveniente. La información de posición recibida desde el tráfico aéreo circundante tiene que ser de confianza para ser correcta. Esto es tanto un problema de confianza y la seguridad, la confianza en el sentido de que si el sistema transmisor emite una posición errónea podría causar una situación peligrosa, y la seguridad en el sentido de que el sistema se vuelve propenso a un uso malicioso mediante la emisión de informes de posición falsos.

- 35 Por ejemplo, si un mensaje de ADS-B indica una posición errónea de la aeronave desde la que se transmite, las decisiones tomadas en base a ese mensaje ADS-B pueden tener consecuencias devastadoras. Un operador de un sistema ATC basado en datos ADS-B o un piloto/piloto automático de una aeronave que utiliza un sistema de vigilancia de aeronaves con base ADS-B, puede ser engañado para ordenar/controlar una aeronave acercándola en lugar de alejarla de la aeronave que transmite el mensaje ADS-B erróneo.

- 40 El documento US 7 116 266 divulga un sistema TCAS capaz de realizar una comprobación de integridad de la posición notificada por otra aeronave. La comprobación de integridad comprende las etapas de interrogar a un transpondedor de la aeronave a bordo de la otra aeronave que incluye una solicitud de los datos de vigilancia mejorados que incluye la posición de la segunda aeronave, recibiendo una respuesta a la petición de interrogatorio, calcular la posición de la segunda aeronave en base al tiempo de respuesta de un mensaje y el rumbo, comparar la posición calculada con la posición recibida, y determinar la integridad de la posición recibida.

Sumario

- 45 Es un objeto de la presente invención proporcionar un sistema de vigilancia del vehículo que es menos propenso a errores y menos sensible a un uso malintencionado.

Este objeto se consigue mediante un procedimiento para la validación de los datos de posición en aplicaciones de vigilancia del vehículo en el que los vehículos transmiten datos de posición que indican su propia posición a los vehículos de los alrededores. El procedimiento comprende las etapas de:

- 50 recibir, en una unidad de recepción, una primera señal que lleva datos de posición que indican una supuesta posición de un vehículo, transmitida desde una fuente de radio a través de un enlace de datos;
estimar la distancia entre la unidad receptora y la fuente de radio en base al tiempo de vuelo, TOF, y la

velocidad de propagación de la señal recibida, y

determinar un valor de desviación que indica la diferencia entre una distancia a la posición de un vehículo de acuerdo con los datos de posición recibidos y la distancia estimada a la fuente de radio.

5 El enlace de datos es un enlace de datos a través del cual se inician las transmisiones de señales portadoras de datos de posición que indica presuntas posiciones de los vehículos en los puntos de transmisión dados en el tiempo que son conocidos por todos los usuarios de dicho enlace de datos, y el TOF se determina basándose en el tiempo transcurrido desde el punto de transmisión en el tiempo de dicha primera señal en el momento de recepción de al menos una primera parte de dicha primera señal.

10 Mediante la estimación de la distancia a una fuente de radio que transmite datos posicionales relativos a una supuesta posición de un vehículo, y la determinación de un valor de desviación que es indicativa de la diferencia entre la distancia a la posición de un vehículo de acuerdo con los datos de posición recibidos y la distancia estimada a la fuente de radio, el procedimiento anterior proporciona una manera de determinar si la fuente de radio realmente se encuentra en la posición dada por los datos de posición que transmite.

15 Dado que el procedimiento se utiliza en un sistema de vigilancia de vehículos autonotificado, lo que significa que cada vehículo transmite datos de posición que indican su posición, un desajuste entre la distancia a la posición notificada y la distancia estimada a la fuente de radio indica que algo no está bien y que no se puede confiar en los datos de posición recibidos de manera indiscriminada.

20 Los criterios de la conexión de radio sobre la cual se reciben los datos de posición de acuerdo con el procedimiento son cumplidos por ejemplo por el enlace de radio basado en STDMA utilizado en los sistemas ADS-B VDL en Modo 4. El procedimiento, por tanto, se puede utilizar para validar los datos de posición que figuran en mensajes de VDL Modo 4 emitidos por los vehículos equipados con transpondedores VDL Modo 4. Esta función mejora enormemente la criticidad de los datos de posición VDL Modo 4 en las aplicaciones de vigilancia del vehículo y permite el uso de los datos en los sistemas de vigilancia del vehículo de seguridad crítica.

25 De acuerdo con un aspecto de la invención, el procedimiento se utiliza para descartar los datos de posición recibidos que se encuentran poco fiables. Cuando se utiliza para ese propósito, por ejemplo en un sistema de vigilancia de aeronaves basado en la aeronave o en un sistema ATC basado en tierra, el procedimiento propuesto reduce el riesgo de tomar decisiones sobre la navegación en base a información incorrecta de tráfico que le rodea.

30 El objeto se consigue también mediante un sistema de vigilancia de vehículos para aplicaciones de vigilancia del vehículo en el que los vehículos transmiten datos de posición que indican su propia posición a los vehículos de los alrededores. El sistema de vigilancia del vehículo comprende:

medios de recepción adaptados para recibir una primera señal que lleva datos de posición que indica una supuesta posición de un vehículo, transmitida desde una fuente de radio a través de un enlace de datos;

medios de estimación de distancia adaptados para estimar la distancia a la fuente de radio en base al tiempo de vuelo, TOF, y la velocidad de propagación de la señal recibida, y

35 medios de comparación adaptados para determinar un valor de desviación que indica la diferencia entre una distancia a la posición de un vehículo de acuerdo con los datos de posición recibidos y la distancia estimada a la fuente de radio.

40 El enlace de datos es un enlace de datos a través del cual se inician las transmisiones de señales portadoras de datos de posición que indican presuntas posiciones de vehículos en puntos de transmisión dados en el momento que se conocen por todos los usuarios de dicho enlace de datos, y los medios de estimación de la distancia se adaptan para determinar la TOF en base al tiempo transcurrido desde el punto en el tiempo de transmisión de dicha primera señal al tiempo de la recepción de al menos una primera parte de dicha primera señal.

45 El sistema de vigilancia de vehículo de acuerdo con la invención puede incluirse en cualquier tipo de unidad de recepción, tal como un vehículo o unidad estacionaria, para la validación de los datos de posición que se transmiten a partir de fuentes de radio que rodean el enlace de datos sincronizado en el tiempo. Por ejemplo, se puede incluir en aeronaves o barcos para su uso en aplicaciones de provisión de separación y/o de prevención de colisiones, o puede incluirse en el ATC basado en tierra o en estaciones VTS para la monitorización del tráfico aéreo o el tráfico marítimo, respectivamente.

50 Además del aumento de la seguridad de vuelo ofrecida por el sistema de vigilancia de vehículos de acuerdo con la invención, la aeronave que comprende tales sistemas y que los usa para la provisión de la separación de aeronaves automática reducirá su consumo de combustible, ya que su plan de vuelo preprogramado no se verá alterado debido a los mensajes erróneos VDL de Modo 4 notificados por las fuentes de radio de los alrededores.

Breve descripción de los dibujos y tablas

La presente invención se comprenderá más plenamente a partir de la descripción detallada proporcionada a

continuación y los dibujos adjuntos, que no están necesariamente a escala, y se dan a modo de ilustración solamente. En los diferentes dibujos, los mismos números de referencia corresponden al mismo elemento.

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

Las figuras 2A y 2B ilustran esquemáticamente el concepto de la presente invención.

5 Las figuras 3A y 3B ilustran un principio para determinar el tiempo de vuelo para un mensaje ADS-B VDL de Modo 4 entre una fuente de radio y una unidad de recepción.

La figura 4 ilustra una realización de un sistema de vigilancia de vehículos de acuerdo con la invención.

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para la validación de datos de posición recibidos de acuerdo con la invención.

10 La Tabla 1 ilustra una estimación de la precisión esperada en la estimación de la distancia de una fuente de radio.

La Tabla 2 ilustra una estimación de la precisión esperada en la validación de una posición ADS-B notificada por un mensaje VDL de Modo 4.

Siglas y abreviaturas

Definición de las Siglas

15	ADS-B	Transmisión de Vigilancia Dependiente Automática
	AIS	Sistema de Identificación Automática
	ATC	Control del Tráfico Aéreo
	LADAR	Detección Laser y Variación
	Modo S ES	Modo S de Ráfaga extendida
20	MSO	Oportunidades de Inicio de Mensaje
	STDMA	Auto-organización de Acceso Múltiple por División de Tiempo
	TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
	TOF	Tiempo de Vuelo
	UAT	Transceptor de Acceso Universal
25	UAV	Vehículo Aéreo No Tripulado
	UTC	Tiempo Universal Coordinado
	VDL	Enlace de Datos VHF
	VTS	Servicio de Tráfico Marítimo

Descripción detallada

30 Una aeronave o una estación terrestre de control del tráfico aéreo (ATC) que utiliza un sistema de vigilancia del vehículo basado en ADS-B dependen completamente de que la información en los mensajes ADS-B recibidos de aeronaves en los alrededores sea correcta. Específicamente, los datos de posición contenidos en los mensajes ADS-B de emisión de las aeronaves tienen que ser de confianza para ser correctos. El defecto es que mientras los mensajes recibidos se ajustan al formato correcto serán interpretados como mensajes ADS-B y, como tal, invocadas por los sistemas de vigilancia del vehículo. Este hecho hace que los sistemas de vigilancia de vehículos basados en ADS-B sean extremadamente vulnerables a un mal funcionamiento del transpondedor ADS-B y al uso malicioso mediante la transmisión de datos ADS-B falsificados.

40 Los sistemas ADS-B sufren el problema de que el receptor de un mensaje ADS-B no tiene ningún medio para comprobar si los contenidos del mensaje son válidos. Un informe erróneo no será detectado mientras se ajuste al formato de mensaje apropiado.

Este defecto se considera que es un problema de seguridad y se considera que es un obstáculo importante para el uso futuro de datos ADS-B en diversos sistemas de vigilancia de vehículos, tales como la provisión de separación en base a la aeronave y/o sistemas de prevención de colisiones, y sistemas de vigilancia de vehículos estacionarios, como por ejemplo s sistemas ATC de base en tierra utilizados para monitorizar el tráfico aéreo cerca de los

aeropuertos.

La invención presentada en el presente documento es un procedimiento y un sistema que aumenta en gran medida la seguridad de un sistema de vigilancia de vehículos basada en ADS-B VDL de Modo 4, proporcionando una posibilidad de validar los datos de posición recibidos contenidos en los mensajes VDL de Modo 4.

5 Los principios propuestos utilizan el hecho de que las posiciones del vehículo en un sistema ADS-B son autonotificados, lo que significa que todos los vehículos en tal sistema difunden vectores de estado del sistema que indica su propia posición. Al proporcionar una posibilidad para estimar la distancia a una fuente de radio desde la que se transmite un mensaje VDL de Modo 4 recibido, la invención permite la comprobación de la validez de los datos de posición contenidos en el mensaje recibido. En términos generales, esto se consigue mediante la
10 verificación de si la distancia estimada a la fuente de radio desde la que se transmite el mensaje de VDL de Modo 4 es coherente con la posición indicada en el mensaje. Dado que las posiciones del vehículo se supone que son autonotificadas, una falta de coincidencia entre la posición estimada y la notificada indica que la posición notificada no puede ser invocada de manera indiscriminada.

15 Esta mejora aumentará la criticidad de los datos de posición en los sistemas ADS-B VDL de Modo 4 y, por lo tanto, permitirá el uso de los datos en sistemas de vigilancia de vehículos de seguridad crítica.

Como se comprenderá, los principios descritos en el presente documento para la validación de datos de posición son relevantes y aplicables a cualquier sistema de vigilancia de vehículos que recibe datos de posición autonotificados desde los vehículos circundantes a través de un enlace de datos sincronizado en el tiempo. Un
20 enlace de datos sincronizado en el tiempo en este contexto debe interpretarse como un enlace de datos a través del cual se inician las transmisiones en los puntos en el tiempo que son conocidos por todos los usuarios del enlace de datos. Un ejemplo de un enlace de datos sincronizado en el tiempo de este tipo es el enlace de datos STDMA que se divide en una pluralidad de intervalos de tiempo, cada uno a partir de un punto bien definido en el tiempo que es conocido por todos los usuarios de enlace de datos, y define de tal manera que una transmisión dentro de un
25 intervalo de tiempo dado se inicia directamente en el inicio de ese intervalo de tiempo. Los enlaces de datos STDMA se utilizan en, por ejemplo, sistemas de vigilancia del tráfico aéreo ADS-B VDL de Modo 4 y sistemas AIS para la vigilancia del tráfico marítimo. En el sistema ADS-B VDL de Modo 4 y en el sistema AIS, los vehículos (aeronaves y buques/embarcaciones, respectivamente) transmiten datos de posición que indican su posición a los vehículos circundantes. Por lo tanto, debe entenderse que los principios descritos en el presente documento para la validación de los datos de posición recibidos son aplicables no sólo en los sistemas ADS-B VDL de Modo 4, sino también en
30 los sistemas AIS.

Sin embargo, la invención de aquí en adelante se describirá principalmente en el contexto de un sistema de vigilancia de s aeronaves basado en aplicaciones ADS-B VDL de Modo 4 de provisión de separación y/o de
35 prevención de colisiones, residente en una aeronave. Los sistemas de vigilancia de aeronaves basados en aeronaves utilizadas para aplicaciones de suministro de separación, aplicaciones de prevención de colisiones, o ambas, se refieren a veces como sistemas de Detección y Prevención.

Las figuras 1A y 1B ilustran el espacio aéreo 1 en el que una aeronave central 3 está rodeada por una pluralidad de aeronaves circundantes 5. También se muestra una estación terrestre ATC 7 para la supervisión del tráfico aéreo en el espacio aéreo 1.

40 Cada aeronave 3, 5 comprende un transpondedor ADS-B 9 (sólo se muestra para las aeronaves centrales 1 con fines ilustrativos) de acuerdo al formato VDL de Modo 4 para la difusión de sus vectores de estado a todas las aeronaves y estaciones terrestres cercanas, y para recibir e interpretar mensajes 13 VDL de Modo 4 de aeronaves de los alrededores. La estación terrestre ATC 7 comprende también un transpondedor VDL de Modo 4 para recibir e interpretar los mensajes recibidos. Los mensajes 13 VDL de Modo 4 comprenden datos de posición relativos a las
45 posiciones de la aeronave desde la que se transmiten. Por lo general, los mensajes VDL de Modo 4 también contienen otra información específica del estado de la aeronave, como un identificador de la aeronave y la velocidad actual de la aeronave.

En la figura 1A la aeronave central 3 transmite su vector de estado a todas las aeronaves circundantes 5 y la estación terrestre 7, y en la figura 1B la aeronave circundante 5 transmite sus vectores de estado a la aeronave
50 central 3, y típicamente también a todas las demás aeronaves 5, así como a la estación terrestre 7. De esta manera, cada aeronave 3, 5 y 7 de la estación terrestre pueden tener una imagen completa de todo el tráfico aéreo en el espacio aéreo monitorizado 1.

Las figuras 2A y 2B ilustran esquemáticamente el concepto de la presente invención.

En la figura 2A, una aeronave 5 transmite un mensaje 13 VDL ADS-B de Modo 4 que lleva 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 como se indica en un
55 mensaje 13 VDL de Modo 4 en adelante se denominará como la posición ADS-B o la posición notificada. Los datos de posición contenidos en un mensaje 13 VDL de Modo 4 se asocian con una cierta incertidumbre y, por lo tanto, la posición $P_{\text{ADS-B}(5)}$ notificada de la aeronave 5 está ilustrada con un círculo de puntos que es algo más grande que la aeronave real. Típicamente, los datos de posición contenidos en un mensaje 13 VDL de Modo 4 se basan en la

información del GPS y, por lo tanto, se asocian con una incertidumbre bien conocida que, como se conoce bien en la técnica, por ejemplo, depende del número de satélites GPS con los que contacta la aeronave cuando se determina la posición.

5 La aeronave central 3 recoge el mensaje 13 VDL de Modo 4 y registra la posición notificada $P_{ADS-B(5)}$ de la aeronave 5. Sin embargo, en lugar de depender de manera indiscriminada de la posición ADS-B $P_{ADS-B(5)}$ notificada y, por ejemplo, dicha posición de uso como parámetros de entrada a un sistema de vigilancia de aeronaves de la aeronave central 3, la aeronave central 3 de acuerdo con la invención comprende medios para la validación de los datos de posición recibidos. Como se mencionó anteriormente, esto se obtiene, en términos generales, mediante la estimación de la distancia $d_{EST(5)}$ a la fuente de radio 5 desde la cual fue transmitido el mensaje 13 VDL de Modo 4 para ver si esta distancia $d_{EST(5)}$ es coherente con la posición notificada $P_{ADS-B(5)}$. Si la distancia estimada $d_{EST(5)}$ a la fuente de radio difiere demasiado de la distancia a la posición notificada $P_{ADS-B(5)}$, la aeronave central 3 y su sistema de Detección y Prevención puede tomar acciones, como rechazar los datos de posición recibidos para utilizarse en aplicaciones críticas de seguridad de vuelo. La forma en que la distancia estimada $d_{EST(5)}$ a la fuente de radio 5 que se transmite en el mensaje 13 VDL de Modo 4 que se calcula se describirá en más detalle más adelante.

15 En base a la distancia estimada $d_{EST(5)}$ a la fuente de radio que transmite el mensaje 13 VDL de Modo 4, la aeronave central 3 puede configurar una ventana de aceptación AW_5 . Si la posición notificada $P_{ADS-B(5)}$ se encuentra en algún lugar dentro de esta ventana de aceptación AW_5 , los datos de posición recibidos pueden considerarse fiables. El intervalo de distancia Δd de la ventana de aceptación AW_5 puede elegirse dependiendo de la criticidad de la aplicación en la que se utilizan los datos de posición recibidos y, preferiblemente, tomando las incertidumbres asociadas con la posición $P_{ADS-B(5)}$ notificada y la distancia $d_{EST(5)}$ estimada en consideración.

20 Se debe apreciar que la posición $P_{ADS-B(5)}$ notificada está asociada con las incertidumbres en todas las dimensiones del espacio y que la línea de puntos que la indica, por lo tanto, debe interpretarse como una sección transversal de un cuerpo tridimensional de cuya forma dependen las incertidumbres de posición en cada dimensión del espacio. Además, puesto que la distancia $d_{EST(5)}$ estimada a la fuente de radio 5 no dice nada acerca de la dirección a la fuente de radio, se debe entender que los círculos de puntos que definen la ventana de aceptación AW_5 que se ilustra en la figura 2A son sólo secciones transversales de dos carcasas esféricas. Basándose únicamente en la estimación de la distancia, la fuente de radio puede estar ubicada en cualquier lugar dentro del volumen del espacio entre estas carcasas esféricas.

25 Aunque la figura 2A ilustra un escenario en el que la posición ADS-B $P_{ADS-B(5)}$ se encuentra dentro de la ventana de aceptación AW_5 , que indica que la fuente de radio desde la que el mensaje 13 VDL de Modo 4 recibido fue transmitido de manera más probable se encuentra en dicha posición $P_{ADS-B(5)}$ y en la que se pueden confiar los datos de posición, por lo tanto, un escenario opuesto se describirá ahora con referencia a la figura 2B.

30 En la figura 2B, una aeronave 5' transmite un mensaje 13' VDL de Modo 4 que es recibido por la aeronave central 3. La aeronave central 3 recupera los datos de posición que contiene el mensaje 13' y registra la posición ADS-B $P_{ADS-B(5)}$ notificada. De conformidad con lo que se ha descrito anteriormente, la aeronave central 3 calcula la distancia $d_{EST(5)}$ a la fuente de radio 5' desde la que se transmite el mensaje 13' y utiliza la distancia estimada para determinar una ventana de aceptación $AW_{5'}$. En este caso, la posición $P_{ADS-B(5')}$ de la aeronave 5' como se indica en el mensaje de 13' VDL de Modo 4 no se encuentra dentro de la ventana de aceptación $AW_{5'}$, lo que indica una desviación considerable entre la distancia $d_{EST(5)}$ estimada a la fuente de radio 5' y la distancia hasta la posición $P_{ADS-B(5')}$ notificada de la misma fuente de radio. Esta desviación indica a la aeronave central 3 de que los datos de posición en el mensaje 13' VDL de Modo 4 recibido no pueden ser invocados de forma indiscriminada.

35 Como el sistema ADS-B VDL de Modo 4 se basa en que cada aeronave transmite su propio vector de estado, una inconsistencia entre la distancia $d_{EST(5)}$ estimada a una fuente de radio 5' desde la que un se transmite un mensaje 13' VDL de Modo 4 y la posición $P_{ADS-B(5)}$ indicada por los datos de posición que figuran en ese mensaje 13' típicamente depende de una de dos cosas: En primer lugar, el transpondedor VDL de Modo 4, el receptor GPS, o cualquier otro componente vital del sistema de la aeronave que transmite puede estar funcionando mal. En segundo lugar, la fuente de radio que transmite el mensaje VDL Modo de 4 puede disponerse deliberadamente para informar de otra posición no sean la suya. Es una debilidad conocida de los sistemas VDL de Modo 4 en el que los mensajes "falsos" pueden ser transmitidos deliberadamente con malas intenciones para crear confusión, e incluso con el fin de sacar el sistema de vigilancia de aeronaves de la aeronave y las estaciones terrestres en un área determinada inundando esa área con mensajes engañosos VDL de Modo 4.

40 Este último escenario se ilustra también en la figura 2B, donde un mensaje 13" malicioso VDL de Modo 4 se ve que se transmite desde un transpondedor 15" VDL de Modo 4 situado en el suelo. Los datos de posición contenidos en el mensaje 13", el cual es recibido y registrado por la aeronave central 3, alega engañosamente que una aeronave se encuentra en la posición $P_{ADS-B(15")}$. Sin embargo, cuando la aeronave central 3 (o cualquier otra unidad que recibe el mensaje 13" y que tiene un sistema de vigilancia de aeronaves que utiliza el concepto de la invención descrito en el presente documento) intenta validar los datos de posición recibidos por la estimación de la distancia $d_{EST(5)}$ a la fuente de radio 15" desde la que se recibió el mensaje 13", encontrará que la posición $P_{ADS-B(15")}$ notificada no se encuentra dentro de la ventana de aceptación $AW_{15"}$ y, por lo tanto, se pueden descartar los datos de posición contenidos en el mensaje 15" VDL de Modo 4 recibido como poco fiable.

El procedimiento y los medios para la estimación de la distancia a las fuentes de radio desde la que se recibieron los mensajes VDL de Modo 4 se describirán ahora con más detalle.

Con el fin de estimar las distancias $d_{EST(5)}$, $d_{EST(5)}$, $d_{EST(15)}$ a las fuentes de radio 5, 5', 15" que difunden los mensajes VDL de Modo 4 13, 13', 13" de las figuras 2A y 2B, la aeronave central 3 utiliza el tiempo de vuelo (TOF) para los mensajes 13, 13', 13" entre la fuente de radio y la aeronave central. A medida que se conoce la velocidad de propagación de las señales de radio que llevan los mensajes VDL en Modo 4 (la velocidad de la luz), se pueden determinar las distancias.

El Modo VDL 4 se basa en STDMA, que es un procedimiento de acceso al canal que permite a varios usuarios compartir el mismo canal de frecuencia mediante su división en diferentes franjas horarias en función del tiempo. Se requiere que cada transpondedor VDL de Modo 4 transmita su vector de estado en intervalos de tiempo específicos. El inicio de cada intervalo de tiempo se determina mediante estándar VDL de Modo 4 y se basa en UTC (hora GPS). Cada intervalo de tiempo comienza en un punto específico en el tiempo y termina en un punto específico en el tiempo (como se define por UTC), cuyos puntos en el tiempo se encuentran globalmente definidos y conocidos por todos los transpondedores compatibles con el estándar VDL de Modo 4. Información más detallada sobre VDL de Modo 4 y STDMA se encuentra en, por ejemplo, el documento titulado "Self-organizing Time Division Multiple Access VDL Mode 4 – Standards and Recommended Practices", que es el Apéndice D del Informe sobre la Cuestión 5 del orden del día de la cuarta reunión del Panel sobre Comunicaciones Móviles Aeronáuticas (AMCP/4); Montreal, 25 de marzo al 4 de abril de 1996 (también se encuentra en Internet en la dirección <http://www.icao.int/anb/panels/acp/meetings/amcp4/item-5d.pdf>, 2008-04-22).

El principio propuesto para la determinación del TOF para un mensaje de VDL de Modo 4 es estimar el TOF en base al tiempo entre el comienzo del intervalo de tiempo en el que se recibe el mensaje y el punto en el tiempo en el que se recibe el mensaje.

Este principio se ilustra en las figuras 3A y 3B, que ilustran un marco 10 que es una parte de un flujo de datos VDL de Modo 4. El marco 10 se divide en una pluralidad de intervalos de tiempo 12. Los diferentes intervalos de tiempo se asignan a diferentes transpondedores VDL de Modo 4. Por ejemplo, el intervalo de tiempo indicado por el número de referencia 12 se puede asignar a la aeronave indicada por el número de referencia 5 en la figura 2A. Al inicio 14 del intervalo de tiempo 12, la aeronave 5 difunde el mensaje 13 VDL de Modo 4 a través del enlace de datos VDL de Modo 4 basado en STDMA. Típicamente, la transmisión del mensaje 13 VDL de Modo 4 comienza casi inmediatamente después del inicio 14 del intervalo de tiempo 12 asignado para la transmisión. De acuerdo con el estándar VDL de Modo 4 y la práctica recomendada, la transmisión de un mensaje VDL de Modo 4 debería comenzar a más tardar 1 microsegundo después del inicio 14 del intervalo de tiempo 12 asignado para esa transmisión, que normalmente es un período de tiempo mucho más largo de lo necesario. La aeronave central 3, que también comprende un transpondedor 9 VDL de Modo 4 y, por lo tanto sabe cuándo comienza y termina cada intervalo de tiempo, recibe el mensaje 13 en algún punto en el tiempo 16 dentro del intervalo de tiempo 12 (los intervalos de tiempo STDMA son lo suficientemente largos como para asegurar que al menos el inicio de un mensaje VDL de Modo 4 se recibe dentro del mismo intervalo de tiempo cuando se transmite). La aeronave central 3 comprende medios para determinar el punto en el tiempo 16 en el que llega el mensaje 13. Normalmente, el propio transpondedor 9 VDL de Modo 4 comprende medios para determinar cuándo se recibe un mensaje 13. Desde el transpondedor VDL de Modo 4 de la aeronave central se sabe exactamente cuándo comenzó el intervalo de tiempo, y se puede determinar el tiempo transcurrido Δt entre el inicio del intervalo de tiempo y la recepción del mensaje. Como en esta ocasión Δt se corresponde sustancialmente al TOF del mensaje 13 VDL de Modo 4, y como la señal de radio que lleva el mensaje 13 se propaga a una velocidad conocida (la velocidad de la luz), la aeronave central 3 puede calcular una distancia $d_{EST(5)}$ estimada a la aeronave 5 desde la que recibió el mensaje 13 VDL de Modo 4. Como el estándar VDL de Modo 4 permite que un transpondedor comience la transmisión hasta 1 microsegundo después del inicio de un intervalo de tiempo, un retardo de dicha transmisión se contabiliza preferiblemente mediante la unidad de recepción cuando se determina el TOF para la señal. Por ejemplo, el TOF puede estimarse como el tiempo transcurrido Δt entre el inicio del intervalo de tiempo y la recepción de la señal menos 500 nanosegundos (la mitad del retardo de transmisión permisible).

Se debe apreciar que el procedimiento descrito anteriormente para la estimación de una distancia a una fuente de radio desde la que se recibe una señal es aplicable no sólo en sistemas de comunicaciones que utilizan enlaces de radio basados en STDMA, tales como sistemas VDL de Modo 4 o sistemas AIS, sino en cualquier sistema de comunicaciones que utiliza los enlaces de datos sincronizados en el tiempo.

La figura 4 ilustra una realización de un sistema de vigilancia de vehículos 17 según la invención. El sistema de vigilancia de vehículos 17 comprende una subunidad 19 que puede incluirse en cualquier tipo de unidad de recepción, tal como un vehículo o unidad estacionaria, para la validación de los datos de posición autonotificados que se transmiten a través de un enlace de datos sincronizado en el tiempo. En este ejemplo de realización, sin embargo, se utiliza la subunidad 19 del sistema de vigilancia del vehículo en un sistema de vigilancia de las aeronaves 17 basado en ADS-B VDL de Modo 4 para aplicaciones de provisión de separación de aeronaves y/o de prevención de colisiones. Se debe entender que el sistema de vigilancia de vehículos 17 en la figura 5 está asociado con una aeronave central, tal como la aeronave central 3 en las figuras 2A y 2B. La aeronave central que comprende el sistema de vigilancia de aeronaves 17 puede ser una aeronave tripulada convencional o un UAV, que es dirigidos

manualmente, pero por control remoto o que vuela de forma autónoma en base a planes de vuelo previamente programados.

El sistema de vigilancia de aeronaves 17 comprende un módulo sensor 21 que comprende típicamente una pluralidad de sensores pasivos y activos para la monitorización y la comunicación con el mundo que los rodea.

5 El módulo sensor 21 comprende un transpondedor ADS-B 23 de acuerdo con al formato VDL de Modo 4 para la transmisión y la recepción de mensajes VDL de Modo 4. El transpondedor 23 VDL de Modo 4 puede comprender una o varias antenas incorporadas y/o utilizar otras antenas (no mostradas) en la vigilancia de aeronaves 17 para recibir y transmitir mensajes VDL Modo 4. El módulo sensor 21 comprende además una unidad de posicionamiento 25 para la determinación de la posición propia. Típicamente, pero no necesariamente, la unidad de posicionamiento 25 es un receptor GPS que recibe datos GPS que le permitan determinar su propia posición, y por lo tanto la posición de la aeronave central, la velocidad y la dirección del movimiento, así como la determinación de la hora UTC. La unidad de posicionamiento 25 también puede utilizar otros sistemas de navegación, tales como el sistema de posicionamiento Galileo o el GLONASS con el fin de determinar su posición en coordenadas globales. La unidad de posicionamiento 25 también puede incluir una pista de mantenimiento del módulo de navegación inercial de la posición de la aeronave central sin necesidad de referencias externas. Una funcionalidad adicional bien conocida en la técnica para aumentar aún más la precisión en el posicionamiento de un receptor GPS puede incluirse también en la unidad de posicionamiento 25. La unidad de posicionamiento 25 también puede incluir sensores para medir la presión atmosférica, permitiendo así determinar la elevación de la aeronave central sin la necesidad de referencias externas como bien conocidas en la técnica. La unidad de posicionamiento 25 puede comprender una o varias antenas incorporadas y/o utilizar otras antenas (no mostradas) en el sistema de vigilancia de aeronaves 17 para recibir señales, por ejemplo, de satélites GPS, lo que permite la determinación de la posición propia. La unidad de posicionamiento 25 está conectada al transpondedor 23 VDL de Modo 4 para proporcionar al transpondedor la información relativa a la posición de la aeronave central, cuya información se puede incluir en los mensajes VDL de Modo 4 transmitidos por la aeronave central. La unidad de posicionamiento 25 también puede formar una parte integral del transpondedor 23 VDL de Modo 4.

El módulo sensor 21 puede comprender además un bloque sensor 27 que comprende varios sensores adicionales para la comunicación con y la monitorización de vehículos de los alrededores y las estaciones terrestres. Por ejemplo, el bloque sensor 27 puede comprender equipos de radar primario, equipos de detección láser y de variación (LADAR), equipos de radar secundario de vigilancia, cámaras, cámaras de infrarrojos, etc.

30 Cuando el transpondedor 23 VDL de Modo 4 recibe un mensaje VDL de Modo 4 desde una fuente de radio cercana, se estima la distancia a la fuente de radio como se describió anteriormente. El transpondedor VDL de Modo 4 puede estar dispuesto para realizar la propia estimación de la distancia, o puede conectado a una unidad externa (no mostrada) dispuesta para realizar la estimación basada en las señales recibidas por el transpondedor 23. El transpondedor VDL de Modo 4 también extrae la posición ADS-B notificada en el mensaje VDL de Modo 4 recibido, cuya supuesta posición es la posición de una aeronave cercana. Además, la unidad de posicionamiento 25 está dispuesta para establecer la posición propia de la aeronave central cuando se recibe un mensaje VDL de Modo 4. La distancia estimada a la fuente de radio, la posición ADS-B notificada y la posición propia establecida de la aeronave central se envían a una unidad de validación de la posición 29.

40 La unidad de validación de la posición 29 comprende una unidad de cálculo 31 dispuesta para procesar la información recibida desde el módulo sensor 21 de diferentes maneras. Por ejemplo, la unidad de cálculo 31 puede estar dispuesta para realizar la estimación de la distancia a la fuente de radio en base a las señales recibidas por el transpondedor 23. La unidad de validación de la posición 29 también comprende un comparador 33 dispuesto para comparar la distancia estimada a la fuente de radio desde la que se transmite el mensaje VDL de Modo 4 con la distancia a la posición ADS-B que se indica en ese mensaje, y determinar un valor de desviación que indica la diferencia entre las dos distancias. Además, la unidad de validación de la posición 29 comprende un discriminador 35 que está dispuesto para procesar los datos de la posición ADS-B notificados en diferentes formas basadas en el valor de desviación que se determina mediante el comparador 33 y, por lo tanto, indicativos de la fiabilidad de los datos de la posición ADS-B actualmente procesados.

50 De acuerdo con una realización de la invención, la unidad de cálculo 31 está dispuesta para tomar la distancia estimada a la fuente de radio y la posición propia de la aeronave central como parámetros de entrada y, basándose en estos parámetros, el cálculo de las posiciones estimadas de la fuente de radio desde la que se recibió el mensaje VDL de Modo 4. Este cálculo se traduciría en una posición estimada de la fuente de transmisión de radio en algún lugar a lo largo de la superficie de una carcasa esférica que rodea la aeronave central. El comparador 33 compara entonces la posición estimada de la fuente de radio con la posición ADS-B notificada y determina un valor de desviación que indica la distancia entre dicha carcasa esférica y la posición ADS-B notificada. El discriminador 35 puede en este caso estar dispuesto para determinar si la posición ADS notificada se encuentra dentro o fuera de una ventana de aceptación que rodea la carcasa esférica, tales como las ventanas de aceptación AW_5 , AW_5' , AW_{15} que se ilustran en las figuras 2A y 2B, y, si se encuentra fuera, descartar los datos de posición ADS-B como poco fiables.

60 De acuerdo con otra realización, la unidad de cálculo 31 está dispuesta para tomar la posición propia de la aeronave central proporcionada por la unidad de posicionamiento 25 y la posición ADS-B notificada en el mensaje VDL de

Modo 4 como parámetros de entrada y, basándose en estas posiciones, calcular una distancia entre la aeronave central y la posición ADS-B notificada. El comparador 33 está dispuesto entonces para comparar la distancia así calculada con la distancia estimada a la fuente de radio desde la que se transmite el mensaje VDL de Modo 4 y determinar un valor de desviación que indica la diferencia entre las dos distancias. El discriminador 35 puede en este caso estar dispuesto para comparar el valor de la desviación con un valor de aceptación de errores y, si el valor de la desviación es mayor que el valor de la aceptación de errores, descartar los datos de posición ADS-B como poco fiables.

Preferiblemente, el discriminador 35 está dispuesto a tomar las incertidumbres asociadas con la posición ADS-B notificada y la distancia estimada a la fuente de radio notificándola al determinar la forma de procesar los datos de posición ADS-B recibidos. Estas incertidumbres pueden ser pre-programadas en el discriminador 35 o proporcionadas al discriminador 35 por el módulo sensor 21 si los componentes responsables de la recuperación de la posición ADS-B informada y de estimar la distancia a la fuente de radio son capaces de determinar las incertidumbres asociadas con el mismo. Estas incertidumbres se discutirán en mayor detalle más adelante.

En este sistema de vigilancia de las aeronaves a modo de ejemplo 17, el discriminador 35 está conectado comunicativamente a una unidad de información 37 y una unidad de decisión y de maniobra 39 a la que se reenvían las posiciones ADS-B recibidas de aeronaves cercanas, al menos cuando se consideran fiables.

En una aeronave convencional, tripulada, la unidad de información 37 se encuentra en la cabina de la aeronave y sirve para informar al piloto sobre el tráfico aéreo circundante. Las posiciones ADS-B de la aeronave cercana normalmente se muestran en una pantalla de navegación gráfica 53. El módulo de información 37 se ve que también comprende un altavoz 43 para proporcionar advertencias audibles para el piloto en caso de que una aeronave cercana se esté acercando demasiado a la aeronave central. La posición de la aeronave central se proporciona normalmente a la unidad de información 37 mediante la unidad de posicionamiento 25 del sistema de vigilancia de la aeronave 17. En caso de que la aeronave central con la que el sistema de vigilancia de la aeronaves 17 está asociado sea un UAV, la unidad de información 37 puede residir en una estación terrestre en la que se encuentra un piloto para controlar y/o supervisar el UAV de forma remota. En ese caso, los datos tales como la posición de la aeronave central y las posiciones ADS-B de la aeronave cercana recibidas por el transpondedor 23 VDL de Modo 4 en el UAV se transmiten típicamente a la unidad de información 37 con base en tierra mediante un enlace de radio.

La unidad de decisión y de maniobra 39 comprende medios de control 45 para maniobrar la aeronave central, y una unidad lógica de maniobra 47 para determinar continuamente la ruta de vuelo óptima para la aeronave central. La unidad lógica de maniobra 47 está dispuesta para tomar los datos de navegación críticos como parámetros de entrada, analizar dichos datos y determinar la velocidad y la dirección de vuelo óptimas de la aeronave central en base al resultado del análisis. Uno de estos parámetros navegación crítico es la posición ADS-B informada por la aeronave cercana. Otro puede ser, por ejemplo, un plan de vuelo previamente programado, la velocidad actual, la posición y la dirección de vuelo de la aeronave central, y la velocidad y dirección de vuelo de la aeronave cercana. Si la aeronave central es un UAV controlado autónomo o una aeronave pilotada (aeronaves tripuladas o UAV dirigidos por control remoto), actualmente en el piloto automático, la unidad lógica de maniobra 47 puede proporcionar de forma continua o periódica medios de control 45 con información sobre la velocidad (momentáneamente) y la dirección de vuelo óptimas a fin de que los medios de control 45 maniobren la aeronave central en consecuencia. Si, por otra parte, la aeronave central es pilotada manualmente desde la cabina, o pilotada por control remoto desde una estación terrestre, se pueden proporcionar al piloto la velocidad y la dirección de vuelo óptima de la aeronave central, tal como se determina por la unidad lógica de maniobra 47 y utilizarse para apoyar la toma de decisiones.

De acuerdo con un aspecto de la invención, el discriminador 35 del módulo de validación de posición 29 en el sistema de vigilancia de la aeronave 17 está dispuesto para descartar una posición ADS-B recibida si el valor de desviación que indica la diferencia entre la distancia a la posición de ADS-B informada y la distancia estimada a la fuente de radio informada excede un cierto valor de umbral. Aquí "descartar" significa que el discriminador 35 impide que la posición ADS-B llegue a la unidad de información 37 y a la unidad de decisión y de maniobra 39. De este modo, una posición ADS-B informada de una aeronave cercana que no pueda ser validada por el sistema de vigilancia de la aeronave 17 nunca se presentará al piloto de la aeronave y/o se utilizará como base para el control de aeronaves automático.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, el discriminador 35 no descarta datos de posición ADS-B a pesar de que la distancia a la posición de ADS-B que indica se desvíe sustancialmente de la distancia estimada a la fuente de transmisión de radio. En cambio, cuando el valor de la desviación establecida por el comparador 33 supera un cierto valor umbral, el discriminador 35 está dispuesto para añadir un indicador que indica que la posición ADS-B recibida puede no ser confiable respecto a los datos ADS-B antes de transmitir los datos a la unidad de información 37 y la unidad de decisión y de maniobra 39. De este modo, la unidad de información 37 y la unidad de decisión y de maniobra 39 pueden reconocer los datos ADS-B no fiables y actuar en consecuencia.

La unidad de información 37 puede en este caso ser dispuesta para alertar visual o auditivamente a un piloto de la aeronave central que se ha recibido una posición ADS-B no fiable de una aeronave cercana y, por ejemplo, indicar la supuesta posición de la aeronave en las inmediaciones de la pantalla de navegación 41. El módulo lógico de maniobra 47 de la unidad de decisión y de maniobra 39 puede, tras la detección de dicha bandera indicando una

posición ADS-B no fiable, estar dispuesto a pasar por alto la posición ADS-B y no utilizarlo en la determinación de la velocidad (momentáneamente) y dirección de vuelo óptimas de la aeronave central.

De acuerdo con otro aspecto más de la invención, un valor de desviación grande entre la distancia a una posición ADS-B informada por una fuente de radio y una distancia estimada a la fuente de radio se puede utilizar como un indicador para iniciar un proceso adicional de validación de posición de la aeronave. Si el valor de la desviación determinada por el comparador 33 excede un valor umbral predeterminado, el discriminador 35 puede estar dispuesto para preguntar a los sensores adicionales 27 en el sistema de Detección y Prevención 17 si son capaces de detectar una aeronave en la posición ADS-B dada. Si es así, la posición ADS-B puede ser reenviada y utilizada por la unidad de información 37 y la unidad de decisión y de maniobra 39 como se describió anteriormente. Si, por el contrario, los sensores del sistema de vigilancia de las aeronaves 17 no pueden confirmar la presencia de una aeronave en la supuesta posición ADS-B, el discriminador 35 tampoco descarta los datos de posición ADS-B o establece una marca que indica que los encuentra poco fiables antes de reenviarlos, como también se ha descrito anteriormente.

Aunque la funcionalidad de la aplicación del concepto de la invención se ha descrito en el presente documento como que reside en módulos funcionales separados, tales como el módulo sensor 21 y la unidad de validación de la posición 29, se debe apreciar que esto se hace sólo para facilitar la descripción del sistema de vigilancia de la aeronave 17 y que la funcionalidad se puede implementar de muchas otras maneras sin apartarse del alcance de la invención.

También debe apreciarse que la posición propia de la aeronave central no sería un parámetro requerido en el proceso de validación de los datos de posición recibidos si los datos de posición recibidos indican la posición relativa de la aeronave transmisora en relación con la aeronave central en lugar de la posición absoluta de la aeronave transmisora. Si, por ejemplo, una primera aeronave en un espacio aéreo controlado por una estación ATC de base en tierra recibe una posición relativa de una segunda aeronave de la estación ATC, esta posición relativa podría ser validada por la segunda aeronave si se transmite a dicha segunda aeronave en un mensaje desde dicha primera aeronave. En este caso, la segunda aeronave no necesita conocer su propia posición con el fin de validar los datos de posición recibidos.

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para la validación de los datos de posición recibidos de acuerdo con la invención. Las etapas del procedimiento pueden ser realizadas por cualquier unidad de recepción que reciba tales datos, tales como un vehículo (por ejemplo, una aeronave) o una unidad estacionaria (por ejemplo, una estación terrestre ATC). Cuando se describe el procedimiento, sin embargo, se hará referencia simultánea al entorno operativo ejemplar de la invención ilustrada en las figuras 2A y 2B, en las que la unidad de recepción es la aeronave central 3.

En la etapa S1, una señal de 13, 13', 13" procedente de una fuente de radio 5, 5', 15" es recibida por la aeronave central 3. La señal 13, 13', 13" se transmite sobre un enlace de datos sincronizado en el tiempo y lleva los datos de posición que indican una supuesta posición $P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$ de una aeronave. "Supuesta" aquí significa que puede o no ser una aeronave en la posición notificada por la fuente de radio. Como se mencionó anteriormente, la invención está destinada a sistemas de vigilancia de vehículo en los que cada vehículo transmite su propia posición, y el caso en el que una aeronave no está en la posición notificada por la fuente de radio, por tanto, indica un mal funcionamiento del equipo o sistema o que la fuente de radio está deliberadamente dispuesta para transmitir datos de posición engañosos.

En la etapa S2, la aeronave central 3 estima la distancia a la fuente de radio 5, 5', 15", basada en el TOF para una señal que viaja entre la fuente de radio y la aeronave central 3, y la velocidad de propagación de la señal. El TOF se determina basándose en el tiempo transcurrido entre el momento de la transmisión y el momento de la recepción de la señal. El momento de la transmisión es, como se mencionó anteriormente, definido por el enlace de datos sincronizado en el tiempo y conocido por todos los usuarios del enlace de datos. Se debe apreciar que puede haber una pequeña diferencia, es decir, un retardo de transmisión, entre el momento de la transmisión según lo estipulado por el protocolo de enlace de datos sincronizado en el tiempo y el punto en el tiempo en el que la transmisión de la señal comienza en realidad. Preferiblemente, dicho retraso de transmisión se toma en cuenta al determinar el TOF de la señal.

En la etapa S3, la aeronave central 3 determina un valor de desviación indicativo de la diferencia entre la distancia a la posición $P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$ notificada por la fuente de radio 5, 5', 15" y la posición estimada $P_{EST(5)}$, $P_{EST(5')}$, $P_{EST(15'')}$ de dicha fuente de radio 5, 5', 15" calculados en la etapa S2. Si la posición notificada $P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$ es una posición absoluta, la propia posición de la aeronave central 3 debe ser utilizada en la estimación de la distancia a la posición notificada. Si, por otra parte, la posición notificada $P_{ADS-B(5)}$, $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$ es una posición relativa de una aeronave en relación con la aeronave central, no se necesita conocimiento sobre la propia posición de la aeronave central. El valor de la desviación determinada es un indicador de la fiabilidad de los datos de posición recibidos y se puede utilizar como una base para decidir si los datos de posición recibidos deben ser usados o descartados por la unidad de recepción (en este caso ejemplar, la aeronave central 3).

Con referencia ahora a las tablas 1 y 2, las incertidumbres asociadas con las posiciones notificadas VDL Modo 4

ADS-B y las distancias estimadas a las fuentes de radio que las transmiten se discutirá con más detalle.

La Tabla 1 ilustra una estimación de la precisión esperada en la estimación de la distancia de la fuente de radio.

Las contribuciones de las diferentes fuentes de error se han calculado utilizando los valores de sigma 1, es decir, la desviación estándar normal. Además, se ha supuesto que los errores están distribuidos normalmente y son mutuamente independientes. Bajo estos supuestos el error neto se puede calcular sumando las varianzas (el cuadrado de la desviación estándar). El cálculo muestra que la distancia a un transpondedor de transmisión de VDL de Modo 4 se podría medir con una precisión de aproximadamente 34 metros, dado que la exactitud de transmisión es de 50 nanosegundos. Como se ha mencionado, el estándar VDL de Modo 4 permite un retardo de transmisión entre el momento de la transmisión según lo estipulado por el enlace de datos STDMA y el inicio real de la transmisión de a lo sumo 1 microsegundo (que típicamente es un retardo de transmisión mucho más largo de lo necesario). Si se supone que el inicio real de la transmisión que se produce es de 500 nanosegundos después de la hora estipulada de transmisión, la exactitud de transmisión en el peor de los casos sería de 500 nanosegundos. La realización de los mismos cálculos con una precisión de transmisión de 500 nanosegundos demostraría que la distancia a una transmisión de VDL de Modo 4 transpondedor puede ser estimada con una precisión de aproximadamente 155 metros.

La Tabla 2 ilustra una estimación de la precisión esperada en la validación de la posición ADS-B notificada por un mensaje VDL de Modo 4.

Cuando se realiza la validación de posición ADS-B, tanto la precisión de la posición ADS-B informada desde el transpondedor de transmisión VDL de Modo 4 y la precisión de la propia posición tienen que ser tomadas en cuenta. Dado que tanto la propia posición y las posiciones ADS-B informadas por otros automóviles normalmente se miden con GPS, la precisión de estas posiciones será de aproximadamente 15 metros. Como se muestra en la Tabla 2, la validación se puede realizar con una precisión de aproximadamente 40 metros (1 sigma), dado que la exactitud de transmisión es de 50 nanosegundos.

El principio propuesto en este documento para la validación de los datos de posición recibidos asegura que las decisiones de navegación se realizan en base a la información correcta del tráfico circundante. El sistema de vigilancia del vehículo antes descrito puede ser incluido en las aeronaves y estaciones de ATC con base en tierra, así como barcos y estaciones VTS en tierra para aumentar la seguridad del tráfico aéreo y marítimo.

En particular, el principio propuesto para la validación de los datos de posición recibidos en los mensajes ADS-B que se ajusten al formato VDL Modo 4 proporciona sistemas de vigilancia seguros basados en VDL de Modo 4 en aeronaves, que ventajosamente se pueden utilizar tanto para aplicaciones de provisión de separación y de prevención de colisiones debido a la mayor fiabilidad de los datos sobre los que se toman las decisiones.

Además del aumento de la seguridad de los vuelos ofrecida por el sistema de vigilancia del vehículo 17 de acuerdo con la invención, las aeronaves que comprenden un sistema de este tipo y que lo utilizan para la provisión de separación de aeronaves automática reducirán su consumo de combustible, ya que su plan de vuelo pre-programado no se alterará por mensajes erróneos ADS-B notificados por las aeronaves cercanas.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a realizaciones específicas, estas descripciones no pretenden ser interpretadas en un sentido limitativo. Diversas modificaciones de las realizaciones dadas a conocer, así como realizaciones alternativas de la invención se harán evidentes para las personas expertas en la técnica tras la referencia a la descripción de la invención. Se debe apreciar por los expertos en la técnica que la concepción y las realizaciones específicas dadas a conocer pueden utilizarse fácilmente como base para modificar o diseñar otras estructuras para llevar a cabo los mismos fines de la presente invención. También debe tenerse en cuenta por los expertos en la técnica que tales construcciones equivalentes no se apartan del alcance de la invención tal como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

Por tanto, se contempla que las reivindicaciones cubrirán cualquiera de dichas modificaciones o realizaciones que caen dentro del verdadero ámbito de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de validación de datos de posición en aplicaciones de vigilancia de vehículos, en el que los vehículos (3, 5, 5') transmiten los datos de posición que indican su propia posición a los vehículos circundantes (3, 5, 5'), comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

5 recibir (S1), en una unidad de recepción (3), una primera señal (13; 13', 13") que transporta datos de posición que indican una supuesta posición ($P_{ADS-B(5)}$; $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo, transmitida desde una fuente de radio (5; 5', 15") a través de un enlace de datos;

estimar (S2) la distancia ($d_{EST(5)}$, $d_{EST(5')}$, $d_{EST(15'')}$) entre la unidad de recepción (3) y la fuente de radio (5; 5', 15") en base al tiempo de vuelo, TOF, y la velocidad de propagación de la señal recibida (13; 13', 13"), y

10 determinar (S3) un valor de desviación que indica la diferencia entre una distancia a la posición ($P_{ADS-B(5)}$; $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo de acuerdo con los datos de posición recibidos y la distancia estimada ($d_{EST(5)}$, $d_{EST(5')}$, $d_{EST(15'')}$) a la fuente de radio (5; 5', 15"),

15 **caracterizado porque** dicho enlace de datos es un enlace de datos a través del cual se inician las transmisiones de señales portadoras de datos de posición que indican presuntas posiciones de los vehículos en los puntos de transmisión dados en el tiempo (14) que son conocidos por todos los usuarios de dicho enlace de datos, y **porque** dicho TOF se determina en base al tiempo (Δt) transcurrido desde el punto de transmisión en el tiempo (14) de dicha primera señal al momento de recepción (16) de al menos una primera parte de dicha primera señal.

20 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho valor de la desviación se utiliza como un indicador de la fiabilidad de los datos de posición recibidos.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que la unidad de recepción (3) es una aeronave (3) o un barco que es gobernado en base a los datos de posición recibidos de las aeronaves (5) o barcos cercanos, comprendiendo el procedimiento además la etapa de:

25 descartar los datos de posición recibidos si dicho valor de desviación supera un valor umbral predeterminado, de modo que las decisiones de navegación no se basen en datos de posición incorrectos.

4. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor de la desviación se determina de acuerdo a la fórmula:

$$\text{Valor de la desviación} = |d_{ADS-B} - d_{EST}|$$

30 donde d_{ADS-B} es la distancia entre la posición de la unidad de recepción (3) y la supuesta posición ($P_{ADS-B(5)}$; $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo, y d_{EST} es la distancia estimada ($d_{EST(5)}$, $d_{EST(5')}$, $d_{EST(15'')}$) entre la unidad de recepción (3) y la fuente de radio (5; 5', 15").

5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha primera señal (13; 13', 13") es un mensaje de ADS-B (13; 13', 13") según el formato de VDL de Modo 4 y el enlace de datos es un enlace de datos basado en TDMA, tal como un enlace de datos STDMA.

35 6. Un sistema de vigilancia de vehículos (17) para aplicaciones de vigilancia de vehículos, en el que los vehículos (3, 5, 5') transmiten los datos de posición que indican su propia posición a los vehículos circundantes (3, 5, 5'), que comprende:

40 medios de recepción (9; 23) adaptados para recibir (S1) una primera señal (13; 13', 13") que transporta datos de posición que indican una supuesta posición ($P_{ADS-B(5)}$; $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo, transmitida desde una fuente de radio (5; 5', 15") a través de un enlace de datos;

medios de estimación de distancia (9; 23, 31) adaptados para calcular (S2) la distancia ($d_{EST(5)}$, $d_{EST(5')}$, $d_{EST(15'')}$) a la fuente de radio (5; 5', 15") en base al tiempo de vuelo, TOF, y la velocidad de propagación de la señal recibida (13; 13', 13"), y

45 medios de comparación (33) adaptados para determinar (S3) un valor de desviación que indica la diferencia entre una distancia a la posición ($P_{ADS-B(5)}$; $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo de acuerdo con los datos de posición recibidos y la distancia estimada ($d_{EST(5)}$, $d_{EST(5')}$, $d_{EST(15'')}$) a la fuente de radio (5; 5', 15"),

50 **caracterizado porque** dicho enlace de datos es un enlace de datos a través del cual se inician las transmisiones de señales portadoras de datos de posición que indican presuntas posiciones de los vehículos en los puntos de transmisión dados en el tiempo (14) que son conocidos por todos los usuarios de dicho enlace de datos, y **porque** dichos medios de estimación de distancia (9; 23, 31) están adaptados para determinar dicho TOF en base al tiempo (Δt) transcurrido desde el punto de transmisión en el tiempo (14) de dicha primera señal en el momento de recepción (16) de al menos una primera parte de dicha

primera señal.

- 5 7. Sistema de vigilancia de vehículos (17) de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende además medios de discriminación (35) conectados a un módulo de información (37) para informar a un usuario del tráfico de vehículos que lo rodea y/o a una unidad de decisión y de maniobra (39) para el control de un vehículo en el que está incluido el sistema (17), estando dichos medios de discriminación (35) adaptados para descartar los datos de posición que indican una supuesta posición ($P_{ADS-B(5)}$; $P_{ADS-B(5')}$, $P_{ADS-B(15'')}$) de un vehículo al cual, de acuerdo con el valor de la desviación determinado por los medios de comparación (33), la distancia difiere sustancialmente de la distancia estimada ($d_{EST(5)}$, $d_{EST(5')}$, $d_{EST(15'')}$) a la fuente de radio (5; 5', 15'').
- 10 8. Sistema de vigilancia de vehículos (17) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 ó 7, en el que los medios de recepción (9; 23) comprenden un transpondedor ADS-B (9; 23) conforme al formato de VDL Modo 4, estando dicho transpondedor ADS-B VDL Modo 4 (9; 23) adaptado para recibir mensajes de VDL en Modo 4 (13; 13', 13'') que son transmitidos a través de un enlace de datos basado en TDMA, tal como un enlace de datos STDMA.
- 15 9. Sistema de vigilancia de vehículos (17) según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, estando dicho sistema (17) situado en una aeronave (3) y que se utiliza como un sistema de vigilancia de la aeronave (17) para la provisión de separación y/o aplicaciones de evitación de colisión.
10. Un vehículo (3, 5, 3, 5'), **caracterizado porque** comprende un sistema de vigilancia de vehículos (17) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9.
11. Vehículo (3, 5; 3, 5') de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dicho vehículo es una aeronave (3, 5; 3, 5').
- 20 12. Vehículo (3, 5; 3, 5') de acuerdo con la reivindicación 11, en el que dicha aeronave (3, 5; 3, 5') es un vehículo aéreo no tripulado, UAV.
13. Vehículo (3, 5; 3, 5') de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dicho vehículo es un barco.
- 25 14. Una estación terrestre de control del tráfico aéreo [ATC] (7) para la vigilancia de tráfico aéreo, **caracterizada porque** comprende un sistema de vigilancia de vehículos (17) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9.
15. Estación terrestre de servicio de tráfico marítimo [VTS] para la vigilancia del tráfico marítimo, **caracterizada porque** comprende un sistema de vigilancia de vehículos (17) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9.

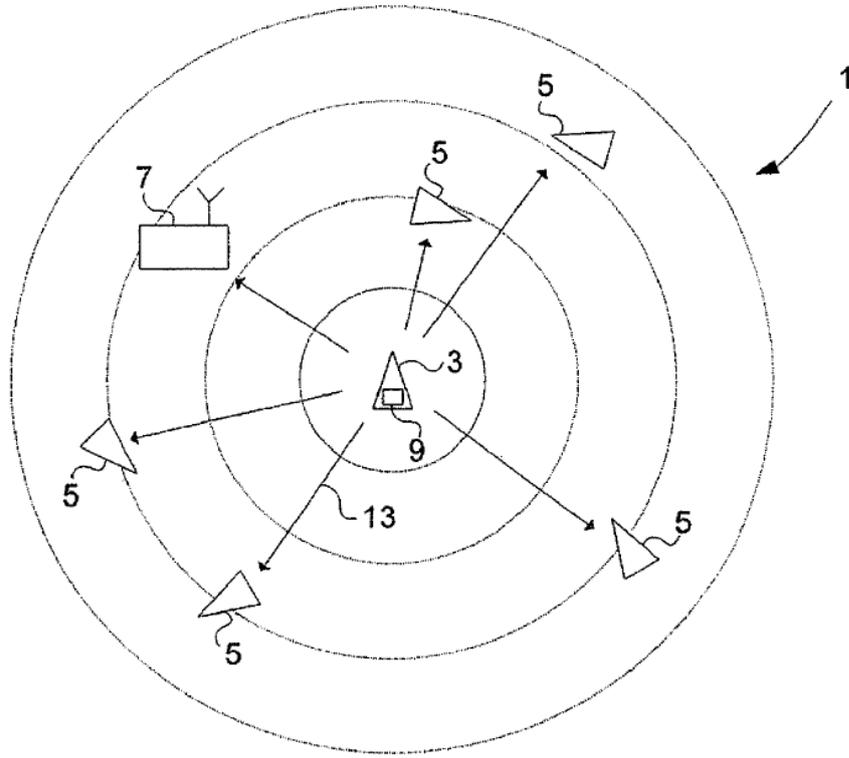


Fig. 1A

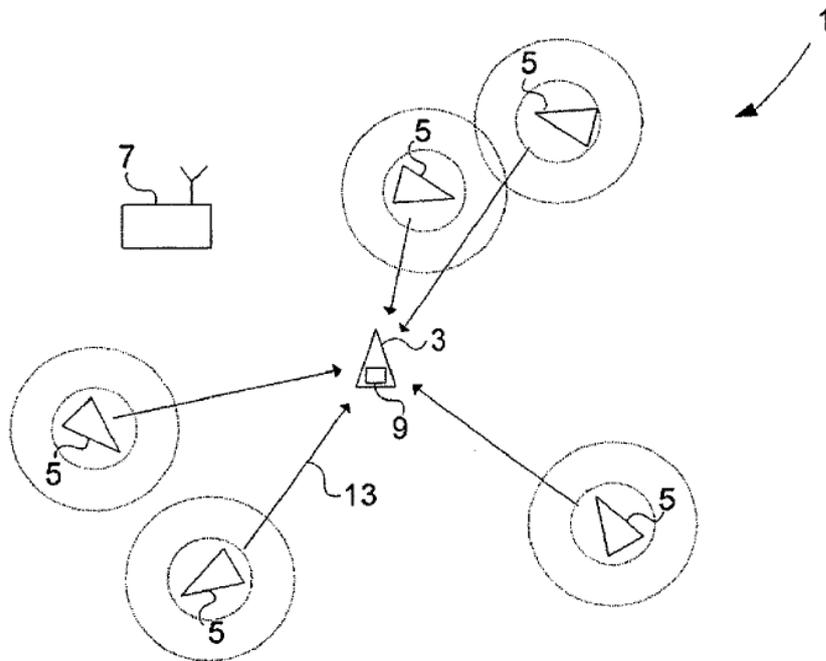
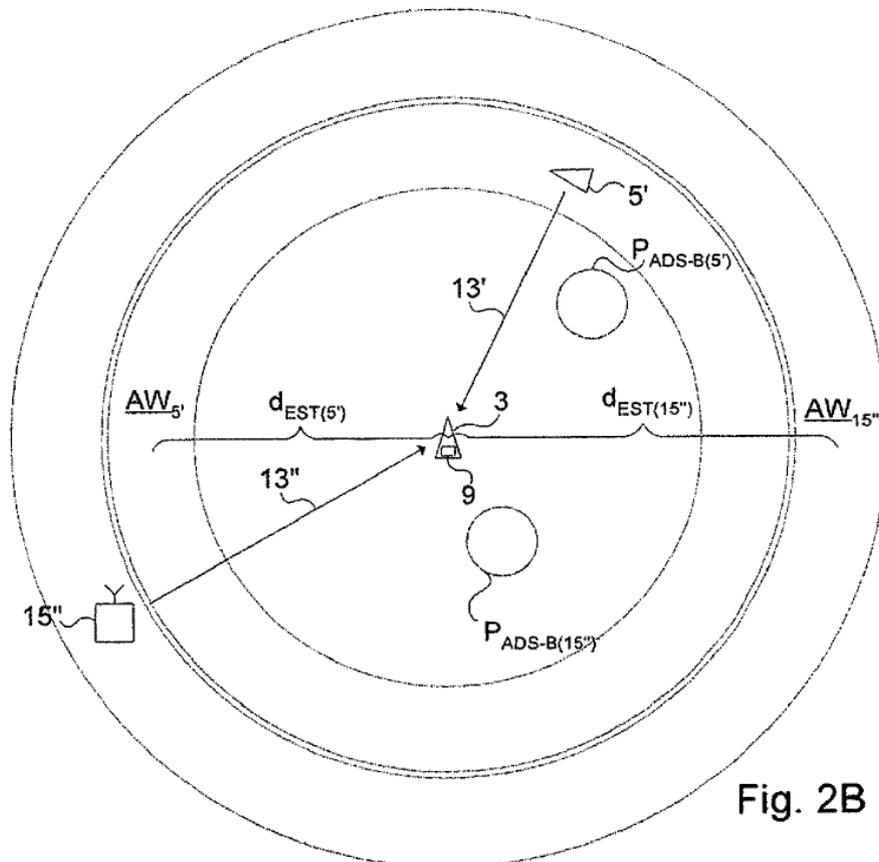
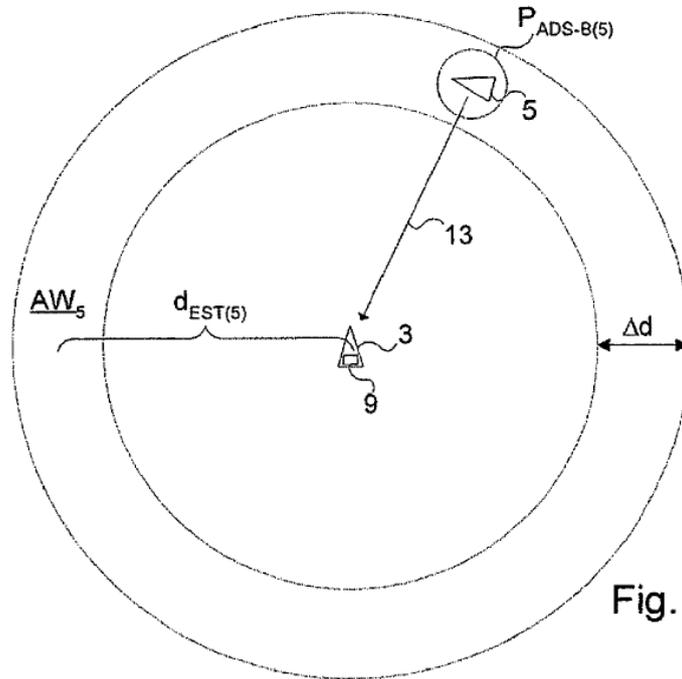


Fig. 1B



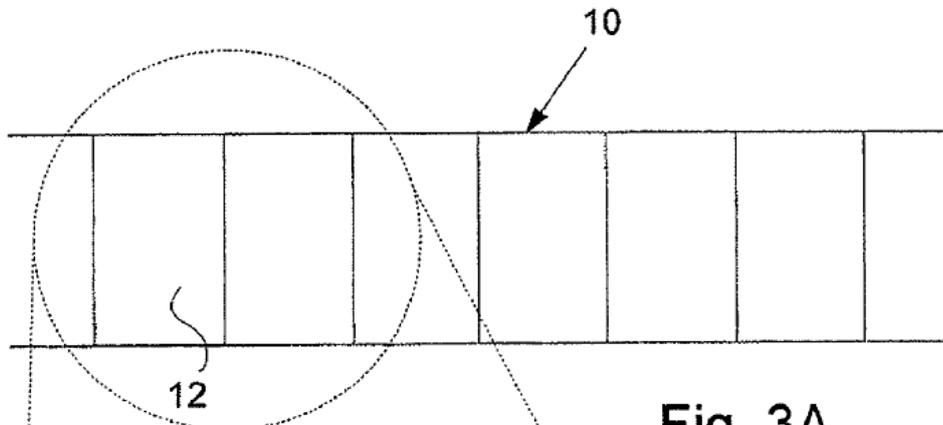


Fig. 3A

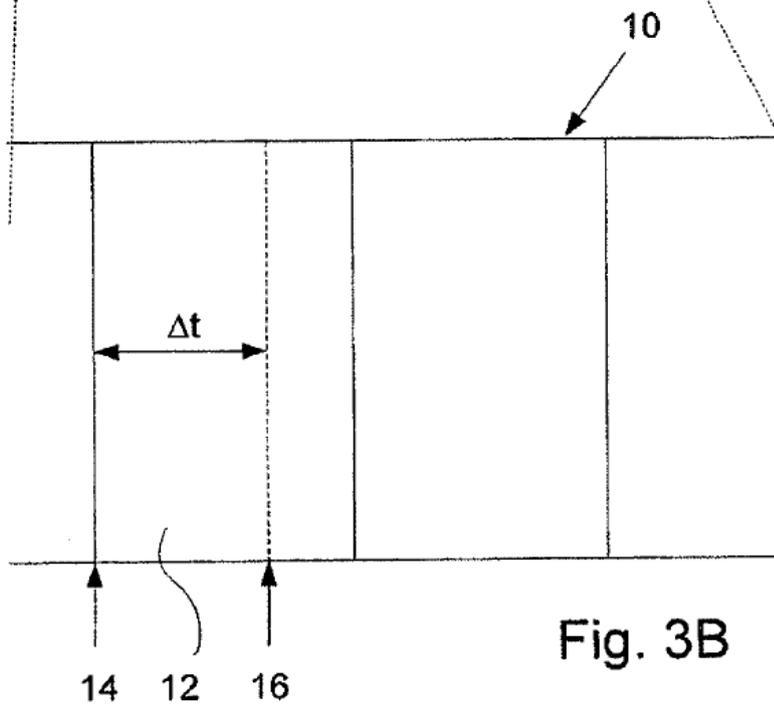


Fig. 3B

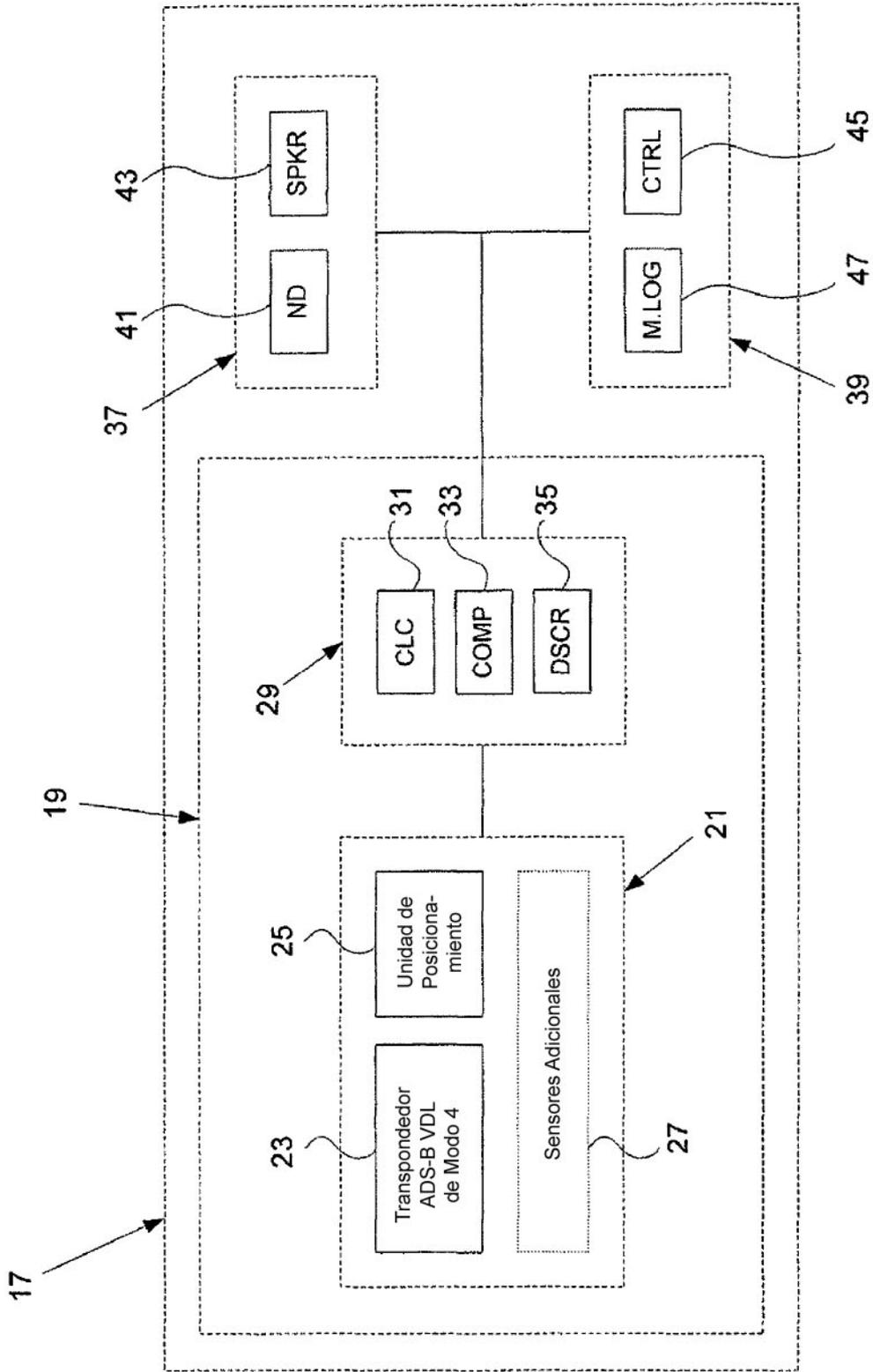


Fig. 4

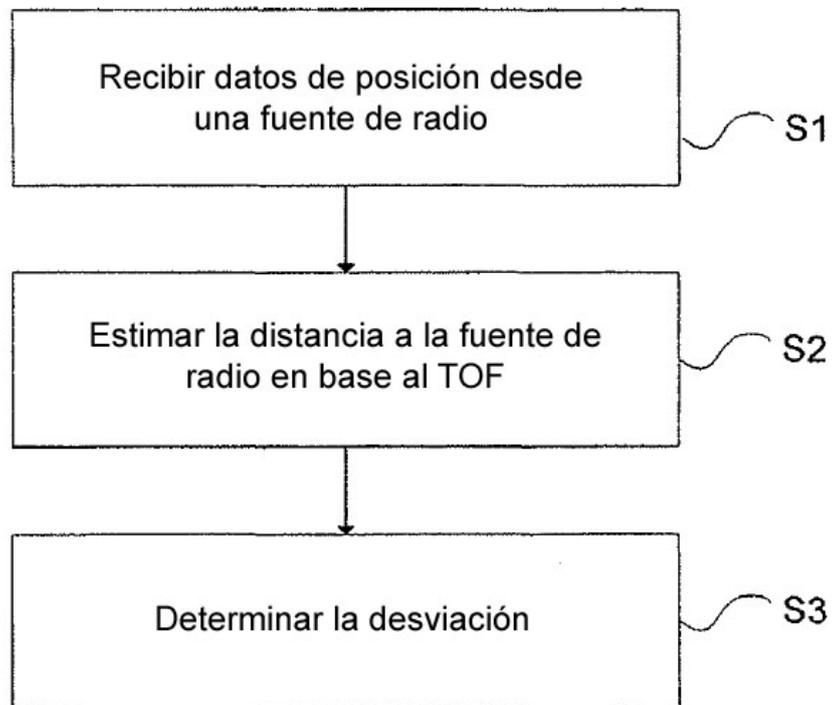


Fig. 5

TABLA 1

Cálculo de la precisión esperada en la estimación de la distancia a una fuente de radio desde la que se recibe un mensaje VDL de Modo 4

Fuente de errores	Desv. Estándar	Desv. estándar [metros]	Nota
Medición del tiempo de llegada	100 ns	30	1)
Diferencia del marco de tiempo	10 ns	3	2)
Precisión de transmisión	50 ns	15	3)
Limitaciones de h/w y s/w	5 m	5	4)
Suma	-	34	5)

1) La base de tiempo en VDL de Modo 4 se basa en UTC (tiempo GPS) que tiene una precisión de aproximadamente 10 ns. Se asume que el tiempo de llegada (TOF) se puede medir con una precisión de 100 ns, correspondiente a 30 metros.

2) Este error se refiere al hecho de que dos transpondedores tienen un marco de tiempo ligeramente diferente, y por lo tanto, no coincidirá totalmente con el tiempo para el inicio de un intervalo de tiempo. Este error se estima que es del mismo orden que la precisión del UTC, es decir, aproximadamente 10 ns.

3) Esta se la capacidad de un transpondedor para iniciar la transmisión de un mensaje en el tiempo estipulado (es decir, el inicio de un intervalo de tiempo). Se estima en 50 ns.

4) Errores debidos a limitaciones de hardware (h/w) y software (s/w) cuando se realizan los cálculos, que se estiman en 5 metros.

5) Asumiendo que cada fuente de errores contribuye de manera independiente, también se asume que cada error estará normalmente distribuido y dado finalmente que la estimación de la distancia se calcula de acuerdo con las fórmulas: $d_{EST} = c \cdot (t_{REC} - t_{INICIO})$, donde d_{EST} es la distancia estimada, c es la velocidad de la luz (velocidad de propagación de la señal), t_{REC} es el tiempo de recepción de la primera parte de la señal, y t_{INICIO} es el tiempo de inicio del intervalo de tiempo, la precisión estimada neta se puede sumar mediante la adición de las varianzas.

TABLA 2

Cálculo de la precisión esperada en la validación de la posición ADS-B comunicada mediante un mensaje VDL de Modo 4

Fuente de Errores	Dev. Estándar	Dev. Estándar [metros]	Nota
Estimación de la distancia	34 m	34	1)
Posición propia	15 m	15	2)
Posición del vehículo comunicada	15 m	15	3)
Suma	-	40	4)

- 1) La estimación de la distancia tiene una precisión de aproximadamente 34 metros, ver Tabla 1.
- 2) La posición propia (cuando se establece usando GPS) se asume que tiene una precisión de 15 metros (precisión GPS aproximada).
- 3) Posición del vehículo comunicada (posición ADS-B), es decir, la posición del vehículo de acuerdo con el mensaje VDL de Modo 4 recibido, se asume que tiene una precisión de 15 metros (precisión del GPS aproximada).
- 4) Asumiendo que cada fuente de errores contribuye de manera independiente, también se asume que cada error estará normalmente distribuido, y finalmente dado que el valor de desviación cuya magnitud se puede usar para la validación de la posición ADS-B se calcula de acuerdo con las fórmulas: $\text{valor desviación} = \sqrt{d_{\text{ADS-B}}^2 + d_{\text{EST}}^2}$, donde $d_{\text{ADS-B}}$ es la distancia entre la posición propia y la posición ADS-B comunicada y d_{EST} es la distancia estimada a la fuente de radio desde la que se recibió el mensaje VDL de Modo 4, entonces la precisión estimada neta se puede sumar mediante la adición de las varianzas.