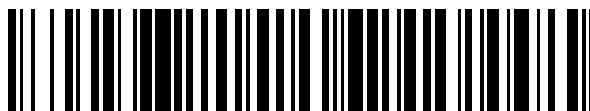


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 829 593**

51 Int. Cl.:

G01S 3/46 (2006.01)

G01S 5/00 (2006.01)

G01S 5/02 (2010.01)

G01S 5/08 (2006.01)

G08G 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.03.2014 E 14160782 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.08.2020 EP 2799895**

54 Título: **Dispositivo y sistema que utiliza mediciones de ángulo de llegada para la autenticación y navegación de ADS-B**

30 Prioridad:

02.05.2013 US 201313875749

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

01.06.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MURPHY, TIMOTHY ALLEN y
HARRIS, WILLIAM MATTHEW**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 829 593 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

Dispositivo y sistema que utiliza mediciones de ángulo de llegada para la autenticación y navegación de ADS-B

Campo técnico

5 El campo técnico de las realizaciones presentadas en el presente documento está dirigido hacia una matriz de antenas multiplexadas en el tiempo junto con tecnología de receptor con base en software para permitir mediciones de Ángulo de Llegada (AOA) de señales de oportunidad en la banda 960-1215MHz. El uso de estas mediciones AOA permite la autenticación de transmisiones de Difusión de Vigilancia Dependiente Automática (ADS-B) a partir de otras aeronaves, lo que dificulta la suplantación no detectada de las señales ADS-B recibidas. Además, el uso de mediciones AOA en señales a partir de una diversidad de sistemas que ya operan en la banda de 960-1215MHz
10 permite una capacidad de navegación independiente la cual proporciona una alternativa a la navegación satelital.

Antecedentes

15 El ADS-B es una tecnología de vigilancia para rastrear aeronaves como parte del Sistema de Transporte Aéreo de Próxima Generación y reemplazará algunos sistemas de radar terrestres como el método de vigilancia principal para controlar aeronaves. El ADS-B mejora la seguridad al hacer que una aeronave sea visible, en tiempo real, para el Control de Tráfico Aéreo (ATC) y para otras aeronaves ADS-B debidamente equipadas con datos de posición y velocidad transmitidos cada segundo. El ADS-B también proporciona la infraestructura de datos para el seguimiento, la planificación y el despacho de vuelos económicos.

20 El ADS-B utiliza tecnología convencional del Sistema Satelital de Navegación Global (GNSS) y un enlace de datos de comunicaciones de difusión relativamente simple (unidad ADS-B) como sus componentes fundamentales. El ADS-B consta de dos servicios diferentes, una señal "ADS-B de salida" transmitida y una señal "ADS-B de entrada" recibida. Hay dos tipos de enlaces de datos ADS-B certificados, pero el más comúnmente utilizado por las aeronaves comerciales de transporte aéreo opera a 1090 MHz, esencialmente un transpondedor de Modo S modificado. El otro estándar ADS-B actualmente en uso se conoce como Transceptor de Acceso Universal (UAT) y opera a 978 MHz. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha promulgado estándares para ambos
25 sistemas y un tercer sistema (el denominado Modo 4 de enlace de datos VHF) que opera en la banda de frecuencia VHF (118-136). La descripción de la invención en el presente documento considera solo los sistemas ADS-B que operan en los Estados Unidos (Es decir, señales espontáneas extendidas en Modo S a 1090 MHz y UAT a 978 MHz). Sin embargo, los principios generales pueden aplicarse a cualquier banda de frecuencia y podrían aplicarse a otros sistemas ADS-B tal como VDL Mode-4.

30 Una aeronave con capacidad ADS-B utiliza un receptor GNSS ordinario (GPS, GLONASS, Galileo, etc.) para derivar su posición precisa a partir de la constelación GNSS y luego combinar esa posición con la información de estado de la aeronave, tal como velocidad, rumbo, altitud y número de vuelo. Esta información se difunde entonces de manera simultánea a través de la señal "ADS-B de salida" a otras aeronaves con capacidad ADS-B y a transceptores de comunicaciones terrestres o satelitales ADS-B los cuales luego retransmiten la posición de la aeronave e
35 información adicional a los centros ATC en tiempo real.

40 Sin embargo, el ADS-B no incluye disposiciones para autenticar señales ADS-B recibidas a partir de fuentes transmisoras. La suplantación de señales ADS-B es relativamente simple y puede limitar la utilidad última del ADS-B. Los dispositivos de interferencia GNSS están ampliamente disponibles y la suplantación de ADS-B se puede realizar con equipos disponibles en el mercado. Los sistemas terrestres pueden utilizar múltiple lateración o verificación cruzada con sistemas de radar para detectar reportes ADS-B incorrectos. Sin embargo, ambas opciones tienen costes significativos. Es con respecto a estas y otras consideraciones que se presenta la divulgación en el presente documento.

45 El documento US 2011/0163908 divulga un método para validar datos posicionales recibidos en aplicaciones de vigilancia de vehículos. Una disposición de antena de radiogoniometría recibe una señal que transporta datos posicionales que indican una presunta posición de un vehículo, transmitida a partir de una fuente de radio. Se calcula una posición estimada de la fuente de radio.

El documento US 2007/0109190 divulga un aparato y un método para comparar una dirección calculada a partir de datos posicionales recibidos relacionados con un objetivo con una dirección del objetivo determinada usando la antena direccional.

50 El documento US 2012/0223811 divulga un lector que incluye un circuito receptor único y un circuito de conmutación acoplado al circuito receptor único. Una antena acoplada al circuito de conmutación está configurada para recibir señales primera y segunda y un procesador está configurado para determinar información del ángulo de llegada de acuerdo con la primera y segunda señales.

55 El documento US 2012/0299763 divulga un método para determinar automáticamente la posición de una aeronave usando señales de temporización en transmisiones a partir de señales terrestres con el fin de estimar distancias a partir de la aeronave a la estación terrestre.

Resumen

5 Debería apreciarse que este resumen se proporciona para presentar una selección de conceptos en una forma simplificada que se describe más adelante en la descripción detallada. El alcance de la protección está definido por las reivindicaciones. Este resumen no está destinado a limitar el alcance del tema reivindicado. La descripción detallada que sigue a este resumen describe implementaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones y otras implementaciones que puedan ser útiles para comprender la divulgación.

10 De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación, se proporciona un receptor para la verificación de la Difusión Automática de Vigilancia Dependiente (ADS-B), que comprende un módulo de procesamiento que recibe una señal ADS-B a partir de una aeronave objetivo que incluye datos posicionales indicados, y operativa para generar una dirección medida derivada a partir de la detección de un ángulo de llegada de la señal ADS-B, y generar una dirección esperada de la aeronave objetivo derivada a partir de los datos posicionales indicados de la señal ADS-B, y la información posicional y de rumbo de una ubicación y orientación de una antena de matriz de elementos múltiples configurada para acoplarse al receptor; un comparador para comparar la dirección esperada con la dirección medida y para verificar los datos posicionales indicados por ADS-B de la aeronave objetivo; y un dispositivo de salida para emitir una indicación de autenticidad con base en la verificación de los datos posicionales indicados por ADS-B de la aeronave objetivo.

20 El receptor es uno en donde el módulo de procesamiento está además operativo para calcular un vector a partir de la ubicación del receptor hasta la aeronave objetivo con base en los datos posicionales indicados, en donde el cálculo del vector se basa en recibir la información posicional a partir de un Sistema Satelital de Navegación Global (GNSS) que indica la ubicación de la antena de matriz de elementos múltiples.

El receptor es uno en donde el módulo de procesamiento está además operativo para traducir el vector a partir de un marco de referencia terrestre a un marco de referencia de la aeronave con base en la información de rumbo que incluye datos de cabeceo, balanceo y rumbo generados a partir de una Unidad de Referencia Inercial (IRU) que indica la orientación de la antena de matriz de elementos múltiples.

25 El receptor es uno en donde el módulo de procesamiento está además operativo para generar la dirección medida con base en la medición de una fase relativa de una señal portadora de la señal ADS-B de la aeronave objetivo.

El receptor es uno que comprende además un convertidor analógico a digital (A/D) que procesa las señales ADS-B recibidas a partir de la aeronave objetivo, en donde el procesamiento A/D se sincroniza con una antena de matriz de elementos múltiples de conmutación que alimenta las señales ADS-B al receptor.

30 De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación, se proporciona un sistema para la verificación de la difusión de vigilancia dependiente automática (ADS-B), que comprende un conjunto de matriz de antenas que tiene una antena de matriz de elementos múltiples para recibir señales ADS-B a partir de una aeronave objetivo, las señales ADS-B incluyen datos posicionales indicados; y un receptor configurado para recibir las señales ADS-B a partir del conjunto de matriz de antenas y para medir un ángulo de llegada de las señales ADS-B con respecto a la orientación del conjunto de matriz de antenas, en donde el receptor comprende una primera entrada para recibir información de seguimiento de vuelo ADS-B de la aeronave objetivo en el receptor, la información de seguimiento de vuelo ADS-B incluye información posicional indicada de la aeronave objetivo; una segunda entrada para recibir información posicional e información de rumbo que indica la ubicación y orientación del receptor; un módulo de procesamiento operativo para generar una dirección medida derivada a partir de los datos del ángulo de llegada, y generar una dirección esperada de la aeronave objetivo derivada a partir de la información posicional indicada de la aeronave objetivo y la información posicional y de rumbo que definen la ubicación y orientación del receptor; y un comparador para comparar la dirección esperada con la dirección medida y verificar la información de seguimiento de vuelo ADS-B de la aeronave objetivo; y un dispositivo de salida para emitir una indicación de autenticidad con base en la verificación de la información de seguimiento de vuelo ADS-B de la aeronave objetivo. El sistema es uno donde el conjunto de matriz de antenas comprende además un conmutador de estado sólido de conmutación que cicla entre cada elemento de antena de una antena de matriz de elementos múltiples.

El sistema es uno donde el receptor comprende además un convertidor analógico a digital (A/D) que recibe las señales ADS-B y controla el ciclo del conmutador de estado sólido de conmutación con una señal de sincronización.

50 El sistema es uno en donde el módulo de procesamiento está además operativo para decodificar los datos posicionales indicados del transmisor objetivo a partir de un flujo de datos digitales discretos para un solo elemento de antena de la antena de matriz de elementos múltiples a través de un proceso de demodulación de señal ADS-B; y determinar un AOA esperado del transmisor objetivo derivado a partir de los datos posicionales indicados decodificados del transmisor objetivo, y la información posicional que define una ubicación del receptor y la información de rumbo que define una orientación del conjunto de matriz de antenas.

55 El sistema es uno en donde el módulo de procesamiento está además operativo para comparar el AOA esperado con el AOA medido para verificar los datos posicionales indicados del transmisor objetivo en la señal ADS-B recibida; y proporcionar una indicación de autenticidad con base en la verificación de los datos posicionales indicados del transmisor objetivo.

Las características, funciones, y ventajas que se han discutido pueden lograrse de manera independiente en diversas realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en aún otras realizaciones, cuyos detalles adicionales se pueden ver con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

Breve descripción de los dibujos

- 5 Las realizaciones presentadas en el presente documento se entenderán más completamente a partir de la descripción detallada y los dibujos adjuntos, en donde:
- La Figura 1 ilustra un diagrama de componentes esquemático de un conjunto de matriz de antenas y un receptor de acuerdo con al menos una realización divulgada en el presente documento,
- 10 La Figura 2 ilustra un diagrama esquemático de verificación de una señal ADS-B auténtica de acuerdo con al menos una realización divulgada en el presente documento;
- La Figura 3 ilustra un diagrama esquemático de detección de una señal ADS-B no auténtica de acuerdo con al menos una realización divulgada en el presente documento;
- La Figura 4 ilustra un diagrama esquemático de un sistema receptor usado para determinar un punto de posición independiente de acuerdo con al menos una realización divulgada en el presente documento;
- 15 La Figura 5 ilustra un diagrama de flujo lógico para un método de acuerdo con al menos una realización divulgada en el presente documento;
- La Figura 6 ilustra una continuación del diagrama de flujo lógico de la Figura 5 para un método de acuerdo con al menos una realización divulgada en el presente documento;
- 20 La Figura 7 ilustra una continuación adicional del diagrama de flujo lógico de la Figura 5 para un método de acuerdo con al menos una realización divulgada en el presente documento; y
- La Figura 8 ilustra un diagrama esquemático de un sistema receptor en red terrestre de procesadores AOA de acuerdo con al menos una realización divulgada en el presente documento.

Descripción detallada

- 25 La siguiente descripción detallada está dirigida a un conjunto de antenas multiplexadas en el tiempo utilizadas en conjunto con un receptor con base en software para permitir mediciones de Ángulo de Llegada (AOA) de señales de oportunidad en la banda de 960-1215MHz. El uso de estas mediciones AOA permite tanto la autenticación de transmisiones ADS-B de otras aeronaves para detectar la suplantación de señales ADS-B, y permite la navegación independiente utilizando señales de oportunidad recibidas a partir de una diversidad de sistemas que ya operan en la banda de 960-1215MHz para proporcionar una alternativa a la navegación satelital.
- 30 Las realizaciones del dispositivo y método presentadas en el presente documento abordan dos problemas con ADS-B, el primero es que actualmente las difusiones de ADS-B no tienen capacidad de seguridad o autenticación incorporada. Esto deja al sistema vulnerable a ataques de suplantación de identidad en donde un mal actor puede difundir informes falsos sobre la posición de la aeronave que pueden provocar falsas alertas en sistemas aerotransportados o terrestres. Los sistemas terrestres pueden incluir alguna capacidad de detección adicional, (por ejemplo, radar o multilateración), para abordar este tipo de ataque. Sin embargo, dichos sistemas son costosos de implementar y mantener. Además, no existe una alternativa similar aerotransportada. Las realizaciones presentadas en el presente documento proporcionan un medio para autenticar una señal ADS-B que se difunde a partir de un transmisor con la dirección relativa correcta a la posición que se incluye en el informe de posición.
- 35 El segundo problema es que los sistemas de gestión del tráfico aéreo se están volviendo cada vez más dependientes de las tecnologías como los Sistemas de Navegación Satelital Global (GNSS) o de Navegación Satelital (SatNav) como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). Sin embargo, estas tecnologías pueden estar bloqueadas por interferencias de RF y posiblemente pueden suplantarse para dar resultados erróneos. Las realizaciones presentadas en el presente documento permiten una capacidad de navegación completamente independiente utilizando señales existentes de difusión de oportunidad en la banda de 960-1215 MHz. Un receptor aerotransportado que utiliza esta técnica puede determinar la dirección relativa a una diversidad de transmisores terrestres, que incluyen las estaciones de Equipos de Medición de Distancia (DME), estaciones de redifusión ADS-B, radar de vigilancia secundario, estaciones terrestres del Transceptor de Acceso Universal (UAT), estaciones de redifusión ADS-B, etc. Al combinar diversas mediciones de dirección con información sobre las ubicaciones conocidas de los transmisores (llevada en una base de datos a bordo) se puede determinar la posición del usuario.
- 40 Dichas mediciones de ángulos también pueden combinarse con mediciones GNSS, mediciones inerciales u otras mediciones de navegación en un filtro Kalman diseñado de manera adecuada u otro tipo de algoritmo de estimación con el fin de mejorar las capacidades de detección y mitigación de fallas. De esta manera, se puede detectar la suplantación de GNSS y limitar el impacto potencial de los ataques de suplantación no detectados.
- 45
- 50

La Figura 1 ilustra una primera realización presentada en el presente documento que incluye un sistema 10 receptor que tiene una combinación de un conjunto 100 de matriz de antenas y un subsistema 120 receptor. El conjunto 100 de matriz de antenas consta de un número de elementos 102 de antena, al menos dos o más, (aquí, siendo cuatro 104, 106, 108 y 110), estando dispuestos en un patrón geométrico, (no se muestra), por ejemplo, un patrón cuadrado donde los cuatro (4) elementos 104-110 de antena están dispuestos equidistantes de los elementos de antena adyacentes. Los elementos 104-110 de antena están conectados a un dispositivo 112 conmutador de estado sólido de conmutación operable para conmutar la entrada de un elemento 104-110 de antena a la vez a la entrada de un Amplificador de Ruido Bajo (LNA) (114) durante un período de tiempo para producir una señal de salida del conjunto 100 de matriz de antenas. La matriz 112 de conmutadores de estado sólido de conmutación está construida de tal manera que siempre que cualquier elemento de antena dado esté conectado a la salida, todos los demás elementos de antena están conectados a 50 Ohm u otras cargas de resistencia elevada.

El dispositivo 112 conmutador de estado sólido de conmutación y LNA 114 se alimentan a través de un voltaje que llega al conjunto 100 de matriz de antenas en un conductor 116 central de un único cable 118 coaxial que conecta el receptor 120 al conjunto 100 de matriz de antenas. Una señal 119 de temporización (que se ilustra por la línea discontinua que pasa a través del único cable 118 coaxial), producida por un reloj 151 de muestreo también puede alimentarse a la antena a través del cable 116 coaxial a partir del subsistema 120 receptor al conjunto 100 de matriz de antenas. La señal 119 de temporización determina la velocidad a la cual la matriz de conmutadores de conmutación conmuta a través de cada uno de los elementos 102 de antena. La señal 119 de temporización también se proporciona al convertidor 124 A/D para controlar los tiempos de muestreo del convertidor. Los elementos 102 de antena y otros elementos de conjunto de matriz de antenas pueden diseñarse para operar con señales en la banda de 960 a 1215 MHz. Sin embargo, el sistema de multiplexación de RF descrito aquí podría aplicarse en general a cualquier banda de frecuencia con un diseño apropiado de elementos de antena. El resultado de la configuración del conjunto 100 de matriz de antenas es que las señales de RF a partir de cada uno de los elementos 104-110 de antena se multiplexan en un único cable 118 coaxial y se transmiten (después de la amplificación apropiada de acuerdo como sea necesario) al subsistema 120 receptor. La conmutación de los elementos 102 de antena se realiza a una tasa muy elevada (por ejemplo, 10 - 100 MHz), pero a una tasa por debajo de la frecuencia de Nyquist de la frecuencia de interés más baja dividida por el número de elementos, (aquí cuatro, 104-110), en la matriz. Las realizaciones descritas en el presente documento incorporan un sistema que usa multiplexación en el tiempo de RF en el único cable 118 coaxial que permite una instalación mucho más simple, es decir, un único cable coaxial entre el receptor y el conjunto matriz de antenas, a la vez que los Sistemas de Evitación de Colisión de Tráfico (TCAS) actuales usan cuatro elementos de antena que utilizan cuatro cables coaxiales separados para cada elemento independiente en la matriz de antenas.

El sistema 10 receptor toma las señales de RF multiplexadas en el tiempo a partir del conjunto 100 de matriz de antenas y reduce las señales en un convertidor 122 reductor a una frecuencia intermedia. Esta señal intermedia se aplica luego a un convertidor 124 A/D el cual muestrea la señal muy por encima del doble de la frecuencia de Nyquist de la señal intermedia. Alternativamente, si se usa una tasa de muestreo suficientemente elevada, la señal de RF multiplexada podría muestrearse directamente sin necesidad de reducción en el convertidor 122 reductor. De cualquier manera, el principio de funcionamiento como se describe a continuación sigue siendo el mismo. La tasa de muestreo y la tasa de conmutación del elemento de antena están dispuestas de tal modo que se obtenga al menos una muestra de RF dentro del período de tiempo en que se use un elemento (104-110) de antena. Después de la conversión 124 A/D, las señales digitales se pasan a un aparato 130 de procesamiento de señales que puede procesar las señales digitales en un dominio de software y/o hardware. Las señales de RF muestreadas se desmultiplexan luego en un desmultiplexor 132 digital en flujos de datos separados para cada uno de los elementos 104-110 de antena.

Uno de los flujos 133 de datos que contiene una señal de interés a partir de al menos un elemento (104-110) de antena se usa en una unidad 134 de demodulación y decodificación de mensajes para demodular la señal de interés para determinar la información de posición de una señal ADS-B de difusión. Este flujo 133 de datos se denomina en lo sucesivo la señal muestreada primaria. La unidad 10 de recepción aerotransportada recibe la posición GPS de la nave propia a partir de un receptor 140 GPS a bordo y con las dos posiciones, calcula en una unidad 138 de cálculo vectorial un vector entre la posición de la nave propia y la posición indicada en la señal ADS-B recibida. El receptor 10 aerotransportado también recibe la información de cabeceo, balanceo y rumbo de la aeronave a partir del sistema 144 de Unidad de Referencia Inercial (IRU) a bordo y traduce el vector en una unidad 142 de traslación vectorial a partir de un marco de referencia terrestre a un marco de referencia de la aeronave. A continuación, se calcula una señal AOA "θe" esperada en una unidad 146 AOA calculada a partir de la posición ADS-B recibida.

Por lo tanto, la orientación del conjunto 100 de matriz de antena es directamente responsable de determinar la ubicación y orientación de la plataforma que lleva la unidad 10 de recepción aerotransportada. La unidad 120 de recepción puede tener cualquier orientación dentro del vehículo; sin embargo, debe conocerse la orientación en el espacio del conjunto 100 de matriz de antena para calcular el AOA esperado de la aeronave objetivo que transmite la señal ADS-B respectiva.

Las 'copias' muestreadas de la señal 133 primaria de los otros elementos de antena se procesan en paralelo con el cálculo de la señal AOA esperada y se utilizan para medir en una unidad 136 de medición AOA, un ángulo relativo de llegada (AOA) de la señal de interés. La señal 133 primaria puede usarse para detectar la existencia de una señal

pulsada, tal como un informe ADS-B o pulsos de respuesta del Equipo de Medición de Distancia (DME). Luego, cuando se verifica un período de presencia de señal, se mide la fase relativa de la portadora entre cada una de las señales del elemento de antena muestreadas usando un comparador de fase realizado en un algoritmo de procesamiento de señales digitales. La fase de cada señal se puede determinar utilizando un bucle Costas y un oscilador de referencia digital, o por diversos otros medios bien conocidos. La frecuencia exacta para el oscilador de referencia digital se puede determinar mediante el procesamiento de bloques de Transformada Rápida de Fourier (FFT) de la señal muestreada. La señal " θ_m " AOA medida se puede determinar a partir de la fase relativa de la señal en cada elemento de antena y con base en el conocimiento de la geometría de los elementos de antena. La geometría de los elementos de antena puede diseñarse con el fin de facilitar mejor las mediciones de AOA. Teniendo tanto el AOA medido como el AOA esperado, estos valores se comparan en una unidad 148 de comparación de AOA para generar una indicación 150 de validez objetivo con respecto a la validez de la información posicional ADS-B objetivo.

Por tanto, el AOA se puede determinar para cualquier señal que tenga una frecuencia portadora relativamente estable. En una realización presentada en el presente documento, las mediciones de AOA se pueden realizar para dos propósitos diferentes: 1) para proporcionar confirmación de la fuente de un informe ADS-B como se muestra en las Figuras 2-3; y 2) utilizar mediciones de AOA a partir de una diversidad de transmisores terrestres en la banda de 960 a 1215 MHz para crear una solución de posición independiente como se muestra en la Figura 4. Dada una potencia de procesamiento suficiente y una elección juiciosa de frecuencia intermedia y tasas de muestreo, ambas de estas funciones descritas en el presente documento pueden ser soportadas simultáneamente por el sistema que se ilustra por el receptor 10 de la Figura 1. Sin embargo, un sistema 10 receptor también puede diseñarse para implementar solo una de estas funciones o una función a la vez.

La Figura 2 ilustra una aeronave 200 que tiene un rumbo 202 y una dirección de rumbo respectiva " θ_h " a partir de una dirección 204 Norte. La aeronave recibe una señal ADS-B en su unidad receptora aerotransportada (similar al receptor 10 de la Figura 1) a partir de una aeronave 250 objetivo con información sobre la supuesta posición de la aeronave 250. La unidad 10 receptora aerotransportada demodula y decodifica la señal ADS-B para determinar la supuesta información de posición de la aeronave 250. La unidad 10 receptora aerotransportada recibe además la posición GPS de la nave propia y con estas dos posiciones calcula un vector entre la posición de la nave propia y la posición supuesta en la señal ADS-B recibida para la aeronave 250. El receptor 10 aerotransportado procede a recibir información de cabeceo, balanceo y rumbo de la nave propia de una Unidad de Referencia Inercial (IRU) a bordo y traduce el vector a partir de un marco de referencia terrestre a un marco de referencia de la aeronave para producir una dirección AOA " θ_e " esperada a partir de la posición ADS-B recibida.

El receptor 10 procesa simultáneamente la señal ADS-B recibida a partir de la aeronave 250 y determina una dirección AOA " θ_m " medida a partir de la fase relativa de la señal en cada elemento de antena como se describió anteriormente. Cualquier diferencia entre la dirección AOA θ_e esperada y la dirección AOA θ_m medida de la aeronave 250, se convierte en una estadística de detección que se puede utilizar en una prueba de hipótesis. La hipótesis es que el informe ADS-B en realidad proviene de la ubicación (aquí la aeronave 250 objetivo) informada en el mensaje ADS-B. Cualquier diferencia entre la dirección AOA θ_e esperada y la dirección AOA θ_m medida se compara con un umbral que se deriva con base en la precisión de las mediciones AOA de tal modo que se logre una probabilidad aceptable de una detección falsa. En la Figura 2, dado que la dirección AOA θ_e esperada hacia la aeronave 250 y la dirección AOA θ_m medida hacia la aeronave 250 están dentro de la tolerancia establecida por el umbral elegido, el receptor 10 puede dar una indicación de que la supuesta ubicación de la aeronave 250 es de hecho auténtica.

La Figura 3 ilustra una aeronave 300 que tiene un rumbo 302 y una dirección θ_h de rumbo respectiva a partir de una dirección 304 Norte. La aeronave recibe una señal ADS-B en su unidad receptora aerotransportada (similar al receptor 10 de la Figura 1) a partir de un transmisor 360 con información con respecto a una supuesta posición de una supuesta aeronave 350 objetivo. La unidad 10 de recepción aerotransportada demodula y decodifica la señal ADS-B para determinar la supuesta información posicional de la aeronave 350 objetivo. La unidad 10 receptora aerotransportada recibe además la posición GPS de la nave propia y con estas dos posiciones calcula un vector entre la posición de la nave propia y la posición supuesta en la señal ADS-B recibida para la aeronave 350 objetivo. El receptor 10 aerotransportado procede a recibir información de cabeceo, balanceo y rumbo de la nave propia a partir de una Unidad de Referencia Inercial (IRU) a bordo y traduce el vector a partir de un marco de referencia terrestre a un marco de referencia de la aeronave para producir una señal AOA " θ_e " esperada a partir de la posición ADS-B recibida.

El receptor 10 procesa simultáneamente la señal ADS-B recibida a partir del transmisor 350 y determina una señal AOA " θ_m " medida a partir de la fase relativa de la señal en cada elemento de antena como se describe anteriormente. En el escenario de la Figura 3, se utiliza una diferencia entre la dirección AOA θ_e esperada y la dirección AOA θ_m medida de la aeronave 350 en la prueba de hipótesis, descrita anteriormente, donde el informe ADS-B realmente proviene de la ubicación, (aquí la aeronave 350 objetivo), informada en el mensaje ADS-B. La diferencia $\Delta\theta_m-e$ entre la dirección AOA θ_e esperada y la dirección AOA θ_m medida se compara con un umbral, y en este escenario, es sustancialmente diferente para activar una indicación o una alarma para ser emitida por el receptor 10 dando así una indicación que la supuesta ubicación de la aeronave 350 no es auténtica, es decir, está siendo "suplantada" por una señal transmitida en la ubicación del transmisor 360. La indicación de advertencia

emitida por el receptor 10 puede generar además una indicación que puede identificar la aeronave 350 objetivo por tener una señal ADS-B no válida.

La segunda aplicación que usa los valores AOA medidos incluye un sistema de determinación de posición alternativo, como se ilustra en la Figura 4. Utilizando las técnicas descritas anteriormente, las mediciones de AOA con base en la fase relativa de la portadora entre cada una de las señales del elemento de antena muestreadas pueden realizarse a una diversidad de transmisores terrestres que están difundiendo señales para una diversidad de otros propósitos. Estas 'señales de oportunidad' son numerosas y podrían existir en prácticamente cualquier banda. En una realización divulgada en el presente documento, las mediciones se realizan a partir de señales difundidas en la banda de 960 a 1215 MHz. Se elige esta banda porque estas 'señales de oportunidad' son difundidas por fuentes proporcionadas por proveedores de servicios de aviación en bandas asignadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) para aplicaciones de seguridad de la vida. Por tanto, debería ser posible la aceptación del uso de estas señales por parte de las autoridades aeronáuticas. Las señales que se utilizarán pueden incluir, pero no están limitadas, las siguientes.

1- Pulsos de respuesta del Equipo de Medición de Distancia (DME). Estos son pares de pulsos difundidos por una estación terrestre DME en respuesta a las interrogaciones de los usuarios aerotransportados. Los pulsos de respuesta pueden estar destinados a la aeronave en donde reside el sistema de navegación AOA, o pueden ser respuestas a interrogaciones de otras aeronaves. Solo se utiliza la información AOA y se ignora la temporización asociada con la determinación de distancia DME. Los pulsos de respuesta DME también son generados por una estación terrestre sin ningún pulso de interrogación asociado con el fin de mantener el ciclo de trabajo del transmisor en un rango aceptable.

2- Mensajes de redifusión ADS-B de 1090 MHz, los cuales son informes ADS-B difundidos a partir de tierra que indican las posiciones de las aeronaves que no utilizan ADS-B de 1090 MHz.

3- interrogaciones del Radar de Vigilancia Secundario (SSR) de 1030 MHz a partir de radares SSR en ubicaciones conocidas.

4- Futuras transmisiones de comunicaciones del Sistema de Comunicaciones Aeronáuticas Digitales de Banda L (LDACS). Existe una propuesta para un nuevo sistema de comunicación llamado LDACS el cual se pretende que exista en la banda de 960-1215 MHz. Se propone además que LDACS pueda proporcionar una función de determinación de distancia la cual también podría acomodarse fácilmente en el sistema receptor previsto. Además de la determinación de distancia LDACS, esta medición AOA podría aplicarse para una mayor autenticación y/o detección y mitigación de fallas.

5- Futuras 'señales de pseudolito' con base en bandas DME. Una de las propuestas para una futura señal de determinación de posición no GNSS, es implementar una nueva fuente de determinación de distancia terrestre en la banda DME. Las señales de medición AOA también podrían aprovechar esas señales si alguna vez existieran.

6- Transmisiones de estación terrestre del Transceptor de Acceso Universal (UAT). Uno de los estándares para ADS-B utilizados en los Estados Unidos incluye transmisiones terrestres a 978 MHz. La tecnología UAT permite que se transmita información adicional a las aeronaves a partir de las estaciones terrestres a través del FIS-B (Sistema-Difusión de Información de Vuelo). Esta información incluye información meteorológica y de Restricción Temporal de Vuelo (TFR).

La Figura 4 ilustra el sistema de navegación con base en la determinación de AOA donde una aeronave 400 con equipo receptor aerotransportado, similar al receptor 10 de la Figura 1, incluye una base de datos de transmisores conocidos y sus ubicaciones. El receptor aerotransportado seleccionará frecuencias para examinar con base en la posición estimada actual y los transmisores que se sabe que existen en el área. Si se desconoce la posición, el receptor puede comenzar por buscar 1030 y 1090 MHz en busca de transmisiones a partir de ubicaciones fijas. Una vez que las señales se encuentran allí, las frecuencias DME se pueden buscar hasta que se encuentren los canales de respuesta activos. Una vez que se conocen suficientes ángulos para los transmisores, se encuentran las frecuencias y se puede aplicar un algoritmo para determinar la posición mirando a través de todas las combinaciones posibles de estaciones terrestres con las mismas frecuencias y luego encontrar una combinación para la cual las mediciones AOA resulten en una posición auto consistente. Cuantas más estaciones terrestres se puedan medir, más rápido se producirá una solución de posición sobre determinada.

La Figura 4 ilustra una aeronave 400 que tiene un rumbo 402° y una dirección θ_h de rumbo respectiva a partir de una dirección 404° Norte. El receptor en la aeronave 400, (como el receptor 10 en la Figura 1), que mide los valores AOA puede recibir una señal a partir de un primer transpondedor DME D_1 410 que envía pulsos de respuesta a todos los usuarios y mide un AOA como θ_{D_1} . El receptor en la aeronave 400 puede recibir una señal a partir de una fuente A 420 de retransmisión ADS-B terrestre y medir un AOA para θ_A . De manera similar, el receptor de la aeronave 400 puede recibir una señal a partir de un transpondedor DME P 430 terrestre que está asociado con un localizador y medir un AOA para θ_P . Del mismo modo, el receptor en la aeronave 400 puede recibir una señal a partir de un segundo transpondedor DME D_2 440 terrestre que envía pulsos de respuesta a todos los usuarios y medir un AOA

como θD_2 . Y de manera similar, el receptor en la aeronave 400 puede recibir una señal a partir del radar R 450 que tiene una posición conocida y medir un AOA para θR .

Las realizaciones descritas en el presente documento son diferentes de otros sistemas propuestos de Posición y Navegación Alternativas y Temporización (APNT) en que no proporcionan una transferencia de tiempo precisa al receptor aerotransportado, pero tampoco requieren una sincronización de tiempo precisa de los sistemas de navegación terrestres o aerotransportados activos para operar. Las realizaciones descritas en el presente documento pueden producir una estimación de la posición con base únicamente en las mediciones de dirección y sin mediciones del alcance. Las realizaciones descritas en el presente documento no requieren ninguna nueva infraestructura terrestre, sino únicamente equipos aerotransportados. Las realizaciones descritas en el presente documento también pueden usarse en receptores terrestres para proporcionar capacidad de determinación de posición. Las realizaciones descritas en el presente documento permiten sistemas terrestres más simples y económicos que pueden proporcionar una capacidad de posicionamiento independiente.

Las realizaciones descritas en el presente documento abordan las soluciones anteriores en un paquete receptor relativamente simple y fácil de instalar, y resuelven la falta del problema de autenticación ADS-B para el cual no se ha propuesto ninguna otra solución adecuada para equipos aerotransportados. Al combinar diversas mediciones de dirección con información sobre las ubicaciones conocidas de los transmisores (que se encuentran en una base de datos integrada), se puede determinar la posición del usuario. Dichas mediciones de ángulos pueden combinarse con mediciones GNSS, mediciones inerciales u otras mediciones de navegación en un filtro Kalman diseñado de manera adecuada u otro tipo de algoritmo de estimación con el fin de mejorar la detección de fallas y las capacidades de mitigación. De esta manera, se puede detectar la suplantación de GNSS y limitar el impacto potencial de los ataques de suplantación no detectados.

La Figura 5 ilustra un diagrama de flujo lógico para un método de medición de un Ángulo de Llegada (AOA), que incluye un ciclado 500 de un conmutador 112 de estado sólido de conmutación entre cada elemento de antena de una antena 102 de matriz de elementos múltiples con base en una señal de sincronización recibida a partir de un convertidor 124 analógico a digital (A/D) de un sistema 10 receptor. Se recibe al menos una señal 502 en la antena 102 de matriz de elementos múltiples y la al menos una señal procede a convertirse 504 en un convertidor 124 A/D en una pluralidad de muestras digitales específicas del elemento de antena para cada señal discreta. La pluralidad de muestras digitales específicas de elementos de antena proceden a desmultiplexarse 506 en flujos de datos digitales discretos para cada elemento de antena de la antena de matriz de elementos múltiples y, a continuación, se determina 508 un AOA medido de la al menos una señal con base en la medición una fase relativa de una señal portadora identificada en cada flujo de datos digitales discretos de los respectivos elementos de antena de la antena de matriz de elementos múltiples de conmutación.

El receptor en 510 puede realizar una determinación con respecto a qué tipo de aplicación funcional asume para procesar adicionalmente las señales recibidas. Dado que se transmiten diferentes tipos de señales en diferentes frecuencias, el receptor 10 conoce el tipo de señal que procesa cuando sintoniza esa frecuencia particular. Además, el receptor aprovecha el conocimiento sobre la estructura general de la señal cuando mide la fase para determinar el AOA medido como se describe anteriormente. Cuando el receptor asume la función de proporcionar autenticación ADS-B 512, la señal ADS-B recibida en el receptor se procesa adicionalmente con la información de posición y orientación de la matriz de antenas para verificar la autenticidad de esa información de posición en comparación con un cálculo AOA medido realizado anteriormente. La Figura 6 ilustra una continuación del diagrama de flujo lógico de la Figura 5 para un método que además decodifica 600 los datos posicionales indicados del transmisor objetivo a partir de un flujo de datos digitales discretos para un solo elemento de antena de la antena de matriz de elementos múltiples mediante un proceso de demodulación de la señal ADS-B. El AOA esperado del transmisor objetivo procede a determinarse 602 derivado a partir de los datos posicionales indicados decodificados del transmisor objetivo, y la información posicional que define una ubicación del sistema receptor y la información de rumbo que define una orientación del subsistema de antena del sistema receptor. El AOA esperado procede a compararse 604 con el AOA medido para verificar los datos posicionales indicados del transmisor objetivo en la señal ADS-B recibida. Finalmente, se proporciona 606 una indicación de autenticidad con base en la verificación de los datos posicionales indicados del transmisor objetivo.

Cuando el receptor asume la función de proporcionar navegación y determinación de posición en 510 de la Figura 5, puede recibirse 514 una pluralidad de señales a partir de emisores de oportunidad en la unidad 10 receptora para su procesamiento adicional que se ilustra en la Figura 7 como una continuación del diagrama de flujo lógico de la Figura 5. El receptor 10 es capaz de recibir diversos tipos de señales simultáneamente en la banda de 960-1215MHz y puede sintonizar una frecuencia específica para analizar un tipo particular de señal para usar a la vez que opera en la función de navegación y determinación de la posición. En este caso, el método incluye recibir una pluralidad de señales a partir de al menos dos emisores terrestres. Se recupera 700 una identidad para cada emisor respectivo a partir de una base de datos con base en la frecuencia portadora y un tipo de señal del emisor. Luego, se procede a recuperar 702 una ubicación para cada emisor a partir de la base de datos con base en la identidad de cada emisor respectivo. Los AOAs para cada señal de emisor respectiva proceden entonces a determinarse 704 con base en la medición de la fase relativa de la señal portadora identificada en cada flujo de datos digitales discretos de los elementos de antena respectivos de la antena de matriz de elementos múltiples de conmutación. Finalmente, se

calcula 706 un punto de posición independiente del subsistema de antena del sistema receptor con base en las mediciones AOA y cada ubicación de emisor respectiva.

La Figura 8 ilustra un diagrama esquemático de un sistema 800 terrestre de receptores AOA 810-830 en red y equipo 850 de red que procesan y autentican señales ADS-B para proporcionar información posicional en la aeronave 802 y pueden detectar y localizar la fuente de malos actores o suplantadores que transmiten señales ADS-B que tergiversan una posición real. Con base en los principios de las realizaciones presentadas anteriormente, los receptores AOA 810-830 terrestres en red pueden determinar independientemente todas las posiciones de la aeronave y, por lo tanto, pueden actuar como un sistema de vigilancia "de respaldo" sin tener ningún requisito de sincronización de tiempo preciso.

La implementación anterior puede usar la ubicación conocida de los receptores AOA 810-830 terrestres y sus direcciones 0_1-0_3 respectivas medidas a objetivos aerotransportados (por ejemplo, la aeronave 802 objetivo), para determinar independientemente la ubicación del objetivo. Los resultados medidos se comparan con la posición informada por el objetivo a través de la información de la señal ADS-B. Cualquier diferencia en los versos medidos con respecto a la posición informada se aplica como estadística de prueba en la prueba de hipótesis clásica para detectar la suplantación del objetivo aerotransportado. Por lo tanto, la ubicación del suplantador puede determinarse sin la cooperación del suplantador, y la ubicación de todo el tráfico ADS-B puede determinarse de manera independiente, lo que genera una capacidad de respaldo de vigilancia AOA cuando la información del GPS se niega o no está disponible.

La siguiente divulgación se relaciona con diversos ejemplos los cuales son útiles para comprender la invención pero los cuales no están cubiertos por las reivindicaciones adjuntas. Como se describe en la descripción detallada anterior, se apreciará que en un ejemplo, un receptor de la aeronave para la verificación ADS-B de una aeronave objetivo incluye una primera entrada para recibir información de seguimiento de vuelo ADS-B a partir de la aeronave objetivo en el receptor. La información de seguimiento de vuelo ADS-B incluye información posicional indicada de la aeronave objetivo. El receptor de la aeronave incluye además una segunda entrada para recibir información posicional e información de rumbo que indica la ubicación y orientación de una antena de matriz de elementos múltiples configurada para acoplarse al receptor. El receptor de la aeronave incluye además un módulo de procesamiento que genera una dirección medida derivada a partir de los datos del ángulo de llegada, y una dirección esperada de la aeronave objetivo. La dirección esperada de la aeronave objetivo se deriva de la información posicional indicada de la aeronave objetivo y definiendo la información posicional y la información de dirección, la ubicación y orientación del receptor. El módulo de procesamiento incluye además un comparador para comparar la dirección esperada con la dirección medida y verifica la información de seguimiento de vuelo ADS-B de la aeronave objetivo. El receptor de la aeronave incluye además un dispositivo de salida para emitir una indicación de autenticidad con base en la verificación de la información de seguimiento de vuelo ADS-B de la aeronave objetivo.

En otro ejemplo divulgado en el presente documento, un sistema para verificación ADS-B incluye un conjunto de matriz de antenas que tiene una matriz de antena de elementos múltiples para recibir señales ADS-B a partir de una aeronave objetivo, donde las señales ADS-B incluyen datos posicionales indicados. El sistema incluye además un receptor configurado para recibir las señales ADS-B a partir del conjunto de matriz de antenas y para medir un ángulo de llegada de las señales ADS-B en relación con la orientación del conjunto de matriz de antenas. El receptor incluye además una primera entrada para recibir información de seguimiento de vuelo ADS-B de la aeronave objetivo en el receptor, donde la información de seguimiento de vuelo ADS-B incluye información posicional indicada de la aeronave objetivo. El receptor incluye además una segunda entrada para recibir información posicional e información de rumbo que indica la ubicación y orientación del receptor. El receptor incluye además un módulo de procesamiento que genera una dirección medida derivada a partir de los datos del ángulo de llegada y una dirección esperada de la aeronave objetivo derivada a partir de la información posicional indicada de la aeronave objetivo y la información posicional y la información de rumbo que definen una ubicación y orientación de una antena de matriz de elementos múltiples configurada para ser conectada al receptor. El receptor incluye además un comparador para comparar la dirección esperada con la dirección medida y verificar la información de seguimiento de vuelo ADS-B de la aeronave objetivo. A continuación, un dispositivo de salida emite una indicación de autenticidad con base en la verificación de la información de seguimiento de vuelo ADS-B de la aeronave objetivo.

En otro ejemplo divulgado en el presente documento, un método para medir un Ángulo de Llegada (AOA) incluye un ciclado de un conmutador de estado sólido de conmutación entre cada elemento de antena de una antena de matriz de elementos múltiples con base en una señal de sincronización recibida a partir de un convertidor analógico a digital (A/D) de un receptor. A continuación, el método procede a recibir al menos una señal en la antena de matriz de elementos múltiples y convierte la al menos una señal en el convertidor A/D en una pluralidad de muestras digitales específicas del elemento de antena para cada señal discreta. A continuación, el método procede a desmultiplexar la pluralidad de muestras digitales específicas del elemento de antena en flujos de datos digitales discretos para cada elemento de antena de la antena de matriz de elementos múltiples, y procede a determinar un AOA medido de la al menos una señal con base en la medición de una fase relativa de una señal portadora identificada en cada flujo de datos digitales discretos de los respectivos elementos de antena de la antena de matriz de elementos múltiples de conmutación.

De acuerdo con otro ejemplo, se proporciona un receptor de la aeronave para la verificación de Difusión de Vigilancia Dependiente Automática (ADS-B) de una aeronave objetivo, que comprende: una primera entrada para recibir información de seguimiento de vuelo ADS-B a partir de la aeronave objetivo en el receptor, la información de seguimiento de vuelo ADS-B incluye información posicional indicada de la aeronave objetivo; una segunda entrada para recibir información posicional e información de rumbo que indica la ubicación y orientación de una antena de matriz de elementos múltiples configurada para acoplarse al receptor; un módulo de procesamiento operativo para generar una dirección medida derivada a partir de los datos del ángulo de llegada, y generar una dirección esperada de la aeronave objetivo derivada a partir de la información posicional indicada de la aeronave objetivo y la información posicional y de rumbo que definen la ubicación y orientación del receptor; un comparador para comparar la dirección esperada con la dirección medida y verificar la información de seguimiento de vuelo ADS-B de la aeronave objetivo; y un dispositivo de salida para emitir una indicación de autenticidad con base en la verificación de la información de seguimiento de vuelo ADS-B de la aeronave objetivo.

El receptor de la aeronave es uno en donde el módulo de procesamiento está además operativo para calcular un vector a partir de la ubicación del receptor hasta la aeronave objetivo con base en la información posicional indicada, y en donde el cálculo del vector se basa en recibir la información posicional a partir de un Sistema de Vigilancia de Navegación Global (GNSS) que indica la ubicación de la antena de matriz de elementos múltiples.

El receptor de la aeronave es uno en donde el módulo de procesamiento está además operativo para traducir el vector a partir de un marco de referencia terrestre a un marco de referencia de la aeronave con base en la información de rumbo que incluye datos de cabeceo, balanceo y rumbo generados a partir de una Unidad de Referencia Inercial (IRU) que indica la orientación de la antena de matriz de elementos múltiples.

El receptor de la aeronave es uno en donde el módulo de procesamiento está además operativo para generar la dirección medida con base en la medición de una fase relativa de una señal portadora identificada en la primera entrada.

El receptor de la aeronave es uno que comprende además un convertidor analógico a digital (A/D) para procesar señales recibidas en la primera entrada, en donde el procesamiento A/D transmite una señal de sincronización a una antena de matriz de elementos múltiples de conmutación que alimenta las señales a la primera entrada.

De acuerdo con otro ejemplo, se proporciona un método para medir un Ángulo de Llegada (AOA), que comprende un ciclado de un conmutador de estado sólido de conmutación entre cada elemento de antena de una antena de matriz de elementos múltiples con base en una señal de sincronización recibida a partir de un sistema receptor; recibir al menos una señal en la antena de matriz de elementos múltiples de tal modo que se reciba una señal de RF multiplexada en el tiempo en una salida del conmutador de estado sólido de conmutación; convertir la señal de RF multiplexada en el tiempo en un convertidor analógico a digital (A/D) con base en la señal de sincronización en una pluralidad de muestras digitales específicas del elemento de antena para cada señal discreta; desmultiplexar la pluralidad de muestras digitales específicas del elemento de antena en flujos de datos digitales discretos para cada elemento de antena de la antena de matriz de elementos múltiples; y determinar un AOA medido de la al menos una señal con base en la medición de una fase relativa de una señal portadora identificada en cada flujo de datos digitales discretos de los elementos de antena respectivos de la antena de matriz de elementos múltiples de conmutación.

El método es uno donde la señal comprende una señal ADS-B que incluye datos posicionales indicados a partir de un transmisor objetivo.

El método comprende además decodificar los datos posicionales indicados del transmisor objetivo a partir de un flujo de datos digitales discretos para un solo elemento de antena de la matriz de antenas de elementos múltiples mediante un proceso de demodulación de señal ADS-B; determinar un AOA esperado del transmisor objetivo derivado a partir de los datos posicionales indicados decodificados del transmisor objetivo, e información posicional que define una ubicación del sistema receptor e información de rumbo que define una orientación de un subsistema de antena del sistema receptor; comparar el AOA esperado con el AOA medido para verificar los datos posicionales indicados a partir del transmisor objetivo en la señal ADS-B recibida; y proporcionar una indicación de autenticidad con base en la verificación de los datos posicionales indicados a partir del transmisor objetivo.

El método es uno en donde la al menos una señal comprende una pluralidad de señales a partir de al menos dos emisores de señales de oportunidad.

El método es uno que comprende además recuperar una identidad para cada emisor respectivo a partir de una base de datos; determinar una ubicación para cada emisor con base en la identidad de cada emisor respectivo de la base de datos; determinar los AOAs para cada señal a partir de los respectivos emisores con base en la medición de la fase relativa de la señal portadora identificada en cada flujo de datos digitales discretos de los respectivos elementos de antena de la matriz de antenas de elementos múltiples de conmutación; y calcular un punto de posición independiente del subsistema de antena del sistema receptor con base en las ubicaciones de los AOAs y cada ubicación de emisor respectiva.

Las características, funciones y ventajas que se han discutido pueden lograrse independientemente en diversas realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en aún otras realizaciones, cuyos detalles adicionales se pueden ver con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

- 5 La materia objeto descrita anteriormente se proporciona a modo de ilustración únicamente y no debe interpretarse como limitante. Se pueden realizar diversas modificaciones y cambios en la materia objeto descrita en el presente documento sin seguir las realizaciones de ejemplo y aplicaciones que se ilustran y describen, y sin apartarse del alcance de la presente divulgación, la cual se expone en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un receptor para verificación de Difusión de Vigilancia Dependiente Automática (ADS-B), que comprende:
 un módulo de procesamiento configurado para recibir una señal ADS-B a partir de una aeronave (250) objetivo que incluye datos posicionales indicados, y operativo para:
 - 5 generar una dirección medida derivada de la detección de un ángulo de llegada de la señal ADS-B, y
 generar una dirección esperada de la aeronave (250) objetivo derivada a partir de los datos posicionales indicados de la señal ADS-B, y la información posicional y de rumbo de una ubicación y orientación de una antena (102) de matriz de elementos múltiples configuradas para acoplarse al receptor (10);
 - 10 un comparador para comparar la dirección esperada con la dirección medida y para verificar los datos posicionales indicados por ADS-B de la aeronave (250) objetivo; y
 un dispositivo de salida para emitir una indicación de autenticidad con base en la verificación de los datos posicionales indicados por ADS-B de la aeronave (250) objetivo.
2. Un receptor de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el receptor (10) es un receptor de la aeronave para la verificación de Difusión de Vigilancia Dependiente Automática (ADS-B) de una aeronave (250) objetivo, y que comprende además:
 - 15 una primera entrada para recibir la señal ADS-B como información de seguimiento de vuelo ADS-B a partir de la aeronave (250) objetivo en el receptor (10), la información de seguimiento de vuelo ADS-B incluye la información posicional indicada de la aeronave (250) objetivo; y
 - 20 una segunda entrada para recibir la información posicional y la información de rumbo que indica la ubicación y orientación de la antena (102) de matriz de elementos múltiples configurada para acoplarse al receptor (10).
3. El receptor (10) de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el módulo de procesamiento está además operativo para calcular un vector a partir de la ubicación del receptor hasta la aeronave (250) objetivo con base en la información posicional indicada, y
 - 25 en donde el cálculo del vector es con base en recibir la información posicional a partir de un Sistema de Vigilancia de Navegación Global (GNSS) que indica la ubicación de la antena (102) de matriz de elementos múltiples.
4. El receptor (10) de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el módulo de procesamiento está además operativo para traducir el vector a partir de un marco de referencia terrestre a un marco de referencia de la aeronave con base en la información de rumbo que incluye datos de cabeceo, balanceo y rumbo generados a partir de una Unidad de Referencia Inercial (IRU) que indica la orientación de la antena (102) de matriz de elementos múltiples.
5. El receptor (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el módulo de procesamiento está además operativo para generar la dirección medida con base en la medición de una fase relativa de una señal portadora de la señal ADS-B de la aeronave (250) objetivo.
6. El receptor (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además un convertidor (124) analógico a digital (A/D) para procesar señales recibidas en la primera entrada,
 - 35 en donde el procesamiento A/D transmite una señal de sincronización a una antena de matriz de elementos múltiples de conmutación que alimenta las señales ADS-B al receptor (10).
7. Un sistema para la verificación de difusión de vigilancia dependiente automática (ADS-B), comprendiendo:
 - 40 un conjunto (100) de matriz de antenas que tiene una matriz (102) de antenas de elementos múltiples para recibir señales ADS-B a partir de una aeronave (250) objetivo, incluyendo las señales ADS-B datos posicionales indicados; y
 el receptor (10) de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el receptor está configurado para recibir las señales ADS-B a partir del conjunto (100) de matriz de antenas y para medir un ángulo de llegada de las señales de ADS-B en relación con la orientación del conjunto (100) de matriz de antenas.
8. El sistema de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el conjunto (100) de matriz de antenas comprende además un conmutador (112) de estado sólido de conmutación configurado para ciclar entre cada elemento de antena de la antena (102) de matriz de elementos múltiples.
9. El sistema de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende además un convertidor (124) analógico a digital (A/D) que recibe las señales ADS-B y controla el ciclado del conmutador de estado sólido de conmutación con una señal de sincronización.

10. El sistema de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el módulo de procesamiento está además operativo para decodificar los datos posicionales indicados de un transmisor objetivo a partir de un flujo de datos digitales discretos para un solo elemento de antena de la antena (102) de matriz de elementos múltiples a través de un proceso de demodulación de la señal ADS-B; y

- 5 determinar el AOA esperado del transmisor objetivo derivado a partir de los datos posicionales indicados decodificados del transmisor objetivo, y la información posicional que define la ubicación del receptor y la información de rumbo que define la orientación de la antena de matriz.

FIG. 1

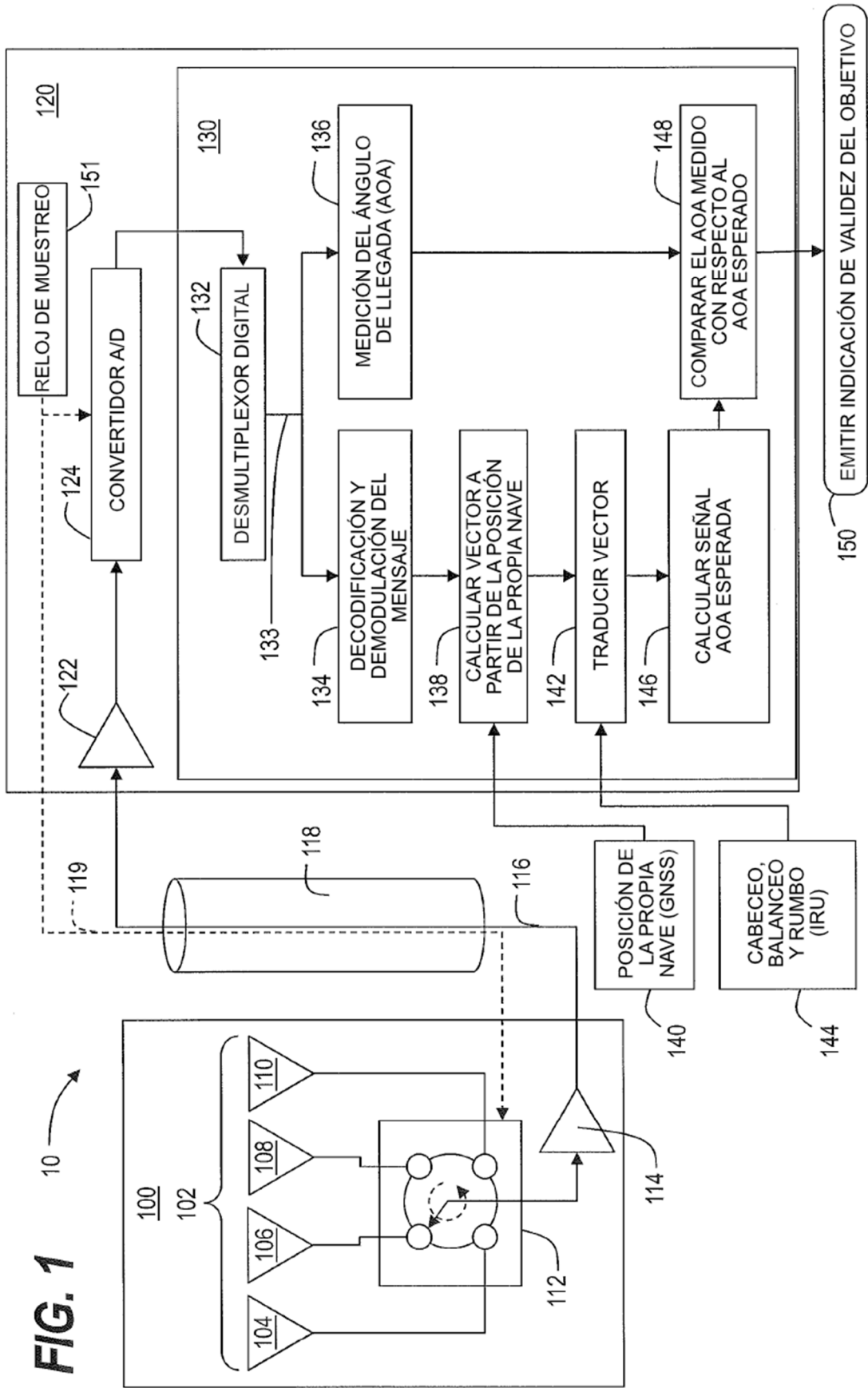


FIG. 2

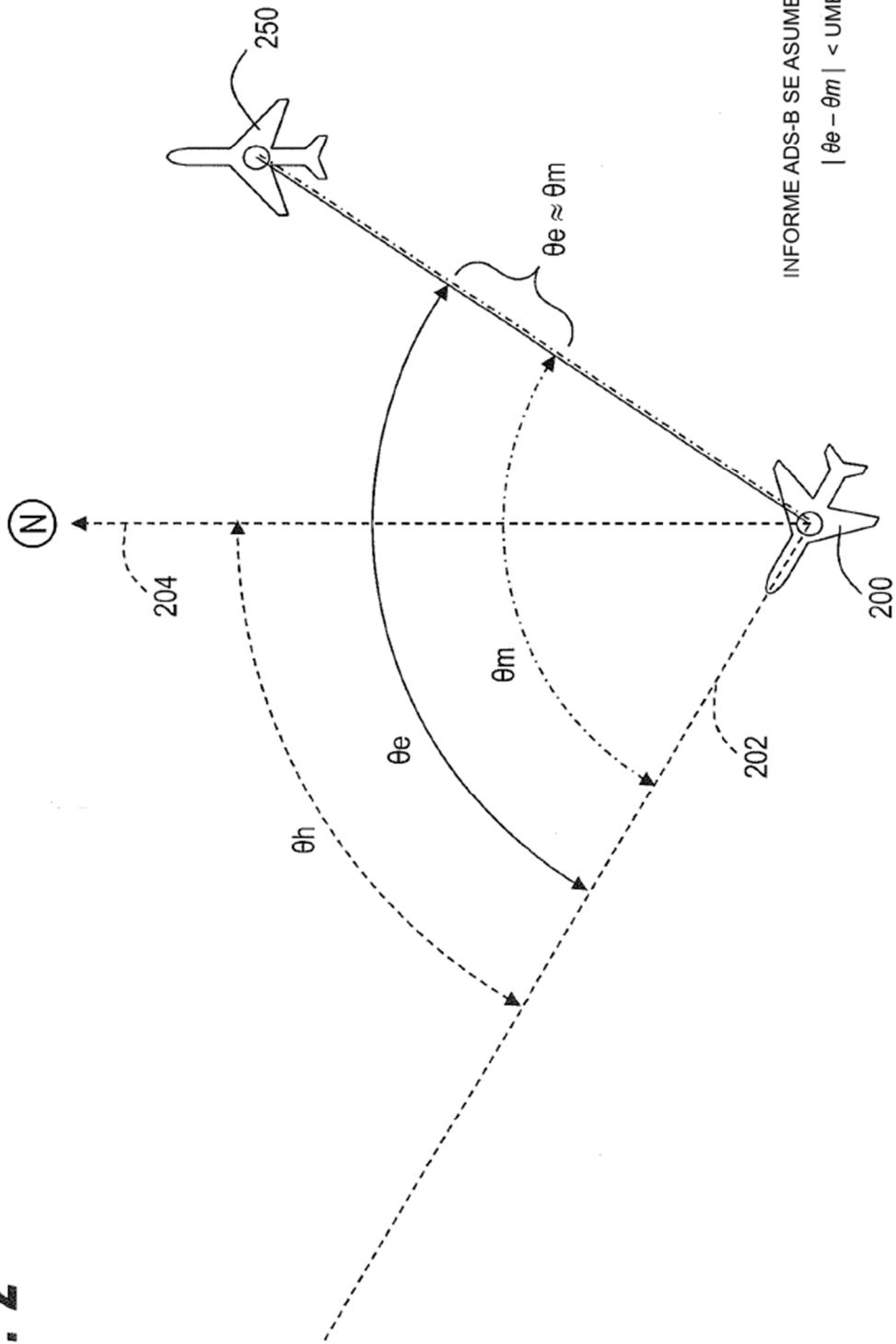
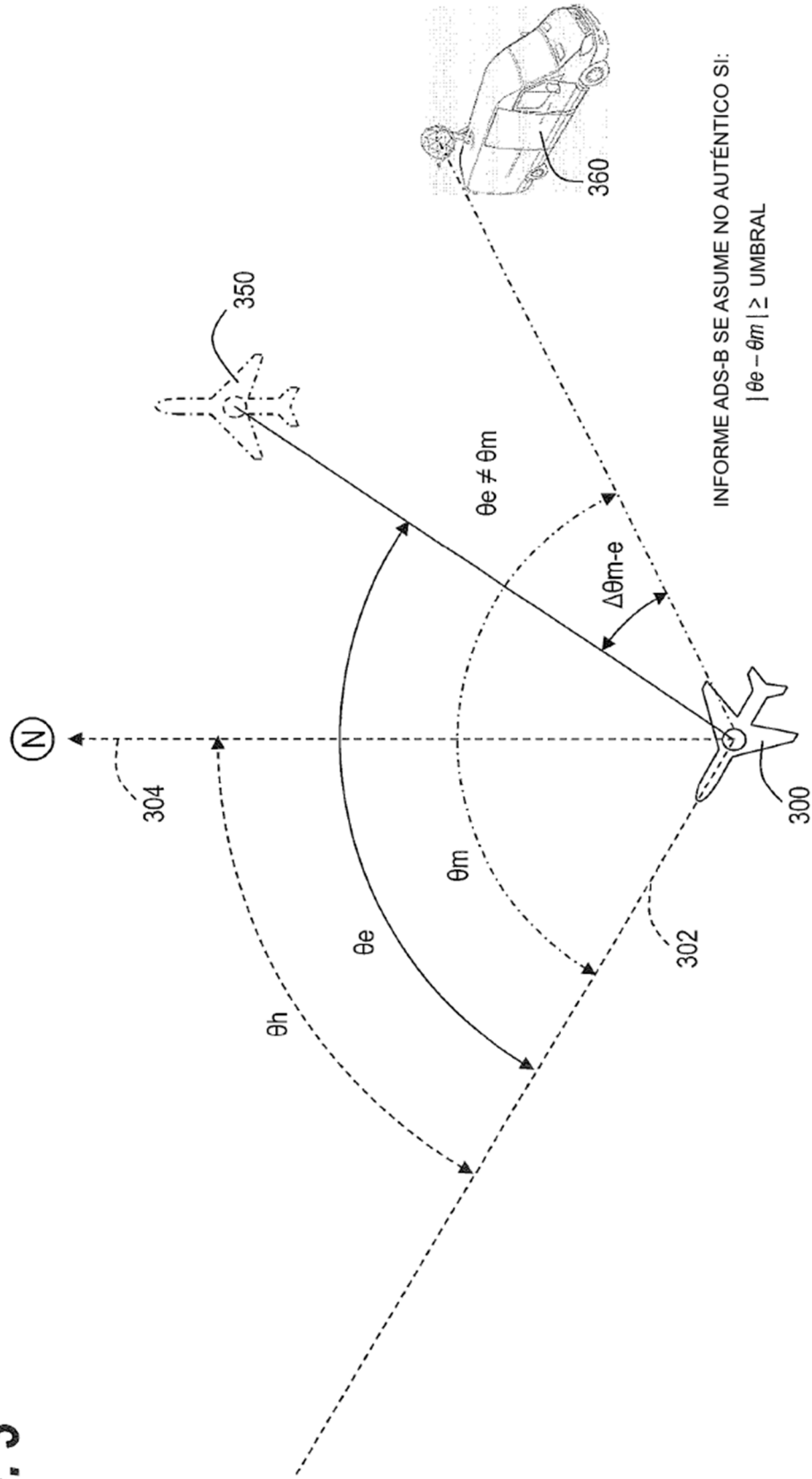


FIG. 3



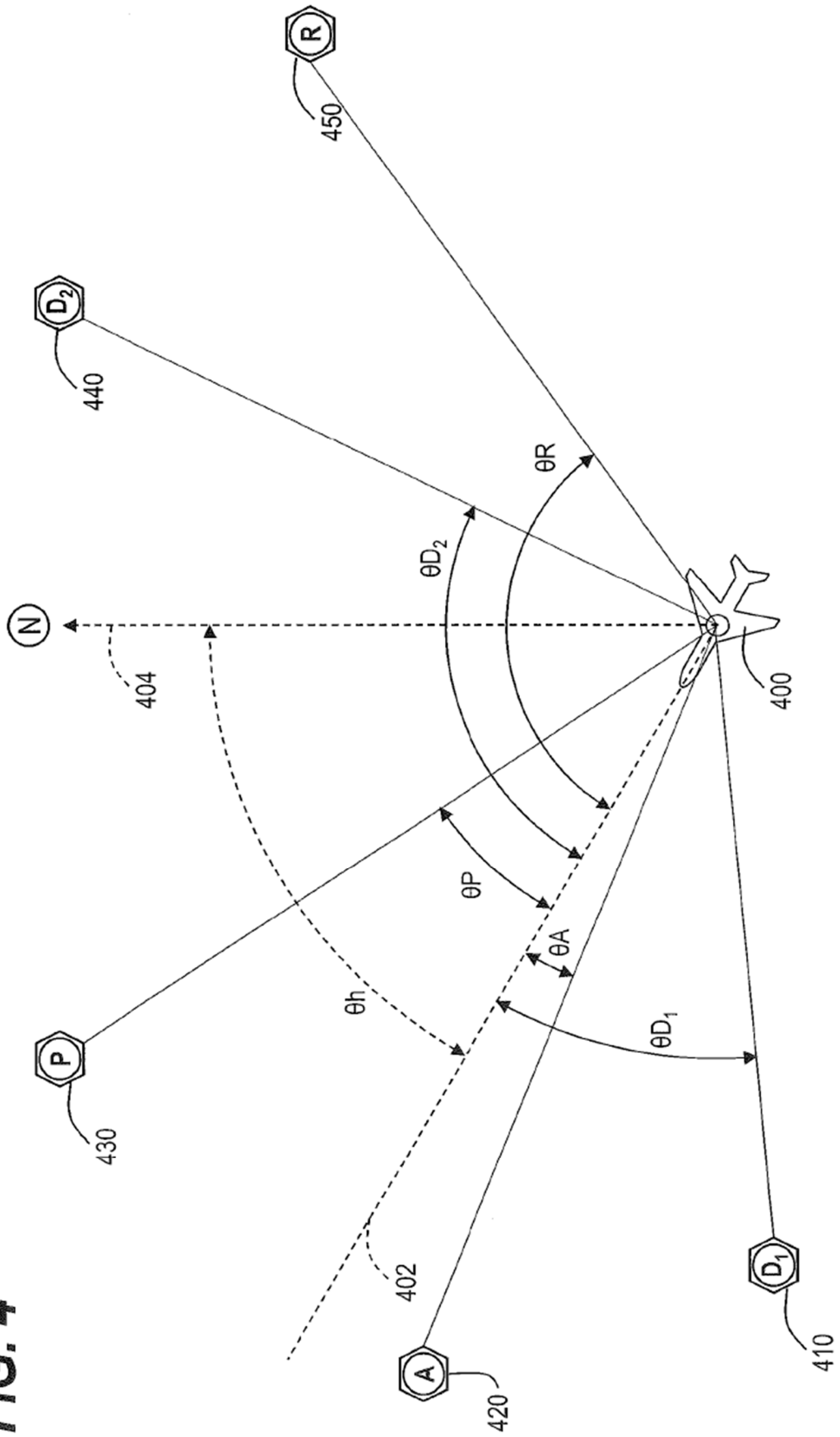


FIG. 4

FIG. 5

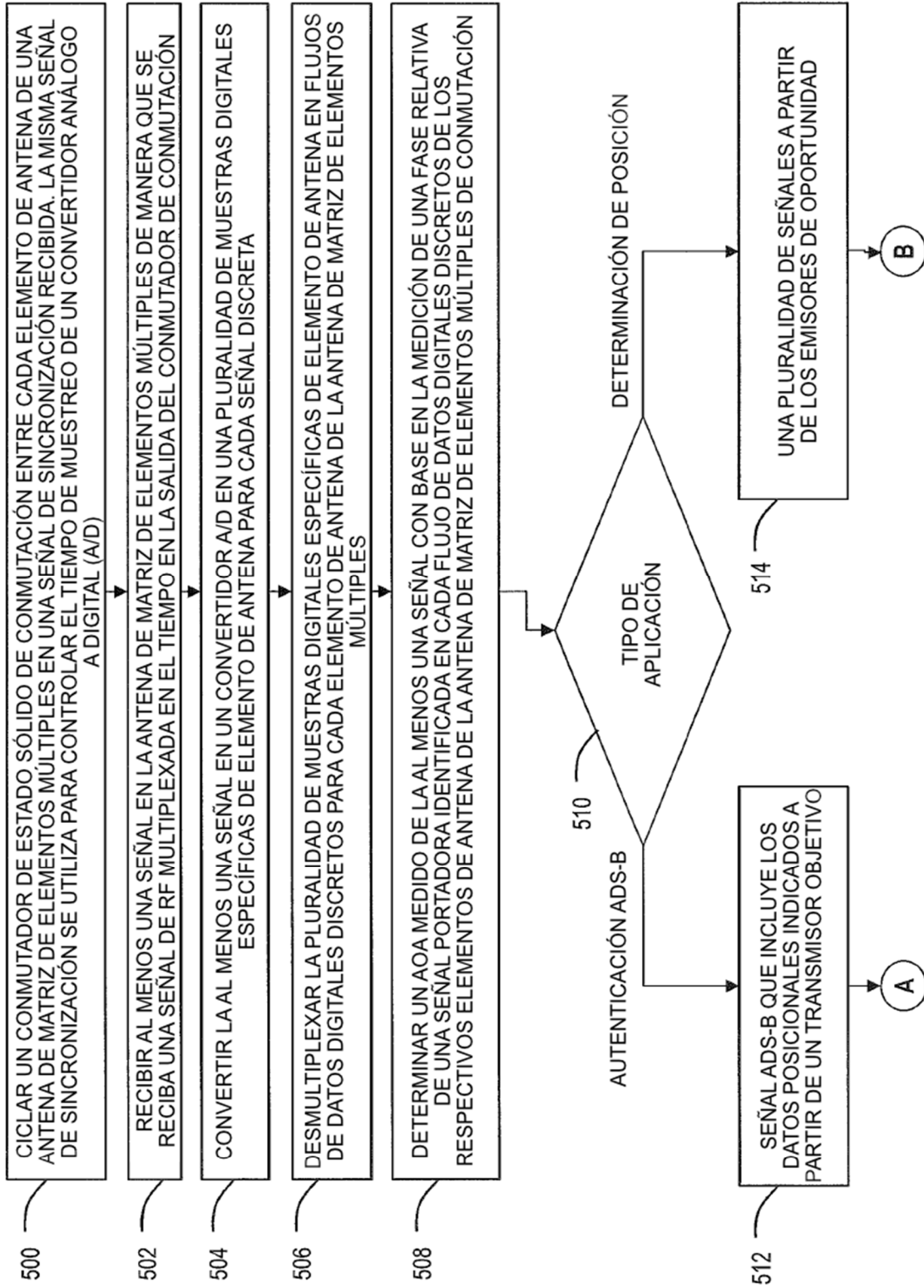


FIG. 6

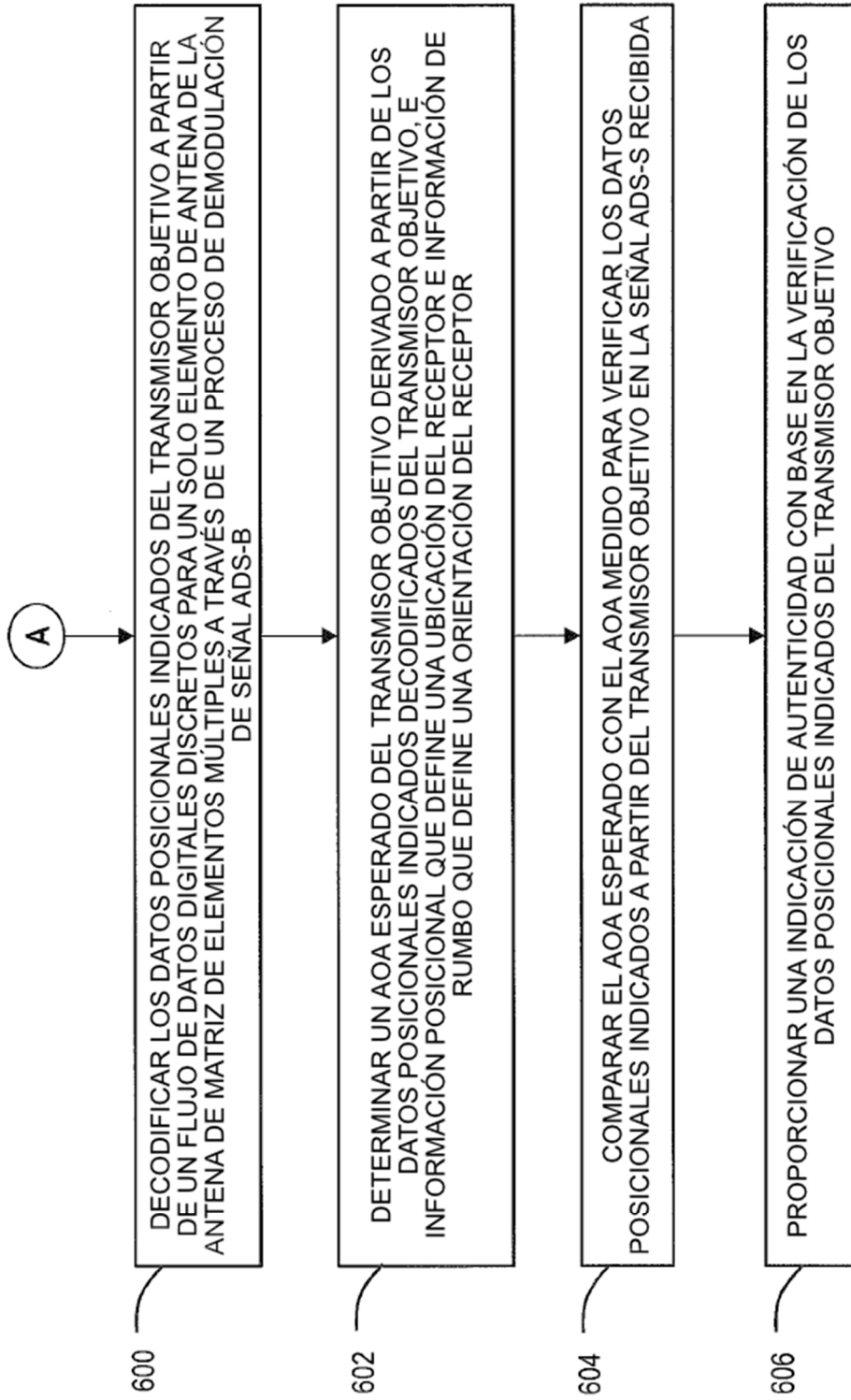


FIG. 7

