

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 565 240**

51 Int. Cl.:

G01W 1/02 (2006.01)

G01S 13/95 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2007** **E 07872805 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.03.2016** **EP 2078218**

54 Título: **Sistema y métodos de localización de turbulencias aéreas**

30 Prioridad:

31.10.2006 US 555176

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

01.04.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**TILLOTSON, BRIAN y
SINGLETON, MARISSA**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 565 240 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y métodos de localización de turbulencias aéreas

5 Campo de la técnica

La presente invención se refiere, en general, a medidas de seguridad en aeronaves, y se refiere, más en particular, a sistemas para medir la ubicación de turbulencias.

10 Antecedentes

La turbulencia en aire claro (CAT, *clear air turbulence*) tiene lugar a las altitudes de crucero de reactores típicas, debido a un número de factores diferentes, incluyendo: la ubicación de la corriente en chorro, la ubicación del límite de la tropopausa, la ubicación de unas condiciones meteorológicas localizadas adversas incluyendo tormentas, y la ubicación de terreno montañoso. No obstante, todos los fenómenos de turbulencia en aire claro tienen una cosa en común: los fenómenos tienen lugar en aire claro y, en la actualidad, las aeronaves disponen de muy pocas formas de evitar estos fenómenos excepto maniobrar o cambiar las altitudes de vuelo una vez que estos han entrado en la región turbulenta.

Las turbulencias (en especial CAT), suponen una grave preocupación para el transporte aéreo. Algunas líneas aéreas adoptan fuertes medidas para evitar regiones de turbulencia pronosticada o previamente descubierta, en ocasiones volando muchos kilómetros extra para evitar turbulencias. En muchas áreas del país, el número de opciones disponibles para que una línea aérea reencamine un vuelo están limitadas debido a la capacidad de espacio aéreo o a las restricciones del sistema de control de tráfico aéreo. Se están produciendo muchos esfuerzos para mejorar la identificación de aire turbulento, no obstante, estos esfuerzos solo ayudan después de que uno o más vuelos hayan volado en aire turbulento, y estos no proporcionan una forma de explorar constantemente el espacio aéreo. En la actualidad, no existe forma alguna económicamente razonable y fiable para que un avión detecte CAT a tiempo de emprender una acción evasiva.

El problema con CAT es que esta tiene lugar en aire claro en ausencia de materia particulada, tal como nubes. Muchos métodos existentes de detección de turbulencias dependen de la existencia de materia particulada (humedad, polvo, etc.) en el aire, lo cual no ayuda con la detección de CAT en las altitudes de crucero a las cuales pueden volar las aeronaves (vehículos comerciales, militares o aéreos no tripulados (UAV, *unmanned air vehicle*)). Por ejemplo, en el aire limpio a alturas elevadas en el que vuelan los aviones de línea, CAT es con frecuencia indetectable por los sistemas de radar Doppler o de LIDAR que dependen de las partículas en el aire.

El trabajo previo ha mostrado que es técnicamente factible detectar CAT usando centelleo de señales de GPS. No obstante, estos métodos previos no fueron capaces de solucionar el problema de localizar de forma precisa el aire turbulento con respecto a la distancia desde el receptor de GPS. Los métodos anteriores solo podrían determinar la existencia de turbulencias en alguna parte a lo largo de la trayectoria de la señal (a lo largo de la línea de visión hasta el satélite). Otros métodos evaluados son demasiado costosos o pesados para que su instalación a bordo de una aeronave sea práctica.

Por lo tanto, es deseable tener un sistema y métodos rentables para detectar CAT para aumentar la capacidad del sistema de tráfico aéreo mediante la determinación con más precisión de la distancia y la altitud de las turbulencias antes de que la aeronave penetre en la región de aire turbulento. Es deseable adicionalmente que el sistema y métodos permitan que los sistemas y los operadores de tráfico aéreo planifiquen con más precisión evitar estas regiones de aire turbulento.

Otros rasgos distintivos y características deseables de realizaciones de la presente invención serán evidentes a partir de la subsiguiente descripción detallada y las reivindicaciones adjuntas, tomadas junto con los dibujos adjuntos y el campo de la técnica y los antecedentes anteriores.

El documento WO 2006/083361 describe un sistema para detectar turbulencias mediante la detección de alteraciones de la energía que son causadas por la turbulencia y para filtrar las alteraciones para los efectos de la velocidad de la plataforma móvil.

Breve resumen

Se divulgan un sistema y métodos para calcular una distancia desde una plataforma de antena hasta una turbulencia de aire. Los métodos determinan un valor de retardo de correlación que se corresponde con un desfase temporal en la propagación de un patrón de interferencia desde una primera antena hasta una segunda antena que está separada una distancia con respecto a la primera antena. Basándose en el valor de retardo de correlación y la separación de antenas, los métodos calculan la distancia desde la plataforma de antena hasta la turbulencia de aire y emiten un aviso que indica la distancia.

Los métodos determinan el valor de retardo de correlación mediante el muestreo de una primera serie de amplitudes / fases de patrón de interferencia en la primera antena para obtener un primer patrón de amplitud / fase, y mediante el muestreo de una segunda serie de las amplitudes / fases de patrón de interferencia en la segunda antena para obtener un segundo patrón de amplitud / fase. A continuación, los métodos computan unos coeficientes de correlación temporal entre la primera y la segunda series de amplitudes / fases de patrón de interferencia en una secuencia de retardos de tiempo para determinar cómo de bien coinciden los patrones de amplitud / fases en cada retardo de tiempo. Los métodos seleccionan un retardo de tiempo que se corresponde con el valor más alto de los coeficientes de correlación temporal computados en el que los patrones de amplitud / fase se hacen coincidir más íntimamente. El valor de retardo de tiempo con la correlación más alta es el valor de retardo de correlación.

El valor de retardo de correlación y la separación de antenas desde la primera antena hasta la segunda antena se usan para calcular la distancia hasta una región de aire turbulento. Se puede emitir un aviso que indica la distancia hasta la región de aire turbulento.

Diversas realizaciones a modo de ejemplo de la invención que se describe en el presente documento calculan la distancia de una región de aire turbulento para dar cabida a los siguientes escenarios: si la plataforma de antena es estacionaria o móvil y / o la región de aire turbulento es estacionaria o móvil; si la plataforma de antena se encuentra en una línea de visión del satélite; o si las antenas están separadas en sentido horizontal y / o en sentido vertical.

Las técnicas que se describen en el presente documento pueden aumentar la capacidad del sistema de tráfico aéreo mediante la determinación con más precisión de la ubicación (la distancia y la altitud) de la región de aire turbulento, proporcionando un medio para que los proveedores del sistema de tráfico aéreo y los operadores planifiquen con más precisión evitar estas regiones de aire turbulento.

25 Breve descripción de los dibujos

Una comprensión más completa de la presente invención se puede obtener al hacer referencia a la descripción detallada y las reivindicaciones cuando se consideren junto con las siguientes figuras, donde números de referencia semejantes se refieren a elementos similares por la totalidad de las figuras.

- la figura 1 es una representación esquemática de un entorno para localizar turbulencias aéreas;
- la figura 2 es una representación esquemática de un sistema que está configurado para localizar turbulencias aéreas;
- la figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso para localizar turbulencias aéreas;
- la figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra otro proceso para localizar turbulencias aéreas;
- la figura 5 ilustra un ejemplo de patrones de amplitud muestreados en cada antena;
- la figura 6 ilustra un ejemplo de unos coeficientes de correlación temporal frente a unos valores de retardo de correlación; y
- la figura 7 ilustra unos picos de correlación para diversas distancias hasta la turbulencia.

40 Descripción detallada

La siguiente descripción detallada es de naturaleza meramente ilustrativa y no se tiene por objeto que limite las realizaciones de la invención o la aplicación y los usos de tales realizaciones, por lo cual el alcance de la invención solo es definido por las reivindicaciones adjuntas.

Además, no existe la intención de quedar limitado por teoría alguna, expresada o implicada, presentada en el campo de la técnica, los antecedentes y el breve sumario precedentes o la siguiente descripción detallada.

Unas realizaciones de la invención se pueden describir en el presente documento en términos de bloques componentes funcionales y / o lógicos y diversas etapas de procesamiento. Se debería apreciar que tales bloques componentes se pueden realizar mediante cualquier número de componentes de soporte físico, de soporte lógico y / o de soporte lógico inalterable que estén configurados para realizar las funciones especificadas. Por ejemplo, una realización de la invención puede emplear diversos componentes de circuito integrado, por ejemplo, elementos de memoria, elementos de procesamiento digital de señales, elementos lógicos, tablas de consulta, o similares, los cuales llevan a cabo una diversidad de funciones bajo el control de uno o más microprocesadores u otros dispositivos de control. Además, los expertos en la materia apreciarán que unas realizaciones de la presente invención se pueden poner en práctica junto con cualquier número de sistemas de comunicaciones y cualquier número de plataformas y que el sistema que se describe en el presente documento es meramente una realización a modo de ejemplo de la invención tal como es definida por las reivindicaciones adjuntas.

Por razones de brevedad, puede que no se describan con detalle en el presente documento técnicas convencionales en relación con el procesamiento de señales, la transmisión de datos, la señalización, las mediciones y otros aspectos funcionales de los sistemas (y los componentes operativos individuales de los sistemas). Además, las líneas de conexión que se muestran en las diversas figuras que están contenidas en el presente documento tienen por objeto representar relaciones funcionales y / o acoplamientos físicos a modo de ejemplo entre los diversos elementos. Se debería hacer notar que se pueden encontrar presentes muchas relaciones funcionales o conexiones

físicas alternativas o adicionales en una realización de la invención, el alcance de la cual es definido por las reivindicaciones adjuntas.

La siguiente descripción se refiere a elementos o nodos o rasgos distintivos que están “conectados” o “acoplados” entre sí. Tal como se usa en el presente documento, a menos que se indique de forma expresa lo contrario, “conectado” quiere decir que un elemento / nodo / rasgo distintivo está unido directamente con (o se comunica directamente con) otro elemento / nodo / rasgo distintivo, y no necesariamente por medios mecánicos. De forma similar, a menos que se indique de forma expresa lo contrario, “acoplado” quiere decir que un elemento / nodo / rasgo distintivo está unido directa o indirectamente con (o se comunica directa o indirectamente con) otro elemento / nodo / rasgo distintivo, y no necesariamente por medios mecánicos. Por lo tanto, a pesar de que el entorno que se ilustra en la figura 1 y el diagrama esquemático que se muestra en la figura 2 muestran unas disposiciones a modo de ejemplo de elementos, se pueden encontrar presentes unos elementos, dispositivos, rasgos distintivos o componentes adicionales intermedios en una realización de la invención (suponiendo que la funcionalidad del circuito no se vea afectada de forma adversa).

En la mayor parte de turbulencias atmosféricas, unas células de aire, que se denominan remolinos localizados, suben y bajan a diferentes ritmos debido a sus diferentes temperaturas (a modo de analogía, considérense los remolinos localizados como burbujas de aire caliente que se elevan en un mar de aire frío). Una región de aire turbulento contiene muchos remolinos localizados de diversos tamaños. Cada remolino localizado afecta a las ondas electromagnéticas exactamente como lo haría una lente: este refracta las ondas de luz o de RF a medida que las ondas pasan a través de este. Esta refracción cambia ligeramente la fase y la dirección de desplazamiento de las ondas. Una señal electromagnética a partir de una fuente distante, tal como un satélite, actúa como una onda plana hasta que el frente de onda alcanza la región turbulenta: todos los puntos sobre el frente de onda se desplazan a lo largo de unas trayectorias esencialmente paralelas. En el interior de la región turbulenta, no obstante, cada trayectoria de señal provoca cambios en fase y dirección que son diferentes de los cambios que son provocados por las trayectorias cercanas. Por lo tanto, la señal que emerge de la región turbulenta ha dejado de ser una onda plana; en su lugar, cada punto sobre el frente de onda se está desplazando en direcciones ligeramente diferentes con fases diferentes. A medida que estos se desplazan más lejos, estos elementos de onda crean regiones de interferencia constructiva y destructiva una con otra. El patrón espacial de interferencia constructiva y destructiva define ubicaciones de una intensidad de señal fuerte o débil, así como ubicaciones de fase de señal relativamente adelantada o retrasada. El patrón de interferencia espacial de intensidad de señal y fase de señal se puede medir mediante la colocación de un receptor en diversas ubicaciones. El patrón de interferencia espacial cambia con el tiempo a medida que los remolinos localizados se mueven en el interior de la región turbulenta o a medida que la fuente de señal, por ejemplo, un satélite, se mueve con respecto a la región turbulenta.

Por fines de explicación, supóngase que la región de aire turbulento se sustituye con una única lente estacionaria grande, y que una plataforma que recibe la señal de satélite tampoco está en movimiento. Desde el punto de vista de un observador que está sentado sobre la plataforma, que observa el desplazamiento del satélite a través del cielo, parecería que la fuente de las señales de satélite a partir de un único satélite se desplaza en sentido lateral debido a que el propio satélite tiene una velocidad lateral. Cuando el satélite se mueve hasta una ubicación en la que la lente se encuentra entre la plataforma y el satélite, la plataforma no ve el satélite ni detecta su señal a menos que el satélite, la lente y la plataforma estén alineados de tal modo que la lente enfoque la señal en la ubicación de la plataforma (el punto focal se corresponde con un pico en el patrón de interferencia que se ha descrito en lo que antecede). En un instante posterior, cuando el satélite se ha movido más lejos a través del cielo, la lente enfocaría la señal de satélite en una ubicación diferente (esto se corresponde con un desplazamiento lateral en la totalidad del patrón de interferencia).

Unas realizaciones a modo de ejemplo de la invención determinan un intervalo de tiempo que se corresponde con un desfase temporal en la recepción de la propagación del patrón de interferencia desde una primera antena en una primera ubicación hasta una segunda antena en una segunda ubicación, y calculan la distancia de aire turbulento basándose en el intervalo de tiempo tal como se describe con detalle en lo sucesivo.

La figura 1 es una representación esquemática de un entorno 100 de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención. El entorno 100 usa una pluralidad de antenas receptoras de satélite 118 / 116 (anterior / posterior), que están ubicadas sobre una plataforma 114 (la cual puede ser un avión estacionado o en vuelo, una embarcación flotante o en movimiento, un vehículo terrestre estacionario o en movimiento, o cualquier estructura configurada de forma conveniente), para recibir señales a partir del satélite 102. En el presente ejemplo, el patrón de interferencia 108 (tal como se ha explicado en el párrafo anterior), que se ve afectado por la región de aire turbulento 106, atraviesa la antena posterior 116 en un primer valor de tiempo 120 y atraviesa la antena anterior 118 en un segundo valor de tiempo 122. Un algoritmo de pseudo cálculo de distancia tal como se describe en lo sucesivo estima la distancia 126 de la región de aire turbulento 106 mediante el análisis de los intervalos de tiempo (desfases temporales) entre el primer y el segundo valores de tiempo.

La figura 2 es una representación esquemática del sistema 200 que está configurado de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención. Los diversos bloques que se muestran en la figura 2 se pueden realizar en cualquier número de componentes físicos o módulos ubicados por la totalidad de la plataforma o el sistema 200. Un

sistema práctico 200 puede incluir un número de unidades de control eléctrico (ECU, *electrical control unit*), sistemas de comunicaciones, sistemas informáticos de a bordo, arquitecturas de medición, redes y componentes que no sean los que se muestran en la figura 2. Subsistemas, rasgos distintivos y aspectos convencionales del sistema 200 no se describirán con detalle en el presente documento.

5 El sistema 200 en general incluye una pluralidad de antenas la cual incluye una primera antena 214 y una segunda antena 216, un receptor 220, un elemento lógico de procesamiento 222 el cual comprende un módulo de correlación 224, un módulo de memoria 226 el cual incluye o se comunica con una tabla de coeficientes de correlación temporal y los valores de retardo de correlación 228 correspondientes, y una arquitectura de red de comunicación 230.

10 La primera antena 214 y la segunda antena 216 están acopladas con el receptor 220 y están configuradas para proporcionar unos datos necesarios para el cómputo de turbulencias tal como se describe en lo sucesivo. Las antenas pueden estar separadas una cierta distancia L_0 a lo largo de la longitud o la anchura de la plataforma, y / o separadas una distancia H_0 a lo largo de la altura de la plataforma. Cada antena es sensible a la energía electromagnética incidente para producir un patrón de interferencia recibido, donde la energía electromagnética se desplaza a lo largo de una trayectoria que está sujeta a la región de aire turbulento 106.

20 Unas realizaciones a modo de ejemplo de la invención requieren un mínimo de dos antenas. No obstante, dependiendo del diseño de la plataforma, las maniobras normales de la plataforma pueden dar lugar a que las señales de satélite sean bloqueadas o adolezcan de un desvanecimiento de múltiples trayectorias serio. A este respecto, se pueden requerir unas ubicaciones alternativas para las antenas. La plataforma puede incluir, sin limitación, una aeronave, embarcaciones, vehículos terrestres, o estructuras en tierra. Por ejemplo, para una aeronave, sin limitación, se pueden usar tres antenas: Una antena se puede ubicar sobre el estabilizador vertical y / o las puntas de ala, y dos antenas se pueden ubicar a lo largo del fuselaje para obtener múltiples entradas de señal a partir de un satélite específico. También se pueden añadir antenas adicionales para proporcionar unas fuentes de datos adicionales para compensar cambios en la señal debido al movimiento de la aeronave (por ejemplo, girando, subiendo o descendiendo). La señal de satélite puede ser, sin limitación, una señal de GPS, una señal de GPS más GLONASS y Galileo, o una señal de GPS más iGPS.

30 El receptor 220 está acoplado con las antenas y está configurado para medir propiedades de los patrones de interferencia recibidos. Las señales que son recibidas por las antenas se analizan mediante un algoritmo para comparar el movimiento relativo de la plataforma (por ejemplo, la aeronave) con el movimiento relativo del satélite. Este algoritmo comparativo aprovecha el hecho de que los satélites, por ejemplo, los satélites de GPS, radiodifunden un conjunto de códigos los cuales contienen información acerca de la posición y la velocidad de los satélites, el tiempo de sistema de GPS, el error de reloj y la solidez y la precisión de los datos. Esta información permite que el movimiento y la posición relativa del satélite de GPS se predigan con alta precisión.

40 Por ejemplo, en general, el receptor de GPS a bordo de la aeronave hace coincidir el código de adquisición aproximativa (C / A, *coarse acquisition*) de cada satélite con una réplica idéntica del código que está contenido en la base de datos del receptor. Mediante el desplazamiento del código del receptor para que coincida con la señal de satélite y mediante la comparación este desplazamiento con el reloj interno del satélite, el receptor es capaz de estimar su distancia hasta el satélite. No obstante, mediante el uso de múltiples antenas y algoritmos de pseudo cálculo de distancia que se describen en el presente documento, también es posible estimar la distancia de la región de aire turbulento 106 mediante el análisis de los desfases y desfases temporales de las señales de GPS.

45 Además, la posición y el movimiento relativo de la aeronave son medidos con alta precisión por los sistemas informáticos de gestión de vuelo de a bordo (que no se muestran en la figura 2). A continuación, estos datos junto con la distancia del satélite con respecto a la aeronave y la velocidad del satélite se usan para computar la distancia hasta la región de aire turbulento 106 usando el algoritmo de pseudo cálculo de distancia tal como se explica con detalle en lo sucesivo. El receptor 220 puede ser, sin limitación, un receptor de GPS, un receptor de GPS más GLONASS y Galileo, o un receptor de GPS más iGPS.

50 El elemento lógico de procesamiento 222 está acoplado con el receptor 220 y puede incluir cualquier número de diferentes módulos de procesamiento, correladores o componentes que están configurados para realizar las tareas, los procesos y las operaciones que se describen con más detalle en el presente documento. A pesar de que en la figura 2 se muestra solo un bloque de procesamiento, una implementación práctica puede utilizar cualquier número de diferentes procesadores físicos y / o lógicos, los cuales se pueden dispersar por la totalidad del sistema 200. En la práctica, el elemento lógico de procesamiento 222 se puede implementar o realizar con un procesador de propósito general, una memoria direccionable por contenidos, un procesador digital de señales, un circuito integrado específico de la aplicación, una disposición de puertas programable en campo, cualquier dispositivo lógico programable, lógica de puertas discretas o de transistores, componentes de soporte físico discreto, o cualquier combinación de los mismos, que sean adecuados, que se haya diseñado para realizar las funciones que se describen en el presente documento. Un procesador se puede realizar como un microprocesador, un controlador, un microcontrolador o una máquina de estados. Un procesador también se puede implementar como una combinación de dispositivos informáticos, por ejemplo, una combinación de un procesador digital de señales y un

microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores junto con un núcleo de procesador digital de señales, o cualquier otra configuración de este tipo.

5 El módulo de correlación 224 está acoplado con o implementado en el elemento lógico de procesamiento 222 y está configurado para calcular unos coeficientes de correlación temporal $r(\Delta t)$ y los retardos de correlación Δt correspondientes, y para seleccionar el valor de retardo de correlación tal como se explica con más detalle en el contexto de la figura 4 en lo sucesivo. El módulo de correlación 224 puede incluir, sin limitación, correladores de procesamiento en paralelo o correladores de procesamiento en serie. El valor de retardo de correlación es un intervalo de tiempo entre cambios de señal en la antena anterior y cambios de señal un Δt más tarde en la antena posterior, y los coeficientes de correlación temporal son unas medidas de cómo de bien coinciden los patrones de amplitud / fase en cada antena en cada retardo de tiempo Δt tal como se explica con más detalle en el contexto de las figuras 4 - 7 en lo sucesivo.

15 El módulo de memoria 226 puede ser cualquier área de almacenamiento de datos conveniente con una cantidad conveniente de memoria a la que se le da formato para soportar el funcionamiento del sistema 200. El módulo de memoria 226 está configurado para almacenar, mantener y proporcionar datos según sea necesario para soportar la funcionalidad del sistema 200 de la forma que se describe en lo sucesivo. En realizaciones prácticas, el módulo de memoria 226 se puede realizar como memoria RAM, memoria flash, memoria ROM, memoria EPROM, memoria EEPROM, registros, un disco duro, un disco extraíble, o cualquier otra forma de medio de almacenamiento que se conozca en la técnica. El módulo de memoria 226 se puede acoplar con el elemento lógico de procesamiento 222 y configurarse para almacenar, sin limitación, valores de datos de medición que se corresponden con la posición y la velocidad de la plataforma, las posiciones y la velocidad de los satélites, series de amplitud / fase del patrón de interferencia, y un intervalo de muestreo. Adicionalmente, el módulo de memoria 226 puede representar una base de datos de actualización dinámica que contiene una tabla de coeficientes de correlación temporal y los retardos de correlación 228 correspondientes para fines de computación de la distancia hasta la región de aire turbulento 106 usando el algoritmo de pseudo cálculo de distancia tal como se explica con detalle en lo sucesivo.

30 La arquitectura de red de comunicación 230 se puede acoplar con el elemento lógico de procesamiento 222 y una arquitectura de medición (que no se muestra en la figura 2). La arquitectura de red de comunicación 230 está configurada para comunicar y para notificar datos de CAT. Los datos de CAT son una de muchas fuentes de información de condiciones meteorológicas que se pueden integrar para mejorar tanto la notificación en tiempo real como el pronóstico de las condiciones meteorológicas en vuelo. Los datos de CAT se envían desde los proveedores de servicios de datos de CAT hasta una aplicación de soporte lógico por medio de la arquitectura de red de comunicación 230. La arquitectura de red de comunicación 230 puede ser, sin limitación, una red de comunicación terrestre o una red de comunicación inalámbrica tal como una red de comunicación por satélite. Un conjunto de soporte lógico adaptado a la configuración, tal como un sistema de Gestión de Información Extensa de Sistema (SWIM, *System Wide Information Management*), lee de forma automática datos a partir de muchas fuentes por medio de la arquitectura de red de comunicación 230 y vuelve a dar formato a los datos según sea necesario para su uso por muchos usuarios y aplicaciones diferentes. SWIM permite la integración de la información de perfil de condiciones meteorológicas atmosféricas, la configuración de estados de aeronave, el seguimiento de CAT en tiempo real y el radar Doppler de condiciones meteorológicas. A este respecto, el sistema 200 puede emitir un aviso para indicar la distancia de la región de aire turbulento 106 hasta los usuarios de la arquitectura de red de comunicación 230.

45 Las realizaciones a modo de ejemplo de la invención computan la distancia hasta la región de aire turbulento basándose en: un vector velocidad medido de la plataforma en relación con el vector velocidad del satélite; la distancia 124 del satélite hasta la plataforma 114; la velocidad del satélite; y la velocidad / vector velocidad del patrón de interferencia V_i que se ve afectado por la región de aire turbulento 106 tal como se explica con detalle en lo sucesivo.

50 Haciendo referencia a la figura 1, si el satélite 102 se está moviendo hacia la derecha con una velocidad V_s a una distancia constante 124 (R_s) desde la plataforma 114, y tanto la plataforma 114 como la región de aire turbulento 106 son estacionarias, entonces la distancia 126 (R_t) desde la plataforma 114 hasta la región de aire turbulento 106 es fija, y el único objeto en movimiento es el satélite 102. A este respecto, la velocidad horizontal V_i a la cual parece desplazarse el patrón de interferencia 108 (suponiendo que la señal de satélite sea una línea recta en el espacio) se describe mediante la relación:

$$V_i = -\frac{R_t V_s}{R_s - R_t} \quad (1)$$

60 La distancia R_t hasta la región de aire turbulento 106 se puede obtener al reordenar los términos de la ecuación (1) en lo que antecede:

$$R_t = -\frac{R_s V_i}{V_s - V_i} \quad (2)$$

Tal como se muestra en la ecuación (2), la distancia R_t entre la región de aire turbulento 106 y la plataforma 114 es una función de la distancia R_s y la velocidad V_s conocidas del satélite (ambas se pueden determinar a partir de los datos de navegación que proporciona el satélite) y de la velocidad desconocida V_i de la imagen de satélite que es arrojada por la región de aire turbulento 106. El valor de V_i se puede determinar como una función del intervalo de tiempo Δt entre cambios de señal en la antena anterior y cambios de señal un Δt más tarde en la antena posterior tal como se explica con detalle en el contexto de la figura 3 en lo sucesivo. Estos cambios de señal pueden ser cambios de la amplitud / fase de señal, la fase de señal, o ambas.

La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de localización de turbulencias aéreas 300 para localizar una región de aire turbulento de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención. Las diversas tareas que se realizan en conexión con el proceso 300 pueden ser realizadas por soporte lógico, soporte físico, soporte lógico inalterable, o cualquier combinación de los mismos. Para fines ilustrativos, la siguiente descripción del proceso 300 se puede referir a elementos que se han mencionado en lo que antecede en conexión con la figura 1 y la figura 2. En realizaciones prácticas, unas porciones del proceso 300 pueden ser realizadas por diferentes elementos del sistema 200, por ejemplo, la primera antena 214, la segunda antena 216, el receptor 220, el elemento lógico de procesamiento 222, el módulo de correlación 224, el módulo de memoria 226 y la arquitectura de red de comunicación 230.

El proceso 300 puede comenzar mediante la obtención de datos de medición para calcular la distancia basándose en un valor de retardo de correlación (la tarea 302). Por ejemplo, los datos de medición pueden incluir, sin limitación: una velocidad horizontal de la plataforma, una velocidad horizontal del satélite, una velocidad horizontal de la región de aire turbulento, una separación horizontal de las antenas, una distancia de la plataforma desde el satélite, una velocidad vertical de la plataforma, una velocidad vertical del satélite, una velocidad vertical de la región de aire turbulento, y una separación vertical de las antenas.

Tal como se ha explicado en lo que antecede, V_i , el valor desconocido de la velocidad del patrón de interferencia 108 tal como se describe en la ecuación (1), se puede determinar como una función del intervalo de tiempo Δt . Por lo tanto, a continuación el proceso 300 determina el intervalo de tiempo Δt (el valor de retardo de correlación) que se corresponde con un desfase temporal en la recepción de la propagación del patrón de interferencia en una primera antena y una segunda antena (la tarea 304), tal como se describe con detalle en el contexto de la figura 4 en lo sucesivo, y procede a calcular la distancia R_t (la tarea 306) basándose en el intervalo de tiempo Δt .

Diversas realizaciones a modo de ejemplo de la invención que se describe en el presente documento calculan la distancia R_t desde la región de aire turbulento basándose en los siguientes escenarios: si la plataforma y / o la región de aire turbulento son estacionarias y / o móviles; si la plataforma se encuentra en una línea de visión casi horizontal del satélite; o si las antenas están separadas en sentido horizontal o en sentido vertical tal como se explica con más detalle en lo sucesivo.

En una realización a modo de ejemplo, haciendo referencia a la figura 1, la antena posterior 116 y la antena anterior 118 están separadas en sentido horizontal, y tanto la plataforma 114 como la región de aire turbulento 106 son estacionarias. Las antenas pueden estar separadas sobre la plataforma 114 por la distancia L_0 . En el presente ejemplo, el patrón de interferencia 108 atraviesa la antena posterior 116 en el tiempo t_1 (lo que se identifica mediante el número de referencia 120), y después de un intervalo de tiempo Δt , la imagen atraviesa la antena anterior 118 en el tiempo t_2 (lo que se identifica mediante el número de referencia 122).

La velocidad del patrón de interferencia V_i se calcula a partir del intervalo de tiempo Δt observado entre el patrón de interferencia que atraviesa las dos antenas. La velocidad a la cual se está moviendo el patrón de interferencia se determina basándose en la relación:

$$V_i = \frac{L_0}{\Delta t} \quad (3)$$

La sustitución de V_i de la ecuación (3) en la ecuación (2) en lo que antecede da una relación para calcular la distancia R_t desde la región de aire turbulento como una función del intervalo de tiempo Δt .

Por lo tanto, de acuerdo con una primera realización a modo de ejemplo, el método calcula la distancia R_t basándose en la relación:

$$R_t = -R_s \left[\frac{L_0}{V_s \Delta t - L_0} \right] \quad (4)$$

en la que R_t es la distancia desde la región de aire turbulento estacionaria hasta la plataforma estacionaria, R_s es la distancia entre la plataforma estacionaria y el satélite, L_0 es la separación horizontal entre la primera antena y la segunda antena, V_s es la velocidad horizontal del satélite, y Δt es el retardo de correlación.

En una segunda realización a modo de ejemplo, la antena posterior y la antena anterior están separadas en sentido horizontal y la región de aire turbulento es estacionaria tal como se ha explicado en lo que antecede, no obstante, la plataforma se está moviendo (a diferencia de la primera realización a modo de ejemplo en lo que antecede). Por lo tanto, no es necesario que las ecuaciones previas se ajusten para representar el movimiento de la plataforma. En el presente caso, el patrón de interferencia alcanza la antena posterior en un instante t_1 . La antena anterior es una distancia L_0 de alejamiento en este momento (t_1). No obstante, cuando el patrón de interferencia alcanza la ubicación original (la ubicación en t_1) de la antena anterior (en el tiempo t_2 la segunda antena anterior se ha movido (lo que no se muestra en la figura 1). La imagen alcanza finalmente la antena anterior en el tiempo t_3 (lo que no se muestra en la figura 1). La temporización en esta situación se describe mediante la ecuación (5) en lo sucesivo:

$$\Delta t = t_3 - t_1 = \frac{L_0}{V_i - V_a} \quad (5)$$

En la ecuación (5), V_a es la velocidad de la plataforma. Por lo tanto, la velocidad del patrón de interferencia se calcula basándose en la relación:

$$V_i = \frac{L_0}{\Delta t + V_a} \quad (6)$$

La sustitución de la ecuación (6) en la ecuación (2) da la distancia R_t hasta la región de aire turbulento 106.

Por lo tanto, de acuerdo con la segunda realización a modo de ejemplo, el método calcula la distancia basándose en la relación:

$$R_t = -R_s \left\{ \frac{\frac{L_0 + V_a}{\Delta t}}{V_s - \left(\frac{L_0 + V_a}{\Delta t} \right)} \right\} \quad (7)$$

en la que R_t es la distancia desde la región de aire turbulento estacionaria hasta la plataforma móvil, R_s , L_0 y Δt son tal como se ha explicado en lo que antecede, y V_a es la velocidad horizontal de la plataforma.

La primera y la segunda realizaciones a modo de ejemplo calcularon la distancia R_t hasta la región de aire turbulento basándose en una masa de aire turbulento estacionaria. No obstante, puede que este no sea siempre el caso, debido a que el viento puede mover la región de aire turbulento.

En una tercera realización a modo de ejemplo, la antena posterior y la antena anterior están separadas en sentido horizontal tal como se ha explicado en lo que antecede, pero a diferencia de la primera y la segunda realizaciones a modo de ejemplo, tanto la región de aire turbulento como la plataforma se están moviendo. La situación se describe matemáticamente en la ecuación (8) en lo sucesivo:

$$V_i = \frac{(V_t R_s)}{(R_s - R_t)} + \frac{L_0}{\Delta t} + V_a \quad (8)$$

La sustitución de la ecuación (8) en la ecuación (2) da la distancia R_t .

Por lo tanto, de acuerdo con la tercera realización a modo de ejemplo, el método calcula la distancia R_t basándose en la relación:

$$R_t = -R_s \left\{ \frac{V_t + \frac{L_0}{\Delta t} + V_a}{V_s - \frac{L_0}{\Delta t} - V_a} \right\} \quad (9)$$

en la que R_t es la distancia desde la región de aire turbulento móvil hasta la plataforma móvil, R_s , L_0 , Δt , y V_a son tal como se ha explicado en lo que antecede, y V_t es la velocidad horizontal de la región de aire turbulento.

La ecuación (9) da la distancia R_t como una función del intervalo de tiempo Δt y la velocidad del viento V_t . La ecuación (9) se puede usar tal cual cuando los vientos son bien conocidos. Este puede ser el caso en regiones bien instrumentadas como Norte América, Europa, Australia y áreas cerca de Japón. Si se sabe que los vientos son más o menos uniformes a lo largo del vector desde la plataforma hasta el satélite, entonces el valor de V_t se puede insertar en la ecuación (9) para obtener la distancia R_t . En el caso en el que los vientos varían suavemente a lo largo del vector desde la plataforma hasta el satélite (aparte de los vientos en la zona de turbulencia), una primera

suposición del valor de R_t se puede usar para escoger una ubicación en la cual se puede estimar V_t , usando un modelo en 3D. Este valor de V_t se inserta en la ecuación (9) para estimar un nuevo valor de R_t . El proceso se repite hasta que el mismo converge sobre un único valor de R_t y V_t .

5 El movimiento horizontal de masas de aire de las dimensiones de Texas se mide por lo general en decenas de metros por segundo. El movimiento vertical de masas de aire similares se mide por lo general en centímetros por segundo. A este respecto, en casi todas las situaciones, es seguro suponer que una región de aire turbulento tiene una velocidad vertical eficaz de cero. Por lo tanto, se pueden usar unas antenas de satélite separadas en sentido vertical para medir la velocidad vertical del patrón de interferencia, con confianza en que la velocidad vertical se debe casi completamente al movimiento conocido del satélite, el movimiento conocido de la plataforma y la distancia desconocida desde la plataforma hasta la región turbulenta.

10 En una cuarta realización a modo de ejemplo, la primera antena y la segunda antena están separadas en sentido vertical a diferencia de la primera, la segunda y la tercera realizaciones a modo de ejemplo que se han explicado en lo que antecede, y tanto la plataforma como la región de aire turbulento son estacionarias.

De acuerdo con la cuarta realización a modo de ejemplo, el método calcula la distancia R , basándose en la relación:

$$R_t = -R_s \frac{H_0}{V_{sz} \Delta t - H_0} \quad (10)$$

20 en la que R_t es la distancia desde la región de aire turbulento estacionaria 106 hasta la plataforma estacionaria, R_s y Δt son tal como se ha explicado en lo que antecede, H_0 es la separación vertical entre la primera antena y la segunda antena, y V_{sz} es una velocidad vertical del satélite.

25 En una quinta realización a modo de ejemplo, la primera antena y la segunda antena están separadas en sentido vertical y la región de aire turbulento es estacionaria tal como se ha explicado en el contexto de la cuarta realización en lo que antecede, pero a diferencia de la cuarta realización, la plataforma es móvil en el presente caso.

De acuerdo con la quinta realización a modo de ejemplo, el método calcula la distancia R_t basándose en la relación:

$$30 \quad R_t = -R_s \left\{ \frac{\frac{H_0}{\Delta t} + V_{az}}{V_{sz} - \left(\frac{H_0}{\Delta t} + V_{az} \right)} \right\} \quad (11)$$

en la que R_t es la distancia desde la región de aire turbulento estacionaria hasta la plataforma móvil, R_s , H_0 , Δt , y V_{sz} son tal como se ha explicado en lo que antecede, y V_{az} es una velocidad vertical de la plataforma.

35 En una sexta realización a modo de ejemplo, la primera antena y la segunda antena están separadas en sentido vertical y la plataforma es móvil tal como se ha explicado en el contexto de la cuarta y la quinta realizaciones en lo que antecede, pero a diferencia de la cuarta y la quinta realizaciones, tanto la plataforma como la región de aire turbulento son móviles en el presente caso.

De acuerdo con la sexta realización a modo de ejemplo, el método calcula la distancia basándose en la relación:

$$40 \quad R_t = -R_s \left\{ \frac{V_{tz} + \frac{H_0}{\Delta t} + V_{az}}{V_{sz} - \frac{H_0}{\Delta t} - V_{az}} \right\} \quad (12)$$

45 en la que R_t es la distancia desde la región de aire turbulento móvil hasta la plataforma móvil, R_s , H_0 , Δt , V_{az} y V_{sz} son tal como se ha explicado en lo que antecede, y V_{tz} es una velocidad vertical de la región de aire turbulento.

50 En una séptima realización a modo de ejemplo, la línea de visión de avión a satélite se encuentra a varios grados con respecto a la horizontal. También en la séptima realización a modo de ejemplo, la primera antena y la segunda antena están separadas en sentido vertical, y tanto la plataforma como la región de aire turbulento son móviles tal como se ha explicado en el contexto de la sexta realización en lo que antecede. No obstante, a diferencia de la sexta realización a modo de ejemplo, los parámetros se ven afectados por una corrección debido a la línea de visión de plataforma a satélite.

55 Por lo tanto, de acuerdo con la séptima realización a modo de ejemplo, el método calcula la distancia basándose en la relación:

$$R_t = -R_s \left\{ \frac{V_{t_el} + \frac{H_{0_el}}{\Delta t} + V_{a_el}}{V_{s_el} - \frac{H_{0_el}}{\Delta t} - V_{a_el}} \right\} \quad (13)$$

en la que R_t es la distancia desde la región de aire turbulento móvil hasta la plataforma móvil, R_t se corrige en lo que respecta a la línea de visión de plataforma a satélite, R_s es la distancia entre la plataforma móvil y el satélite, V_{t_el} es la velocidad vertical de la región de aire turbulento móvil que se proyecta sobre un vector unitario de elevación, H_{0_el} es la separación vertical entre la primera antena y la segunda antena que se proyecta sobre el vector unitario de elevación, Δt es el retardo de correlación tal como se ha explicado en lo que antecede, V_{a_el} es la velocidad vertical de la plataforma móvil que se proyecta sobre el vector unitario de elevación, V_{s_el} es la velocidad vertical del satélite que se proyecta sobre el vector unitario de elevación, y e es el vector unitario de elevación, E , del vector de avión a satélite, R_s . E se encuentra en la dirección del ángulo de elevación creciente. E es vertical cuando R_s es horizontal, pero se inclina lejos de la vertical cuando R_s no es horizontal, es decir, cuando el satélite no se encuentra exactamente sobre el horizonte según es visto por la plataforma. E se define como:

$$E = \frac{[(R_s \times k) \times R_s]}{|(R_s \times k) \times R_s|} \quad (13a)$$

en la que E , R_s y k son cantidades vectoriales, k es el vector unitario en la dirección z (vertical), “ \times ” indica un producto vectorial, y unas barras verticales indican una magnitud vectorial. Para computar la proyección de cualquier vector A sobre E , se usa un producto escalar:

$$A_{el} = A \bullet E \quad (13b)$$

Por ejemplo, el valor de V_{t_el} se puede computar en la ecuación (13b) como:

$$V_{t_el} = V_t \bullet E \quad (13c)$$

Obsérvese que, en los casos en los que el vector de plataforma a satélite es sustancialmente no horizontal, no se puede suponer que V_{t_el} sea cero.

Después de los cálculos de la distancia desde la región de aire turbulento, de acuerdo con las realizaciones anteriores, a continuación el proceso 300 emite un aviso que indica la distancia (la tarea 308) y se detiene.

Tal como se ha descrito en lo que antecede, la masa de aire turbulento desplaza la fase de la señal de satélite, y debido a que la masa de aire tiene una refractividad “grumosa”, el desfase varía dependiendo de la trayectoria de la señal. Esto convierte la señal de satélite ordenada y uniforme en un patrón de interferencia. En general, el patrón de interferencia es un patrón de picos y depresiones que resulta cuando se juntan dos o más señales que se desplazan por unas trayectorias ligeramente diferentes a partir de la misma fuente. El patrón de interferencia varía con el tiempo y la posición. La antena delantera detecta el patrón de interferencia en primer lugar, seguida por la antena trasera, y establece la diferencia de tiempo entre la detección de la interferencia en las antenas delantera y trasera para calcular la distancia R_t hasta la región de aire turbulento tal como se explica con detalle en lo sucesivo.

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de localización de turbulencias aéreas 400 de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención. Las diversas tareas que se realizan en conexión con el proceso 400 pueden ser realizadas por soporte lógico, soporte físico, soporte lógico inalterable, o cualquier combinación de los mismos. Para fines ilustrativos, la siguiente descripción del proceso 400 se puede referir a elementos que se han mencionado en lo que antecede en conexión con la figura 1, la figura 2 y la figura 3. En realizaciones prácticas, unas porciones del proceso 400 pueden ser realizadas por diferentes elementos del sistema 200, por ejemplo, la primera antena 214, la segunda antena 216, el receptor 220, el elemento lógico de procesamiento 222, el módulo de correlación 224, el módulo de memoria 226 y la arquitectura de red de comunicación 230.

El proceso 400 puede comenzar mediante la obtención de los datos de medición para calcular la distancia basándose en un valor de retardo de correlación (la tarea 402) tal como se ha explicado en el contexto de la figura 3 en lo que antecede. La presente realización a modo de ejemplo usa técnicas de correlación temporal para medir la diferencia de tiempo entre las antenas delantera (anterior) y trasera (posterior). La correlación de señales a partir de las antenas delantera y trasera da un pico de correlación en un valor de Δt que se corresponde con un desfase temporal, que es causado por la región de aire turbulento, en la recepción del patrón de interferencia en las antenas delantera y trasera (la velocidad de la imagen del satélite se corrige en lo que respecta al movimiento de la aeronave, el viento, etc.). La presente realización a modo de ejemplo de la invención computa el coeficiente de correlación $r(\Delta t)$ para muchos valores de Δt y selecciona aquél con el valor más alto (el valor de correlación de pico) como que marca la distancia hasta la mayor turbulencia. La presente realización computa el coeficiente de correlación usando mediciones de amplitud de señal en las antenas delantera y trasera. Unas realizaciones

alternativas pueden usar mediciones de fase de señal, o una combinación de fase de señal y amplitud de señal, para computar el coeficiente de correlación.

5 Cuando la velocidad del patrón de interferencia V_i es casi exactamente la misma que la velocidad de la plataforma, el Δt para que el patrón de interferencia se mueva de una antena a la otra puede ser de varios segundos. El máximo coeficiente de correlación $r(\Delta t)$ puede disminuir con unos Δt más largos debido a que el patrón de turbulencias cambia con el tiempo. La coherencia temporal describe la correlación o la relación predecible entre unas señales que se observan en diferentes momentos en el tiempo. Una realización preferida usa el intervalo de coherencia temporal de la turbulencia para rebajar los valores de $r(\Delta t)$ en Δt cortos y aumentar los valores de $r(\Delta t)$ en Δt largos para dar una comparación no sesgada de la intensidad de turbulencia a todas las distancias.

15 Por lo tanto, el proceso 400 procede a computar un retardo de correlación (el número de referencia 404) mediante el muestreo de una primera serie de amplitudes / fases de señal, que se corresponde con el patrón de interferencia en la antena posterior (la tarea 406), y mediante el muestreo de una segunda serie de amplitudes / fases de señal, que se corresponde con el patrón de interferencia en la antena anterior (la tarea 408). En la presente realización, la primera y la segunda series de amplitudes / fases de señal se muestrean con el mismo intervalo de muestreo. La figura 5 ilustra un ejemplo de patrones de amplitud muestreados en cada antena. La primera serie de amplitudes de señal 502 del patrón de interferencia 108 se muestrea en la antena anterior 118 y la segunda serie de amplitudes de señal 504 del patrón de interferencia 108 se muestrea en la antena posterior 116. En el presente ejemplo, se usan 20 256 muestras en cada antena.

25 El satélite en el presente ejemplo se encuentra en una órbita terrestre baja. La plataforma en el presente ejemplo es un avión. La dirección de desplazamiento del satélite está alejada aproximadamente 125° con respecto al rumbo del avión, es decir, parece que el satélite se mueve hacia atrás en relación con el avión. La velocidad del satélite V_s es de aproximadamente 7000 metros por segundo, pero es solo de aproximadamente 4000 m / s en la dirección perpendicular con respecto a la línea de visión desde el avión hasta el satélite. La distancia desde el avión hasta el satélite R_s es de aproximadamente 4200 km. La velocidad del aire verdadera del avión V_a es de aproximadamente 200 m / s. Las antenas anterior y posterior presentan una separación de aproximadamente 20 metros.

30 A continuación, el proceso 400 calcula los coeficientes de correlación temporal $r(\Delta t)$ entre la primera serie de amplitudes de señal 502 y la segunda serie de amplitudes de señal 504 (la tarea 410) y sigue calculando unos valores de retardo de correlación Δt que se corresponden con los coeficientes de correlación temporal (la tarea 412). El valor de retardo de correlación es el intervalo de tiempo entre los cambios de señal en la antena anterior y los cambios de señal un Δt más tarde en la antena posterior (tal como se ha explicado en el contexto de la figura 1 en lo que antecede) y su valor se calcula, por ejemplo, mediante la medición del tiempo en el cual se hace llegar (se detecta) la amplitud de señal en la antena anterior y la sustracción del mismo con respecto al tiempo en el cual se hace llegar la amplitud de señal en la antena posterior. La coherencia temporal describe la correlación o la relación predecible entre unas señales que se observan en diferentes momentos en el tiempo. Por lo tanto, unas concordancias estadísticas de las amplitudes de señal medidas en las antenas respectivas determinan el coeficiente de correlación temporal (cómo de bien coinciden las amplitudes) en el valor calculado de Δt . Unas realizaciones alternativas pueden usar mediciones de fase de señal, o una combinación de fase de señal y amplitud de señal, para computar el coeficiente de correlación temporal.

45 El proceso 400 almacena los coeficientes de correlación temporal calculados y los valores de retardo de correlación correspondientes (la tarea 414), y selecciona el valor de retardo de correlación que se corresponde con el valor más alto de los coeficientes de correlación temporal calculados (la tarea 416). Por ejemplo, en la figura 6, el valor más alto de los coeficientes de correlación temporal tiene lugar a aproximadamente 4 muestras 602 (en el pico de los coeficientes de correlación). Esto quiere decir que si una señal que alcanza la antena anterior en el tiempo t_i atraviesa la región de aire turbulento en una ubicación particular, entonces la misma ubicación es atravesada por una señal que alcanza la antena posterior en un instante t_{i+4} . Dado el intervalo de muestra de aproximadamente 0,05 segundos, esto es un valor de retardo de correlación de aproximadamente 0,2 segundos. Con aproximadamente 20 metros entre las antenas (L_0), que se corresponde con una velocidad relativa de la imagen V_i de aproximadamente 100 m / s hacia la parte posterior del avión. El avión se está moviendo a aproximadamente 200 m / s, (V_a) por lo tanto la velocidad de la imagen verdadera V_i es de aproximadamente 100 m / s hacia delante. Con un satélite moviéndose a aproximadamente 4000 m / s (V_s) hacia atrás a una distancia R_s de aproximadamente 4200 km, la velocidad de la imagen V_i de aproximadamente 100 m / s indica que la región de aire turbulento fue atravesada en una ubicación a aproximadamente 105 km con respecto al avión.

60 La figura 7 ilustra unos picos de correlación para diversas distancias en kilómetros (lo que se identifica mediante los números de referencia 702 - 712) hasta la región de aire turbulento. Tal como se muestra en la figura 7, el valor de correlación de pico puede tener lugar a unos valores tanto positivos como negativos de Δt . Los valores negativos de Δt tienen lugar cuando la velocidad del patrón de interferencia V_i es positiva y más rápida que la plataforma, es decir, el patrón de interferencia (la serie de amplitudes que se ven afectadas por la región de aire turbulento) afecta a la antena trasera (posterior) antes que a la antena delantera (anterior). Esto puede tener lugar con iGPS donde unos 65 satélites en unas órbitas bajas y de movimiento rápido generan unas señales de GPS.

Cabe destacar que, tal como se muestra en la figura 7, el pico de correlación se mueve hacia unos intervalos de tiempo Δt cada vez más positivos (desde la antena anterior hasta la posterior) a medida que aumenta la distancia (lo que se identifica mediante los números de referencia 708 - 712). No obstante, con un satélite retrógrado, hay una singularidad a una distancia particular. A medida que la distancia se aproxima a la singularidad, aproximadamente 5 200 km en el presente caso (lo que no se muestra en la figura 7), el pico de correlación avanza rápidamente, a continuación da la vuelta a unos Δt negativos. A continuación esta se aproxima al origen ($\Delta t = 0$) desde la izquierda (lo que se identifica mediante los números de referencia 702 - 706), acercándose de forma asintótica al origen a medida que aumenta la distancia.

10 A continuación, el proceso 400 sigue calculando la distancia (la tarea 418) y emite un aviso que indica la distancia (la tarea 420) tal como se ha explicado en el contexto de la figura 3 en lo que antecede.

Las realizaciones a modo de ejemplo de la invención que se han descrito en lo que antecede determinan la distancia hasta el centro de la región de aire turbulento. No obstante, de acuerdo con otra realización a modo de ejemplo de la invención, el espesor de la región de aire turbulento se puede determinar mediante el examen de la anchura del pico de correlación. Una región delgada tiene un pico de correlación alto y estrecho (estrecho en Δt) debido a que la totalidad de los remolinos localizados se encuentran a la misma distancia y, por lo tanto, arrojan unas imágenes que se mueven a la misma velocidad. Una región espesa tiene un pico más ancho debido a que algunos remolinos localizados se encuentran más lejos que otros, por lo tanto la imagen has muchas componentes que se mueven a 20 unas velocidades ligeramente diferentes. Para una cantidad dada de centelleo de señal de satélite, la intensidad es inversamente proporcional al espesor medido de la región de aire turbulento. A este respecto, el proceso 400 indica una región de aire turbulento espesa, con una intensidad de turbulencia correspondientemente baja, si el pico de la curva de correlación temporal es relativamente amplio (amplio en Δt) e indica una región delgada de aire con turbulencias, con una intensidad de turbulencia correspondientemente alta, si el pico de la curva de correlación 25 temporal es relativamente estrecho.

Unas realizaciones de la invención que se describe en el presente documento pueden aumentar la capacidad del sistema de tráfico aéreo mediante la determinación con más precisión de la ubicación (la distancia y la altitud) de la región de aire turbulento (incluyendo CAT), proporcionando un medio para que los proveedores del sistema de tráfico aéreo y los operadores planifiquen con más precisión evitar una región de aire turbulento para aumentar la seguridad y la comodidad de los pasajeros durante el transporte o el desplazamiento. 30

A pesar de que en la anterior descripción detallada se ha presentado por lo menos una realización a modo de ejemplo, se debería apreciar que existe un vasto número de variaciones. También se debería apreciar que la realización a modo de ejemplo o las realizaciones a modo de ejemplo son solo ejemplos, y no se tiene por objeto que limiten en modo alguno el alcance, la aplicabilidad o la configuración de la invención, el alcance de la cual se define en las reivindicaciones adjuntas. En su lugar, la anterior descripción detallada proporcionará a los expertos en la materia una hoja de ruta conveniente para implementar la realización a modo de ejemplo o las realizaciones a modo de ejemplo. Se debería entender que se pueden hacer diversos cambios en la función y la disposición de 40 elementos sin apartarse del alcance de la invención tal como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para calcular una distancia desde una región de aire turbulento hasta una plataforma, comprendiendo el método:
- 5 determinar (304) un valor de retardo de correlación en la propagación de un patrón de interferencia hasta una primera antena y hasta una segunda antena sobre la plataforma, donde el valor de retardo de correlación se corresponde con un desfase temporal en la recepción de la propagación del patrón de interferencia en dicha primera antena en una primera ubicación y en una segunda
- 10 antena en una segunda ubicación, donde el desfase temporal es causado por la región de aire turbulento y la región de aire turbulento se encuentra en una trayectoria de señales enviadas desde un satélite hasta la plataforma; y calcular (306) la distancia basándose en el valor de retardo de correlación.
- 15 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, donde determinar el valor de retardo de correlación comprende adicionalmente:
- muestrear (406) una primera serie de amplitudes de señal, que se corresponde con el patrón de interferencia, en la primera antena con un intervalo de muestreo;
- 20 muestrear (408) una segunda serie de amplitudes de señal, que se corresponde con el patrón de interferencia, en la segunda antena con el intervalo de muestreo;
- calcular (410) unos coeficientes de correlación temporal entre la primera y la segunda series de amplitudes de señal;
- 25 calcular (412) unos valores de retardo de correlación que se corresponden con los coeficientes de correlación temporal; y
- seleccionar (416) el valor de retardo de correlación que se corresponde con el valor más alto de los coeficientes de correlación temporal.
- 30 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende adicionalmente emitir un aviso que indica la distancia.
4. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende adicionalmente obtener unos datos para calcular la distancia basándose en el valor de retardo de correlación, incluyendo los datos:
- 35 una velocidad horizontal de la plataforma;
- una velocidad horizontal de un satélite;
- una velocidad horizontal de la región de aire turbulento;
- una separación horizontal entre la primera antena y la segunda antena;
- 40 una distancia de la plataforma desde el satélite;
- una velocidad vertical de la plataforma;
- una velocidad vertical del satélite;
- una velocidad vertical de la región de aire turbulento; y
- una separación vertical entre la primera antena y la segunda antena.
- 45 5. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 - 4, que comprende adicionalmente almacenar:
- la primera serie de amplitudes de señal y la segunda serie de amplitudes de señal;
- los coeficientes de correlación temporal calculados;
- 50 los valores de retardo de correlación; y
- el intervalo de muestreo.
6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 - 5, donde el valor más alto de los coeficientes de correlación temporal calculados se encuentra en un pico de una curva de correlación temporal.
- 55 7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende adicionalmente determinar el espesor de la región de aire turbulento basándose en el pico de la curva de correlación temporal.
8. Un método de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende adicionalmente:
- 60 indicar una región de aire turbulento espesa si el pico de la curva de correlación temporal es relativamente amplio; e
- indicar una región de aire turbulento delgada si el pico de la curva de correlación temporal es relativamente estrecho.
- 65 9. Un sistema (200) para calcular una distancia desde una región de aire turbulento hasta una plataforma, comprendiendo el sistema:

- una plataforma (200),
 una pluralidad de antenas (214, 216) sobre la plataforma (200),
 cada una sensible a la energía electromagnética incidente para producir un patrón de interferencia recibido,
 donde la energía electromagnética se desplaza a lo largo de una trayectoria que está sujeta a la región de aire
 5 turbulento;
 un receptor (220) que está acoplado con las antenas (214, 216) y configurado para medir propiedades del patrón
 de interferencia recibido; y
 un elemento lógico de procesamiento (222) que está acoplado con el receptor (220) y configurado para:
- 10 determinar un valor de retardo de correlación en la propagación del patrón de interferencia recibido hasta una
 primera antena y hasta una segunda antena y donde la región de aire turbulento se encuentra en una
 trayectoria de señales enviadas desde un satélite hasta la plataforma, donde el valor de retardo de
 correlación se corresponde con un desfase temporal en la recepción de la propagación del patrón de
 15 interferencia en dicha primera antena en una primera ubicación y en dicha segunda antena en una segunda
 ubicación que es causado por la región de aire turbulento, y
 calcular la distancia basándose en el valor de retardo de correlación.
10. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 9, donde el elemento lógico de procesamiento está configurado
 20 adicionalmente para:
- muestrear una primera serie de amplitudes de señal, que se corresponde con el patrón de interferencia recibido,
 en la primera antena y con un intervalo de muestreo; y
 muestrear una segunda serie de amplitudes de señal, que se corresponde con el patrón de interferencia recibido,
 en la segunda antena y con el intervalo de muestreo.
- 25 11. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende adicionalmente un módulo de correlación que
 está acoplado con el elemento lógico de procesamiento y configurado para:
- 30 calcular unos coeficientes de correlación temporal entre la primera y la segunda series de amplitudes de señal;
 calcular unos valores de retardo de correlación que se corresponden con los coeficientes de correlación temporal
 calculados; y
 seleccionar el valor de retardo de correlación que se corresponde con el valor más alto del coeficiente de
 correlación temporal calculado.
- 35 12. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende adicionalmente un módulo de memoria que está
 acoplado con el elemento lógico de procesamiento y configurado para almacenar:
- 40 la primera y la segunda series de amplitudes de señal;
 los coeficientes de correlación temporal calculados;
 los valores de retardo de correlación; y
 el intervalo de muestreo.
- 45 13. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 - 12, donde el receptor comprende un receptor
 de satélite.
14. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 - 13, que comprende adicionalmente una red de
 comunicación que está acoplada con el elemento lógico de procesamiento y configurada para emitir un aviso que
 indica la distancia.
- 50 15. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 - 14, donde el elemento lógico de procesamiento
 está configurado adicionalmente para:
- 55 muestrear una primera serie de fases de señal, que se corresponde con el patrón de interferencia recibido, en la
 primera antena y con un intervalo de muestreo; y
 muestrear una segunda serie de fases de señal, que se corresponde con el patrón de interferencia recibido, en la
 segunda antena y con el intervalo de muestreo.
- 60 16. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 - 15, donde el módulo de correlación está
 configurado adicionalmente para:
- 65 calcular unos coeficientes de correlación temporal entre una primera y una segunda series de fases de señal;
 calcular unos valores de retardo de correlación que se corresponden con los coeficientes de correlación temporal
 calculados; y
 seleccionar el valor de retardo de correlación que se corresponde con el valor más alto del coeficiente de
 correlación temporal calculado.

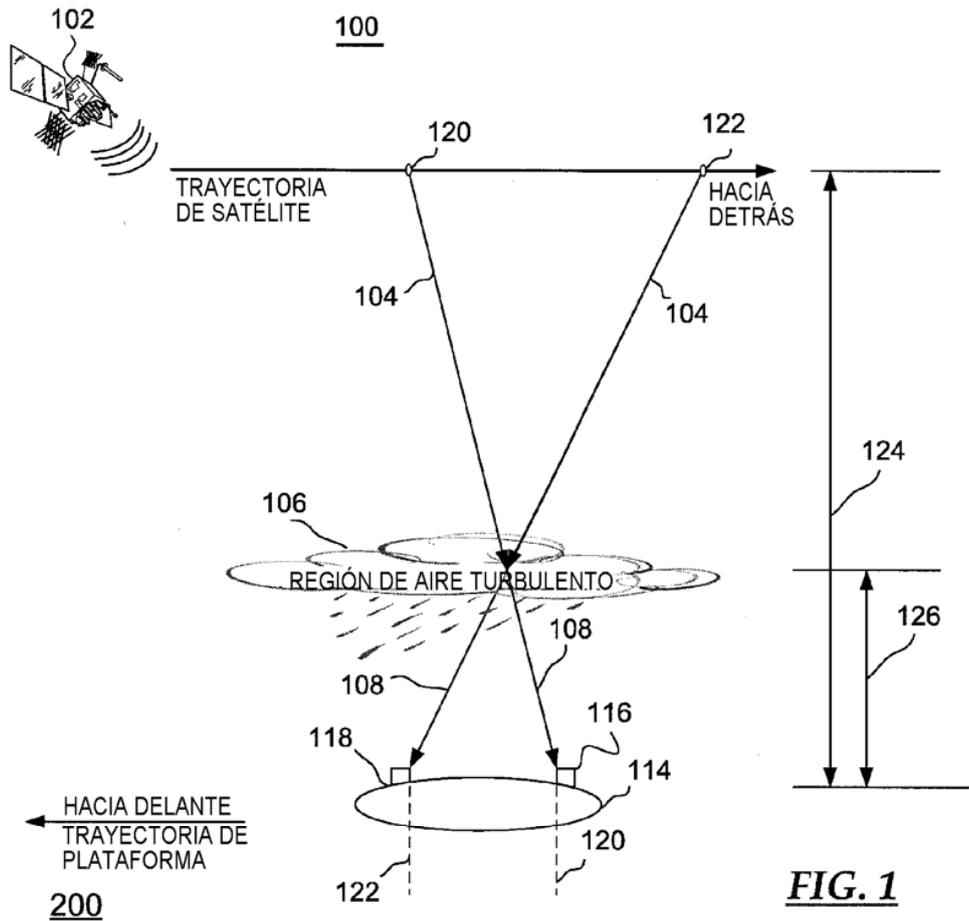


FIG. 1

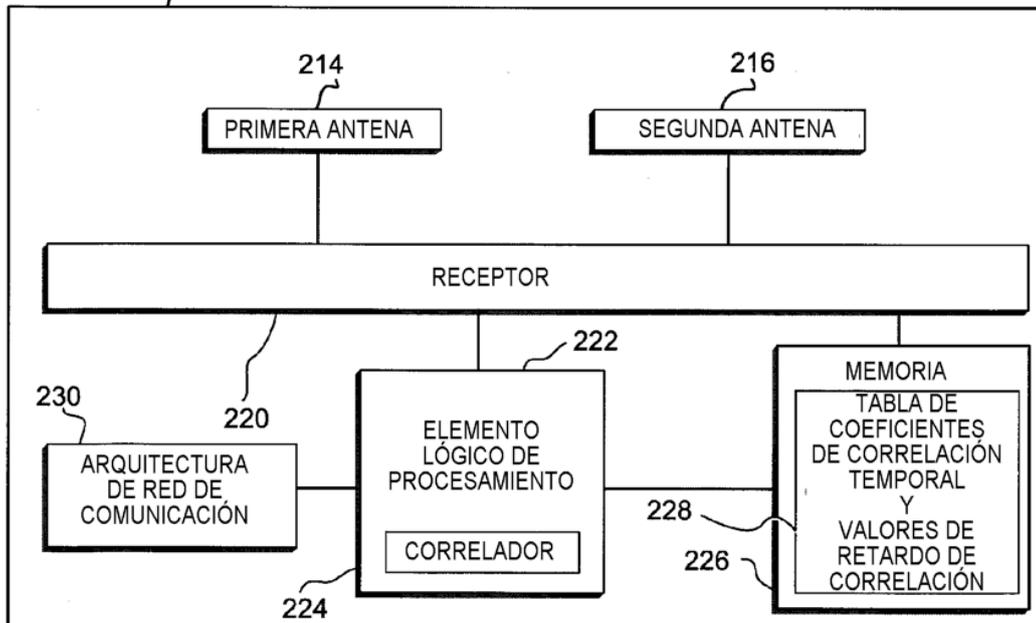


FIG. 2

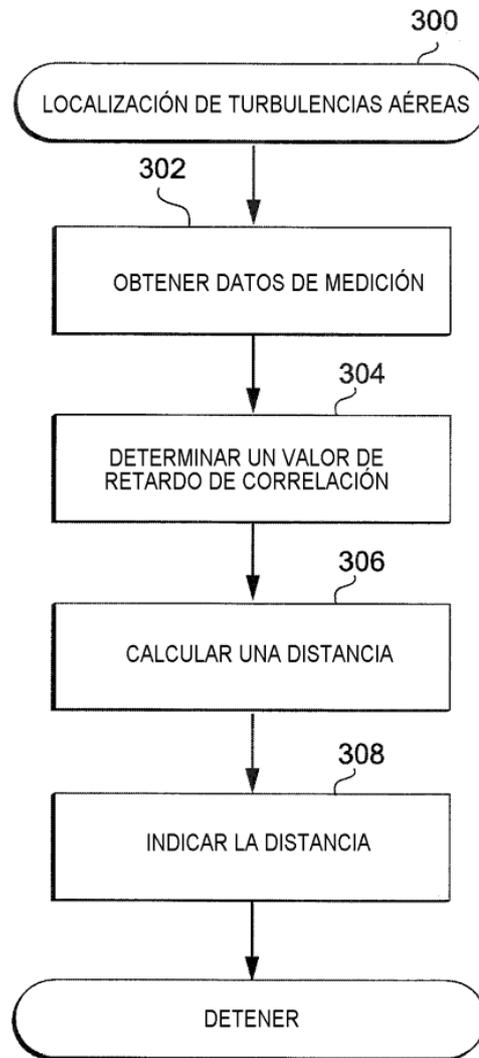


FIG. 3

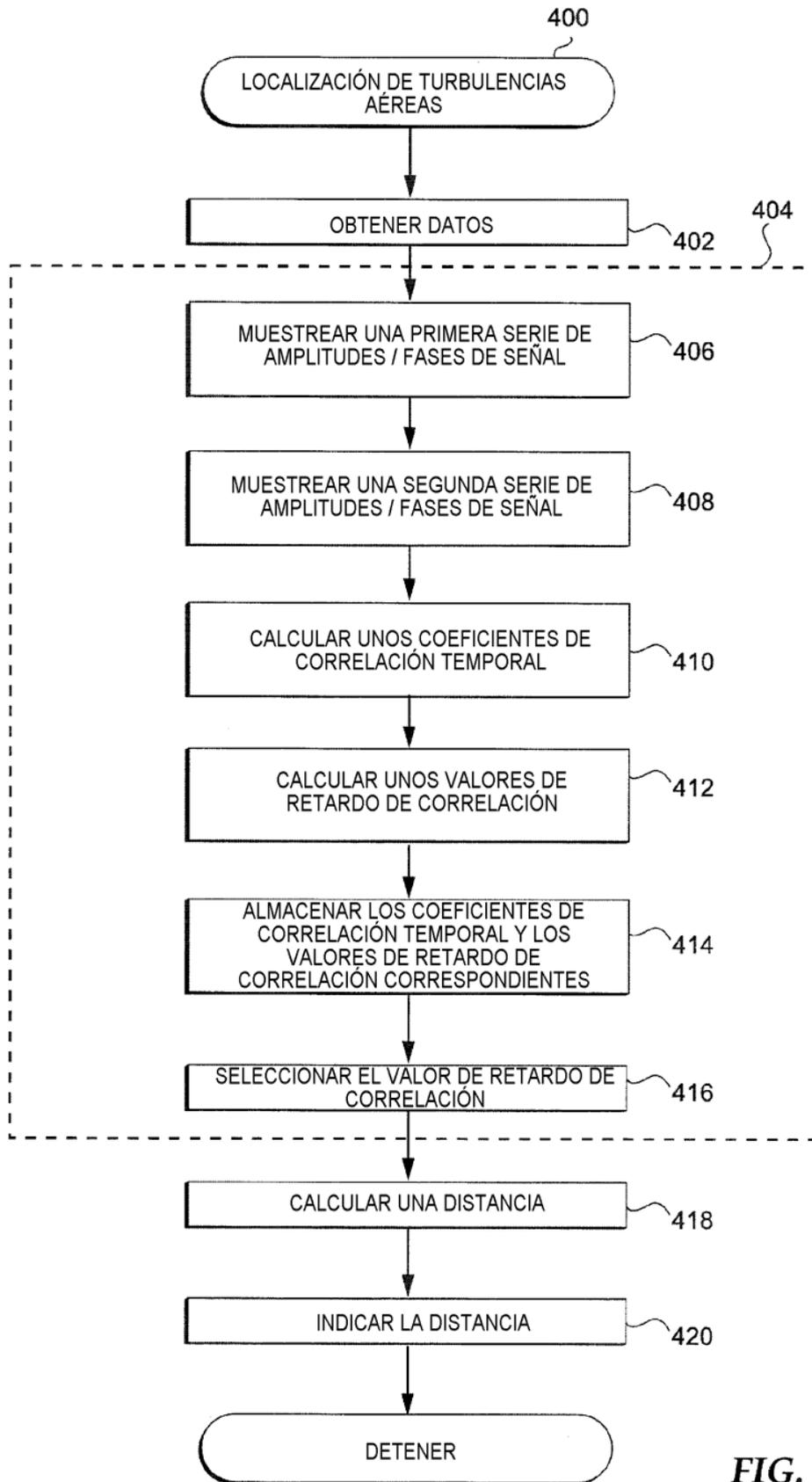


FIG. 4

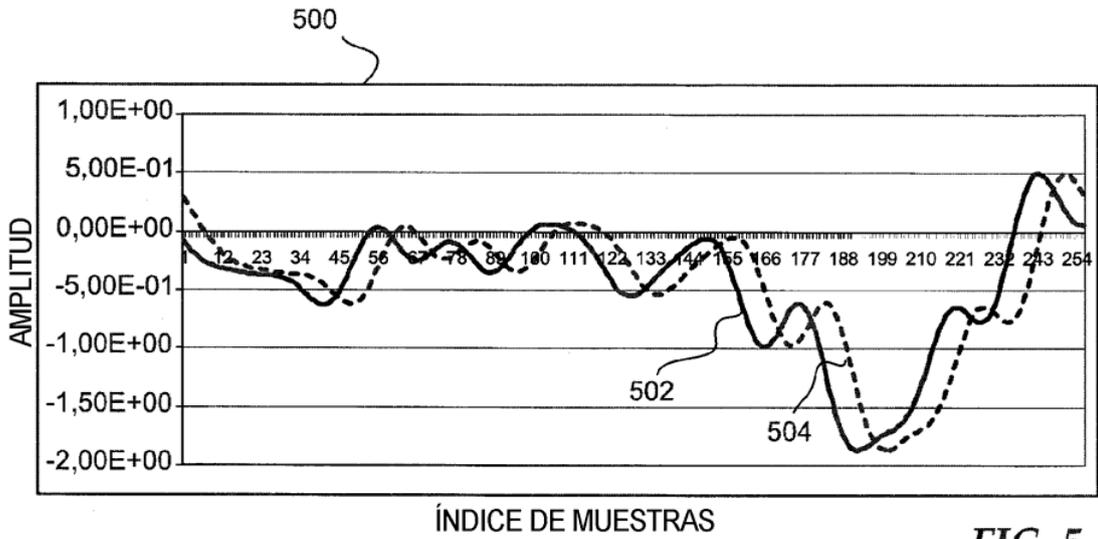


FIG. 5

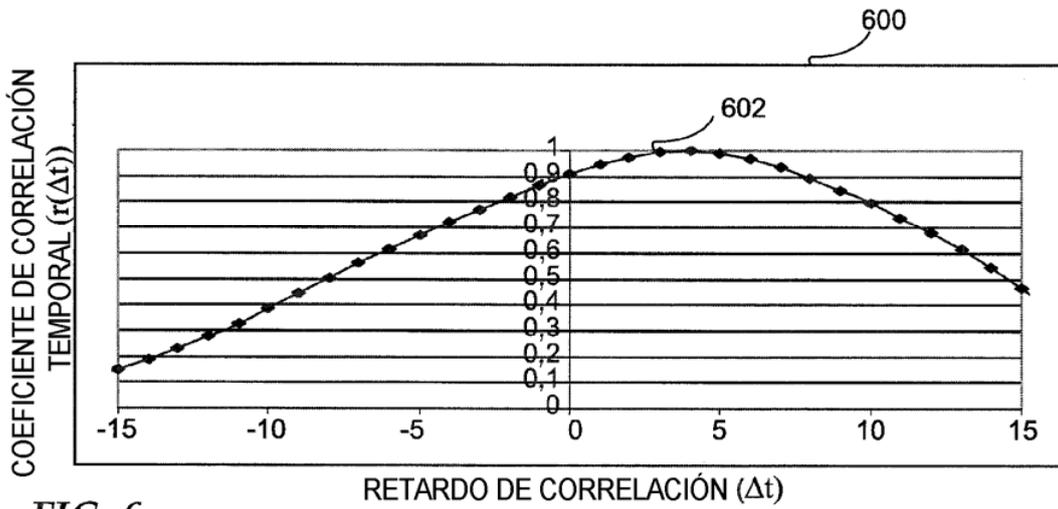


FIG. 6

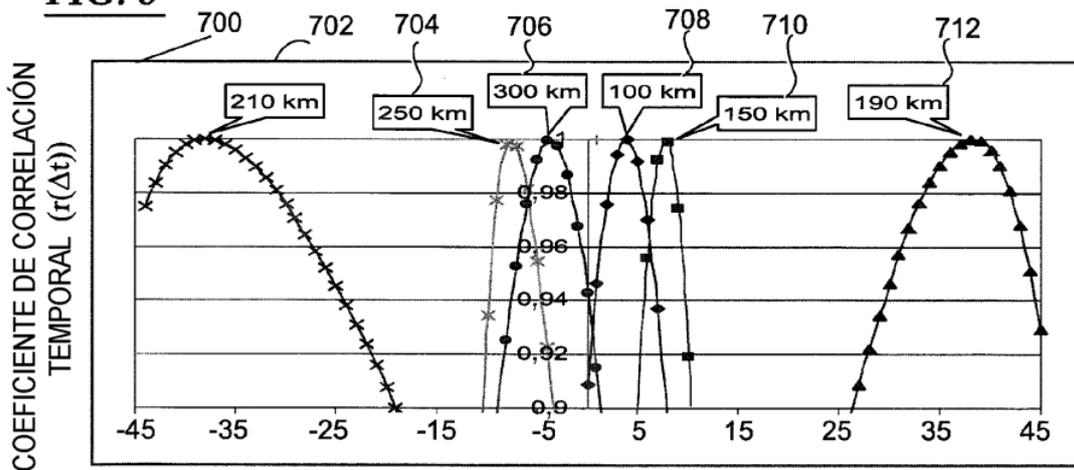


FIG. 7