

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 369 476**

51 Int. Cl.:
G01S 3/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09352001 .3**
96 Fecha de presentación: **30.01.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2085787**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.08.2009**

54 Título: **PROCEDIMIENTOS Y SISTEMA PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁNGULOS DE MIRA ENTRE DOS DISPOSITIVOS.**

30 Prioridad:
30.01.2008 FR 0850556

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.12.2011

73 Titular/es:
**ASTRIUM SAS
6 RUE LAURENT PICHAT
75016 PARIS, FR**

72 Inventor/es:
**Voirin, Thomas;
Kervendal, Erwan y
Sembély, Xavier**

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 369 476 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

Procedimientos y sistema para la determinación de ángulos de mira entre dos dispositivos.

5 La presente invención se refiere a la determinación de ángulos de mira entre dos dispositivos. Más particularmente, la presente invención se refiere a la determinación de ángulos de mira basada en medidas de fases angulares de señales radioeléctricas emitidas por un primer dispositivo y recibidas por un segundo dispositivo.

La línea de mira de un primer dispositivo denominado emisor en un sistema de coordenadas asociado a un segundo dispositivo denominado receptor, es, por definición, la dirección, en dicho sistema de coordenadas del dispositivo receptor, de un vector que une el centro de dicho sistema de coordenadas del dispositivo receptor con el centro de un sistema de coordenadas asociado al dispositivo emisor.

10 El conocimiento de la línea de mira entre un primer vehículo que porta el dispositivo emisor y un segundo vehículo que porta el dispositivo receptor, se utiliza en numerosas aplicaciones, en particular, en los sistemas aeroespaciales.

15 Por ejemplo, el conocimiento de la línea de mira entre dos vehículos, asociado a un conocimiento de una distancia entre dichos dos vehículos, permite determinar la posición relativa del primer vehículo con respecto al segundo vehículo. El conocimiento de la posición relativa es particularmente útil en el caso de vehículos espaciales que llevan a cabo una misión de cita autónoma en órbita (los vehículos se acercan el uno al otro hasta entrar en contacto), o bien en una misión de vuelo en formación (en la que los vehículos deben estabilizarse precisamente en una posición fija uno con respecto al otro). En estos dos ejemplos, la distancia entre los dos vehículos está comprendida generalmente entre algunos metros y algunos kilómetros.

20 Otra aplicación del conocimiento de la línea de mira es la determinación de la posición, que puede ser obtenida a partir del conocimiento de las líneas de mira entre el dispositivo receptor cuya posición se desea determinar, y al menos dos dispositivos emisores cuyas posiciones relativas son conocidas (tales como satélites de GPS [Sistema Global de Localización –“Global Positioning System”]) y tales que las líneas de mira correspondientes son sensiblemente diferentes.

25 En la práctica, en estas aplicaciones, la incertidumbre sobre la línea de mira entre los dispositivos emisor y receptor debe ser lo más pequeña posible, de preferencia, comprendida entre algunas décimas de grados y varios grados. Por otra parte, la determinación de la línea de mira debe ser realizada de la forma más simple posible, sin introducir restricciones de concepción demasiado importantes en los dispositivos emisor y receptor.

30 Procedimientos conocidos de determinación de la línea de mira están basados en medidas de fases angulares de señales radioeléctricas emitidas por una antena de emisión del dispositivo emisor y recibidas por una base de antenas de recepción del dispositivo receptor, es decir, un par de antenas de recepción R_1 y R_2 , separadas una distancia L^{12} que está generalmente comprendida entre varias decenas de centímetros y varios metros. Las señales radioeléctricas comprenden al menos una componente periódica de longitud de onda fija y conocida λ_1 .

35 Los procedimientos conocidos basados en medidas de fases angulares utilizan una medida $\Delta\tilde{\varphi}_1^{12}$ de una diferencia de las fases angulares de las señales radioeléctricas recibidas en las dos antenas de recepción, de tal manera que dichas fases angulares se miden el módulo 2π . Una medida $\Delta\tilde{\phi}_1^{12}$ de diferencia de fase lineal, homogénea a una distancia, se obtiene a partir de la medida $\Delta\tilde{\varphi}_1^{12}$ de diferencia de fase angular, calculando:

$$\Delta\tilde{\phi}_1^{12} = \frac{\Delta\tilde{\varphi}_1^{12} \lambda_1}{2\pi}.$$

40 En el caso de que la distancia entre los dispositivos emisor y receptor sea grande en comparación con la distancia L^{12} , típicamente en un factor de 10 o más, la diferencia de fase lineal depende esencialmente de una diferencia de recorrido d^{12} de las señales radioeléctricas recibidas en las dos antenas de recepción R_1 y R_2 . El conocimiento de dicha diferencia de recorrido permite determinar un ángulo de mira que es el ángulo entre la recta que une los centros radioeléctricos de las dos antenas de recepción y la recta que une el centro radioeléctrico de una de las dos antenas de recepción con el centro radioeléctrico de la antena de emisión.

45 La utilización de al menos tres antenas de recepción no alineadas permite determinar al menos dos ángulos de mira que definen completamente la línea de mira.

Una dificultad esencial de estos procedimientos radica en el hecho de que las fases angulares se miden en módulo 2π , es decir, que tan solo se conocen con una aproximación de un número entero de veces 2π , siendo el número entero conocido a priori. Para determinar la diferencia de recorrido d^{12} , la ambigüedad de la medida $\Delta\tilde{\phi}_1^{12}$ de diferencia de fase lineal debe ser levantada o suprimida al determinar el número entero correspondiente.

Para suprimir la ambigüedad de la medida $\Delta\tilde{\phi}_1^{12}$ de diferencia de fase lineal, se conoce un procedimiento denominado de «espacio nulo» en la literatura anglosajona, consistente en llevar a cabo una exploración sistemática de todas las combinaciones de números enteros y en determinar la combinación más verosímil. La Solicitud WO 2007/013069 propone, además, utilizar dos señales radioeléctricas de frecuencias diferentes para reducir el número de combinaciones posibles. Este procedimiento presenta el inconveniente de ser completo y necesitar una gran potencia de cálculo.

Se conoce igualmente un procedimiento, denominado «basado en el movimiento», consistente en impartir un movimiento de rotación conocido al vehículo que porta el dispositivo receptor, y utilizar este movimiento para levantar o suprimir la ambigüedad. En este caso, la puesta en práctica del procedimiento impone limitaciones importantes en las operaciones del sistema e introduce un cierto retardo para efectuar el movimiento de rotación, durante el cual la línea de mira puede cambiar.

Un procedimiento denominado de «pseudodistancia» o de «pseudoalcance», determina directamente la diferencia de recorrido a partir de medidas de los tiempos de propagación entre la antena de emisión del dispositivo emisor y las antenas de recepción del dispositivo receptor.

Determinando directamente la diferencia de recorrido si utilizar la medida $\Delta\tilde{\phi}_1^{12}$ de diferencia de fase lineal, no hay ambigüedad que suprimir. Sin embargo, la estimación de la diferencia de recorrido así obtenida es muy ruidosa, ya que resulta difícil, en la práctica, obtener medidas de tiempos de propagación con una buena precisión, sobre todo en presencia de trayectos múltiples ente el dispositivo emisor y el dispositivo receptor.

La presente invención propone un procedimiento de determinación de la línea de mira cuya precisión se corresponde con las necesidades actuales. Los cálculos que se han de efectuar son poco numerosos y analíticos, y la ambigüedad se levanta en el caso de que las antenas de recepción y longitudes de onda de las señales radioeléctricas emitidas por el dispositivo emisor verifiquen ciertas condiciones, las cuales son garantizadas por la puesta en práctica de un procedimiento de concepción.

De acuerdo con la invención, un procedimiento para determinar al menos un ángulo de mira entre un dispositivo receptor que comprende al menos dos antenas de recepción y al menos un dispositivo emisor que comprende al menos una antena de emisión de señales radioeléctricas sobre al menos dos longitudes de onda diferentes λ_1 y λ_2 , aptas para ser recibidas por las al menos dos antenas de recepción de dicho dispositivo receptor, en el cual se estima al menos una diferencia de recorrido de las señales radioeléctricas entre dos antenas de recepción de una base de antenas, a fin de determinar el al menos un ángulo de mira, comprende una etapa de determinación para

cada longitud de onda λ_p considerada, con $p = 1$ y 2 , de una medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase $\Delta\psi_p^{12} = C_p\Delta\phi_p^{12}$ entre las dos antenas de recepción, donde C_p designa un número real no nulo a priori conocido y $\Delta\phi_p^{12}$ designa una diferencia de fase lineal, homogénea a una distancia.

El procedimiento de acuerdo con la invención se caracteriza por que comprende las etapas siguientes:

- determinación de una diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12}$ entre las dos antenas de recepción por combinación lineal de las medidas $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencias de fase determinadas para cada longitud de onda λ_p , la cual se expresa de la forma:

$$\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12} = D \left(\frac{P}{c_1\lambda_1} \Delta\tilde{\psi}_1^{12} - \frac{Q}{c_2\lambda_2} \Delta\tilde{\psi}_2^{12} \right),$$

donde D designa un número real no nulo conocido a priori, P y Q son los números enteros no nulos tales que $P\lambda_2 \neq Q\lambda_1$,

- determinación de un valor $\Delta\hat{N}_{WL}^{12}$ entero de una ambigüedad de la diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12}$, igual a:

$$\Delta\hat{N}_{WL}^{12} = R(-\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12} / D),$$

donde R(x) designa el número entero más próximo a x,

- determinación de una primera estimación \hat{d}_{WL}^{12} de la al menos una diferencia de recorrido de las señales radioeléctricas entre las dos antenas de recepción, igual a:

$$\hat{d}_{WL}^{12} = \frac{\lambda_{WL}^{12}}{D} (\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12} + D\Delta\tilde{N}_{WL}^{12}),$$

donde λ_{WL}^{12} es una longitud de onda virtual igual a $\lambda_1\lambda_2/(P\lambda_2 - Q\lambda_1)$.

- 5 A fin de mejorar la precisión de la estimación de la al menos una diferencia de recorrido, el procedimiento comprende igualmente las siguientes etapas:

- determinación de al menos un valor $\Delta\tilde{N}_p^{12}$ entero de una ambigüedad de la medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase de una longitud de onda λ_p , con $p = 1$ y/o 2 , como igual a:

$$\Delta\tilde{N}_p^{12} = R \left(\frac{-\Delta\tilde{\psi}_p^{12} + C_p \hat{d}_{WL}^{12}}{\lambda_p C_p} \right),$$

- 10 - determinación de al menos una segunda estimación \hat{d}_p^{12} , con $p = 1$ y/o 2 , de la al menos una diferencia de recorrido de las señales radioeléctricas entre las dos antenas de recepción, como igual a:

$$\hat{d}_p^{12} = \frac{(\Delta\tilde{\psi}_p^{12} + \lambda_p C_p \Delta\tilde{N}_p^{12})}{C_p}.$$

Ventajosamente, se calcula una estimación de la al menos una diferencia de recorrido por mínimos cuadrados a partir de al menos dos estimaciones de dicha al menos una diferencia de recorrido de entre las estimaciones \hat{d}_{WL}^{12} ,

- 15 \hat{d}_1^{12} y \hat{d}_2^{12} y de una estimación de un nivel de errores presentes en dichas estimaciones.

Si se ha de calcular una única estimación \hat{d}_p^{12} , se estima un nivel de errores presentes en la medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase para cada longitud de onda λ_p , con $p = 1$ y 2 , y se calcula una sola estimación \hat{d}_p^{12} de la al menos una diferencia de recorrido a partir de la medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$, con $p = 1$ o 2 , de diferencia de fase para la cual el nivel de errores estimado es el más pequeño.

- 20 Con el fin de reducir el nivel o grado de un ruido de medida, se filtran valores estimados sucesivos de la al menos una diferencia de recorrido, obtenidos a partir de una sucesión de medidas de diferencias de fases.

Para reducir inicialmente los errores de medida, una estimación $\Delta\hat{\beta}_p^{12}$ de un sesgo diferencial de medida $\Delta\beta_p^{12}$ sobre la medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase, igual a $C_p \Delta b_p^{12}$ o a Δb_p^{12} , que designa un sesgo diferencial de medida de fase lineal, se establece previamente por teoría o por simulación o experimentación para al menos una longitud de onda λ_p , con $p = 1$ y/o 2 , y las etapas de dicho procedimiento son aplicadas reemplazando al menos una medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase por una medida de diferencia de fase tras la corrección $\Delta\tilde{\psi}_p^{12} - \Delta\hat{\beta}_p^{12}$, con $p = 1$ y/o 2 .

- 25 A fin de mejorar el rendimiento del procedimiento, se determina una estimación $\Delta\hat{\beta}_p^{12}$ de un sesgo diferencial de medida $\Delta\beta_p^{12} = C_p \Delta b_p^{12}$ sobre la medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase, para al menos una longitud de onda λ_p , con $p = 1$ y/o 2 , al menos a partir de respuestas de fase angular de dos antenas de recepción previamente determinadas por teoría o por simulación o experimentación, y de al menos un valor de un ángulo de mira determinado a partir de una estimación de la al menos una diferencia de recorrido obtenida por el procedimiento, y las etapas de dicho procedimiento son aplicadas reemplazando al menos una medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase

por una medida de diferencia de fase tras la corrección, $\Delta\tilde{\psi}_p^{12} - \Delta\hat{\beta}_p^{12}$, con $p = 1$ y/o 2 .

En este caso y para reducir errores de medida de manera iterativa, el procedimiento se itera, ventajosamente, al menos dos veces, de tal modo que se calculan estimaciones $\Delta\hat{\beta}_p^{12}$, con $p = 1$ y/o 2 , para cada iteración del procedimiento, y se aplican las etapas de dicho procedimiento reemplazando al menos una medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase por una medida de diferencia de fase después de corrección, $\Delta\tilde{\psi}_p^{12} - \Delta\hat{\beta}_p^{12}$, con $p = 1$ y/o 2 .

En los modos de puesta en práctica en los que se utilizan diferencias de fase después de corrección, estas son calculadas ya sea antes de determinar la primera estimación \hat{d}_{WL}^{12} , considerando, preferiblemente, dos diferencias de fase después de corrección, $\Delta\tilde{\psi}_p^{12} - \Delta\hat{\beta}_p^{12}$, con $p = 1$ y 2 , ya sea tras el cálculo de la primera estimación \hat{d}_{WL}^{12} para determinar al menos una segunda estimación \hat{d}_p^{12} , con $p = 1$ y/o 2 .

10 De preferencia, los números enteros no nulos P y Q se escogen de tal manera que el número racional P/Q se encuentre próximo a la relación entre las longitudes de onda λ_1/λ_2 .

La invención se refiere, igualmente, a un procedimiento para determinar las características esenciales de un sistema de determinación de al menos un ángulo de mira con el procedimiento precedente. El procedimiento se caracteriza por el hecho de que las características esenciales son al menos un valor de una distancia L^{12} entre la dos antenas de recepción de la base de antenas considerada para estimar la al menos una diferencia de recorrido, valores de dos longitudes de onda λ_1 y λ_2 , y valores del par de enteros P y Q no nulos, los cuales definen tres grupos de características esenciales.

El procedimiento consiste en determinar un conjunto de valores para dicha características esenciales que corresponda a la condición siguiente:

20
$$L^{12} < \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}.$$

Con el fin de tener en cuenta los errores de medida en las señales radioeléctricas, se determinan estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_p^{12}|$ de límites superiores de valores absolutos de errores diferenciales de medida de fase lineal entre las dos antenas de recepción de la base de antenas, homogéneas a ciertas distancias, para cada longitud de onda λ_p , con $p = 1$ y 2 , por teoría o por simulación o experimentación, se define un límite superior máximo $\max|\Delta\hat{e}^{12}|$ igual a

25 la más grande de las estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_p^{12}|$, y el procedimiento es tal, que las características esenciales son determinadas para responder a al menos una de las condiciones siguientes:

$$L^{12} < \frac{\lambda_1 \lambda_2}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \left(\frac{1}{2} - \frac{|P|}{\lambda_1} \max|\Delta\hat{e}_1^{12}| - \frac{|Q|}{\lambda_2} \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| \right),$$

$$L^{12} < \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} - \frac{(|P|\lambda_2 + |Q|\lambda_1)}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \max|\Delta\hat{e}^{12}|.$$

30 Preferiblemente, las características esenciales se escogen, igualmente, de tal manera que se satisfaga al menos una de las siguientes condiciones:

$$\max|\Delta\hat{e}_1^{12}| + \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|P|},$$

$$\max|\Delta\hat{e}_1^{12}| + \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|Q|},$$

$$\max|\Delta\hat{e}^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{4 \cdot \max(|P|, |Q|)}.$$

Por ejemplo, las estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_p^{12}|$ son determinadas a partir de respuestas de fase angular de las dos antenas de recepción de la base de antenas y/o a partir de estimaciones de desviaciones tipo de ruidos de medida.

- 5 En un modo de puesta en práctica del procedimiento, se determinan, en primer lugar, las características esenciales correspondientes a dos grupos de características esenciales, y después se determinan las características esenciales correspondientes al último grupo.

En otro modo de puesta en práctica del procedimiento, se determinan, en primer lugar, las características esenciales correspondientes a un grupo de características esenciales, y seguidamente son determinadas las características esenciales correspondientes a los dos últimos grupos.

- 10 En estos dos últimos modos de puesta en práctica del procedimiento, una de las dos longitudes de onda puede estar previamente restringida de modo que sea igual a un valor dado como, por ejemplo, una longitud de onda utilizada por un sistema global de navegación por satélites.

La invención se refiere igualmente al dispositivo receptor que determina al menos un ángulo de mira por el procedimiento de determinación de la invención.

- 15 El dispositivo receptor es tal, que se satisface al menos una de las condiciones siguientes por parte de dicha base de antenas.

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{2|P\lambda_2 - Q\lambda_1|},$$

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \left(\frac{1}{2} - \frac{|P|}{\lambda_1} \max|\Delta\hat{e}_1^{12}| - \frac{|Q|}{\lambda_2} \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| \right),$$

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{2|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} - \frac{(|P|\lambda_2 + |Q|\lambda_1)}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \max|\Delta\hat{e}^{12}|.$$

- 20 Ventajosamente, el dispositivo receptor es igualmente tal, que se satisface al menos una de las condiciones siguientes:

$$\max|\Delta\hat{e}_1^{12}| + \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|P|},$$

$$\max|\Delta\hat{e}_1^{12}| + \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|Q|},$$

$$\max|\Delta\hat{e}^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{4 \cdot \max(|P|, |Q|)}.$$

- 25 En el caso de un dispositivo receptor que comprende al menos tres antenas de recepción, estas son, de preferencia, no alineadas, de tal manera que se calculan estimaciones de diferencias de recorrido para al menos dos bases de antenas y las condiciones anteriormente descritas se satisfacen para dichas al menos dos bases de antenas.

- 30 En tal caso, bien se determina un ángulo de mira para cada estimación de diferencia de recorrido, en un plano del espacio definido por la base de antenas correspondiente y el dispositivo emisor, y los al menos dos ángulos de mira se convierten en un ángulo de azimut y en un ángulo de elevación en un sistema de coordenadas asociado o unido al dispositivo receptor; o bien se determinan dichos ángulos de azimut y de elevación directamente a partir de las estimaciones de diferencias de recorrido.

Ventajosamente, las antenas de recepción se han dispuesto para presentar en una dirección dada respuestas de

fase angular sensiblemente idénticas, a fin de minimizar sesgos diferenciales de medida de fase.

De acuerdo con la invención, un sistema de determinación de al menos un ángulo de mira comprende un dispositivo receptor de acuerdo con la invención, y comprende al menos un dispositivo emisor que comporta al menos una antena de emisión de señales radioeléctricas en al menos las dos longitudes de onda λ_1 y λ_2 .

5 De preferencia, las señales radioeléctricas emitidas por el al menos un dispositivo emisor son compatibles con señales radioeléctricas emitidas por un sistema global de navegación por satélites, y un dispositivo emisor comprende un pseudosatélite.

10 Para determinar una orientación de la base de antenas de recepción del dispositivo receptor en un sistema de coordenadas de referencia, el sistema de determinación comprende al menos dos dispositivos emisores cuyos ángulos de mira con respecto al dispositivo receptor son sensiblemente diferentes, y determina dicha orientación utilizando, por una parte, estimaciones de los ángulos de mira de los al menos dos dispositivos emisores y, por otra parte, posiciones relativas del dispositivo receptor con respecto a los al menos dos dispositivos emisores conocidos a priori en el sistema de coordenadas de referencia.

15 En un modo preferido de realización del sistema de determinación, al menos dos dispositivos emisores se han instalado a bordo de satélites de un sistema global de navegación por satélites, y el dispositivo receptor está instalado a bordo de un vehículo que comprende al menos un receptor del sistema global de navegación por satélites.

Ventajosamente, las posiciones relativas del dispositivo receptor con respecto a los al menos dos dispositivos emisores se obtienen del al menos un receptor del sistema global de navegación por satélites.

20 Para determinar la posición del dispositivo receptor con respecto al sistema de coordenadas de referencia, el dispositivo receptor comprende al menos tres antenas de recepción no alineadas.

La descripción que sigue de diversos modos de realización de la invención se realiza haciendo referencia a las figuras, las cuales representan, de manera no limitativa:

- 25
- La Figura 1, una representación esquemática en el espacio de un sistema de determinación de ángulos de mira entre dos dispositivos, la cual ilustra las definiciones utilizadas en la descripción,
 - La Figura 2, una representación esquemática que ilustra el problema de la determinación de un ángulo de mira en un plano,
 - La Figura 3, las etapas del procedimiento de determinación de ángulos de mira de acuerdo con la invención,
- 30
- La Figura 4, las etapas del procedimiento de concepción del sistema de determinación de ángulos de mira de acuerdo con un modo de puesta en práctica.

35 La presente invención se refiere a un procedimiento de determinación 6 para determinar al menos un ángulo de mira, a un procedimiento de concepción 7 destinado a determinar características esenciales de un sistema de determinación 1 de ángulos de mira, a un dispositivo receptor 3 para la puesta en práctica de dicho procedimiento de determinación, e, igualmente, al sistema de determinación 1 de ángulos de mira correspondiente.

La presente invención se aplica a cualquier sistema de determinación 1 de ángulos de mira, representado en la Figura 1, que esté basado en medidas de fases angulares de señales radioeléctricas emitidas por un dispositivo emisor 4 y recibidas por el dispositivo receptor 3, el cual comprende al menos dos antenas de recepción.

40 Los dispositivos receptor 3 y emisor 4 están instalados a bordo de vehículos que son, de manera no limitativa, vehículos espaciales y/o terrestres, satélites o aeronaves.

45 Una línea de mira 2 viene determinada esencialmente por dos ángulos de mira, los cuales definen la dirección en el espacio del dispositivo emisor 4 con respecto a un sistema de coordenadas 5 del dispositivo receptor 3. Los dos ángulos de mira se definen en dos planos no paralelos, de preferencia, ortogonales. Por ejemplo, la línea de mira queda totalmente determinada por los ángulos de azimut φ y de elevación θ , que son ángulos de mira definidos en el sistema de coordenadas 5 asociado o ligado al dispositivo receptor.

50 En lo que sigue de la exposición, se supone que una diferencia entre las líneas de mira de dos antenas de recepción del dispositivo receptor 3 es despreciable, es decir, que la línea de mira 2 es sensiblemente la misma para todas las antenas de recepción de dicho dispositivo receptor. Este es el caso, por ejemplo, si un error de ángulo tolerado para los ángulos de mira que definen la línea de mira, es grande con respecto a la diferencia de ángulos de dichos ángulos de mira, cual es el caso, en particular, si las dimensiones de una base de antenas, es decir, de un par de antenas de recepción, son pequeñas en relación con la distancia entre dichos dispositivos.

El procedimiento de determinación 6 de ángulos de mira de acuerdo con la invención, representado en la Figura 3, comprende una pluralidad de etapas que se llevan a cabo, preferiblemente, por el dispositivo receptor 3 por razones de precisión asociada a la rapidez de ejecución de las etapas.

5 El procedimiento de determinación 6 se aplica en un sistema de determinación 1 de ángulos de mira en el cual el dispositivo emisor 4 comprende al menos una antena de emisión, el dispositivo receptor 3 comprende N_R antenas de recepción R_1 a R_{N_R} , siendo N_R mayor o igual que dos.

10 El dispositivo emisor 4 emite señales radioeléctricas que comprenden N_L componentes periódicas distintas, siendo N_L mayor o igual que dos, las cuales corresponden a N_L longitudes de onda diferentes λ_n , siendo $1 \leq n \leq N_L$. Las señales radioeléctricas correspondientes a longitudes de onda diferentes son emitidas de forma secuencial o simultánea.

15 El procedimiento de determinación 6 autoriza la determinación, salvo el signo, de un ángulo de mira por cada base de antenas de recepción, es decir, por cada par de antenas de recepción. El ángulo de mira determinado para la base de antenas consideradas es el ángulo formado entre la recta que une los centros radioeléctricos de las dos antenas de recepción de la base de antenas y la recta que une el centro radioeléctrico de una de las dos antenas de recepción con el centro radioeléctrico de la antena de emisión.

20 La ambigüedad sobre el signo del ángulo de mira que se ha de determinar se levanta o suprime en la práctica debido al hecho de que una base de antenas instaladas a bordo de un vehículo tan solo asegura un cambio de visión del orden de 2π estereorradianes: la detección en una base de antenas de una potencia de señales radioeléctricas superior a un umbral previamente establecido permite, por tanto, suponer que el dispositivo emisor 4 se encuentra en el campo de visión de la base de antenas considerada, y suprimir dicha ambigüedad de signo. Se obtiene, en la práctica, un campo de visión de 4π estereorradianes colocando bases de antenas de uno a otro lado de dicho vehículo. Debido a este hecho, se supone en lo que sigue de la exposición que se ha levantado la ambigüedad sobre el signo del ángulo de mira.

25 A fin de determinar dos ángulos de mira que definen la línea de mira, el procedimiento de determinación 6 necesita, para el dispositivo receptor 3, al menos dos bases de antenas no paralelas, es decir, un número N_R de antenas de recepción al menos igual a 3, de tal modo que las al menos tres antenas de recepción no están alineadas, a fin de definir, con la antena de emisión, al menos dos planos no paralelos. Los dos ángulos de mira determinados son, por ejemplo, para la Figura 1:

- 30
- el ángulo de mira θ para la base de antenas (R_1, R_2) y un ángulo de mira ψ para la base de antenas (R_1, R_3), a partir de los cuales pueden determinarse los ángulos de elevación y de azimut,
 - los ángulos de elevación y de azimut que se determinan directamente.

35 En una primera instancia, a fin de presentar los principios de la invención, el procedimiento de determinación 6 se describe en el caso de la determinación de un ángulo de mira para una base de antenas, es decir, en el caso de un problema de dos dimensiones tal como que se ha presentado en la Figura 2. Además, la descripción se realiza para un sistema de determinación 1 que comprende dos longitudes de onda λ_1 y λ_2 y dos antenas de recepción R_1 y R_2 .

En una primera etapa 61 del procedimiento de determinación 6, se determinan medidas $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencias de fase lineal $\Delta\phi_n^{12}$, homogéneas a ciertas distancias, entre las dos antenas de recepción R_1 y R_2 , para cada longitud de onda λ_n ($1 \leq n \leq 2$).

40 Las medidas $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencias de fase lineal $\Delta\phi_n^{12}$ se obtienen, por ejemplo, a partir de medidas $\Delta\tilde{\varphi}_n^{12}$ de diferencias de fase angular $\Delta\varphi_n^{12}$, donde $\Delta\varphi_n^{12} = \varphi_n^1 - \varphi_n^2$, siendo φ_n^1 y φ_n^2 las fases angulares de las señales radioeléctricas recibidas por las antenas de recepción R_1 y R_2 , aplicando la relación:

$$\Delta\tilde{\phi}_n^{12} = \frac{\Delta\tilde{\varphi}_n^{12} \lambda_n}{2\pi}.$$

En otro modo de realización, se obtienen medidas $\tilde{\phi}_n^m$ de las fases lineales ϕ_n^m , tales como $\Delta\tilde{\phi}_n^{12} = \phi_n^1 - \phi_n^2$, a partir de medidas $\tilde{\varphi}_n^m$ ($1 \leq m \leq 2$) de las fases angulares, aplicando la relación $\tilde{\phi}_n^m = \tilde{\varphi}_n^m \lambda_n / 2\pi$.

45 Las señales de fase angular están definidas salvo 2π y se expresan, generalmente, por convención en el intervalo $]-\pi, \pi]$. Sin embargo, las etapas del procedimiento de determinación 6 no dependen del intervalo escogido para medir dichas señales de fase angular.

Las medidas $\tilde{\phi}_n^m$ de las fases lineales ϕ_n^m se expresan bajo la forma de una suma de términos homogéneos a ciertas distancias:

$$\tilde{\phi}_n^m = \phi_n^m + e_n^m = d^m - \lambda_n N_n^m + \phi_n + e_n^m \quad (1)$$

En esta expresión:

- 5 - d^m es una distancia entre la antena del dispositivo emisor 4 y la antena de recepción R_m del dispositivo receptor 3,
- e_n^m es un error de medida de fase lineal que se descompone, generalmente, en un ruido de medida de fase lineal ε_n^m y un sesgo de medida de fase lineal b_n^m que se introduce, entre otras cosas, por la respuesta de fase de dicha antena de recepción R_m para la longitud de onda λ_n y/o por trayectos múltiples entre el dispositivo emisor y la antena R_m ,
- 10 - ϕ_n corresponde a una fase lineal inicial en la antena de emisión del dispositivo emisor 4,
- N_n^m es un número entero que representa el número de longitudes de onda enteras recorridas por la señal radioeléctrica de longitud de onda λ_n entre el dispositivo emisor 4 y la antena de recepción R_m del dispositivo receptor 3.

15 De (1) se deduce la expresión de las dos medidas $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencias de fase lineal:

$$\Delta\tilde{\phi}_n^{12} = d^{12} - \lambda_n \Delta N_n^{12} + \Delta e_n^{12} \quad (2)$$

donde:

- d^{12} es igual a $d^1 - d^2$ y corresponde a una diferencia de recorrido de las señales radioeléctricas emitidas por el dispositivo emisor 4 y recibidas por las antenas de recepción R_1 y R_2 del dispositivo receptor 3,
- 20 - Δe_n^{12} es igual a $e_n^1 - e_n^2$ y corresponde a un error diferencial de medida de fase lineal para la longitud de onda λ_n entre dichas antenas R_1 y R_2 , que se descompone en un sesgo diferencial de medida de fase lineal Δb_n^{12} , igual a $b_n^1 - b_n^2$, y un ruido diferencial de medida de fase lineal $\Delta \varepsilon_n^{12}$, igual a $\varepsilon_n^1 - \varepsilon_n^2$,
- ΔN_n^{12} es un número entero igual a $N_n^1 - N_n^2$.

Considerando (2), se observa que la medida $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencia de fase lineal es igual, salvo el error diferencial de medida Δe_n^{12} , a la diferencia entre la diferencia de recorrido d^{12} y el número entero ΔN_n^{12} , multiplicada por la longitud de onda λ_n . El número entero ΔN_n^{12} corresponde, por tanto, a la ambigüedad que queda en la medida $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencia de fase lineal, que debe ser suprimida.

En un modo particular de puesta en práctica del procedimiento de determinación 6, medidas sucesivas de diferencias de fase, lineal o angular, son filtradas para reducir los ruidos diferenciales de medida. Ventajosamente, las medidas sucesivas se obtienen en una ventana de tiempo durante la cual las variaciones del ángulo de mira son despreciables.

En otro modo particular de realización del procedimiento de determinación 6, se lleva a cabo una corrección de los sesgos diferenciales de medida de fase lineal Δb_n^{12} sobre las medidas $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencias de fase lineal.

Los sesgos diferenciales de medida Δb_n^{12} se descomponen esencialmente en dos partes:

- 35 - una parte que no depende del ángulo de mira investigado (sesgo introducido por las etapas radioeléctricas de las antenas de recepción, diferencias de frecuencias de muestreo de las señales radioeléctricas, etc.),

- una parte que depende del ángulo de mira buscado (respuestas de fase angular de las antenas de recepción R_1 y R_2 , trayectos múltiples entre el dispositivo emisor 4 y dichas antenas de recepción, etc.).

5 En este modo, se obtienen estimaciones $\Delta\hat{b}_n^{12}$ de los sesgos diferenciales de medida de fase lineal Δb_n^{12} por adelantado, para al menos una de dichas dos partes, por teoría, simulación o experimentación. Por ejemplo, se obtienen estimaciones $\Delta\hat{b}_n^{12}$ para la parte que depende del ángulo de mira buscado, a partir de las respuestas de fase angular de las antenas de recepción, que son conocidas a priori por calibración, y de un valor aproximativo del ángulo de mira buscado, obtenido por otros medios.

En este modo de realización, las etapas posteriores del procedimiento se aplican reemplazando las medidas $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencias de fase lineal por medidas de diferencias de fase lineal tras la corrección $\Delta\tilde{\phi}_n^{12} - \Delta\hat{b}_n^{12}$.

10 En una segunda etapa 62 del procedimiento de determinación 6, las medidas $\Delta\tilde{\phi}_1^{12}$ y $\Delta\tilde{\phi}_2^{12}$ de diferencias de fase lineal de la base de antenas para las dos longitudes de onda λ_1 y λ_2 , son combinadas linealmente para obtener una diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12}$, igualmente denominada diferencia de fase de «Wide Lane» («Calle ancha») (de aquí la notación acrónima WL).

La segunda etapa 62 consiste en calcular la diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12}$:

15
$$\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12} = A\Delta\tilde{\phi}_1^{12} - B\Delta\tilde{\phi}_2^{12} \quad (3)$$

A y B son números reales no nulos que son iguales, respectivamente, a $P\lambda_2/(P\lambda_2 - Q\lambda_1)$ y a $Q\lambda_1/(P\lambda_2 - Q\lambda_1)$, donde P y Q son números enteros no nulos que son parámetros del procedimiento de determinación 6 y que son tales, que $P\lambda_2 \neq Q\lambda_1$. Por ejemplo, P y Q son iguales a 1. De preferencia, P y Q se escogen de tal manera que $P\lambda_2 - Q\lambda_1$ sea pequeño en valor absoluto con el fin de tener números reales A y B grandes en valor absoluto, es decir, de tal modo que el número racional P/Q sea próximo a la relación entre las longitudes de onda λ_1/λ_2 .

Los números reales A y B son, preferiblemente, positivos pero, en lo que sigue de la exposición, se describe el caso general.

Considerando (2) y (3), se deduce la expresión de la diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12}$:

25
$$\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12} = d^{12} - \lambda_{WL}^{12} \Delta N_{WL}^{12} + \Delta e_{WL}^{12} \quad (4)$$

En la expresión anterior:

- λ_{WL}^{12} es una longitud de onda virtual que es igual a $\lambda_1\lambda_2/(P\lambda_2 - Q\lambda_1)$,
- Δe_{WL}^{12} es un error diferencial de medida de fase lineal igual a $A\Delta e_1^{12} - B\Delta e_2^{12}$,
- ΔN_{WL}^{12} es un número entero igual a $P\Delta N_1^{12} - Q\Delta N_2^{12}$ y que corresponde a una ambigüedad de la diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12}$.

30 En una tercera etapa 63 del procedimiento de determinación 6, se obtiene un valor $\Delta\hat{N}_{WL}^{12}$ de la ambigüedad de la diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12}$ redondeando $-\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12}/\lambda_{WL}^{12}$ al número entero más próximo, ya sea superior, ya sea igual, ya sea inferior.

La función de redondeo al valor entero más cercano se denota como $R(x)$ en lo que sigue de la descripción.

Según la expresión (4), el valor $\Delta\hat{N}_{WL}^{12}$ es, por tanto, igual a:

$$\Delta\hat{N}_{WL}^{12} = R\left(-\frac{\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12}}{\lambda_{WL}^{12}}\right) = \Delta N_{WL}^{12} - R\left(\frac{1}{\lambda_{WL}^{12}}(d^{12} + \Delta e_{WL}^{12})\right).$$

La función de redondeo es tal, que $R(x) = 0$ si $|x| < 1/2$. De este hecho, el valor $\Delta\hat{N}_{WL}^{12}$ es estrictamente igual a la ambigüedad ΔN_{WL}^{12} de la diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12}$ si se satisface la condición siguiente:

$$|d^{12} + A\Delta e_1^{12} - B\Delta e_2^{12}| < |\lambda_{WL}^{12}|/2 \quad (5)$$

5 Se consideran límites superiores $\max|\Delta e_1^{12}|$ y $\max|\Delta e_2^{12}|$ de los valores absolutos de los errores diferenciales de medida de fase lineal, respectivamente Δe_1^{12} y Δe_2^{12} . Si dichos valores absolutos de los errores diferenciales de medida no son limitados, $\max|\Delta e_1^{12}|$ y $\max|\Delta e_2^{12}|$ son, por ejemplo, tales que estiman por exceso los valores absolutos de los errores diferenciales de medida en una mayoría de los casos.

10 Por otra parte, se aprecia que el valor absoluto de la diferencia de recorrido d^{12} no puede, físicamente, ser superior a una distancia entre los centros radioeléctricos de las antenas de recepción R_1 y R_2 , denominada distancia característica L^{12} , valor que se obtiene cuando el dispositivo emisor 4 se encuentra en la dirección definida por los centros radioeléctricos de las dos antenas de recepción.

Debido a este hecho, según la expresión (5), al estimar por exceso los errores diferenciales de medida de fase lineal Δe_1^{12} y Δe_2^{12} por los límites superiores $\max|\Delta e_1^{12}|$ y $\max|\Delta e_2^{12}|$, y el valor absoluto de la diferencia de recorrido

15 d^{12} por la distancia L^{12} , se deduce que el valor $\Delta\hat{N}_{WL}^{12}$ es igual a ΔN_{WL}^{12} en el caso de que el dispositivo receptor 3 y las señales radioeléctricas satisfagan la siguiente condición:

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \left(\frac{1}{2} - \frac{|P|}{\lambda_1} \max|\Delta e_1^{12}| - \frac{|Q|}{\lambda_2} \max|\Delta e_2^{12}| \right) \quad (6)$$

La condición (6) se obtiene por elecciones de características esenciales del sistema de determinación 1.

20 En el caso de que los errores diferenciales de medida de fase lineal y los límites superiores sean despreciables, la condición (6) se convierte en:

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} = \frac{|\lambda_{WL}^{12}|}{2} \quad (7)$$

Una primera estimación \hat{d}_{WL}^{12} de la diferencia de recorrido d^{12} es obtenida en el curso de una cuarta etapa 64 del procedimiento de determinación 6, introduciendo el valor $\Delta\hat{N}_{WL}^{12}$ en la expresión (4) de la diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12}$:

$$25 \quad \hat{d}_{WL}^{12} = \Delta\tilde{\phi}_{WL}^{12} + \lambda_{WL}^{12} \Delta\hat{N}_{WL}^{12} \quad (8)$$

En el caso de que $\Delta\hat{N}_{WL}^{12} = \Delta N_{WL}^{12}$, se deduce de (4) que la primera estimación \hat{d}_{WL}^{12} es igual a la diferencia de recorrido d^{12} , salvo los errores diferenciales de medida Δe_{WL}^{12} :

$$\hat{d}_{WL}^{12} = d^{12} + \Delta e_{WL}^{12} \quad (9)$$

30 En un modo particular de realización o puesta en práctica, el procedimiento de determinación 6 comprende una quinta etapa 65 y una sexta etapa 66, en las cuales se obtiene al menos una segunda estimación de la diferencia de

recorrido a partir de las medidas $\Delta\tilde{\phi}_1^{12}$ y/o $\Delta\tilde{\phi}_2^{12}$ de diferencias de fase lineal, y de la primera estimación \hat{d}_{WL}^{12} de la diferencia de recorrido.

La primera estimación \hat{d}_{WL}^{12} no es, en la práctica, de una precisión suficiente como para obtener una medida precisa del ángulo de mira θ , si bien se utiliza para levantar o suprimir la ambigüedad en dichas diferencias de fase lineal.

- 5 En el curso de la quinta etapa 65 y para al menos una longitud de onda λ_n , con $1 \leq n \leq 2$, se obtiene, en primer lugar, un valor $\Delta\hat{N}_n^{12}$ de la ambigüedad ΔN_n^{12} mediante el cálculo de la expresión siguiente:

$$\Delta\hat{N}_n^{12} = R\left(\frac{-\Delta\tilde{\phi}_n^{12} + \hat{d}_{WL}^{12}}{\lambda_n}\right) \quad (10)$$

Se deduce de (2) y de (9) que el valor $\Delta\hat{N}_n^{12}$ es igual a la ambigüedad ΔN_n^{12} de la medida $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencia de fase lineal si se satisface la condición siguiente:

10
$$\left|A\Delta e_1^{12} - B\Delta e_2^{12} - \Delta e_n^{12}\right| < \lambda_n / 2 \quad (11)$$

Considerando la longitud de onda λ_1 , la expresión (11) se convierte en:

$$\left|(A-1)\Delta e_1^{12} - B\Delta e_2^{12}\right| = \left|\frac{Q\lambda_1}{P\lambda_2 - Q\lambda_1}\Delta e_1^{12} - \frac{Q\lambda_1}{P\lambda_2 - Q\lambda_1}\Delta e_2^{12}\right| < \lambda_1 / 2$$

Estimando por exceso los errores diferenciales de medida de fase lineal Δe_1^{12} y Δe_2^{12} por los límites superiores $\max|\Delta e_1^{12}|$ y $\max|\Delta e_2^{12}|$, se deduce que el valor $\Delta\hat{N}_n^{12}$ es igual a ΔN_n^{12} si dichos límites superiores y las señales radioeléctricas satisfacen la siguiente condición:

15
$$\max|\Delta e_1^{12}| + \max|\Delta e_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|Q|} \quad (12)$$

Considerando la longitud de onda λ_2 , la condición (12) se convierte en:

$$\max|\Delta e_1^{12}| + \max|\Delta e_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|P|} \quad (13)$$

Las condiciones (12) y (13) se obtienen por elección de características esenciales del sistema de determinación 1.

- 20 En la sexta etapa 66 del procedimiento de determinación 6, el valor $\Delta\hat{N}_n^{12}$ de la ambigüedad ΔN_n^{12} se introduce, a continuación, en la expresión (2) de la medida $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencia de fase lineal con el fin de obtener una segunda estimación \hat{d}_n^{12} de la diferencia de recorrido d^{12} .

$$\hat{d}_n^{12} = \Delta\tilde{\phi}_n^{12} + \lambda_n^{12}\Delta\hat{N}_n^{12}.$$

- 25 En el caso de que $\Delta\hat{N}_n^{12} = \Delta N_n^{12}$, se deduce de (2) que la segunda estimación \hat{d}_n^{12} es igual a la diferencia de recorrido d^{12} , salvo el error diferencial de medida de fase lineal Δe_n^{12} :

$$\hat{d}_n^{12} = d^{12} + \Delta e_n^{12}.$$

La segunda estimación \hat{d}_n^{12} así obtenida es, en media, más precisa que la primera estimación \hat{d}_{WL}^{12} , debido al

hecho de que el error diferencial de medida Δe_n^{12} es, en media, inferior al error Δe_{WL}^{12} .

En un modo vecino o próximo de puesta en práctica de la quinta etapa 65 y de la sexta etapa 66, se estiman niveles de los errores diferenciales de medida en las medidas $\Delta \tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencias de fase lineal para las dos longitudes de onda, y se calculan un valor $\Delta \hat{N}_n^{12}$ y una segunda estimación \hat{d}_n^{12} únicamente para la longitud de onda para la que el nivel o magnitud estimada del error diferencial de medida es la más pequeña.

En otro modo próximo de puesta en práctica de la quinta etapa 65 y de la sexta etapa 66, se obtienen un valor $\Delta \hat{N}_n^{12}$ y una segunda estimación \hat{d}_n^{12} para cada longitud de onda de las señales radioeléctricas.

Una tercera estimación \hat{d}^{12} se calcula, por ejemplo, promediando dichas dos estimaciones \hat{d}_n^{12} o efectuando una estimación denominada de mínimos cuadrados, a partir de al menos dos estimaciones de la diferencia de recorrido d^{12} (de entre \hat{d}_{WL}^{12} , \hat{d}_1^{12} y/o \hat{d}_2^{12}) y de una estimación de los niveles de errores diferenciales de medida de fase lineal (respectivamente Δe_{WL}^{12} , Δe_1^{12} y/o Δe_2^{12}).

En un modo preferido de realización o puesta en práctica, el procedimiento de determinación 6 comprende, igualmente, una séptima etapa 67 en la que se efectúa una filtración con el fin de reducir el nivel o grado de ruido diferencial de medida comprendido en el error diferencial de medida.

La filtración se lleva a cabo en valores de la diferencia de recorrido d^{12} estimados sucesivamente durante una ventaja de tiempo no nula a partir de una sucesión de medidas de fases, y corresponde, por ejemplo, a una media de dichos valores sucesivos en un caso estático, en el que las variaciones del ángulo de mira θ son despreciables durante dicha ventana de tiempo, o a una filtración que tiene en cuenta un modelo de variación de dicho ángulo de mira, en el caso contrario.

En una octava etapa 68 del procedimiento de determinación 6, se calcula un valor del ángulo de mira θ .

Tal como se ilustra en la Figura 2, el ángulo de mira θ está ligado a la diferencia de recorrido d^{12} de las señales radioeléctricas entre las dos antenas por la relación $d^{12} = L^{12} \cos \theta$.

El valor del ángulo de mira θ se obtiene, por tanto, en el curso de dicha octava etapa a partir de una estimación de la diferencia de recorrido d^{12} y de la relación precedente, aplicando procedimientos conocidos.

Según el modo de puesta en práctica de dicho procedimiento, dicha octava etapa se lleva a cabo, ya sea después de la cuarta etapa 64 (a partir de \hat{d}_{WL}^{12}), ya sea después de la sexta etapa 66 (a partir de \hat{d}^{12} o de \hat{d}_n^{12}), ya sea después de la séptima etapa 67 (a partir de un valor filtrado).

En un modo particular de puesta en práctica, el procedimiento de determinación 6 es iterativo y se calculan estimaciones $\Delta \hat{b}_n^{12}$ de los sesgos diferenciales de medida de fase lineal al menos para la parte que depende del ángulo de mira, utilizando el valor de dicho ángulo de mira obtenido en la octava etapa 68, al menos a partir de las repuestas de fase angular de las antenas de recepción previamente establecidas por calibración.

En este modo de realización, las etapas del procedimiento de determinación 6 se llevan a cabo nuevamente:

- ya sea después de la segunda etapa 62, en cuyo caso se calculan las estimaciones $\Delta \hat{b}_n^{12}$ de los sesgos diferenciales de medida para las dos longitudes de onda, y las dos medidas $\Delta \tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencias de fase lineal son reemplazadas por medidas de diferencias de fase lineal tras la corrección $\Delta \tilde{\phi}_n^{12} - \Delta \hat{b}_n^{12}$,
- ya sea después de la quinta etapa 65, en cuyo caso se calcula al menos una estimación $\Delta \hat{b}_n^{12}$ para la al menos una longitud de onda y al menos una medida $\Delta \tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencia de fase lineal correspondiente es reemplazada por $\Delta \tilde{\phi}_n^{12} - \Delta \hat{b}_n^{12}$.

Al iterar el procedimiento de determinación 6, los valores del ángulo de mira θ son cada vez más precisos y el

número de iteraciones se escoge, por ejemplo, por simulación, con el fin de garantizar una precisión media satisfactoria para la aplicación contemplada.

Es de destacar que las etapas del procedimiento son igualmente aplicables a partir de medidas $\Delta\tilde{\varphi}_n^{12}$ de diferencias de fase angular $\Delta\varphi_n^{12} = 2\pi\Delta\phi_n^{12} / \lambda_n$,

5 o a partir de otras medidas de diferencia de fase proporcionales a las medidas $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencias de fase lineal $\Delta\phi_n^{12}$, introduciendo los coeficientes de proporcionalidad en las ecuaciones utilizadas en las diferentes etapas del procedimiento de determinación 6. De manera más general, las etapas del procedimiento son ejecutadas como sigue:

10 a) primera etapa 61: determinación, para cada longitud de onda λ_n , con $n = 1$ y 2 , de una medida $\Delta\tilde{\psi}_n^{12}$ de una diferencia de fase $\Delta\psi_n^{12}$ igual a $C_n\Delta\phi_n^{12}$, donde C_n es un factor real no nulo que depende de la implementación escogida y no modifica el resultado del procedimiento de determinación 6 (la medida $\Delta\tilde{\psi}_n^{12}$ es igual a $C_n\Delta\phi_n^{12}$; por ejemplo, si $C_n = 1$, la medida $\Delta\tilde{\psi}_n^{12}$ es igual a la medida $\Delta\phi_n^{12}$ de diferencia de fase lineal; si $C_n = 2\pi/\lambda_n$, la medida $\Delta\tilde{\psi}_n^{12}$ es igual a la medida $\Delta\tilde{\varphi}_n^{12}$ de diferencia de fase angular);

15 b) segunda etapa 62: determinación de una diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12}$ por combinación lineal de las medidas $\Delta\tilde{\psi}_n^{12}$ de diferencias de fase determinadas para cada longitud de onda λ_n , que se expresa bajo la forma siguiente:

$$\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12} = D \left(\frac{P}{C_1\lambda_1} \Delta\tilde{\psi}_1^{12} - \frac{Q}{C_2\lambda_2} \Delta\tilde{\psi}_2^{12} \right),$$

20 donde D designa un factor real no nulo que depende de la implementación escogida y no modifica el resultado del procedimiento de determinación 6 (por ejemplo, $D = \lambda_{WL}^{12}$ en el caso descrito anteriormente para las medidas $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencia de fase lineal; $D = 2\pi$ en el caso de medidas $\Delta\tilde{\varphi}_n^{12}$ de diferencias de fase angular);

c) tercera etapa 63: determinación de un valor $\Delta\tilde{N}_{WL}^{12}$ de la ambigüedad de la diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12}$ redondeando $-\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12} / D$ al número entero más próximo;

25 d) cuarta etapa 64: determinación de una primera estimación \hat{d}_{WL}^{12} que se expresa bajo la forma:

$$\hat{d}_{WL}^{12} = \frac{\lambda_{WL}^{12}}{D} (\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12} + D\Delta\tilde{N}_{WL}^{12});$$

e) quinta etapa 65: determinación de al menos una estimación $\Delta\tilde{N}_n^{12}$, $n = 1$ y/o 2 , que se expresa bajo la forma:

$$\Delta\tilde{N}_n^{12} = R \left(\frac{-\Delta\tilde{\psi}_n^{12} + C_n\hat{d}_{WL}^{12}}{\lambda_n c_n} \right);$$

30 f) sexta etapa 66: determinación de al menos una segunda estimación \hat{d}_n^{12} , con $n = 1$ y/o 2 , de la diferencia de recorrido d^{12} , que se expresa bajo la forma:

$$\hat{d}_n^{12} = \frac{(\Delta\tilde{\psi}_n^{12} + \lambda_n C_n \Delta\hat{N}_n^{12})}{C_n}$$

- g) séptima etapa: la filtración se lleva a cabo como anteriormente en valores de la diferencia de recorrido d^{12} estimados sucesivamente durante una ventana de tiempo no nula;
- h) octava etapa 68: determinación como se ha descrito anteriormente de un valor del ángulo de mira θ buscado.

5 En los modos de puesta en práctica del procedimiento de determinación en los que se efectúa una corrección de sesgos diferenciales de medida, se calcula una estimación $\Delta\hat{\beta}_n^{12}$ de un sesgo diferencial de medida $\Delta\beta_n^{12} = C_n \Delta b_n^{12}$ sobre la medida $\Delta\tilde{\psi}_n^{12}$ de diferencia de fase para al menos una longitud de onda λ_n , con $n = 1$ y/o 2, y las etapas de dicho procedimiento son aplicadas considerando al menos una medida de diferencia de fase tras la corrección $\Delta\tilde{\psi}_n^{12} - \Delta\hat{\beta}_n^{12}$, $n = 1$ y/o 2.

15 En el caso más general de una aplicación del procedimiento de determinación 6 a un dispositivo receptor 3 que comprende un cierto número de antenas de recepción N_R superior a dos y no alineadas, dicho dispositivo receptor comprende $C_{N_R}^2 = N_R! / 2!$ bases de antenas (R_m, R_l) de distancias características L^{ml} , con $1 \leq m < l \leq N_R$. En este caso, se estiman diferencias de recorrido d^{ml} para al menos dos bases de antenas, aplicando las etapas correspondientes del procedimiento de determinación 6, eventualmente con parámetros P y Q diferentes para cada base de antenas considerada.

20 En un primer modo de realización de la octava etapa 68 del procedimiento de determinación 6, se calcula un valor de un ángulo de mira para cada estimación de diferencia de recorrido d^{ml} , con $1 \leq m < l \leq N_R$. De manera preferida, los ángulos de azimut φ y de elevación θ de la línea de mira se determinan, a continuación, a partir de todos los valores de los ángulos de mira, por medio de cálculos geométricos conocidos.

En un segundo modo de realización de la octava etapa 68 de dicho procedimiento de determinación, los ángulos de azimut φ y de elevación θ se calculan directamente a partir de las estimaciones de las diferencias de recorrido d^{ml} , con $1 \leq m < l \leq N_R$, haciendo uso de la relación:

$$\begin{pmatrix} d^{12} \\ \vdots \\ d^{ml} \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} \text{sen}\theta \cos\varphi \\ \text{sen}\theta \text{sen}\varphi \\ \cos\theta \end{pmatrix}$$

25 En esta expresión, H es una matriz que comprende como mucho $C_{N_R}^2$ líneas y tres columnas y cuyos coeficientes dependen de las distancias L^{ml} , con $1 \leq m < l \leq N_R$, y de las posiciones en el sistema de coordenadas 5 de las antenas de recepción R_m , con $1 \leq m \leq N_R$.

La matriz H , por ejemplo, representada en la Figura 1, es, teniendo en cuenta las posiciones de las antenas de recepción en el sistema de coordenadas 5, igual a:

30
$$H = \begin{pmatrix} 0 & 0 & L^{12} \\ 0 & -L^{13} & 0 \\ 0 & -L^{13} & -L^{12} \end{pmatrix}$$

35 En el caso de una aplicación del procedimiento de determinación 6 en un sistema de determinación 1 en el que el dispositivo emisor emite un cierto número de longitudes de onda N_L superior a dos, se consideran longitudes de onda virtuales λ_{WL}^{nk} para al menos dos pares de longitudes de onda (λ_n, λ_k) , con $1 \leq n < k \leq N_L$. Para cada par de antenas (R_m, R_l) considerado, se obtiene una estimación de la diferencia de recorrido d^{ml} para cada longitud de onda virtual λ_{WL}^{nk} . Se determina una estimación única de la diferencia de recorrido d^{ml} , por ejemplo, a partir de las estimaciones obtenidas para las diferentes longitudes de onda virtuales consideradas, ya sea por mínimos cuadrados, ya sea promediando dichas estimaciones.

El procedimiento de concepción 7 representado en la Figura 4 se pone en práctica con el fin de determinar características esenciales de un sistema de determinación 1 de ángulos de mira para el las ambigüedades sobre las medidas de fase se levantan o suprimen en el caso de una aplicación del procedimiento de determinación 6 de acuerdo con la invención.

5 El procedimiento de concepción 7 se describe, en una primera instancia, para la concepción de un sistema de determinación 1 que comprende dos longitudes de onda λ_1 y λ_2 y dos antenas de recepción R_1 y R_2 . Las características esenciales de dicho sistema son los valores de las longitudes de onda λ_1 y λ_2 , de la distancia característica L^{12} de la base de antenas, y del par (P, Q) de números enteros no nulos que se utilizan en el procedimiento de determinación 6.

10 Las características esenciales se clasifican, por tanto, en tres grupos: longitudes de onda (λ_1 y λ_2), distancias características de bases de antenas (L^{12}), y parámetros del procedimiento de determinación 6 (P y Q).

En una primera etapa 71 de dicho procedimiento de concepción, se escogen las dos longitudes de onda λ_1 y λ_2 de las señales radioeléctricas.

15 Las dos frecuencias correspondientes a las dos longitudes de onda λ_1 y λ_2 se escogen, por ejemplo, en una banda de frecuencias permitida que puede ser impuesta por las regulaciones nacionales y/o internacionales para el tipo de aplicación pretendido. Las frecuencias se escogen, por ejemplo, dentro de la banda S, que corresponde a la gama de frecuencias que va desde 2 GHz a 4 GHz, o son tales que una de las longitudes de onda es igual a la longitud de onda del GPS [Sistema de Localización Global –“Global Positioning System”] comercial.

20 En una segunda etapa 72 del procedimiento de concepción 7, la distancia L^{12} entre las dos antenas de recepción del dispositivo receptor 3 se determina teniendo en cuenta, por ejemplo, las restricciones operacionales y las dimensiones del dispositivo receptor 3.

En una tercera etapa 73 del procedimiento de recepción, se determina el par de parámetros (P, Q) de tal manera que se satisfagan las condiciones siguientes:

$$L^{12} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}, \quad (4)$$

25 $P\lambda_2 \neq Q\lambda_1$.

Considerando las expresiones (14) y (7), se observa que la ambigüedad identificada en la descripción de la tercera etapa 63 del procedimiento de determinación 6 se suprime en el caso de que los errores diferenciales de medida de fase lineal sean despreciables.

30 En un modo particular de puesta en práctica del procedimiento de concepción 7, se determinan por teoría, simulación o experimentación estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_1^{12}|$ y $\max|\Delta\hat{e}_2^{12}|$ de los límites superiores $\max|\Delta e_1^{12}|$ y $\max|\Delta e_2^{12}|$ de los valores absolutos de los errores diferenciales de medida de fase lineal Δe_1^{12} y Δe_2^{12} .

35 Los límites superiores estimados correspondientes a los bornes superiores de los valores absolutos de los errores diferenciales de medida de fase lineal Δe_1^{12} y Δe_2^{12} en las medidas $\Delta\tilde{\phi}_n^{12}$ de diferencias de fase lineal utilizadas en la segunda etapa 62 del procedimiento de determinación 6. En el caso de que dicho procedimiento de determinación sea iterativo, solo se considera la primera ejecución de la segunda etapa 62.

Las estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_1^{12}|$ y $\max|\Delta\hat{e}_2^{12}|$ se obtienen estimando por exceso los valores absolutos de los sesgos diferenciales de medida de fase lineal Δb_1^{12} y Δb_2^{12} , y/o ruidos diferenciales de medida de fase lineal $\Delta\varepsilon_1^{12}$ y $\Delta\varepsilon_2^{12}$.

40 En el caso de los sesgos diferenciales de medida Δb_1^{12} y Δb_2^{12} , las estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_1^{12}|$ y $\max|\Delta\hat{e}_2^{12}|$ se calculan al menos a partir de las respuestas de fase angular de las dos antenas de recepción R_1 y R_2 del dispositivo receptor 3, que se han establecido previamente, por ejemplo, por calibración.

Los ruidos diferenciales de medida $\Delta\varepsilon_1^{12}$ y $\Delta\varepsilon_2^{12}$ no están necesariamente limitados y, en este caso, las

estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_1^{12}|$ y $\max|\Delta\hat{e}_2^{12}|$ se escogen, por ejemplo, de manera que sean iguales a estimaciones de las desviaciones tipo de dichos ruidos multiplicadas por números enteros, de tal modo que dichos números enteros son tales, que las estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_1^{12}|$ y $\max|\Delta\hat{e}_2^{12}|$ estiman por exceso los ruidos diferenciales de medida $\Delta\varepsilon_1^{12}$ y $\Delta\varepsilon_2^{12}$ en una mayoría de los casos, por ejemplo, en el 99% de los casos.

- 5 En este modo de realización, los parámetros P y Q se determinan de tal manera que $P\lambda_2 \neq Q\lambda_1$ y:

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \left(\frac{1}{2} - \frac{|P|}{\lambda_1} \max|\Delta\hat{e}_1^{12}| - \frac{|Q|}{\lambda_2} \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| \right) \quad (15)$$

Considerando las expresiones (15) y (6), se observa que la ambigüedad identificada por la tercera etapa 63 del procedimiento de determinación 6 se suprime en el caso de que los errores diferenciales de medida de fase lineal no sean despreciables.

- 10 Considerando un límite superior máximo $\max|\Delta\hat{e}^{12}|$ igual a la más grande de las dos estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_1^{12}|$ y $\max|\Delta\hat{e}_2^{12}|$, la expresión (15) se convierte en:

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{2|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} - \frac{(|P|\lambda_2 + |Q|\lambda_1)}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \max|\Delta\hat{e}^{12}| \quad (16)$$

Variantes del procedimiento de concepción 7 consisten en una permutación de las primera 71, segunda 72 y tercera 73 etapas.

- 15 De esta forma, se determinan primeramente las características esenciales correspondientes a dos de los grupos en los que se clasifican dichas características esenciales, y, a continuación, se determinan las características esenciales correspondientes al último grupo (es decir, ya sean las longitudes de onda λ_1 y λ_2 , ya sea la distancia característica de la base de antenas L^{12} , ya sea el par de números enteros no nulos P y Q) de tal manera que $P\lambda_2 \neq Q\lambda_1$ y que se satisfaga al menos una de las tres condiciones precedentes (14), (15) y (16).
- 20 En un modo vecino o próximo de puesta en práctica del procedimiento de concepción 7, se escogen primeramente características esenciales correspondientes a un grupo (es decir, ya sean las longitudes de onda λ_1 y λ_2 , ya sea la distancia característica de la base de antenas L^{12} , ya sea el par de números enteros no nulos P y Q) y, a continuación, se determinan las características esenciales correspondientes a los dos últimos grupos conjuntamente, de tal manera que $P\lambda_2 \neq Q\lambda_1$ y que se satisfaga al menos una de las tres condiciones precedentes (14), (15) y (16).
- 25 En un modo preferido de puesta en práctica del procedimiento de concepción 7, las características esenciales se escogen, además, de tal forma que se verifica al menos una de las relaciones siguientes:

$$\max|\Delta\hat{e}_1^{12}| + \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|Q|} \quad (17a)$$

$$\max|\Delta\hat{e}_1^{12}| + \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|P|} \quad (17b)$$

- 30 En este caso, considerando las expresiones (17a), (17b), (12) y (13), se observa que la ambigüedad identificada para la quinta etapa 65 del procedimiento de determinación 6 se levanta o suprime en el caso de que los errores de medida de fase lineal son sean despreciables.

Considerando el límite superior máximo $\max|\Delta\hat{e}^{12}|$ y considerando el número entero más grande $\max(|P|, |Q|)$ del par de números enteros no nulos P y Q , las expresiones (17a) y (17b) se convierten en:

$$\max|\Delta\hat{e}^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{4 \cdot \max(|P|, |Q|)} \quad (18)$$

En el caso de una concepción de un sistema de determinación 1 en el cual el dispositivo receptor 3 comprende un cierto número N_R de antenas de recepción superior a dos, el procedimiento de concepción 7 aplica las condiciones precedentes para al menos dos pares de antenas. Se calculan estimaciones de límites superiores y/o un límite superior máximo para cada par de antenas considerado, y se utilizan en las condiciones precedentes.

- 5 En el caso de una concepción de un sistema de determinación 1 en el que el dispositivo emisor 4 emite un cierto número N_L de longitudes de onda que es superior a dos, el procedimiento de concepción 7 aplica las condiciones precedentes para al menos dos pares de longitudes de onda y para cada par de antenas considerado.

La invención se refiere, igualmente, al dispositivo receptor 3, en el caso de que aplique el procedimiento de determinación 6.

- 10 Tal y como se ha descrito previamente, el dispositivo receptor 3 comprende N_R antenas de recepción R_1 a R_{N_R} , siendo N_R mayor o igual que dos. Dichas antenas de recepción tienen, de preferencia, situaciones o posiciones sensiblemente idénticas y muestran características similares, de tal manera que, para una línea de mira dada, las respuestas de fase angular de dichas antenas de recepción son sensiblemente idénticas, de forma que un sesgo diferencial máximo de fase angular entre dichas antenas es relativamente pequeño, por ejemplo, menor o igual que 5°.

- 15 El dispositivo receptor 3 comprende, además, medios para la medida de las fases angulares de las señales radioeléctricas recibidas por las antenas N_R de recepción, y/o para determinar diferencias de fases angulares entre los diferentes pares de antenas de recepción, a partir de las cuales se determinan las medidas $\Delta\tilde{\psi}_n^{ml}$, con $1 \leq m < l \leq N_R$, $1 \leq n \leq N_L$. Las diferencias de fases angulares de las señales radioeléctricas son, por ejemplo, medidas directamente en las antenas de recepción, o en las etapas radioeléctricas de dichas antenas, o bien, aún, son determinadas en banda de base después de la conversión analógica numérica de dichas señales radioeléctricas.

- 20 El dispositivo receptor 3 comprende igualmente medios para el cálculo de las diferentes etapas del procedimiento de determinación 6, por ejemplo, de los componentes electrónicos tales como procesadores y memorias conectados por medio de buses de datos.

- 25 En el caso de un sistema de determinación 1 en el que un dispositivo es a la vez emisor y receptor, dicho dispositivo comprende N_R antenas de recepción y al menos una antena apta para emitir que, en un modo económico de realización, se confunde con una de las antenas de recepción.

- 30 La invención se refiere, igualmente, al sistema de determinación 1 de ángulos de mira que comprende el dispositivo receptor 3 y al menos un dispositivo emisor 4 que emite las señales radioeléctricas que comprenden las N_L longitudes de onda diferentes λ_n , con $1 \leq n \leq N_L$.

- 35 En un modo particular de realización, las N_L longitudes de onda diferentes λ_n , con $1 \leq n \leq N_L$, son compatibles con señales radioeléctricas emitidas por un sistema global de navegación por satélites, tal como el sistema GPS. Por compatible se entiende que las señales radioeléctricas emitidas por el dispositivo emisor no crean interferencias sobre las señales radioeléctricas del sistema global de navegación por satélites, o son asimilables a dichas señales radioeléctricas del sistema global de navegación por satélites.

En otro modo particular de realización, el dispositivo emisor comprende un pseudosatélite.

- 40 En un modo de realización del sistema de determinación 1, dicho sistema de determinación comprende al menos dos dispositivos emisores cuyos ángulos de mira con respecto al dispositivo receptor 3 son sensiblemente diferentes, es decir, están separados en al menos una decena de grados, y se conocen a priori posiciones relativas de dicho dispositivo receptor con respecto a dichos al menos dos dispositivos emisores en un sistema de coordenadas de referencia tal como el sistema de coordenadas 5 o un sistema de coordenadas terrestre. El sistema de determinación 1 es, de esta forma, apto para determinar, a partir de dichas posiciones relativas y de estimaciones de los ángulos de mira obtenidos aplicando el procedimiento de determinación 6, una orientación de al menos una base de antenas de recepción de dicho dispositivo receptor 3 en dicho sistema de coordenadas de referencia. Esta determinación pone en práctica procedimientos conocidos.

- 45 De preferencia, los al menos dos dispositivos emisores 4 se instalan a bordo de satélites de un sistema global de navegación por satélites, y el dispositivo receptor 3 se instala a bordo de un vehículo que comprende al menos un receptor del sistema global de navegación por satélites.

- 50 Las posiciones relativas del dispositivo receptor 3 con respecto a los al menos dos dispositivos emisores, son, en este caso, obtenidas, de preferencia, de al menos un receptor del sistema global de navegación por satélites.

En un modo próximo de realización del sistema de determinación 1 en el cual el dispositivo receptor 3 comprende al menos tres antenas de recepción no alineadas, se determinan las líneas de mira de los al menos dos dispositivos emisores aplicando el procedimiento de determinación 6 de acuerdo con la invención, con lo que se autoriza, de esta

forma, la determinación de la posición o ubicación de dicho dispositivo receptor con respecto al sistema de coordenadas de referencia.

5 La invención permite, por tanto, concebir un sistema de determinación de ángulos de mira para el cual se determina un ángulo de mira utilizando una configuración particularmente poco costosa que comprende dos antenas de recepción y dos longitudes de onda. El procedimiento de determinación aplicado está basado en medidas de fases para las que se suprime una ambigüedad, dimensionando, además, de manera apropiada dicho sistema de determinación.

REIVINDICACIONES

1.- Un procedimiento (6) para determinar al menos un ángulo de mira (θ) entre un dispositivo receptor (3), que comprende al menos dos antenas de recepción (R_1, R_2); y al menos un dispositivo emisor (4) que comprende al menos una antena de emisión de señales radioeléctricas en al menos dos longitudes de onda diferentes λ_1 y λ_2 ,
 5 aptas para ser recibidas por las al menos dos antenas de recepción de dicho dispositivo receptor, en el cual se estima al menos una diferencia de recorrido de las señales radioeléctricas entre dos antenas de recepción (R_1, R_2) de una base de antenas, a fin de determinar dicho al menos un ángulo de mira, de tal modo que dicho procedimiento comprende una etapa de determinación, para cada longitud de onda λ_p considerada, siendo $p = 1$ y 2 , de una medida $\Delta\bar{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase $C_p\Delta\phi_p^{12}$ entre las dos antenas de recepción (R_1, R_2), donde C_p designa un
 10 número real no nulo y $\Delta\phi_p^{12}$ designa una diferencia de fase lineal, homogénea a una distancia, de tal modo que dicho procedimiento **se caracteriza por que** comprende las etapas de:

- determinación de una diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12}$ entre las dos antenas de recepción (R_1, R_2) por combinación lineal de las medidas $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencias de fase determinadas para cada longitud de onda λ_p , la cual se expresa de la forma:

15
$$\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12} = D \left(\frac{P}{c_1\lambda_1} \Delta\tilde{\psi}_1^{12} - \frac{Q}{c_2\lambda_2} \Delta\tilde{\psi}_2^{12} \right),$$

donde D designa un número real no nulo, P y Q son los números enteros no nulos tales que $P\lambda_2 \neq Q\lambda_1$,

- determinación de un valor $\Delta\hat{N}_{WL}^{12}$ entero de una ambigüedad de la diferencia de fase virtual $\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12}$, igual a:

$$\Delta\hat{N}_{WL}^{12} = R(-\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12} / D),$$

20 donde $R(x)$ designa el número entero más próximo a x,

- determinación de una primera estimación \hat{d}_{WL}^{12} de la al menos una diferencia de recorrido, igual a:

$$\hat{d}_{WL}^{12} = \frac{\lambda_{WL}^{12}}{D} (\Delta\tilde{\psi}_{WL}^{12} + D\Delta\hat{N}_{WL}^{12}),$$

donde λ_{WL}^{12} es una longitud de onda virtual igual a $\lambda_1\lambda_2/(P\lambda_2 - Q\lambda_1)$.

2.- Un procedimiento (6) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende las etapas de:

- 25 - determinación de al menos un valor $\Delta\hat{N}_p^{12}$ entero de una ambigüedad de la medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase de una longitud de onda λ_p , con $p = 1$ y/o 2 , como igual a:

$$\Delta\hat{N}_p^{12} = R \left(\frac{-\Delta\tilde{\psi}_p^{12} + C_p\hat{d}_{WL}^{12}}{\lambda_p C_p} \right),$$

- determinación de al menos una segunda estimación \hat{d}_p^{12} , con $p = 1$ y/o 2 , de la al menos una diferencia de recorrido de las señales radioeléctricas entre las dos antenas de recepción, como igual a:

30
$$\hat{d}_p^{12} = \frac{(\Delta\tilde{\psi}_p^{12} + \lambda_p C_p \Delta\hat{N}_p^{12})}{C_p}.$$

3.- Un procedimiento (6) de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el cual una estimación $\Delta\hat{\beta}_p^{12}$

de un sesgo diferencial de medida $\Delta\beta_p^{12}$ sobre la medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase, igual a $C_p\Delta b_p^{12}$, donde Δb_p^{12} designa un sesgo diferencial de medida de fase lineal, es establecida previamente por teoría o por simulación o experimentación, para al menos una longitud de onda λ_p , con $p = 1$ y/o 2 , y las etapas de dicho procedimiento son aplicadas considerando al menos una medida de diferencia de fase tras la corrección $\Delta\tilde{\psi}_p^{12} - \Delta\hat{\beta}_p^{12}$, con $p = 1$ y/o 2 .

5 2.

4.- Un procedimiento (6) de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el cual una estimación $\Delta\hat{\beta}_p^{12}$ de un sesgo diferencial de medida $\Delta\beta_p^{12}$ en la medida $\Delta\tilde{\psi}_p^{12}$ de diferencia de fase, igual a $C_p\Delta b_p^{12}$, donde Δb_p^{12} designa un sesgo diferencial de medida de fase lineal, es determinada para al menos una longitud de onda λ_p , con $p = 1$ y/o 2 , al menos a partir de respuestas de fase angular de dos antenas de recepción (R_1 , R_2) previamente determinadas por teoría o por simulación o experimentación, y de al menos un valor de un ángulo de mira determinado a partir de una estimación de la al menos una diferencia de recorrido de las señales radioeléctricas entre las dos antenas de recepción (R_1 , R_2), y las etapas de dicho procedimiento son de nuevo aplicadas considerando al menos una medida de diferencia de fase tras la corrección

$$\Delta\tilde{\psi}_p^{12} - \Delta\hat{\beta}_p^{12},$$

15 con $p = 1$ y/o 2 .

5.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado por que** dicho procedimiento se itera al menos dos veces, de tal modo que se calcula al menos una estimación $\Delta\hat{\beta}_p^{12}$, con $p = 1$ y/o 2 , para cada iteración de dicho procedimiento y las etapas de dicho procedimiento se aplican para cada iteración de dicho procedimiento, considerando al menos una medida de diferencia de fase tras la corrección

20
$$\Delta\tilde{\psi}_p^{12} - \Delta\hat{\beta}_p^{12}, \text{ con } p = 1 \text{ y/o } 2.$$

6.- Un procedimiento (6) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en el cual los números enteros no nulos P y Q se escogen de tal modo que el número racional P/Q es próximo a la relación de las longitudes de onda λ_1/λ_2 .

25 7.- Un procedimiento (7) para determinar las características esenciales de un sistema de determinación (1) de al menos un ángulo de mira (θ) por medio de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, de manera que dicho procedimiento **se caracteriza por que** dichas características esenciales son al menos:

- un valor de una distancia L^{12} entre las dos antenas de recepción (R_1 , R_2) de la base de antenas considerada para estimar la al menos una diferencia de recorrido,
- valores de las dos longitudes de onda λ_1 , λ_2 ,
- valores del par de enteros P y Q no nulos,

de tal modo que en el mencionado procedimiento las características esenciales son determinadas de manera que se satisface al menos una de las condiciones siguientes:

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{2|P\lambda_2 - Q\lambda_1|},$$

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \left(\frac{1}{2} - \frac{|P|}{\lambda_1} \max|\Delta\hat{e}_1^{12}| - \frac{|Q|}{\lambda_2} \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| \right),$$

35
$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{2|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} - \frac{(|P|\lambda_2 + |Q|\lambda_1)}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \max|\Delta\hat{e}^{12}|,$$

expresiones en las que $\max|\Delta\hat{e}_1^{12}|$ y $\max|\Delta\hat{e}_2^{12}|$ representan estimaciones de límites superiores de errores

diferenciales de medida de fase lineal entre las dos antenas de recepción (R_1 , R_2) de la base de antenas, que son determinadas por teoría o por simulación o experimentación, y $\max|\Delta\hat{e}^{12}|$ se define de manera que es igual a la más grande de las dos estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_1^{12}|$ y $\max|\Delta\hat{e}_2^{12}|$.

- 5 8.- Un procedimiento (7) de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual las características esenciales se escogen de manera que se satisfice al menos una de las condiciones siguientes:

$$\max|\Delta\hat{e}_1^{12}| + \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|P|},$$

$$\max|\Delta\hat{e}_1^{12}| + \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|Q|},$$

$$\max|\Delta\hat{e}^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{4 \cdot \max(|P|, |Q|)}.$$

- 10 9.- Un dispositivo receptor (3) para determinar al menos un ángulo de mira (θ) por un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual se satisfice al menos una de las condiciones siguientes para la base de antenas:

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{2|P\lambda_2 - Q\lambda_1|},$$

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \left(\frac{1}{2} - \frac{|P|}{\lambda_1} \max|\Delta\hat{e}_1^{12}| - \frac{|Q|}{\lambda_2} \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| \right),$$

$$L^{12} < \frac{\lambda_1\lambda_2}{2|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} - \frac{(|P|\lambda_2 + |Q|\lambda_1)}{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|} \max|\Delta\hat{e}^{12}|,$$

- 15 expresiones en las que L^{12} es una distancia característica de dicha base de antenas, $\max|\Delta\hat{e}_1^{12}|$ y $\max|\Delta\hat{e}_2^{12}|$ representan estimaciones de límites superiores de errores diferenciales de medida de fase lineal entre dichas dos antenas de recepción de dicha base de antenas, que son determinadas por teoría o por simulación o experimentación, y $\max|\Delta\hat{e}^{12}|$ se define de manera que es igual a la más grande de las dos estimaciones $\max|\Delta\hat{e}_1^{12}|$ y $\max|\Delta\hat{e}_2^{12}|$.

- 20 10.- Un dispositivo receptor (3) de acuerdo con la reivindicación 9, en el cual se satisfice al menos una de las siguientes condiciones:

$$\max|\Delta\hat{e}_1^{12}| + \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|P|},$$

$$\max|\Delta\hat{e}_1^{12}| + \max|\Delta\hat{e}_2^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{2|Q|},$$

$$\max|\Delta\hat{e}^{12}| < \frac{|P\lambda_2 - Q\lambda_1|}{4 \cdot \max(|P|, |Q|)}.$$

- 25 11.- Un dispositivo receptor (3) de acuerdo con la reivindicación 9 o la reivindicación 10, que comprende al menos

tres antenas de recepción no alineadas, en el cual se calculan estimaciones de diferencias de recorrido para al menos dos bases de antenas y las condiciones descritas se satisfacen para dichas al menos dos bases de antenas.

- 5 12.- Un dispositivo receptor (3) de acuerdo con la reivindicación 11, en el cual se determina un ángulo de mira (θ , ψ) para cada estimación de diferencia de recorrido, en un plano del espacio definido por la base de antenas correspondiente y el dispositivo emisor (4).
- 13.- Un sistema de determinación (1) de al menos un ángulo de mira (θ), que comprende un dispositivo receptor (3) de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 12, y que comprende al menos un dispositivo emisor (4) que comporta al menos una antena de emisión de señales radioeléctricas en al menos las dos longitudes de onda λ_1 y λ_2 .
- 10 14.- Un sistema de determinación (1) de acuerdo con la reivindicación 13, en el cual las señales radioeléctricas emitidas por el al menos un dispositivo emisor (4) son compatibles con señales radioeléctricas emitidas por un sistema global de navegación por satélites.
- 15.- Un sistema de determinación (1) de acuerdo con la reivindicación 14, en el cual un dispositivo emisor (4) comprende un pseudosatélite.
- 15 16.- Un sistema de determinación (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 13 a 15, que comprende al menos dos dispositivos emisores (4) cuyos ángulos de mira con respecto al dispositivo receptor (3) son sensiblemente diferentes, de manera que se conocen a priori posiciones relativas de dicho dispositivo receptor con respecto a dichos al menos dos dispositivos emisores, en un sistema de coordenadas de referencia, de tal modo que dicho sistema de determinación es apto para determinar, a partir de dichas posiciones relativas y de estimaciones de los ángulos de mira de dichos al menos dos dispositivos emisores, una orientación de la base de antenas de recepción de dicho dispositivo receptor (3) en dicho sistema de coordenadas de referencia.
- 20 17.- Un sistema de determinación (1) de acuerdo con la reivindicación 16, en el cual los al menos dos dispositivos emisores (4) se instalan a bordo de los satélites de un sistema global de navegación por satélites, y el dispositivo receptor (3) se instala a bordo de un vehículo que comprende al menos un receptor del sistema global de navegación por satélites.
- 25 18.- Un sistema de determinación (1) de acuerdo con la reivindicación 17, en el cual dichas posiciones relativas del dispositivo receptor (3) con respecto a dichos al menos dos dispositivos emisores se obtienen de al menos un receptor del sistema global de navegación por satélites.
- 30 19.- Un sistema de determinación (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 16 a 18, en el cual el dispositivo receptor (3) comprende al menos tres antenas de recepción no alineadas, y la determinación de los ángulos de mira de dichos al menos dos dispositivos emisores (4) con respecto a al menos dos bases de antenas no alineadas de dicho dispositivo receptor, es utilizada para determinar la posición o situación de dicho dispositivo receptor con respecto a dicho sistema de coordenadas de referencia.

35

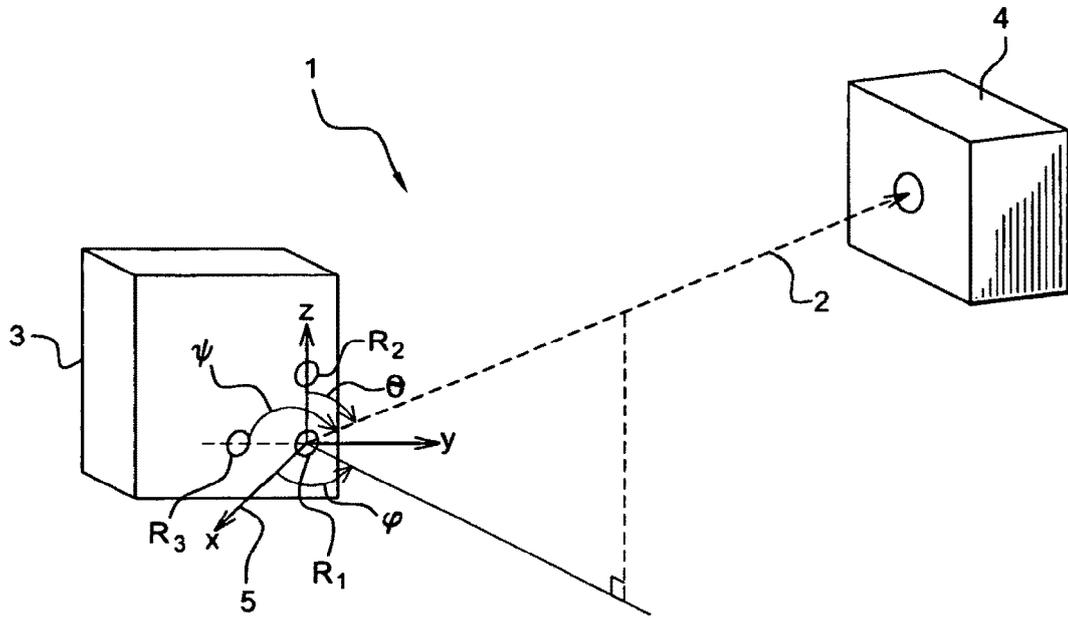


Fig. 1

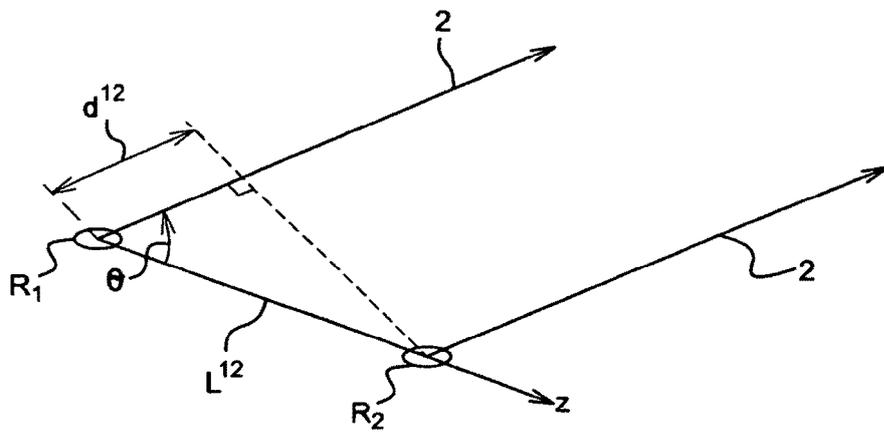


Fig. 2

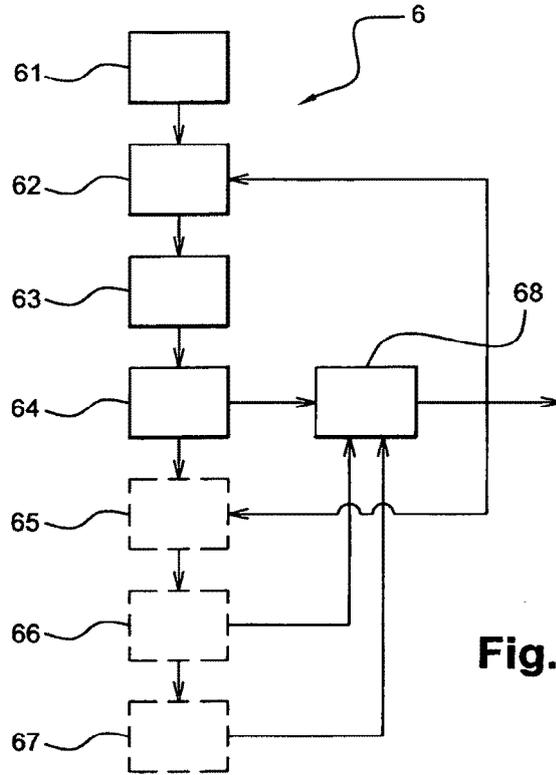


Fig. 3

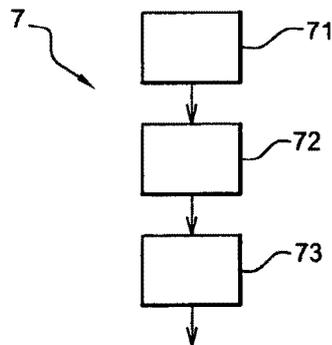


Fig. 4